

# **TECHNISCHER BERICHT 99-12**

**Sondierbohrung Benken**

**Bohrtechnik,  
Bau- und Umweltaspekte**

Dezember 2001

A. Macek  
W. Gassler

# **TECHNISCHER BERICHT 99-12**

## **Sondierbohrung Benken Bohrtechnik, Bau- und Umweltaspekte**

Dezember 2001

A. Macek  
W. Gassler

**ISSN 1015-2636**

"Copyright © 2001 by Nagra, Wettingen (Schweiz) / Alle Rechte vorbehalten.

Das Werk einschliesslich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung ausserhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung der Nagra unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Übersetzungen, Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen und Programmen, für Mikroverfilmungen, Vervielfältigungen usw."

## ÜBERBLICK

Im Jahre 1980 wurde durch die Nagra in der Nordschweiz ein regionales erdwissenschaftliches Programm (Kristallin Phase I) mit dem Hauptziel aufgenommen, das unter den mesozoischen Sedimentgesteinen liegende Grundgebirge zu untersuchen. Im Zuge dieser Abklärungen wurden Tiefbohrungen abgeteuft, deren Resultate die Grundlage für das Projekt Gewähr der Nagra von 1985 lieferten.

In der Beurteilung des Projekts Gewähr (1988) erachtete der Bundesrat den Machbarkeits- und den Sicherheitsnachweis zur Endlagerung hochradioaktiver Abfälle im kristallinen Grundgebirge als erbracht. Die Nagra wurde jedoch aufgefordert, den Nachweis eines Wirtgesteinskörpers von genügender Ausdehnung und den erforderlichen Eigenschaften zu erbringen (Standortnachweis).

Mit seiner Entscheidung zum Projekt Gewähr machte der Bundesrat der Nagra zudem die Auflage, die Forschungsarbeiten hinsichtlich des Entsorgungsnachweises auch auf die nicht-kristallinen Wirtgesteine (Sedimente) auszudehnen und auch andere als die bisher untersuchten Regionen in die Evaluation einzubeziehen.

Aus diesen Gründen wurde für die Sedimentoption Opalinuston ein Untersuchungsprogramm für lokale Felduntersuchungen in der Region des Zürcher Weinlandes erarbeitet und realisiert. Dieses beinhaltete als Kernstücke eine grossräumige 3D-Seismikkampagne (1996/97) und das Abteufen der Sondierbohrung Benken (1998/99).

Die Sondierbohrung Benken (Koordinaten: 690°988.80/277°842.90, 404.30 m ü.M.) liegt auf dem Gebiet der Gemeinde Benken im Kanton Zürich, ca. 0,7 km SSW des Dorfrandes, westlich der Autostrasse Winterthur-Schaffhausen. Die Bohrung weist eine Endtiefe von 1007 m auf, durchteufte das gesamte mesozoische Sedimentpaket und erreichte das kristalline Grundgebirge.

Der vorliegende Bericht beschreibt neben den bohrtechnischen Arbeiten zur Sondierbohrung Benken auch die im Zusammenhang mit der Bohrung ausgeführten Bauarbeiten, umweltschutztechnische Massnahmen sowie behördliche Aspekte.

## ZUSAMMENFASSUNG

Das Ziel der Sondierbohrung Benken war, die Eigenschaften des Opalinustons und seiner benachbarten Schichten (Rahmengesteine) abzuklären und die seismischen Daten mit diesen Ergebnissen zu korrelieren.

Nach einem mehrjährigen Bewilligungsverfahren konnte im April 1998 mit der Erschliessung und dem Bau des Bohrplatzes begonnen werden. Die schlechten Baugrundverhältnisse erzwangen dabei eine zusätzliche Pfählung des Bohrgerätefundaments sowie das Setzen einer Hilfsstandrohrtour bis 30 m Tiefe.

Die Bohrarbeiten wurden am 3. September 1998 aufgenommen und dauerten, zusammen mit den in der Bohrung ausgeführten wissenschaftlichen Untersuchungen, bis zum 12. Mai 1999. Mit einer Endtiefe von 1'007.0 m durchteufte die Bohrung 983.3 m neo- und mesozoische Sedimentgesteine und 23.7 m Gneise des kristallinen Grundgebirges.

Mit Ausnahme des Antreffens eines Salzlagerhorizontes und des kristallinen Grundgebirges im untersten Teil der Bohrung konnte die geologische Prognose durch die Bohrungsresultate weitgehend bestätigt werden.

Die Bohrung wurde als kombinierte Meissel- und Kernbohrung ausgeführt, wobei die obersten 394.8 m gemeisselt und die übrige Strecke unter Verwendung der Seilkernbohrtechnik lückenlos gekernt wurde. Als Bohrgerät kam eine hydraulische Kraftdrehkopfanlage des Typs Wirth B5-R zum Einsatz.

Über die Kernstrecken wurden nahezu ausschliesslich Dreifachkernrohre mit Kunststoffinnenrohrlinern verwendet, der Gesamtkerngewinn lag bei knapp 99 %. Der Hauptkernbohrdurchmesser sowie der Enddurchmesser der Bohrung betragen 6 1/4" (158.8 mm).

Insgesamt wurden vier permanente Verrohrungen in der Bohrung gesetzt und mit Ausnahme der Ankerverrohrung jeweils bis zutage zementiert. Auf das Absetzen einer weiteren Reserverohr-tour konnte verzichtet werden.

Der obere Bohrlochabschnitt bis zur Basis der Malmkalke sowie der Obere und Mittlere Muschelkalk wurden mit einer Ton-Süsswasserspülung erbohrt. Dabei wurde die Bohrstrecke bis zum Setzen der Ankerverrohrung durch ungünstige geohydraulische Formationseigenschaften geprägt.

Den Opalinuston und seine angrenzenden Formationen erbohrte man unter Verwendung einer Natrium-Silikatpülung, welche erstmalig im Rahmen einer derartigen Sondierbohrung eingesetzt wurde. Trotz ihrer ausgezeichneten Inhibierungswirkung hinsichtlich des Quellens von frischwasserempfindlichen Tonformationen traten Stabilitäts- und Kaliberprobleme auf. Grund dafür waren die zeit- und verfahrensintensiven hydraulischen Bohrlochtests mit teilweise mehrmaligem Spülsaustausch. Die nicht einfache Bohrlochsituation führte verschiedentlich auch zu längerdauernden Fangarbeiten.

Neben den beiden Bohrspülungstypen Ton-Süsswasser und Natrium-Silikat wurde ab dem Erbohren des Salzlagers zusätzlich eine gesättigte Salzwasserspülung erforderlich, nachdem eine Stabilisierung der Salzzone durch Zementationen keinen Erfolg gebracht hatte.

Nach Erreichen der Endteufe von 1'007.0 m und dem Abschluss der aktiven Bohrlochuntersuchungen wurde die Bohrung bis 827.7 m mit Zement rückverfüllt.

Mit der Perforation der Endverrohrung und dem Vorbereiten der Bohrung zur Aufnahme eines Langzeitbeobachtungssystems waren die Arbeiten nach 250 Arbeitstagen ab Spud-in mit durchgehendem 24-Stundenbetrieb abgeschlossen. Gesamthaft betrug davon der Zeitaufwand für wissenschaftliche Bohrlochuntersuchungsarbeiten rund 44 %, jener für bohrtechnische Arbeiten 56 %.

Nach dem Abzug der Bohrgerätschaften wurde ein System zur Langzeitbeobachtung der Tiefengrundwässer in der Bohrung installiert und das Bohrplatzgelände zum Teil rekultiviert.

**ABSTRACT**

The aim of the Benken borehole was to investigate the properties of the Opalinus Clay and surrounding rock formations and to correlate the seismic data with these results.

Following a licensing procedure which lasted several years, accessing and construction of the drillsite began in April 1998. As a result of the poor ground conditions, additional piling of the foundation for the drilling equipment was necessary, as was installation of a string of auxiliary casing down to a depth of 30 m.

Drilling began on 3<sup>rd</sup> September 1998 and, including the scientific investigations carried out in the borehole, continued till 12<sup>th</sup> May 1999. With a final depth of 1007.00 m, the borehole passed through 983.3 m of Neozoic and Mesozoic sediments and 23.7 m of gneisses of the crystalline basement.

With the exception of a salt horizon and crystalline basement in the deepest part of the borehole, geological predictions were largely confirmed by the drilling results.

The borehole was drilled with three-cone-bits for the uppermost 394.8 m; the remaining section was continuously cored using the wire line technique. The drilling rig used was a hydraulic rotary drill rig, type Wirth B5-R.

For the cored sections, triple core barrels with synthetic liners were used almost exclusively and core recovery was around 99%. The main cored diameter and the final diameter of the borehole were 6 1/4" (158.8 mm).

A total of four permanent casings were installed in the borehole and, with the exception of the anchor casing, were cemented up to ground level. It was not necessary to install a further reserve casing.

The upper section of the borehole down to the base of the Malm limestones and the Upper and Middle Muschelkalk were drilled using a clay-freshwater drilling fluid. The section up to the installation of the anchor casing was marked by unfavourable geohydraulic formation properties.

For the first time in such an exploratory borehole, the Opalinus Clay and its neighbouring formations were drilled using a sodium silicate fluid. Despite the excellent functioning of this fluid in inhibiting the swelling of clay formations that are sensitive to freshwater, stability problems did occur. The reason for this was the hydraulic borehole tests, which were intensive in terms of time and procedure and partly involved several exchanges of drilling fluid. The difficult situation also led, on several occasions, to time-consuming fishing jobs.

Besides the two types of drilling fluid (clay-freshwater and sodium silicate), it was also necessary to use a saturated saline fluid for drilling through the salt horizon as stabilisation of the salt zone by cementation proved unsuccessful.

Once the final depth of 1007.0 m had been reached and the active borehole investigations were completed, the borehole was backfilled with cement up to 827.7 m.

With the perforation of the end casing and preparation of the borehole for installation of the long-term monitoring system, work was completed 250 working days (continuous 24-hour operation) after spud-in. Of this total, the time used for scientific investigations in the borehole amounted to around 44% and the drilling activities to 56%.

Once the drilling equipment had been removed, a system for long-term monitoring of deep groundwaters was installed in the borehole and the drill-site was partly recultivated.

## RÉSUMÉ

Le forage de reconnaissance de Benken avait pour objectif d'explorer les propriétés des Argiles à Opalinus et des couches adjacentes (substratum et couverture), et de les corrélérer avec les résultats des études sismiques.

Après une procédure d'autorisation de plusieurs années, l'aménagement et l'installation du site de forage ont pu débuter en avril 1998. Les conditions géotechniques locales défavorables ont nécessité la consolidation du socle de la foreuse au moyen de pieux et la mise en place et d'un tubage-guide d'appoint jusqu'à 30 m de profondeur.

Les travaux de forage ont commencé le 3 septembre 1998 et se sont déroulés, avec les investigations scientifiques effectuées dans le forage, jusqu'au 12 mai 1999. D'une profondeur totale de 1'007.0 m, le forage a traversé 983.3 m de sédiments mésozoïques et cénozoïques, et 23.7 m de gneiss du socle cristallin.

Les prévisions géologiques ont été largement confirmées par les résultats du forage, à l'exception de la présence d'un horizon de sel et du socle cristallin à la base du forage.

Le forage a été exécuté au trépan jusqu'à une profondeur de 394.8 m, et ensuite carotté au carottier à câble sans interruption jusqu'à la base. La foreuse était une machine rotative hydraulique du type Wirth B5-R.

Les tronçons carottés ont été forés presque exclusivement à l'aide d'un carottier triple à chemise interne en résine. Le taux de récupération des carottes a atteint pratiquement 99 %. Le diamètre du trou carotté principal était de 6 ¼ " (158.8 mm), comme celui du diamètre final du forage.

Le forage a été équipé de quatre tubages définitifs, cimentés jusqu'au sol, à l'exception du tubage d'ancrage. On a pu renoncer à la mise en place d'un autre tubage-guide gardé en réserve.

La partie supérieure, jusqu'à la base des calcaires du Malm, ainsi que le Muschelkalk supérieur et moyen, ont été forés avec une boue à l'eau douce. Jusqu'à la mise en place du tubage d'ancrage, le tronçon correspondant a été affecté par les médiocres caractéristiques géohydrauliques des formations.

Les Argiles à Opalinus et les formations adjacentes ont été forées avec un fluide au silicate de sodium, utilisé pour la première fois dans ce type de forage. Malgré son excellente capacité d'inhibition du gonflement des formations argileuses sensibles à l'eau douce, on a rencontré des problèmes de stabilité et de calibre. Ces problèmes ont été causés par des tests hydrauliques de très longue durée et nécessitant trop d'interventions, avec parfois des échanges répétés du fluide de forage. Les parties endommagées du forage ont occasionné à plusieurs reprises des travaux de repêchage de longue durée.

En plus des deux types de fluide de forage mentionnés, la boue à l'eau douce et le silicate de sodium, on a aussi utilisé un fluide saturé en sel pour forer l'horizon salin, après avoir constaté qu'une stabilisation de la zone saline n'était pas possible par cimentation.

Après la complétion du forage à la profondeur finale de 1'007.0 m et la fin des investigations actives dans le forage, ce dernier a été scellée au ciment de la base à 827.7 m de profondeur.

La perforation du tubage définitif et la préparation du forage pour l'observation à long terme ont marqué la fin du forage, après 250 jours d'activité ininterrompue, 24 heures sur 24, à partir de

l'ablation du sol. Globalement, les investigations scientifiques ont accaparé 44 % du temps de travail, et les travaux de forage 56 %.

Après le démontage de l'installation de forage, un système d'observation à long terme des eaux souterraines profondes a été installé dans le forage, et le site partiellement remis en état.

**INHALTSVERZEICHNIS**

ÜBERBLICK .....	I
ZUSAMMENFASSUNG.....	II
ABSTRACT.....	IV
RÉSUMÉ .....	V
INHALTSVERZEICHNIS.....	VII
TABELLENVERZEICHNIS .....	IX
BEILAGENVERZEICHNIS.....	IX
1    EINLEITUNG .....	1
1.1    Allgemeine Projektgrundlagen .....	1
1.2    Untersuchungsziele und Methodik .....	1
1.3    Formelle Projektgrundlagen .....	3
1.3.1    Bewilligungen.....	3
1.3.2    Behördliche Auflagen.....	3
2    BOHRTECHNIK.....	5
2.1    Einleitung und Überblick.....	5
2.1.1    Geologisches Profil.....	6
2.1.2    Mess- und Testarbeiten.....	7
2.1.3    Technische Daten der Bohrung .....	10
2.1.4    Technische Daten der Bohranlage .....	10
2.1.5    Chronologie der Bohrung .....	13
2.2    Bohrvorgang .....	19
2.2.1    Hilfsstandrohrstrecke.....	19
2.2.2    Meisselstrecke 33.0 bis 94.0 m.....	20
2.2.3    Meisselstrecke 94.0 bis 394.8 m.....	20
2.2.4    Kernstrecke 394.8 bis 564.5 m .....	21
2.2.5    Erweiterungsstrecke 12 1/4", 94.0 bis 564.5 m .....	22
2.2.6    Kernstrecke 564.5 bis 814.0 m .....	22
2.2.7    Erweiterungsstrecke 8 1/2", 564.5 bis 814.0 m .....	24
2.2.8    Kernstrecke 814.0 bis 1'007.0 m.....	24
2.3    Bohrwerkzeuge .....	25
2.3.1    Bohrgestänge und Kernbohrsysteme .....	25
2.3.2    Kernbohrkronen.....	25
2.3.3    Meisselwerkzeuge.....	26

2.4	Verrohrungen und Zementationen.....	27
2.4.1	13 3/8" Standrohrtour .....	27
2.4.2	9 5/8" Ankerverrohrung.....	28
2.4.3	7" Endverrohrung .....	28
2.4.4	Sanierungszementationen .....	29
2.4.5	Rückzementationen .....	29
2.5	Bohrspülungen.....	30
2.5.1	Ton-Süsswasserspülung.....	31
2.5.2	Natrium-Silikatspülung.....	31
2.5.3	Salzwasserspülung.....	33
2.6	Fangarbeiten .....	33
2.6.1	Fangarbeiten auf Abfangbacke .....	34
2.6.2	Fangarbeit auf Testequipment .....	34
2.6.3	Fangarbeit auf Zementierstrang.....	35
2.7	Bohrtechnische Sicherheitseinrichtungen und -massnahmen .....	35
2.8	Bohrlochabweichung .....	35
2.9	Zeitaufteilung.....	36
3	BAU- UND UMWELTASPEKTE.....	37
3.1	Erstellung und Betrieb Bohrplatz .....	37
3.1.1	Grundlagen .....	37
3.1.2	Bohrplatzerstellung.....	37
3.1.3	Erschliessung .....	37
3.1.4	Bohrplatzbetrieb .....	38
3.1.5	Rekultivierung .....	38
3.2	Grundwasserüberwachung.....	39
3.2.1	Einleitung.....	39
3.2.2	Probenentnahmen und Analysen .....	39
3.2.3	Bewertung der Ergebnisse .....	40
3.3	Lärmmessungen.....	40
3.3.1	Einleitung.....	40
3.3.2	Überwachungskonzept.....	40
3.3.3	Ergebnisse der Messungen .....	41
3.4	Entsorgung Flüssig- und Feststoffe .....	41
3.4.1	Einleitung.....	41
3.4.2	Entsorgungskonzept.....	41

3.4.3	Zusammenstellung der entsorgten Stoffe .....	42
3.4.4	Schlussbemerkungen .....	43
4	BEHÖRDENAUF SICHT UND BERICHTERSTATTUNG .....	44
5	LITERATURVERZEICHNIS .....	46

#### **TABELLENVERZEICHNIS**

Tab. 1:	Untersuchungsziele und Methoden.....	2
Tab. 2:	Technische Daten der Bohrung .....	10
Tab. 3:	Verwendete Abkürzungen .....	19
Tab. 4:	Feststoffentsorgung.....	42
Tab. 5:	Flüssigstoffentsorgung.....	42

#### **BEILAGENVERZEICHNIS**

Beilage 1	Geographische Lage der Sondierbohrung Benken
Beilage 2	Geologisches Profil, Zeit-Teufen-Diagramm, Bohrlochbild
Beilage 3	Kernmarschliste
Beilage 4	Werkzeugeinsätze
Beilage 5	Rohrliste 13 3/8" Verrohrung
Beilage 6	Rohrliste 9 5/8" Verrohrung
Beilage 7	Rohrliste 7" Verrohrung
Beilage 8	Zementationsrapport 13 3/8" Verrohrung
Beilage 9	Zementationsrapport 9 5/8" Verrohrung
Beilage 10	Zementationsrapport 7" Verrohrung
Beilage 11	Spülungsanalysen und -materialverbrauch, Ton-Süsswasserspülung
Beilage 12	Spülungsanalysen und -materialverbrauch, Silikatspülung
Beilage 13	Spülungsanalysen und -materialverbrauch, Ton-Süsswasser- und Salzspülung
Beilage 14	Tabelle Bohrlochverlaufdaten
Beilage 15	Bohrlochverlauf, Horizontalprojektion
Beilage 16	Bohrlochverlauf, Vertikalprojektion
Beilage 17	Zeitaufteilung
Beilage 18	Bohrplatz - Übersicht
Beilage 19	Grundwasserüberwachung, Lage der Probenentnahmestellen



## **1 EINLEITUNG**

### **1.1 Allgemeine Projektgrundlagen**

Im Rahmen der Beurteilungen zum Projekt Gewähr (1985) wurde der Nagra vom Bundesrat 1988 die Auflage erteilt, die Forschungsarbeiten hinsichtlich des Standort-, Machbarkeits- und des Sicherheitsnachweises (Entsorgungsnachweis) zur Endlagerung hochradioaktiver Abfälle auch auf nicht-kristalline Wirtgesteine, also auf Sedimente auszudehnen. Ebenso wurde verfügt, dass auch andere als die bisher zur Erarbeitung des Projekts Gewähr untersuchten Regionen in die Evaluation einzubeziehen seien.

Auf der Basis einer Evaluation der in Frage kommenden Endlager-Wirtgesteine und einer eingehenden Analyse der in den Nagra-Tiefbohrungen der Nordschweiz angetroffenen Sedimentschichten (NAGRA, Sedimentstudie, 1988), wurden daraufhin in Absprache mit den Aufsichtsbehörden des Bundes Untersuchungsprogramme für die Sedimentoptionen Opalinuston und Untere Süsswassermolasse erarbeitet und erste Arbeiten in den Jahren 1990 bis 1994 durchgeführt.

Die Auswertungen einer regionalen seismischen Erkundung in der Nordschweiz (1991/1992) liessen dabei erkennen, dass die auf früheren Arbeiten beruhende Beurteilung des Opalinustons als potentiell geeignetes Wirtgestein bestätigt werden konnte (NTB 94-14, Naef et al. (1995)).

In Zusammenarbeit mit den Aufsichtsbehörden des Bundes wurden die Prioritäten einer Phase II für lokale Felduntersuchungen festgelegt und aus den potentiell geeigneten Standortgebieten im Opalinuston das Zürcher Weinland als Erkundungsgebiet ausgewählt. Die Untere Süsswassermolasse verblieb als Reserveoption.

Als Erkundungsmethoden zur Beurteilung der Eigenschaften des Opalinustons, seiner benachbarten tonreichen Schichten (Rahmengesteine) und deren räumlichen Lagerung wurden u. a. eine hochauflösende 3D-Seismik über eine Fläche von rund 50 km<sup>2</sup> sowie das Abteufen einer Tiefbohrung bestimmt.

Die Bohrung hatte dabei der geowissenschaftlichen Exploration und insbesondere der Kalibrierung der seismischen Messungen zu dienen. Der Bohrstandort war daher aus geologischer Sicht innerhalb der seismisch erfassten Fläche grundsätzlich frei wählbar.

In Absprache mit den Kantons- und Gemeindebehörden konnte somit auf dem Gemeindegebiet von Benken ein Bohrstandort bezeichnet werden, der sowohl bezüglich der Projektvorgaben als auch aus raumplanerischer Sicht als geeignet beurteilt wurde.

Beilage 1 zeigt die geographische Lage der Sondierbohrung Benken.

### **1.2 Untersuchungsziele und Methodik**

Abgeleitet von der übergeordneten Zielsetzung des Projekts wurde ein intensives Untersuchungsprogramm ausgearbeitet, welches auf unterschiedlichen Untersuchungsmethoden und -verfahren basierte.

Die wesentlichsten Ziele und die angewandten Verfahren sind nachfolgend tabellarisch zusammengefasst.

Tab. 1: Untersuchungsziele und Methoden

<b>Untersuchungsziele</b>	<b>Methodik</b>
Erhebung von geophysikalischen Referenzdaten für die Kalibrierung der seismischen Aufnahmen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Walkaway-VSP</li> <li>- Sonic- und Dichte-Log (Synthetisches Seismogramm)</li> </ul>
Abklärung der umfassenden felsmechanischen Eigenschaften im Opalinuston sowie des Spannungsfeldes und der Temperaturverhältnisse in den Rahmengesteinen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dilatometer-Messungen</li> <li>- In-situ Spannungsmessungen</li> <li>- Felsmech. Untersuchungen an Bohrkernen</li> <li>- Temperatur-Logs</li> </ul>
Erkundung der Mächtigkeit, der Lagerung sowie der lithologischen und mineralogisch / petrographischen Ausbildung der erbohrten Schichten	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Geol. Beschreibung der Bohrkern- und Cuttings (Bohrklein)</li> <li>- Sampler-Log (inkl. Gas-Log)</li> <li>- Lithologisches Profil</li> <li>- Geologisch-mineralogische Laboruntersuchungen an Bohrkernen und Cuttings</li> <li>- petrophysikalische Bohrlochmessungen</li> <li>- Struktur-Log</li> </ul>
Bestimmung und Charakterisierung der Kluff- und Störungssysteme und deren räumliche Orientierung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kernorientierung (Struktur-Logging, Kernabwicklung)</li> <li>- Laboruntersuchungen an Kluffmaterial</li> <li>- Geologische Strukturaufnahme</li> </ul>
Erkundung der Transmissivitäten und hydraulischen Potentiale in den Aquiferen und Aquitarden	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Einfach- und Doppelpackertests</li> <li>- Fluid-Logging</li> <li>- Langzeitbeobachtung</li> </ul>
Abklärung des Chemismus und des Alters der Tiefengrundwässer in den Aquiferen und Aquitarden (Porenwässer)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Packertests mit spez. Grundwasserprobenentnahmen</li> <li>- Porenwasseruntersuchungen an Bohrkernen</li> <li>- Physikalisch-chemische Grundwassersanalysen</li> <li>- Isotopenanalysen</li> <li>- Gasanalysen</li> </ul>

Das vorgesehene Fluid-Logging wurde wegen zu geringer Durchlässigkeit der relevanten Bohrlochabschnitte nicht durchgeführt. Mit Ausnahme des erbohrten Stubensandsteinabschnitts im Keuper lag die Durchlässigkeit der Formationen unter der Detektionsgrenze der Fluid-Logging Methode.

### **1.3 Formelle Projektgrundlagen**

#### **1.3.1 Bewilligungen**

Für die Erkundungen mittels einer Bohrung im Gebiet des Zürcher Weinlandes hatte die Nagra gemäss den geltenden Gesetzen des Bundes um eine Bewilligung nachzusuchen. Das Verfahren zur Erlangung einer solchen Bewilligung ist in der "Verordnung über vorbereitende Handlungen im Hinblick auf die Errichtung eines Endlagers für radioaktive Abfälle" vom 27. November 1989 umschrieben (SR 732.012).

Demgemäss hat die Nagra am 8. November 1994 dem Bundesrat das Gesuch um Erteilung einer Bewilligung für die Durchführung eines Sondier- und Untersuchungsprogrammes in der Gemeinde Benken (Kanton Zürich) unterbreitet (NAGRA, NSG 20, 1994).

Gestützt auf Art. 4 und 10 der Verordnung wurde das Gesuch dem Verkehrs- und Energiewirtschaftsdepartement (EVED) eingereicht und von diesem veröffentlicht. Damit wurde den Grundeigentümern sowie anderen Personen, deren Rechte und Pflichten durch die Bewilligung berührt werden könnten, Gelegenheit gegeben, allfällige Einwände geltend zu machen. Parallel dazu fand gemäss Art. 11 der Verordnung eine Befragung der Kantone und der zuständigen Fachstellen des Bundes statt.

Insgesamt wurden der Nagra durch das zuständige Bundesamt für Energiewirtschaft 22 Einsprachen zur Stellungnahme überwiesen. Mit Schreiben vom 5. Mai bzw. 17. August 1995 teilte die Nagra den Bundesbehörden mit, dass die Prüfung der Einsprachen keine Notwendigkeit ergeben habe, am Inhalt oder Umfang des Sondiergesuches Änderungen anzubringen.

Mit Datum vom 15. Mai 1996 eröffnete der Bundesrat der Gesuchstellerin seinen Entscheid. Darin wurde der Nagra die Bewilligung für die Durchführung des beantragten Sondier- und Untersuchungsprogrammes in der Gemeinde Benken erteilt.

Gestützt auf diesen Entscheid unterbreitete die Nagra am 28. Juni 1996 dem Gemeinderat von Benken das Baugesuch für die Sondierbohrung auf dem Gebiet "Gmeindwisen". Gleichzeitig wurden Baugespanne errichtet und behördlicherseits das Beschwerdeverfahren gemäss dem kantonalen Baugesetz durch Publikation des Baugesuches im Amtsblatt vom 5. Juli 1996 öffentlich eingeleitet.

Gegen die am 20. Januar 1997 erteilte Baubewilligung (enthaltend auch die drei kantonalen Verfügungen bezüglich der raumplanerischen, gewässerschutzrechtlichen und strassenpolizeilichen Aspekte) wurde mit dem Rekurs an den Regierungsrat ein erstes Rechtsmittel ergriffen. Dieser Rekurs wurde abgelehnt und nach einem Weiterzug an das Verwaltungsgericht wurde die Baubewilligung nach Abweisung der Verwaltungsgerichtsbeschwerde schliesslich im Februar 1998 rechtskräftig.

#### **1.3.2 Behördliche Auflagen**

In der Bundesbewilligung wurde das Bundesamt für Energiewirtschaft, vertreten durch die HSK, Hauptabteilung für die Sicherheit von Kernanlagen, als Aufsichtsbehörde bezeichnet. Ihr wurde auch die Leitung der zusammen mit den Aufsichtsorganen des Kantons eingesetzten Koordinationskommission übertragen. In periodischen Sitzungen wurde diese über die Arbeiten der Nagra informiert und war auch Adressat der halbjährlichen Berichterstattung durch die Nagra (Kap. 4).

Die technischen Auflagen in der Bundesbewilligung betrafen die Vertiefungsoption der Bohrung bis unter die Basis des Mesozoikums und die Pflicht der Nagra, nach Abschluss der Langzeitbeobachtung der HSK ein Verfüll- und Versiegelungsprogramm der Bohrung zur Genehmigung vorzulegen.

Die Auflagen des Kantons waren vor allem gewässerschutzrechtlicher Art. Dies in Bezug auf die Entwässerungsanlagen auf dem Bohrplatz, den Umgang und die Lagerung wassergefährdender Flüssigkeiten und das Entsorgungskonzept für Bohrspülungen und Feststoffe.

In der Baubewilligung der Gemeinde fungierte der Lärmschutz (Kap. 3.3) als das gewichtigste Element.

Ein Grossteil der weiteren Auflagen bezogen sich auf das Einreichen zusätzlicher Unterlagen vor Baubeginn. Die wichtigsten davon waren die Bewilligung der Elektrizitätsversorgung Benken an das Elektrizitätswerk des Kantons ZH zur Stromlieferung im Konzessionsgebiet der EV Benken und die Erstellung von Zustandsprotokollen bei den nahe gelegenen Bauwerken wie der Brücke über die N4, der Kanalisationsleitungen längs der Marthalerstrasse sowie der Gebäude des benachbarten Hofes Hintergraben. Nach Einreichen aller Unterlagen durch die Nagra erfolgte am 8. April 1998 die Baufreigabe durch die Gemeinde.

## 2 BOHRTECHNIK

### 2.1 Einleitung und Überblick

Die Bohrung wurde als kombinierte Seilkern- und Meisselbohrung ausgelegt.

Das Seilkernverfahren ist ein drehendes Spülbohrverfahren, bei dem zum Ziehen der Bohrkerne nicht das gesamte Bohrgestänge wie beim konventionellen Kernbohren ausgebaut werden muss, sondern nur das innere Kernrohr mit einem am Seil eingefahrenen Fänger zutage geholt wird. Neben dem dadurch gewonnenen Zeitvorteil beim Kernziehen wird dabei ausserdem das Bohrloch weniger beansprucht, da das Bohrgestänge seltener aus- und eingebaut werden muss. Da das Kernziehen wenig aufwändig ist, kann bei dieser Technik auch zur Optimierung des Kerngewinns mit kurzen Kernmärschen gearbeitet werden, ohne dadurch einen allzugrossen Zeitverlust hinnehmen zu müssen. In schwierigeren Bohrlochabschnitten der Bohrung wurden daher vereinzelt Kernmarschlängen von weniger als einem Meter gebohrt, um den Kerngewinn und auch die Kernqualität entsprechend zu steigern.

Als Bohranlage kam eine hydraulische Universalbohranlage des Typs Wirth B5-R mit am Bohrmast geführtem Kraftdrehkopf zum Einsatz. Diese normalerweise mit Diesel betriebene Anlage wurde aus ökologischen Gründen durch Beistellung eines separaten elektro-hydraulischen Hauptantriebsaggregates elektrisch betrieben. Lediglich die Spülpumpen wurden mit Dieselmotoren angetrieben.

Die nominale Zugkraft der Anlage betrug 50 t. Die technischen Daten der Anlage und ihrer zugehörigen Komponenten sind in Kap. 2.1.4 aufgeführt.

Aus ökonomischen Gründen wurde die Bohrung bis 394.8 m als Voll- resp. Meisselbohrung ausgeführt. Diese Spülbohrmethode mit Schwerstangengarnituren, Rollenmeissel und der Unterstützung von tragfähigen Bohrspülungen ermöglicht in Sedimentgesteinen wesentlich höhere Bohrfortschritte und bietet eine bessere Neigungs- und Richtungsstabilität einer Bohrung. Eine exakte und eindeutige lithostratigraphische Bestimmung des durchteuften Gebirges anhand der erbohrten Gesteinsbruchstücke (Cuttings) ist jedoch schwierig.

Ebenso war geplant, die im Arbeitsprogramm zwischen 832 und 1'006 m prognostizierte Muschelkalkstrecke zu meisseln. In Hinblick auf eine günstigere geologische Befundaufnahmemöglichkeit entschied man während des Verlaufs der Bohrung, auch diese Zone mit Seilkernwerkzeugen aufzufahren. Somit wurden schliesslich aus rund 61 % der gesamten Bohrungslänge Bohrkerne gewonnen.

Als eine Besonderheit der Bohrung Benken ist der Einsatz einer Natrium-Silikatbohrspülung zu nennen. Erstmals bei einer Bohrung mit einem wissenschaftlichen Untersuchungsprogramm dieser Grössenordnung eingesetzt, trug sie wesentlich zur Realisierbarkeit der Untersuchungen in den frischwasserempfindlichen Sedimentschichten bei.

Trotzdem war der Ablauf der Bohrarbeiten durch schwierige bohrlochhydraulische und geometrische Bedingungen gekennzeichnet, welche einerseits in den besonderen geologischen Gegebenheiten und andererseits im anspruchsvollen Umfang und der Methodik der hydraulischen Bohrlochuntersuchungen begründet lagen. Dennoch konnte das vorgesehene Arbeits- und Untersuchungsprogramm (NAGRA 1996) vollumfänglich realisiert und die bohrtechnischen Arbeiten ohne wesentliche Abänderungen erfolgreich ausgeführt werden.

Vom gesamten Zeitaufwand zum Abteufen der Bohrung von rund 250 Tagen beliefen sich ca. 109 Tage oder rund 44 % für wissenschaftliche Untersuchungsarbeiten.

Auf die Installation und den Betrieb des Langzeitbeobachtungssystems, welches man nach Abschluss der Bohrarbeiten in die Bohrung einbaute, wird im vorliegenden Bericht nicht näher eingegangen.

### 2.1.1 Geologisches Profil

Die 1'007.0 m tiefe Bohrung Benken durchfuhr 983.3 m Sedimentgesteine und 23.7 m Gneise des kristallinen Grundgebirges. Die obersten 394.8 m wurden gemeisselt, die übrige Strecke lückenlos gekernt. Die stratigraphische Gliederung und lithologische Beschreibung der Meisselstrecke erfolgte anhand der Bohrkleinproben und der bohrlochgeophysikalischen Logs.

Die geologische Beschreibung des Bohrklein- und Bohrkernmaterials hat im Wesentlichen die Prognose bezüglich Tiefenlage und Mächtigkeit der einzelnen geologischen Formationen bestätigt. Die grösste Überraschung bot das Anfahren von Steinsalz im Mittleren Muschelkalk und das Anbohren des kristallinen Grundgebirges im Liegenden der mesozoischen Schichtserie anstelle der seismisch prognostizierten Perm-Sedimente.

Die quartäre Lockergesteinsserie (0 - 68.0 m) besteht zur Hauptsache aus eiszeitlichen und nacheiszeitlichen, vorwiegend feinkörnigen Seeablagerungen. Das Liegende nimmt ein 4 m mächtiges sandig-kiesiges Grundmoränenpaket ein.

Die 124 m mächtige Untere Süsswassermolasse (68.0 - 192.0 m) wird aus der für diesen Ablagerungsraum typischen Wechsellagerung von siltigen Tonen, bunten Mergeln und tonigen Siltsteinen mit eingeschalteten, fein- bis mittelkörnigen Sandsteinbänken aufgebaut. Der Übergang zum liegenden Malm bildet die 7 m mächtige Bohnerz-Formation (192.0 - 199.0 m).

Die mesozoischen Sedimente von Benken sind in der sogenannten Schwäbischen Fazies ausgebildet, d.h. sie entstanden in einem zusammenhängenden Ablagerungsraum mit der süddeutschen Schwäbischen Alb.

Der Malm (199.0 - 451.15 m) ist im oberen Abschnitt mit den Plattenkalken und dem Quaderkalk/Massenkalk sehr kalkig ausgebildet. Im unteren Malm finden sich vermehrt mergelige Abschnitte resp. tonige Zwischenlagen. Als Überraschung kann hier die geringe Mächtigkeit der Effinger Schichten mit lediglich 13.74 m und deren fazielle Ausbildung (vergleichsweise kalkig) gewertet werden. Der Malm weist insgesamt eine relativ geringe hydraulische Durchlässigkeit auf. Wasserzuflüsse sind vor allem in den Wohlgeschichteten Kalken festgestellt worden. Hier wurde im ersten Kernabschnitt bei ca. 396 m eine subvertikale, offene Kluft erbohrt. Auf dem FMI-Strukturlog<sup>1</sup> ist bei ca. 392 m eine weitere, ebenfalls subvertikale offene Kluft erkennbar.

Der ca. 200 m mächtige Dogger (451.15 - 652.04 m) lässt sich grob gliedern in ein oberes Drittel mit einer Wechselfolge von Mergeln, Tonmergeln und siltig-sandigen oder eisenoolithischen Kalken (Grenzkalke bis Humphriesi-Schichten), in einen mittleren, geringmächtigen Abschnitt mit kalkigen Sandsteinen und sandigen Kalkmergeln (Wedelsandstein) und einen unteren 112.34 m mächtigen Abschnitt aus vorwiegend monotonen, mitunter siltig-sandigen Tonen. Dieser letztere Abschnitt umfasst neben dem 93.52 m mächtigen Opalinuston auch die tonigen Murchisonae-Schichten im Hangenden.

---

<sup>1</sup> FMI Formation Micro Imager

Der Lias (652.04 - 692.30 m) umfasst in der Sondierbohrung Benken eine 40.26 m mächtige Schichtfolge aus mehrheitlich tonig-mergeligen Gesteinen. Der Arietenkalk zeigte sich am Kernmaterial und im entsprechenden Hydrotest als sehr gering durchlässig.

