



## DECKBLATT

	Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
	N A A N	N N N N N N N N N N	N N N N N N	X A A X X	A A	N N N N	N N
EU 319	9K	35215.32	-----	GE	RA	0001	00

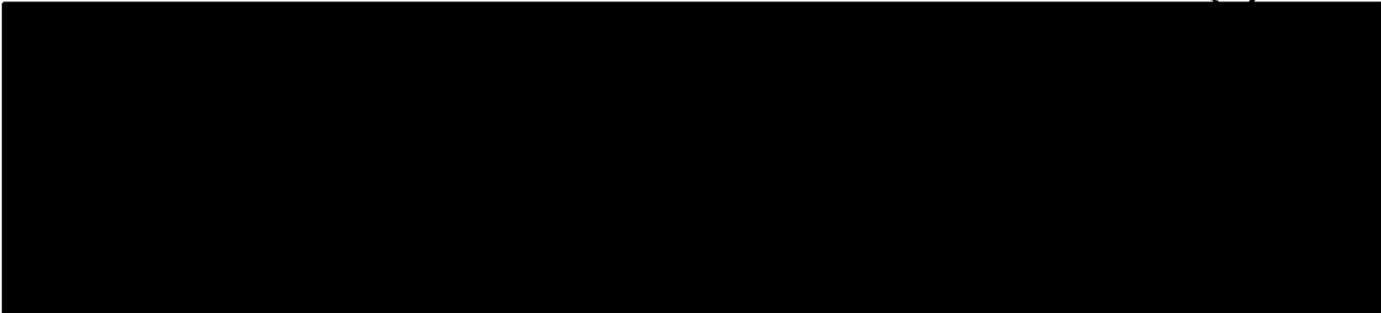
Titel der Unterlage: Darstellung der Nachweisführung zur Dichtigkeit der alten Bohrungen (Zwischenbericht 12/89)	Seite: I.
	Stand: 20.12.1989
Ersteller:	Textnummer:

Stempelfeld:

PSP-Element TP...9K/212855	zu Plan-Kapitel: 3.9.5
	Freigabe für Behörden
	Freigabe im Projekt

Diese Unterlage unterliegt samt Inhalt dem Schutz des Urheberrechts sowie der Pflicht zur vertraulichen Behandlung auch bei Beförderung und Vernichtung und darf vom Empfänger nur auftragsbezogen genutzt, vervielfältigt und Dritten zugänglich gemacht werden. Eine andere Verwendung und Weitergabe bedarf der ausdrücklichen Zustimmung der PTB.



Schachtanlage Konrad  
Alte Bohrungen

Darstellung der Nachweisführung zur Dichtigkeit der alten Bohrungen

(Zwischenbericht 12/89)

PSP-Element 35215.32

Aachen, den 20.12.1989

Der Bericht wurde im Auftrag des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) erstellt. Das BfS behält sich alle Rechte vor. Insbesondere darf dieser Bericht nur mit Zustimmung des BfS zitiert, ganz oder teilweise vervielfältigt bzw. Dritten zugänglich gemacht werden.



## Zusammenfassung

Die im Hangenden des projektierten Endlagers Konrad anstehenden Tonsteine der Unterkreide werden von einer Reihe von alten Tiefbohrungen durchhört, die als potentielle Wegsamkeiten für den beschleunigten Transport radionuklid belasteter Wässer in die Biosphäre angesehen werden. Der vorliegende Zwischenbericht beinhaltet die Darstellung der im Rahmen des Genehmigungsverfahrens erforderlichen Nachweisführung zur Dichtigkeit der alten Bohrungen.

Der Nachweis basiert auf der Annahme, daß die Bohrungen in der Nachbetriebsphase in einigen Abschnitten mit dem Sediment der während der Bohrarbeiten verwendeten Dickspülung und in anderen Abschnitten mit aus der Bohrlochwandung nachgebrochenem, größtenteils zerfallendem Gestein verfüllt sind. Die Anforderungen an die Wasserdurchlässigkeit dieser Verfüllungen ergibt sich aus Modellrechnungen zur Grundwasserbewegung und zur Radionuklidausbreitung.

Mit Hilfe eines umfangreichen Untersuchungsprogramms, das sowohl Feld- und Laborversuche als auch theoretische Betrachtungen enthält, soll nachgewiesen werden, daß die aus den Berechnungen abgeleiteten Anforderungen hinsichtlich des Zustandes der Bohrungen erfüllt werden. Aus den Ergebnissen dieses Untersuchungsprogramms, mit dem erst vor kurzem begonnen worden ist, kann sich auch ergeben, daß die Modellrechnungen unter Verwendung modifizierter Annahmen ergänzt werden müssen.

Im vorliegenden Zwischenbericht werden die bisher vorliegenden Erkenntnisse und Ergebnisse erläutert und - soweit zum gegenwärtigen Zeitpunkt möglich - im Hinblick auf den zu erbringenden Nachweis bewertet. Neben den bereits erwähnten Untersuchungen zur Sedimentation der Dickspülung und zur Selbstabdichtung der Bohrungen durch Zerfall der Gesteine werden auch Untersuchungen zu den zum Teil in den Bohrungen vorhandenen Zementbrücken und zu verbliebenen Bohrlochverrohrungen durchgeführt.

Da wie erwähnt mit dem Untersuchungsprogramm erst vor kurzem begonnen worden ist, liegen hieraus bisher nur wenige Ergebnisse vor. Die Angaben in diesem Bericht beschränken sich daher i.w. auf die Beschreibung des Konzeptes der Nachweisführung und der geplanten Untersuchungen.

Weiterhin werden die Erfolgsaussichten einzelner Untersuchungen genannt, sofern dies auf der Grundlage bereits durchgeführter, älterer Untersuchungen oder der Literatur möglich ist.

<u>Inhalt</u>	<u>Seite</u>
1. Einleitung	1
2. Formulierung der Anforderungen anhand der Ergebnisse der bisher durchgeführten Ausbreitungsrechnungen	2
3. Beschreibung des Zustandes der Bohrungen nach Beendigung der Bohrarbeiten	6
4. Untersuchungen zur Sedimentation der Dickspülung	8
5. Untersuchungen zum Zerfall der Zementbrücken	10
6. Untersuchungen zur Korrosion der Verrohrung	12
7. Untersuchungen zur "Selbstabdichtung" der Bohrungen durch Zerfall der Gesteine	13
7.1 Laborversuche zum Zerfall der Proben sowie zum Quellverhalten (einschließlich Mineralogie)	13
7.2 Laborversuche zur Wasserdurchlässigkeit der zerfallenen Proben	17
7.3 Auswertung von Kalibermessungen in bereits ausgeführten Bohrungen (Konrad 101)	17
7.4 Berechnungen zur Standsicherheit unverrohrter Bohrungen unter Berücksichtigung des Einflusses der Gesteinsfestigkeit, von Trennflächen und des Zerfalls	18
7.5 In-situ-Versuche zum Zerfall des Gesteins und zur Selbstabdichtung der Bohrungen	19
8. Beschreibung des Zustandes der Bohrungen in der Nachbetriebsphase des Endlagers	21
9. Durchführung modifizierter Ausbreitungsrechnungen anhand der in den Untersuchungen gewonnenen Erkenntnisse	25
10. Aufwältigung von Bohrungen	26

Anlagen

- 2.1 COLENCO-Elementnetz (Südabschnitt) und Lage der 25 relevanten alten Bohrungen
- 2.2 Zusammenstellung der 25 relevanten alten Bohrungen
- 2.3 Schematische Übersicht der in den COLENCO-Berechnungen modellierten Bohrungen
  
- 3.1 Zustand der 25 relevanten Bohrungen nach Beendigung der Bohrarbeiten (Teil 1)
- 3.2 Zustand der 25 relevanten Bohrungen nach Beendigung der Bohrarbeiten (Teil 2)
  
- 4.1 Angaben zur Dickspülung gem. Bohrakten
- 4.2 Sedimentationsanteil der Dickspülung (theoretische Ableitung des LEICHTWEISS-Instituts)
  
- 7.1.1 Aufbau für Zerfallsversuche und Versuchsdurchführung (aus Diss. ██████████ 1985)
- 7.1.2 Ergebnisse von Zerfallsversuchen an Unterkreide-Gesteinen in H<sub>2</sub>O; Einteilung in die Zerfallstypen 1-4 (aus Diss. ██████████ 1985)
- 7.1.3 Am Aufbau der Zerfallsstabilität beteiligte petrographische Parameter und Analysemethoden (aus Diss. ██████████ 1985)
- 7.1.4 Rangfolge der Bindungsarten der einzelnen Zerfallstypen (aus Diss. ██████████ 1985)
  
- 7.3.1 Mögliche Interpretation der Nachbrüche in der Bohrung Konrad 101
- 7.3.2 Analyseergebnisse an Proben aus der Bohrung Konrad 101 (Teil 1)
- 7.3.3 Analyseergebnisse an Proben aus der Bohrung Konrad 101 (Teil 2)

- 8.1 Prinzipdarstellung zu möglichen Ansätzen für die sedimentierte Dickspülung unter Berücksichtigung der Bohrlochverfüllung
- 8.2 Auswertungen zur Sedimentation der Bohrspülung (Teil 1)
- 8.3 Auswertungen zur Sedimentation der Bohrspülung (Teil 2)
- 8.4 Volumenbetrachtungen zum Nachfall in nicht standsicheren Bohrlöchern

## 1. Einleitung

Die im Hangenden des projektierten Endlagers KONRAD anstehenden Tonsteine der Unterkreide mit einer Gesamtdicke von mehreren hundert Metern stellen hinsichtlich des Transports radionuklid belasteter Wasser in die Biosphäre eine natürliche Barriere dar. Diese Barriere ist allerdings im Rahmen der Erkundung von unterhalb der Unterkreide-Tonsteine liegenden Lagerstätten, z.B. des Erzlagers der Grube Konrad im Oxford, im Verlauf der vergangenen Jahrzehnte mit einer Reihe von Tiefbohrungen durchteuft worden. Außerdem stellen die zwei für die Erzgewinnung hergestellten Schächte (Konrad 1 und 2) Durchbrüche durch die "Barriere Unterkreide" dar. Die alten Tiefbohrungen und die Schächte werden als potentielle Wegsamkeiten für den beschleunigten Transport radionuklid belasteter Wasser in die Biosphäre angesehen.

Im Rahmen des Genehmigungsverfahrens für das Endlager KONRAD sollen quantitative Nachweise der Dichtigkeit für die alten Tiefbohrungen im Modellgebiet Konrad und für die später zu verfüllenden Schächte geführt werden.

Im folgenden wird für die alten Tiefbohrungen die Führung des Nachweises der Dichtigkeit erläutert. Bereits vorliegende Ergebnisse der hierzu erforderlichen Einzeluntersuchungen werden in kurzer Form angegeben und bewertet. Beispielsweise wurde mit der Durchführung von Laborversuchen an Gesteinsproben begonnen, die aus den horizontalen Vorbohrungen für die beiden geplanten Untersuchungsstrecken vom Schacht 2 aus entnommen wurden. Da die vorgesehenen Untersuchungen [1] jedoch zum größten Teil noch nicht begonnen werden konnten bzw. noch keine belastbaren Ergebnisse vorliegen, muß der Nachweis der Dichtigkeit der alten Bohrungen zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch unvollständig und in Konzeptform bleiben.

Das Konzept des Nachweises besteht darin, zunächst aus den Ergebnissen der bisher durchgeführten Modellrechnungen zur Grundwasserbewegung und zur Radionuklid Ausbreitung größenordnungsmäßig die Anforderungen an den Zustand der Bohrungen in der Nachbetriebsphase des

Endlagers Konrad abzuleiten. Dies betrifft neben der Wasserdurchlässigkeit bzw. Transmissivität einzelner Bohrlochabschnitte auch die Bestimmung des Zeitpunktes, zu dem sich die Bohrungen in einem bestimmten Zustand befinden müssen.

Anhand der Ergebnisse von Feld- und Laborversuchen sowie theoretischer Betrachtungen soll der Zustand der Bohrungen in der Nachbetriebsphase im zweiten Schritt quantitativ erfaßt werden.

Neben der Lage und der Teufe der Bohrungen sowie der geologischen Schichtenfolge sind hierbei vor allem die Sedimentation der Bohrspülung, die Beständigkeit von Zementverfüllungen bzw. -brücken und die Korrosion von im Bohrloch verbliebener Verrohrung von Bedeutung. Ebenso sind Selbstabdichtungsvorgänge im Bohrloch zu untersuchen, die infolge von Nachfall bzw. Zerfall, Sedimentation und Quellen des (zerfallenen) Gesteins eintreten.

Nach dem Vorliegen abgesicherter Ergebnisse sind die in den hydraulischen Modellrechnungen getroffenen Annahmen bzw. die aus diesen Berechnungen abgeleiteten Anforderungen hinsichtlich des Zustandes der Bohrungen zu überprüfen. Ggf. sind die Berechnungen mit modifizierten Annahmen zu wiederholen. U.U. kann sich ergeben, daß die Aufwältigung und problemgerechte Wiederverfüllung einzelner Bohrungen erforderlich ist.

## 2. Formulierung der Anforderungen anhand der Ergebnisse der bisher durchgeführten Ausbreitungsrechnungen

Im Rahmen des quantitativen Nachweises der Dichtigkeit der alten Bohrungen wurden von der COLENCO AG, Baden, Schweiz, bereits großräumige Modellrechnungen zur Grundwasserbewegung und darauf aufbauend Radionuklidausbreitungsrechnungen für das Modellgebiet Konrad durchgeführt [2], [3]. In den FE-Berechnungen zur Grundwasserbewegung wurden insgesamt 17 Bohrungen im Nahbereich des Grubengebäudes und im nördlich davon gelegenen Abstrombereich bis zu einer Entfernung von ca. 9 km vom Grubengebäude durch eindimensionale Elemente innerhalb des dreidimensionalen Berechnungsausschnitts modelliert.

In der Anlage 2.1 sind der Südabschnitt des von COLENCO verwendeten FE-Netzes im Grundriß und die Lage der 17 in den Berechnungen berücksichtigten Bohrungen dargestellt. Weiterhin ist die ungefähre Lage von 8 in den Berechnungen nicht berücksichtigten Bohrungen in diesem Bereich angegeben. Die insgesamt 25 Tiefbohrungen werden im folgenden als "relevante" alte Bohrungen bezeichnet. Eine tabellarische Zusammenstellung dieser 25 Bohrungen, auf die sich die Ausführungen in den folgenden Kapiteln dieses Berichts beziehen, findet sich in der Anlage 2.2. Dort sind außerdem für die einzelnen Bohrungen die Endteufe, die Lage der Basis und der Oberkante der Unterkreide sowie die Dicke der gesamten Unterkreide angegeben.

Im folgenden werden kurz die wesentlichen Annahmen der Grundwasserbewegungsrechnungen von COLENCO [2] erläutert, da sich hieraus näherungsweise die Anforderungen an die zu erbringenden Nachweise ableiten lassen. Hier ist jedoch einschränkend anzumerken, daß in den Berechnungen mehrere Annahmen getroffen werden mußten, die erst im Verlauf der noch durchzuführenden Untersuchungen genauer quantifiziert werden können. Da diese Annahmen gemeinsam die Berechnungsergebnisse mehr oder weniger stark beeinflussen, ist die Ableitung von Anforderungen für die einzelnen Parameter derzeit nicht exakt möglich. Es lassen sich jedoch bereits relativ zuverlässig die ungefähre erforderlichen Größenordnungen angeben.

Die in den Berechnungen modellierten Bohrungen gliedern sich generell über ihre Länge in jeweils 3 verschiedene Abschnitte, die sich hinsichtlich ihrer angenommenen Wasserdurchlässigkeitsbeiwerte unterscheiden. Von der COLENCO AG werden diese Abschnitte als "versetzt", "unversetzt/wenig durchlässig" und "unversetzt/durchlässig" bezeichnet (von unten nach oben). Die Länge dieser Abschnitte ist in den einzelnen Bohrungen unterschiedlich. Eine schematische Übersicht hierzu kann der Anlage 2.3 entnommen werden.

Als "versetzter" Abschnitt wird der mit dem Sediment der Bohrspülung gefüllte unterste Teil der Bohrung bezeichnet. Gemäß den Angaben des Leichtweiß-Instituts [4] werden als Sedimentationsanteil der Spülung 44 % und als Ausgangshöhe der Spülung die gesamte Bohrlochlänge angenommen. Weiterhin wird angenommen, daß sich das Spülungssediment

vollständig im untersten Teil der Bohrung befindet (s. Anlage 2.3). Beim größten Teil der 17 modellierten Bohrungen ergibt sich die Oberkante des versetzten Bohrlochabschnitts mindestens in Höhe der Basis der Unterkreide bzw. darüber. Bei 4 Bohrungen liegt sie darunter. Der im Referenzfall Alte Bohrungen angenommene Durchlässigkeitsbeiwert des versetzten Bohrlochs beträgt  $k_f = 2 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}$ . Eine Ausnahme stellt die vollständig mit Tiefbohrzement verfüllte Bohrung Konrad 101 dar. Sie wird in den Berechnungen als bis zur Geländeoberfläche versetzt angenommen ( $k_f = 1 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}$ ).

Oberhalb des versetzten Bohrlochabschnitts wird bis zur Oberkante des Alb ein sog. "wenig durchlässiger" Abschnitt angenommen (s. Anlage 2.3), dessen Durchlässigkeitsbeiwert im Referenzfall  $k_f = 1 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$  beträgt.

Der oberste Bohrlochabschnitt wird als "durchlässig" bezeichnet und umfaßt grundsätzlich den Bereich des Quartärs. In den Bereichen, in denen zwischen dem Alb und dem Quartär auch Schichten der Oberkreide anstehen, wird auch der Bohrlochabschnitt innerhalb dieser Formation als "durchlässig" angenommen (s. Anlage 2.3). Der entsprechende Durchlässigkeitsbeiwert beträgt im Referenzfall Alte Bohrungen  $k_f = 1 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$ .