Der ca. 120 m mächtige Keuper (692.30 bis 811.35 m) zeigt insgesamt die für den schwäbischen Ablagerungsraum typische Abfolge verschiedenartiger Gesteinstypen. Im oberen Abschnitt dominieren tonige, oft dolomitische Mergel mit Dolomiteinschaltungen und mit zum Teil Anhydritlagen und -knollen. Bemerkenswert ist in diesem Abschnitt der Stubensandstein mit seiner ungewöhnlichen Fazies. Er besteht nämlich im oberen Teil aus porösen bis kavernösen Dolomitbrekzien mit einer entsprechend erhöhten Durchlässigkeit. Der untere Abschnitt des Keupers wird vom 71.49 m mächtigen Gipskeuper in seiner typischen Abfolge von Tonsteinen, Mergeln, Dolomiten und Anhydrit dominiert.

Der Muschelkalk (811.35 bis 975.62 m) hätte gemäss Arbeitsprogramm gemeisselt werden sollen. Während der Bohrphase wurde aber beschlossen, die Muschelkalk-Strecke aus wissenschaftlichen Gründen durchgehend zu kernen.

Der Obere Muschelkalk (811.35 - 874.30 m) mit einer Mächtigkeit von 62.95 m setzt sich aus vorwiegend massigen, z.T. porösen und löcherigen Dolomiten (Trigonodus-Dolomit) und Kalcken (Hauptmuschelkalk) zusammen. Die porösen Dolomite im obersten Abschnitt (Muschelkalkaquifer) erwiesen sich erwartungsgemäss als recht gut wasserdurchlässig. Im Mittleren Muschelkalk (874.30 - 942.03 m) wurde überraschenderweise ein ca. 13 m mächtiges Salzlager (Gemisch aus Steinsalz, Tonstein und Anhydrit mit max. 50 % Salzanteil) zwischen den Anhydrit führenden Oberen und Unteren Sulfatschichten erbohrt. Es wird vermutet, dass es sich bei diesem Salzlager um ein lokales Vorkommen handelt. Der Untere Muschelkalk (942.03 - 975.62 m) bildet eine Tonstein- und Mergelabfolge mit dünnen Sandsteinlagen und vereinzelt Kalkbänken.

Der Buntsandstein (975.62 bis 983.30 m) weist erwartungsgemäss eine relativ geringe Mächtigkeit auf. Die eher schlecht zementierten und porösen Sandsteine sind gut wasserdurchlässig.

Wie eingangs erwähnt, wurde unter dem Buntsandstein ab 983.30 m das kristalline Grundgebirge erbohrt. Es besteht aus migmatitischen Gneisen. Durch die starke Variation des Biotit-Gehaltes ist eine deutliche Bänderung zu erkennen. Die hydrothermale Umwandlung und Spröddeformation ist im erbohrten Abschnitt eher gering.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass ab Oberkante Effinger-Schichten bei 436.66 m bis Oberkante Stubensandstein bei 709.12 m eine insgesamt ca. 272 m mächtige gering durchlässige, ruhig gelagerte, tonige Gesteinsserie ausgebildet ist. In diese sind der 93.52 m mächtige Opalinuston und in toniger Fazies die 18.82 m mächtigen Murchisonae-Schichten eingebettet, insgesamt also 112.34 m Wirtgestein in "Opalinuston-Fazies".

In Beilage 2 ist das geologische Profil der Bohrung Benken graphisch dargestellt.

### **2.1.2 Mess- und Testarbeiten**

Wie an den Untersuchungszielen (Kap. 1.2) erkennbar ist, war in der Bohrung ein umfangreiches wissenschaftliches Mess- und Testprogramm vorgesehen. Dieses fand bereits in der Planungsphase Berücksichtigung und nahm Einfluss auf das generelle bohrtechnische Konzept, die technische Detailplanung sowie die generelle Ablaufplanung der Bohrung. Auch während dem Abteufen der Bohrung standen die technischen Anforderungen aus der Verfahrenstechnik des Mess- und Testprogramms im Vordergrund.

Die wesentlichsten Methoden, sofern bohrtechnisch von Relevanz, sind nachstehend kurz erläutert. Ausführlichere Informationen zu diesen wissenschaftlichen Untersuchungen sind in den jeweiligen Fachberichten bzw. im Untersuchungsbericht (NAGRA 2001) enthalten.

#### **Packertests:**

Zur hydraulischen Charakterisierung bestimmter Formationsabschnitte und zur Gewinnung von Wasserproben wurden insgesamt 20 Packertests ausgeführt. Diese wurden z.T. kurzfristig nach aktuellen Kernbefunden und/oder Spülbilanzmessungen ausgeführt oder auch aufgrund der einzelnen erbohrten lithologischen Abschnitte angesetzt.

Die Einfach- oder Doppelpackergarnituren (Packer-Durchmesser nominal  $4\frac{5}{8}''^2$ ) wurden dabei an  $2\frac{3}{8}''$  NU API-Tubingen<sup>3</sup> als Trägerstrang eingebaut, wobei der Spacing-Teil bei Doppelpackerausrüstungen vorwiegend aus  $1.9''$  NU API-Tubingen bestand. Die Garnituren waren mit Drucksensoren ausgerüstet, die ein selektives Messen in den zwei bzw. drei abgepackerten Intervallen ermöglichten. Zum Spannen der Packer und zur Übertragung der Messdaten wurden aussen am Trägertubing drei Druckleitungen und ein Messkabel mitgeführt, welche gemeinsam und mit Kunststoff ummantelt in einer einzigen FlatPac-Leitung kombiniert waren. Diese Leitung wurde mit Stahlbändern am Tubing fixiert.

In dem Tubingstrang war zusätzlich jeweils ein Stator einer Moineau-Pumpe integriert. Damit konnte eine für die Messungen erforderliche Druckabsenkung in den Messintervallen entweder durch Schwappen erfolgen, oder für längere Förderphasen die Moineau-Pumpe benutzt werden. Dazu baute man an einem  $\frac{3}{4}''$  Pumpgestänge den Rotor ein, welcher übertage von einem am Tubingkopf angebrachten Hydraulikmotor angetrieben wurde. Mit dieser Einrichtung konnten kontinuierliche und gut regulierbare Förderraten erzielt werden.

Vor der Durchführung der hydraulischen Packertests ersetzte man in den mit Ton-Süßwasser oder Salzwasser abgebohrten Strecken die Bohrspülungen im Testabschnitt jeweils durch getarctes deionisiertes Wasser. In Bereichen, welche mit Natrium-Silikatspülung (Kap. 2.5.2) erbohrt worden waren, wurde in das Testintervall üblicherweise zuerst eine Natriumhydroxid-Lösung als Waschflüssigkeit einzirkuliert. In einem zweiten Schritt ersetzte man die Waschflüssigkeit durch das eigentliche Testfluid (synthetisches Formationswasser, PEARSON 1998). Dieses war ein künstlich hergestelltes Opalinuston-Formationswasser, welches ein Quellen der Tonminerale minimieren sollte. Die Wasch- und Testfluids waren jeweils mit UV-1 Tracern versetzt.

Die Tests wurden je nach Anforderungen als

- Pumpertest mit konstanter Förderrate bzw. konstantem Druck (Constant Rate Withdrawal, Constant Head Withdrawal),
- Injektionstest mit konstantem Druck oder konstanter Fließrate (Constant Head Injection, Constant Rate Injection),
- Kurzzeitige und plötzliche Druckänderungstests (Slug/Pulse Withdrawal oder Slug/Pulse Injection),
- Gasinjektionstests (Gas Threshold Pressure Tests)

---

<sup>2</sup> " = Zoll, 1" = 25.4 mm

<sup>3</sup> API American Petroleum Institut, NU non upset

mit dazugehöriger Druckerholungsphase (Recovery) ausgeführt. Die online übertragenen Druckdaten aus dem Testintervall ermöglichten es, den Testverlauf abhängig von ersten Auswertungsergebnissen und Interpretationen optimal an die gegebenen Formationsbedingungen anzupassen oder auch umzugestalten.

#### **Flow Checks:**

Bei den Flow Checks handelt es sich um Messungen der Druckspiegelhöhe im Bohrloch mittels eines Kabellichtlotes. In definierten Zeitabständen werden die Veränderungen des Druckspiegels festgehalten, um Anhaltspunkte über die Permeabilität des offenen Bohrlochabschnittes zu erhalten.

Da bei den geringen Durchlässigkeiten eine grosse Abhängigkeit der Resultate von den Rahmenbedingungen wie z.B. Spüldichte, Spülungsviskosität etc. vorhanden ist, verzichtete man in der Bohrung Benken auf einen systematischen Einsatz dieser Methode. Es wurden lediglich einige wenige Flow Checks mit einer Dauer von jeweils ca. einer Stunde durchgeführt.

#### **Geophysikalische Messungen:**

Durch das mittels Absenken und wieder Heraufziehen von geophysikalischen Sonden an einem elektrischen Messkabel durchgeführte geophysikalische Logging werden kontinuierliche Messdaten im Bohrloch registriert. Die in den einzelnen Bohrlochabschnitten durchgeführten geophysikalischen Messungen umfassten

- Petrophysikalisches Logging zur Beschaffung von gesteinsphysikalischen Parametern (z.B. Dichte, elastische Parameter, elektrische Leitfähigkeit, natürliche Gammastrahlung),
- Strukturlogging zur qualitativen und quantitativen Erkundung der geologischen Strukturen und zur Korrelation der Bohrkerne (Formation Micro Imager, Ultrasonic Imager),
- Bohrtechnisches Logging zur Beschaffung bohrtechnischer Parameter (z.B. Cement Evaluation Tool, Kaliberlog, Casing Collar Locator),
- Bohrlochseismik zur Tiefenkalibrierung der reflexionsseismischen Daten und Kalibration des Sonic-Logs (Check-Shot-Messungen) sowie zur lateralen Extrapolation der Bohrlochdaten (Walkaway VSP).

#### **Felsmechanische in-situ Messungen:**

Zur Bestimmung bautechnisch relevanter Gesteinsparameter wie Kompressions- und Elastizitätsmodul sowie zur Feststellung des Kriechverhaltens des Wirtgesteines wurden im Opalinuston Dilatometermessungen durchgeführt. Dazu mussten an den Messstellen Vorbohrstrecken mit dem für die Dilatometersonden geeigneten Durchmesser hergestellt werden. Diese 6 m langen Vorbohrstrecken mit 96 mm Durchmesser wurden mit einer kombinierten 3 1/2" - 5 1/2" Kernstranggarnitur aufgefahren und nach den Messungen jeweils auf 6 1/4" aufgebohrt. Zur Messung wurde das Dilatometer am Tubing eingefahren, wobei am Tubing befestigt eine 1/4" Druckleitung und ein Messkabel mitgeführt wurden, um die Sonde zu spannen und die Daten online zu erfassen.

Mittels einer Doppelpackergarnitur führte man Hydrofrac-Messungen zur Ermittlung des Gebirgsspannungszustandes aus. Dabei isolierte man kurze Messintervalle von ca. 1 m und beaufschlagte sie mit hohem hydraulischen Druck. Aus dem beobachteten Risseinleitungsdruck sowie dem Einschlussdruck lassen sich dabei die minimale und maximale horizontale Hauptspannung bestimmen. FMI-Messungen (Formation Micro Imager) vor und nach den Frac-Tests sowie der Einsatz von Abdruckpackern ermöglichten die räumliche Orientierung der erzeugten Risse.

### Bohrlochverlaufsmessungen:

Während der Bohrarbeiten wurde der Bohrungsverlauf regelmässig im Abstand von ca. 50 m durch Single-Shot-Messungen kontrolliert, um bei unerwarteten Verlaufsänderungen notfalls reagieren zu können. Die endgültige Berechnung des Bohrlochverlaufs erfolgte anhand der zusammen mit dem FMI in kürzesten Abständen gemessenen Neigungs- und Richtungswerten. Vom letzten vorhandenen Messwert bis zur Endteufe wurden die Daten extrapoliert, wobei der Abstand lediglich 6.5 m betrug.

### 2.1.3 Technische Daten der Bohrung

Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht über die wesentlichen Bohrungsdaten.

Tab. 2: Technische Daten der Bohrung

Koordinaten Ansatzpunkt		690'988.8 / 277'842.9
Höhe über Meer		404.30 m
Bohranlage		Wirth B5-R
Erster Bohrtag		3. September 1998
Letzter Bohrtag		12. Mai 1999
Endteufe		1'007.0 m
Enddurchmesser		6 1/4"
Vertikale Teufe		1'006.9 m
Gesamtabweichung (bei 1'007 m)		13.95 m
nach Azimut		230°
max. Neigung (bei 955 m)		1.8°
Verrohrungen	Hilfsstandrohr DN 500	30.0 m zementiert bis zutage
	13 3/8" Standrohr	92.5 m zementiert bis zutage
	9 5/8" Ankerverrohrung	564.1 m zementiert bis ca. 115 m
	7" Endverrohrung	814.0 m zementiert bis zutage
Rückverfüllung		1'007.0 - 827.7 m

### 2.1.4 Technische Daten der Bohranlage

Das vollhydraulische Universalbohrgerät des Typs Wirth B5-R wurde für den Einsatz im Benken aus ökologischen Gründen mit einer separaten elektrohydraulischen Antriebseinheit ausgerüstet. Somit erfolgte der Antrieb des Hauptaggregats elektrisch ab Netz, lediglich die Hilfsaggregate wie z.B. die Spülpumpen für Erweiterungsarbeiten wurden mit Dieselmotoren angetrieben.

Die Hauptantriebseinheit sowie die leistungsstärkste Pumpeneinheit waren zudem in besonderen Schallschutzcontainern untergebracht. Mit diesen Massnahmen konnte zu einer wesentlichen Reduktion der Abgas- und Lärmemissionen beigetragen werden.

Unmittelbar vor ihrem Einsatz wurde die Anlage einer Vollrevision mit komplettem Neuaufbau des Hydrauliksystems unterzogen. Damit verbundene Feinabstimmungsarbeiten an den hydraulischen Steuerungssystemen waren erst während des Vollbetriebs der Anlage durchführbar, sodass in der Anfangsphase der Bohrarbeiten einige, vom Zeitaufwand her aber unwesentliche Serviceunterbrüche eingelegt werden mussten.

Ansonsten hielt sich der Service- und Reparaturaufwand während des Bohrungsablaufs in unterdurchschnittlich geringem Rahmen.

Nachfolgend sind die wesentlichsten Kennzahlen der Bohranlage und ihrer Ausrüstungskomponenten aufgeführt:

<b>Bohrgerät</b>	Typ	Wirth B5-R
	Baujahr/Generalüberholungen	1976/1994/1998
	Eigentümer	Foralith AG, Gossau
<b>Bohrmast</b>	Masttyp	Vollprofilmast B5
	Turmhöhe einschl. Unterbau	16.80 m
	Kronenregellast	503 kN
	Hakenregellast	490 kN
	Einsicherung	3-fach
<b>Unterbau</b>	Gesamthöhe	1.10 m
	Abmessungen	4.00 m x 2.45 m
	Freie Höhe	0.90 m
	Zul. Abfanglast	Abfangvorrichtung 500 kN
	Max. Durchgang	Abfangvorrichtung 11 3/4"
<b>Kraftdrehkopf</b>	Typ	Wirth B5, verstärkte Ausführung
	Eingangsleistung	150 kW
	Max. Drehzahl	330 U/min
	Statische Tragkraft	550 kN
<b>Hebewerk</b>	Typ	Wirth B5
	Max. Eingangsleistung	150 kW
	Max. Zugkraft an der Trommel	85 kN
	Seildurchmesser	20 mm
	Schlämmtrommel	2000 m, 9 mm Seil

<b>Spülpumpen</b>	Spülpumpe 1	5 1/2" x 5 1/2" TPK Wirth
	Eingangsleistung	85 kW
	Druck max.	64 bar
	Pumprate max.	1'600 l/min
	Spülpumpe 2	4" x 4" TPK Wirth
	Eingangsleistung	31 kW
	Druck max.	64 bar
	Pumprate max.	744 l/min
	Spülpumpe 3	HT 400, 5" Fluid End, Halliburton
	Eingangsleistung	368 kW
	Druck max.	360 bar
	Pumprate max.	1870 l/min
<b>Antriebsmotoren</b>	Bohrgerät dieselhydraulisch	Deutz F10, 184 kW
	Bohrgerät elektrohydraulisch	E-Antrieb 250 kW
	Spülpumpe 1	Deutz F6, 88 kW
	Spülpumpe 2	Deutz F4L, 40 kW
	Spülpumpe 3	Detroit V12/92, 368 kW
<b>Spülungssystem</b>	Volumen aktiv	2 x 15 m <sup>3</sup>
	Mischeinrichtung	Düsenstrahlhopper, 3 m <sup>3</sup>
		3 Rührwerke - 20" Impeller
	Feststoffabscheidung	1 Schüttelsieb Typ Schauenburg
		1 Mudcleaner Typ Oiltools 48"
<b>Preventeranlage</b>	Doppelbackenpreventer	Schaffer 9" x 2000 PSI
	Anularpreventer	Reagan 7 1/16" x 2000 PSI/1500 PSI
	Speicherschliessanlage	Valcon 120 gal.
	Choke Manifold	Cameron, 2000 PSI, 2" Choke
	Mud Degaser & Fackel	Typ Itag
<b>Stromaggregate</b>	Hilfsaggregat	Atlas Copco QAS 85, 80 kVA
<b>Bohrgestänge</b>	Seilkerngestänge	5 1/2" SK-E
		3 1/2" SK
	Schwerstangen	8" x 2 1/4", 20'
		6 1/4" x 2 1/4", 20'
		5 1/2" SK-HWDP

### 2.1.5 Chronologie der Bohrung

Nachstehend ist der Ablauf der Arbeiten an der Bohrung Benken in Stichworten chronologisch aufgelistet. Ein Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen befindet sich am Ende des Kapitels.

In Beilage 2 ist der zeitliche Ablauf der Arbeiten zusätzlich graphisch dargestellt.

14.04.98	Beginn Bohrplatzerstellung
17.08.98	Beginn Antransport und Installation der Gerätschaften
03.09.98	Einjustieren Bohranlage, Zusammenstellen Meisselgarnitur, Bohrbeginn
03.09.98 - 04.09.98	Aufbohren des Zements im Hilfsstandrohr mit 17 1/2" Rollenmeisselgarnitur bis 30.5 m, Scrapern der Hilfsstandrohrtour
05.09.98 - 07.09.98	Rollenmeisselbohrung 17 1/2" von 30.5 - 94.0 m, Spülungsbehandlungen, Check-Trip
07.09.98 - 09.09.98	Einbau 13 3/8"-Standrohrtour bis 92.5 m, Zementation über Gestänge bis zutage, Zementerhärtung
09.09.98 - 10.09.98	Zementerhärtung, Aufbohren 13 3/8" Shoe-Track von 86.2 - 94.0 m mit 12 1/4" Rollenmeissel, Einbau 7"-Hilfsverrohrung bis 93.4 m, Abdichtung Rohrschuh mit Compactonit, Aufbau der Preventereinrichtungen
10.09.98 - 13.09.98	Meisselbohrung 6 1/4" von 94.0 - 205.7 m; Meisselwechsel bei 163.9 und 195.8 m, Bit-Balling, Einpumpen von 1 m <sup>3</sup> Ätznatronlauge bei 194.0 m, Spülungsverluste bei 205 m, Flowcheck, Check-Trip ab Rohrschuh, Einzirkulieren von Klarwasser
13.09.98 - 14.09.98	Hydraulischer Test: Einfachpackertest M1 (197.50 - 205.70 m, Top Malm) Einbau Pumpgestänge, Ausbau Pumpgestänge, Flushing, Schwappen, Ausbau Testgarnitur
14.09.98 - 20.09.98	Meisselbohrung 6 1/4" von 205.7 - 394.8 m; Meisselwechsel bei 256.4 m, Spülungsverluste beim Bohren und Rücklauf bei Stillstand, Spülungsbehandlungen, Rückflussmessungen, Check-Trip bei 333.3 m
20.09.98 - 27.09.98	Hydraulische Tests: Einfachpackertest M2 (379.98 - 394.80 m, Malm) Flushing, Einbau Pumpgestänge, Ausbau Pumpgestänge, Probenahmen, Schwappen, Versetzen Packer Einfachpackertest M3 (205.28 - 394.80 m, Malm) Flushing, Einbau Pumpgestänge, Ausbau Testgarnitur
27.09.98 - 28.09.98	Umrüsten für Kernbohrung 6 1/4", Nachbohren bis Sohle

28.09.98 - 30.09.98	Kernbohrung 6 1/4" von 394.8 - 435.3 m; Spülungsverlust- und Rückflussmessungen
30.09.98 - 01.10.98	Spülsaustausch auf Sohle (Natrium-Silikatpülung), Reparaturarbeiten am Hydraulikantrieb
01.10.98 - 04.10.98	Kernbohrung 6 1/4" von 435.3 - 475.8 m; Nachbohren bis Sohle, Austausch 15 m <sup>3</sup> Spülung wegen Tonverunreinigung, zunehmende Spülungsverluste (1.6 m <sup>3</sup> /h) während dem Kernbohren und starker Rückfluss aus Formation bei Pumpenstillstand (bis zu 275 l/min), Rückflussmessungen zur Spülungswiedergewinnung
04.10.98 - 05.10.98	Roundtrip Bohrkronen-Check, Reparatur Hydraulikantrieb
05.10.98 - 12.10.98	Kernbohrung 6 1/4" von 475.8 - 564.5 m; weiterhin zunehmende Spülungsverluste und Rückflüsse bis 10 m <sup>3</sup> /h bei Pumpenstillstand, Unterbrüche zur Spülungswiedergewinnung, Roundtrip bei 548.6 m infolge Kernfangeilriss
12.10.98 - 16.10.98	Hydraulischer Test: Einfachpackertest O1 (538.05 - 564.50 m, Top Opalinuston) Einzirkulieren von Waschlauge und synthetischem Formationsfluid, Schwappen
16.10.98 - 17.10.98	Roundtrip bis Sohle, Kaliberlog, Aufstand bei 526 m, Roundtrip bis Sohle
17.10.98 - 20.10.98	Hydraulischer Test: Doppelpackertest D1 (493.77 - 540.10 m, Dogger) Einzirkulieren von Waschlauge und synthetischem Formationsfluid, Druckverlust im unteren Packer, Testabbruch
20.10.98	Roundtrip, spülend befahren ab 558 m, Kaliberlog
20.10.98 - 23.10.98	Hydraulischer Test: Doppelpackertest D2 (496.27 - 547.57 m, Dogger) Einzirkulieren von Waschlauge und synthetischem Formationsfluid, Schwappen, Umsetzen Doppelpackergarnitur
23.10.98 - 30.10.98	Hydraulische Tests: Doppelpackertest MD1 (446.27 - 497.57 m, Malm/Dogger) Einzirkulieren von Waschlauge und synthetischem Formationsfluid, Schwappen, Umsetzen Packergarnitur Doppelpackertest M4 (403.27 - 454.57 m, Malm) Einzirkulieren von Waschlauge und synthetischem Formationsfluid, Schwappen, Ausbau Testgarnitur
30.10.98 - 31.10.98	Roundtrip bis Sohle, Auszirkulieren des Testfluids, Kaliberlog bis 467 m, Aufstand, Roundtrip bis Sohle, Stabilisieren des Bohrlochs, Kaliberlog

31.10.98 - 03.11.98	Hydraulische Tests: Einfachpackertest O2 (547.42 - 564.50 m, Opalinuston) Einzirkulieren von Waschlauge und synthetischem Formationsfluid, Schwappen, Versetzen Packer Einfachpackertest O3 (544.60 - 564.50 m, Opalinuston) Einzirkulieren von Waschlauge und synthetischem Formationsfluid, Packerdefekt, Schwappen, Ausbau Testgarnitur
03.11.98 - 04.11.98	Roundtrip bis Sohle, Spülsaustausch (Ton-Süßwasserspülung)
04.11.98 - 05.11.98	Geophysikalische Messungen: Struktur-Logging: FMI-GPIT-GR Hydrofrac-Messungen: Frac-Tests bei 518.5 m, 446 m, 432.5 m, 405.5 m, 360 m, 317 m, 290 m, 261 m, 212 m, 175 m Geophysikalische Messungen: FMI-GPIT-GR
05.11.98 - 06.11.98	BOP-Demontage, Ausbau 7"-Hilfsverrohrung, drei Verrohrungsbrüche
06.11.98 - 07.11.98	Fangarbeiten auf Abfangbacke bei 94 m mit Magnet und 11"-Überwachrohr, Überbohren Abfangbacke bis 94.5 m
07.11.98 - 15.11.98	Bohrlocherweiterung 6 1/4" - 8 1/2" von 94.5 - 564.2 m; Meisselwechsel bei 326.5 m
15.11.98 - 28.11.98	Bohrlocherweiterung 8 1/2" - 12 1/4" von 94.0 - 564.5 m; Meisselwechsel bei 320.6 m, 376.3 m und 424.1 m
28.11.98 - 29.11.98	Geophysikalisches Logging, Sondenaufstand vor Sohle, Roundtrip und Nachbohren 12 1/4" bis Sohle Geophysikalische Messungen: DSI-EMC-AMS-GPIT-GR, DLL-MSFL-SP-GR, IPL, CMR-GR, CET-CCL-GR
29.11.98 - 30.11.98	Roundtrip und Nachbohren 12 1/4" bis Sohle
01.12.98 - 04.12.98	Einbau 9 5/8"-Verrohrung bis 564.1 m, Step-In-Gestängezementation, Zementerhärtung, Temperaturmessungen, Auszirkulieren bis 460 m, Temperaturmessungen, Auszirkulieren bis 547 m, Bohrtechnisches Logging: STG-CBL
04.12.98 - 07.12.98	Aufbohren Zement-Track von 555.0 - 564.5 m mit 8 1/2" RM, Einbau 7"-Hilfsverrohrung bis 563.1 m und Abdichtung im Rohrschuhbereich, Aufbau BOP, Spülsaufbereitung
07.12.98 - 08.12.98	Kernen 6 1/4" von 564.5 - 572.9 m
08.12.98 - 11.12.98	Reparatur Kraftdrehkopf
11.12.98 - 13.12.98	Kernen 6 1/4" von 572.9 - 596.5 m
13.12.98 - 17.12.98	Kaliberlog, Hydraulischer Test: Einfachpackertest O4 (566.45 - 596.50 m, Opalinuston) Einzirkulieren von Waschlauge und synthetischem Formationsfluid, Schwappen

17.12.98 - 18.12.98	Einbau kombinierte 5 1/2" + 3 1/2" Kernbohrgarnitur, Bohrloch auszirkulieren, Kernbohrung 96 mm für Dilatometermessungen von 596.5 - 602.5 m
18.12.98 - 20.12.98	Felsmechanische Messungen: Dilatometermessungen bei 597.6 m, 598.8 m und 600.0 m
20.12.98 - 23.12.98	Bohrlocherweiterung auf 6 1/4" von 596.5 - 602.5 m, Kernbohrung 6 1/4" von 602.5 - 623.6 m
23.12.98 - 01.01.99	Kaliberlog, Hydraulischer Test: Doppelpackertest O5 (600.07 - 603.45 m, Opalinuston) Einzirkulieren von Waschlauge und synthetischem Formationsfluid, einzirkulieren von Stickstoff
01.01.99 - 02.01.99	Roundtrip und Nachbohren bis Sohle
02.01.99 - 06.01.99	Kaliberlog, Hydraulischer Test: Einfachpackertest O6 (605.13 - 623.60 m, Opalinuston) Einzirkulieren von Waschlauge und synthetischem Formationsfluid, Schwappen, Ziehen der Packergarnitur mit 4 t Überlast
06.01.99 - 07.01.99	Einbau kombinierte 5 1/2" + 3 1/2" Kernbohrgarnitur, Nachbohren ab 610 m, Auszirkulieren Testfluids, Kernbohrung 96 mm für Dilatometermessungen von 623.6 - 629.8 m
07.01.99 - 09.01.99	Felsmechanische Messungen: Dilatometermessungen bei 628.0 m, 626.7 m und 625.0 m
09.01.99 - 12.01.99	Bohrlocherweiterung auf 6 1/4" von 623.6 - 629.8 m, Kernbohrung 6 1/4" von 629.8 - 655.7 m; Schwierigkeiten mit Kernfangeinrichtung
12.01.99 - 14.01.99	Kaliberlog, Felsmechanische Messungen: Hydrofrac-Tests mit Abdruckpacker bei 632.5 m und 629.5 m
14.01.99 - 22.01.99	Hydraulischer Test: Einfachpackertest O7 (623.72 - 655.70 m; Opalinuston) Schwappen, 1. Testsequenz unter Natrium-Silikatpflung, Einzirkulieren von Waschlauge und synthetischem Formationsfluid von Sohle, 2. Testsequenz, Schwappen
22.01.99 - 31.01.99	Auszirkulieren des Testfluids, Nachbohren ab 645 m, Kernbohrung 6 1/4" von 655.7 - 752.0 m
31.01.99 - 08.02.99	Hydraulische Tests: Doppelpackertest L1 (656.78 - 698.00 m, Lias) Einzirkulieren von Waschlauge und synthetischem Formationsfluid, Versetzen der Packer, Doppelpackertest K1 (698.00 - 739.22 m, Oberer Keuper), Einzirkulieren von Waschlauge und synthetischem Formationsfluid, Schwappen, Einbau Pumpgestänge, Wasserprobennahme, Ausbauversuche Packergarnitur

08.02.99 - 17.02.99	Fangarbeiten auf Doppelpackergarnitur Mehrfaches Nachbohren mit Kern- und Meisselgarnituren, Stabilisierung der Bohrung, Fangpunkte bei 695.5 m, 689.0 - 744.5 m, Bergen der Packergarnitur
17.02.99 - 22.02.99	Kernbohrung 6 1/4" von 752.0 - 787.6 m Mehrfaches Nachbohren und Kernen von Metallresten, Stabilisieren der Bohrung
22.02.99 - 03.03.99	Hydraulischer Test: Einfachpackertest K2 (769.69 - 787.60 m, Gipskeuper) Absetzen 5 1/2"-Gestänge mit Rohrschuhkrone bei 770.5 m als Schutzverrohrung, Packersitz bei 774.9 m, Testabbruch infolge Packerdefekt, Ausbau Testgarnitur, Nachbohren mit Rohrschuhkrone bis Sohle, Kaliberlog, Absetzen Schutzverrohrung bei 763.2 m, Einbau Packergarnitur, Packersitz bei 771.8 m, Abbruch wegen Packerdefekt, Ausbau, Roundtrip bis Sohle, Ausbau Schutzverrohrung, Einbau Testgarnitur, Packersitz bei 775.6 m, Abbruch wegen Packerdefekt, Ausbau, Roundtrip bis Sohle, Einbau Testgarnitur, Packersitz bei 769.69 m, Schwappen
03.03.99 - 06.03.99	Kernbohrung 6 1/4" von 787.6 - 814.0 m
06.03.99 - 08.03.99	Demontage BOP, Ausbau 7"-Temp. Hilfsverrohrung; Brüche an zwei Stellen, Roundtrip bis Sohle
08.03.99 - 09.03.99	Geophysikalische Messungen: Struktur Logging UBI-GPIT-EMC-GR, UBI-GPIT-GR, Bohrtechnisches Logging CET-CCL-GR
09.03.99 - 11.03.99	Roundtrip bis Sohle, Felsmechanische Messungen: Hydrofrac-Messungen mit Abdruckpackern bei 789.5 m und 741.0 m
11.03.99 - 17.03.99	Bohrlocherweiterung 6 1/4" - 8 1/2" von 564.5 - 814.0 m; Meisselwechsel bei 748.6 m
17.03.99 - 21.03.99	Geophysikalisches Logging: Petrophys. Logging DLL-SP-GR, IPL, HRLA-MSFL-GR, DSI-GPIT-GR, ECS-GR, CMR-GR, Struktur-Logging FMI-GPIT-GR, Walkaway VSP (684 - 214 m), Roundtrip bis Sohle
21.03.99 - 25.03.99	Einbau 7"-Endverrohrung bis 814.0 m, Zementation bis zutage, Zement erhärtung, Preventermontage, Aufbohren Shoe-Track von 798.2 - 810.0 m mit Rollenmeissel, Spülungsaustausch (Ton-Süßwasserspülung), Funktionstests BOP, Kernbohrung über Rohrschuhbereich von 810.0 - 814.0 m
25.03.99 - 30.03.99	Kernbohrung 6 1/4" von 814.0 - 877.2 m, Check-Trip
30.03.99 - 02.04.99	Hydraulischer Test: Einfachpackertest MK1 (814.00 - 877.20 m, Muschelkalk) Schwappen, Einbau Pumpgestänge, Wasserprobennahme

02.04.99 - 09.04.99	Kernbohrung 6 1/4" von 877.2 - 937.6 m; Roundtrips bei 879.9 m und 923.9 m infolge Kernklemmer
09.04.99 - 13.04.99	Hydraulischer Test: Doppelpackertest MK2 (814.00 - 826.01 m, Oberer Muschelkalk/Trigonodus-Dolomit) Schwappen, Einbau Pumpgestänge, Wasserprobennahme
13.04.99 - 14.04.99	Roundtrip bis Sohle, Kaliberlog
14.04.99 - 16.04.99	Einbau Zementierstrang, Rückzementation mit salzwassergesättigtem Zement von 935.0 - 913.7 m, Zementerhärtung
16.04.99 - 21.04.99	Zement aufgespült von 923.8 m bis Sohle, Einbau Zementierstrang, Rückzementation mit salzwassergesättigtem Zement von 936.0 - 812.5 m, Zementerhärtung, Aufkernen Zementstrecke von 820.0 - 926.6 m, Systemumstellung auf Salzwasserspülung
21.04.99 - 27.04.99	Spülsaustausch (Salzwasserspülung), Kernbohrung 6 1/4" von 926.6 - 995.4 m; Roundtrip bei 938.8 m (Kernklemmer), Gestängebruch auf 155.4 m beim Kernabreißen bei 945.8 m
27.04.99 - 30.04.99	Hydraulischer Test: Doppelpackertest B1 (974.30 - 983.03 m, Buntsandstein) Schwappen, Einbau Pumpgestänge, Wasserprobennahme
30.04.99 - 04.05.99	Kernbohrung 6 1/4" von 995.4 - 1'007.0 m; Kronenwechsel bei 999.6 m und 1000.0 m, Nachbohren, Kronenwechsel bei 1003.6 m
04.05.99 - 05.05.99	Geophysikalisches Logging: Struktur-Logging FMI-GPIT-GR, FMS- GPIT-GR, Petrophys. Logging DLL-SP-AMS-GR, MSFL-NGT, LDT-CNT-GR, DSI-GR, Bohrtechnisches Logging CET-CCL-GR, Bohrlochseismik CSAT
05.05.99 - 06.05.99	Einbau Zementierstrang, Rückzementation von 1'007.0 m bis 827.7 m, Gestängebruch beim Ausbau Zementierstrang
06.05.99 - 08.05.99	Fangarbeiten und Überwaschen des Zementierstrangs bis 916.0 m, Bergen des Strangs
08.05.99 - 11.05.99	Einbau Zementierstrang, Rückzementation von 916.0 - 826.0 m, Zementerhärtung, Zementkopf abtasten bei 827.7 m, Spülsaustausch (synthetisches Formationsfluid)
11.05.99 - 12.05.99	Perforation der 7"-Rohrtour: 10 x 3 m bei (top): 773.0 m, 716.5 m, 711.0 m, 678.5 m, 630.0 m, 576.0 m, 536.0 m, 466.0 m, 392.5 m, 389.0 m, Scraper-Run in der 7" Rohrtour bis 812.5 m, Ende der Bohrphase und Freigabe der Bohranlage zum Abbau
28.06.99	Temperatur-Leitfähigkeits-Log

28.06.99 - 17.07.99	Einbau des Langzeitbeobachtungssystems
22.07.99	Beginn der Abbrucharbeiten des Bohrplatzes

Tab. 3: Verwendete Abkürzungen

<u>Bohrtechnik:</u>		ECS	Elemental Capture Spectroscopy
BOP	Blowout Preventer	EMC	Environmental Measurement Sonde, Caliper
RM	Rollenmeissel	FMI	Formation Micro Imager
RS	Rohrschuh	FMS	Formation Micro Scanner
<u>Geophysik:</u>		GPIT	Orientierungseinheit
AMS	Auxiliary measurements	GR	Gammastrahlungslog
CAL	4-Arm Kaliber	HRLA	High Resolution Laterlog Array
CCL	Casing Collar Locator	IPL	Integrated Porosity & Lithology Log
CET	Cement Evaluation Tool	LDT	Litho-Density Tool
CMR	Nuclear Magnetic Resonanz Log	MSFL	Fokussiertes Mikro-Widerstandslog
CNT	Compensated Neutron Tool	NGT	Natural Gamma Ray Spectrometry Tool
CSAT	Checkshot-Sonde	SP	Spontaneous Potential
DLL	Fokussiertes Widerstandslog (zentr.)	STG	Temperaturlog
DSI	Dipole Shear Sonic Imager	UBI	Ultra Sonic Borehole Imager
		VSP	Vertical Seismic Profiling

## 2.2 Bohrvorgang

### 2.2.1 Hilfsstandrohrstrecke

Aufgrund des geologischen Aufschlusses aus der Grundwasserüberwachungsbohrung P1/BP209 (Kap. 3.2) wurde entschieden, im Zuge der Bohrplatzerstellung ein zusätzliches Hilfsstandrohr einzubringen. Infolge der oberflächennahen, weichen und z.T. instabilen Seebodenablagerungen bestand die Gefahr, dass es beim Aufmeisseln der Standrohrstrecke zu einer Unterspülung der tragenden Bohrfundamentplatte bzw. der Fundamentpfählung kommen könnte.

Das Hilfsstandrohr wurde nach konventioneller Rammbohrmethodik mit Greifer erstellt. Ein mit einer Schneidkrone versehenes Rammrohr von 832 mm Aussendurchmesser wurde bis 33.0 m eingerammt und das Bohrklein innen mit einem Schöpfgreifer entnommen. Bei 33.0 m war die Kapazität der Verrohrungsanlage erschöpft und ein starker Zufluss von feinen Fließsanden verhinderte ein weiteres Vertiefen. Im Schutz der Rammrohre setzte man das geschweisste Hilfsstandrohr (508 x 8 mm, St-37) auf 30.0 m Tiefe ab. Über eine am Hilfsstandrohr fest montierte Zementierleitung wurde sodann bei gleichzeitigem Rückzug der Rammrohre Zementmörtel (Beton B Mörtel Dorodur) verpresst und der Ringraum zwischen Gebirge und Rohr bis zutage zementiert.

Wie sich beim eigentlichen Bohrbeginn zeigen sollte, wurde dabei von der ausführenden Bau-firma fälschlicherweise auch der gesamte Rohrinhalt mit Zement verfüllt.

Somit musste am ersten Bohrtag, dem 3. September 1998, mit der 17 1/2" Meisselgarnitur zum Erbohren der Standrohrstrecke zuerst auch der Zement im Hilfsstandrohr ab 1.5 m u.T. bis 30.5 m aufgebohrt werden. Mit einem speziell angefertigten Rohrreinigungsgerät entfernte man anschliessend die an der Rohrrinnenwand anhaftenden Zementreste.

### **2.2.2 Meisselstrecke 33.0 bis 94.0 m**

Nach ca. 30 Stunden für o.g. Massnahmen konnte am 5. September mit dem Erbohren der eigentlichen Standrohrstrecke durch die quartären Seeablagerungen begonnen werden.

Mit einer stabilisierten 5 1/2" DP - 8" DC Meisselgarnitur wurde bis ca. 24 m in das Top der Unteren Süsswassermolasse bzw. bis 94.0 m mit 17 1/2" Durchmesser unter Verwendung einer konditionierten Ton-Süsswasserspülung gebohrt. Wegen besonders instabiler Bohrlochabschnitte und hoher Drehmomente musste die Strecke vor dem Einbau der Standrohrtour nochmals befahren und nachgebohrt werden.

Die 13 3/8" Verrohrung mit Stab-in-Rohrschuh wurde darauf bei 92.5 m abgesetzt und über das Bohrgestänge bis zutage zementiert.

### **2.2.3 Meisselstrecke 94.0 bis 394.8 m**

Nach 35-stündiger Zementerhärtungszeit wurde der Rohrschuh bis 94.0 m aufgebohrt, eine temporäre 7" Hilfsverrohrung mit Linksgewinde auf 93.4 m abgesetzt sowie die Hydril-Preventer-Anlage als Divertereinrichtung am Bohrlochkopf montiert.

Mit einem Durchmesser von 6 1/4" setzte man die Bohrarbeiten in der Unteren Süsswassermolasse fort. Als Bohrspülung kam eine Ton-Süsswasserspülung zum Einsatz. Mit guten Bohrfortschritten von ca. 2.0 m/h und unter stabilen Verhältnissen wurde der Hauptteil des Tertiärs abgebohrt. Ab ca. 180 m bereiteten im Wechselbereich zur Bohnerz-Formation stark plastische und lehmhaltige Molassezonen durch ein starkes Verkleben der Zahnrollenmeissel Schwierigkeiten, welche u.a. zu Werkzeugwechseln zwangen.

In der Übergangszone zum Malm setzten stärkere Spülungsverluste ein und die Bohrung wurde zu Testzwecken (Hydrotest M1, Wasserprobennahme) bei 205.7 m angehalten.

Nach Beendigung der Tests wurden die Bohrarbeiten mit 6 1/4" Zahn- und Warzenmeissel und mit durchschnittlichen Fortschrittsleistungen von 2 m/h fortgesetzt. Ohne weitere nennenswerte Spülungsverluste, mit Ausnahme eines grösseren punktuellen Verlusts von über 7 m<sup>3</sup> bei 250 m, und ohne weitere Probleme erbohrte man die Platten- und Quaderkalke des oberen Malms. In den Wohlgeschichteten Kalken ab 390 m stiegen die Spülungsverluste erneut sprunghaft an, sodass die Bohrung unter Verlustraten von rund 8 m<sup>3</sup>/h bei 394.8 m für Hydrotests (M2, M3) gestoppt wurde.

Wie auch schon bei der letzten Verlustzone zeigte sich dabei, dass die Spülungsabgänge lediglich während des Bohrens mit rund 400 l/min Pumpleistung und Zirkulationsdrücken von rund 20 bar auftraten, bei Pumpenstillständen jedoch starke Rückflüsse aus dem Bohrloch einsetzten.

#### 2.2.4 Kernstrecke 394.8 bis 564.5 m

Nach Abschluss der Testarbeiten wurde, wie in der Planung vorgesehen, ab 394.8 m zur besseren geologischen Befundaufnahme mit dem 6 1/4" x 95 mm Seilkernsystem mit zusätzlichen Kunststoffinnenrohrlinern gekernt.

Nach einem vollständigen Neuansatz der Kernbohrspülung auf Ton-Süsswasserbasis wurden 8 Kernmärsche unter schwierigen hydraulischen Bedingungen und mit hohen Verlustraten bis 1 m<sup>3</sup>/h abgebohrt. Mit Ausnahme des ersten Kernmarsches (Kerngewinn 81 %) betrug der Kerngewinn dabei jeweils 100 %.

Mit Anbohren der Hornbuckschichten wurde plangemäss bei 435.3 m auf Silikatspülung umgestellt. Die Ton-Süsswasserspülung wurde ausgeschert und für die spätere Bohrerweiterung zwischengelagert.

Mit zunehmender Tiefe traten vermehrt spülungshydraulische Schwierigkeiten auf: Durch den Einsatz von Klarwasser während der hydraulischen Tests war die plastische Molassezone (Kap. 2.2.3) zunehmend instabilisiert worden. Zudem löste sich vermehrt Material aus einer unterhalb der Bohnerz-Formation angetroffenen, verkarsteten Zone von einigen Metern Mächtigkeit, deren Klüfte mit Lehm gefüllt waren. Das plastische Verhalten bzw. das Nachschieben von Lehm aus diesen Zonen führte während dem Bohren zu einer Verengung bzw. zeitweise zu einem vollständigen Verschluss des Ringraumes zwischen Bohrgestänge und Bohrlochwand. Dies bedingte höhere Zirkulationsraten bei leicht höheren Zirkulationsdrücken, um den nötigen Bohrkleinaustrag aufrecht zu erhalten. Die Zirkulationsdrücke von max. 20 bar reichten jedoch aus, um Klüfte in den druckschwachen Kalken neu zu öffnen oder bestehende aufzuweiten, in welche die Bohrspülung verpresst wurde. Als Folge dieser Kombination der Abdichtung des Ringraumes bei gleichzeitigem Öffnen von Kluftsystemen resultierten permanent hohe Spülungsverluste von bis zu 2 m<sup>3</sup>/h bzw. zeitweise auch vollständige Verluste während des Bohrvorgangs bei Pumpraten zwischen 150 und 190 l/min.

Bei Pumpenstillständen flossen diese Verluste jedoch innert kürzester Zeit und zu 70 bis gegen 100 % wieder zurück, was zunehmend zu logistischen Problemen und Schwierigkeiten bei der Spülungsvolumenhaltung führte. Somit musste der Bohrvorgang in sporadischen Abständen immer wieder einerseits für den Neuansatz von Bohrspülung, andererseits zur Rückförderung und Bunkerung des Rücklaufvolumens unterbrochen werden.

Gegen Ende der Kernstrecke hielten sich Verluste und Rückflüsse brutto in der Waage.

Nach insgesamt 34 Kernmärschen stoppte man die Bohrung bei 564.5 m, im Top Opalinuston stehend, für Testarbeiten.

Auf der Gesamtstrecke von 169.7 m konnten insgesamt 165.74 m Kerngewinn in sehr guter Qualität verzeichnet werden. Lediglich bei zwei Kernmärschen traten Kernverluste auf, wobei die Verluste des letzten Kurzkernes nach der anschliessenden Testphase geborgen werden konnten. Der mittlere Kernbohrfortschritt lag bei 0.8 m/h.

Eine Zusammenstellung aller Kernbohrdaten ist in Beilage 3 aufgeführt.

Während der anschliessenden 24-tägigen Test- und Messphase (O1, Kaliber, D1, Kaliber, D2, MD1, M4, Kaliber, O2, O3, Struktur-Logging, Hydrofrac-Tests, Struktur-Logging) wurden fünf Roundtrips zur Konditionierung des Bohrloches zwischen den einzelnen Messphasen erforderlich.

Mit einem zusätzlichen Roundtrip wurde vor den Logging- und Hydrofrac-Arbeiten die Spülung im Bohrloch wieder auf Ton-Süsswasser umgestellt.

### **2.2.5 Erweiterungsstrecke 12 1/4", 94.0 bis 564.5 m**

Nach zwei Fangarbeiten (Kap. 2.6) während der Vorbereitungsarbeiten zur Bohrlocherweiterung wurde das Bohrloch in zwei Schritten auf 12 1/4" zur Aufnahme der 9 5/8" Ankerrohrtour aufgebohrt.

In einem ersten Schritt wurde die Strecke innert 6.5 Tagen mit zwei 8 1/2" Warzenmeissel aufgebohrt. Der mittlere Fortschritt variierte dabei zwischen 2.5 bis 3.7 m/h.

Die nachfolgende Erweiterung auf 12 1/4" mit einem stabilisierten 8" DC - 6 1/4" DC - 5 1/2" HW-DP Erweiterungsstrang erfolgte zunächst bis 320.6 m mit einem mittels Pilotmeissel geführten Hole-Opener. Zwei weitere Zahnrollenmeissel erbohrten die nächste Strecke von ca. 100 m Länge. Aufgrund eines ungünstigen Schnittbilds der Meissel auf dem vorgebohrten Loch traten dabei erhebliche Vibrationen im Erweiterungsstrang auf, die zu geringeren Fortschritten von ca. 1 m/h und zu einem erhöhten Verschleiss an den Werkzeugen führten. Eine Änderung der Bohrstrangstabilisierung verbesserte diese Situation und mit einem Warzenmeissel konnte die restliche Strecke mit Fortschritten von ca. 2 m/h aufgebohrt werden.

Die gesamten Erweiterungsarbeiten von 6 1/4" auf 12 1/4" nahmen rund 20 Tage in Anspruch.

Anschliessend erfolgten die geophysikalischen Loggingarbeiten und das Setzen der 9 5/8" Ankerverrohrung.

### **2.2.6 Kernstrecke 564.5 bis 814.0 m**

Nach Aufbohren des Rohrschuhes und dem Einbau einer temporären 7" Hilfsverrohrung wurden die Kernbohrarbeiten mit 6 1/4" Dreifachkernrohren und Silikatspülung ab 564.5 m wieder aufgenommen.

Bei 572.9 m mussten die Arbeiten wegen eines Getriebebeschadens am Kraftdrehkopf für 53 Stunden unterbrochen werden. Nach insgesamt 8 Kernmärschen wurde die Bohrung zur Durchführung eines Hydrotests bei 596.5 m (Kaliberlog, O4) gestoppt.

Nach dessen Abschluss wurde mit einer kombinierten 5 1/2" - 3 1/2" Kernbohrgarnitur in einem Kernmarsch eine Strecke von 6.0 m mit 96 mm Durchmesser zur Durchführung von Dilatometermessungen vorgebohrt. Auch dabei setzte man ein Dreifachkernrohr mit speziell angefertigten Kunststofflinern für das Innenkernrohr ein.

Im Anschluss an die Dilatometermessungen wurde diese Strecke auf 6 1/4" aufgebohrt und bis zum nächsten Teststopp bei 623.6 m mit 6 1/4" gekernt.

Nach Abschluss des Tests O5 im Opalinuston wurde nach einem Roundtrip und einem Kaliberlog erneut ein Test mit Singlepackergarnitur (O6) durchgeführt. Dabei bestätigte der Ausbau der Testgarnitur mit Überlast die auch im Kaliberlog festgestellte fortschreitende Aufweitung der getesteten Bohrlochzonen während der Testdurchführungen.

Nach Aufspülen von Nachfall auf den untersten 25 m erfolgte die zweite 96 mm Vorbohrstrecke über 6.2 m für Dilatometermessungen. Nachdem beim Kernziehen nach 6.0 m Kernstrecke kein Kern zutage gebracht wurde, konnte mit einem zweiten Kernmarsch der verlorene Kern ohne

Beschädigung überbohrt und durch Zubohren von 20 cm im kompakten Opalinuston vollständig geborgen werden.

Anschliessend an die gebirgsmechanischen Messungen und die Erweiterung der Vorbohrstrecke vertiefte man die Bohrung von 629.8 m mit 8 Kernmärschen bis über die Basis des Opalinustons bei 652.04 m und stoppte die Bohrung für Hydrofrac-Tests bei 655.7 m. Auch auf dieser Kernstrecke trat mehrfach die Notwendigkeit auf, die Kerne in einem zweiten Ansatz zu überbohren. Beim Abreissvorgang der Kerne verschmierten die Kernfangfedern oftmals, sodass der gebohrte Kern nicht fest genug gepackt und zu seiner Bergung im Innenrohr gehalten werden konnte. Dennoch erzielte man jeweils einen Kerngewinn von 100 %.

Ein vorgängig zu den Hydrofrac-Tests gefahrenes Kaliberlog zeigte anwachsende Bohrlochlochwandausbrüche bis 350 mm in den getesteten Zonen. Direkt nach Beendigung der Hydrofrac-Tests wurde die Doppelpackergarnitur für den Test O7 eingebaut.

Nach dessen Beendigung wurden 20 m Nachfall aufgespült und die Kernbohrarbeiten über eine Strecke von ca. 100 m fortgesetzt. Mit Ausnahme von anfänglich gleichen Kernziehschwierigkeiten verliefen die Kernbohrarbeiten im Lias bis in den Top des Gipskeupers ohne Probleme. Bei 752.0 m stoppte man erneut zur Durchführung der Tests L1 und K1. Nachdem bereits beim Versetzen der Doppelpackergarnitur Schwierigkeiten aufgetreten waren, blieb der Versuch, die Garnitur nach den 8-tägigen Messungen wieder auszubauen, ohne Erfolg. In der Folge wurden aufwändige Fangarbeiten notwendig, welche unter Kap. 2.6.2 näher beschrieben sind.

Nach erfolgreichem Abschluss der Fangarbeiten, welche rund 9.5 Tage in Anspruch nahmen, war die nächste Kernbohrstrecke bis 787.6 m vom überaus schlechten Bohrlochzustand geprägt: Anhaltender und massiver Nachfall aus grossen Bohrlochwandausbrüchen sowie die im Bohrloch verbliebenen Metall- und Gummiteile des Packersystems behinderten die Arbeiten und verursachten Schäden an den Bohrwerkzeugen. Dennoch konnten mit Ausnahme von 40 cm ein praktisch vollständiger Kerngewinn realisiert werden.

Für den nächsten Hydrottest K2 setzte man zum Schutz des Testequipments vor Verlust zeitweise das 5 1/2" Wireline-Gestänge als Hilfsverrohrung über den Opalinustonbereich im Gipskeuper ab. Probleme mit den Packerfunktionen führten dabei zu Verzögerungen und machten mehrfache Roundtrips erforderlich.

Im Verlauf der weiteren Kernbohrstrecke bis in den Top-Trigonodus-Dolomit stabilisierte sich die Nachfallsituation weitgehend und man stoppte die Bohrung bei 814.0 m zum Einbau der 7" Endverrohrung.

Dazu musste zuerst die temporär abgesetzte 7" Linksgewindeverrohrung ausgebaut werden, wobei man mehrere Brüche in den Verschraubungen feststellte.

Trotz der schwierigen Bohrlochsituation konnte über die 249.5 m lange Kernbohrstrecke ein praktisch vollständiger Kerngewinn (99.86 %) bei ausgezeichneter Kernqualität erzielt werden. Lediglich ein Kernstück von 40 cm Länge blieb infolge der Begleitumstände aus den Fangarbeiten auf die Testgarnitur verloren. Der mittlere Kernbohrfortschritt der insgesamt 67 Kernmärsche lag bei 0.7 m/h.

### **2.2.7 Erweiterungsstrecke 8 1/2", 564.5 bis 814.0 m**

Nach dem geophysikalischen Logging und der Durchführung weiterer Hydrofrac-Tests erweiterte man die offene Bohrlochstrecke mit zwei Rollenmeissel-Runs auf 8 1/2" ohne besondere Schwierigkeiten, obwohl sich von den o.g. Fangarbeiten nach wie vor ca. 100 m Edelstahlleitungen und eine komplette Packermanschette im Bohrloch befanden. Es ist anzunehmen, dass diese Teile vollständig von den massiven Auskesselungen im Opalinustonbereich aufgenommen und dort festgehalten wurden.

Nach weiteren geophysikalischen Messungen (Petrophysik- u. Struktur-Logging) und dem Walkaway-VSP erfolgte der Einbau der 7" Rohrtour bis 814.0 m und deren Zementation bis zutage.

### **2.2.8 Kernstrecke 814.0 bis 1'007.0 m**

Nach neuerlichem Aufflanschen des BOP-Systems und dem Aufbohren bzw. -kernen des Rohrschuhes wurde auf Ton-Süsswasserspülung umgestellt und problemlos bis zum Teststopp bei 877.2 m (Hydrotest und Wasserprobennahme MK1) der Dolomit und der Hauptmuschelkalk durchkernt.

Auf der nächsten Kernstrecke wurde zwischen 918.9 und 931.9 m überraschenderweise eine Steinsalzbank durchfahren, bevor man bei 937.6 m erneut für Hydrotest und Wasserprobennahme MK2 stoppte. Ein im Anschluss an die Wasserprobennahme gefahrenes Kaliberlog zeigte bereits sehr starke Auslaugungserscheinungen im Salz bis zu einem Durchmesser von 800 mm, sodass man vorerst versuchte, die eher geringmächtige Salzzone durch Zementationen zu sanieren bzw. zu stabilisieren (Kap. 2.4.4). Beim Aufbohren einer zweiten solchen Zementation wurde jedoch neuerlich Salz seitlich angebohrt, sodass man sich zum Umstieg auf gesättigte Salzwasserspülung entscheiden musste. Mit dieser wurde bis 995.4 m unter die Basis des Buntsandsteins gekernt und Test B1 mit Wasserprobennahme durchgeführt. Ein Gestängebruch bei Bohrteufe 945.8 m (Bruchstelle bei 155.4 m) konnte innert weniger Stunden behoben werden.

Die nachfolgenden Kernbohrarbeiten gestalteten sich aufwändig, da man bei 983.3 m einerseits überraschenderweise des kristalline Grundgebirge erreicht hatte und sich andererseits verlorene Metallteile der Testgarnitur auf Sohle befanden. Nach 4.2 m war die verwendete Bohrkronen mit Kaliberschaden vollständig abgenutzt. Eine behelfsmässig eingesetzte Kristallin-Bohrkronen erbrachte lediglich eine Leistung von 40 cm, bevor auch sie mit vollständigen Aussenkaliberverlust gegen eine weitere ausgetauscht werden musste. Trotz vorsichtigem Nachbohren der untermassigen Bohrlochstrecke wurde die Krone dabei zerstört und konnte nur über 3.6 m eingesetzt werden. Mit einer weiteren Krone wurden noch 3.2 m zugebohrt, bis die Bohrarbeiten bei einer Endteufe von 1'007.0 m abgebrochen wurden.

Gesamthaft wurde die 193 m lange Strecke mit 49 Kernmärschen erbohrt. Mit Ausnahme von 2 Kernmärschen konnte bei allen ein vollständiger Kerngewinn erzielt werden, sodass eine Kernaussbeute von 192.2 m oder 99.6 % resultierte. Der mittlere Kernbohrfortschritt betrug 0.65 m/h, die Kernqualität war sehr gut. Für die letzten drei Kernmärsche musste die Kerngarnitur aufgrund o.g. Schwierigkeiten auf Doppelkernrohrsysteme ohne zusätzliche Innenrohrliner umgerüstet werden.

Nach abschliessenden geophysikalischen Messungen verfüllte man den untersten Bohrlochbereich von Sohle bis 827.7 m mit Zement. Dabei trat ein weiterer Gestängebruch auf, der zu Fangarbeiten zwang (Kap. 2.6.3). Nach deren Abschluss und einer neuerlichen Rückzementati-

on wurden die bohrtechnischen Arbeiten mit der Perforation und dem Scrapern der 7" Endverrohrung sowie einem finalen Spülsaustausch abgeschlossen, sodass am 12. Mai 1999 vormittags die Bohranlage zum Abbau freigegeben werden konnte.

## **2.3 Bohrwerkzeuge**

### **2.3.1 Bohrgestänge und Kernbohrsysteme**

Als Hauptkomponente für die Meissel-, Kernbohr- und Erweiterungsarbeiten kam in der Bohrung Benken ein Seilkerngestänge des Typs 5 1/2" SK-E zum Einsatz. Lediglich für die kurzen Dilatometer-Vorbohrstrecken und für Sonderarbeitsvorgänge, wie das Zementieren nach der Step-in-Methode oder das Setzen von Zementbrücken wurde auch Gestänge des Typs 3 1/2" SK, meist in Kombination mit dem Erstgenannten, verwendet. Die Bezeichnung dieser unternehmensspezifisch entwickelten Gestängetypen bezieht sich dabei auf den Aussendurchmesser des Gestängekörpers und auch der Kernrohre.

Die in der Festigkeitsklasse API-Grad E gefertigten Bohrstangen von rund 9 m Länge mit vorgeschweissten Verbindern, modifiziertem API-Gewinde und einem External-Upset von 7.15 bzw. 0.8 mm sind jedoch auch für Meisselbohrarbeiten ausgelegt.

Für das Seilkernverfahren, welches in der Bohrung ab 394.8 m angewandt wurde, sind die Systeme mit axial und radial gelagerten Doppelkernrohren für Bohrdurchmesser von 6 1/4" (158.7 mm) bzw. 96 mm konzipiert. Üblicherweise betragen die Durchmesser der damit gewonnen Bohrkerne 4" (101.6 mm) und 57 mm.

Aufgrund der Erfahrungen, welche die Nagra in früheren Bohrungen sammeln konnte, rüstete man die Kernrohre mit zusätzlichen Kunststoff-Innenrohrlinern aus. Diese hochpräzise gefertigten und temperaturbeständigen Rohre auf PVC-Basis ermöglichten eine besonders schonende und vereinfachte Kernentnahme, indem der Bohrkern als Ganzes zusammen mit dem Kunststoffliner aus dem Innenkernrohr entnommen werden konnte. Die mechanischen Belastungen, welche beim üblichen Verfahren des Auspumpens oder Ausklopfens auf den Bohrkern wirken, entfielen dadurch weitgehend. Der Kern konnte in einem Stück entnommen und zur Kernbearbeitungsstelle transportiert werden, wo er durch longitudinales Aufsägen des Liners freigelegt wurde.

Durch den Linereinsatz wurde der Kerndurchmesser auf 94 bzw. 50 mm reduziert und die zu zerbohrende Gesteinsfläche entsprechend vergrößert. Die Nominallänge der verwendeten Kernrohre betrug ausschliesslich 6 m (max. Nutzlänge 6.3 m).

### **2.3.2 Kernbohrkronen**

Für die eigentlichen Kernbohrarbeiten kamen insgesamt sieben 6 1/4" und eine 96 mm Diamantkronen zum Einsatz. Einige weitere und vorwiegend gebrauchte Kronen wurden im Verlauf begleitender Arbeiten wie z.B. Nachbohren, Fangarbeiten und Überbohrarbeiten verwendet.

Eine überwiegende Kernstrecke von 460.3 m (ohne Berücksichtigung der 96 mm Dilatometervorbohrungen) erbohrte man dabei mit drei oberflächenbesetzten 6 1/4" Diamantkronen mit zusätzlichen Spülungslöchern in der Schneidlippe, Junk Slots im Aussenkaliber und einer Diamantgrösse von 6 - 8 bzw. 10 - 12 Steinen/Karat. Die beste Standleistung von knapp 240 m im Fels erzielte davon eine Krone mit 146 Karat Gesamtbesatz.

Über 143 m im unteren Opalinuston bis in den Gipskeuper erbohrte eine Diamantkrone mit polykristallinem Diamantbesatz. Bei diesem Typ sind kubisch geformte, synthetisch hergestellte Diamantelemente schräg in das Matrixmaterial der Schneidfläche eingesintert. Spülungskanäle durch die Schneidlippe trugen dabei ebenfalls zu einer optimalen Schonung der Bohrkernbe bei.

Die Fortschrittswerte der Kronen lag durchschnittlich und gesamthaft über ihre Einsatzdauer bei rund 0.7 m/h.

Im unerwartet angefahrenen Gneis des kristallinen Untergrunds wurden über eine Strecke von lediglich 7.4 m drei Bohrkronen erforderlich. Davon wurden infolge von Kaliberproblemen (siehe Kap. 2.2.8) zwei imprägnierte Werkzeuge auf kurzer Strecke (4 m) zerstört. Mit einer zusätzlichen oberflächenbesetzten Krone mit 12 - 15 Steinen/Karat erreichte man die Endteufe.

### 2.3.3 Meisselwerkzeuge

Die Zementstrecke des Hilfsstandrohres sowie die Standrohrstrecke wurden mit einem 17 1/2" Zahnrollenmeissel aufgeföhren, wobei der Fortschritt im Gebirge bei 2.3 m/h lag. Zur Gewichtsaufnahme wurde die Garnitur mit 8" und 4 3/4" Schwerstangen verstärkt.

Die rund 300 m lange 6 1/4" Meisselstrecke im Tertiär und Malm erbohrte eine mit 5 1/2" Schwerstangen verstärkte und stabilisierte Meisselgarnitur. Drei Weichformationsmeissel mit offenen Lagern wurden nach max. je 30 Stunden Laufzeit gewechselt um Rollenlagerschäden vorzubeugen. Ein Warzenmeissel mit gekapselten Lagern erbohrte die untere Strecke von rund 140 m. Die durchschnittliche Fortschrittsleistung lag bei rund 2 m/h.

Die Erweiterungsstrecke zum Absetzen der 9 5/8" Ankerverrohrung musste in zwei Arbeitsschritten aufgeföhren werden, um zu vermeiden, dass das bereits vorgebohrte 6 1/4" Bohrloch beim Aufbohren verlassen würde.

Bei der ersten Erweiterungsstufe auf 8 1/2" brachten zwei Warzenmeissel gute Ergebnisse. Ein anschliessend eingesetzter, pilotierter Three-Cone-Hole-Opener mit 4 3/4" Konussen und Warzenbesatz erzielte anfänglich gute Stundenleistungen, musste jedoch nach knapp 227 m aufgrund eines Lagerdefekts ausgewechselt werden. Als Ersatz standen kurzfristig nur zwei Zahnrollenmeissel mit offener Lagerführung zur Verfügung. Diese litten unter massiven Erschütterungen des durchstabilisierten Schwerstangenstrangs, welche sich aufgrund ihres ungünstigen Schnittverhaltens auf dem Vorbohrloch in den harten Malmkalken ergaben. Somit ging der mittlere Fortschritt bei gleichzeitig kürzeren Standzeiten über eine Strecke von ca. 100 m auf rund 1 m/h zurück. Vibrationsschäden an der Bohranlage erzwangen zudem vermehrt zu Unterbrüchen für Reparaturen. Erst eine Herausnahme der Strangstabilisation und der Einsatz eines weiteren Hartformationsmeissels reduzierten diese Schwierigkeiten.

Auch zum Aufföhren der Erweiterungsstrecke auf 8 1/2" zur Aufnahme der 7" Endverrohrung setzte man zwei Warzenmeissel am Seilkernstrang ein. Dabei traten bei Fortschritten von durchschnittlich rund 2.5 m/h keine Probleme auf.

Die Einsatz- und Leistungswerte der einzelnen Werkzeuge sind in Beilage 4 zusammengefasst.

## 2.4 Verrohrungen und Zementationen

Neben dem Hilfsstandrohr (Kap. 2.2.1) wurden drei weitere permanente Verrohrungen gesetzt. Die verwendeten Futterrohre waren entsprechend der Norm API 5CT, Edition 1995, gefertigt.

Zum Angleich der geometrischen Ringraumverhältnisse von den verrohrten an die neu zu erbohrenden Bohrlochsektionen wurde nach dem Setzen der 13 3/8" und der 9 5/8" Verrohrungen jeweils das Einbringen einer Temporärverrohrung erforderlich. Diese 7" Rohrtour (23 lbs/ft, N80) war mit Flush-Joint Linksgewindeverbindern ausgestattet, um ein Entschrauben der Rohre während dem Bohrvorgang zu vermeiden. Frei und zentrierungslos abgehängt wurde ihr Rohrschubbereich mittels einer Tonschüttung und ihr Flanschkopf durch Verschweißen abgedichtet.

Bei allen Futterrohrzementationen setzte man sulfatbeständigen Zement der Marke Protego 4HS der HCB-Gruppe ein. Sein Abbinde- und Festigkeitsverhalten sowie die rheologischen Eigenschaften der Schlämmen waren vorgängig unter in-situ Druck- und Temperaturverhältnissen im Labor getestet worden. Der Zement musste direkt vom Herstellerwerk in Eclérens/VD bezogen werden. Der Transport erfolgte jeweils per Bahn zur Station Marthalen und von dort mit Silofahrzeugen zur Bohrstelle bzw. zur Zementaufbereitungsanlage.

Als Besonderheit wurden bei der 9 5/8" und der 7" Verrohrungszementation sowie bei der ersten Rückzementation im Werk vorgemischte Zementbrühen verwendet. Aufgrund der relativen Nähe einer Zementaufbereitungsanlage mit entsprechend kurzen Fahrtzeiten von nur wenigen Minuten zur Bohrstelle konnten die Brühen im Werk exakt auf die geforderten Gewichtswerte gemischt werden. In Chargen von 3.5 bis 5 m<sup>3</sup> erfolgte der Antransport zur Bohrstelle mit Fahrmischer-Fahrzeugen, wo der Zement über ein Zwischenbecken sofort und kontinuierlich verpumpt wurde.

Bei jeder Zementation wurden vor und während dem Verpumpen Konsistenzmessungen vorgenommen und Rückstellproben gezogen.

In den Beilagen 5 bis 7 (Rohrlisten) und 8 bis 10 (Zementationsrapports) sind die wesentlichsten Daten der Verrohrungen sowie der Zementationsarbeiten dokumentiert.

### 2.4.1 13 3/8" Standrohrtour

Rohrspezifikation: 13 3/8", 54.5 lbs/ft, K55, BTC

Die Rohrtour wurde in der mit 17 1/2" aufgefahrenen Strecke bei 92.5 m abgesetzt. Zur Sicherung gegen Entschrauben verschweisste man die Verbinder der untersten 7 Rohre. Die Rohrtour wurde im Rohrschubbereich durch Basket-Centralizer zentriert.

Die Zementation erfolgte über den eingebauten Stab-in-Rohrschuh mittels des 5 1/2" Kernbohrstrangs. Dabei wurden 10.2 m<sup>3</sup> vorgemischter sulfatbeständiger Zement mit einem Schlammgewicht von 1.85 kg/l verpumpt, der Zement trat mit einem Überschuss von ca. 0.5 m<sup>3</sup> zutage. Bei normalem Druckverlauf waren keine Zementationsverluste zu verzeichnen.

#### 2.4.2 9 5/8" Ankerverrohrung

Rohrspezifikation: 9 5/8", 40 lbs/ft, K55, BTC

Nach Aufbohren der 6 1/4" Meissel- und Kernbohrstrecke auf 12 1/4" (Kap. 2.2.5) wurde die Rohrtour bis 564.1 m eingebaut. Sie wurde durchgehend mit Centralizern zentriert und mit Rohrschuh und Stab-in-Collar bestückt. Scratcher im Rohrschuhbereich sollten eine verbesserte Bohrlochwandreinigung und somit eine bessere Bindung zwischen Zement und Gebirge erwirken. Zur Sicherheit gegen Abdrehen verschweisste man den Rohrschuh und die untersten sechs Rohre.

Aufgrund der Unsicherheiten infolge der druckschwachen Bohrlochabschnitte im Malm (405 - 435 m) und des ungewissen Zementervolumens führte man die Zementation nach der Stab-in-Methode durch. Dabei verwendete man einen im Rohrcollar eingefahrenen, kombinierten 3 1/2" - 5 1/2" DP-Strang. Zudem kalkulierte man zum theoretisch erforderlichen Zementvolumen nach Kaliberlog einen Mengenzuschlag von mehr als 50 % ein.

Nach Vorpumpen von 2.5 m<sup>3</sup> Spacer wurden somit insgesamt 30.6 m<sup>3</sup> Schlämme mit einem spezifischen Gewicht von 1.80 kg/l eingepumpt. Nach Verpumpen von ca. 2/3 der Menge traten wie vermutet kontinuierlich ansteigende Zementationsverluste auf, die sich bis zu totalen Verlusten steigerten (kein Rücklauf). Trotz des hohen Sicherheitszuschlags trat somit kein Zement zutage.

Mehrere unmittelbar darauf gefahrene Temperatur-Logs und ein CBL-Log<sup>4</sup> konnten die Zementkopfhöhe nicht zweifelsfrei feststellen und liessen den Zementkopf auf einer Teufe zwischen 171 und 129 m vermuten.

Ein nach der vollständig erfolgten Aushärtung des Zement und vor der Erweiterung zum Setzen der 7" Verrohrung gefahrenes CET-Log<sup>5</sup> zeigte eine gute Zementation im Bereich zwischen 564 und 178 m, mässige Zementqualität zwischen 178 und 115 m und wahrscheinlich noch abdichtenden Restzement bis über den Rohrschuh der 13 3/8" Verrohrung bei 92.5 m.

Nach Absprache mit der Aufsichtsbehörde (siehe Kap. 4) zeigte sich aus bohr- und untersuchungstechnischen sowie aus umweltrelevanten Gründen keine Notwendigkeit einer Nachzementation im obersten Bereich der Verrohrung.

#### 2.4.3 7" Endverrohrung

Rohrspezifikation: 7", 23 lbs/ft, K55, BTC

Nach einer Beurteilung der aktuellen Bohrlochsituation verzichtete man auf die in der Planung enthaltene Option einer Verrohrung direkt nach dem Durchteufen und dem Betesten der Opalinustonstrecke. Somit wurde die 7" Verrohrung bis in den Top des Muschelkalks gezogen, wodurch eine ggf. zusätzlich erforderliche 5" Reserveverrohrung eingespart werden konnte.

Die 7" Rohrtour wurde im auf 8 1/2" erweiterten Bohrloch bei 814.0 m abgesetzt. Um in den stark ausgekesselten Zonen eine bessere Zementfüllung zu gewährleisten, wurde die Rohrtour im offenen Loch mit 15 Basket-Centralizern und Turbo-Fins bestückt. Rohrschuh, Collar und 10 weitere Rohre wurden verschweisst.

---

<sup>4</sup> Cement Bond Log

<sup>5</sup> Cement Evaluation Tool

Die Zementation bis zutage erfolgte mit Vor- und Nachstopfen, wobei insgesamt 18.4 m<sup>3</sup> sulfatbeständiger Zement mit einem Schlammgewicht von 1.80 kg/l verpumpt wurden. Dies entsprach einem Zuschlag zum theoretischen Bohrlochvolumen von knapp 250 %. Bei normalem Druckverlauf der Zementation traten ca. 3 m<sup>3</sup> Überschusszement zutage. Der ab Silofahrzeug bezogene Zement wurde in einem 7 m<sup>3</sup> Premix-Tank kontinuierlich angesetzt und mit der Pumpanlage eines spezialisierten Unternehmens verpumpt.

#### **2.4.4 Sanierungszementationen**

Wie in Kap. 2.2.8 erwähnt, wurde versucht, die zwischen 918.9 m und 931.9 m erbohrte Salzzone mittels Zementationen zu stabilisieren.

Bei einer ersten Rückzementation über die Strecke von 935 bis 914 m wurden 1.5 m<sup>3</sup> aufgesättigte Salzzementbrühe (1.6 t Protego 4HS, 550 kg PC-CEM43, 320 kg NaCl) mit einem spez. Gewicht von 1.83 kg/l verpumpt. Nach 42-stündiger Zementerhätungszeit stellte man jedoch fest, dass der Zementkopf auf 924 m abgesunken war und der Zement keine ausreichende Festigkeit aufwies.

Daher spülte man bis Sohle auf und wiederholte die Rückzementation mit grossem Volumenüberschuss von 936 m bis 813 m. Dabei wurden 2.3 m<sup>3</sup> Schlämme (2.6 t Protego 4HS, 460 kg NaCl) mit einem spez. Gewicht 1.9 kg/l einzirkuliert.

Beim Aufkernen der Überschusszementstrecke bis 819 m zeigte sich erneut, dass der Zement auch nach 56 Stunden Erhärungszeit noch keine optimale Abbindefestigkeit erreicht hatte. Nach weiteren 24 Stunden kernte man den nunmehr kompakten, jedoch relativ inhomogen abgebundenen Zement auf. Bei 926.6 m liess sich im Bohrkern allerdings erkennen, dass man auf der zementierten Strecke seitlich wieder in das Salzgebirge gelaufen war.

Somit wurden die Zementationsmassnahmen abgebrochen und als Alternativlösung die Bohrspülung auf gesättigte Salzsole umgestellt.

#### **2.4.5 Rückzementationen**

Nach Erreichen der Endteufe und nach Abschluss der Untersuchungen in der offenen Bohrlochstrecke verfüllte man den unteren Abschnitt der Bohrung.

Mit 6 m<sup>3</sup> vorgemischtem Zement Protego 4HS mit einem spez. Gewicht von 1.84 kg/l wurde nach dem Vorpumpen von 2 m<sup>3</sup> Spacer die Bohrung von Sohle bis 827.7 m rückverfüllt. Ausgeführt nach der Balanced-Plug Methode verwendete man dazu einen kombinierten 5 1/2" - 3 1/2" DP-Zementierstrang.

Ein Gestängebruch beim Ausbau und die daraufhin erforderlichen Überbohr- und Fangarbeiten (Kap. 2.6.3) machten jedoch eine zusätzliche Zementation erforderlich.