Als Ergebnis der Berechnungen zur großräumigen Grundwasserbewegung ergibt sich unter den o.g. Annahmen im Referenzfall Alte Bohrungen, daß sich nur durch 1 Bohrung (Sauingen 1) ein Fließweg für radionuklid belastete Wasser einstellt und daß die Fließzeiten sehr lang sind (ca. 17 - 18 Mio. Jahre). Aus dem Vergleich mit anderen Berechnungsfällen läßt sich entnehmen, daß einer der Hauptfaktoren hinsichtlich der hydraulischen Auswirkungen der Bohrungen die Durchlässigkeit bzw. die Transmissivität der in der Unterkreide liegenden Bohrlochabschnitte ("unversetzt/wenig durchlässig") ist. Falls der  $k_f$ -Wert in diesen Bohrlochabschnitten etwa  $1 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$  oder weniger beträgt, stellen die Bohrungen nach Beurteilung der COLENCO AG keine sicherheitsrelevanten Freisetzungspfade für Wasser aus dem geplanten Endlager dar. Diese Beurteilung ergibt sich bereits allein aus den Ergebnissen der Modellrechnungen zur Grundwasserbewegung, d.h. ohne Betrachtungen zur Radionuklidausbreitung.

Ein weiterer wesentlicher Faktor hinsichtlich der hydraulischen Auswirkungen der Bohrungen ist die Lage der Bohrungen bezüglich des Hilssandsteins. Bohrungen, die den Hilssandstein durchhörern, leiten aufgrund des in dieser Formation höheren Potentials (gegenüber dem tieferliegenden Wasserleiter Kimmeridge-Oxford) dem Grubengebäude Wasser zu und stellen daher keine potentiellen Freisetzungspfade für radionuklidbelastete Wässer dar.

Der Durchlässigkeitsbeiwert der "versetzten" Bohrlochabschnitte (vgl. Anlage 2.3) ist ohne Einfluß auf die Berechnungsergebnisse solange er in der Größenordnung von  $10^{-8}$  m/s liegt [2].

Die Aufgabenstellung im Rahmen des quantitativen Nachweises der Dichtigkeit der alten Bohrungen besteht somit darin, zu überprüfen bzw. nachzuweisen, ob die Rechenannahmen des Referenzfalles oder näherungsweise äquivalente Annahmen erfüllt sind. Wie erwähnt ist dabei eine wesentliche Fragestellung, ob durch Selbstabdichtungsmechanismen wie z.B. Nachbruch, Zerfall und Quellen des Gesteins im Bereich der Bohrlochabschnitte in der Unterkreide oder durch in diesem Bereich verbliebenes Spülungssediment ein Durchlässigkeitsbeiwert von maximal etwa  $k_f = 10^{-5}$  m/s angenommen werden kann. Weiterhin ist nachzuweisen, daß die als versetzt angenommenen Bohrlochabschnitte keinen wesentlich höheren  $k_f$ -Wert als ca.  $10^{-8}$  m/s aufweisen.

Der Zeitpunkt, zu dem sich die Bohrungen in dem in den Berechnungen angenommenen Zustand (vgl. Anlage 2.3) befinden müssen, kann aus den Ergebnissen der COLENCO-Berechnungen nicht abgeleitet werden, da der Zustand der Bohrungen bereits die Fließzeit bis zu den Bohrungen beeinflusst. Hieraus ergibt sich die Forderung, daß sich die Bohrungen bereits zum Startzeitpunkt der kontaminierten Wasserteilchen im Grubengebäude in dem in den Berechnungen vorausgesetzten Zustand befinden müssen.

Falls sich aus den Untersuchungen der einzelnen Einflußgrößen ergibt, daß größere Abweichungen zu den im Referenzfall Alte Bohrungen getroffenen Berechnungsannahmen vorliegen können, werden die Berechnungen auf der Grundlage der Untersuchungsergebnisse ergänzt.

### 3. Beschreibung des Zustandes der Bohrungen nach Beendigung der Bohrarbeiten

Eine Beschreibung und Darstellung des Zustandes der im Abschnitt 2 aufgeführten 25 Bohrungen kann dem Teil A des Berichts [4] zu den Tiefbohrungen im Modellgebiet Konrad entnommen werden. Auf die Wiedergabe der umfangreichen Datensammlung, die u.a. Angaben zur Geologie, zur verwendeten Bohrspülung, zur Verfüllung mit Zementbrücken und Bohrklein sowie zur teilweise verbliebenen Bohrlochverrohrung enthält, soll an dieser Stelle im einzelnen verzichtet werden. Die üblichen Bohrlochdurchmesser für Tiefbohrungen betragen 6 5/8 Zoll (168,3 mm) und 8 5/8 Zoll (219,1 mm). Die Staffelung der Bohrdurchmesser über die Tiefe wurde bisher noch nicht berücksichtigt.

Eine Darstellung der wichtigsten aus den o.g. Bohrakten übernommenen Angaben zu den 25 relevanten Bohrungen findet sich in den Anlagen 3.1 und 3.2. Die durch die Bohrungen aufgeschlossene Schichtenfolge ist dabei gem. der Angaben in den Bohrakten jeweils abschnittsweise zusammengefaßt als stratigraphische Grobgliederung angegeben. Weiterhin sind die Lage der in die Bohrungen eingebrachten Zementverfüllungen, der Schotter-, Kies- oder Bohrkleinverfüllungen sowie der teilweise im Bohrloch verbliebenen Verrohrungen dargestellt. Bei sämtlichen nicht mit einer der vorstehend aufgeführten Verfüllungen gekennzeichneten Bohrlochabschnitten ist davon auszugehen, daß sie bei Beendigung der Bohrarbeiten vollständig mit Bohrspülung (Dickspülung) gefüllt waren.

Wie aus den Anlagen 3.1 und 3.2 hervorgeht, bestehen hinsichtlich der Anordnung von Zementbrücken nach Abschluß der Bohrarbeiten bedeutende Unterschiede zwischen den einzelnen Bohrungen. Sieht man von den i.a. immer im obersten Bereich der Bohrlöcher (bis ca. 50 m unter GOF) eingebauten Beton- oder Zementverschlüssen ab, so wurden bei 20 der betrachteten 25 Bohrungen auch darunter Zementbrücken eingebaut. Die Dicke dieser Zementbrücken beträgt dabei zwischen wenigen Metern und ca. 500 m. Diese obere Grenze stellt jedoch einen extremen Ausnahmefall dar (Bohrung Vechelde 2/2a). Im allgemeinen sind die Zementbrücken ca. 5 - 150 m dick, wobei die dickeren Ze-

mentbrücken i.d.R. im unteren Teil der Bohrungen unterhalb der Unterkreideschichten angeordnet wurden.

Einen Sonderfall stellt die Bohrung Konrad 101 dar, die wie bereits im Abschnitt 2 erwähnt, vollständig mit Tiefbohrzement verfüllt wurde.

Zwischen den einzelnen Zementbrücken wurden die Bohrungen i.a. nicht verfüllt, sondern es verblieb hier die während der Bohrarbeiten verwendete Dickspülung. Angaben zur Art und insbesondere zur Dichte der Dickspülung liegen für 22 der 25 betrachteten Bohrungen vor. Demnach betrug die Dichte der Spülungen bei diesen 22 Bohrungen zwischen ca. 1,20 und 1,38 t/m<sup>3</sup>.

Erwähnenswerte Ausnahmen sind die Bohrungen Bleckenstedt 1, Üfingen 1 und Sonnenberg 2. Die Bohrung Bleckenstedt 1 wurde bis ca. 420 m Tiefe mit Kernkleinschlag und Sand verfüllt und die Bohrung Üfingen 1 bis zur Bodenzementation in 1150 m Tiefe mit Steinschotter, der wahrscheinlich in die bei dieser Bohrung verwendete Bentonitspülung eingebettet ist. Für die Bohrung Sonnenberg 2 ist bis zur Bodenzementation in ca. 1020 m Tiefe als Verfüllung "abgesetzter Bohrschlamm" angegeben.

Auf die Verfüllung der oberflächennahen Bereiche der Bohrungen mit Bohrklein, Kies, Mutterboden u.ä. soll hier nicht näher eingegangen werden, da sie ohne Bedeutung ist. Eine derartige Verfüllung ist in mehr oder weniger großem Umfang für fast alle Bohrungen angegeben (s. Anlagen 3.1 und 3.2).

Für 12 der 25 betrachteten Bohrungen sind Abschnitte angegeben in denen Bohrlochverrohrung aus Stahl im Bohrloch verblieben ist. Im Bereich der Unterkreideschichten sind hiervon 8 der 25 Bohrungen betroffen. Im Hinblick auf die Überlegungen zur Selbstabdichtung der Bohrungen sind vor allem diese Abschnitte innerhalb der Unterkreide von besonderem Interesse. Die Längen dieser Abschnitte betragen bei den Bohrungen Broistedt 33 und 34, Vechelde 2/2a, 3 und 4 sowie Wedtlenstedt 1 zwischen ca. 40 m und 140 m. Bei den beiden Bohrungen

Bleckenstedt 1 und Konrad 101 sind die verrohrten Abschnitte in der Unterkreide mit ca. 290 m bzw. 330 m deutlich länger (s. Anlagen 3.1 und 3.2).

#### 4. Untersuchungen zur Sedimentation der Dickspülung

Beim Niederbringen der alten Tiefbohrungen wurden nach den vorliegenden Bohrakten [4] Dickspülungen als Bohrspülung verwendet. Die Spülung hat i.w. die Aufgaben, das Bohrklein auszutragen und die Bohrlochwand zu stützen.

Nach den vorliegenden Angaben wurden bei den alten Bohrungen im Modellgebiet Konrad überwiegend Wasser-Ton-Spülungen verwendet. In einigen Fällen kamen jedoch auch andere Spülmedien bzw. Zusätze zur Anwendung. In der Anlage 4.1 sind die für die 25 relevanten Tiefbohrungen vorhandenen Angaben zur verwendeten Dickspülung zusammengestellt. Weiterhin sind die Dichten der noch flüssigen Dickspülung aufgeführt. Für 2 der betrachteten 25 Bohrungen liegen keine Angaben zum Typ und zur Dichte der Bohrspülung vor. Es ist lediglich bekannt, daß auch bei diesen Bohrungen Dickspülung verwendet wurde. Bei der Bohrung Konrad 101 ist die verwendete Bohrspülung wegen der vollständigen Verfüllung mit Tiefbohrzement nicht von Interesse.

Die während der Bohrarbeiten verwendete Dickspülung sedimentiert im Laufe der Zeit. Untersuchungen zur Wasserdurchlässigkeit und zur Sedimentationsrate wurden vom Leichtweiß-Institut der TU Braunschweig durchgeführt (s. Teil B des Berichts [4]). Versuche an Sedimentproben aus in den 50er Jahren angelegten Spülungsdeponien ergaben Durchlässigkeitsbeiwerte in der Größenordnung von  $k_f = 2 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}$ .

Die Größe des Sedimentationsanteils (Verhältnis zwischen der Höhe der flüssigen und der sedimentierten Dickspülung im Bohrloch) wurde vom Leichtweiß-Institut anhand einer theoretischen Betrachtung abgeschätzt. Maßgebende Parameter sind die Dichte der Bohrspülung vor der Sedimentation, die Dichte der Bohrspülung nach der Sedimentation und der Bohrlochdurchmesser, falls er nicht über die gesamte Bohrlochlänge konstant ist. Den weitaus größten Einfluß hat dabei die

Dichte der Spülung vor der Sedimentation. In der Anlage 4.2 ist für den Fall des über die gesamte Bohrtiefe konstanten Bohrlochdurchmessers die theoretisch abgeleitete Beziehung zur Bestimmung des Sedimentationsanteils angegeben. Weiterhin ist in der Anlage 4.2 eine graphische Auswertung dieser Beziehung dargestellt.

Der vom Leichtweiß-Institut für weiterführende Betrachtungen empfohlene Sedimentationsanteil von  $s = 44,4 \%$  ergibt sich dabei aus der Annahme einer Spüldichte vor Beginn der Sedimentation von  $\rho_A^{SP} = 1,20 \text{ t/m}^3$  und einer Dichte der sedimentierten Bohrspülung von  $\rho_E^{SP} = 1,45 \text{ t/m}^3$  (s. Anlage 4.2). Die Dichte der flüssigen Bohrspülung wurde hierbei mit  $1,20 \text{ t/m}^3$  angesetzt, da dieser Wert nach den Unterlagen und den Aussagen der Deutschen Schachtbau- und Tiefbohrergesellschaft in den meisten Fällen überschritten wurde [4]. Die Zusammenstellung der Angaben zu den Spüldichten für die 25 relevanten Tiefbohrungen in der Anlage 4.1 bestätigt dies. Die Dichte der sedimentierten Bohrspülung wurde vom Leichtweiß-Institut mit  $1,45 \text{ t/m}^3$  angenommen, da sich im Mittel dieser Wert in den Laboruntersuchungen an den aus den Spüldesponen entnommenen Proben, an denen auch die Wasserdurchlässigkeit bestimmt wurde (s.o.), ergeben hatte.

Wie sich aus der graphischen Darstellung in der Anlage 4.2 leicht ablesen läßt, ergeben größere Dichten der flüssigen Bohrspülung deutlich höhere Sedimentationsanteile, wenn man davon ausgeht, daß die Dichte der sedimentierten Bohrspülung hiervon nicht wesentlich beeinflußt wird. Beispielsweise ergibt sich bei Annahme von  $\rho_A^{SP} = 1,30 \text{ t/m}^3$  und  $\rho_E^{SP} = 1,45 \text{ t/m}^3$  ein Sedimentationsanteil von  $s \approx 65 \%$ . Erhöht sich jedoch bei einer größeren Dichte der flüssigen Spülung gleichzeitig auch die Dichte der sedimentierten Spülung in einem nennenswerten Umfang, so fällt der Zuwachs des Sedimentationsanteils wesentlich geringer aus (s. Anlage 4.2). Über den Zusammenhang zwischen der Dichte der Spülung im flüssigen und im sedimentierten Zustand liegen bisher keine Untersuchungsergebnisse vor.

Ein weiterer Einfluß auf die Höhe des mit Spülsediment gefüllten Bohrlochabschnittes ergibt sich für den Fall wechselnder Bohrlochdurchmesser. Die meisten Tiefbohrungen wurden angabegemäß im unteren Bereich mit kleineren Bohrdurchmessern hergestellt. In solchen

Fällen ergibt sich der Sedimentationsanteil größer als im Fall des über die gesamte Bohrlochlänge konstanten Durchmessers.

Im Falle von bereichsweisen Auskesselungen während der Bohrarbeiten in nicht standsicheren Bereichen des Bohrlochs können jedoch auch in tieferen Bohrlochabschnitten größere Bohrlochdurchmesser vorliegen als in höherliegenden Abschnitten. In solchen Fällen ergibt sich gegenüber dem Bohrloch mit konstantem Durchmesser eine Verringerung des Sedimentationsanteils.

Da über die Größe der effektiven Bohrlochdurchmesser (planmäßig oder infolge von Auskesselungen) bislang keine detaillierten Angaben vorliegen, können diese Einflüsse noch nicht in die Auswertungen einbezogen werden.

Auf der Grundlage des o.g. Sedimentationsanteils von 44,4 % wurde vom Leichtweiß-Institut eine Ermittlung der Sedimentationshöhen durchgeführt. Hierbei wurde als Ausgangshöhe der nicht sedimentierten Spülung die gesamte Bohrlochlänge vom Bohrlochtiefsten bis zur Geländeoberfläche angesetzt. Der Zustand der Bohrungen bei Beendigung der Bohrarbeiten, d.h. die teilweise Verfüllung der Bohrungen mit Zementbrücken oder mit Bohrklein (vgl. Abschnitt 3) wurde dabei grundsätzlich nicht berücksichtigt. Der Bohrlochdurchmesser wurde als konstant vorausgesetzt. Die auf diese Weise ermittelten Sedimentationshöhen bilden die Grundlage der in den Berechnungen von COLENCO [2] angesetzten Länge der "versetzten" Abschnitte (vgl. Abschnitt 2).

Die Berücksichtigung des Zustandes der Bohrungen am Ende der Bohrarbeiten kann in Abhängigkeit von den getroffenen Annahmen zu anderen Ergebnissen hinsichtlich des Ansatzes der sedimentierten Bohrspülung führen, als in den Berechnungen von COLENCO vorausgesetzt. Weitere Überlegungen hierzu finden sich im Abschnitt 8 dieses Berichtes.

## 5. Untersuchungen zum Zerfall der Zementbrücken

Wie bereits im Abschnitt 3 erläutert, wurden bei Beendigung der

Bohrarbeiten in die meisten der 25 betrachteten Tiefbohrungen abschnittsweise Zementverfüllungen - auch als Zementbrücken bezeichnet - eingebracht (s. Anlagen 3.1 und 3.2). Diese Zementbrücken stellen innerhalb der Bohrungen eine Barriere gegen den Durchfluß von Wässern dar. Im Hinblick auf die Auswirkungen der alten Bohrungen als potentielle Freisetzungspfade für radionuklidbelastete Wässer aus dem geplanten Endlager ist daher von Bedeutung, ob die Zementbrücken auf Dauer beständig sind oder von aggressiven Wässern zerstört werden können. Von besonderem Interesse sind diese Fragen bei denjenigen Bohrungen, bei denen größere Zementbrücken oberhalb der Basis der Unterkreide angeordnet wurden. Besondere Beachtung verdient in dieser Hinsicht die Bohrung Konrad 101, die vollständig mit Zement verfüllt wurde (vgl. Anlage 3.1).

Weiterhin ist die Beständigkeit der Zementbrücken im Zusammenhang mit der Sedimentation der Dickspülung (vgl. Abschnitt 4) von Bedeutung. Die Zementbrücken, die in die noch flüssige Bohrspülung eingebracht wurden und dort relativ schnell erhärteten, führten zu einer stockwerksweisen Sedimentation der Dickspülung. Die aufgrund der Angaben des Leichtweiss-Instituts in den Berechnungen von COLENCO angenommene durchgehende Sedimentationssäule ("versetzter" Abschnitt) im untersten Teil der Bohrungen entspricht somit bei einigen Bohrungen zumindest im anfänglichen Zeitraum nicht den realen Verhältnissen.