Dabei wurde von 916 m bis 820 m mit 2 m<sup>3</sup> Zementbrühe (2'350 kg Protego 4HS) von 1.8 kg/l zementiert und der Zementüberschuss bei 826 m abzirkuliert. Nach rund 30-stündiger Zementerhärtung konnte der Zementkopf bei 827.7 m abgetastet werden.

## 2.5 Bohrspülungen

Insgesamt kamen in der Bohrung Benken drei verschiedene Bohrspülungssysteme zum Einsatz:

Ton-Süßwasserspülung über die Quartär-, Tertiär- und nahezu über die gesamten Malmformationen, Natrium-Silikatspülung über die untersuchungstechnisch relevante Dogger-, Lias- und Keuper-Bohrstrecke, erneut Ton-Süßwasserspülung über den Oberen und Mittleren Muschelkalk bis zu den Unteren Sulfatschichten, sowie Salzsole-Spülung ab dem Steinsalzlager bis zum Erreichen der Endteufe im Kristallin.

Eine Besonderheit stellte dabei die Natrium-Silikatspülung dar, welche in dieser Art erstmals in einer wissenschaftlichen Untersuchungsbohrung Anwendung fand.

Die Gründe für Ihre Verwendung lagen in der Notwendigkeit, den Opalinustonabschnitt für einen beträchtlich langen Zeitraum für die Ausführung der Bohrlochuntersuchungen stabil und masskonform zu halten.

Der Opalinuston enthält grosse Anteile stark hydratisierbarer Tonmineralien. Diese unterliegen im Kontakt mit herkömmlichen auf Wasser basierenden Spülungsmedien verschiedenen Quellmechanismen, welche sehr schnell zur Dispersion führen. Besonders in tektonisch beanspruchten und strukturell ausgeprägten Zonen folgt darauf durch Spannungsumlagerungen der rasche Zerfall des bohrlochnahen Gesteinsverbandes. Ausgeprägte Auskesselungszonen und Nachfallvorgänge sind die Folge und können die bohr- und untersuchungstechnischen Arbeiten stark beeinträchtigen oder sogar verunmöglichen.

Im Gegensatz dazu verhindert ein auf einem Ionenanlagerungsprozess basierender Filterkuchen der Silikatspülung weitgehend ein Eindringen von Wassermolekülen in den Porenverband des Gesteins und reduziert somit die Ionenaustauschmöglichkeit, welcher für die Quellvorgänge verantwortlich ist.

Umfangreiche vorgängig durchgeführte Laboruntersuchungen und -versuche sowie ein Feldversuch im Felslabor Mt.Terri hatten die ausgezeichnete Inhibierungswirkung des Silikatsystems auf den frischwassersensitiven Opalinuston bestätigen können. Besonders wichtig für die Einsatztauglichkeit des Spülungssystems auf Silikatbasis war jedoch der dabei erbrachte Nachweis, dass der "Imprägnationsfilm" bzw. Filterkuchen an der Bohrlochswand durch einen einfachen Waschprozess vor Durchführung der hydraulischen Tests praktisch vollständig wieder abgelöst werden konnte und somit keine Beeinträchtigung der Testausführungen oder deren Ergebnisse darstellte.

Die Konditionierung und die Überwachung der rheologischen und chemischen Eigenschaften der Bohrspülungen erfolgten bis zum Versetzen der 7" Endverrohrung durch ein spezialisiertes Spülungsservice-Unternehmen.

Zur geochemischen Unterscheidung von Formations- und Spülungsfluida wurden die Bohrspülungen mit Tracern versetzt. Dazu wurde m-TFMBA<sup>6</sup> und Na-Fluoreszin (Uranin) in Konzentrationen von ca. 10 ppm bzw. 1 ppm verwendet.

Die detaillierten Analysewerte der einzelnen Bohrspülungstypen sind in den Beilagen 11 bis 13 aufgeführt.

---

<sup>6</sup> Meta-Trifluoromethylbenzoic Acid

### 2.5.1 Ton-Süsswasserspülung

Nachdem der Zement des Hilfsstandrohres mit Wasser ausgebohrt worden war, kam über die 17 1/2" Standrohrstrecke eine Spud-In-Meisselspülung mit hohen Viskositäten, geringen Wasserabgabewerten und hoher Tragfähigkeit zum Einsatz. Nach Einbau des 13 3/8" Standrohres und dem Aufbohren des Rohrschuhes bereitete man Teile dieser Spülung neu auf und passte ihre rheologischen Eigenschaften den Ringraumverhältnissen der nachfolgenden 6 1/4" Meisselstrecke an.

Zementbeeinträchtigungen wurden mit Soda behandelt, die Viskositäts- und Wasserabgabesteuerung erfolgte mittels CMC (Natrium-Carboxymethylcellulose) und PAC (hochmolekulare polyanionische Cellulose). Das spezifische Gewicht der Spülung wurde zwischen 1.05 und 1.07 kg/l gehalten.

Auch für die erste Kernbohrstrecke von 394.8 bis 435.3 m setzte man diese Spülung ein, wobei man mit massiven Spülungsverlusten, Rückflusserscheinungen und instabilen Bohrlochverhältnissen zu kämpfen hatte (Kap. 2.2.4). Aus untersuchungstechnischen Gründen verzichtete man dabei auf Abdichtungsmassnahmen jeglicher Art.

Nachdem die Bohrung ab 435.3 m mit Silikatspülung bis 564.5 m gekernt worden war, beschloss man aufgrund der schwierigen hydraulischen Bohrlochsituation, die nachfolgende Erweiterung der Bohrung auf 12 1/4" ebenfalls mit kostengünstigerer Ton-Süsswasserspülung vorzunehmen.

Aufgebessert auf hohe Viskositäten und auf geringe API-Wasserabgabewerte von rund 6.5 ml/30min gelang es, die Verlust/Rücklauf-Situation deutlich abzuschwächen. Trotz permanentem Einsatz der Desilter- und Mud-Cleaner-Einheit konnte der kontinuierliche Anstieg des Spülgewichtes von 1.05 kg/l auf 1.22 kg/l infolge von Dispersion und zunehmender Feststoffanreicherung nicht verhindert werden. Mit sporadischem Ausscheren von Altspülungsteilen und dem Zuführen konditionierter Neuspülung hielt man die rheologischen Eigenschaften der Spülung über die zweistufigen Erweiterungsarbeiten (8 1/2" und 12 1/4") jedoch konstant.

Auch nach Absetzen der 7" Endverrohrung gelangte plangemäss Ton-Süsswasserspülung für die weiteren Kernbohrarbeiten zum Einsatz. Als feststoffarme und niedrigviskos gehaltene Kernbohrspülung mit einem Gewicht zwischen 1.03 und 1.10 kg/l bewährte sie sich bis zum Erbohren des Salzlagers bei 919 m sehr gut. Sie bildete auch die Trägerbasis für Beschwerungsmaterial zur Kompensation evtl. auftretender Gaszutritte im oberen Muschelkalkabschnitt.

### 2.5.2 Natrium-Silikatspülung

Ab einer Teufe von 435.3 m wurde das Zirkulationssystem auf Silikatspülung umgestellt.

Wegen der stark flockenden Wirkung des Natriumsilikats auf den dispergierten Bentonit der bis dahin verwendeten Ton-Süsswasserspülung, in Verbindung mit den aussergewöhnlichen hydraulischen Verhalten des Gebirges, musste die erste Charge Silikatspülung mit starker Bentonitverunreinigung verworfen werden. Bei dem Austausch im offenen Bohrloch verdrängte und löste das Silikat sukzessive jene Tonspülmengen, welche als Verluste in die Formation verpresst worden waren und die nun bei Druckentlastungen in die Bohrung zurückflossen und die Silikatspülung verunreinigten.

Die Grundsubstanz des Silikat-Spülungssystem mit dem Markennamen "Permisil" basierte auf einem 29 %-igen Anteil von SiO<sub>2</sub> und einem 14 %-igen Anteil von Na<sub>2</sub>O. Im Volumenverhält-

nis 1:3 mit Wasser verdünnt und mit einer Zugabe von rund 0.3 % Polymeranteilen erhielt das System seine geforderten rheologischen Eigenschaften als Bohrspülung.

Der Aktivgehalt des Silikats in der Spülung wurde laufend mittels eines Titrationsverfahrens festgestellt und wenn nötig durch Konzentratzugabe aufgebessert.

Während der Kernbohrarbeiten und besonders über die sensitive Opalinuston-Bohrstrecke bewies das System ausreichende rheologische Eigenschaften und eine sehr gute tonstabilisierende Wirkung. Mehrere zu Vergleichszwecken gefahrene Kaliberlogs belegten die inhibierende Wirkung auf die wasserempfindlichen Tonformationen.

Aus untersuchungstechnischen Gründen wurde jedoch bei den hydraulischen Packertests die Silikatspülung jeweils mittels einer Waschflüssigkeit aus dem zu betestenden Bohrlochintervall ausgespült und durch ein synthetisch hergestelltes Porenwasserfluid ersetzt. Während der Packertestarbeiten entstanden damit trotzdem starke Schädigungen an der Bohrlochwand, welche grosse Auskesselungszonen entstehen liessen und streckenweise zu erheblicher Austrags- und Nachfallproblematik führten (Kap. 2.2.6). Zumindest liessen sich die geschädigten Zonen durch den Einsatz der Silikatspülung beim Weiterbohren in ihrer Auflösungstendenz weitestgehend wieder stabilisieren, und neugebohrte Abschnitte gewährleisteten durch absolute Kaliberhaltigkeit ideale Voraussetzungen für das Setzen der Testpacker.

Als positive Aspekte der Natrium-Silikatspülung bei ihrem Einsatz in der Bohrung Benken sind aus bohrspülungstechnischer Sicht zu nennen:

- geringe Wasserabgabewerte bis < 2.3 ml/30min (gem. API)
- leicht und flexibel einzustellende Viskositätswerte
- sehr gute Filterkuchenausbildung
- sehr gute Feststoffabtrennung
- keine Beeinträchtigung der Bohrlochuntersuchungen oder Beeinflussung der Messergebnisse

Als eher nachteilige Eigenschaften des Spülungssystems wirkten sich hingegen

- ein hohes spezifisches Gewicht von rund 1.20 kg/l
- sehr geringe Fließgrenzen von 4 - 6 lbs/100sqft (API) in nicht verrunreinigtem Zustand sowie geringe Gelstärken
- ein hoher pH-Wert >12 mit negativem Einfluss auf einzelne Gerätschaften
- Notwendigkeit der Kontrolle und Adjustierung der Spülungseigenschaften durch besonders geschultes Fachpersonal
- eine aufwändige Entsorgung

aus. Das relativ hohe spezifische Gewicht trug zur Problematik der Spülungsverluste, besonders in den druckschwachen Bohrabschnitten des Malms bei und förderte diese. Die geringen Gelstärken und die damit kaum ausgebildeten thixotropischen Eigenschaften der Spülung zeigten Nachteile hinsichtlich der Bohrlochreinigung und des Bohrkleinaustrages, besonders in den ausgekesselten Bohrstrecken.

Durch das hohe Alkalitätspotential der Spülung gestaltete sich die Entsorgung und auch das Platzwassermanagement schwierig, da einerseits die Neutralisation von Altspülungsresten mit-

tels Säuren oder CO<sub>2</sub> kaum möglich war. Andererseits reichten geringe Mengen von Spülung aus, die z.B. bei Reinigungsarbeiten in das Platzwasser-Entsorgungssystem gelangten, um eine nachhaltige pH-Erhöhung und Trübung der Abwässer zu erzeugen, welche zu Schwierigkeiten in der nachgeschalteten kommunalen Kläranlage führten. Die prinzipielle Sensitivität des Spülungstyps auf stärkere Laugenzuflüsse aus der Formation wirkte sich hingegen in Benken nicht negativ aus (siehe Kap. 3.4).

Die Silikatspülung setzte man auch zur Erweiterung der Bohrung auf 8 1/2" mit Rollenmeisselwerkzeugen und während der anschliessenden Zementation der 7" Endverrohrung ein.

### **2.5.3 Salzwasserspülung**

Nachdem eine überraschenderweise zwischen 918.9 m und 931.9 m angetroffene Steinsalzlagerzone mit Ton-Süsswasserspülung durchteuft worden und die Bohrung zur Durchführung eines hydraulischen Tests bei 937.6 m angehalten worden war, zeigte ein nach Beendigung des Tests gefahrenes Kaliberlog bereits starke Aussolungen und Kaliberausweitungen zwischen 500 und 800 mm.

Zwei Versuche, die 13 m mächtige Salzzone mittels Zementationen zu stabilisieren bzw. vor weiterer Auslaugung durch die Ton-Süsswasserspülung zu schützen, blieben erfolglos.

Somit musste die Ton-Süsswasserspülung vollständig ausgeschert und durch gesättigte Salzsole mit 474 kg NaCl/m<sup>3</sup> ersetzt werden. Die Viskositäts- und Wasserabgabewerte wurde durch den Zusatz von hoch- und niedrigviskosen Polymeren (PAC) gesteuert. Anfängliche schleichende Spülungsverluste aufgrund des hohen spezifischen Gewichts der Spülung von rund 1.25 kg/l reduzierten sich rasch auf unkritische Werte. Erst mit Anfahren des Kristallins setzten zunehmende Verluste ein, welche die Arbeiten bis zum Erreichen der Endteufe bei 1'007 m jedoch nicht beeinträchtigten.

Im Laufe der Zementations- und Fangarbeiten in diesem Bohrungsabschnitt (Kap. 2.6.3) ging die Solespülung jedoch vollständig in das Gebirge verloren und wurde kontinuierlich durch Klarwasser ersetzt.

## **2.6 Fangarbeiten**

Auf vereinzelte Verbinderbrüche in der temporär versetzten 7" Hilfsverrohrung, die beim Ausbau dieser Rohrtour festgestellt wurden, wird im folgenden nicht näher eingegangen, da sie innert weniger Stunden problemlos mittels Rohrkrebs behoben werden konnten und den Ablauf der Bohrung nicht beeinflussten.

Im Verlauf der Bohr- und Testarbeiten wurden jedoch entweder durch den Bruch oder das Festsitzen von Geräteteilen drei aufwändigere Fangarbeiten im Bohrloch erforderlich. Trotz z.T. schwieriger Rahmenbedingungen, wie z.B. instabilem Bohrlochzustand und massiven Auskesselungszonen konnten alle Fangarbeiten mit Erfolg ausgeführt werden.

### **2.6.1 Fangarbeiten auf Abfangbacke**

Während der Vorbereitungs- und Verflanschungsarbeiten zur 12 1/4" Bohrlocherweiterung fiel durch den Bruch eines Haltebolzens eine Spannbacke der Abfangvorrichtung in das Bohrloch. Aufgrund ihrer Grösse (280 x 150 x 160 mm) konnte sie nicht in das zu dem Zeitpunkt auf 564.5 m abgeteuft 6 1/4" Bohrloch fallen, sondern kam knapp unterhalb des Rohrschuhes der 13 3/8" Verrohrung zu liegen.

Nach ersten Fangversuchen mit verschiedenen Fangmagneten der Grössen 8" und 10 1/2" konnte die Backe schliesslich mit einer 11" Überwaschgarnitur überbohrt und aus 94.5 m Tiefe geborgen werden.

Einschliesslich der Antransportzeit für die Fangwerkzeuge betrug der Zeitaufwand dafür 32 Stunden.

### **2.6.2 Fangarbeit auf Testequipment**

Nach Durchführung des Tests K1 im Keuper und bei einer aktuellen Bohrtiefe von 752.0 m steckte die Doppelpackergarnitur fest. Trotz vielfacher Freifahrversuche nach oben und nach unten und dem Einpumpen einer 6 %-igen Ätznatronlauge zum Auflösen des tonigen Nachfallmaterials, welches vor allem den unteren Packer festhielt, blieb der freie Fahrweg der Garnitur auf wenige Meter beschränkt. Nach einem Lösen des Sicherheitsverbinders bei 695 m konnte der 2 3/8" Trägertubing und die in Kunststoff eingegossenen Packer- und Messleitungen geborgen werden.

Beim Einbau der Fanggarnitur zeigte sich jedoch, dass das Bohrloch ab ca. 640 m mit Nachfallmaterial verschüttet war. Mehrfach musste in der Folge das Bohrloch wieder aufgebohrt werden, da die Opalinustonzone permanent Nachfall produzierte, welcher aufgrund der grossen Auskesselungen auch kaum mehr ausgetragen werden konnte. Erst nach 4 Tagen gelang es, den Bohrabschnitt zu stabilisieren und mit einem Fangwerkzeug zum ersten Fangpunkt bei 695 m vorzudringen.

Mit zwei ersten Fangversuchen mittels Overshot konnten jeweils nur wenige Zentimeter der Testgarnitur geborgen werden, mit einem dritten konnte am Top des unteren Packers abgerissen und knapp 40 m der Garnitur sowie der obere Packer gefangen werden. Ungünstigerweise verblieben jedoch ca. 140 m der am Trägertubing befestigten 1/4" Edelstahlleitungen samt Montagebänder sowie der Elektronik-Carrier im Loch.

Es benötigte wiederum nahezu drei Tage, bis man durch Überbohren des Nachfalls und Stahls sowie des Elektronikteils mit den Fangwerkzeugen den nächsten Fangpunkt knapp oberhalb des Zirkulationsfilters anfahren konnte. Dabei gelang es schliesslich, auch den unteren Packer sowie den untersten Teil der Testgarnitur zu bergen.

Dennoch verblieben der Hauptteil der abgerissenen Edelstahlleitungen sowie die gesamte Gummimanschette eines Packers im Bohrloch. Besonders die Stahlreste erschwerten die weiteren Kernbohrarbeiten, die Packermanschette hingegen blieb verschwunden.

Gesamthaft nahmen die Arbeiten rund 9.5 Tage in Anspruch.

### **2.6.3 Fangarbeit auf Zementierstrang**

Nach Durchführung der Rückzementation von 1'007.0 bis 827.7 m trat beim Ausbau des Gestänges direkt unterhalb der Abfangvorrichtung ein Gestängebruch auf. 640.7 m des kombinierten 3 1/2" - 5 1/2" Zementierstranges stürzten ab und bohrten sich über 100 m in den frischen Zement. Durch die Verdrängung wurde zudem der Zement sowohl im Gestänge als auch im Ringraum weit nach oben gedrückt.

Bei ersten Fangversuchen mit Rohrkrebsen gelang es, den kompletten 5 1/2" Gestängeteil sowie 5 Stangen des 3 1/2" Teils durch Linksentschrauben zu bergen. Dennoch verblieben 177 m des 3 1/2" Gestänges im Loch, wobei diese vollständig mit Zement gefüllt waren.

Mit einer Überbohrkrone und dem 5 1/2" Bohrgestänge gelang es jedoch, den verlorenen Strang im Zement komplett bis 916.0 m zu überbohren und ihn anschliessend mit einer Fangglocke herauszuziehen.

Der Zeitaufwand für diese Arbeiten betrug insgesamt 56 Stunden.

### **2.7 Bohrtechnische Sicherheitseinrichtungen und -massnahmen**

Generell wurden bei der Planung und der Ausführung der Bohrung die Bestimmungen der Bundesdeutschen Bergverordnungen (Tiefbohrverordnungen - BVOT) für die Niederbringung von Tiefbohrungen berücksichtigt.

Obwohl aufgrund der prognostizierten geologischen Situation keine wesentlichen überhydrostatischen Druckgradienten oder ein Antreffen von Gas in grösseren Mengen zu erwarten waren, wurde die Bohrung mit Preventern ausgerüstet.

Bis zum Versetzen der Ankerverrohrung wurde für die Meissel- und Kernbohrarbeiten am 13 3/8" Standrohr ein Ringpreventer mit Entlastungsleitungen als Divertereinheit aufgeflanscht.

Nach Einbau der 9 5/8" Ankerverrohrung wurde die Anlage mit einem Doppelbackenpreventer mit Gestänge- und Vollabschluss sowie mit Choke-Manifold, Gasabscheider und Fackelanlage aufgerüstet. Der Betriebsdruck der über eine Fernsteuereinrichtung betriebenen Preventeranlage betrug 140 bar. Die Funktionsfähigkeit des Systems wurde durch regelmässige Prüfungen kontrolliert.

Eine Bohrgasmesseinheit mit justierbarer Alarmgebung registrierte permanent den Gasgehalt und die Gaszusammensetzung der Bohrspülung nach C1 - C5 Fraktionen. Zudem erfolgte eine automatische Überwachung und Aufzeichnung der Schwefelwasserstoffwerte.

Über die Bohrstrecken im Muschelkalk wurde dauernd Spülungsbeschwerungsmaterial vor Ort vorgehalten.

### **2.8 Bohrlochabweichung**

Während des Abteufens erfolgten im Abstand von ca. 50 m regelmässige Neigungsmessungen mit Single-shot-Geräten. Im Zuge des geophysikalischen Loggings wurden abschliessend alle offenen Bohrlochstrecken mit GPIT-Tools exakt vermessen.

Die Bohrung verläuft sehr geradlinig, die mittlere Neigung variiert zwischen 0.5 und 1 Grad. Lediglich im untersten Bohrlochbereich ab ca. 920 m baut sich die Neigung kurzräumig auf

max. 1.8 Grad auf, was durch die Rückzementationen und das Wiederaufbohren der Salzzone bedingt wurde.

Die Bohrungsrichtung verläuft in der oberen Meißelbohrstrecke bis ca. 390 m Tiefe nach SSW, mit Beginn der Kernbohrarbeiten dreht sie bis ca. 600 m exakt nach W ab, um danach bis zur Endteufe eine sehr geradlinige Tendenz nach SW beizubehalten.

Die horizontale Auslenkung der Bohrung bzw. der max. Horizontalabstand vom Bohransatzpunkt beträgt auf Endteufe 13.95 m.

Detaillierte Bohrlochverlaufsdaten können der Beilage 14 entnommen werden. In den Beilagen 15 und 16 ist der Bohrlochverlauf graphisch dargestellt.

## **2.9 Zeitaufteilung**

In Beilage 17 ist eine detaillierte Aufteilung der verschiedenen Arbeitsgattungen über den gesamten Bohrungszeitraum numerisch und graphisch dargestellt.

Im Bohrungszeitraum vom 3. September 1998 bis zum Zeitpunkt der Freigabe der Bohranlage am 12. Mai 1999 fielen rund 56 % der Gesamtzeit für bohrtechnische Arbeiten und 44 % für wissenschaftliche Untersuchungstätigkeiten an.

Der Zeitaufwand für den später erfolgten Einbau des Langzeitbeobachtungssystems ist dabei nicht berücksichtigt.

### **3 BAU- UND UMWELTASPEKTE**

#### **3.1 Erstellung und Betrieb Bohrplatz**

##### **3.1.1 Grundlagen**

Die Wahl des Bohrplatzgrundstückes war im Einvernehmen mit dem Gemeinderat Benken erfolgt. Unter Berücksichtigung verschiedener Kriterien (u.a. Erschliessung, Lärmimmissionen und auch Anschluss an die 3D-Seismik) wurde das im Eigentum der Gemeinde stehende Grundstück Kat. Nr. 1292 "Gmeindwisen" festgelegt. Das unter Kap. 1.3 beschriebene Bewilligungsverfahren bestätigte schliesslich, dass mit diesem Standort auch die raumplanerischen Aspekte gut abgedeckt werden konnten.

##### **3.1.2 Bohrplatzerstellung**

Die am 14. April 1998 begonnenen Bauarbeiten zeigten, dass auf einem Grossteil des Platzes die Tragfähigkeit des Untergrundes um einiges schlechter war als ursprünglich angenommen. Dies führte zu einer Konzeptänderung, nach welcher die Humusschicht nicht abgetragen, sondern der Kieskoffer direkt auf die vorhandene Terrainoberfläche aufgeschüttet wurde. Dabei blieben Kieskoffer und Humusdecke lediglich durch eine Fliesdeckeneinlage getrennt.

Nach der Rohplanie wurden die internen Werkleitungen und die Pumpenschächte erstellt. Mit dem Setzen der Stahlbecken als Öl- und Schlammabscheider sowie als Lagerbecken für den Bohrschlamm wurde die erste Bauphase abgeschlossen.

Die aufgrund der schlechten Tragfähigkeit des Baugrundes nötige Pfahlfundation erfolgte in der zweiten Junihälfte und bildete die Grundlage für die anschliessenden Betonarbeiten für den Bohrkeller und das Bohrturmfundament. Damit die zu erwartenden Baugrundsetzungen grösstenteils abklingen konnten, wurde mit dem Teerbelageeinbau bis Mitte August zugewartet.

Direkt anschliessend erfolgte die Installation der Bürocontainer und der übrigen von der Nagra bereitgestellten Bohrplatzeinrichtungen, ab dem 17. August zeitlich parallel mit dem Aufstellen der Bohranlageneinrichtungen. Mit dem Einführen der Zutrittskontrolle durch ein externes Bewachungsunternehmen und der Einzäunung des gesamten Bohrareals war Ende August 1998 die Bereitschaft für den Bohrbeginn erstellt.

Beilage 18 zeigt eine Übersicht über die Bohrplatzsituation.

##### **3.1.3 Erschliessung**

Bezüglich der Verkehrserschliessung lag der Bohrplatz an ausgezeichneter Lage direkt beim Anschlussknoten Benken an die Autostrasse N4 Winterthur - Schaffhausen.

Für den elektrischen Betrieb des Bohrgerätes und die übrigen Bohrplatzinstallationen wurde vom Elektrizitätswerk des Kantons ZH als Provisorium eine mobile Trafostation mit einer Leistung von 400 kVA aufgestellt. Diese konnte durch eine knapp 200 m lange Freileitung an das bestehende Mittelspannungsnetz angeschlossen werden. Die Wasserzuleitung erfolgte mittels einer 450 m langen Kunststoffleitung mit 130 mm Nennweite ab dem öffentlichen Versorgungsnetz beim nahegelegenen landwirtschaftlichen Betrieb "Hintergraben". In den gleichen Zuleitungsgraben wurde ein Elektrokabel für die spätere Niederspannungsversorgung des Bohrkellers während der vorgesehenen Langzeitbeobachtungsphase verlegt. Während der Bohrplatz-

erstellung diente dieses Kabel als provisorischer Baustromanschluss. Die nötigen Telefonanschlüsse konnten durch die Swisscom ab einem nahe des Bohrplatzes vorbeiführenden Hauptkabel bereitgestellt werden.

#### **3.1.4 Bohrplatzbetrieb**

Die auf dem Bohrplatz bereitgestellte Infrastruktur wie auch die dazugehörige Erschliessung mit Wasser, Elektrizität und Kommunikationsleitungen erwiesen sich als ausreichend und erlaubten einen geregelten und einwandfreien Bohrbetrieb. Sie boten auch eine einwandfreie Voraussetzung für alle durchgeführten wissenschaftlichen Untersuchungen.

Durch nachträglich und im Verlauf der Arbeiten installierte Geräte und Maschinen wurde die Kapazität der temporär aufgestellten Trafostation gesamthaft weit überschritten. Je allein für den Bohrbetrieb wie auch allein für die Test- und Messarbeiten war ihre Leistungsabgabe jedoch ausreichend, da sich ein kumulierter Betrieb aller Gerätschaften aus technischen Gründen ausschloss.

Der rund um die Uhr eingesetzte Wach- und Portierdienst mit Zugangskontrolle bewährte sich einmal mehr. Während der ganzen Betriebsphase mussten keine nennenswerten Vorkommnisse, Unfälle oder Störeinträge von aussen registriert werden.

Der Verkehrsfluss vom und zum Bohrplatz verlief störungsfrei und auch die für die Beschäftigten und die Besucher bereitgestellte Parkplatzfläche erwies sich als ausreichend.

#### **3.1.5 Rekultivierung**

Bereits in der Baubewilligung war eine Rekultivierung grundsätzlich in zwei Phasen vorgeschrieben worden. In einer ersten Phase, unmittelbar nach Bohrende, sollten sämtliche Bohrplatzeinrichtungen abgeräumt, der Bohrplatz abgebrochen und dessen Fläche wieder der landwirtschaftlichen Nutzung zugeführt werden. Zurückbleiben sollte lediglich der mit einer Betondecke versehene Bohrkeller, eine eingekieste Zufahrt dazu und ein Elektroanschluss zur Versorgung der Registriergeräte des im Bohrloch eingebauten Messsystems für die hydrogeologische Langzeitbeobachtung. Nach einem mehrjährigen Messprogramm sollte dann in einer zweiten Phase das Bohrloch verfüllt und auch der Bohrkeller abgebrochen werden.

Während der Betriebsphase der Bohrung wurden von der Gemeinde Benken die nötigen Planungsarbeiten für eine spätere Umwandlung des Bohrplatzes in einen Entsorgungs- und Kompostsammelplatz eingeleitet. Über den entsprechenden Gestaltungsplan sollte an der Sommer-Gemeindeversammlung 1999 befunden werden. Dieses Geschäft musste jedoch kurzfristig verschoben werden, da sich eine planerische Konfliktsituation mit einer Variantenstudie zum Ausbau der N4 und des Anschlussknotens Benken ergeben hatte. In einer ersten Machbarkeitsstudie wurde die neue Variante des N4-Ausbaus mehrheitlich positiv beurteilt.

Aufgrund der vorgängig erwähnten Situation blieb weiterhin unklar, ob die Bohrplatzfläche einem anderen Verwendungszweck zugeführt werden kann. Im Einvernehmen mit der Gemeinde wurde deshalb vorerst auf den Totalabbruch des Bohrplatzes verzichtet.

Einrichtungen wie Pumpen und Stahlbecken für die Platzentwässerung wurden jedoch entfernt und das Schlammbecken und das Bohrturmfundament abgebrochen. Die Belagsaufbruchflächen sind mit einer Kiesplanie auf Höhe des übrigen Belages angeglichen worden. Somit blieb die gesamte Platzfläche vorläufig befahrbar und steht bislang einer vielseitigen provisorischen und öffentlichen Nutzung offen.

Der Bohrkeller selbst wurde mit einer gegenüber dem Platzniveau überhöhten Betondecke mit Einstiegsöffnungen abgeschlossen und mit einem Elektroanschluss versehen. Die Übertragung der Bohrlochmessdaten erfolgt über eine neu installierte Telefonleitung. Der Zugang zum Keller bleibt über den befestigten Platz jederzeit möglich. Der Wasseranschluss zum Bohrplatz wurde am Abgang vom Versorgungsnetz beim Hof Hintergraben abgeklemmt. Die Leitung verblieb für eine eventuelle spätere Reaktivierung im Boden. Das ausserhalb der Umzäunung gelegene Humusdepot wurde in den Platz verlegt. So konnte für die landwirtschaftliche Nutzung eine zusätzliche Fläche freigegeben werden.

Im Sommer 2001 war nach wie vor offen, welcher Flächenanteil des Bohrplatzes durch den N4-Ausbau betroffen wird. Deshalb ist die Nagra nachträglich von der weiteren Rekultivierungspflicht entbunden worden, unter Abgeltung der noch offenen Rekultivierungskosten an die Gemeinde. Der teilrekultivierte Bohrplatz ist somit wieder in die Obhut der Gemeinde übergegangen.

## **3.2 Grundwasserüberwachung**

### **3.2.1 Einleitung**

Während der Ausführung der Sondierbohrung galt es, allfällige qualitative und quantitative Beeinträchtigungen des Grundwassers zu vermeiden. Eine lokale Grundwasserüberwachung sollte der Beweissicherung dienen, dass die bei den Bohr- und Testarbeiten ergriffenen Schutzmassnahmen genügten oder allenfalls ein Versagen derselben frühzeitig erkannt werden könnte.

Im Arbeitsprogramm zur Bohrung war beschrieben worden, wie die Überwachung des näheren hydrologischen Umfeldes der Sondierbohrung sichergestellt werden sollte. Mit der Freigabe der Bohrung wurde von der HSK am 9. August 1996 das Arbeitsprogramm mit dem darin enthaltenen Grundwasserüberwachungsprogramm genehmigt.

Dieses sah vor, während und nach Abschluss der Bohr- und Testarbeiten in bestehenden Piezometern und Quellfassungen unter Einbezug der Oberflächengewässer periodische Messungen durchzuführen. Zur Erfassung des Ist-Zustandes und zur Registrierung möglicher Veränderungen wurde vor Aufnahme jeglicher Bauarbeiten eine erste Probennahme angesetzt.

Zum Erfassen des Nahbereiches der Sondierbohrung waren zusätzlich zwei neue Piezometer (P1/BP209 und P2/BP210) unmittelbar am Rande des Bohrplatzes vorgesehen. Die Lage aller Messstellen geht aus der Beilage 19 (Situation 1:10 000) hervor.

### **3.2.2 Probenentnahmen und Analysen**

Im vorliegenden Bericht wird bei den Probenentnahmen lediglich auf die der Überwachung einer möglichen Grundwasserbeeinträchtigung dienenden Analysen bezüglich der Uranin-Tracerkonzentration eingegangen. Diese lag in der Bohrspülung in der Regel knapp unter 1 ppm (parts per million) und wurde im Rahmen der Spülungsüberwachung laufend kontrolliert.

Bereits vor Beginn der Bauarbeiten für den Bohrplatz wurden die beiden neuen Piezometer gesetzt und am 16. März 1998 erfolgte bei allen Messstellen eine erste Probenentnahme als Nullmessung. Während der Bohrarbeiten wurden insgesamt fünf Kontrollmessungen an den Tagen 11. und 22. September, 29. Oktober und, nach Einbau der 9 5/8" Verrohrung auf eine Tiefe von 564.1 m, nochmals am 16. Dezember 1998 sowie am 3. März 1999 durchgeführt. Nach Erreichen der Endteufe erfolgte eine letzte Messung am 4. Mai 1999.

Die hydrochemischen Analysen bei der Nullmessung zeigten, dass die Grundwässer im Bereich der Bohrung Benken dem Typus Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>-(SO<sub>4</sub>) bzw. Ca-Mg-HCO<sub>3</sub> angehören.

### **3.2.3 Bewertung der Ergebnisse**

Die erste Kontrollmessung am 11. September 1998 ergab beim Messpunkt P1/BP209 ein Uranin-Äquivalent von 0.901 ppb (parts per billion). Grund für diesen erhöhten Wert war die vom 3. bis 7. September abgeteuftete 17 1/2" - Bohrung für das Setzen des 13 3/8" Standrohres auf eine Teufe von 92.5 m. Die weiteren Messungen zeigten keine erhöhten Werte mehr, welche auf eine Kontamination durch die Bohrspülung hätten schliessen lassen. Somit bestätigte sich, dass mit dieser ersten Verrohrung der Schutz der oberflächennahen Grundwässer sichergestellt war. Bei einzelnen Messstellen (z.B. BP108, BP210) wurden aufgrund eines erhöhten Gehaltes an Huminstoffen leicht höhere Uranin-Äquivalente vorgetäuscht. Da im Überwachungsgebiet stark torfige Bereiche vorhanden sind, kam dieses Phänomen nicht überraschend, da Huminsäuren normalerweise einen Hintergrund von < 0.01 ppb bewirken.

Generell kann festgestellt werden, dass nach dem Setzen des Standrohres bis zum Abschluss der Bohrarbeiten keine weitere Beeinflussung der oberflächennahen Grundwässer durch Bohrspülungen mehr festgestellt werden konnte.

## **3.3 Lärmmessungen**

### **3.3.1 Einleitung**

Erst im Rahmen der im Baubewilligungsverfahren ergriffenen Rechtsmittel (Rekurs an den Regierungsrat und Beschwerde an das Verwaltungsgericht) wurde endgültig geregelt, wie die Beurteilung und spätere Überwachung der Lärmsituation vorzunehmen sei. Dabei wurde insbesondere geklärt, dass die Erstellung des Bohrplatzes und das Abteufen der Tiefbohrung nicht gemäss Art. 6 der Lärmschutzverordnung (LSV) mit den Baulärmrichtlinien des BUWAL beurteilt werden konnte. Die entsprechenden Kriterien bezüglich lärmintensiver Bauarbeiten waren erstens nicht erfüllt und zweitens konnte damit der betroffenen Bevölkerung nicht der bestmögliche Schutz zugesichert werden. Dieses letztere Kriterium gab schliesslich auch den Ausschlag, die Bohrstelle, obwohl nur kurzzeitig betrieben, als ortsfeste Anlage einzustufen und die Lärmimmissionen gemäss der den einzelnen Bauzonen zugewiesenen Empfindlichkeitsstufen zu beurteilen.

Nach der Auflage in der Baubewilligung der Gemeinde mussten die Lärmimmissionen aus dem Bohrbetrieb generell soweit begrenzt werden, dass bei den relevanten lärmempfindlichen Räumen die Planungswerte von 60 dB(A) für den Tag und 50 dB(A) für die Nacht einzuhalten waren.

### **3.3.2 Überwachungskonzept**

Zur Kontrolle der Lärmbelastung wurden in der Baubewilligung eine Eichmessung vor Baubeginn und eine erste Kontrollmessung nach Beginn des lärmintensiven Bohrbetriebes vorgeschrieben. Als Messpunkte wurden die mit 300 m Abstand zur Bohrstelle nächstgelegene landwirtschaftliche Siedlung "Hof Hintergraben" und die für das Wohngebiet der Gemeinde repräsentative, in 700 m Abstand von der Bohrstelle gelegene Liegenschaft "Marthalerstrasse 18" bezeichnet. Die Messungen hatten durch ein anerkanntes Fachbüro zu erfolgen. Beauftragt wurde in der Folge ein spezialisiertes Ingenieurbüro, welches die Messungen in einem separaten Bericht dokumentierte.

### **3.3.3 Ergebnisse der Messungen**

Das zwingende zeitliche Zusammenfallen der witterungsabhängigen äusseren Messbedingungen mit einer Phase von lärm erzeugenden Bohraktivitäten führte dazu, dass erst am 18. November 1998 (dafür aber beim äusserst lärmintensiven Erweitern des Bohrloches, Kap.2.2.5) die Kontrollmessungen durchgeführt werden konnten.