Falls die Zementbrücken auf Dauer beständig sind, verbleiben auch die einzelnen Abschnitte aus sedimentierter Dickspülung auf Dauer in ihrer Lage. Falls die Zementbrücken jedoch im Laufe der Zeit ihre Festigkeit verlieren und zerfallen, besteht die Möglichkeit, daß sich das Spülungssediment nach einer gewissen Zeit im unteren Teil der Bohrungen sammelt und somit ähnliche Verhältnisse vorliegen, wie in den COLENCO-Berechnungen angenommen.

In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, ob die Zementbrücken vollständig gelöst werden oder ob ein Zersetzungsprodukt aus nicht löslichen Feststoffen übrig bleibt, das sich zwischen den einzelnen Abschnitten aus Dickspülungssediment ablagert. Nach den gegenwärtig-

gen Erkenntnissen ist davon auszugehen, daß in jedem Falle ein gewisser Anteil der Zementbrücken als unlöslicher Feststoff verbleibt.

Die Größe dieses Anteils kann jedoch bisher nicht zuverlässig angegeben werden. Weiterhin ist die Wasserdurchlässigkeit dieses Feststoffanteils nicht bekannt.

Aus den o.g. Gründen sollen Untersuchungen zur Beständigkeit des Zementsteins durchgeführt werden. Unter Berücksichtigung bekannter Zersetzungsmechanismen wird das zeitabhängige Verhalten des Zementsteins im Bohrloch mit Hilfe eines Simulationsmodells rechnerisch nachvollzogen. Auf diese Weise wird die Extrapolation eines eventuellen Zerstörungsprozesses auf sehr lange Zeiträume nach mathematischen Gesetzmäßigkeiten ermöglicht. Die theoretischen Untersuchungen werden durch Laborversuche, in denen Zementsteinproben mit typischen im Modellgebiet Konrad vorkommenden bzw. zu erwartenden Wässern kontaminiert werden, ergänzt. Weiterhin soll das Zerfallsprodukt bezüglich des Volumenanteils und der Wasserdurchlässigkeit untersucht werden.

Die Untersuchungen werden durchgeführt, um nach Möglichkeit konservative Annahmen bei der Nachweisführung der Dichtigkeit der alten Bohrungen abzubauen. Solange keine Untersuchungsergebnisse vorliegen, muß die vollständige Weglösung der Zementbrücken als konservative Annahme unterstellt werden.

## 6. Untersuchungen zur Korrosion der Verrohrung

Die in einem Teil der Bohrungen abschnittsweise verbliebene Verrohrung (vgl. Anlagen 3.1 und 3.2) verhindert für einen gewissen Zeitraum den möglichen Nachbruch des Gebirges in den entsprechenden Abschnitten. Dies ist vor allem für den Bereich der Unterkreideschichten, in denen bei nicht verrohrten Bohrlöchern verstärkt mit Nachbrucherscheinungen zu rechnen ist, von Bedeutung.

Wie die Ausführungen im Abschnitt 3 zeigen, ist der bei den betrachteten 25 Bohrungen im Bereich der Unterkreide im Bohrloch verbliebene Verrohrungsanteil im allgemeinen relativ gering. Auch hier können

Nachbrüche eintreten, wenn die Verrohrung entweder vollständig oder zumindest soweit korrodiert ist, daß eine Zerstörung der geschwächten Rohre durch den Gebirgsdruck (ggf. Quelldruck) eintritt.

Zur Korrosion der Verrohrung wurden Untersuchungen vom Institut für Metallkunde und Metallphysik der TU Clausthal [5] durchgeführt. Nach einer rechnerischen Abschätzung ist mit einem wahrscheinlichsten Wert für die Außenkorrosion der Rohre, die aus unlegiertem Stahl der Güte J-55 oder K-55 bestehen, von ca. 0,5 mm/1000 Jahre zu rechnen. Bei Wandstärken von ca. 7 bis 9 mm bedeutet dies einen Zeitraum von ca. 14.000 bis 18.000 Jahren für die vollständige Korrosion.

Zur Überprüfung, nach welchem Zeitraum eine Zerstörung der durch Korrosion geschwächten Rohre mit größerer Wahrscheinlichkeit eintreten kann, wurde vom Unterzeichnenden eine überschlägige Abschätzung für ein Rohr mit einem Außendurchmesser von 8 5/8" durchgeführt. In dieser Abschätzung wurde ermittelt, bei welcher Wandstärke im Stahl die Fließgrenze (ca. 380 N/mm<sup>2</sup>) bzw. die Festigkeit (ca. 550 N/mm<sup>2</sup>) erreicht wird, wenn von außen eine rotationssymmetrische Belastung von 5 MN/m<sup>2</sup> (z.B. Quelldruck) wirkt. Es ergibt sich unter diesen Annahmen, daß sich die o.g. Stahlspannungen bei einer Wandstärke der Verrohrung von ca. 1,5 mm (Fließgrenze) bzw. ca. 1,0 mm (Festigkeit) einstellen. Im Hinblick auf die anzunehmende ursprüngliche Wandstärke von ca. 7-9 mm bedeutet dies, daß die Rohre zu ca. 80-90 % korrodieren müssen, bevor eine größere Versagenswahrscheinlichkeit unterstellt werden kann. Auch bei einer ungleichförmigen Korrosion (z.B. punkt- oder linienförmig) kann nicht von einem früheren Verlust der bohrlochstabilisierenden Wirkung der Verrohrung ausgegangen werden.

## 7. Untersuchungen zur "Selbstabdichtung" der Bohrungen durch Zerfall der Gesteine

### 7.1 Laborversuche zum Zerfall der Proben sowie zum Quellverhalten (einschließlich Mineralogie)

Aufgrund vorliegender Erfahrungen, auf die im folgenden noch näher eingegangen werden soll, ist im Bereich der Unterkreideschichten (ggf. auch darunter) eine "Selbstabdichtung" der nicht bereits zuvor

mit Spülungssediment oder anderen Materialien gefüllten Bohrlochabschnitte zu erwarten. Dieser Annahme liegen die folgenden Vorstellungen zugrunde:

Es wird davon ausgegangen, daß die Bohrlöcher mit Wasser gefüllt sind und dadurch in einer begrenzten Zone um den Hohlraum herum allmählich eine Wassersättigung des Gesteins eintritt. Als Folge davon verringert sich die Gesteinsfestigkeit, die Kohäsion ( $c$ ) geht gegen null und der innere Reibungswinkel ( $\varphi$ ) nimmt ebenfalls ab. Gleichzeitig entfällt mit fortschreitender Sedimentation der Dickspülung deren stützende Wirkung oberhalb der Sedimentsäule. Der Vorgang der Festigkeitsverminderung wird im Bereich der Unterkreidetonsteine wahrscheinlich bereichsweise noch durch das Quellen des Gesteins beschleunigt. Infolge des Festigkeitsverlustes bricht das Gestein aus den Bohrlochwandungen örtlich heraus, zerfällt, sinkt im Bohrloch ab und sedimentiert. Auf diese Weise wird das Bohrloch verschlossen. Da ein Teil des nachfallenden Gesteins aus den Unterkreideschichten und in einigen Bereichen der Unterkreide auch das Bohrloch umgebende Gestein quellfähig sind, kann sich parallel zum Zerfall und zur Sedimentation im gefüllten Bohrloch ein Quelldruck ausbilden, wodurch die Abdichtung der Bohrung noch begünstigt wird.

Umfangreichere Versuche zum Zerfall von Gesteinen aus der Unterkreide wurden bereits 1985 von [6] durchgeführt. Im Rahmen dieser Untersuchungen wurde die Zerfallstabilität von Gesteinsproben mit dem in der Anlage 7.1.1 dargestellten Versuchsaufbau ermittelt. Die Gesteinsproben wurden mit Hilfe eines Siebes mit einer vorgegebenen Frequenz in die Versuchslösung (Wasser oder wässrige Lösung) eingetaucht und der im Sieb verbleibende Probenrückstand in bestimmten Zeitabständen gewogen. Bezieht man diesen Probenrückstand auf die Ausgangsmasse der Probe und trägt die Meßergebnisse über der Versuchsdauer auf, so ergeben sich die in der Anlage 7.1.2 für alle Einzelversuche zusammengefaßten Zerfallskurven. Die festgestellten Zerfallseigenschaften lassen sich nach Mederer durch 4 typische Kurvenverläufe charakterisieren (s. Anlage 7.1.2). Der Typ 1 kennzeichnet dabei die geringste Neigung zum Zerfall, während die Typen 3 und 4 die stärksten Zerfallseigenschaften aufweisen.

In den von [REDACTED] mit Wasser durchgeführten Standardversuchen (Versuchsdauer 12 Stunden) ergab sich, daß die Proben aus dem Alb zum größten Teil und etwa zu gleichen Anteilen den Zerfallstypen 2 und 3 zugeordnet werden konnten. In wesentlich geringerem Umfang ergaben sich bei den Proben aus dem Alb die Zerfallstypen 1 und 4.

Im Apt traten lediglich die Zerfallstypen 2 (20 %) und 3 (80 %) auf. Hierzu ist zu bemerken, daß die Probenanzahl aus dieser Formation sehr gering war.

Bei den Versuchen an Proben aus dem Barrême zeigten sich bei ca. 70 % der Proben Zerfallseigenschaften, die dem Typ 4 zuzuordnen sind. Die übrigen Proben aus dem Barrême (30 %) wurden beim Zerfallstyp 3 eingestuft.

Aus dem Hauterive wurde lediglich eine Probe untersucht (Oberhaute-  
rive), deren Zerfallskurvenverlauf keine signifikanten Unterschiede zum Zerfall der Barrêmeproben aufwies.

Aus den Ergebnissen der Versuche von [REDACTED] [6] ist zu erkennen, daß im Bereich der gesamten Unterkreide mit Zerfallerscheinungen der tonigen Gesteine zu rechnen ist.

Parallel zu den eigentlichen Zerfallsversuchen wurden von [REDACTED] mineralogische Untersuchungen durchgeführt, um die am Aufbau der Zerfallsstabilität beteiligten petrographischen Parameter zu bestimmen. Eine Prinzipskizze hierzu findet sich in der Anlage 7.1.3. Dort sind ebenfalls die verwendeten Analysemethoden angegeben. Als wesentliche Einflußfaktoren auf die Zerfallsstabilität der Unterkreidegesteine können die Tonmineralkationenkontakte, die Hydrathüllenkontakte, die Karbonatzementierung und die Verkieselung als Stabilitätserhöhende Faktoren und die Dispergierung durch Huminstoffkomplexe als Stabilitätserniedrigender Faktor genannt werden (s. Anlage 7.1.3).

In der Anlage 7.1.4 ist die von [REDACTED] ermittelte Rangfolge der einzelnen Bindungsarten bezogen auf die 4 Zerfallstypen angegeben.

Daraus geht hervor, daß die Kationenkontakte i.a. den größten Einfluß auf die Zerfallsstabilität haben. Sie werden charakterisiert durch die Gesamtkationenaustauschkapazität (KAK) und im einzelnen besonders durch den Anteil an austauschbaren Kaliumionen (Tonmineralkationenbindungen) und den Anteil an austauschbaren Natriumionen (Hydrathüllenkontakte). Der Einfluß der Karbonatzementierung und der Verkieselung dürfte i.a. deutlich geringer sein.

Der Einfluß der dispergierend wirkenden Huminstoffkomplexe, gekennzeichnet durch den Gehalt an organischem Kohlenstoff, zeigt sich i.w. nur beim Zerfallstyp 4, d.h. in nennenswertem Umfang nur bei den Proben aus dem Barrême.

Die vorstehend beschriebenen Zerfallsversuche von Mederer [6] sowie die begleitenden mineralogischen Untersuchungen sollen auch bei der vorliegenden Problemstellung zur Anwendung kommen. Die Interpretation der Zerfallerscheinungen anhand der Mineralogie ist dabei vor allem für die Extrapolation der Versuchsergebnisse von Bedeutung.

Zur Simulation der Selbstabdichtungsvorgänge im Bohrloch sind weitere Zerfallsversuche im Labor vorgesehen, bei denen auch die Sedimentations- und Quellvorgänge mit einbezogen werden. Hierzu werden Proben nach einer groben Zerkleinerung in mit Wasser gefüllte Standzylinder eingefüllt. Wie auch die Ergebnisse von derartigen bereits durchgeführten Vorversuchen an Proben aus der Bohrung Konrad 101 (aus dem Alb, Barrême und Hauterive) gezeigt haben, ist in diesen Versuchen der Zerfall und die Sedimentation der Proben zu erwarten. In den Vorversuchen zeigten sich auch zumindest bei einem Versuch (Probenmaterial aus dem Unteralb) deutliche Quellerscheinungen. Nach der Konsolidierung der Proben unter Eigengewicht bzw. einer definierten Auflast erfolgt die Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit (s. Abschnitt 7.2).

Zur quantitativen Bestimmung der Quelleigenschaften werden im Labor Quellversuche im Kompressionsgerät an Proben aus den Unterkreideschichten durchgeführt. Es kommen Quellversuche nach XXXXXXXXXX (Bestimmung der Quelldehnungen bei veränderlichen Belastungen), Quellhebungsversuche (Bestimmung der Quelldehnung bei konstanter

Minimallast) und Quelldruckversuche (Bestimmung des Quelldrucks bei verhinderter Quelldehnung) zur Ausführung. Bezüglich der ersten vorliegenden Ergebnisse dieser Versuche an Proben aus einer der horizontalen Vorbohrungen im Schacht Konrad 2 wird auf den Bericht [7] verwiesen.

## 7.2 Laborversuche zur Wasserdurchlässigkeit der zerfallenen Proben

Aus den Ausführungen im Abschnitt 2 geht hervor, daß für den Nachweis der Dichtigkeit der alten Bohrungen eine Verfüllung im Bereich der Unterkreide mit einem Durchlässigkeitsbeiwert von etwa  $k_f = 10^{-5} \text{ m/s}$  zu fordern ist. Eine teilweise Verfüllung des Bohrlochs im Bereich der Unterkreide mit einer entsprechend geringeren Durchlässigkeit ist als äquivalent anzusehen.

Wie bereits im Abschnitt 7.1 beschrieben, werden hierzu kombinierte Zerfalls-/Wasserdurchlässigkeitsversuche im Labor durchgeführt. Die bereits erwähnten Vorversuche an Proben aus der Bohrung Konrad 101 erbrachten im konsolidierten Zustand (Auflast ca.  $500 \text{ kN/m}^2$ )  $k_f$ -Werte zwischen ca.  $2 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$  und  $1 \cdot 10^{-9} \text{ m/s}$ . Für die Probe, die die ausgeprägten Quellerscheinungen zeigte, liegt der Wasserdurchlässigkeitsbeiwert bisher nicht vor. Er dürfte aber eher geringer als die o.g. Werte sein.

## 7.3 Auswertung von Kalibermessungen in bereits ausgeführten Bohrungen (Konrad 101)

In der Anlage 7.3.1 sind die Ergebnisse des 4-Arm-Kaliberlogs in der Bohrung Konrad 101 [8] für den Bereich der Unterkreideschichten als Mittelwerte der einzelnen Meßrichtungen dargestellt. Daraus geht hervor, daß vor allem im Bereich des Barrême und des Hauterive große Auskesselungen des Bohrlochs bis zum ca. 2-3-fachen des planmäßigen Bohrlochdurchmessers vorliegen. Auch in einem kleineren Bereich in der Mitte des Oberalbs zeigen sich Auskesselungen in dieser Größenordnung. In den übrigen Bereichen des Alb sind die Aufweitungen des Bohrlochs deutlich geringer und betragen i.a. weniger als der halbe Solldurchmesser der Bohrung.

Derartige Auskesselungen können zum einen auf ein engständiges, ausgeprägtes Trennflächengefüge mit ungünstig orientierter Raumstellung der Trennflächen und zum anderen auf eine geringe einaxiale Druckfestigkeit der Gesteine zurückgeführt werden. Im vorliegenden Fall erscheint eher der Einfluß der geringen Festigkeit wahrscheinlich, wobei von einem Festigkeitsverlust (Zerfall) der Gesteine im Verlauf der Bohrarbeiten ausgegangen wird.

Aus diesem Grunde wird versucht, die durch das Kaliberlog in der Bohrung Konrad 101 dokumentierten Nachbrucherscheinungen im Bereich der Unterkreide anhand der vorliegenden Analyseergebnisse (mineralogische Untersuchungen) [9] zu interpretieren. Die Interpretation ist im einzelnen in der Anlage 7.3.1 wiedergegeben und dem Kaliberlog unmittelbar gegenübergestellt. Auf die Wiederholung der dort aufgeführten Angaben soll an dieser Stelle verzichtet werden.

Die zur Interpretation verwendeten Analyseergebnisse sind im einzelnen in den Anlagen 7.3.2 und 7.3.3 dargestellt. Es handelt sich dabei um die bereits im Abschnitt 7.1 näher beschriebenen und als maßgeblich eingestuften Parameter mit Einfluß auf die Zerfallsstabilität.

Es zeigt sich, daß die beobachteten Nachbrucherscheinungen relativ gut mit den Ergebnissen der mineralogischen Untersuchungen erklärt werden können. Weiterhin kann davon ausgegangen werden, daß auch für andere Bohrungen anhand der Ergebnisse von Zerfallsversuchen und mineralogischen Untersuchungen im Labor an typischen Proben aus der Unterkreide Rückschlüsse auf die Standsicherheit der Bohrlöcher gezogen werden können.

#### **7.4 Berechnungen zur Standsicherheit unverrohrter Bohrungen unter Berücksichtigung des Einflusses der Gesteinsfestigkeit, von Trennflächen und des Zerfalls**

Während des Bohrvorganges werden die Bohrlöcher i.a. durch die Dickspülung oder abschnittsweise auch durch (temporäre) Verrohrung gestützt. Auf diese Weise wird der unerwünschte Nachbruch eingeschränkt, was jedoch nicht immer gelingt (vgl. Bohrung Konrad 101).

Nach Abschluß der Bohrarbeiten wird die Verrohrung i.a. weitgehend gezogen. Die Dickspülung sedimentiert im unteren Teil der Bohrung (bzw. eines Bohrlochabschnittes) und verliert im oberen Teil ihre stützende Wirkung.

Qualitative Abschätzungen zum Nachbruch in den Bohrlöchern wurden bereits im vorhergehenden Abschnitt erläutert. Zur quantitativen Abschätzung sollen Standsicherheitsberechnungen nach der Methode der Finiten Elemente durchgeführt werden. Hierbei soll der Einfluß der Trennflächen und der Gesteinsfestigkeit berücksichtigt werden. Da sich der Zerfall in einer Verminderung der Gesteinsfestigkeit, vor allem im Verlust der Kohäsion äußert, kann auch dieses Phänomen auf diese Weise rechnerisch erfaßt werden. Weiterhin kann der Einfluß des Quellens auf die Standsicherheit des Bohrlochs berücksichtigt werden.

Die Standsicherheitsberechnungen sollen der möglichst realistischen Abschätzung des für die Selbstabdichtung der Bohrlöcher erforderlichen Nachfalls dienen. Die Einflüsse der einzelnen Parameter können anhand der Berechnungsergebnisse zuverlässig abgeschätzt werden, so daß Prognosen für gebirgsmechanisch zu unterscheidende Bereiche ermöglicht werden.

Mit den Berechnungen soll in Kürze begonnen werden.

#### 7.5 In-situ-Versuche zum Zerfall des Gesteins und zur Selbstabdichtung der Bohrungen

Die Ergebnisse der theoretischen Überlegungen sollen im 1:1 Versuch in Bohrlöchern überprüft und nachgewiesen werden. Weiterhin sollen als Eingangsparameter für die Berechnungen die die Standsicherheit der Bohrlöcher beeinflussenden Gebirgs- und Gesteinskennwerte auch in situ bestimmt werden. Dies sind im wesentlichen die Gebirgsverformbarkeit (E), die Primärspannungen und die Quellparameter.

Die erforderlichen Feldversuche [1] sollen in den Bohrlöchern, die in der Sohle der beiden vom Schacht 2 aus aufzufahrenden Versuchsstrecken vorgesehen sind, durchgeführt werden.

Zur Bestimmung des Primärspannungszustandes im Gebirge sollen in einer der Vertikalbohrungen in verschiedenen Teufen Spannungsmessungen nach der Überbohrmethode durchgeführt werden. Bei diesen Versuchen, die im Zuge des Abteufens der Bohrung durchgeführt werden, wird von der jeweiligen temporären Bohrlochsohle aus ein koaxiales Pilotloch gebohrt, dessen Durchmesser und Länge sich nach der Ausführung der einzusetzenden Meßsonde (z.B. BGR-Sonde, Triaxialzelle) richtet. Nach dem Einsetzen der Meßsonde wird die Pilotbohrung mit einem Doppelkernrohr überbohrt und die aus der Entspannung resultierenden Dehnungen oder Radialverschiebungen des Kerns gemessen. Für die Auswertung der Versuche ist die Kenntnis der Elastizitätskonstanten des Gesteins erforderlich.

In den Teufenbereichen, in denen die Primärspannungsmessungen vorgesehen sind, sollten wenn möglich auch Dilatometerversuche durchgeführt werden, die eine Ermittlung des Verformungsmoduls des Gebirges erlauben. Bei diesen Versuchen wird ein bereits abgeteuftes Bohrloch durch Aufbringen eines Innendruckes über eine bestimmte Länge, die von der einzusetzenden Sonde abhängt, in radialer Richtung aufgeweitet. Aus der in Abhängigkeit vom Innendruck auftretenden Durchmesseränderung des Bohrlochs läßt sich der Verformungsmodul des Gebirges näherungsweise ermitteln.

Um das Quellverhalten der Gesteine der Unterkreideschichten und damit die Abdichtung der alten Tiefbohrungen beurteilen zu können, sind in den in größerer Entfernung vom Schacht 2 liegenden Vertikalbohrungen in-situ-Quellversuche vorgesehen.

Mit diesen Versuchen sollen die Quelldehnung und der Quelldruck unter dem in der jeweiligen Teufe herrschende Primärspannungszustand ermittelt werden. Nach dem Abteufen einer Kernbohrung mit Luftspülung wird zunächst das Bohrloch mit einer Kalibersonde befahren und der Bohrlochdurchmesser in verschiedenen Teufen ermittelt. Anschließend wird das Bohrloch mit Süß- bzw. Salzwasser bewässert und in regelmäßigen Zeitabständen wiederum mit der Kalibersonde befahren. Die zeitliche Veränderung des Bohrlochdurchmessers liefert ein Maß für die Quelldehnung des Gesteins. Dieser Versuch eignet sich in gleicher Weise für eine Abschätzung der Zerfallseigenschaften der Unter-

kreidegesteine und damit der Stabilität einer unverrohrten Bohrung. Daneben sollten zur visuellen Beurteilung der Standsicherheit des Bohrlochs Befahrungen mit einer Fernsehsonde durchgeführt werden

Um alternativ den bei Wasserzutritt in den Gesteinen der Unterkreide sich aufbauenden Quelldruck abschätzen zu können, ist ein weiterer Feldversuch vorgesehen. Nach dem Abteufen wird das unverrohrte Bohrloch mit Wasser gefüllt und unmittelbar danach ein Spannungsmeßgerät eingebaut. Als für diese Versuche besonders geeignet wird ein Pressiometer angesehen, bei dem eine Kautschukblase mit Hilfe einer Druckflüssigkeit gegen die Bohrlochwand gedrückt wird. Durch Messung des quellbedingten Druckanstieges in der Kautschukblase bei konstantem Volumen kann auf den radial wirkenden Quelldruck aus dem Gebirge geschlossen werden. Alternativ zum Pressiometer ist der Einsatz von biaxialen Spannungsmeßgeräten denkbar, die von verschiedenen Meßgeräteherstellern (z.B. Scanrock u. Maihak) angeboten werden.

Wichtig für die Beurteilung der Dichtigkeit der alten Tiefbohrungen ist die Kenntnis der Durchlässigkeit des in nicht standsicheren Bohrlöchern sedimentierten Nachfallmaterials. Um diese Durchlässigkeit abschätzen zu können, ist ein einfacher Feldversuch in einer der Vertikalbohrungen außerhalb der Auflockerungszone des Schachtes vorgesehen. Nach dem Abteufen der Bohrung wird in das unverrohrte Bohrloch ein PVC-Rohr eingesetzt, das in eine Filterschicht am Fuß des Bohrloches einbindet. Anschließend wird die Bohrlochtiefe registriert und das Bohrloch mit Wasser gefüllt. Neigen die entlang des Bohrloches anstehenden Gesteine zum Zerfall, so wird sich das Bohrloch allmählich mit Nachfallmaterial füllen. In bestimmten Zeitabständen lassen sich dann einfache Durchströmungsversuche (von unten nach oben) in dem sedimentierten Nachfallmaterial durchführen, indem man in dem PVC-Rohr ein höheres Druckpotential erzeugt als im Bohrloch und die pro Zeiteinheit eintretende Wassermenge mißt.

## **8. Beschreibung des Zustandes der Bohrungen in der Nachbetriebsphase des Endlagers**

Der Zustand der Bohrungen bei Beendigung der Bohrarbeiten (s. Abschnitt 3) kann für längere Zeiträume nicht als maßgebend angesehen

werden. Veränderungen des Zustandes treten infolge der Sedimentation der Dickspülung (vgl. Abschnitt 4) und der Selbstabdichtungsvorgänge der Bohrungen (vgl. Abschnitt 7) ein. Bezogen auf die im Zusammenhang mit der Endlagersicherheit zu betrachtenden Zeiträume dürften diese Vorgänge vergleichsweise schnell erfolgen. Beeinflußt werden diese Vorgänge durch die Beständigkeit bzw. den Zerfall der Zementbrücken (vgl. Abschnitt 5) sowie durch die bereichsweise in einigen Bohrlöchern verbliebenen Verrohrung (vgl. Abschnitt 6). Zum Zerfall der Zementbrücken können bislang keine belastbaren Aussagen gemacht werden, insbesondere nicht in zeitlicher Hinsicht. Bei den folgenden Betrachtungen wird jedoch grundsätzlich von einem Zerfall des Zementsteins ausgegangen, da dies als konservative Annahme eingeschätzt wird. Die Korrosion der Verrohrung ist nach den derzeitigen Erkenntnissen als lang andauernder Vorgang einzustufen, wobei größenordnungsmäßig von einer bohrlochstabilisierenden Wirkung der Verrohrung über einen Zeitraum von ca. 10000 Jahren ausgegangen werden kann (vgl. Abschnitt 6).

Im folgenden wird versucht, Ansätze für die sedimentierte Dickspülung unter Berücksichtigung der Bohrlochverfüllung zu formulieren. Die Ansätze stellen Grenzfälle dar, wobei wie erwähnt immer davon ausgegangen wird, daß die in einigen Bohrungen vorhandenen Zementverfüllungen nicht auf Dauer beständig sind.

In der Anlage 8.1 ist eine Prinzipdarstellung möglicher Ansätze zur Ermittlung der Sedimentationshöhe bzw. der auf die Höhenlage der Basis der Unterkreideschicht bezogenen Sedimentationshöhe b angegeben. Für eine fiktive Modellbohrung, in die nach Beendigung der Bohrarbeiten 2 Zementbrücken und im oberen Teil eine Verfüllung aus Bohrklein eingebracht wurden, werden die 4 Fälle A bis D unterschieden.

Der Fall A entspricht der vom Leichtweiß-Institut gewählten Vorgehensweise. Wie erwähnt wird dabei der Zustand der Bohrung nach Beendigung der Bohrarbeiten nicht berücksichtigt. Unabhängig von einer evtl. eingebrachten Verfüllung wird davon ausgegangen, daß die Bohrung vom Bohrlochtiefsten bis zur Geländeoberfläche mit Dickspülung

gefüllt ist. Unter Verwendung des bereits genannten Sedimentationsanteils von 44,4 % ergibt sich hieraus die Höhe der Säule aus Spülungssediment. Bezogen auf die Basis der Unterkreide läßt sich die Sedimentationshöhe  $b_A$  angeben, die einen positiven Wert annimmt, falls die Sedimentsäule oberhalb der Unterkreidebasis endet. Wenn die Sedimentationssäule unterhalb der Unterkreidebasis endet, nimmt  $b_A$  einen negativen Wert an. Je nach Anzahl, Lage und Ausdehnung der Zementbrücken und der mit Bohrklein verfüllten Abschnitte können sich im Fall A mehr oder weniger große Abweichungen zu den realen Verhältnissen ergeben. Es sollten daher die Angaben zum Zustand der Bohrungen nach Beendigung der Bohrarbeiten berücksichtigt werden.

Im Fall B wird davon ausgegangen, daß die Zementbrücken für den vergleichsweise kurzen Zeitraum der Sedimentation der Spülung erhalten bleiben. Die Dickspülung sedimentiert demzufolge stockwerksweise, wobei innerhalb der einzelnen Stockwerke ein Sedimentationsanteil von 44,4 % zugrunde gelegt wird. In einem nicht näher anzugebenden Zeitraum verlieren die Zementbrücken ihre Festigkeit und setzen sich ebenfalls als Sediment ab. Im Fall B wird davon ausgegangen, daß das verfestigte Spülungssediment dennoch seine Höhenlage innerhalb der Bohrung auf Dauer beibehält. Gemäß der Darstellung in der Anlage 8.1 läßt sich auch für diesen Fall eine auf die Basis der Unterkreide bezogene Sedimentationshöhe  $b_B$  angeben.

Im Fall C (s. Anlage 8.1) wird im Gegensatz zum Fall B angenommen, daß sich auf Dauer sowohl die Sedimente der Dickspülung als auch die der zersetzten Zementbrücken im unteren Teil der Bohrung sammeln und eine durchgehende Säule bilden. Das Volumen der ursprünglichen Zementbrücken soll dabei auch in der zersetzten Form vollständig erhalten bleiben. Bezogen auf die Basis der Unterkreide läßt sich die Sedimentationshöhe  $b_C$  des Spülungssediments angeben.

Der Fall D unterscheidet sich vom Fall C dadurch, daß die zersetzten Zementbrücken auf Dauer gelöst und ausgetragen werden. Das Volumen des Zementes steht somit zur Verfüllung des Bohrlochs nicht mehr zur Verfügung. Auch hier läßt sich eine auf die Basis der Unterkreide bezogene Sedimentationshöhe  $b_D$  angeben (s. Anlage 8.1).

Der Fall D stellt eine konservative Annahme bezüglich der wirksamen Sedimentationshöhe  $b$  dar. In der Realität dürfte ein Mischsystem aus den Fällen B, C und D eintreten. Weiterhin dürfte sich in die sedimentierende Bohrspülung bereichsweise Nachfall aus nicht standsicheren Bohrlochabschnitten einlagern. Da das auf jeden Fall sehr gering durchlässige Dickspülungssediment in solchen Fällen weiter nach oben in den Bereich der Unterkreide verlagert wird, ist die Vermischung des Sediments mit Nachfall i.a. günstiger einzustufen, als die auf der Anlage 8.1 dargestellten Fälle. An dieser Stelle wird daher nicht weiter auf diese Möglichkeit eingegangen, zumal sie sich quantitativ nicht erfassen läßt.

Für die betrachteten 25 alten Tiefbohrungen wurden gemäß der Prinzipdarstellung in der Anlage 8.1 die für die Fälle C und D ermittelten Sedimentationshöhen den in den Berechnungen von COLENCO getroffenen Annahmen bezüglich der "versetzten" Bohrlochabschnitte gegenübergestellt. Die graphische Darstellung dieser Gegenüberstellung findet sich in den Anlagen 8.2 und 8.3. Hierbei ist zu berücksichtigen, daß die Auswertungen unter der Annahme eines konstanten Bohrl Lochdurchmesser über die gesamte Bohrtiefe erfolgten. Sobald zuverlässige Angaben über die i.a. gestaffelten Bohrl Lochdurchmesser vorliegen, soll die dargestellte Auswertung entsprechend überarbeitet werden. Auf eine Bewertung der dargestellten Auswertungen soll daher an dieser Stelle noch verzichtet werden.

Im Hinblick auf die Verfüllung von Bohrlochabschnitten mit Nachfall (vgl. Abschnitt 7), wurde eine Volumenbetrachtung durchgeführt, die in der Anlage 8.4 dargestellt ist. Daraus kann in Abhängigkeit vom Verhältnis der Bohrl Lochdurchmesser im Nachbruchbereich und im zu füllenden Bereich und vom Auflockerungsfaktor das Verhältnis zwischen der Höhe des verfüllten und des nachgebrochenen Bereiches abgelesen werden. Der Auflockerungsfaktor ergibt sich aus dem Verhältnis der Wichte der aufgelockerten Füllung und der Wichte des anstehenden Gebirges. Unter den in der Anlage 8.4 dargestellten Annahmen ergeben sich Auflockerungsfaktoren von ca. 1,2 - 1,4. Nimmt man beispielsweise an, daß der Durchmesser im nachgebrochenen Bereich etwa

das 2 - 2,5-fache des Durchmessers im zu verfüllenden Bereich be-  
trägt, so ergibt sich, daß mit dem über 1 m Höhe eintretenden Nach-  
bruch etwa die 4 - 7-fache Bohrlochlänge verfüllt werden kann.  
Quellerscheinungen oder weiterreichende Auflockerungen um das Bohr-  
loch herum wurden hierbei noch nicht berücksichtigt.

Weiterführende quantitative Betrachtungen hinsichtlich der Selbst-  
abdichtung der Bohrungen sollen anhand der Ergebnisse des geplanten  
Untersuchungsprogramms [1] angestellt werden (vgl. Abschnitt 7).

Von Bedeutung ist hierbei auch die im Bohrloch verbliebene Verroh-  
rung, die für längere Zeiträume die entsprechenden Bohrlochabschnit-  
te stützt und in diesen Bereichen den Nachbruch verhindert. Die im  
Bereich der Unterkreideschichten verbliebenen Verrohungsabschnitte  
sind in den Anlagen 8.2 und 8.3 gekennzeichnet. Verrohrte Bohrloch-  
abschnitte im Bereich der Unterkreide mit Längen um ca. 300 m finden  
sich in den Bohrungen Konrad 101 und Bleckenstedt 1. Bei der Bohrung  
Konrad 101 ist die Frage der Verrohrung im Zusammenhang mit der Fra-  
ge der Beständigkeit des Zementes zu sehen. Bei der Bohrung Blecken-  
stedt 1 ist die Verrohrung insbesondere im Hinblick auf den Standort  
im Grubengebäude sowie das unterhalb der Unterkreidebasis endende  
Spülungssediment als sehr ungünstig zu bewerten. Bei den übrigen 6  
Bohrungen, bei denen im Bereich der Unterkreide Verrohrung verblie-  
ben ist, wird der Einfluß dieser Verrohrung als relativ geringfügig  
eingestuft. Dies zum einen im Hinblick auf die kürzeren Verrohungs-  
längen (ca. 40 - 140 m) und zum anderen im Hinblick auf die vergli-  
chen mit den Korrosionszeiten vermutlich längeren Fließzeiten zu  
diesen weiter vom Grubengebäude entfernten Bohrungen.

### 9. Durchführung modifizierter Ausbreitungsrechnungen anhand der in den Untersuchungen gewonnenen Erkenntnisse

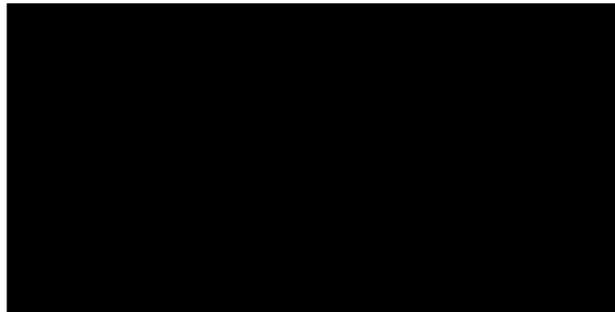
Nach dem Vorliegen belastbarer Aussagen hinsichtlich der Sedimenta-  
tion der Bohrspülung, der Beständigkeit der Zementbrücken und der  
Selbstabdichtungsvorgänge im Bohrloch (Nachfall, Sedimentation,  
Quellen) im Verlauf des Untersuchungsprogramms sind die hydraulischen  
Berechnungen zur Grundwasserbewegung und die Radionuklidaus-

breitungsrechnungen auf der Grundlage der an die Untersuchungsergebnisse angepaßten Berechnungsannahmen ggf. zu ergänzen. Falls die Untersuchungen zeigen, daß keine wesentliche Veränderung der Berechnungsannahmen erforderlich ist, kann hierauf verzichtet werden.