Die Messungen zeigten, dass im gesamten Wohngebiet der Gemeinde Benken keine Beeinträchtigung durch den Lärm des Bohrbetriebes stattgefunden hatte. Bei dem in Bezug auf das Wohngebiet nächstgelegenen Messpunkt "Marthalerstrasse 18" am südwestlichen Dorfrand von Benken lagen die Messwerte mit 38 - 43 dB(A) sogar um bis zu 3 dB(A) unter den Werten der vor Bohrbeginn durchgeführten Eichmessung. Somit bestätigte sich die Annahme, dass die Lärmbelastung der Gemeinde Benken ausschliesslich vom jeweiligen Verkehrsaufkommen auf der N4 bestimmt wurde.

Bei dem der Bohrung am nächsten gelegenen Wohnhaus der Landwirtschaftssiedlung "Hintergraben" war der Bohrlärm hingegen vorherrschend. Die Überwachungsmessung zeigte Werte um 47 dB(A). Diese lagen damit um 4 - 8 dB(A) höher als vor Bohrbeginn. Die Beurteilung nach der Lärmschutzverordnung mit Zuschlägen von 5 dB(A) für Industrieanlagen und 2 dB(A) für Hörbarkeit des Tongehaltes ergab mit 54 dB(A) einen Wert, der zwar 4 dB(A) über dem Planungswert in Landwirtschaftszonen lag, aber den entsprechenden Immissionsgrenzwert von 55 dB(A) nicht erreichte. Im Einvernehmen mit den betroffenen Bewohnern und auf Grund der nur wenige Tage dauernden extremen Lärmsituation beim Erweitern des Bohrloches konnte auf zusätzliche Schutzmassnahmen verzichtet werden.

Weitere Messungen erübrigten sich, da alle nachfolgenden Bohraktivitäten als weniger lärmintensiv eingestuft werden konnten.

## **3.4 Entsorgung Flüssig- und Feststoffe**

### **3.4.1 Einleitung**

Der temporär betriebene Bohrplatz war bezüglich Entsorgung einem ortsfesten Gewerbebetrieb gleichgestellt. So galten auch die allgemeinen Vorschriften für die Trennung der Feststoffe in brennbar und nicht brennbar und die Ablieferung in die Kehrichtverbrennungsanlage Winterthur respektive in die entsprechenden Sammelstellen. Das auf dem befestigten und dichten Platz anfallende Brauch- und Meteorwasser musste über einen Schlamm- und Mineralölabscheider geführt werden, bevor es zusammen mit den häuslichen Abwässern in die Kanalisation eingeleitet werden konnte. Für die im Bohrloch eingesetzten Spülungstypen musste in einem Entsorgungskonzept ein geeigneter Weg aufgezeigt werden.

### **3.4.2 Entsorgungskonzept**

Das ursprünglich mit dem Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft des Kantons ZH (früher AGW) diskutierte und bewilligte Entsorgungskonzept sah vor, die in der Bohrspülung enthaltenen Feststoffe mit einer Zentrifuge auszuscheiden. Dieses Konzept musste bei Bohrbeginn ergänzt werden, da keine Zentrifuge zum Einsatz kam und zusätzlich zur Tonspülung auch eine Natrium-Silikatpülung eingesetzt wurde.

Schliesslich wurden folgende Festlegungen getroffen: Das grobe Bohrklein ab dem Schüttelsieb der Bohranlage konnte direkt in die Grube Frei in Marthalen gefahren werden. Für die Ablagerung der mit feinem Bohrklein belasteten Tonspülung wurde die Grube Toggenburger in Glatt-

felden bestimmt. Für die Silikatspülung sah man die Entsorgung nach Neutralisation in hochverdünnter Form über die regionale Kläranlage vor.

Alle eingesetzten Spülungsarten sind im Kapitel 2.5 dieses Berichts beschrieben.

### 3.4.3 Zusammenstellung der entsorgten Stoffe

In den nachstehenden Tabellen sind die entsorgten Mengen, getrennt nach Fest- und Flüssigstoffe, aufgeführt. Die Mengen wurden den Lieferscheinen der beauftragten Transportunternehmen entnommen.

Tab. 4: Feststoffentsorgung

<b>Feststoffe</b>	<b>Menge</b>	<b>Abgabeort</b>
Brennbar	600 l - Container 4 m <sup>3</sup> - Mulde	15 Stk 23 Stk
Altmetall	4 m <sup>3</sup> - Mulde	4 Stk
Feststoffe aus Spülung (Bohrklein)	4 m <sup>3</sup> - Mulde	21 Stk
		KVA Winterthur Heiniger Riet/Neftenbach Grube Frei Marthalen

Tab. 5: Flüssigstoffentsorgung

<b>Flüssigstoffe</b>	<b>Menge</b>	<b>Abgabeort</b>
Ton-Süsswasser-Bohrspülung	500 m <sup>3</sup> 50 m <sup>3</sup> 37 m <sup>3</sup>	Toggenburger Grube Glattfelden Toggenburger Grube Wil Frei Grube Marthalen
Bohrspülung / Platzwasser silikatbelastet	218 m <sup>3</sup>	RBI Bazenheid
Öl-Gemisch / Öl-Schlamm	10 m <sup>3</sup>	Mökah Henggart
Meteorwasser / Platzwasser	6'292 m <sup>3</sup>	ARA Marthalen

Die in der Tabelle "Flüssigstoffentsorgung" aufgeführten 50 m<sup>3</sup> und 37 m<sup>3</sup> Bohrspülung in die Gruben Toggenburger in Wil und Frei in Marthalen betrafen vor allem Bohrklein mit hohem Wassergehalt, welches nicht mehr in Mulden transportiert werden konnte.

Die ohne Messung in die Kanalisation abgeleitete Abwassermenge setzt sich zusammen aus dem gemessenen Bezug aus dem Wasserversorgungsnetz und der bei der nächstgelegenen Wetterstation Rheinau gemessenen Niederschlagsmenge auf die entwässerte Platzfläche.

#### 3.4.4 Schlussbemerkungen

Während die Entsorgung der Ton-Süsswasserspülung keinerlei Probleme verursachte, gestaltete sich diejenige der Natrium-Silikatspülung um einiges aufwändiger. Wegen des hohen Verunreinigungspotentials ergaben selbst kleine in die Platzentwässerung gelangte Mengen Probleme in der Kläranlage bezüglich zu hohem pH-Wert beim Einlauf und unzulässiger Trübung im Nachklärbecken. Mit dem Aufstellen zweier weiterer 50 m<sup>3</sup> fassender Stahlbecken konnte zusätzliches Puffervolumen bereitgestellt werden und mittels einer CO<sub>2</sub> - Begasungseinrichtung eine baustellenmässige Neutralisationsanlage zur Vorbehandlung der zu entsorgenden Abwässer in Betrieb genommen werden.

Trotzdem mussten insgesamt 218 m<sup>3</sup> zu stark belastetes Platzwasser und Silikatspülung mit entsprechend hohen Kosten nach Bazenheid SG in die RBI (Recyclingbetrieb für die Industrie AG) zur Entsorgung gefahren werden. In der Folge zeigten sich keinerlei Probleme mehr in der Kläranlage. Die kurz vor Schluss der Bohrung noch angefallene überschüssige Salzpülung wurde vom Lieferanten, der Rheinsalinen AG in Möhlin, wieder zurückgenommen.

Zusammenfassend darf festgehalten werden, dass die mit dem erstmaligen Einsatz einer Silikatspülung aufgetretenen Entsorgungsprobleme gemeistert werden konnten und die Entsorgung der Spülung sachgerecht durchgeführt worden ist.

#### 4 BEHÖRDENAUF SICHT UND BERICHTERSTATTUNG

Als Aufsichtsbehörde wurde mit der Bundesratsbewilligung vom 15. Mai 1996 das Bundesamt für Energiewirtschaft (BEW), vertreten durch die Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK) bezeichnet. Zur Koordination der Aufsicht und zur Sicherstellung der gegenseitigen Information zwischen den verschiedenen Dienststellen des Bundes, des Kantons und der Gemeinde wurde eine Koordinationskommission eingesetzt.

Vorbehalten blieben die Befugnisse der Aufsichtsbehörde gemäss Artikel 15 der Bundesrätlichen Verordnung vom 27. November 1989 über vorbereitende Handlungen im Hinblick auf die Errichtung eines Endlagers für radioaktive Abfälle, sowie die grundsätzlichen Befugnisse der kantonalen und kommunalen Aufsichtsbehörden.

Die Koordinationskommission begleitete sowohl die planerischen Arbeiten zum Sondierprojekt, die Ausführung der Untersuchungs- und Bohrarbeiten und begleitet auch weiterhin laufende und zukünftige untersuchungstechnische Arbeiten im Rahmen des Sondierprojekts Benken bishin zu einer abschliessenden Verfüllung der Bohrung.

Die Koordinationskommission setzte sich aus folgenden Mitgliedern zusammen: Zwei Vertreter der HSK, ein Vertreter der Landeshydrologie und -geologie (LHG), ein Vertreter der Kommission Nukleare Entsorgung (KNE), zwei Vertreter des Kantons Zürich (AWEL, Amt für Abfall, Wasser, Energie, Luft), und ein Vertreter der Gemeinde Benken. An den Sitzungen nahmen zudem je ein Vertreter des Kantons Schaffhausen, der lokalen Oppositionsgruppe und des Landratsamtes Waldshut/BRD als Beobachter teil.

Die Leitung und das Sekretariat der Kommission wurde von der HSK übernommen.

Die mit der Aufsicht betrauten Personen waren und sind befugt, jederzeit zu prüfen, ob die von den Behörden erteilten Auflagen, insbesondere die Auflagen hinsichtlich Umwelt-, Lärm- und Gewässerschutz aber auch die Anforderungen zum Schutz von Menschen, fremden Sachen, und wichtigen Rechtsgütern, erfüllt werden. Sie können insbesondere Auskünfte, Meldungen und besondere Aufzeichnungen verlangen und Einsicht in alle Unterlagen nehmen. Im Rahmen ihrer Aufgabe haben sie ungehindert Zutritt zu allen Anlagen, Geschäftsräumlichkeiten und Lagern. Die Aufsichtsbehörde bzw. die Koordinationskommission hat zudem das Vorgehen der Nagra auf Relevanz und Verhältnismässigkeit zu prüfen und kann technisch-wissenschaftliche Massnahmen anordnen.

Die Berichterstattung über den Stand und Fortgang der Arbeiten erfolgte bzw. erfolgt auf den regelmässig stattfindenden Sitzungen der Koordinationskommission, bei denen durch Nagra-Vertreter über den aktuellen Stand berichtet und zu allfälligen Fragen Stellung genommen wird.

Zuhanden der Kommission wurden zwei halbjährliche Zwischenberichte durch die Nagra erstellt, die folgende Zeiträume umfassten:

- NZB Benken 99-01: 24.02.1998 - 31.12.1998
- NZB Benken 99-02: 01.01.1999 - 31.07.1999

Die Koordinationskommission hat dem UVEK (Bundesdepartement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation) jährlich einen auf die Zwischenberichte der Nagra abgestützten Kurzbericht abzuliefern.

Zur Orientierung der Gemeindebehörden und der ansässigen Bevölkerung fanden eine Reihe von Informationsveranstaltungen in den Gemeinden und auf dem Bohrplatz statt. Für interes-

sierte Besuchergruppen wurde eine Vielzahl von Führungen auf dem Bohrgelände durchgeführt. Am 16/17. Oktober 1998 und am 20. Februar 1999 fanden gut besuchte Tage der offenen Tür für die Bevölkerung statt. Insgesamt besichtigten rund 2'500 Personen die Bohrstelle.

In der Nagra Publikation "nagra news" sowie durch Pressemitteilungen wurden der Stand der Arbeiten ebenfalls laufend der Öffentlichkeit bekanntgegeben.

Weitere, über den vorliegenden Bericht hinausgehende Informationen zu den jeweiligen Fachgebieten werden sowohl in internen Berichten als auch in öffentlich zugänglichen Nagra Technischen Berichten (NTB) dokumentiert. Insbesondere im Untersuchungsbericht (NAGRA 2001) werden die wissenschaftlichen Ergebnisse der Bohrung Benken zusammenfassend präsentiert.

## 5 LITERATURVERZEICHNIS

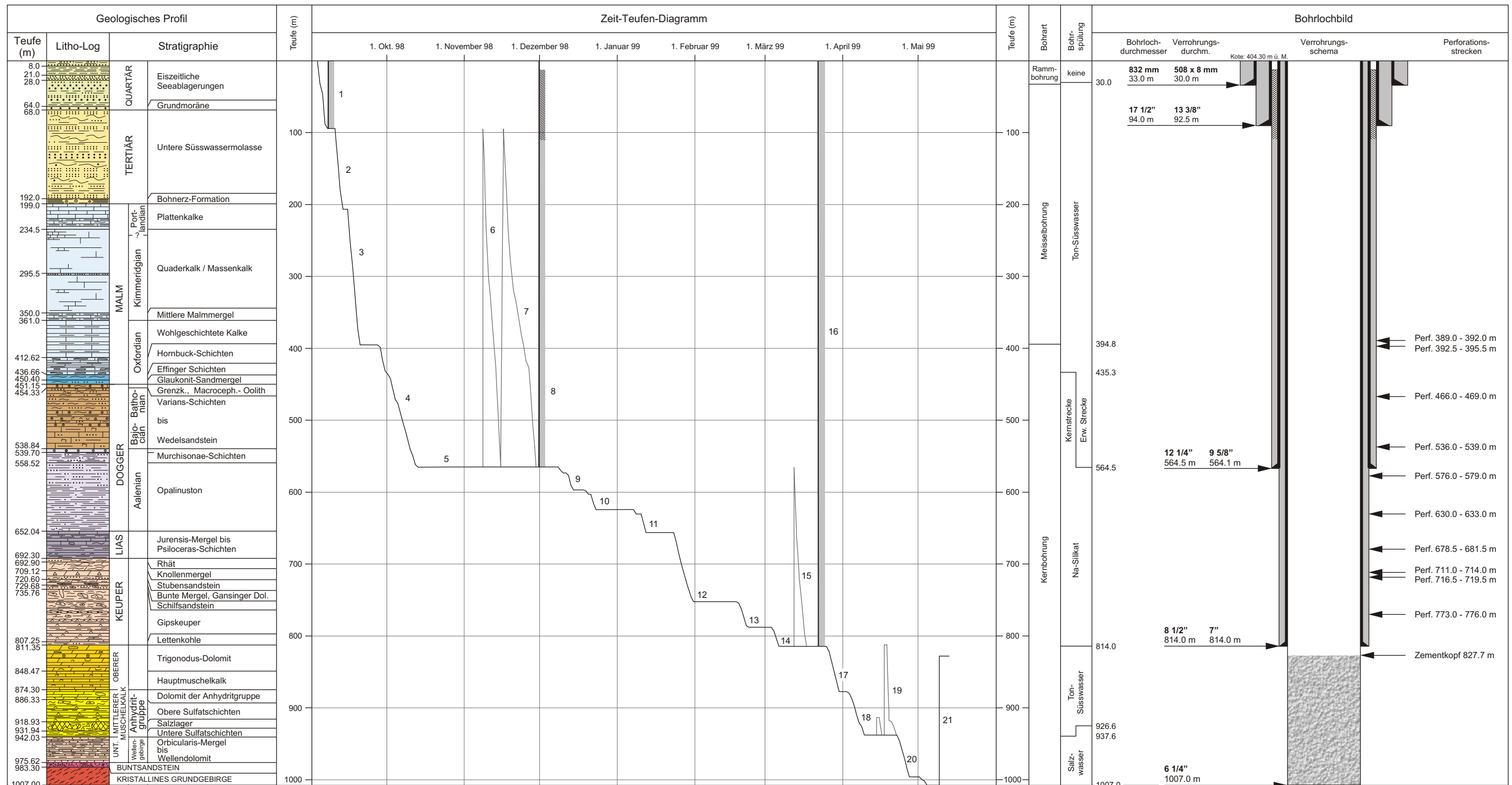
- BIRKHÄUSER, PH., ROTH, PH., MEIER, B. & NAEF, H. (2001): 3D-Seismik: Räumliche Erkundung des Wirtgesteins Opalinuston im Zürcher Weinland. Nagra Tech. Ber. NTB 00-03. Nagra, Wettingen
- NAEF, H. et al. (1995): Interpretation der Reflexionsseismik im Gebiet nördlich Lägern – Zürcher Weinland. Nagra Tech. Ber. NTB 94-14. Nagra, Wettingen.
- NAGRA (1988): Sedimentstudie – Zwischenbericht 1988: Möglichkeiten zur Endlagerung langlebiger radioaktiver Abfälle in den Sedimenten der Schweiz (Textband und Beilagenband). Nagra Tech. Ber. NTB 88-25. Nagra, Wettingen.
- NAGRA (1994): Gesuch um die Erteilung einer Bewilligung für die Durchführung eines Sondier- und Untersuchungsprogrammes in der Gemeinde Benken (ZH). Sondiergesuch NSG 20 Benken. Nagra, Wettingen.
- NAGRA (1996): Sondierbohrung Benken – Arbeitsprogramm. Nagra Tech. Ber. NTB 96-07. Nagra, Wettingen.
- NAGRA (2001): Sondierbohrung Benken – Untersuchungsbericht. Nagra Tech. Ber. NTB 00-01. Nagra, Wettingen.
- PEARSON, F.J. (1998): Artificial Waters for Use in Laboratory and Field Experiments with Opalinus Clay: Status June 1998. Paul Scherrer Institut, Würenlingen.



10 km

Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 1. Februar 2000

<b>nagra</b>	<b>TECHNISCHER BERICHT NTB 99-12</b>
Geographische Lage der Sondierbohrung Benken	
<b>Sondierbohrung Benken</b>	DAT.: Dez. 2001 <b>BEILAGE 1</b>



- 1 Aufbohren Hilfsstandrohr, 17 1/2" Meißelbohrung, Einbau u. Zementation 13 3/8" Standrohr, Einbau 7" HV
- 2 Meißelbohrung 6 1/4", Hydr. Test M1
- 3 Meißelbohrung 6 1/4", Hydr. Tests M2, M3
- 4 Kernbohrung 6 1/4", Spülungsaustausch bei 435.3 m (Na-Silikat)
- 5 Hydr. Tests O1, D1, D2, MD1, M4, O2, O3, dazw. Roundtrips, Kaliberlog, Spülungsaustausch (Ton-Süßwasser), Struktur-Logging, Hydrofrac-Messungen, Geophys. Messungen, Demontage BOP, Ausbau 7" HV, Fangarbeiten
- 6 Erweiterung auf 8 1/2"
- 7 Erweiterung auf 12 1/4", Geophys. Logging
- 8 Einbau u. Zementation 9 5/8" Ankerrohrtour, Zementkopfmessungen, BOP-Montage, Spülungsaustausch (Na-Silikat)
- 9 Kernbohrung 6 1/4", Reparatur KDK, Kaliberlog, Hydr. Test O4
- 10 Dilatomertvorbohrung u. -messungen, Kernbohrung 6 1/4", Hydr. Tests O5, O6, Kaliberlogs
- 11 Dilatomertvorbohrung u. -messungen, Kernbohrung 6 1/4", Kaliberlog, Hydrofrac-Tests, Hydr. Test O7
- 12 Kernbohrung 6 1/4", Hydr. Tests L1, K1, Fangarbeiten auf Testgarnitur
- 13 Kernbohrung 6 1/4", Hydr. Test K2, Kaliberlog,
- 14 Kernbohrung 6 1/4", Demontage BOP, Ausbau 7" HV, Struktur- u. bohrtechn. Logging, Hydrofrac-Tests
- 15 Bohrlöcherweiterung 8 1/2", Struktur- u. petrophys. Logging, Walkaway-VSP
- 16 Einbau u. Zementation 7" Endverrohrung, BOP-Montage, Spülungsaustausch (Ton-Süßwasser)
- 17 Kernbohrung 6 1/4", Hydr. Test MK1
- 18 Kernbohrung 6 1/4", Hydr. Test MK2, Kaliberlog
- 19 2x Rückzementationen Salzzone, Spülungsaustausch (Salzwasser)
- 20 Kernbohrung 6 1/4", Hydr. Test B1, Kernbohrung 6 1/4" bis 1007.0 m, Struktur-, petrophys., bohrtechn. Logging, Bohrlochseismik
- 21 2x Rückzementationen bis 827.7 m, dazw. Fangarbeiten auf Zementierstrang, Spülungsaustausch, Perforation 7" Rohrtour, Scraper-Run

# Kernmarschliste Bohrung Benken



Kern- Marsch Nr.	Teufe		Bohr- zeit [min]	Fort- schritt [m/h]	Kern- länge [m]	Kern- Gewinn [%]	Dreh- zahl [U/min]	An- druck [t]	Pump- rate [l/min]	Pump- druck [bar]	Spülg.- gewicht [kg/l]	Funnel Visc. [s]	Splg. Typ
	von [m]	bis [m]											
1	394.8	397.8	110	1.64	2.44	81.33	180	1-3	170	25	1.053	51	TW
2	397.8	400.2	134	1.07	2.40	100.00	180	1-2	160-180	11-12	1.038	46	TW
3	400.2	405.2	297	1.01	5.00	100.00	180	1-2	160-180	11-13	1.038	46	TW
4	405.2	411.2	421	0.86	6.00	100.00	180	1-2	160	11	1.057	45	TW
5	411.2	417.2	338	1.07	6.00	100.00	180	1-2	170	10-15	1.061	45	TW
6	417.2	423.3	368	0.99	6.10	100.00	180	1-2	170	9-13	1.056	47	TW
7	423.3	429.3	422	0.85	6.00	100.00	180	1-2	160-170	9-15	1.073	46	TW
8	429.3	435.3	405	0.89	6.00	100.00	180	1-2	160-170	9-15	1.076	45	TW
9	435.3	441.3	594	0.61	6.00	100.00	180	1-3	120	12	1.135	39	NS
10	441.3	447.3	558	0.65	6.00	100.00	160-180	1-3.5	160	10-14	1.181	38	NS
11	447.3	453.3	442	0.81	6.00	100.00	160-180	1-3.5	160-230	10-17	1.177	38	NS
12	453.3	459.3	401	0.90	6.00	100.00	160-180	2-3	140	10-14	1.145	36	NS
13	459.3	465.3	512	0.70	6.00	100.00	160	2-3	140-160	10-15	1.149	39	NS
14	465.3	471.3	569	0.63	6.00	100.00	160-180	2-3	150-160	10-25	1.17	38	NS
15	471.3	475.8	522	0.52	4.50	100.00	160	2-3	150-160	16-25	1.153	48	NS
16	475.8	481.8	657	0.55	6.00	100.00	180	2-3	160	12-25	1.198	48	NS
17	481.8	486.5	339	0.83	4.70	100.00	180	2-3	140-160	12-20	1.194	45	NS
18	486.5	491.6	580	0.53	5.10	100.00	180	2-3	140-160	12-18	1.192	40	NS
19	491.6	495.8	320	0.79	4.20	100.00	180	2-3	170	10-18	1.183	45	NS
20	495.8	501.8	580	0.62	6.00	100.00	175	2-3	160	10-15	1.182	45	NS
21	501.8	507.8	542	0.66	6.00	100.00	180	2-3	160	12-17	1.177	43	NS
22	507.8	513.8	707	0.51	6.00	100.00	180	2-4	160	15-16	1.179	38	NS
23	513.8	519.8	452	0.80	6.00	100.00	180	2-4	160	13-18	1.172	41	NS
24	519.8	525.8	602	0.60	6.00	100.00	180	2-4	160	16-17	1.139	40	NS
25	525.8	531.8	542	0.66	6.00	100.00	180	2-4	160	10-20	1.163	40	NS
26	531.8	537.8	543	0.66	6.00	100.00	180	2-4	160	10-20	1.165	40	NS
27	537.8	543.8	593	0.61	6.00	100.00	180	2-4	160	10-20	1.168	43	NS
28	543.8	548.6	456	0.63	4.80	100.00	180	2-4	160	15-18	1.168	40	NS
29	548.6	552.7	356	0.69	4.10	100.00	180	2-4	160	15-25	1.155	44	NS
30	552.7	558.0	606	0.52	2.10	39.62	180	2-4	160	15-27	1.163	45	NS
31	558.0	558.5	42	0.71	0.50	100.00	180	2-4	160	23-27	1.163	49	NS
32	558.5	563.2	363	0.78	4.70	100.00	180	3-4	160	13-20	1.166	46	NS
33	563.2	564.2	72	0.83	1.00	100.00	180	2-4	160	13-20	1.166	45	NS
34	564.2	564.5	16	1.12	0.10	33.33	180	2-4	160	17-20	1.163	45	NS
35	564.5	569.5	392	0.77	5.00	100.00	160	2-3	180	18-24	1.108	35	NS
36	569.5	571.0	149	0.60	1.50	100.00	160	2-3	150	20-25	1.116	35	NS
37	571.0	572.9	136	0.84	1.90	100.00	160	2-3	150-160	19-25	1.116	42	NS
38	572.9	578.8	382	0.93	5.90	100.00	150-160	2-3	150-160	19-25	1.115	42	NS
39	578.8	584.8	479	0.75	6.00	100.00	160	2-3	150	19-20	1.113	40	NS
40	584.8	590.7	490	0.72	5.90	100.00	160	2-3	150	19-20	1.112	44	NS
41	590.7	596.0	398	0.80	5.30	100.00	160	2-3	150	19-20	1.114	43	NS
42	596.0	596.5	29	1.03	0.50	100.00	160	2-3	150	20	1.115	43	NS
43*	596.5	602.5	413	0.87	6.00	100.00	100-170	1-2	120-130	18-20	1.158	44	NS
44	602.5	604.0	137	0.66	1.50	100.00	160	2-3	200	20-24	1.181	51	NS
45	604.0	610.0	448	0.80	6.00	100.00	160	2-3	200	23	1.177	-	NS
46	610.0	611.9	182	0.63	1.90	100.00	160	2-3	200	23	1.185	-	NS
47	611.9	617.6	380	0.90	5.70	100.00	160-170	2-3	200	20-24	1.186	-	NS
48	617.6	623.6	462	0.78	6.00	100.00	160-170	2-3	200	20-24	1.188	-	NS

\* Dilatometerkernbohrstrecke

NS Natriumsilikat  
 TW Ton-Süsswasser  
 SW Salzwasserspülung

<b>nagra</b>	<b>TECHNISCHER BERICHT NTB 99-12</b>
Kernmarschliste	
<b>Sondierbohrung Benken</b>	DAT.: Dez. 2001
<b>BEILAGE 3</b>	

# Kernmarschliste Bohrung Benken



Kern- Marsch Nr.	Teufe		Bohr- zeit [min]	Fort- schritt [m/h]	Kern- länge [m]	Kern- Gewinn [%]	Dreh- zahl [U/min]	An- druck [t]	Pump- rate [l/min]	Pump- druck [bar]	Spülg- gewicht [kg/l]	Funnel Visc. [s]	Splg. Typ
	von [m]	bis [m]											
49*	623.6	629.6	460	0.78	6.00	100.00	180	1	105	25	1.15	40	NS
50*	629.6	629.8	22	0.55	0.20	100.00	180	1	90	12	1.15	40	NS
51	629.8	630.3	29	1.03	0.50	100.00	180	1-3	180	26	1.15	49	NS
52	630.3	631.3	67	0.90	1.00	100.00	180	1-3	175	24	1.15	48	NS
53	631.3	637.3	395	0.91	6.00	100.00	180	2-3	175	21	1.15	48	NS
54	637.3	637.5	10	1.20	0.20	100.00	180	3	178	22	1.15	48	NS
55	637.5	643.5	445	0.81	6.00	100.00	180	3	190	25	1.15	49	NS
56	643.5	643.7	8	1.50	0.20	100.00	180	1-3	180	23	1.15	49	NS
57	643.7	644.7	55	1.09	1.00	100.00	180	1-3	170	20	1.15	49	NS
58	644.7	649.7	435	0.69	5.00	100.00	180	2-3	175	22	1.15	49	NS
59	649.7	655.7	536	0.67	6.00	100.00	180	3	190	23	1.16	49	NS
60	655.7	656.3	45	0.80	0.60	100.00	180	1-4	210	16	1.14	55	NS
61	656.3	662.1	418	0.83	5.80	100.00	180	1-4	175	22	1.16	52	NS
62	662.1	662.4	41	0.44	0.30	100.00	180	1-3	205	19	1.16	50	NS
63	662.4	668.2	414	0.84	5.80	100.00	180	2-3	180	17	1.16	52	NS
64	668.2	674.1	403	0.88	5.90	100.00	180	1-3	190	22	1.17	48	NS
65	674.1	680.1	476	0.76	6.00	100.00	180	2-3	195	27	1.18	55	NS
66	680.1	686.1	450	0.80	6.00	100.00	170-180	2-3	175	22	1.18	55	NS
67	686.1	692.1	504	0.71	6.00	100.00	170-180	2-3	160	21	1.17	52	NS
68	692.1	692.3	13	0.92	0.20	100.00	180	2-3	175	22	1.17	52	NS
69	692.3	698.1	502	0.69	5.80	100.00	180	2-3	175	24	1.16	48	NS
70	698.1	704.1	556	0.65	6.00	100.00	180	2-3	170	22	1.18	48	NS
71	704.1	709.9	559	0.62	5.80	100.00	180	2-3	185	30	1.18	44	NS
72	709.9	715.7	607	0.57	5.80	100.00	180	2-3	175	20	1.18	55	NS
73	715.7	721.5	590	0.59	5.80	100.00	180	2-3	160	20	1.17	55	NS
74	721.5	727.0	703	0.47	5.50	100.00	180	3-4	165	20	1.19	54	NS
75	727.0	732.8	549	0.63	5.80	100.00	180	3-4	190	23	1.19	55	NS
76	732.8	738.6	700	0.50	5.80	100.00	180	3-4	175	24	1.19	55	NS
77	738.6	744.1	620	0.53	5.50	100.00	180	3-4	175	21	1.19	55	NS
78	744.1	749.9	524	0.66	5.80	100.00	180	3-4	170	23	1.20	56	NS
79	749.9	752.0	227	0.56	2.10	100.00	180	3-4	160	24	1.19	45	NS
80	752.0	752.9	155	0.35	0.50	55.56	180	3	160	35	1.23	65	NS
81	752.9	753.9	162	0.37	1.00	100.00	180	3-4	125	30	1.23	65	NS
82	753.9	754.7	170	0.28	0.80	100.00	180	3-4	160	28	1.23	65	NS
83	754.7	755.0	38	0.47	0.30	100.00	180	3-4	155	23	1.24	65	NS
84	755.0	756.0	174	0.34	1.00	100.00	180	3-4	195	28	1.24	65	NS
85	756.0	757.4	99	0.85	1.40	100.00	180	3-4	165	26	1.22	65	NS
86	757.4	762.0	365	0.76	4.60	100.00	180-190	3-4	170	30	1.22	69	NS
87	762.0	767.8	506	0.69	5.80	100.00	180-190	1-4	132	35	1.24	69	NS
88	767.8	769.1	129	0.60	1.30	100.00	190	3-4	130	35	1.24	70	NS
89	769.1	773.8	394	0.72	4.70	100.00	190	3-4	95	38	1.23	74	NS
90	773.8	777.3	355	0.59	3.50	100.00	190	1-4	108	38	1.22	66	NS
91	777.3	783.3	488	0.74	6.00	100.00	190	3-4	90	36	1.22	67	NS
92	783.3	787.6	355	0.73	4.30	100.00	190	1-4	100	38	1.21	68	NS
93	787.6	791.6	384	0.63	4.00	100.00	180	2-4	170	26	1.22	59	NS
94	791.6	792.7	109	0.61	1.10	100.00	180	2-4	183	26	1.22	60	NS
95	792.7	798.7	494	0.73	6.00	100.00	180	2-4	180	26	1.22	67	NS
96	798.7	804.8	556	0.66	6.10	100.00	180	2-4	150	29	1.21	71	NS
97	804.8	805.8	76	0.79	1.00	100.00	180	3	160	30	1.21	71	NS
98	805.8	811.1	543	0.59	5.30	100.00	180	2-4	165	30	1.21	71	NS
99	811.1	812.3	76	0.95	1.20	100.00	180	2-4	185	29	1.22	71	NS
100	812.3	813.4	152	0.43	1.10	100.00	180	2-4	160	28	1.22	71	NS

\* Dilatometerkernbohrstrecke

NS Natriumsilikat  
 TW Ton-Süsswasser  
 SW Salzwasserspülung

# Kernmarschliste Bohrung Benken



Kern- Marsch Nr.	Teufe		Bohr- zeit [min]	Fort- schritt [m/h]	Kern- länge [m]	Kern- Gewinn [%]	Dreh- zahl [U/min]	An- druck [t]	Pump- rate [l/min]	Pump- druck [bar]	Spülg- gewicht [kg/l]	Funnel Visc. [s]	Splg. Typ
	von [m]	bis [m]											
101	813.4	814.0	177	0.20	0.60	100.00	180	3	180	27	1.23	71	NS
102	814.0	816.4	52	2.77	2.40	100.00	90-180	1-3	190	10	1.03	43	TW
103	816.4	822.2	533	0.65	5.80	100.00	180	1-3	170	9	1.03	43	TW
104	822.2	828.2	397	0.91	6.00	100.00	180	1-3	153	8	1.03	45	TW
105	828.2	834.2	348	1.03	6.00	100.00	180	1-3	175	10	1.06	43	TW
106	834.2	840.2	456	0.79	6.00	100.00	180	1-3	162	9	1.07	43	TW
107	840.2	843.5	272	0.73	3.30	100.00	180	1-3	188	11	1.09	43	TW
108	843.5	847.8	317	0.81	4.30	100.00	180	1-3	180	10	1.09	42	TW
109	847.8	853.8	459	0.78	6.00	100.00	180	2-3	172	10	1.10	42	TW
110	853.8	859.8	453	0.79	6.00	100.00	180	2-3	167	11	1.08	47	TW
111	859.8	863.3	297	0.71	3.50	100.00	180	2-3	155	10	1.08	44	TW
112	863.3	865.5	199	0.66	2.20	100.00	180	2-3	162	11	1.08	44	TW
113	865.5	871.2	441	0.78	5.70	100.00	180	2-3	175	11	1.08	44	TW
114	871.2	877.2	446	0.81	6.00	100.00	180	2-3	170	11	1.09	42	TW
115	877.2	879.9	220	0.74	2.70	100.00	100-180	1-4	160	11	1.08	44	TW
116	879.9	885.9	490	0.73	6.00	100.00	180	2-4	175	12	1.08	44	TW
117	885.9	890.7	465	0.62	4.80	100.00	180	2-3	175	17	1.06	44	TW
118	890.7	896.7	713	0.50	6.00	100.00	180	2-4	168	18	1.09	44	TW
119	896.7	902.7	574	0.63	6.00	100.00	180	2-4	170	15	1.09	44	TW
120	902.7	908.7	558	0.65	6.00	100.00	180	2-4	167	14	1.10	42	TW
121	908.7	913.9	556	0.56	5.20	100.00	180	2-4	169	14	1.11	43	TW
122	913.9	918.2	427	0.60	4.30	100.00	180	3-4	170	14	1.11	42	TW
123	918.2	923.9	597	0.57	2.70	47.37	180	3-4	168	12	1.11	42	TW
124	923.9	925.1	98	0.73	1.20	100.00	180	3-4	180	19	1.11	40	TW
125	925.1	928.1	315	0.57	3.00	100.00	180	2-3	162	11	1.08	42	TW
126	928.1	931.6	268	0.78	3.20	91.43	170	2-3	160	10	1.10	42	TW
127	931.6	934.6	265	0.68	3.00	100.00	170-180	2-4	140	11	1.10	42	TW
128	934.6	937.6	294	0.61	3.00	100.00	180	2-4	145	11	1.13	39	TW
129	937.6	938.5	116	0.47	0.90	100.00	180	3-4	165	15	1.19	40	SW
130	938.5	938.8	65	0.28	0.30	100.00	180	2-3	175	14	1.19	43	SW
131	938.8	939.8	60	1.00	1.00	100.00	180	2-3	180	12	1.19	42	SW
132	939.8	945.8	609	0.59	6.00	100.00	180	2-3	188	13	1.20	43	SW
133	945.8	951.8	451	0.80	6.00	100.00	180	2-3	165	15	1.20	37	SW
134	951.8	957.8	592	0.61	6.00	100.00	170-180	2-3	180	11	1.21	41	SW
135	957.8	963.8	546	0.66	6.00	100.00	170	3	180	13	1.20	41	SW
136	963.8	968.7	509	0.58	4.90	100.00	170	2-3	170	11	1.20	41	SW
137	968.7	974.7	525	0.69	6.00	100.00	170	2-3	175	13	1.21	42	SW
138	974.7	980.7	570	0.63	6.00	100.00	170	2-3	170	13	1.21	42	SW
139	980.7	985.0	387	0.67	4.30	100.00	170	2-3	175	14	1.21	41	SW
140	985.0	991.0	545	0.66	6.00	100.00	170	2-3	165	13	1.21	41	SW
141	991.0	994.9	437	0.54	3.90	100.00	170	2-3	175	16	1.21	42	SW
142	994.9	995.4	51	0.59	0.50	100.00	170	2-3	170	16	1.21	41	SW
143	995.4	998.9	431	0.49	3.50	100.00	170	2-3	165	14	1.22	40	SW
144	998.9	999.4	172	0.17	0.50	100.00	170	2-3	162	13	1.19	40	SW
145	999.4	999.6	145	0.08	0.20	100.00	170	2-5	150	11	1.20	40	SW
146	999.6	1000.0	221	0.11	0.40	100.00	170	2-5	180	33	1.19	37	SW
147	1000.0	1000.1	32	0.19	0.10	100.00	170	2-3	158	30	1.19	37	SW
148°	1000.1	1003.6	296	0.71	3.50	100.00	170	2-3	155	15	1.20	37	SW
149°	1003.6	1003.8	54	0.22	0.20	100.00	170	2-3	145	10	1.20	37	SW
150°	1003.8	1007.0	243	0.79	3.20	100.00	170	2-3	155	10	1.21	37	SW