#### 10. Aufwältigung von Bohrungen

Zur Erfordernis der Aufwältigung von Bohrungen können derzeit noch keine Angaben gemacht werden. Die Aufwältigung und problemgerechte Verfüllung kann evtl. für einzelne Bohrungen erforderlich werden, für die der Nachweis der Dichtigkeit nicht auf die in den vorstehenden Abschnitten beschriebene Weise erbracht werden kann.

Aachen, den 20.12.1989



## Literaturverzeichnis

- [1] Erläuterung der zur Dichtigkeit der alten Bohrungen und der Schachtverschlüsse geplanten Untersuchungen und Versuche, Prof. Dr.-Ing. W. Wittke, Beratende Ingenieure für Grundbau und Felsbau GmbH, Aachen, Juni 1989
- [2] Schachtanlage Konrad: Modellrechnungen mit dem Programm FEM301 für ein alternatives geologisches/hydrogeologisches Modell, Auswirkungen der bestehenden Tiefbohrungen  
Band I: Textteil  
Band II: Tabellen und Abbildungen  
Colenco, Baden/Schweiz, Entwurf August 1989
- [3] Schachtanlage Konrad: Einfluß der bestehenden Tiefbohrungen und des Schachtverschlusses  
Modellierung der Radionuklid ausbreitung  
Band I : Textteil  
Band II: Tabellen und Abbildungen  
Colenco, Baden/Schweiz, Entwurf August 1989
- [4] Plan Endlager für radioaktive Abfälle Schachtanlage Konrad; Erläuternde Unterlage zu Kapitel 3.9.5; Tiefbohrungen im modellierten Gebiet der Ausbreitungsrechnungen KONRAD; Physikalisch-Technische Bundesanstalt (G. Grüneberg), Braunschweig, Juli 1987  
Teil A: Beschreibung und Darstellung der Verfüllung  
Teil B: Ermittlung von Wasserdurchlässigkeiten und Abschätzung von Sedimentationsraten (Leichtweiss-Institut für Wasserbau der TU Braunschweig, 4/87)
- [5] Korrosion von im Bohrloch verbliebener Verrohrung, Prof. Dr. E. Heusler, Abt. Korrosion und Korrosionsschutz des Instituts für Metallkunde und Metallphysik an der TU Clausthal, November 1988

- [6] Über den Einfluß von Wasser und wässrigen Lösungen auf die Zerfallstabilität ausgewählter pelitischer Sedimente der Unterkreide in Südost-Niedersachsen, Dissertation J. Mederer an der Ludwig-Maximilians-Universität München, 1985
  
- [7] Darstellung der Nachweisführung zur Dichtigkeit der Schachtverschlüsse, Zwischenbericht, Prof. Dr.-Ing. W. Wittke, Beratende Ingenieure für Grundbau und Felsbau GmbH, Nov. 1989 (Entwurf)
  
- [8] Bohrung Konrad 101, Teil I (Geologischer Bericht) und Teil II (Schichtenverzeichnis), Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover, September 1986
  
- [9] Bohrung Konrad 101, Laborbericht, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover, August 1985

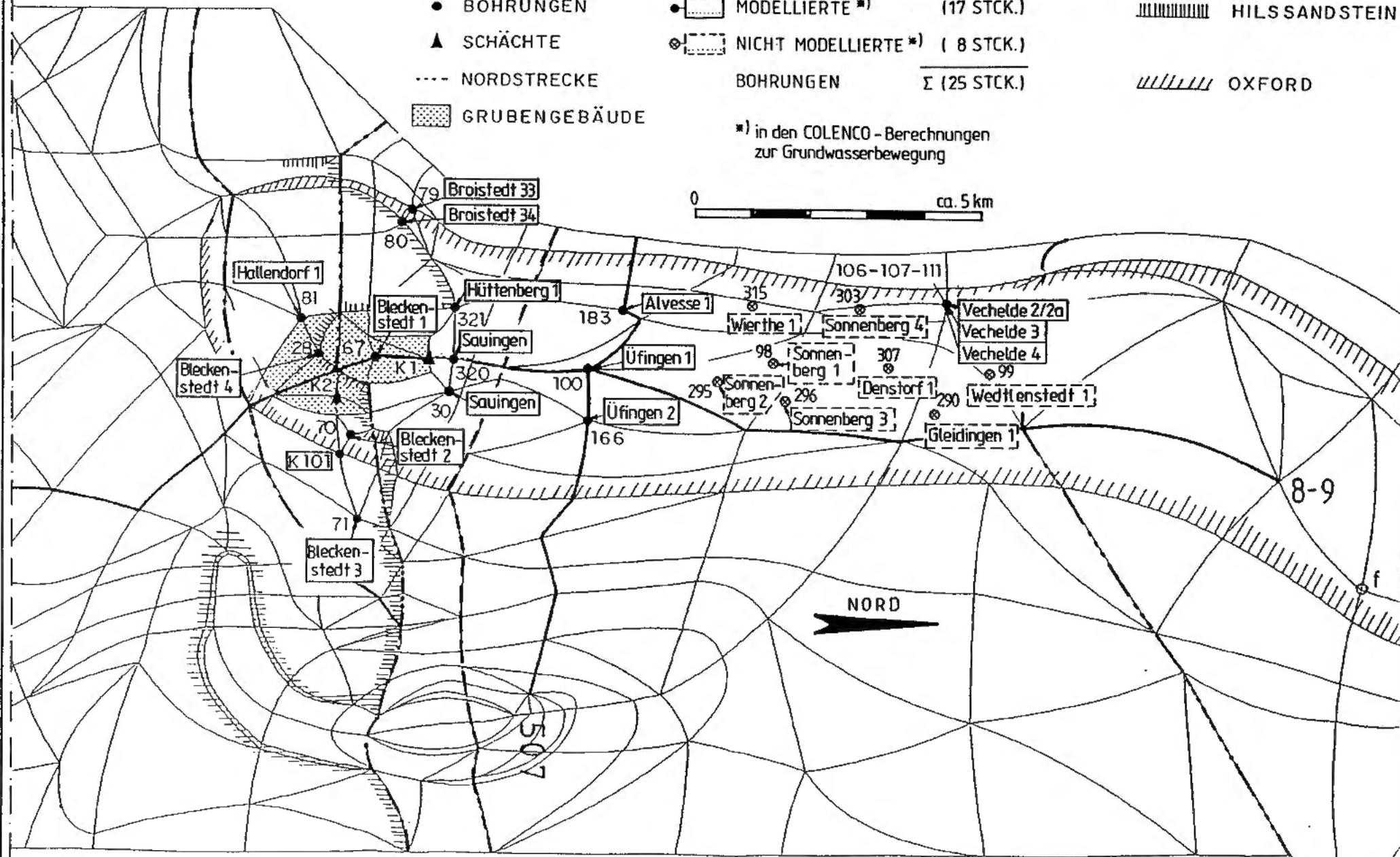
LEGENDE:

- BOHRUNGEN
- ▲ SCHÄCHTE
- NORDSTRECKE
- ▨ GRUBENGEBÄUDE

- [ ] MODELLIERTE \*) (17 STCK.)
- ⊙ [ ] NICHT MODELLIERTE \*) ( 8 STCK.)
- BOHRUNGEN Σ (25 STCK.)

- [ ] HILSSANDSTEIN
- [ ] OXFORD

\*) in den COLENCO - Berechnungen zur Grundwasserbewegung

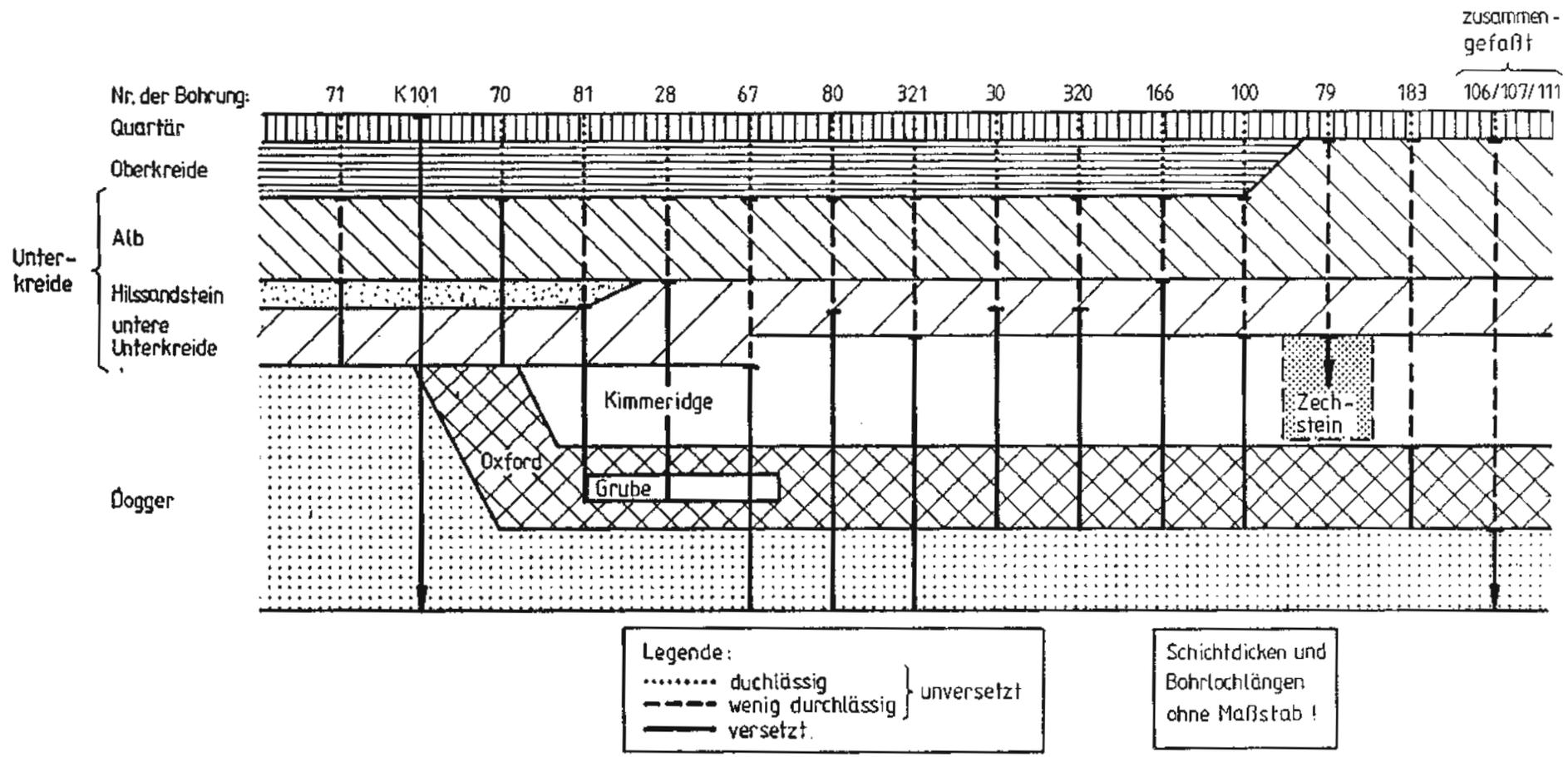


COLENCO - Element z (Südabschnitt) und Lage der 25 relevanten alten Bohrungen

Meßtisch- blatt TK25	Bo.-Nr.	Bohrung	E.T.  [m]	Basis*) U.kr.  [m]	Oberk. *) U.kr.  [m]	Dicke *) U.kr.  [m]	in COLENCO- Berechnun- gen berück- sichtigt	
3828	67	Bleckenstedt 1	1200,3	683,5	267,0	416,5	x	
	70	Bleckenstedt 2	691,0	592,0	253,0	339,0	x	
	71	Bleckenstedt 3	801,1	562,0	268,0	294,0	x	
	28	Bleckenstedt 4	1063,2	745,0	273,0	472,0	x	
	79	Broistedt 33	753,0	404,5	1,5	403,0	x	
	80	Broistedt 34	1198,0	833,0	25,0	808,0	x	
	81	Hallendorf 1	1315,2	903,0	345,0	558,0	x	
	321	Hüttenberg 1	1548,5	870,0	148,0	722,0	x	
	-	Konrad 101	1001,8	626,0	250,0	376,0	x	
	30	Sauingen 1	1099,7	756,5	255,0	501,5	x	
3828	320	Sauingen 2	1221,8	789,0	215,0	574,0	x	
3728	183	Alvesse 1	1376,5	480,0	40,0	440,0	x	
	307	Denstorf 1	994,6	708,0	25,0	683,0		
	290	Gleidingen 1	820,8	688,0	76,0	612,0		
	98	Sonnenberg 1	1137,4	720,0	93,0	627,0		
	295	Sonnenberg 2	1082,0	730,0	190,0	540,0		
	296	Sonnenberg 3	966,8	745,0	185,0	560,0		
	303	Sonnenberg 4	1176,2	550,0	26,5	523,5		
	100	Üfingen 1	1239,0	683,0	175,0	508,0	x	
	166	Üfingen 2	1010,7	695,0	250,0	445,0	x	
	106	Vechelde 2/2a	1853,3	546,0	30,0	516,0	x	
	107	Vechelde 3	1863,4	600,0	30,0	570,0	x	
	111	Vechelde 4	1816,8	600,0	30,0	570,0	x	
	99	Wedtlenstedt 1	926,3	694,0	34,0	660,0		
	3728	315	Wierthe 1	1274,7	575,0	28,0	547,0	

\* gem. Bohrakten

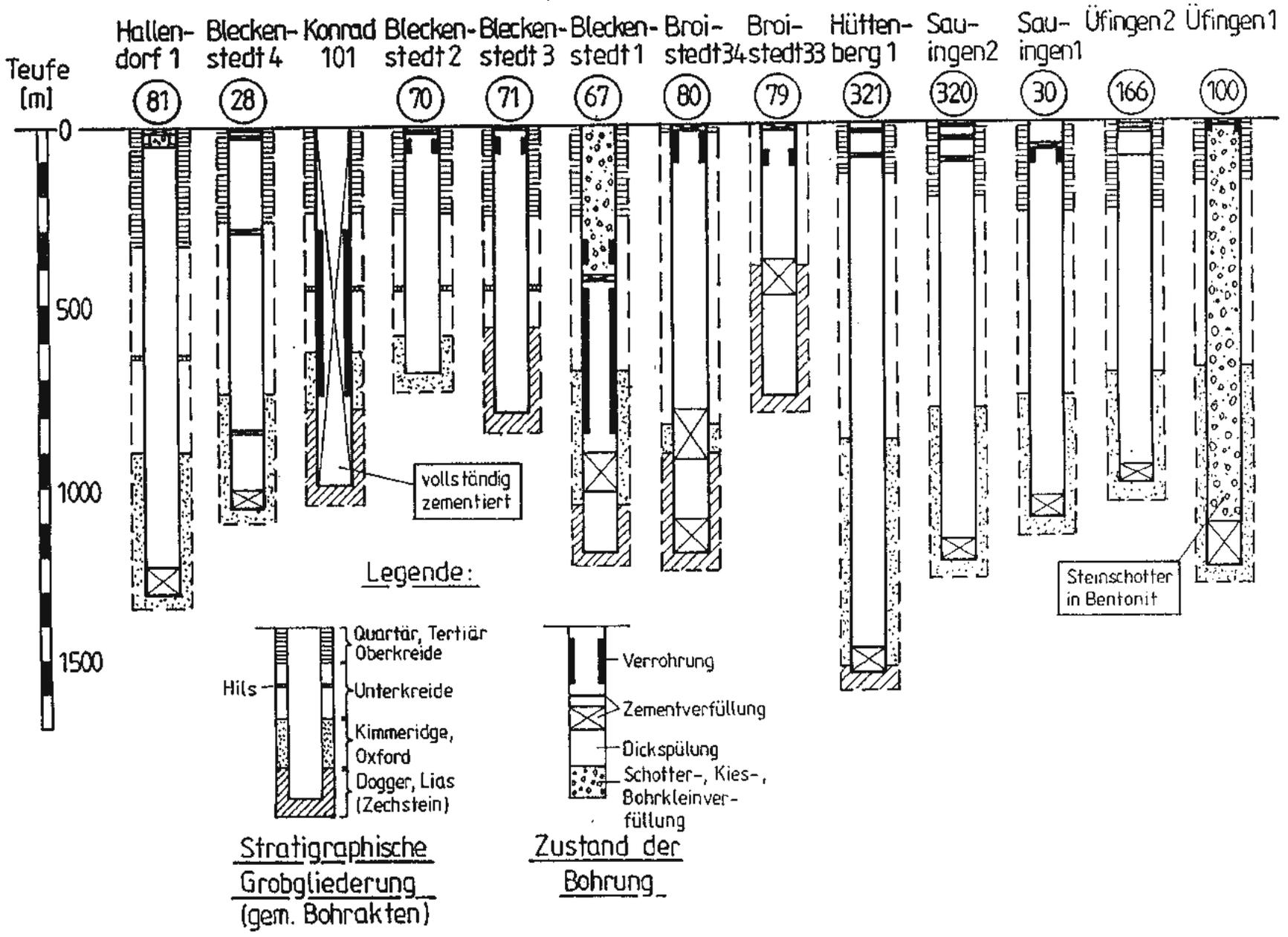
Zusammenstellung der 25 relevanten alten Bohrungen