° Doppelkernrohr

NS Natriumsilikat  
 TW Ton-Süßwasser  
 SW Salzwasserspülung

## Werkzeugeinsätze Bohrung Benken



Werkzeug Nr.	Ein- satz	Durch- messer [Zoll/mm]	Marke	Typ	Serien- nummer	Teufe		Leis- tung [m]	Zeit [h]	Fort- schritt [m/h]	Vorgang	Bemerkungen
						Einbau [m]	Ausbau [m]					
1	1	17 1/2	Security	S3S 1-1-1	44 388	1.5	30.5	29.0	5.75	5.0	Aufbohren Zement	Hilfsstandrohr
1	2	17 1/2	Security	S3S 1-1-1	45 388	30.5	94.0	63.5	28.00	2.3	Bohren	
2	1	12 1/4	L2	used	186576	86.2	94.0	7.8	4.00	2.0	Aufbohren Zement	13 3/8" Verrohrung
3	1	6 1/4	Hughes	R4 2-1-1	62 211	94.0	163.9	69.9	30.50	2.3	Bohren	
4	1	6 1/4	Thomson	2-2-1	126839	163.9	195.8	31.9	20.00	1.6	Bohren	
5	1	6 1/4	Varel	3-2-1	477510 HLR	195.8	205.7	9.9	7.25	1.4	Bohren	
5	2	6 1/4	Varel	3-2-1	477510 HLR	205.7	256.4	50.7	26.75	1.9	Bohren	
6	1	6 1/4	Hughes	J33 5-3-7	62 560	256.4	394.8	138.4	70.75	2.0	Bohren	
7	1	6 1/4	Micon	SS BY-FD	60021	394.8	475.8	81.0	101.50	0.8	Kernen	KM 1 - 15
7	2	6 1/4	Micon	SS BY-FD	60021	475.8	548.6	72.8	115.25	0.6	Kernen	KM 16 - 28
7	3	6 1/4	Micon	SS BY-FD	60021	548.6	564.5	15.9	24.25	0.7	Kernen	KM 29 - 34
7	4	6 1/4	Micon	SS BY-FD	60021	0.0	564.5	--	--	--	Roundtrip	
7	5	6 1/4	Micon	SS BY-FD	60021	0.0	564.0	--	--	--	Roundtrip	
7	6	6 1/4	Micon	SS BY-FD	60021	558.0	564.0	--	--	--	Nachbohren	
7	7	6 1/4	Micon	SS BY-FD	60021	0.0	564.5	--	--	--	Roundtrip	
7	8	6 1/4	Micon	SS BY-FD	60021	0.0	564.5	--	--	--	Roundtrip	
7	9	6 1/4	Micon	SS BY-FD	60021	0.0	564.5	--	--	--	Roundtrip	Spülsaustausch - TW
8	1	8 1/2	Varel	5-3-7	32670	94.5	326.5	232.0	62.50	3.7	Erweitern	
9	1	8 1/2	Varel	5-3-7	32357	326.5	564.2	237.7	93.50	2.5	Erweitern	
10	1	12 1/4	Smith	HO 5-3-7	470016	94.0	320.6	226.6	86.50	2.6	Erweitern	
11	1	12 1/4	Smith	L4HJ 3-1-3	BN 4762	320.6	376.3	55.7	51.75	1.1	Erweitern	
12	1	12 1/4	Smith	L4HJ 3-1-3	BN 4197	376.3	424.1	47.8	50.00	1.0	Erweitern	
13	1	12 1/4	Varel	5-3-7	7904	424.1	564.5	140.4	66.00	2.1	Erweitern	
13	2	12 1/4	Varel	5-3-7	7904	429.0	564.5	135.5	--	--	Roundtrip/Nachbohren	
13	3	12 1/4	Varel	5-3-7	7904	215.0	564.5	349.5	--	--	Roundtrip/Nachbohren	
8	2	8 1/2	Varel	5-3-7	32670	555.0	564.5	9.5	2.00	4.8	Aufbohren Zement	9 5/8" Verrohrung
7	10	6 1/4	Micon	SS BY-FD	60021	564.5	596.5	32.0	41.00	0.8	Kernen	KM 35 - 42
14	1	96 x 50	Micon	SS BY	61341	596.5	602.5	6.0	7.00	0.9	Kernen	KM 43 (96 mm)
15	1	6 1/4	IMBM	Synset	808204	596.5	602.5	6.0	6.25	1.0	Erweitern	
15	1	6 1/4	IMBM	Synset	808204	602.5	623.6	21.1	26.75	0.8	Kernen	KM 44 - 48
15	2	6 1/4	IMBM	Synset	808204	619.5	623.6	4.1	--	--	Roundtrip/Nachbohren	
14	2	96 x 50	Micon	SS BY	61341	623.6	629.8	6.2	8.00	0.8	Kernen	KM 49 - 50 (96 mm)
15	3	6 1/4	IMBM	Synset	808204	623.6	629.8	6.2	10.00	0.6	Erweitern	
15	3+	6 1/4	IMBM	Synset	808204	629.8	655.7	25.9	34.00	0.8	Kernen	KM 51 - 59
15	4	6 1/4	IMBM	Synset	808204	645.0	655.7	10.7	3.00	3.6	Nachbohren	
15	4+	6 1/4	IMBM	Synset	808204	655.7	752.0	96.3	150.25	0.6	Kernen	KM 60 - 79
15	5	6 1/4	IMBM	Synset	808204	638.0	665.1	27.1	8.50	3.2	Nachbohren	zw. Fangarbeiten
16	1	6 1/4	Varel	LH3G 1-3-1	140359	650.0	694.0	44.0	10.25	4.3	Nachbohren	zw. Fangarbeiten

**nggrd**

**TECHNISCHER BERICHT NTB 99-12**

Werkzeugeinsätze

Sondierbohrung Benken

DAT.: Dez. 2001

**BEILAGE 4**

## Werkzeugeinsätze Bohrung Benken



Werkzeug	Ein-satz	Durch-messer	Marke	Typ	Serien-nummer	Teufe		Leis-tung	Zeit	Fort-schritt	Vorgang	Bemerkungen
						Einbau	Ausbau					
Nr.		[Zoll/mm]				[m]	[m]	[m]	[h]	[m/h]		
16	1	6 1/4	Varel	LH3G 1-3-1	140359	679.0	694.0	15.0	3.50	4.3	Nachbohren	zw. Fangarbeiten
16	1	6 1/4	Varel	LH3G 1-3-1	140359	686.0	694.0	8.0	1.00	8.0	Nachbohren	zw. Fangarbeiten
16	1	6 1/4	Varel	LH3G 1-3-1	140359	689.5	694.0	4.5	2.00	2.3	Nachbohren	zw. Fangarbeiten
17	1	6 1/4	n.n.	SS 4-6 st/ct	n.n.	705.0	726.0	21.0	4.50	4.7	Nachbohren/Kernen	zw. Fangarbeiten
17	1	6 1/4	n.n.	SS 4-6 st/ct	n.n.	716.0	726.0	10.0	1.50	6.7	Nachbohren/Kernen	zw. Fangarbeiten
17	1	6 1/4	n.n.	SS 4-6 st/ct	n.n.	719.0	727.0	8.0	1.25	6.4	Nachbohren/Kernen	zw. Fangarbeiten
17	1	6 1/4	n.n.	SS 4-6 st/ct	n.n.	719.0	729.3	10.3	5.00	2.1	Nachbohren/Kernen	zw. Fangarbeiten
17	1	6 1/4	n.n.	SS 4-6 st/ct	n.n.	729.3	744.5	15.2	6.25	2.4	Nachbohren/Kernen	zw. Fangarbeiten
7	11	6 1/4	Micon	SS BY-FD	60021	745.0	752.0	7.0	1.50	4.7	Nachbohren	
7	11	6 1/4	Micon	SS BY-FD	60021	752.0	752.9	0.9	2.50	0.4	Kernen	KM 80
7	12	6 1/4	Micon	SS BY-FD	60021	752.0	752.9	0.9	0.50	1.8	Nachbohren/Kernen	
7	12	6 1/4	Micon	SS BY-FD	60021	752.9	787.6	34.7	54.00	0.6	Kernen	KM 81 - 92
18	1	6	n.n.	Zem.Krone	6"x124mm	563.1	787.6	224.5	--	--	Roundtrip	
19	1	6 1/4	IMBM	SS FD 10-12	810 0204	787.6	814.0	26.4	44.75	0.6	Kernen	KM 93 - 101
19	2	6 1/4	IMBM	SS FD 10-12	810 0204	0.0	814.0	814.0	--	--	Roundtrip	
19	3	6 1/4	IMBM	SS FD 10-12	810 0204	0.0	814.0	814.0	--	--	Roundtrip	
20	1	8 1/2	Huges	J33 5-3-7	3G644	564.5	748.6	184.1	60.25	3.1	Erweitern	
21	1	8 1/2	Varel	5-2-7	8939	748.6	814.0	65.4	43.50	1.5	Erweitern	
21	2	8 1/2	Varel	5-2-7	8939	0.0	814.0	814.0	--	--	Roundtrip	
22	1	6 1/4	Smith	F4 5-3-7	8997	793.0	810.0	17.0	4.00	4.3	Aufbohren Zement	7" Verrohrung
19	4	6 1/4	IMBM	SS FD 10-12	810 0204	810.0	877.2	67.2	82.25	0.8	Aufbohren Zement/Kernen	7" RS, KM 102 - 114
23	1	6 1/4	IMBM	SS FD	8082805	860.0	877.2	17.2	5.50	3.1	Nachbohren	
23	1+	6 1/4	IMBM	SS FD	8082805	877.2	879.9	2.7	3.75	0.7	Kernen	KM 115
23	2	6 1/4	IMBM	SS FD	8082805	879.9	923.9	44.0	72.25	0.6	Kernen	KM 116 - 123
23	3	6 1/4	IMBM	SS FD	8082805	923.9	937.6	13.7	20.75	0.7	Kernen	KM 124 - 128
23	4	6 1/4	IMBM	SS FD	8082805	0.0	937.6	937.6	--	--	Roundtrip	
23	5	6 1/4	IMBM	SS FD	8082805	923.8	937.6	13.8	1.75	7.9	Aufbohren Zement	Aufbohren Salzzem. #1
23	6	6 1/4	IMBM	SS FD	8082805	820.0	914.9	94.9	18.00	5.3	Aufbohren Zement/Kernen	Aufbohren Salzzem. #2
23	6+	6 1/4	IMBM	SS FD	8082805	914.9	917.0	2.1	1.00	2.1	Aufbohren Zement/Kernen	Aufbohren Salzzem. #2
23	6+	6 1/4	IMBM	SS FD	8082805	917.0	919.0	2.0	0.25	8.0	Aufbohren Zement/Kernen	Aufbohren Salzzem. #2
23	6+	6 1/4	IMBM	SS FD	8082805	919.0	926.6	7.6	5.75	1.3	Aufbohren Zement/Kernen	
23	6+	6 1/4	IMBM	SS FD	8082805	926.6	937.6	11.0	10.00	1.1	Kernen	Spülungsaustausch - SW
23	6+	6 1/4	IMBM	SS FD	8082805	937.6	938.8	1.2	3.00	0.4	Kernen	KM 129 - 130
23	7	6 1/4	IMBM	SS FD	8082805	938.8	995.4	56.6	89.00	0.6	Kernen	KM 131 -142
23	8	6 1/4	IMBM	SS FD	8082805	995.4	999.6	4.2	11.75	0.4	Kernen	KM 143 - 145
24	1	6 1/4	n.n.	IMP KD100	47 062	999.6	1000.1	0.5	3.00	0.2	Kernen	KM 146 - 147
25	1	6 1/4	IMBM	IMP V-Typ	41 0130	1000.1	1003.6	3.5	4.75	0.7	Kernen	KM 148
26	1	6 1/4	Cordiam	SS	960113	1003.6	1007.0	3.4	4.75	0.7	Kernen	KM 149 -150
27	1	156x118	n.n.	Stiftkrone	n.n.	738.4	916.0	177.6	21.50	8.3	Nachbohren	Überbohren Zem.Strang

NTB 99-12

BEILAGE 4

SEITE 2

Rohrliste 13 3/8" Verrohrung					Bohrung Benken			
OKT	Rohr Nr.	Länge [m]	Einbauteufe		Vermerk	Materialgüte	Nenngewicht [lbs/ft]	Gewindeart *
			von [m]	bis [m]				
	12	8.37	-0.40	7.97		K-55	54.5	BTC
	11	8.37	7.97	16.34		K-55	54.5	BTC
	HST	10	16.34	24.72		K-55	54.5	BTC
		9	24.72	33.08		K-55	54.5	BTC
	30.0 m	8	33.08	41.45		K-55	54.5	BTC
		7	41.45	49.82	verschw.	K-55	54.5	BTC
		6	49.82	58.19	verschw.	K-55	54.5	BTC
		5	58.19	66.58	verschw.	K-55	54.5	BTC
		4	66.58	74.95	verschw.	K-55	54.5	BTC
	13 3/8"	3	74.95	83.32	verschw.	K-55	54.5	BTC
	( )	2	83.32	91.69	verschw., Centr.	K-55	54.5	BTC
	92.5 m	1	0.81	91.69	RS, verschw.	K-55	54.5	BTC

RS      Rohrschuh, Typ Step-in  
 verschw.      verschweisst  
 Centr.      Centralizer (Basket)  
 \*      Verschraubung nach BTC Marke  
 HST      Hilfsstandrohr

**GEOWELL**

<b>nagra</b>	<b>TECHNISCHER BERICHT NTB 99-12</b>
Rohrliste 13 <sup>3/8</sup> " Verrohrung	
Sondierbohrung Benken	DAT.: Dez. 2001 <b>BEILAGE 5</b>

Rohrliste 9 5/8" Verrohrung						Bohrung Benken			
OKT	Rohr Nr.	Länge [m]	Einbauteufe von [m]	Einbauteufe bis [m]	Vermerk	Materialgüte	Nenngewicht [lbs/ft]	Gewindeart *	
	76	7.53	-4.01	3.52		K-55	40	BTC	
	75	7.39	3.52	10.91		K-55	40	BTC	
	HST 74	8.39	10.91	19.30		K-55	40	BTC	
	73	8.36	19.30	27.66		K-55	40	BTC	
	30.0 m 72	7.59	27.66	35.25		K-55	40	BTC	
	71	8.11	35.25	43.36		K-55	40	BTC	
	70	7.43	43.36	50.79		K-55	40	BTC	
	69	7.58	50.79	58.37		K-55	40	BTC	
	68	7.42	58.37	65.79		K-55	40	BTC	
	67	7.40	65.79	73.19		K-55	40	BTC	
	13 3/8" 66	7.39	73.19	80.58		K-55	40	BTC	
	65	7.96	80.58	88.54		K-55	40	BTC	
	92.5 m 64	8.40	88.54	96.94	Centr.	K-55	40	BTC	
	63	8.02	96.94	104.96		K-55	40	BTC	
	62	7.69	104.96	112.65		K-55	40	BTC	
	61	7.48	112.65	120.13		K-55	40	BTC	
	60	8.02	120.13	128.15		K-55	40	BTC	
	59	7.44	128.15	135.59		K-55	40	BTC	
	58	7.39	135.59	142.98		K-55	40	BTC	
	57	7.40	142.98	150.38	Centr.	K-55	40	BTC	
	56	7.84	150.38	158.22		K-55	40	BTC	
	55	7.40	158.22	165.62		K-55	40	BTC	
	54	8.30	165.62	173.92	Centr.	K-55	40	BTC	
	53	7.50	173.92	181.42		K-55	40	BTC	
	52	7.48	181.42	188.90		K-55	40	BTC	
	51	7.49	188.90	196.39	Centr.	K-55	40	BTC	
	50	7.76	196.39	204.15		K-55	40	BTC	
	49	7.49	204.15	211.64		K-55	40	BTC	
	48	7.37	211.64	219.01	Centr.	K-55	40	BTC	
	47	7.54	219.01	226.55		K-55	40	BTC	
	46	7.78	226.55	234.33		K-55	40	BTC	
	45	7.79	234.33	242.12	Centr.	K-55	40	BTC	
	44	8.31	242.12	250.43		K-55	40	BTC	
	43	7.45	250.43	257.88		K-55	40	BTC	
	42	7.59	257.88	265.47	Centr.	K-55	40	BTC	
	41	7.40	265.47	272.87		K-55	40	BTC	
	40	8.20	272.87	281.07		K-55	40	BTC	
	39	7.68	281.07	288.75	Centr.	K-55	40	BTC	
	38	8.23	288.75	296.98		K-55	40	BTC	
	37	8.22	296.98	305.20		K-55	40	BTC	
	36	7.84	305.20	313.04	Centr.	K-55	40	BTC	
	35	8.32	313.04	321.36		K-55	40	BTC	
	34	7.36	321.36	328.72		K-55	40	BTC	
	33	7.93	328.72	336.65		K-55	40	BTC	
	32	7.40	336.65	344.05	Centr.	K-55	40	BTC	
	31	8.06	344.05	352.11		K-55	40	BTC	
	30	7.16	352.11	359.27		K-55	40	BTC	
	29	7.24	359.27	366.51	Centr.	K-55	40	BTC	
	28	7.00	366.51	373.51		K-55	40	BTC	
	27	7.41	373.51	380.92		K-55	40	BTC	

HST Hilfsstandrohr

Centr. Centralizer (Basket)

\* Verschraubung nach BTC Marke

<b>nagra</b>		<b>TECHNISCHER BERICHT NTB 99-12</b>	
Rohrliste 9 <sup>5/8</sup> " Verrohrung			
Sondierbohrung Benken		DAT.: Dez. 2001	<b>BEILAGE 6</b>

## Rohrliste 9 5/8" Verrohrung

## Bohrung Benken

	Rohr Nr.	Länge [m]	Einbauteufe von [m]	Einbauteufe bis [m]	Vermerk	Materialgüte	Nenngewicht [lbs/ft]	Gewindeart *	
( )	26	7.35	380.92	388.27	Centr.	K-55	40	BTC	
( )	25	7.17	388.27	395.44		K-55	40	BTC	
( )	24	7.91	395.44	403.35		K-55	40	BTC	
( )	23	7.15	403.35	410.50		K-55	40	BTC	
( )	22	6.97	410.50	417.47	Centr.	K-55	40	BTC	
( )	21	7.30	417.47	424.77		K-55	40	BTC	
( )	20	7.43	424.77	432.20		K-55	40	BTC	
( )	19	7.82	432.20	440.02	Centr.	K-55	40	BTC	
( )	18	7.39	440.02	447.41		K-55	40	BTC	
( )	17	7.84	447.41	455.25		K-55	40	BTC	
( )	16	7.63	455.25	462.88	Centr.	K-55	40	BTC	
( )	15	8.13	462.88	471.01		K-55	40	BTC	
( )	14	7.48	471.01	478.49		K-55	40	BTC	
( )	13	7.64	478.49	486.13		K-55	40	BTC	
( )	12	7.34	486.13	493.47	Centr.	K-55	40	BTC	
( )	11	8.01	493.47	501.48		K-55	40	BTC	
( )	10	7.86	501.48	509.34		K-55	40	BTC	
( )	9	7.42	509.34	516.76	Centr.	K-55	40	BTC	
( )	8	7.69	516.76	524.45		K-55	40	BTC	
( )	7	7.70	524.45	532.15	verschw.	K-55	40	BTC	
( )	6	7.74	532.15	539.89	verschw., Centr.	K-55	40	BTC	
( )	5	7.50	539.89	547.39	verschw.	K-55	40	BTC	
x	4	7.50	547.39	554.89	verschw., SCR	K-55	40	BTC	x
( )	3	0.78	554.89	555.67	CO, verschw.	K-55	40	BTC	
( )	2	7.94	555.67	563.61	verschw., Centr.	K-55	40	BTC	
( )	1	0.49	563.61	564.10	RS, verschw.	K-55	40	BTC	

RS      Rohrschuh, Typ 226  
 verschw. verschweisst  
 CO      Rohrcollar, Typ Step-in  
 Centr.    Centralizer (Basket)  
 SCR      Scratcher  
 \*        Verschraubung nach BTC Marke



Rohrliste 7" Verrohrung					Bohrung Benken			
OKT	Rohr Nr.	Länge [m]	Einbauteufe von [m]	Einbauteufe bis [m]	Vermerk	Materialgüte	Nenngewicht [lbs/ft]	Gewindeart *
	107	3.20	-0.15	3.05		K-55	23	BTC
	106	8.19	3.05	11.24		K-55	23	BTC
	HST 105	8.21	11.24	19.45		K-55	23	BTC
	104	7.31	19.45	26.76		K-55	23	BTC
	30.0 m 103	7.51	26.76	34.27	PO-C	K-55	23	BTC
	102	7.88	34.27	42.15		K-55	23	BTC
	101	7.47	42.15	49.62		K-55	23	BTC
	100	7.69	49.62	57.31		K-55	23	BTC
	99	7.76	57.31	65.07		K-55	23	BTC
	98	7.54	65.07	72.61	PO-C	K-55	23	BTC
	13 3/8" 97	7.09	72.61	79.70		K-55	23	BTC
	96	8.22	79.70	87.92		K-55	23	BTC
	92.5 m 95	7.09	87.92	95.01		K-55	23	BTC
	94	7.33	95.01	102.34		K-55	23	BTC
	93	7.20	102.34	109.54	PO-C	K-55	23	BTC
	92	7.31	109.54	116.85		K-55	23	BTC
	91	7.14	116.85	123.99		K-55	23	BTC
	90	7.89	123.99	131.88		K-55	23	BTC
	89	7.97	131.88	139.85		K-55	23	BTC
	88	7.92	139.85	147.77	PO-C	K-55	23	BTC
	87	7.28	147.77	155.05		K-55	23	BTC
	86	7.26	155.05	162.31		K-55	23	BTC
	85	8.17	162.31	170.48		K-55	23	BTC
	84	7.77	170.48	178.25		K-55	23	BTC
	83	7.89	178.25	186.14	PO-C	K-55	23	BTC
	82	7.17	186.14	193.31		K-55	23	BTC
	81	7.75	193.31	201.06		K-55	23	BTC
	80	7.29	201.06	208.35		K-55	23	BTC
	79	7.93	208.35	216.28		K-55	23	BTC
	78	8.30	216.28	224.58	PO-C	K-55	23	BTC
	77	7.41	224.58	231.99		K-55	23	BTC
	76	7.29	231.99	239.28		K-55	23	BTC
	75	7.71	239.28	246.99		K-55	23	BTC
	74	7.35	246.99	254.34		K-55	23	BTC
	73	8.07	254.34	262.41	PO-C	K-55	23	BTC
	72	7.86	262.41	270.27		K-55	23	BTC
	71	7.27	270.27	277.54		K-55	23	BTC
	70	7.02	277.54	284.56		K-55	23	BTC
	69	8.12	284.56	292.68		K-55	23	BTC
	68	7.76	292.68	300.44	PO-C	K-55	23	BTC
	67	7.43	300.44	307.87		K-55	23	BTC
	66	7.47	307.87	315.34		K-55	23	BTC
	65	8.02	315.34	323.36		K-55	23	BTC
	64	7.78	323.36	331.14		K-55	23	BTC
	63	8.06	331.14	339.20	PO-C	K-55	23	BTC
	62	7.21	339.20	346.41		K-55	23	BTC
	61	7.22	346.41	353.63		K-55	23	BTC
	60	8.42	353.63	362.05		K-55	23	BTC
	59	7.23	362.05	369.28		K-55	23	BTC
	58	6.95	369.28	376.23	PO-C	K-55	23	BTC
	57	7.30	376.23	383.53		K-55	23	BTC

HST Hilfsstandrohr

PO-C Centralizer (Positive)

\* Verschraubung nach BTC Marke

<b>nagra</b>	<b>TECHNISCHER BERICHT NTB 99-12</b>
Rohrliste 7" Verrohrung	
Sondierbohrung Benken	DAT.: Dez. 2001 <b>BEILAGE 7</b>



**Zementationsrapport****Bohrung Benken****Zementationsart:****13 3/8" Rohrzementation****Datum:****07.09.1998****Bohrlochsituation**

Teufe:	94.0	m	einzubauende Rohre:	13 3/8 "	---	"	
OH-Durchmesser:	17 1/2	"	einzubauende Rohre:	54.5	lbs/ft	---	lbs/ft
letzte Rohrtour:	508x8	mm	Gewinde:	BTC	---		
Rohrschuh bei Teufe:	30.0	m	Qualität:	K-55	---		
Spülungstyp:	TW		Rohrschuh:	Typ Step-In			
spez. Gewicht:	1.07	kg/l	Collar:	----			
Temperatur:	17	°C	Bemerkung:	Step-In Zementierstrang 5 1/2" WL DP			
BH-Temperatur ca.:	22	°C					

**Volumenberechnung**

Rohrschuh-teufe:	92.5	m	Zementkopf soll stehen bei:	zutage	m
Collar-Teufe:	---	m	Zementstreckenlänge:	92.5	m

	Zement- höhe [m]		RR-Inhalt [l/m]	Zementier- Vol. [l]
im offenen Loch:	62.5	x	64.40	4'025
zwischen den Rohren:	30.0	x	105.50	3'165
in den Rohren:	---	x	---	---
			theor. Zem.Volumen:	7'190
OH-Zuschlag:			20%	810
			erforderl. Zem.Volumen:	8'000

Bem.:

**Zementberechnung**

Zementtyp:	Protego 4HS / HCB		Zusätze:	keine	
Art des Ansetzwassers:	Frischwasser	S.G.=1.0	Zusätze:		
spez. Gewicht Brühe:	1.85	kg/l	Ergiebigkeit Zem.:	80.4	l/100 kg
Zementbrühe:	10.2	m <sup>3</sup>	Zementmenge:	12.7	to
Nachpumpmenge:	1	m <sup>3</sup>	Wassermenge:	6.2	m <sup>3</sup>

**Zementationsverlauf**

Zementations-EQ:	Foralith/Anlagenpumpe					
Zementation ab:	Silofahrzeug/Mischzement HEVA					
Vorstopfen/Nachstopfen:	keine					
Rohrtour fertig eingebaut:	14:00	Uhr				
gespült von:	16:00	bis	16:30	Uhr	mit:	700 l/min 8 bar
Spacer gepumpt:	3.0	m <sup>3</sup>	Art:	Frischwasser		
Beginn Zem. Ansatz:	16:00	Uhr				
Zem. Verpumpen:	10.2	m <sup>3</sup>	von:	16:45	bis:	17:25 300 l/min
nachgepumpt:	1	m <sup>3</sup>	von:	17:25	bis:	17:30 200 l/min
Enddruck:	10	bar	Druckkontrolle / Rückschlag:	---	bar	i.O.

**Zementkopf**

gemessen/festgestellt bei: zutage m durch: Überschusszement

**Bemerkungen:**

Step-In-Gestängezementation.  
Keine Zementationsverluste, normaler Druckverlauf, ca. 0.5 m<sup>3</sup> Überschusszement zutage.

Planung, Leitung &amp; Kontrolle der Arbeiten:

A. Macek, GeoWell GmbH

**nagra****TECHNISCHER BERICHT NTB 99-12**Zementationsrapport 13<sup>3/8</sup>" Verrohrung**Sondierbohrung Benken**

DAT.: Dez. 2001

**BEILAGE 8**

Zementationsrapport		Bohrung Benken	
Zementationsart:	9 5/8" Rohrzementation	Datum:	01.12.1998
<b>Bohrlochsituation</b>			
Teufe:	564.5 m	einzubauende Rohre:	9 5/8 " --- "
OH-Durchmesser:	12 1/4 "	einzubauende Rohre:	40 lbs/ft --- lbs/ft
letzte Rohrtour:	13 3/8 "	Gewinde:	BTC ---
Rohrschuh bei Teufe:	92.5 m	Qualität:	K-55 ---
Spülungstyp:	TW	Rohrschuh:	Typ 226
spez. Gewicht:	1.21 kg/l	Collar:	Typ Step-In
Temperatur:	20 °C	Bemerkung:	Kombinierter Step-In Zementierstrang
BH-Temperatur ca.:	32 °C		137 m 5 1/2" + 420.16 m 3 1/2" WL DP
<b>Volumenberechnung</b>			
Rohrschuhteufe:	564.1 m	Zementkopf soll stehen bei:	zutage m
Collar-Teufe:	555.7 m	Zementstreckenlänge:	564.1 m
	Zement- höhe [m]	RR-Inhalt [l/m]	Zementier- Vol. [l]
im offenen Loch:	471.6 x	28.94	13'650
zwischen den Rohren:	92.5 x	33.53	3'100
in den Rohren:	8.4 x	39.55	330
		theor. Zem.Volumen:	17'080
OH-Zuschlag:		20%	2'730
		erforderl. Zem.Volumen:	19'810
		Bem.:	nach Kaliberlog
<b>Zementberechnung</b>			
Zementtyp:	Protego 4HS / HCB	Zusätze:	keine
Art des Ansetzwassers:	Frischwasser S.G.=1.0	Zusätze:	
spez. Gewicht Brühe:	1.80 kg/l	Ergiebigkeit Zem.:	85.6 l/100 kg
Zementbrühe:	30.6 m3	Zementmenge:	35.8 to
Nachpumpmenge:	2.5 m3	Wassermenge:	19.2 m3
<b>Zementationsverlauf</b>			
Zementations-EQ:	Foralith/Anlagenpumpe		
Zementation ab:	Silofahrzeug/Mischzement HEVA		
Vorstopfen/Nachstopfen:	keine		
Rohrtour fertig eingebaut:	17:00 Uhr		
gespült von:	17:00/20:00 bis	17:30/20:30 Uhr	mit: 600 l/min 5 bar
Spacer gepumpt:	2.5 m3	Art:	Frischwasser
Beginn Zem. Ansatz:	20:00 Uhr		
Zem. Verpumpen:	30.6 m3	von:	20:30 bis: 22:30 300 l/min
nachgepumpt:	2.5 m3	von:	22:35 bis: 22:45 250 l/min
Enddruck:	18 bar	Druckkontrolle / Rückschlag:	--- bar i.O.
<b>Zementkopf</b>			
gemessen/festgestellt bei:	ca. 115 m	durch:	CET-Log
<b>Bemerkungen:</b>			
Schwierige Bohrlochsituation durch drucklabile Formationszonen u. OH-Auskesselungen. Step-In-Gestängezementation. Einsetzen von Zem.Verlusten nach ca. 22.5 m3, Rücklauf bis auf 0 beim Nachpumpen abnehmend bei gleichzeitigem Druckaufbau. Kein Zement zutage.			
Planung, Leitung & Kontrolle der Arbeiten:			A. Macek, GeoWell GmbH

<b>nagra</b>	<b>TECHNISCHER BERICHT NTB 99-12</b>
Zementationsrapport 9 <sup>5/8</sup> " Verrohrung	
Sondierbohrung Benken	DAT.: Dez. 2001 <b>BEILAGE 9</b>

**Zementationsrapport****Bohrung Benken****Zementationsart:****7" Rohrzementation****Datum:****22.03.1999****Bohrlochsituation**

Teufe:	814.0	m	einzubauende Rohre:	7	"	---	"
OH-Durchmesser:	8 1/2	"	einzubauende Rohre:	23	lbs/ft	---	lbs/ft
letzte Rohrtour:	9 5/8	"	Gewinde:	BTC		---	
Rohrschuh bei Teufe:	564.1	m	Qualität:	K-55		---	
Spülungstyp:	Na-Silikat		Rohrschuh:			Typ 226	
spez. Gewicht:	1.25	kg/l	Collar:			Reg. Typ 225	
Temperatur:	24	°C	<b>Bemerkung:</b> Collar direkt über RS gesetzt				
BH-Temperatur ca.:	45	°C					

**Volumenberechnung**

Rohrschuhteufe:	814.0	m	Zementkopf soll stehen bei:	zutage	m
Collar-Teufe:	813.5	m	Zementstreckenlänge:	814.0	m

	Zement- höhe [m]	x	RR-Inhalt [l/m]	Zementier- Vol. [l]	
im offenen Loch:	249.0	x	11.73	2'920	
zwischen den Rohren:	564.1	x	14.70	8'290	
in den Rohren:	---	x	---	---	
	theor. Zem.Volumen:			11'210	
OH-Zuschlag:	246%			7'190	Bem.: nach Kaliber- u.
	erforderl. Zem.Volumen:			18'400	Verlustabschätzung

**Zementberechnung**

Zementtyp:	Protego 4HS / HCB		Zusätze:	20 ltr. NF-1,
Art des Ansetzwassers:	Frischwasser	S.G.=1.0	Zusätze:	26 kg HR4, 77 kg CFR-3
spez. Gewicht Brühe:	1.80	kg/l	Ergiebigkeit Zem.:	85.6 l/100 kg
Zementbrühe:	18.4	m <sup>3</sup>	Zementmenge:	21.5 to
Nachpumpmenge:	16.4	m <sup>3</sup>	Wassermenge:	11.5 m <sup>3</sup>

**Zementationsverlauf**

Zementations-EQ:	Halliburton / 7m <sup>3</sup> Premix				
Zementation ab:	Silofahrzeug				
Vorstopfen/Nachstopfen:	Halco / Halco				
Rohrtour fertig eingebaut:	07:00	Uhr			
gespült von:	07:00	bis	14:00	Uhr	mit: 400 l/min 5 bar
Spacer gepumpt:	3.0	m <sup>3</sup>	Art:	Frischwasser	
Beginn Zem. Ansatz:	14:00	Uhr			
Zem. Verpumpen:	18.4	m <sup>3</sup>	von:	14:15	bis: 14:45 600 l/min
nachgepumpt:	16.4	m <sup>3</sup>	von:	14:50	bis: 15:20 550 l/min
Enddruck:	70	bar	Druckkontrolle / Rückschlag:	100 bar	i.O.

**Zementkopf**

gemessen/festgestellt bei: zutage m durch: Überschusszement

**Bemerkungen:**

Schwierige Bohrlochsituation durch massive OH-Auskesselungen.  
Keine Zementationsverluste, normaler Druckverlauf, ca. 3 m<sup>3</sup> Überschusszement zutage.