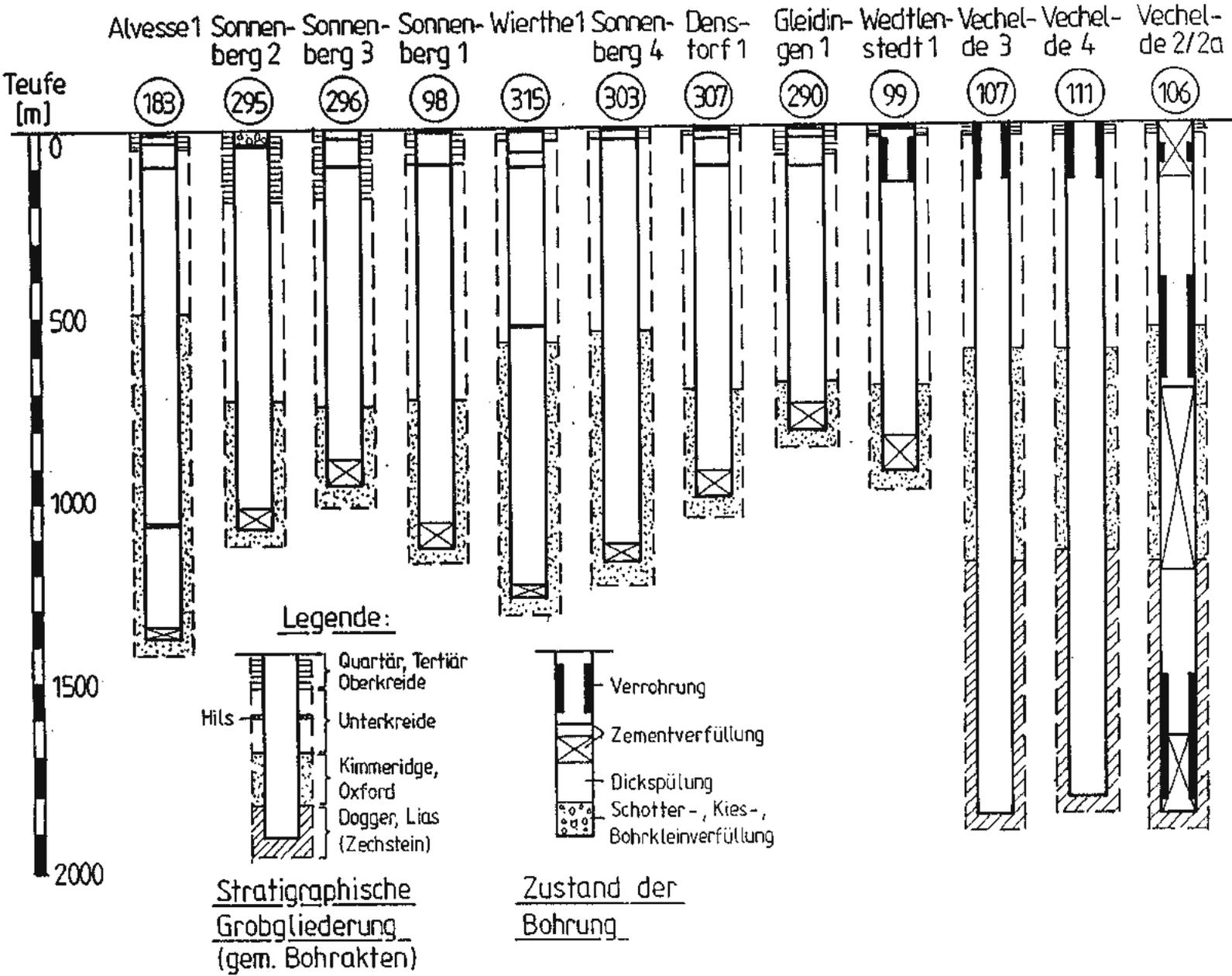
## Schematische Übersicht der in den COLENCO-Berechnungen modellierten Bohrungen

Schachanlage Konrad	Alte Bohrungen
Anlage 2.3	Dez. 1989

# Zustand der 25 relevanten Bohrungen nach Beendigung der Bohrarbeiten (Teil 1)



Schachanlage Konrad Alte Bohrungen	Anlage 3.1 Dez. 1989
---------------------------------------	-------------------------



Zustand der 25 relevanten Bohrungen nach Beendigung der Bohrarbeiten (Teil 2)

Bo.-Nr.	Bohrung	Bezeichnung der Dickspülung	Dichte der Dickspülung $\rho_A^{SP}$ [t/m <sup>3</sup> ]
67	Bleckenstedt 1	Normal	1,25
70	Bleckenstedt 2	Normal	1,30
71	Bleckenstedt 3	Normal	1,35
28	Bleckenstedt 4	Rotkalk	1,30
79	Broistedt 33	Kreide + Antisol H	1,30
80	Broistedt 34	Ton + Zusätze	1,30
81	Hallendorf 1	Spezial	1,22
321	Hüttenberg 1	Ton	1,31
-	Konrad 101	-	-
30	Sauingen 1	K.A.	K.A.
320	Sauingen 2	K.A.	K.A.
183	Alvesse 1	Ton	1,24
307	Denstorf 1	Ton	1,28
290	Gleidingen 1	Ton	1,26
98	Sonnenberg 1	Ton + Tylose + Soda	1,29
295	Sonnenberg 2	Spezial	1,24
296	Sonnenberg 3	Ton	1,20
303	Sonnenberg 4	Ton	1,38
100	Üfingen 1	Bentonit	1,25
166	Üfingen 2	Ton	1,27
106	Vechelde 2/2a	Ton + Antisol	1,20
107	Vechelde 3	Ton	1,30
111	Vechelde 4	Kalk + Antisol + Quebracho	1,29
99	Wedtlenstedt 1	Ton + Tylose + Soda	1,30
315	Wierthe 1	Ton	1,30

K.A. = Keine Angaben vorhanden

Angaben zur Dickspülung gem. der Bohrakten

## Sedimentationsanteil (bei konstantem Bohr- $\phi$ )

$$S = \frac{h}{h_B} = \frac{\rho_A^{SP} - \rho^W}{\rho_E^{SP} - \rho^W}$$

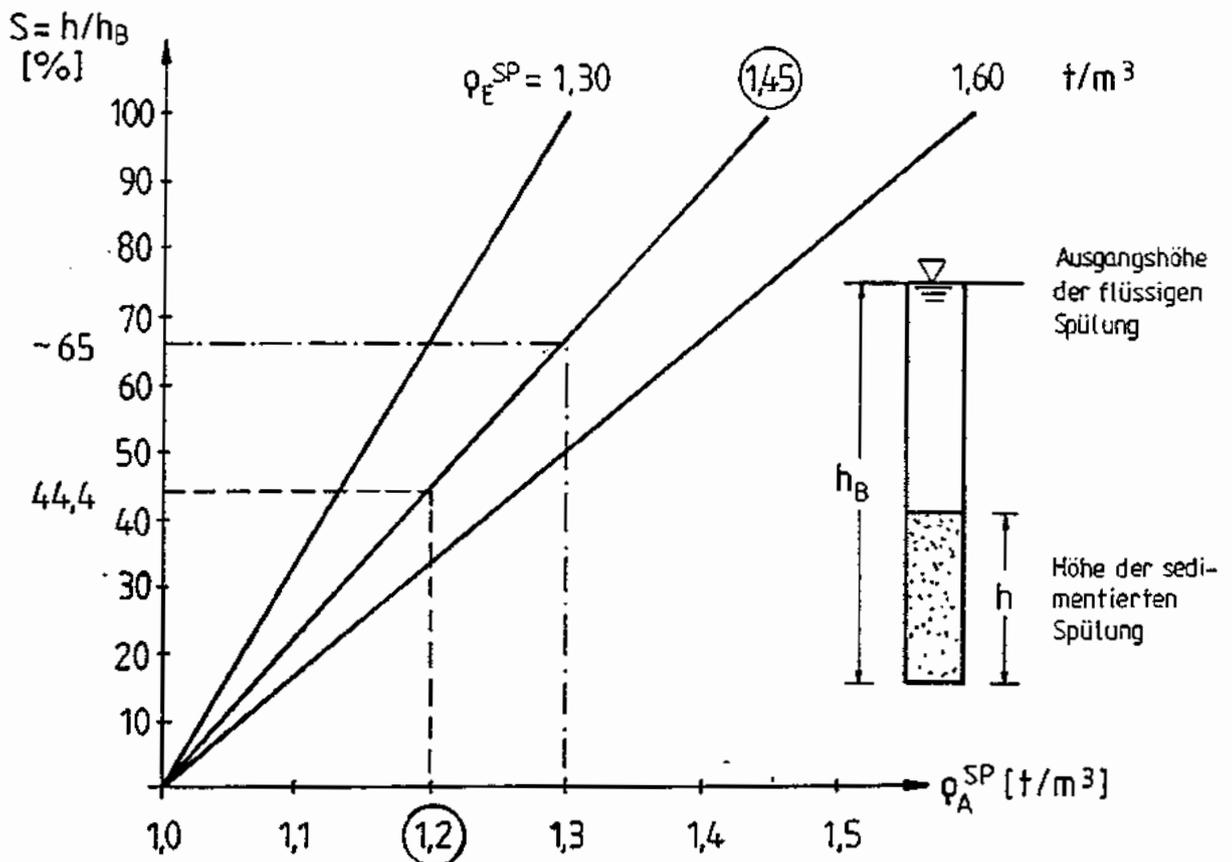
$\rho_A^{SP}$  : Dichte der Bohrspülung  
vor der Sedimentation

$\rho_E^{SP}$  : Dichte der Bohrspülung  
nach der Sedimentation

$\rho^W$  : Dichte des Wassers

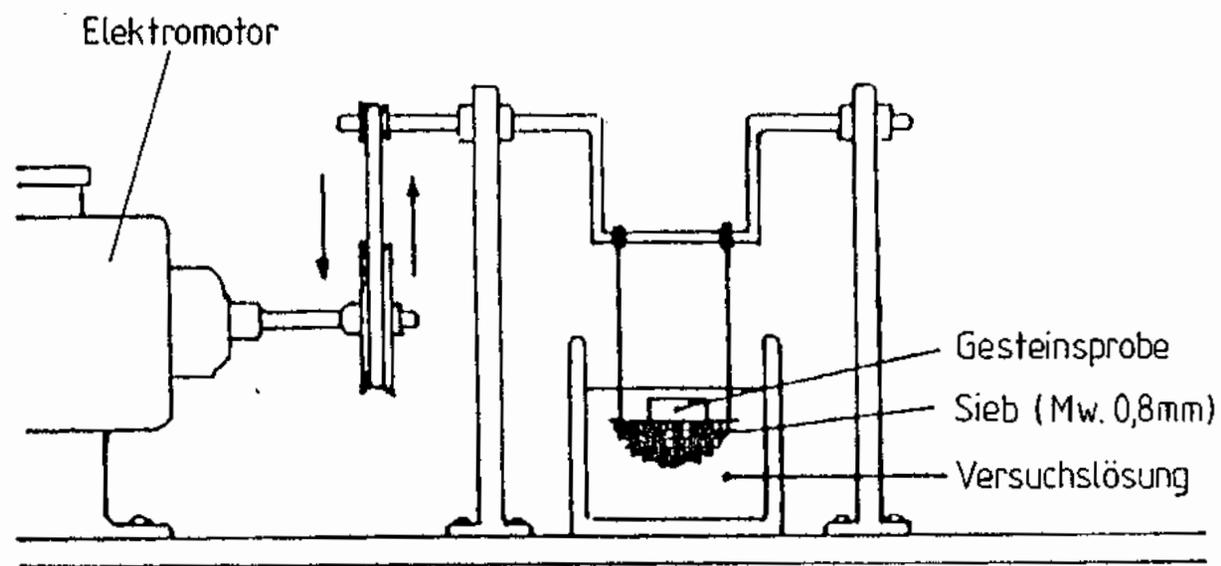
$$\text{für } \rho_A^{SP} = 1,20 \frac{t}{m^3} / \rho_E^{SP} = 1,45 \frac{t}{m^3} / \rho^W = 1,00 \frac{t}{m^3}$$

$$\rightarrow S = 0,444 \quad (44,4\%)$$



## Sedimentationsanteil der Dickspülung

(theoretische Ableitung des LEICHTWEISS-Instituts)



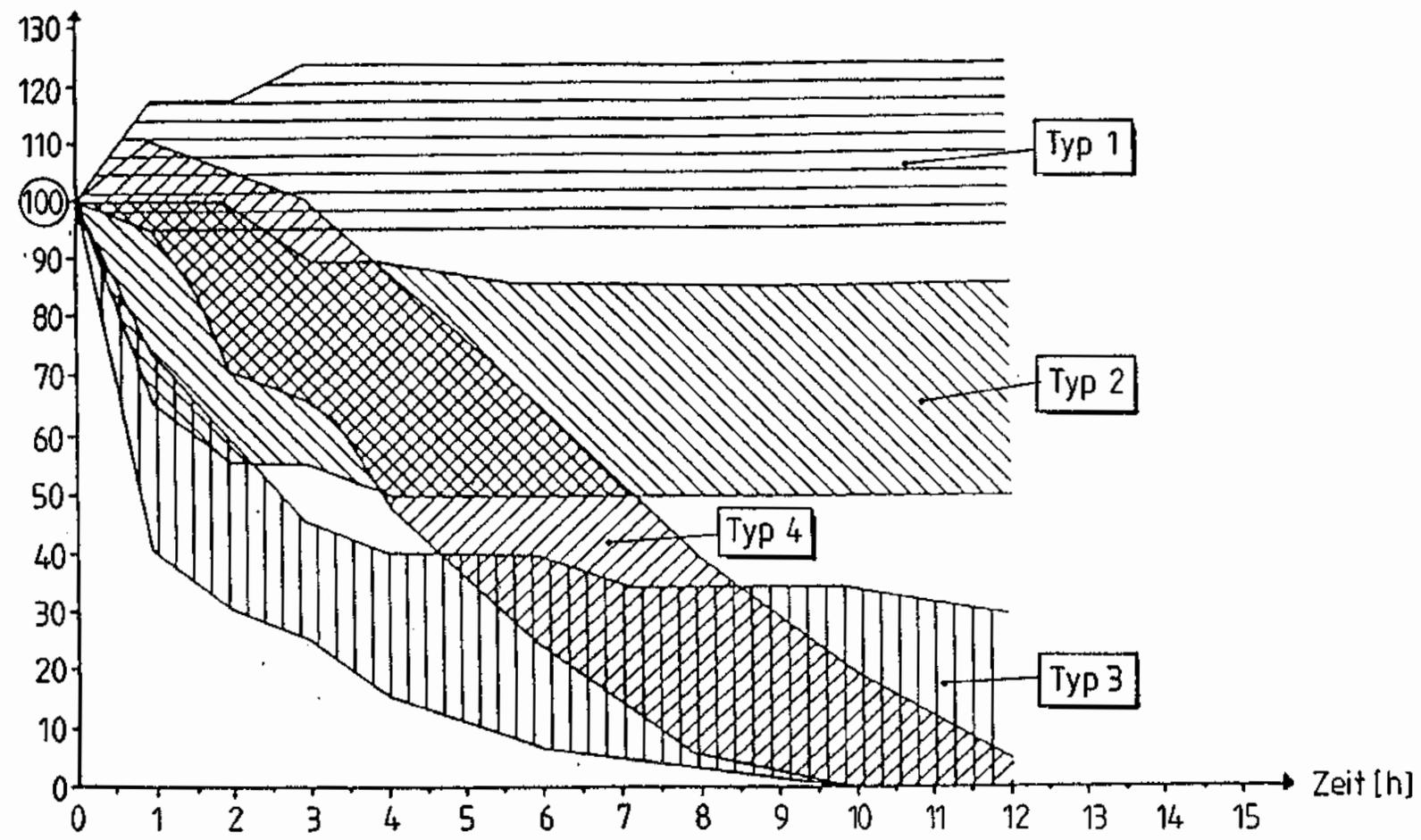
- Versuchsdurchführung :
- Gesteinsproben ca. 100g
  - Eintauchfrequenz 1,2 / Sekunde
  - Temperaturkonstanz ca. 8 - 10° C
  - Rückstandswägung jede Stunde bzw. jede 2. Stunde
  - Versuchsdauer ca. 12 Stunden beim Standardversuch in H<sub>2</sub>O

Aufbau für Zerfallsversuche und Versuchsdurchführung  
 [aus Diss. [redacted] 1985]

Schachtanlage Konrad	
Alte Bohrungen	
Anlage 7.1.1	Dez. 1989

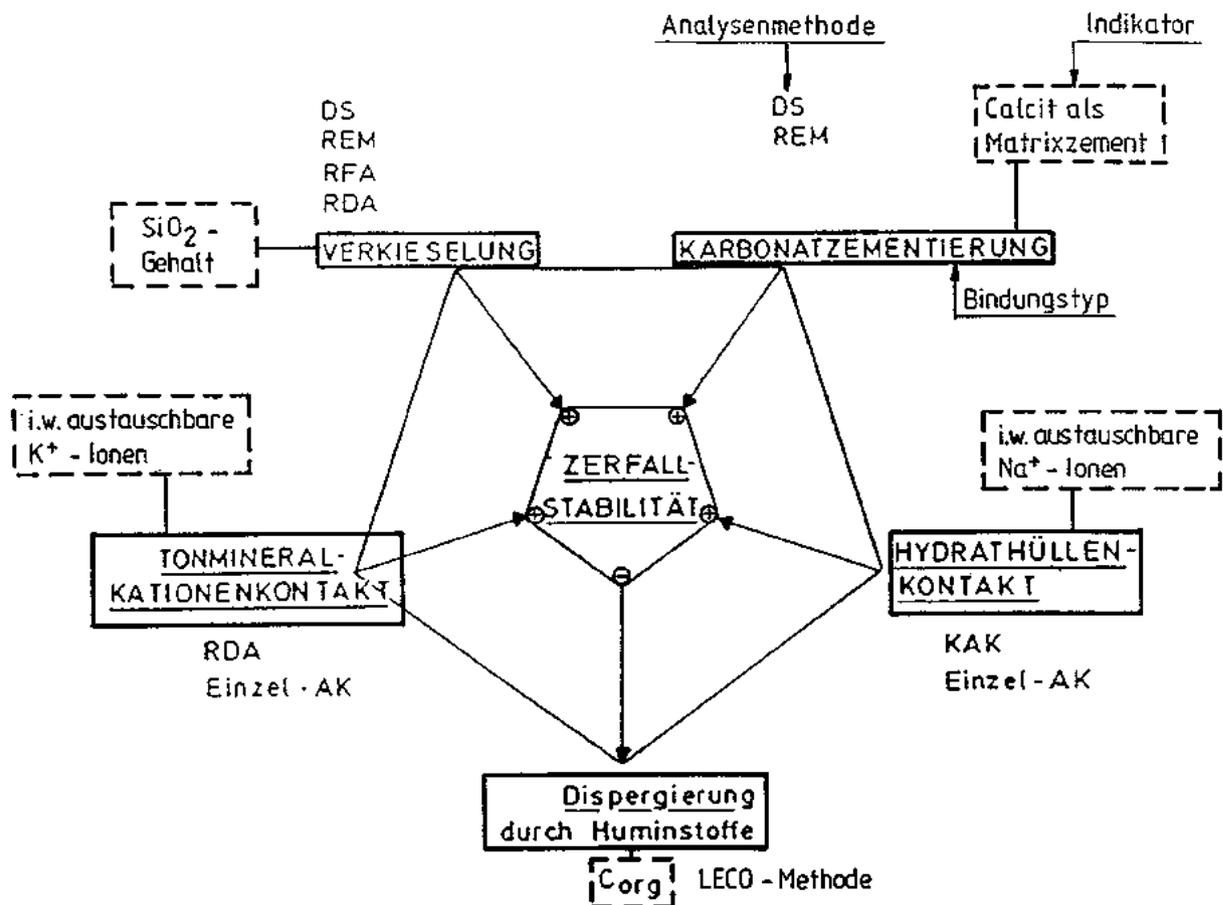
Röster-Papier Nr. 775-A 4 DIN A 4 30/85 g/cm.