Planung, Leitung &amp; Kontrolle der Arbeiten:

A. Macek, GeoWell GmbH

**nagra****TECHNISCHER BERICHT NTB 99-12**

Zementationsrapport 7" Verrohrung

**Sondierbohrung Benken**

DAT.: Dez. 2001

**BEILAGE 10**

Sondierbohrung Benken					Spülmessungen Ton-Süßwasser (30 - 565 m)										Spülmittelverbrauch					
Datum	Zeit	Teufe	Bit-Size	Kommentar	spez. Gew.	Vunnel-Visc.	API-Filtrat	API-Cake	plast. Visc.	Fließgrenze	Gelstärken 10sec	Gelstärken 10min	Sandgehalt	pH	MBT	Ben-tonit	CMC	Soda	PAC R	PAC L
		[m]	[Zoll]		[kg/l]	[sec]	[ml/30']	[mm]	[cP]	[lbs/100sqft]			[Vol%]		[kg/m³]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]
03.09.98	14:00	30.5	17 1/2	Zement aufbohren	1.06	49	10.8	1	9	6			0.75	12.4		500	100			
04.09.98	21:00	45.0	17 1/2	Meisseln	1.06	50	8.4	1	14	13	8	20	0.50	12.6		75	100			
05.09.98	15:00	87.6	17 1/2		1.07	52	8.5	1	14	12	7	21	0.50	12.6		350	25			
06.09.98	13:00	90.0	17 1/2		1.07	50	8.6	1	14	13	8	10	0.25	12.6		100	25			
07.09.98	14:00	94.0	17 1/2	13 3/8" Rohreinbau	1.07	49	8.8	1	11	14	9	15	0.25	12.6						
08.09.98	12:00	94.0	17 1/2		1.07	49	8.8	1	11	14	9	15	0.25	12.6						
09.09.98	14:00	94.0	12 1/4	Zement aufbohren	1.07	49	8.8	1	11	14	9	15	0.25	12.6						
10.09.98	18:00	137.6	6 1/4	Meisseln	1.10	49	8.4	1	14	13	8	20	0.25	12.6		100	25	100		
11.09.98	06:30	178.6	6 1/4		1.11	46	9.8	1	11	14	9	16	0.50	12.7		500	175	100		
12.09.98	06:00	203.5	6 1/4		1.14	47	8.9	1	13	8	2	6	0.25	11.4		150	275			
13.09.98	06:00	205.7	6 1/4		1.12	51	9.2	1	13	15	6	15	0.25	11.2		200	150			
14.09.98	06:30	207.3	6 1/4	Test/Meisseln	1.08	49	8.6	1	12	14	6	16	0.25	11.2		500	50			
15.09.98	06:30	250.1	6 1/4	Meisseln	1.08	46	8.8	1	13	15	4	12	0.25	11.1		500	50			
17.09.98	06:00	284.6	6 1/4		1.05	44	9.2	1	13	13	4	12	0.25	11.2		100	25			
18.09.98	06:30	328.0	6 1/4		1.07	50	8.4	1	14	16	5	12	0.25	11.2						
19.09.98	06:30	371.0	6 1/4		1.09	49	9.4	1	15	14	6	14	0.25	11.1		100	50			
20.09.98	06:00	394.8	6 1/4	Test	1.05	51	8.2	1	12	15	7	16	0.25	11.0		1000	200			
21.09.98	06:00	394.8	6 1/4		1.05	53	8.3	1	12	15	7	16	0.00	11.0						
22.09.98	06:00	394.8	6 1/4		1.05	53	8.3	1	12	15	7	6	0.00	11.0						
23.09.98	06:00	394.8	6 1/4		1.05	51	8.2	1	12	15	7	16	0.00	11.0						
24.09.98	06:00	394.8	6 1/4		1.05	51	8.2	1	12	15	7	16	0.00	11.0						
25.09.98	06:00	394.8	6 1/4		1.05	51	8.2	1	12	15	7	16	0.00	11.0						
26.09.98	06:30	394.8	6 1/4		1.05	51	8.2	1	12	15	7	16	0.00	10.9						
27.09.98	06:30	394.8	6 1/4		1.05	51	8.3	1	13	14	6	16	0.00	10.9						
28.09.98	06:00	397.8	6 1/4	Kernen	1.06	46	8.9	1	13	13	5	13	0.00	10.9		200			25	
29.09.98	06:30	416.0	6 1/4		1.07	47	8.9	1	12	14	4	10	0.25	11.4		400				50
30.09.98	06:30	430.0	6 1/4	Sp.austausch:Silikat	1.08	45	9.2	1	12	11	3	8	0.25	10.8						
03.11.98	22:30	564.0	6 1/4	Spülmittel-austausch	1.03	41	12.1	1	7	5	3	5	0.00	12.6	3					
04.11.98	06:15	564.0	6 1/4	Messungen	1.03	38	9.8	1	9	4	3	5	0.00	12.4	5	350			100	
05.11.98	06:30	564.0	6 1/4	Messungen	1.03	39	9.8	1	7	6	2	8	0.00	12.3	5					
06.11.98	06:30	564.0	6 1/4	Ausb. 7" temp.Csg.	1.06	82	10.0	1	24	15	5	7	0.00	11.6	20	800				
07.11.98	16:30	564.0	6 1/4	Fangarbeit	1.04	44	10.5	1	10	6	2	3	0.00	12.1	10					
08.11.98	07:30	123.8	8 1/2	Erw. 8 1/2"	1.04	63	9.2	1	18	12	2	4	0.50	11.8	12.5				25	
08.11.98	11:00		8 1/2		1.05	54	9.2	1	16	11	2	3	0.50	12.0	12.5					
08.11.98	16:00		8 1/2		1.05	62	7.8	1	20	14	2	4	1.00	11.9	12.5					
09.11.98	05:30	225.0	8 1/2		1.06	58	7.3	1	19	13	2	3	1.30	12.0	15	100			25	
09.11.98	11:30		8 1/2		1.07	71	7.0	1	23	20	2	5	1.30	11.8	15					
09.11.98	17:00		8 1/2		1.07	75	7.0	1	24	21	3	5	1.00	11.8	16					
10.11.98	05:40	297.6	8 1/2		1.08	84	6.8	1	28	27	3	6	1.60	11.7	16				25	
10.11.98	12:30		8 1/2		1.08	68	7.0	1	24	19	2	4	1.60	11.7	15					
10.11.98	16:00		8 1/2		1.09	83	6.8	1	27	26	4	6	1.60	11.7	15					
11.11.98	05:30	335.5	8 1/2		1.09	75	6.6	1	26	21	3	5	1.30	11.7	15	100				

**naqpra**

**TECHNISCHER BERICHT NTB 99-12**

Spülmessungen und -materialverbrauch,  
Ton-Süßwasserspülung

Sondierbohrung Benken

DAT.: Dez. 2001

**BEILAGE 11**

Sondierbohrung Benken				Spülmungsanalysen Ton-Süsswasser (30 - 565 m)											Spülmungsmaterialverbrauch					
Datum	Zeit	Teufe	Bit-Size	Kommentar	spez. Gew.	Vunnel-Visc.	API-Filtrat	API-Cake	plast. Visc.	FlieSSgrenze	Gelstärken 10sec	Gelstärken 10min	Sand-gehalt	pH	MBT	Ben-tonit	CMC	Soda	PAC R	PAC L
		[m]	[Zoll]		[kg/l]	[sec]	[ml/30']	[mm]	[cP]	[lbs/100sqft]			[Vol%]		[kg/m³]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]
11.11.98	13:00		8 1/2		1.10	75	6.6	1	25	23	3	5	1.40	11.7	17					
11.11.98	17:00		8 1/2		1.09	70	6.6	1	24	21	3	5	1.20	11.6	17					
12.11.98	05:45	381.9	8 1/2		1.10	67	6.8	1	25	20	3	5	0.75	11.6	17					
12.11.98	11:00		8 1/2		1.10	67	6.8	1	24	20	3	5	0.60	11.7	17					
12.11.98	16:00		8 1/2		1.10	65	7.0	1	24	20	3	5	0.50	11.7	17					
13.11.98	05:45	425.8	8 1/2		1.10	74	6.8	1	28	25	3	5	0.50	11.6	17					
13.11.98	11:30		8 1/2		1.11	73	6.8	1	27	24	3	5	0.70	11.6	17					
13.11.98	16:30		8 1/2		1.12	69	6.8	1	27	19	3	5	1.00	11.6	17					
14.11.98	05:30	505.0	8 1/2		1.14	65	6.6	1	26	18	3	5	0.90	11.6	18		25			
14.11.98	12:00		8 1/2		1.14	64	6.8	1	26	16	3	4	0.60	11.6	16					
14.11.98	17:00		8 1/2		1.15	88	6.6	1	30	23	3	5	0.80	11.6	16					
15.11.98	05:45	564.2	8 1/2		1.15	60	6.8	1	23	12	2	4	1.00	11.4	18		50		25	
15.11.98	16:30	96.0	12 1/4	Erw. 12 1/4"	1.14	83	6.3	1	29	22	3	7	1.80	11.4	12					
16.11.98	06:15	159.0	12 1/4		1.16	67	6.3	1	29	17	3	5	1.30	11.4	15	50			75	
16.11.98	12:00		12 1/4		1.18	76	6.2	1	31	21	3	5	1.80	11.4	15					
16.11.98	16:00		12 1/4		1.17	73	6.3	1	29	19	3	5	1.60	11.3	15					
17.11.98	05:30	242.0	12 1/4		1.19	72	6.2	1	30	20	3	5	1.00	11.3	17	100			25	
17.11.98	12:15		12 1/4		1.20	68	6.3	1	31	18	3	5	1.00	11.3	17					
17.11.98	17:00		12 1/4		1.19	78	6.2	1	36	21	4	6	0.90	11.3	17					
18.11.98	06:00	287.9	12 1/4		1.19	80	6.3	1	33	22	4	6	0.60	11.2	18	100			25	
18.11.98	13:00		12 1/4		1.20	76	5.6	1	34	22	4	6	0.70	11.2	18					
18.11.98	18:30		12 1/4		1.21	75	5.5	1	35	21	4	6	0.60	11.2	18					
19.11.98	05:45	318.9	12 1/4		1.21	64	6.2	1	32	20	3	5	0.50	11.1	20	100			25	
19.11.98	21:15		12 1/4		1.21	77	6.2	1	35	21	5	7	0.60	11.1	20					
20.11.98	06:15	332.6	12 1/4		1.21	68	6.4	1	32	21	4	5	0.70	11.1	22					
20.11.98	13:00		12 1/4		1.20	74	6.4	1	33	19	3	5	0.50	11.1	22					
20.11.98	19:30		12 1/4		1.20	67	6.5	1	31	18	3	5	0.40	11.1	22					
21.11.98	05:30	359.9	12 1/4		1.20	76	6.2	1	32	21	3	5	0.50	11.0	18	250			25	
21.11.98	14:00		12 1/4		1.21	75	6.2	1	33	20	3	5	0.40	10.9	18					
21.11.98	19:35		12 1/4		1.21	72	6.4	1	33	18	3	5	0.50	10.9	18					
23.11.98	06:30	395.0	12 1/4		1.21	90	5.4	1	36	16	3	6	0.50	10.9	18					
23.11.98	17:00	407.0	12 1/4		1.21	75	6.1	1	27	24	3	5	0.50	10.9	18					
24.11.98	06:30	418.0	12 1/4		1.22	74	6.0	1	28	22	3	6	0.50	11.0	18					
24.11.98	17:00	419.0	12 1/4		1.22	74	6.1	1	29	19	6	8	0.50	10.9	18					
25.11.98	06:30	425.0	12 1/4		1.21	70	5.9	1	29	17	7	9	0.50	10.9	20					
25.11.98	12:00	429.0	12 1/4		1.21	70	5.9	1	29	17	6	8	0.50	10.9	20					
25.11.98	23:45	449.0	12 1/4		1.21	69	6.0	1	24	24	4	6	0.50	10.9	20					
26.11.98	06:30	465.0	12 1/4		1.22	68	6.2	1	22	26	4	6	0.50	10.9	18					
26.11.98	11:00		12 1/4		1.22	70	6.1	1	22	26	4	6	0.50	10.9	18					
26.11.98	18:00		12 1/4		1.22	69	5.9	1	23	25	4	6	0.50	10.9	17					
27.11.98	08:30	520.0	12 1/4		1.22	68	5.8	1	23	23	3	6	0.50	10.9	17				25	

Sondierbohrung Benken					Spülingsanalysen Natrium-Silikat (435 - 814 m)													Materialverbrauch			
Datum	Zeit	Teufe	Bit- Size	Kommentar	spez. Gew.	Vunnel- Visc.	API- Filtrat	API- Cake	plast. Visc.	Fließ- grenze	Gelstärken 10sec	10min	Sand- gehalt	pH	SiO <sub>2</sub> [%]	Na <sub>2</sub> O [%]	Ratio	Total	PAC R	PAC L	Silikat
		[m]	[Zoll]		[kg/l]	[sec]	[ml/30']	[mm]	[cP]	[lbs/100sqft]			[Vol%]					[%]	[kg]	[kg]	[m <sup>3</sup> ]
01.10.98	06:30	435.0	6 1/4	Kernen	1.17	43	4.4	1	13	4	1	2	0.0	12.6	10.95	5.27	2.07	30.0			
01.10.98	10:00	435.0	6 1/4		1.17	43	8.0	1	13	4	1	2	0.0		17.61	8.94	1.97				
01.10.98	21:00	435.0	6 1/4		1.12	39	4.4	1	11	4	1	2	0.0		1.41	6.12	0.23		75	100	11.3
02.10.98	04:00	440.0	6 1/4		1.14	38	2.4	1	7	7	1	2	0.0	12.6	8.20	3.65	2.24	27.0			
02.10.98	12:30	444.0	6 1/4	Sp.Neuansatz	1.18	39	2.5	1	8	5	1	2	0.1								
02.10.98	17:00	447.0	6 1/4	Kernen	1.18	38	2.4	1	8	6	1	2	0.1								
03.10.98	06:00	456.0	6 1/4		1.15	36	4.0	1	6	4	1	2	0.1								14
03.10.98	17:00	463.0	6 1/4		1.19	39	2.3	1	9	3	1	2	0.1								
04.10.98	09:00	472.0	6 1/4		1.15	38	2.7	1	8	5	1	7	0.1						50	50	3.5
04.10.98	16:00	475.8	6 1/4		1.17	48	2.7	1	20	10	1	2	0.1						50	50	3
05.10.98	09:00	476.0	6 1/4		1.16	48	2.9	1	15	8	1	2	0.1								
05.10.98	15:00	480.7	6 1/4		1.20	45	2.5	1	12	6	1	2	0.1								
06.10.98	06:00	488.7	6 1/4		1.20	40	2.5	1	10	4	1	2	0.1		9.60	4.34	2.21	30.0			
06.10.98	12:00	490.0	6 1/4		1.17	45	2.5	1	13	5	1	2	0.1								
06.10.98	17:00	494.0	6 1/4		1.18	45	2.5	1	12	4	1	2	0.1						50		1.8
07.10.98	06:00	501.0	6 1/4		1.18	43	2.8	1	10	6	1	2	0.1								
07.10.98	11:00	503.0	6 1/4		1.18	43	2.8	1	12	2	1	2	0.1								
07.10.98	17:00	508.0	6 1/4		1.18	38	2.6	1	12	4	1	2	0.1								
08.10.98	06:00	513.0	6 1/4		1.18	41	2.6	1	12	6	1	2	0.1		9.81	4.52	2.17	33.0		50	
08.10.98	14:00	519.0	6 1/4		1.18	40	2.4	1	12	5	1	2	0.0		9.81	4.52	2.17	33.0			
09.10.98	04:00	526.0	6 1/4		1.16	45	3.5	1	12	5	1	2	0.0		9.10	4.12	2.20	30.0			
09.10.98	16:00	532.0	6 1/4		1.16	40	4.0	1	11	5	1	2	0.0						25	25	
10.10.98	06:00	540.0	6 1/4		1.17	43	3.3	1	12	17	3	5	0.0		10.42	4.80	2.17	32.0			
10.10.98	13:00	545.0	6 1/4		1.17	40	3.6	1	13	5	3	5	0.0							50	
10.10.98	18:00	547.0	6 1/4		1.17	40	4.0	1	13	5	3	5	0.0								
11.10.98	06:00	548.0	6 1/4		1.17	44	2.6	1	12	6	3	5	0.0		9.81	4.52	2.17	33.0			
11.10.98	12:00	552.0	6 1/4		1.17	45	2.7	1	12	6	3	5	0.0						50		
11.10.98	18:00	555.0	6 1/4		1.16	49	2.6	1	14	8	3	5	0.0								
12.10.98	05:30	561.0	6 1/4		1.16	46	3.8	1	16	6	3	6	0.0		9.10	4.12	2.20	30.0			
12.10.98	15:00	564.0	6 1/4	Test, Sp.Austausch, Erw. 12 1/4", Verrohrung	1.16	45	4.2	1	15	5	3	6	0.0		9.10	4.12	2.20	30.0			
08.12.98	06:30	569.0	6 1/4	Kernen	1.12	35	6.8	1	13	7	2	5	0.0	12.3	9.24	5.11	1.80	32.0	50		6.3
08.12.98	14:00	572.0	6 1/4	Reparatur	1.12	42	6.7	1	12	10	2	7	0.0	12.2	9.24	5.11	1.80	32.0	50		
10.12.98	11:42	572.9	6 1/4	Kernen	1.12	42	6.7	1	12	10	4	14	0.1	12.2							
11.12.98	07:30	576.0	6 1/4		1.12	43	6.7	1	12	10	2	7	0.1	12.2							
11.12.98	14:00	581.0	6 1/4		1.11	40	6.9	1	12	7	2	6	0.1	12.4							
12.12.98	08:00	590.7	6 1/4		1.11	44	6.6	1	13	10	2	6	0.1	12.8					25		
12.12.98	14:00	594.3	6 1/4	Kernen/Test	1.11	43	6.6	1	12	12	2	6	0.1	12.7							
18.12.98	04:36	596.5	96 mm	Kernen	1.15	44	6.6	1	12	11	2	6	0.1	12.8					25	25	3

Sondierbohrung Benken					Spülungsanalysen Natrium-Silikat (435 - 814 m)														Materialverbrauch			
Datum	Zeit	Teufe	Bit-Size	Kommentar	spez. Gew.	Vunnel-Visc.	API-Filtrat	API-Cake	plast. Visc.	Fließgrenze	Gelstärken 10sec	Gelstärken 10min	Sand-gehalt	pH	SiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	Ratio	Total	PAC R	PAC L	Silikat	
		[m]	[Zoll]		[kg/l]	[sec]	[ml/30']	[mm]	[cP]	[lbs/100sqft]			[Vol%]		[%]	[%]		[%]	[kg]	[kg]	[m <sup>3</sup> ]	
19.12.98	14:34	602.5	96 mm	Messungen	1.15	42	6.7	1	12	11	2	6	0.1	12.8								
20.12.98	17:00	602.5	96 mm	Messungen, Test	1.16	51	5.2	1	16	14	3	7	0.1	12.8					50	50	2	
07.01.99	03:00	624.0	6 1/4	Erw. 6 1/4"	1.15	40	5.6	1	9	4	3	4	0.0	12.8	9.93	4.92	2.01	33.0	25			
08.01.99	12:00	629.0	96 mm	Messungen	1.15	40	5.6	1	9	4	3	4	0.0	12.6								2
09.01.99	17:00	629.0	96 mm	Messungen	1.15	49	4.2	1	15	8	4	6	0.1	12.6					50			
10.01.99	17:50	634.0	6 1/4	Kernen	1.15	48	4.0	4	15	6	4	6	0.1	12.5								
11.01.99	07:00	642.0	6 1/4		1.16	48	4.0	1	17	6	4	6	0.1	12.5	9.93	4.92	2.01	33.0				
11.01.99	16:00	649.0	6 1/4		1.16	49	4.0	1	17	6	4	7	0.1	12.5								
12.01.99	06:00	655.0	6 1/4	Kernen/Mess./Test	1.16	49	4.1	1	17	7	5	7	0.1	12.5	9.91	4.85	2.04	33.0				
23.01.99	06:00	655.0	6 1/4	Kernen	1.15	55	5.2	1	23	8	3	5	0.1	11.9	8.10	4.37	1.85	27.8	50			2
23.01.99	16:00	660.0	6 1/4		1.15	52	5.2	1	23	8	3	5	0.1	11.8								
24.01.99	06:00	667.9	6 1/4		1.15	48	5.1	1	14	7	2	4	0.1	12.3								1.2
25.01.99	07:00	684.4	6 1/4		1.18	55	4.8	1	20	6	3	5	0.1	12.4	7.90	4.25	1.85	27.3	25	25		
25.01.99	12:00	688.0	6 1/4		1.18	55	4.9	1	19	6	3	5	0.1	12.4								
25.01.99	17:00	691.0	6 1/4		1.18	52	5.0	1	17	6	3	5	0.1	12.3								
26.01.99	07:00	698.0	6 1/4		1.18	48	5.2	1	17	6	3	5	0.1	12.4	7.90	4.25	1.85	27.3				
26.01.99	12:00	701.0	6 1/4		1.18	46	5.2	1	17	5	3	5	0.1	12.4								
26.01.99	17:00	704.0	6 1/4		1.18	44	5.2	1	18	3	3	5	0.1	12.4								
27.01.99	07:00	712.0	6 1/4		1.18	55	4.6	1	23	10	3	5	0.1	12.4	8.10	4.20	1.92	27.8				
27.01.99	12:00	714.0	6 1/4		1.18	55	5.0	1	23	8	3	5	0.1	12.4								
27.01.99	17:00	718.0	6 1/4		1.18	54	5.1	1	23	8	3	5	0.1	12.4					25	25		1
28.01.99	07:00	723.0	6 1/4		1.18	55	5.4	1	22	8	3	5	0.1	12.4	8.40	4.27	1.96	28.7				
28.01.99	12:00	726.0	6 1/4		1.18	54	5.3	1	22	8	3	5	0.1	12.4								
29.01.99	07:00	735.0	6 1/4		1.19	55	5.2	1	22	5	3	5	0.1	12.4	8.40	4.15	2.02	28.4				
29.01.99	14:00	739.0	6 1/4		1.19	55	5.4	1	22	5	3	5	0.1	12.4								
30.01.99	08:00	747.0	6 1/4	Kernen/Test	1.19	56	5.5	1	22	6	3	5	0.1	12.4	8.40	4.27	1.96	28.0				
09.02.99	06:00	752.0	6 1/4	Fangarbeiten	1.20	45	8.1	1	10	5	2	3	0.1	12.7	10.56	6.07	1.73	37.0	25			8
10.02.99	06:00	752.0	6 1/4		1.20	57	5.3	1	19	14	2	3	0.1	12.7	10.56	6.07	1.73	37.0	50	25		
11.02.99	08:00	752.0	6 1/4		1.21	63	4.9	1	26	12	3	2	0.1	12.5	10.50	5.88	1.78	37.0	25	25		
12.02.99	08:00	752.0	6 1/4		1.25	70	4.4	1	25	10	2	3	0.1	12.6	12.27	6.29	1.95	42.0	25			3
13.02.99	08:30	752.0	6 1/4		1.25	69	4.5	1	23	12	2	3	0.1	12.7	12.27	6.29	1.96	42.0	25			
14.02.99	08:00	752.0	6 1/4		1.27	75	4.3	1	27	10	3	5	0.1	12.5	13.24	7.37	1.79	46.0	25			4
15.02.99	08:00	752.0	6 1/4		1.26	70	5.0	1	27	10	3	5	0.1	12.5	13.24	7.37	1.79	46.0		25		1
16.02.99	08:00	752.0	6 1/4		1.26	69	4.4	1	28	12	3	5	0.1	12.5	12.27	6.26	1.96	42.0	25			1
17.02.99	08:00	752.8	6 1/4	Fangarbeiten/Kernen	1.25	65	3.8	1	27	10	3	5	0.1	12.5	11.79	6.01	1.96	40.0		25		
18.02.99	08:00	753.9	6 1/4	Kernen	1.25	65	3.8	1	26	10	3	5	0.1	12.4	11.79	6.01	1.96	40.0				1
18.02.99	16:00	755.0	6 1/4		1.25	65	3.8	1	27	9	3	5	0.1	12.4								
19.02.99	08:00	762.0	6 1/4		1.25	69	3.8	1	29	10	3	5	0.1	12.4	10.58	5.12	2.06	35.6				
19.02.99	16:00	768.0	6 1/4		1.23	70	3.4	1	30	10	3	5	0.1	12.4								
20.02.99	08:00	773.3	6 1/4		1.24	74	3.6	1	31	11	4	5	0.1	12.4	9.72	5.02	1.94	33.4		25		
20.02.99	16:00	777.4	6 1/4		1.23	66	4.8	1	28	9	4	5	0.1	12.2								

Sondierbohrung Benken				Spülungsanalysen Natrium-Silikat (435 - 814 m)														Materialverbrauch			
Datum	Zeit	Teufe	Bit- Size	Kommentar	spez. Gew.	Vunnel- Visc.	API- Filtrat	API- Cake	plast. Visc.	Fliess- grenze	Gelstärken		Sand- gehalt	pH	SiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	Ratio	Total	PAC R	PAC L	Silikat
		[m]	[Zoll]		[kg/l]	[sec]	[ml/30']	[mm]	[cP]		[lbs/100sqft]		[Vol%]		[%]	[%]		[%]	[kg]	[kg]	[m <sup>3</sup> ]
21.02.99	08:00	787.2	6 1/4		1.23	68	5.4	1	28	9	4	5	0.1	12.3	9.41	4.74	1.98	32.1			
21.02.99	16:00	787.6	6 1/4		1.23	69	5.4	1	28	9	4	5	0.1	12.3							
22.02.99	08:00	787.6	6 1/4	Test	1.25	70	5.0	1	29	8	3	4	0.1	12.4	10.73	5.12	2.09	35.9		25	1
23.02.99	08:00	787.6	6 1/4		1.25	72	5.0	1	29	7	3	4	0.1	12.4	10.73	5.12	2.09	35.9			
24.02.99	08:00	787.6	6 1/4		1.25	73	5.0	1	29	7	3	4	0.5	12.4	10.73	5.12	2.09	35.9			
25.02.99	08:00	787.6	6 1/4		1.25	72	5.0	1	29	7	3	4	0.5	12.4	10.73	5.12	2.09	35.9			
26.02.99	08:00	787.6	6 1/4		1.25	70	5.0	1	29	7	3	4	0.5	12.4	10.73	5.12	2.09	35.9			
27.02.99	08:00	787.6	6 1/4		1.24	62	5.8	1	21	5	2	3	0.5	12.4	9.48	5.52	1.72	34.0			
28.02.99	08:00	787.6	6 1/4		1.24	65	5.8	1	21	5	2	3	0.1	12.4	9.48	5.52	1.72	34.0			
01.03.99	08:00	787.6	6 1/4		1.24	66	5.8	1	21	5	2	3	0.1	12.4	9.48	5.52	1.72	34.0			
02.03.99	08:00	787.6	6 1/4		1.24	66	5.8	1	21	5	2	3	0.1	12.4	9.48	5.52	1.72	34.0			
03.03.99	08:00	787.6	6 1/4		1.24	67	5.8	1	21	5	2	3	0.1	12.4	9.48	5.52	1.72	34.0			
03.03.99	18:00	787.7	6 1/4	Kernen	1.23	59	5.8	1	22	5	2	3	0.1	12.3							
04.03.99	08:00	793.9	6 1/4		1.23	60	5.8	1	24	4	2	4	0.1	12.4	9.48	5.52	1.72	34.0		25	
04.03.99	17:00	796.0	6 1/4		1.23	67	5.8	1	30	8	3	5	0.1	12.3							
05.03.99	08:00	804.8	6 1/4		1.24	71	5.8	1	32	8	5	8	0.1	12.3	8.93	4.50	1.98	30.5		25	
05.03.99	18:00	809.2	6 1/4		1.24	71	5.8	1	32	7	5	8	0.1	12.2							
06.03.99	08:00	813.4	6 1/4		1.24	71	5.8	1	32	7	5	8	0.1	12.2	8.89	4.45	1.99	30.3		25	
07.03.99	08:00	814.0	6 1/4	Ausb. 7" temp.	1.24	71	5.8	1	32	7	5	8	0.1	12.2	8.89	4.45	1.99	30.3			
08.03.99	08:00	814.0	6 1/4	Messungen	1.24	73	5.8	1	32	7	5	8	0.1	12.2	8.89	4.45	1.99	30.3			
08.03.99	14:00	814.0	6 1/4		1.23	70	7.0	1	27	8	3	5	0.1	12.2	9.02	4.31	2.09	30.2			
09.03.99	08:00	814.0	6 1/4		1.23	80	7.0	1	35	13	4	7	0.1	12.5	8.72	4.62	1.89	30.3	25		2
10.03.99	08:00	814.0	6 1/4		1.23	75	7.0	1	29	10	3	6	0.1	12.2	8.72	4.62	1.89	30.3		25	1
11.03.99	08:00	814.0	6 1/4		1.23	77	7.0	1	29	10	3	6	0.1	12.2	8.72	4.62	1.89	30.3			
12.03.99	06:00	574.0	8 1/2	Erw. 8 1/2"	1.22	66	7.0	1	27	9	2	5	0.1	12.1	10.35	5.12	2.02	35.1		50	2
12.03.99	17:00	606.0	8 1/2		1.23	75	7.0	1	32	10	2	5	0.1	12.0	8.86	3.99	2.20	29.0			
13.03.99	08:00	657.0	8 1/2		1.24	67	5.8	1	29	9	2	5	0.1	12.0	9.81	4.83	2.03	33.0		25	1
13.03.99	17:00	688.0	8 1/2		1.25	65	5.6	1	29	7	2	5	0.1	12.0							
14.03.99	08:00	717.0	8 1/2		1.26	62	5.4	1	28	6	2	5	0.1	11.9	10.29	5.08	2.02	35.0		25	1
14.03.99	17:00	745.0	8 1/2		1.26	61	5.4	1	28	6	2	5	0.1	11.9							
15.03.99	08:00	751.0	8 1/2		1.26	63	5.2	1	29	7	2	5	0.1	12.0	9.55	5.05	1.89	33.0			
15.03.99	17:00	767.0	8 1/2		1.26	94	5.0	1	38	13	3	11	0.4	12.2							
16.03.99	08:00	793.0	8 1/2		1.26	85	4.8	1	40	13	3	11	0.8	12.2	8.05	4.40	1.83	28.0	50	25	
16.03.99	17:00	804.0	8 1/2		1.26	77	6.0	1	36	12	3	9	0.7	12.2	9.48	4.58	2.06	32.0			
17.03.99	08:00	814.0	8 1/2		1.27	83	5.2	1	37	9	3	10	0.8	12.1	8.70	4.03	2.15	29.0			

Sondierbohrung Benken					Spülmesswerte				Materialverbrauch			
Datum	Zeit	Teufe	Bit- Size	Kommentar	spez. Gew.	Auslauf- zeit	Rest- auslaufzeit	pH	PAC R	PAC L	Soda	Ben- tonit
			[Zoll]		[kg/l]	[sec]	[sec]		[kg]	[kg]	[kg]	[kg]
<b>Ton-Süßwasserspülung:</b>												
26.03.99	06:00	821.2	6 1/4	Kernen	1.03	43	43	12	10			250
26.03.99	14:00	826.7	6 1/4		1.03	45	39	12				
26.03.99	22:00	833.2	6 1/4		1.03	43	37	12			100	
27.03.99	06:00	835.8	6 1/4		1.03	43	39	12				
27.03.99	18:00	843.5	6 1/4		1.04	43	30	12	10		50	
28.03.99	06:00	847.8	6 1/4		1.04	42	30	12				
28.03.99	18:00	857.3	6 1/4		1.03	47	39	12		50	100	100
29.03.99	06:00	863.3	6 1/4		1.03	44	39	11				
29.03.99	14:00	867.4	6 1/4		1.03	44	32	12				
29.03.99	22:00	872.0	6 1/4		1.03	44	32	12		50	50	
30.03.99	06:00	877.2	6 1/4	Test	1.04	42	37	11				
03.04.99	18:00	879.9	6 1/4	Kernen	1.06	44	38	11.5	25			
04.04.99	06:00	885.9	6 1/4		1.06	44	38	11.5				
04.04.99	18:00	891.3	6 1/4		1.06	44	38	11.5				
05.04.99	06:00	896.7	6 1/4		1.06	44	38	11.5				
05.04.99	14:00	901.7	6 1/4		1.07	44	38	10				
05.04.99	22:00	906.4	6 1/4		1.07	42	36	10				
06.04.99	06:00	909.6	6 1/4		1.07	42	33	11				
06.04.99	14:00	913.9	6 1/4		1.08	43	35	10				
06.04.99	22:00	917.9	6 1/4		1.08	42	36	10				
07.04.99	06:00	920.6	6 1/4		1.10	42	33	10				
07.04.99	14:00	923.9	6 1/4		1.10	42	28	10				
07.04.99	22:00	923.9	6 1/4		1.07	40	34	10	25	25		150
08.04.99	06:00	925.1	6 1/4		1.07	45	38	10				
08.04.99	14:00	928.4	6 1/4		1.07	42	28	10				
08.04.99	22:00	933.4	6 1/4		1.10	42	36	10	50			
09.04.99	06:00	937.3	6 1/4		1.12	39	26	10				
09.04.99	14:00	937.6	6 1/4	Test	1.13	39	28	10				
14.04.99-				Rückzementationen								
20.04.99				Salzzone								
<b>Salzspülung:</b>												
21.04.99	14:00	926.6	6 1/4	Kernen	1.25	37	29					
21.04.99	22:00	935.6	6 1/4		1.24	40	35		150	100		
22.04.99	06:00	938.5	6 1/4		1.22	43	36					
22.04.99	14:00	938.8	6 1/4		1.23	37	29					
22.04.99	22:00	940.2	6 1/4		1.23	42	31		50			
23.04.99	06:00	945.0	6 1/4		1.22	43	36					
23.04.99	14:00	947.5	6 1/4		1.23	37	29					
23.04.99	22:00	952.5	6 1/4		1.23	41	30		25			
24.04.99	06:00	957.3	6 1/4		1.23	41	31					
24.04.99	18:00	963.8	6 1/4		1.26	41	30		50			
25.04.99	06:00	969.4	6 1/4		1.25	42	32					
25.04.99	18:00	976.6	6 1/4		1.26	42	31		25			
26.04.99	06:00	983.1	6 1/4		1.26	41	28					
26.04.99	14:00	987.0	6 1/4		1.26	41	29	6				
26.04.99	22:00	991.0	6 1/4		1.26	41	28	6				
27.04.99	06:00	994.9	6 1/4		1.26	42	33	6	50			
27.04.99	14:00	995.4	6 1/4	Test	1.26	41	29	6				
01.05.99	06:00	996.9	6 1/4	Kernen	1.26	40	29	6				
01.05.99	18:00	999.4	6 1/4		1.26	40	29	6				
02.05.99	06:00	999.6	6 1/4		1.26	40	29	6				
02.05.99	18:00	1000.0	6 1/4		1.25	37	29	6				
03.05.99	06:00	1000.8	6 1/4		1.25	37	29	6				
03.05.99	14:00	1003.6	6 1/4		1.25	37	29	6				
04.05.99	06:00	1007.0	6 1/4		1.25	37	29	6				

**nagra**

**TECHNISCHER BERICHT NTB 99-12**

Spülmessungen und -materialverbrauch,  
Ton-Süßwasser- und Salzwasserspülung

**Sondierbohrung Benken**

DAT.: Dez. 2001

**BEILAGE 13**

Sondierbohrung Benken			Bohrlochverlauf nach Minimum Curvature (Auszugswerte, Berechnung nach 5'815 GPIT Datensätzen)						GEOWELL	
Mess- tiefe [m]	Neigung [°]	Azimut [°]	Vertikal- tiefe [m]	Koordinaten		Gesamtabweichung			Proj.Abw. AZ 230° [m]	DLS [°/10m]
				-O/+W [m]	+N/-S [m]	Azimut [°]	Betrag [m]	[% MT]		
100.0	0.87	214.83	100.0	-0.43	-0.62	214.83	0.76	0.76	0.73	0.09
105.0	1.07	216.11	105.0	-0.49	-0.70	215.09	0.85	0.81	0.82	0.28
110.0	1.12	216.46	110.0	-0.55	-0.77	215.21	0.95	0.86	0.92	0.08
115.1	1.06	217.22	115.1	-0.61	-0.85	215.43	1.04	0.91	1.01	0.10
120.1	0.88	219.13	120.1	-0.66	-0.92	215.58	1.13	0.94	1.10	0.32
125.0	0.98	213.53	125.0	-0.71	-0.99	215.54	1.21	0.97	1.17	0.11
130.0	1.06	217.70	130.0	-0.76	-1.06	215.77	1.31	1.00	1.27	0.15
135.0	1.04	222.68	135.0	-0.82	-1.13	215.97	1.40	1.04	1.36	0.06
140.1	0.99	223.76	140.0	-0.88	-1.20	216.40	1.49	1.06	1.45	0.43
145.1	0.90	221.69	145.1	-0.94	-1.25	216.86	1.57	1.08	1.53	0.30
150.0	0.90	215.67	149.9	-0.99	-1.31	216.92	1.64	1.09	1.60	0.49
155.0	0.89	207.84	155.0	-1.03	-1.38	216.72	1.72	1.11	1.67	0.54
160.0	0.98	210.33	160.0	-1.07	-1.45	216.33	1.80	1.12	1.75	0.20
165.0	1.03	208.35	165.0	-1.11	-1.53	215.99	1.89	1.14	1.83	0.48
170.1	1.01	214.09	170.1	-1.16	-1.60	215.86	1.98	1.16	1.92	0.36
175.0	0.95	219.80	174.9	-1.21	-1.67	215.92	2.06	1.18	2.00	0.09
180.0	0.86	220.73	180.0	-1.26	-1.73	216.04	2.14	1.19	2.08	0.36
185.0	0.90	213.26	185.0	-1.31	-1.79	216.07	2.22	1.20	2.15	0.13
190.0	0.88	210.01	190.0	-1.35	-1.86	215.96	2.30	1.21	2.23	0.85
195.1	0.92	208.45	195.1	-1.39	-1.93	215.73	2.37	1.22	2.30	0.53
200.1	0.97	205.18	200.1	-1.42	-2.00	215.46	2.46	1.23	2.38	1.39
205.0	1.09	214.95	205.0	-1.48	-2.08	215.39	2.55	1.24	2.47	0.43
210.0	1.04	212.10	210.0	-1.53	-2.16	215.32	2.64	1.26	2.56	0.04
215.0	0.97	213.17	215.0	-1.58	-2.23	215.26	2.73	1.27	2.64	0.33
220.1	0.95	211.93	220.0	-1.62	-2.30	215.19	2.82	1.28	2.72	0.01
225.1	0.93	211.56	225.1	-1.67	-2.37	215.09	2.90	1.29	2.80	0.22
230.0	0.88	213.38	229.9	-1.71	-2.44	215.02	2.97	1.29	2.87	0.13
235.0	0.86	212.45	235.0	-1.75	-2.50	214.97	3.05	1.30	2.95	0.48
240.0	0.86	208.71	240.0	-1.79	-2.56	214.87	3.13	1.30	3.02	0.25
245.1	0.88	206.00	245.0	-1.82	-2.63	214.69	3.20	1.31	3.09	0.19
250.1	0.94	207.17	250.1	-1.86	-2.70	214.50	3.28	1.31	3.16	0.15
255.0	0.96	205.93	254.9	-1.89	-2.78	214.31	3.36	1.32	3.24	0.07
260.0	0.92	204.97	260.0	-1.93	-2.85	214.12	3.44	1.32	3.31	0.23
265.0	0.95	206.77	265.0	-1.97	-2.92	213.93	3.52	1.33	3.39	0.07
270.1	0.97	205.14	270.0	-2.00	-3.00	213.74	3.61	1.34	3.46	0.22
275.1	1.04	206.22	275.1	-2.04	-3.08	213.56	3.70	1.34	3.55	0.23
280.0	1.04	204.97	279.9	-2.08	-3.16	213.39	3.78	1.35	3.63	0.22
285.0	1.06	202.83	285.0	-2.12	-3.24	213.16	3.87	1.36	3.71	0.28
290.0	1.06	199.81	290.0	-2.15	-3.33	212.91	3.97	1.37	3.79	0.20
295.0	1.08	200.52	295.0	-2.19	-3.42	212.62	4.06	1.38	3.87	0.28
300.1	1.04	207.72	300.0	-2.23	-3.50	212.46	4.15	1.38	3.96	0.20
305.0	1.04	204.95	304.9	-2.27	-3.58	212.33	4.24	1.39	4.04	0.17
310.0	1.05	206.27	309.9	-2.31	-3.66	212.21	4.33	1.40	4.12	0.20
315.0	0.96	209.42	315.0	-2.35	-3.74	212.11	4.42	1.40	4.21	0.42
320.0	0.92	207.47	320.0	-2.39	-3.82	212.05	4.50	1.41	4.28	0.22