Rückstands - M. %



Ergebnisse von Zerfallsversuchen an Unterkreide - Gesteinen in H<sub>2</sub>O  
Einteilung in die Zerfallstypen 1-4  
[aus Diss. [redacted] 1985]

Schachtanlage Konrad  
Alte Bohrungen  
Anlage 7.1.2  
Dez. 1989



### Analysemethoden:

- DS : Dünnschliffe
- REM : Rasterelektronenmikroskop - Aufnahmen
- RFA : Roentgenfluoreszenzanalytik
- RDA : Roentgendiffraktometrie
- Einzel-Ak : Austauschkapazität der Einzelkationen
- KAK : Gesamtkationenaustauschkapazität

Am Aufbau der Zerfallstabilität beteiligte petrographische Parameter und Analysemethoden  
[aus Diss. ██████████ 1985]

1. Ordnung: - hohe Kationenkontakte  
(KAK sehr hoch)

- sehr starke Tonmineralkationenbindungen  
(Anteil an austauschbarem Kalium sehr hoch)
- sehr starke Hydrathüllenkontakte  
(Konzentration an austauschbaren Natriumionen sehr hoch)

2. Ordnung: - bewertbare Karbonatzementbindungen

- Auftreten von Verkieselungserscheinungen

3. Ordnung: - Anteil dispergierend wirkender Huminstoffkomplexe sehr niedrig

Bindungsarten in den stabilsten Proben der Zerfallversuche (Zerfallkurventyp 1)

1. Ordnung: - starke Hydrathüllenkontakte  
(noch hohe Konzentration an austauschbaren Natriumionen)

- mäßig starke Tonmineralkationenkontakte  
(Gehalt an austauschbaren Kaliumionen deutlich geringer)

2. Ordnung: - geringe Karbonatzementbindungsstärke

3. Ordnung: - noch schwacher Einfluß der Huminstoffkomplexe

- Verkieselung

Bindungsarten in den instabilsten Proben der Zerfallversuche (Kurventyp 3)

1. Ordnung: - noch starke Kationenkontakte (KAK hoch)

- starke Tonmineralkationenkontakte  
(Anteil an austauschbaren Kaliumionen hoch)
- starke Hydrathüllenkontakte  
(Konzentration an austauschbaren Natriumionen hoch)

2. Ordnung: - bewertbare Karbonatzementbindungen

3. Ordnung: - Anteil dispergierend wirkender Huminstoffkomplexe sehr niedrig

- Verkieselung kaum mehr nachweisbar

Bindungsarten in den stabilen Proben der Zerfallversuche (Kurventyp 2)

1. Ordnung: - mäßig starke Tonmineralkationenkontakte  
(mittlerer Gehalt an austauschbaren Kaliumionen)

- schwache Hydrathüllenkontakte  
(geringe Konzentration an austauschbaren Natriumionen)

2. Ordnung: - erhöhter Anteil dispergierend wirkender Huminstoffkomplexe

3. Ordnung: - Karbonatzementbindungen

- Verkieselung

Bindungsarten in den instabilsten Proben der Zerfallversuche (Kurventyp 4)



Schachtanlage Konrad  
Alte Bohrungen

Anlage 7.14  
Dez. 1989

Rangfolge der Bindungsarten der einzelnen Zerfallstypen [aus Diss. [redacted] 1985]



Schachthanlage Konrad

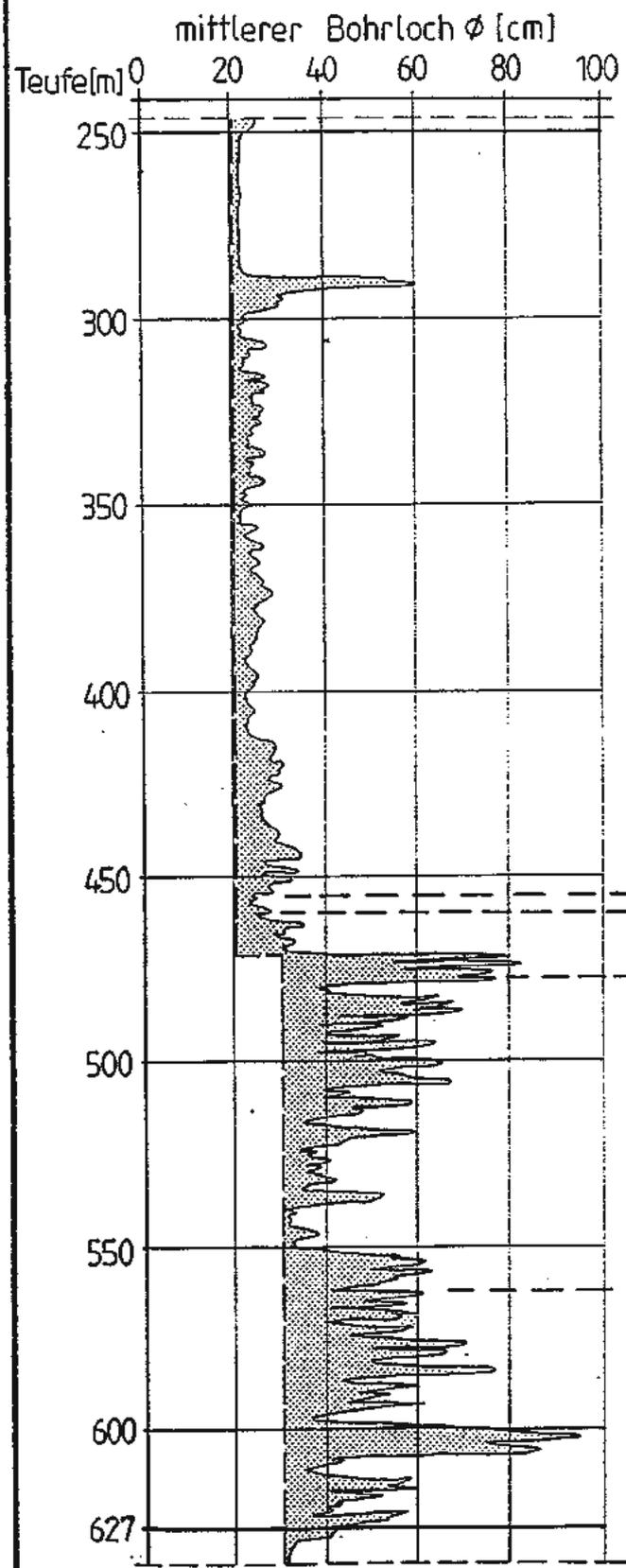
Anlage 7.3.1

Alte Bohrungen

Dez. 1989

4-Arm-Kaliberlog Konrad 101

Interpretation des Kaliberlogs anhand der Analyseergebnisse



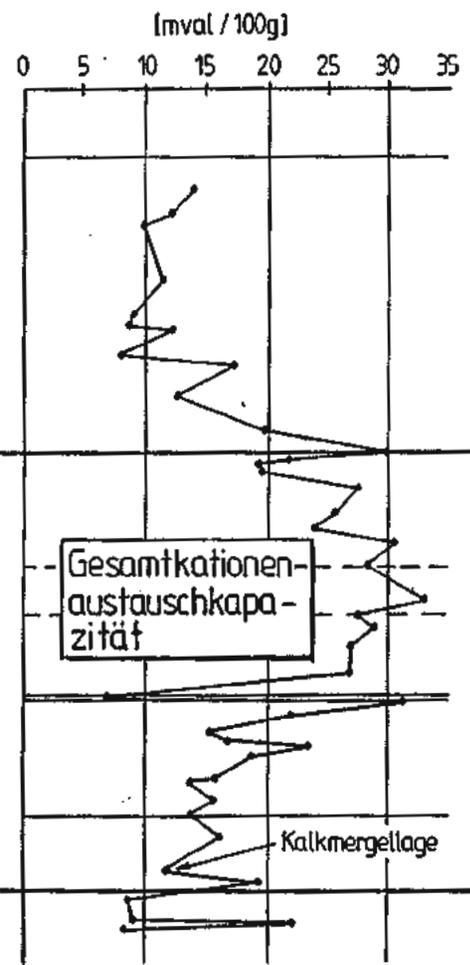
Ober-	ALB	<p>Anteil K<sup>+</sup>-Ionen gering (schlechte Tonmineralbindg.)</p> <p>Kationenaustauschkapazität im Alb i.a. relativ hoch. Calcitgehalt im Ober- und Mittelalb relativ hoch. Einfluß von C<sub>org.</sub> und SiO<sub>2</sub> gering.</p>
Mittel-	ALB	
Unt-	ALB	<p>geringer Calcitgehalt (schlechte Karbonatzementierung)</p>
Hils	APT	<p>starke Verkieselung (SiO<sub>2</sub>)</p> <p>oberer T.: ähnlich Alb unterer T.: ähnlich Barrême</p>
Ober-	BARRÊME	
Mittel-	BARRÊME	<p>Kationenaustauschkapazität geringer als im Alb. C<sub>org.</sub>-Gehalt hoch. Calcitgehalt gering.</p>
Unt-	BARRÊME	<p>Calcitgehalt örtlich höher</p>
Ober-	HAUTERIVE	
Unt-	HAUTERIVE	<p>Kationenaustauschkapazität ähnlich wie im Barrême. C<sub>org.</sub>-Gehalt geringer. Calcitgehalt örtlich gering</p>

Mögliche Interpretation der Nachbrüche in der Bohrung Konrad 101

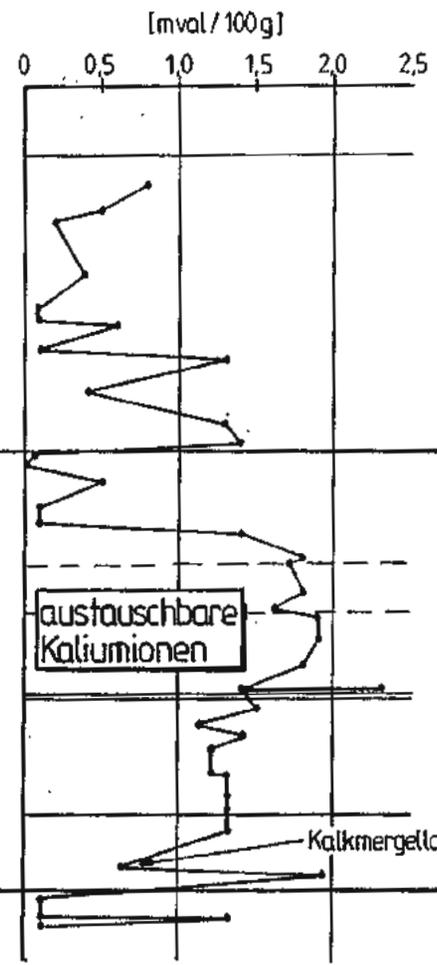
**Konrad 101**

0,0 m ( 87,6 mü.NN)

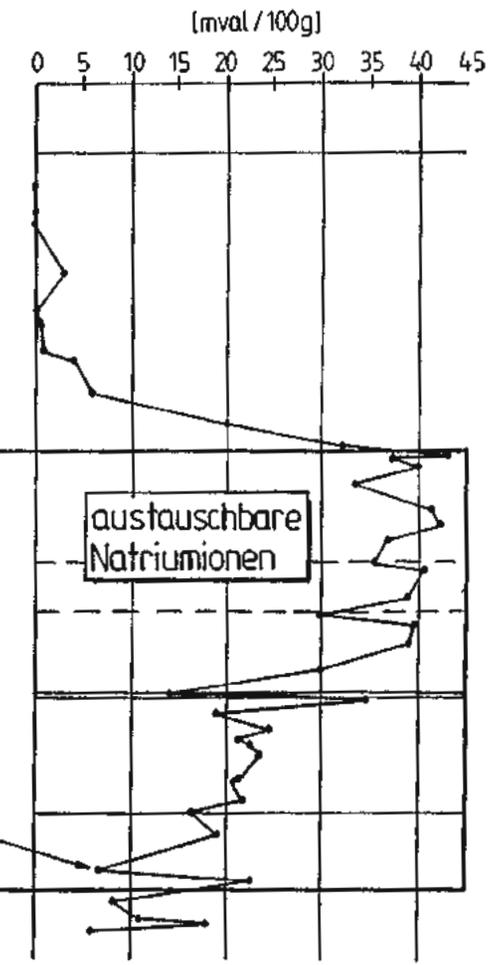
Quartär	11,0	Oberkreide
Turon	164,0	
Cenoman	250,0	
Ober-Alb	345,0	Unterkreide
Mittel-Alb	339,0	
Unter-Alb	456,3	
Hils	459,5	
Apt	476,8	
Barrême	506,0	
	533,3	
Hauterive	607,0	Kalkmergellage
	626,6	
Malm		



Indikator für die Kationenkontakte allgemein



Indikator für die Tonminerkationenbindungen

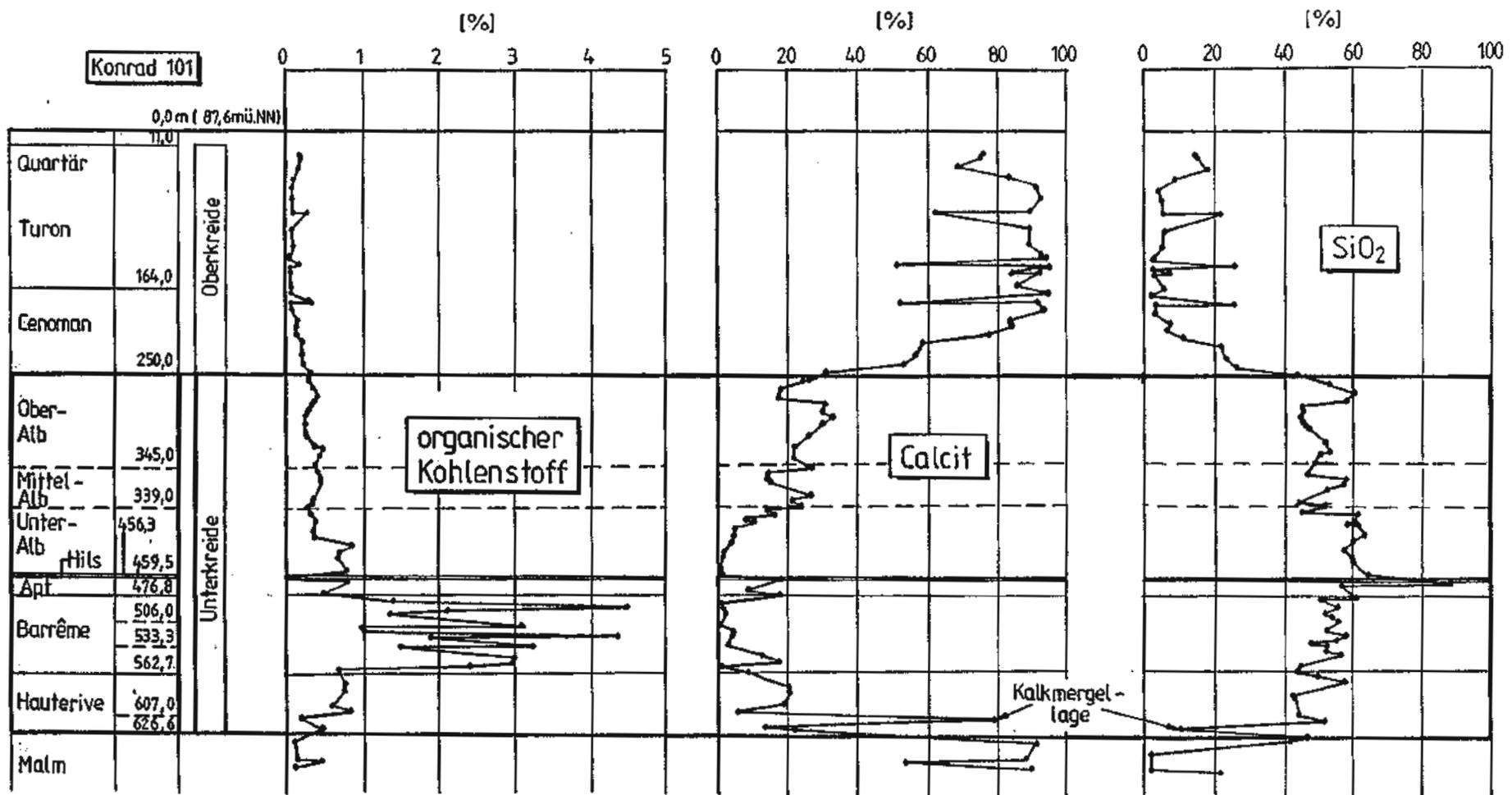


Indikator für die Hydrathüllenkontakte

Analyseergebnisse an Proben aus der Bohrung Konrad 101 (Teil 1)

Schichtanlage Konrad  
Alte Bohrungen

Anlage 732  
Dez. 1989



Indikator für dispergierend  
wirkende Huminstoffkomplexe

(evtl.) Indikator für die  
Karbonatzementierung  
(bewertbarer Karbonatzement=  
Gesamtkarbonat-detritischer  
Karbonat u. Fossilreste)

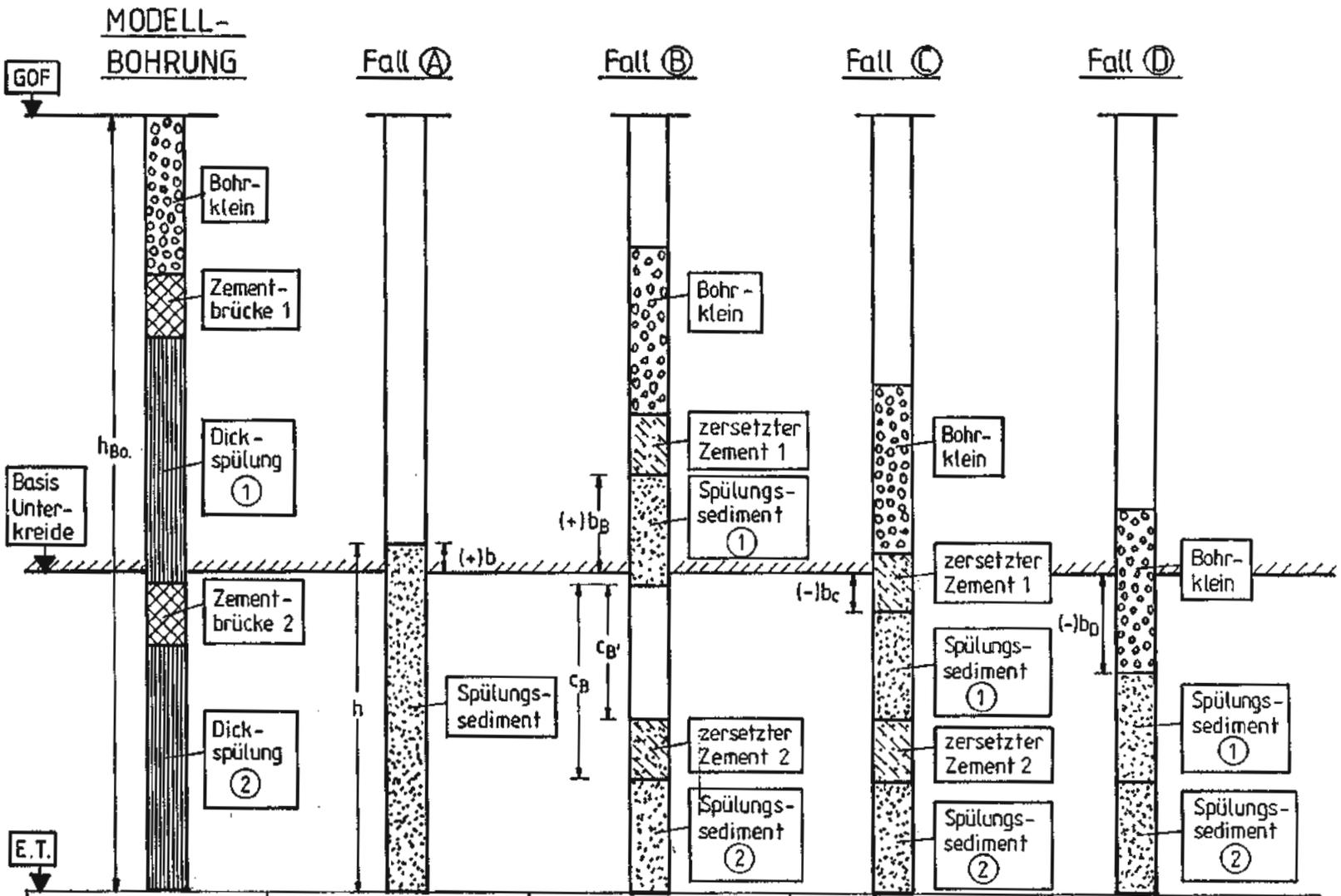
(evtl.) Indikator für die  
Verkieselung  
(nur die syn- oder postgenetisch  
gebildeten Kieselsäurekompo-  
nenten sind bewertbar, nicht  
die intramineralischen Si-O-  
Kontakte)

Analyseergebnisse an Proben aus der Bohrung Konrad 101 (Teil 2)

Schachtanlage Konrad  
Alte Bohrungen

Anlage 7.33  
Dez. 1989

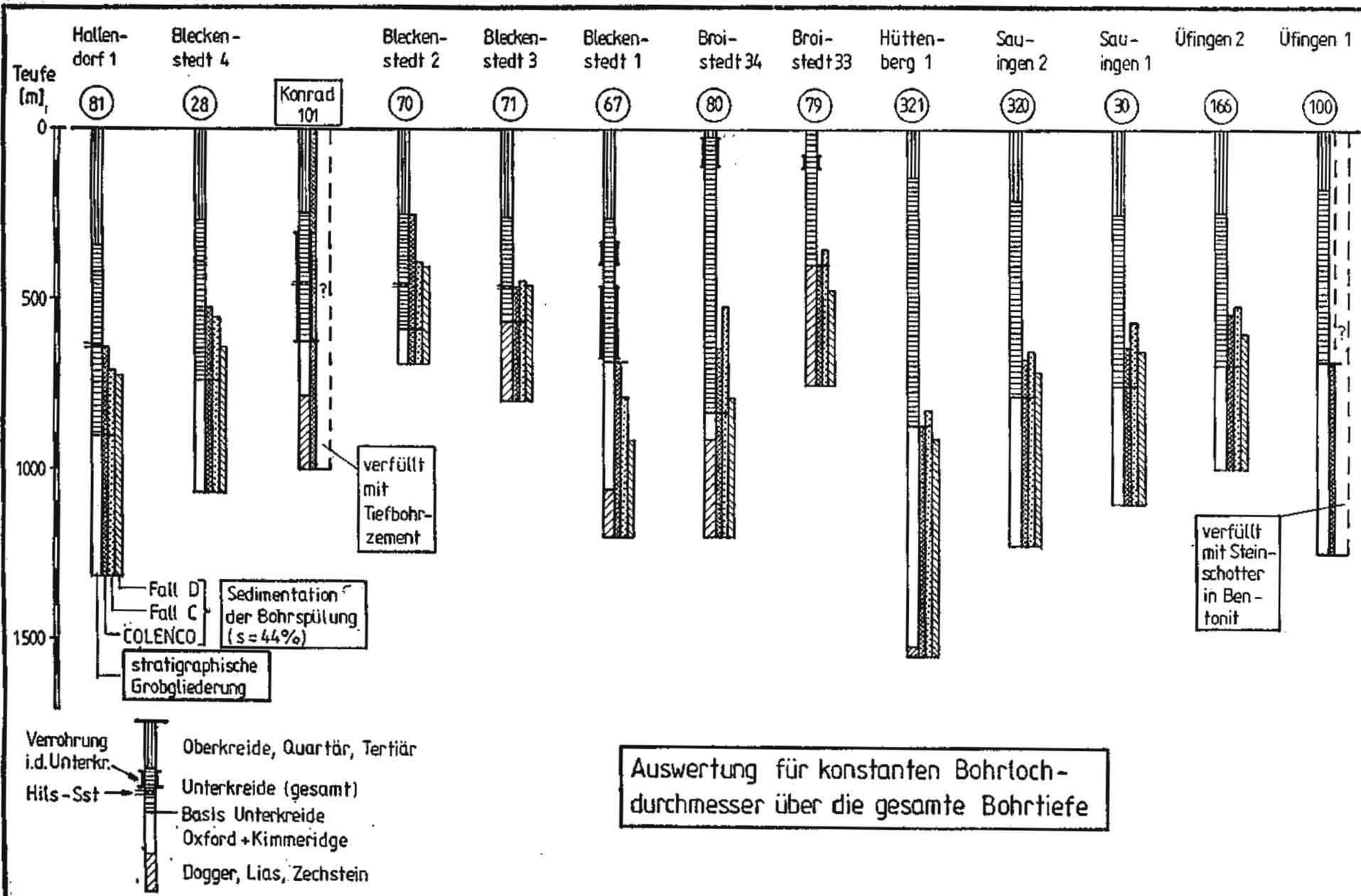
**Prinzipdarstellung zu möglichen Ansätzen für die sedimentierte Dickspülung unter Berücksichtigung der Bohrlochverfüllung**



<p>Zustand der Bohrung am Ende der Bohrarbeiten</p>	<p>keine Berücksichtigung des Zustandes der Bohrung. Sedimentationshöhe: <math>h = 0,444 \cdot h_{Bo}</math></p>	<p>Sedimentation in bleibenden Stockwerken. Zersetzte Zementbrücken sedimentieren ebenfalls.</p>	<p>Alle Sedimente sammeln sich auf Dauer im unteren Bohrlochabschnitt. Zersetzter Zement bleibt erhalten.</p>	<p>wie Fall C, aber: Zersetzter Zement wird auf Dauer vollständig gelöst</p>
---	--	--	---	--

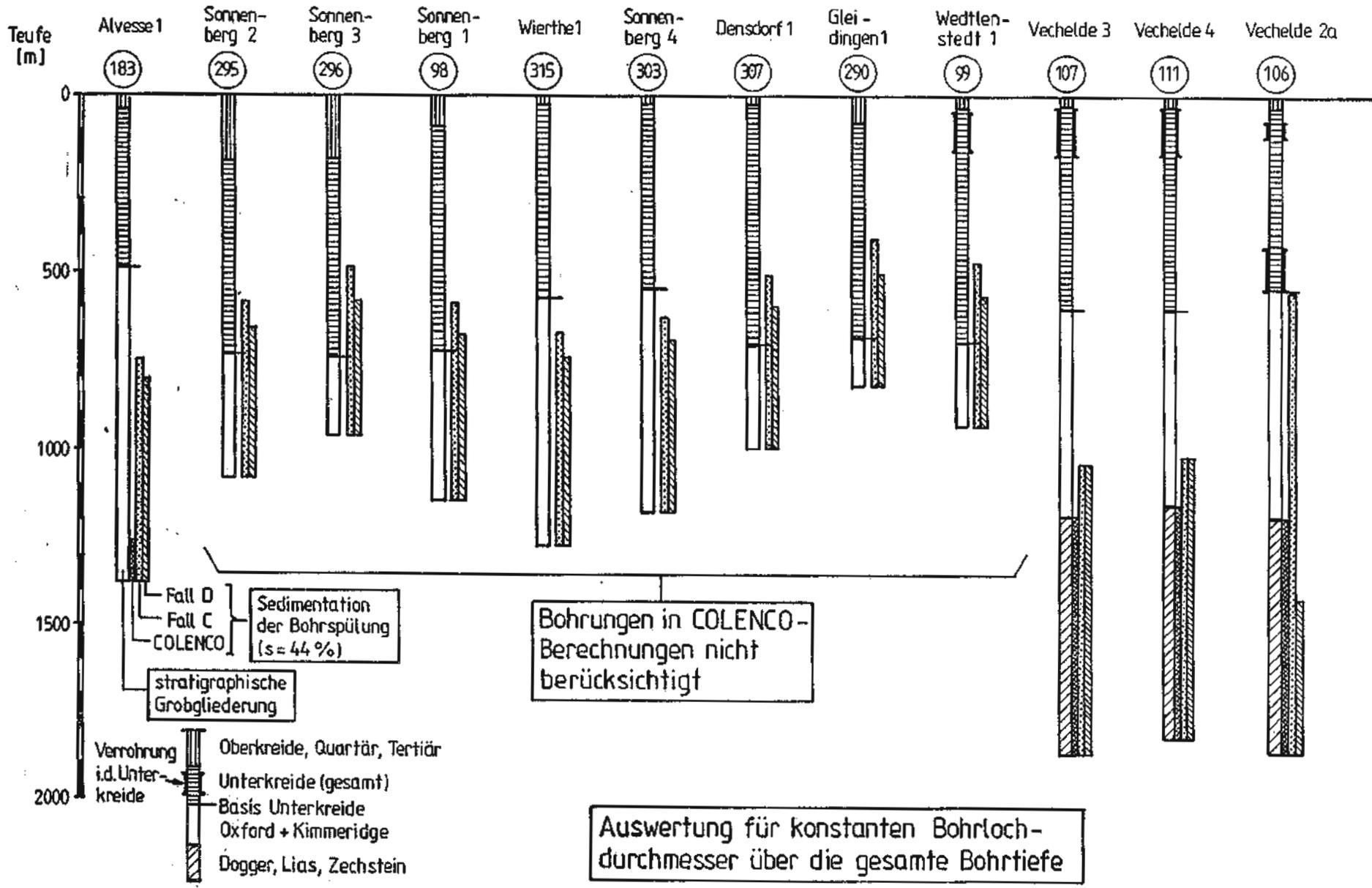
Schachthanlage Konrad  
Alte Bohrungen  
Anlage 8.1  
Dez. 1989

Stöcker-Papier, Nr. 775-A4 DIN A 4 80/85 g/qm.



Auswertungen zur Sedimentation der Bohrspülung (Teil 1)

Schachanlage Konrad	
Alte Bohrungen	Anlage 8.2
Dez. 1989	



Auswertungen zur Sedimentation der Bohrspülung (Teil 2)

Schachtanlage Konrad
Alte Bohrungen
Anlage 8.3
Dez. 1989

$D_1$  : Bohrloch  $\phi$  im zu füllenden Bereich

$D_2$  : erweiterter Bohrloch  $\phi$  im Nachbruchbereich

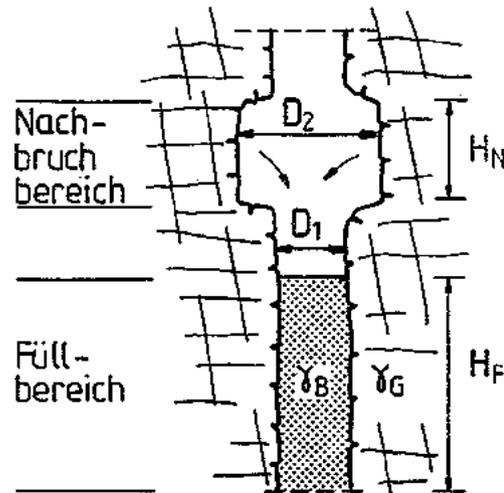
$H_F$  : Höhe der Füllsäule

$H_N$  : Höhe des Nachbruchbereichs

$\gamma_G$  : Wichte des Gebirges ( $\sim 24 \text{ kN/m}^3$ )

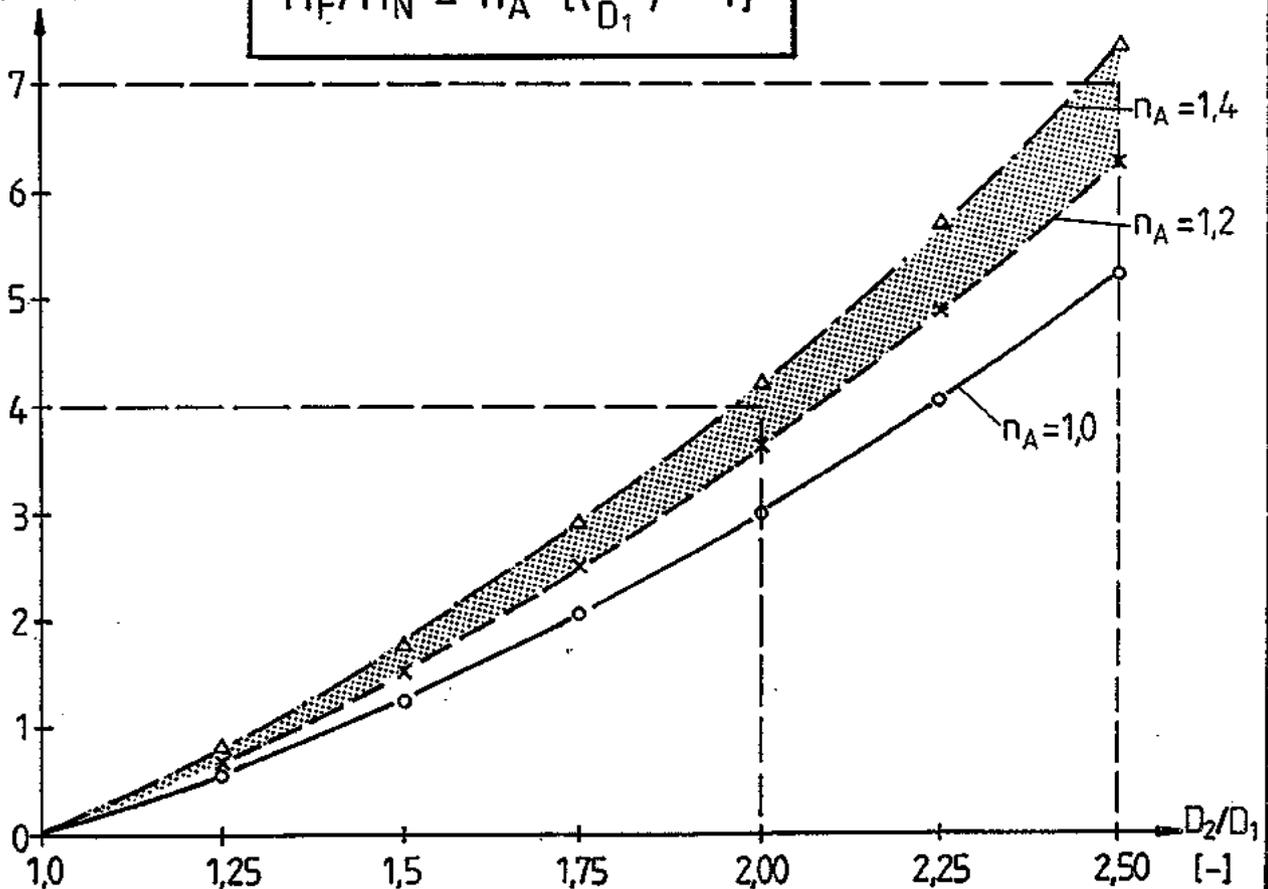
$\gamma_B$  : Wichte der Füllung ( $\sim 17 + 20 \text{ kN/m}^3$ )

$n_A$  : Auflockerungsfaktor  $\gamma_G / \gamma_B$  ( $\frac{24}{20} \approx 1,2$  ;  $\frac{24}{17} \approx 1,4$ )



$H_F / H_N$  [-]

$$H_F / H_N = n_A \cdot \left[ \left( \frac{D_2}{D_1} \right)^2 - 1 \right]$$



Volumenbetrachtungen zum Nachfall in nicht standsicheren Bohrlöchern