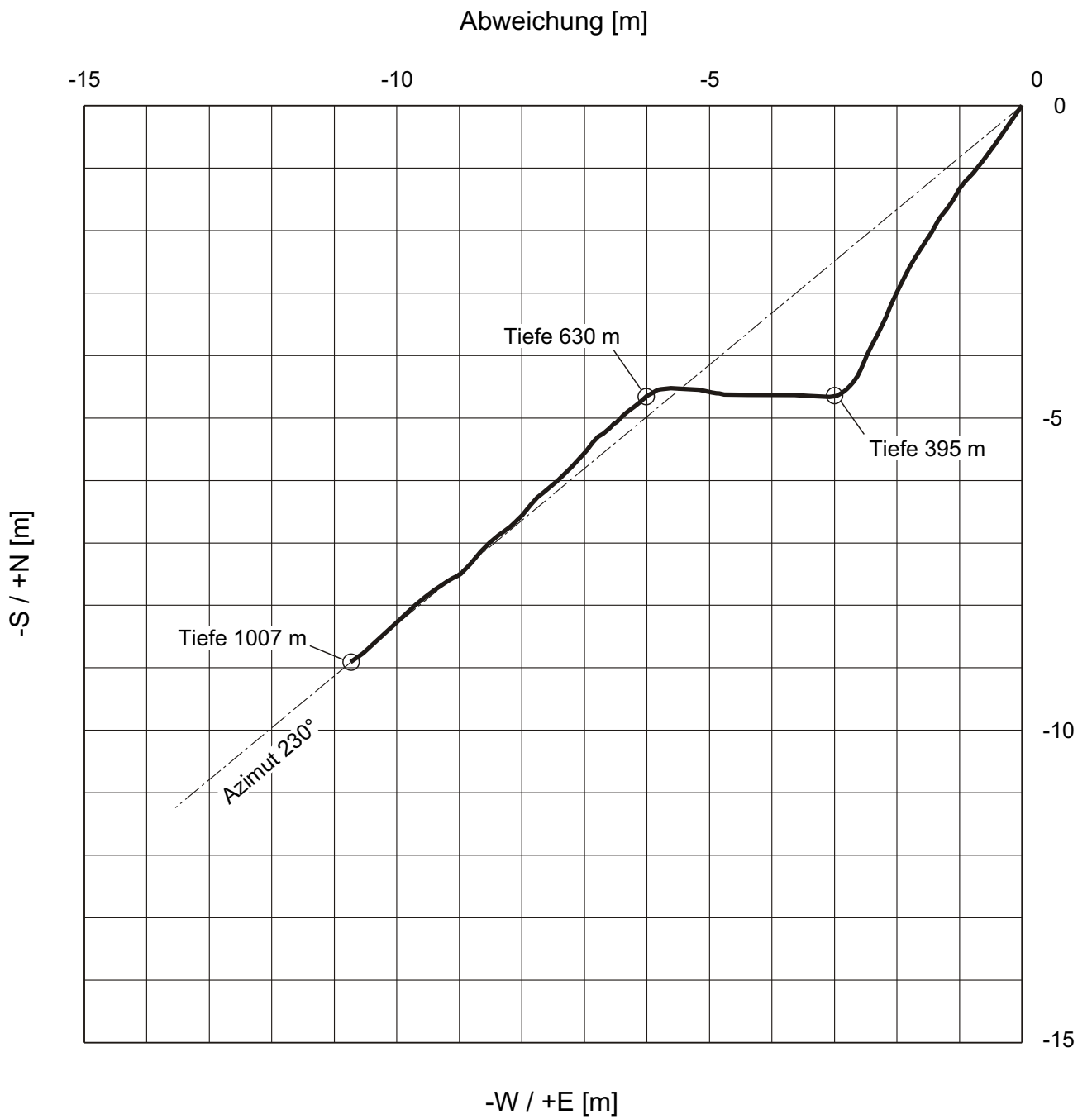
<b>nagra</b>		<b>TECHNISCHER BERICHT NTB 99-12</b>	
Tabelle Bohrlochverlaufdaten			
<b>Sondierbohrung Benken</b>		DAT.: Dez. 2001	<b>BEILAGE 14</b>

Sondierbohrung Benken			Bohrlochverlauf nach Minimum Curvature (Auszugswerte, Berechnung nach 5'815 GPIT Datensätzen)						GEOWELL	
Mess- tiefe [m]	Neigung [°]	Azimut [°]	Vertikal- tiefe [m]	Koordinaten		Gesamtabweichung			Proj.Abw. AZ 230° [m]	DLS [°/10m]
				-O/+W [m]	+N/-S [m]	Azimut [°]	Betrag [m]	[% MT]		
325.1	0.93	205.57	325.0	-2.43	-3.89	211.96	4.58	1.41	4.36	0.13
330.1	0.94	205.81	330.1	-2.46	-3.96	211.85	4.67	1.41	4.43	0.20
335.0	0.85	204.25	334.9	-2.49	-4.03	211.74	4.74	1.42	4.50	0.20
340.0	0.89	203.95	340.0	-2.52	-4.10	211.61	4.82	1.42	4.57	0.09
345.0	0.89	202.73	345.0	-2.56	-4.17	211.48	4.89	1.42	4.64	0.15
350.1	0.89	205.46	350.0	-2.59	-4.24	211.36	4.97	1.42	4.71	0.14
355.1	0.81	207.97	355.1	-2.62	-4.31	211.28	5.05	1.42	4.78	0.25
360.0	0.83	212.56	359.9	-2.65	-4.37	211.26	5.11	1.42	4.84	0.17
365.0	0.83	218.44	365.0	-2.70	-4.43	211.31	5.19	1.42	4.91	0.36
370.0	0.74	221.89	370.0	-2.74	-4.48	211.43	5.26	1.42	4.98	0.26
375.1	0.75	228.40	375.0	-2.79	-4.53	211.58	5.32	1.42	5.05	0.12
380.1	0.74	230.77	380.0	-2.84	-4.57	211.80	5.38	1.42	5.11	0.16
385.0	0.68	239.82	384.9	-2.89	-4.61	212.06	5.44	1.41	5.17	0.23
390.0	0.71	245.47	389.9	-2.94	-4.64	212.37	5.49	1.41	5.23	0.22
395.0	0.72	258.57	395.0	-3.00	-4.66	212.78	5.54	1.40	5.29	0.17
400.0	0.77	269.43	400.0	-3.07	-4.67	213.30	5.58	1.40	5.35	0.35
405.1	0.79	274.68	405.0	-3.13	-4.66	213.91	5.62	1.39	5.40	0.09
410.0	0.81	274.23	409.9	-3.20	-4.66	214.50	5.65	1.38	5.45	0.01
415.0	0.80	274.10	414.9	-3.27	-4.65	215.10	5.69	1.37	5.50	0.10
420.0	0.83	273.01	420.0	-3.34	-4.65	215.71	5.73	1.36	5.55	0.11
425.0	0.83	272.83	425.0	-3.41	-4.65	216.31	5.76	1.36	5.60	0.20
430.1	0.83	272.16	430.0	-3.49	-4.64	216.91	5.80	1.35	5.65	0.24
435.1	0.84	271.71	435.1	-3.56	-4.64	217.49	5.85	1.34	5.71	0.15
440.0	0.85	270.85	439.9	-3.63	-4.64	218.05	5.89	1.34	5.76	0.18
445.0	0.90	271.59	445.0	-3.71	-4.64	218.64	5.94	1.33	5.82	0.07
450.0	0.90	269.62	450.0	-3.79	-4.63	219.24	5.98	1.33	5.88	0.13
455.1	0.92	269.01	455.0	-3.87	-4.63	219.83	6.04	1.33	5.94	0.15
460.1	0.94	269.64	460.0	-3.95	-4.64	220.42	6.09	1.32	6.00	0.15
465.0	0.92	269.26	464.9	-4.03	-4.63	220.99	6.14	1.32	6.06	0.09
470.0	0.95	271.68	469.9	-4.11	-4.63	221.57	6.19	1.32	6.13	0.18
475.0	0.92	269.83	475.0	-4.19	-4.63	222.13	6.25	1.32	6.19	0.15
480.1	0.91	270.07	480.0	-4.27	-4.63	222.68	6.30	1.31	6.25	0.08
485.1	0.91	270.90	485.0	-4.35	-4.63	223.22	6.36	1.31	6.31	0.26
490.0	0.91	270.01	489.9	-4.43	-4.63	223.74	6.41	1.31	6.37	0.36
495.0	0.89	271.44	494.9	-4.51	-4.63	224.25	6.46	1.31	6.43	0.33
500.0	0.91	269.79	500.0	-4.59	-4.63	224.75	6.52	1.30	6.49	0.24
505.1	0.88	269.65	505.0	-4.67	-4.63	225.25	6.57	1.30	6.55	0.27
510.1	0.89	271.59	510.0	-4.74	-4.63	225.70	6.62	1.30	6.61	0.10
515.0	0.89	287.90	514.9	-4.82	-4.62	226.22	6.67	1.30	6.66	0.74
520.0	0.90	270.16	519.9	-4.89	-4.60	226.77	6.72	1.29	6.71	0.21
525.0	0.89	282.23	525.0	-4.97	-4.59	227.25	6.76	1.29	6.76	1.65
530.0	0.92	285.00	530.0	-5.05	-4.58	227.81	6.81	1.29	6.81	0.74
535.1	0.89	283.02	535.0	-5.13	-4.56	228.36	6.86	1.28	6.85	0.22
540.0	0.84	269.27	539.9	-5.20	-4.54	228.84	6.91	1.28	6.90	0.58
545.0	0.85	270.94	544.9	-5.27	-4.54	229.27	6.96	1.28	6.96	0.29
550.0	0.88	273.44	549.9	-5.35	-4.54	229.69	7.01	1.28	7.01	0.08
555.0	0.88	273.26	555.0	-5.43	-4.53	230.12	7.07	1.27	7.07	0.16
560.1	0.86	277.73	560.0	-5.50	-4.53	230.55	7.12	1.27	7.12	0.42
566.3	0.33	280.77	566.3	-5.57	-4.52	230.95	7.17	1.27	7.17	0.93
570.0	0.28	272.57	569.9	-5.59	-4.52	231.05	7.18	1.26	7.18	0.18

Sondierbohrung Benken			Bohrlochverlauf nach Minimum Curvature (Auszugswerte, Berechnung nach 5'815 GPIT Datensätzen)						GEOWELL	
Mess- tiefe [m]	Neigung [°]	Azimut [°]	Vertikal- tiefe [m]	Koordinaten		Gesamtabweichung			Proj.Abw. AZ 230° [m]	DLS [°/10m]
				-O/+W [m]	+N/-S [m]	Azimut [°]	Betrag [m]	[% MT]		
575.0	0.30	249.45	574.9	-5.61	-4.52	231.16	7.20	1.25	7.20	0.43
580.0	0.29	265.61	580.0	-5.64	-4.53	231.24	7.23	1.25	7.23	0.21
585.1	0.30	259.49	585.0	-5.66	-4.53	231.35	7.25	1.24	7.25	0.00
590.1	0.31	268.59	590.0	-5.69	-4.53	231.47	7.27	1.23	7.27	0.49
595.0	0.34	268.95	594.9	-5.72	-4.53	231.60	7.29	1.23	7.29	0.01
600.0	0.47	261.50	599.9	-5.75	-4.53	231.75	7.32	1.22	7.32	0.29
605.0	0.52	254.90	605.0	-5.79	-4.54	231.90	7.36	1.22	7.36	0.33
610.1	0.58	242.71	610.0	-5.84	-4.56	232.01	7.41	1.21	7.41	0.29
615.1	0.42	243.12	615.0	-5.88	-4.58	232.07	7.45	1.21	7.45	0.27
620.0	0.47	244.22	619.9	-5.91	-4.60	232.13	7.49	1.21	7.48	0.46
625.0	0.64	237.75	624.9	-5.95	-4.62	232.19	7.54	1.21	7.53	0.71
630.0	0.53	233.57	630.0	-5.99	-4.65	232.21	7.58	1.20	7.58	0.27
635.1	0.64	230.96	635.0	-6.04	-4.68	232.21	7.64	1.20	7.64	1.18
640.1	0.79	230.99	640.0	-6.07	-4.72	232.13	7.70	1.20	7.69	1.14
645.0	0.78	221.87	644.9	-6.14	-4.77	232.16	7.77	1.20	7.77	1.68
650.0	0.69	238.53	649.9	-6.18	-4.81	232.11	7.83	1.20	7.82	0.80
655.0	0.84	234.20	654.9	-6.23	-4.84	232.15	7.90	1.21	7.89	0.29
660.0	0.83	231.84	660.0	-6.29	-4.89	232.16	7.97	1.21	7.97	0.54
665.1	0.68	231.18	665.0	-6.34	-4.93	232.15	8.03	1.21	8.03	0.19
670.0	0.62	222.33	669.9	-6.39	-4.97	232.13	8.09	1.21	8.09	0.64
675.0	0.58	221.16	674.9	-6.42	-5.01	232.04	8.14	1.21	8.13	0.46
680.0	0.66	225.63	679.9	-6.46	-5.05	232.00	8.20	1.21	8.19	0.07
685.0	0.86	236.82	685.0	-6.50	-5.09	231.95	8.26	1.21	8.25	2.60
690.1	0.67	234.29	690.0	-6.56	-5.12	232.03	8.33	1.21	8.32	2.29
695.1	0.68	214.58	695.0	-6.60	-5.17	231.89	8.38	1.21	8.38	0.57
700.0	0.92	234.23	699.9	-6.64	-5.22	231.85	8.44	1.21	8.44	1.08
705.0	0.76	232.17	704.9	-6.71	-5.26	231.91	8.53	1.21	8.52	0.46
710.0	0.85	235.46	710.0	-6.76	-5.30	231.90	8.59	1.21	8.59	0.40
715.1	0.88	227.64	715.0	-6.82	-5.35	231.91	8.67	1.21	8.67	1.01
720.1	0.87	216.32	720.0	-6.87	-5.41	231.80	8.75	1.21	8.74	0.20
725.0	0.77	214.81	724.9	-6.92	-5.46	231.69	8.81	1.22	8.81	0.24
730.0	0.75	220.00	729.9	-6.95	-5.52	231.58	8.88	1.22	8.87	0.25
735.0	0.72	219.84	735.0	-7.00	-5.57	231.50	8.94	1.22	8.94	0.18
740.1	0.72	226.79	740.0	-7.04	-5.61	231.45	9.00	1.22	9.00	0.27
745.1	0.72	227.06	745.0	-7.09	-5.66	231.40	9.07	1.22	9.06	0.50
750.0	0.80	223.91	749.9	-7.13	-5.70	231.36	9.13	1.22	9.13	0.26
755.0	0.75	219.59	754.9	-7.18	-5.75	231.28	9.20	1.22	9.20	0.20
760.0	0.69	221.21	759.9	-7.22	-5.80	231.21	9.26	1.22	9.26	0.29
765.0	0.64	225.98	765.0	-7.26	-5.84	231.16	9.32	1.22	9.32	0.51
770.1	0.66	223.63	770.0	-7.30	-5.88	231.12	9.37	1.22	9.37	0.13
775.0	0.69	225.45	774.9	-7.34	-5.92	231.08	9.43	1.22	9.43	0.47
780.0	0.69	225.94	779.9	-7.38	-5.97	231.05	9.49	1.22	9.49	0.36
785.0	0.68	227.74	784.9	-7.42	-6.01	231.03	9.55	1.22	9.55	0.31
790.0	0.69	232.76	790.0	-7.47	-6.04	231.02	9.61	1.22	9.61	0.21
795.1	0.70	230.45	795.0	-7.52	-6.08	231.02	9.67	1.22	9.67	0.29
800.1	0.73	228.40	800.0	-7.57	-6.12	231.01	9.73	1.22	9.73	0.32
805.0	0.76	228.55	804.9	-7.61	-6.17	231.00	9.80	1.22	9.79	0.50
809.1	0.58	246.79	809.0	-7.65	-6.19	231.01	9.85	1.22	9.84	1.09
818.1	1.04	223.87	818.0	-7.75	-6.27	231.02	9.97	1.22	9.97	0.62
820.1	1.02	221.85	820.0	-7.78	-6.30	230.99	10.01	1.22	10.00	0.09

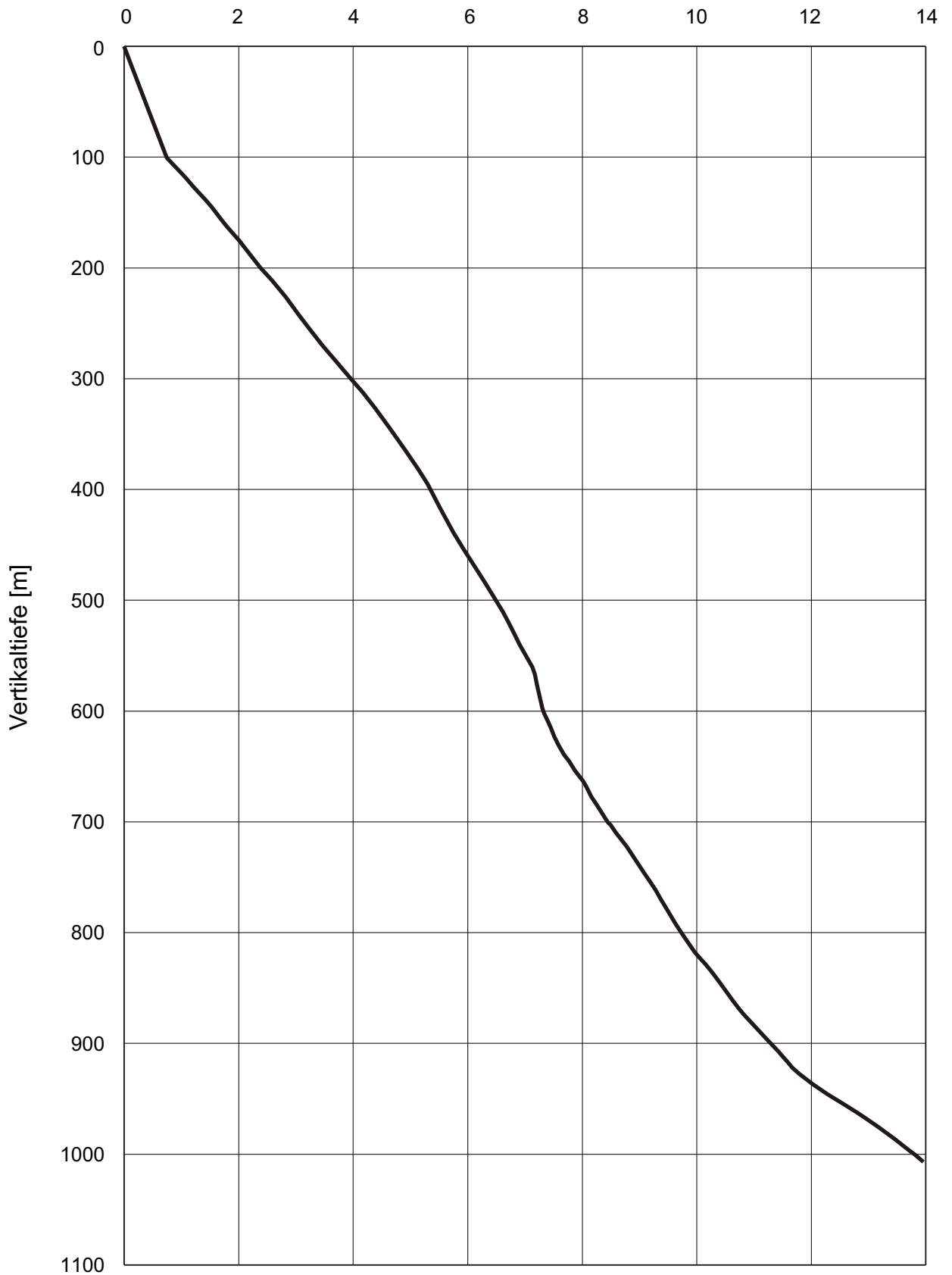
Sondierbohrung Benken			Bohrlochverlauf nach Minimum Curvature (Auszugswerte, Berechnung nach 5'815 GPIT Datensätzen)						GEOWELL	
Mess- tiefe [m]	Neigung [°]	Azimut [°]	Vertikal- tiefe [m]	Koordinaten		Gesamtabweichung			Proj.Abw. AZ 230° [m]	DLS [°/10m]
				-O/+W [m]	+N/-S [m]	Azimut [°]	Betrag [m]	[% MT]		
825.1	0.97	221.14	825.0	-7.83	-6.36	230.91	10.09	1.22	10.09	0.23
830.0	0.95	221.57	829.9	-7.89	-6.43	230.83	10.17	1.23	10.17	0.15
835.0	0.91	218.99	834.9	-7.94	-6.49	230.75	10.25	1.23	10.25	0.20
840.0	0.85	219.98	839.9	-7.99	-6.55	230.66	10.33	1.23	10.33	0.07
845.1	0.83	221.95	845.0	-8.04	-6.60	230.59	10.40	1.23	10.40	0.11
850.1	0.81	223.02	850.0	-8.08	-6.66	230.54	10.47	1.23	10.47	0.27
855.0	0.79	229.11	854.9	-8.13	-6.70	230.51	10.54	1.23	10.54	0.07
860.0	0.80	232.66	859.9	-8.19	-6.75	230.51	10.61	1.23	10.61	0.21
865.0	0.86	235.45	864.9	-8.24	-6.79	230.53	10.68	1.23	10.68	0.21
870.1	0.93	232.51	870.0	-8.31	-6.83	230.56	10.76	1.24	10.76	0.09
875.1	0.98	231.80	875.0	-8.37	-6.89	230.57	10.84	1.24	10.84	0.09
880.0	1.01	231.24	879.9	-8.44	-6.94	230.58	10.93	1.24	10.93	0.14
885.0	1.04	229.21	884.9	-8.51	-7.00	230.58	11.02	1.24	11.02	0.25
890.0	1.05	223.87	889.9	-8.58	-7.06	230.54	11.11	1.25	11.11	0.30
895.0	1.07	223.50	895.0	-8.64	-7.13	230.48	11.20	1.25	11.20	0.09
900.1	1.06	219.66	900.0	-8.70	-7.20	230.41	11.29	1.25	11.29	0.27
905.0	1.02	220.17	904.9	-8.76	-7.27	230.33	11.38	1.26	11.38	0.14
910.0	0.99	221.41	909.9	-8.82	-7.33	230.26	11.47	1.26	11.47	0.09
915.0	0.96	221.60	914.9	-8.87	-7.40	230.19	11.55	1.26	11.55	0.06
920.0	0.93	228.69	919.9	-8.93	-7.46	230.14	11.63	1.26	11.63	1.59
925.1	1.36	238.46	925.0	-9.01	-7.52	230.16	11.74	1.27	11.74	2.31
930.1	1.44	241.05	930.0	-9.12	-7.57	230.30	11.86	1.27	11.86	1.24
935.0	1.51	235.37	934.9	-9.23	-7.64	230.37	11.98	1.28	11.98	0.48
940.0	1.60	235.81	939.9	-9.34	-7.72	230.43	12.12	1.29	12.12	0.11
945.0	1.71	234.32	944.9	-9.46	-7.80	230.49	12.26	1.30	12.26	0.33
950.1	1.78	231.82	950.0	-9.58	-7.89	230.52	12.41	1.31	12.41	0.13
955.1	1.79	228.50	955.0	-9.70	-7.99	230.52	12.57	1.32	12.57	0.27
960.0	1.73	227.17	959.9	-9.81	-8.09	230.48	12.72	1.33	12.72	0.15
965.0	1.69	227.59	964.9	-9.92	-8.20	230.45	12.87	1.33	12.87	0.07
970.0	1.63	225.77	969.9	-10.03	-8.30	230.41	13.02	1.34	13.02	0.39
975.1	1.54	226.42	974.9	-10.13	-8.39	230.36	13.16	1.35	13.15	0.55
980.1	1.52	227.98	980.0	-10.23	-8.48	230.32	13.29	1.36	13.29	0.79
985.0	1.50	228.28	984.8	-10.32	-8.57	230.30	13.42	1.36	13.42	0.19
990.0	1.46	227.70	989.9	-10.42	-8.66	230.28	13.55	1.37	13.55	0.53
995.0	1.41	229.34	994.9	-10.51	-8.74	230.26	13.67	1.37	13.67	0.19
1000.0	1.35	232.96	999.9	-10.61	-8.82	230.27	13.79	1.38	13.79	0.25
1000.5	1.35	233.47	1000.4	-10.62	-8.82	230.27	13.80	1.38	13.80	0.28
1007.0*	1.27	237.00	1006.9	-10.74	-8.91	230.32	13.95	1.39	13.95	0.17

\* Messwert extrapoliert



<b>nagra</b>	<b>TECHNISCHER BERICHT NTB 99-12</b>
Bohrlochverlauf, Horizontalprojektion	
<b>Sondierbohrung Benken</b>	DAT.: Dez. 2001 <b>BEILAGE 15</b>

Abweichung [m]  
projiziert auf Azimut 230°



**nagra**

TECHNISCHER BERICHT NTB 99-12

Bohrlochverlauf, Vertikalprojektion

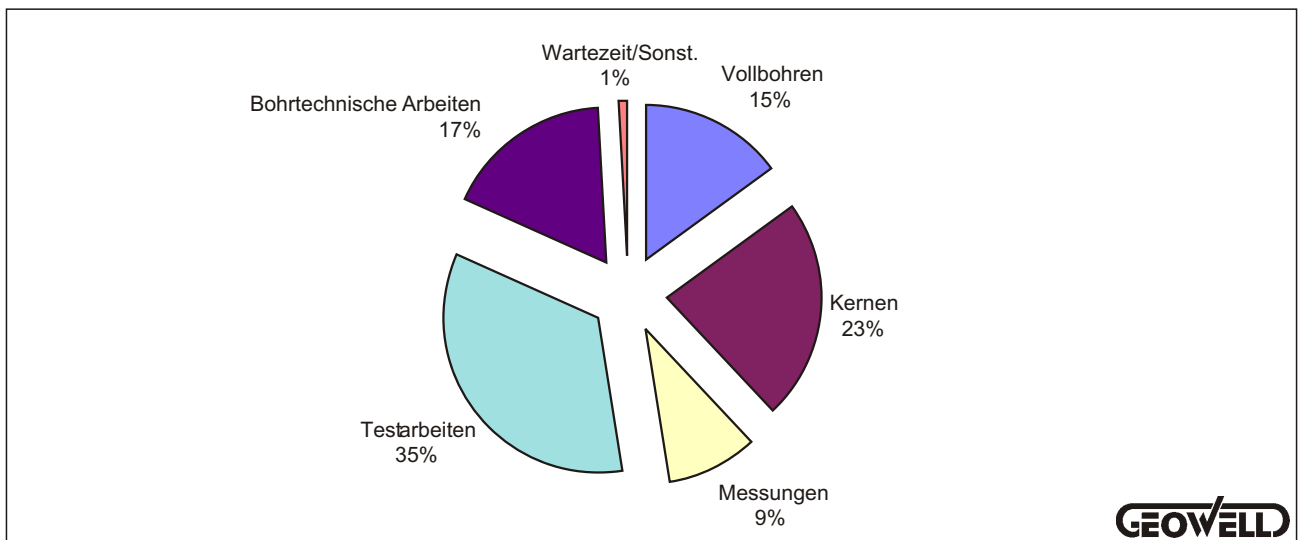
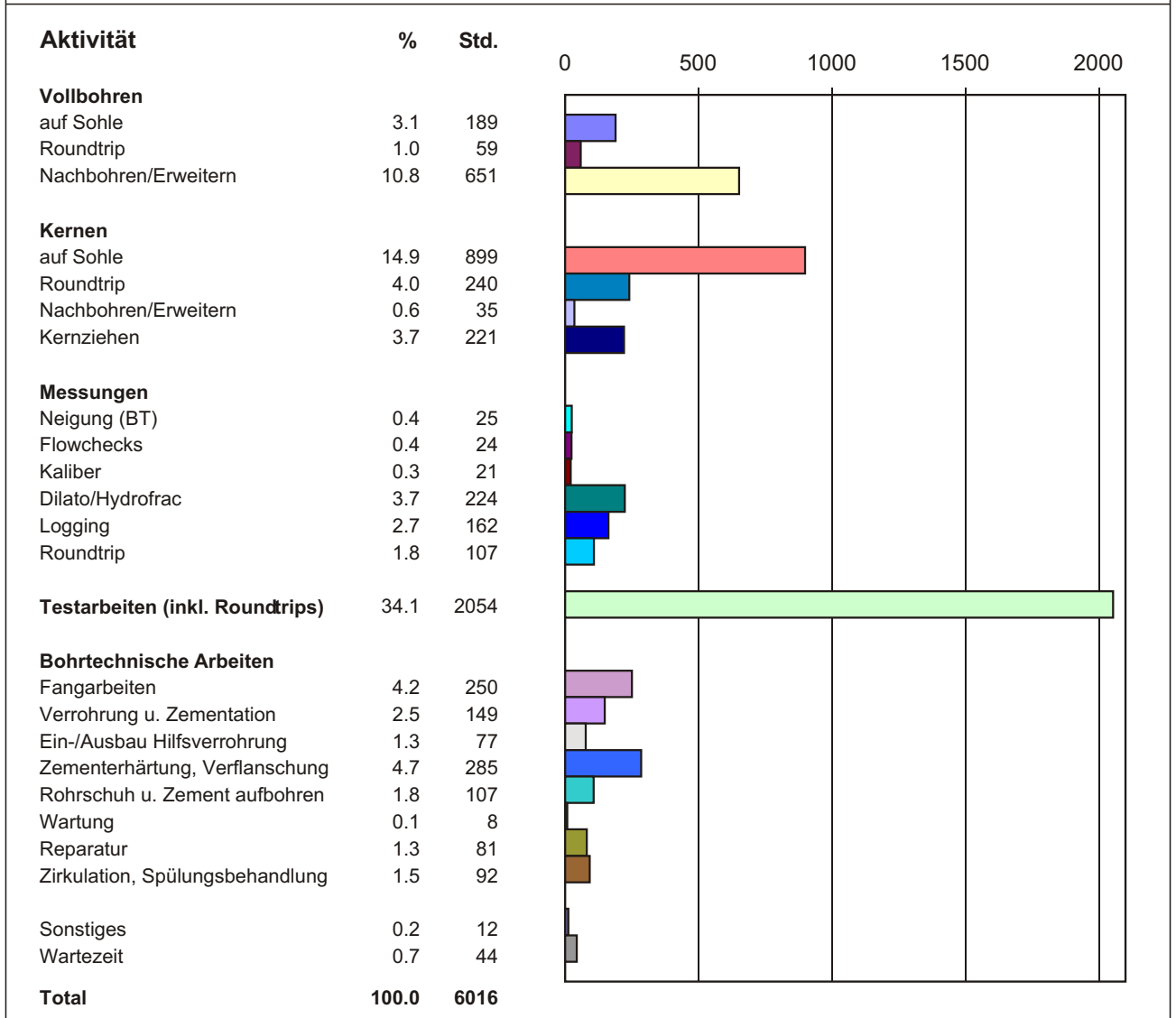
Sondierbohrung Benken

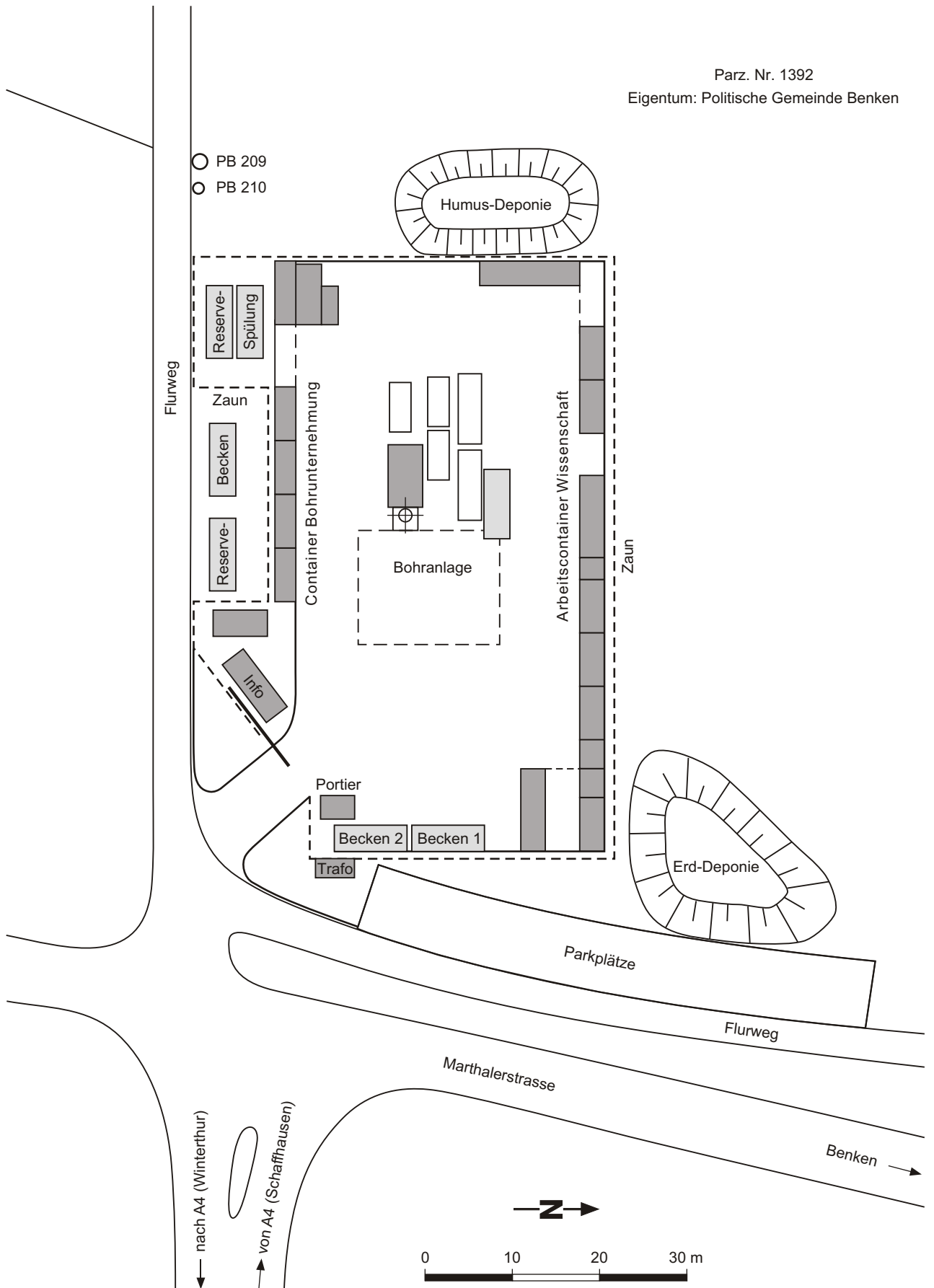
DAT.: Dez. 2001

**BEILAGE 16**

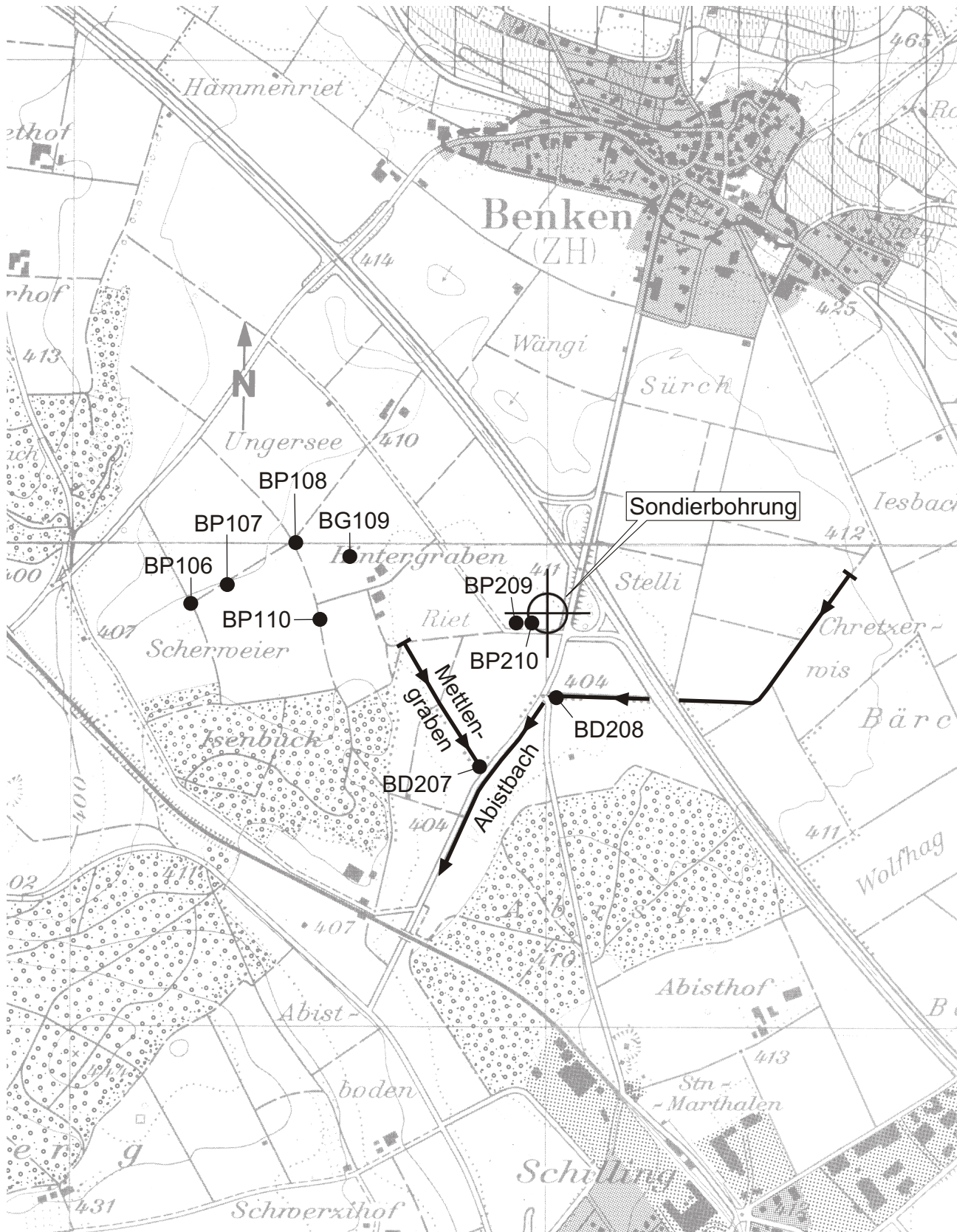
# Sondierbohrung Benken

(03.09.98 - 12.05.99)





<b>nagra</b>	<b>TECHNISCHER BERICHT NTB 99-12</b>
Bohrplatz Übersicht	
Sondierbohrung Benken	DAT.: Dez. 2001 <b>BEILAGE 18</b>



1 km

**nagra**

**TECHNISCHER BERICHT NTB 99-12**

Grundwasserüberwachung  
Lage der Probenentnahmestellen

**Sondierbohrung Benken**

DAT.: Dez. 2001

**BEILAGE 19**