GEO-Meß-Systeme GmbH

MESY GmbH · Meesmannstraße 49 · D-44807 Bochum · FRG

BOREHOLE TESTING
HYDROFRACTURING
STRESS MEASUREMENTS
System Design · Planning
Lab + Field Measurements

ENDBERICHT

HYDROFRAC SPANNUNGSMESSUNGEN IN EINER VERTIKAL - UND EINER HORIZONTALBOHRUNG IM BERGWERK NIEDERBERG NEUKIRCHEN - VLUYN

3. SOHLE, ca. - 630 m

Auftraggeber	: DMT, Essen
Bestell-Nr.	: 124 / 42041016
Bestell-Datum	: 23.03.1995
MeSy-Angebot	: 127.09.94 vom 07.09.1994
MeSy-Berichterstatter	: Dipl.-Geophys. G. Klee Prof. Dr. F. Rummel
Bericht Nr.	: 19.95
Datum	: 19.05.1995

Amtsgericht Bochum 14 HRB 2572
Geschäftsführer: Prof. Dr. F. Rummel

Telefon 02 34 / 5 45 31
Telefax 02 34 / 5 45 33

Sparkasse Bochum
(BLZ 430 500 01) 43 308 618

1. ZIEL DER MESSUNGEN / VORBEMERKUNGEN

Die Bestellung beinhaltete gem. Pos. 1.3 des MeSy - Angebots Nr. 127.09.94 vom 07.09.94 die Durchführung von Hydrofrac - Versuchen zur Primärspannungsermittlung in einer Horizontal- und einer Vertikalbohrung im Bergwerk Niederberg. Die Messungen sollten mit der DMT - eigenen Hydrofrac - Apparatur vorgenommen werden, die für Bohrungen von 60 mm Durchmesser ausgelegt ist. Die Meßapparatur wurde von MeSy vor Beginn der Messungen gewartet, soweit die Einzelteile MeSy zur Verfügung gestellt wurden.

Die in-situ Messungen sollten i.w. durch DMT - Mitarbeiter mit Teilnahme eines erfahrenen MeSy - Meßingenieurs durchgeführt werden. Aus Gründen der Vorsorge für den reibungslosen Ablauf der Messungen stellte MeSy auf eigene Verantwortung jeweils 2 - 3 Mitarbeiter zur Verfügung.

Die Auswahl der Bohrlokationen und die Anlage der Bohrungen (Bohrrichtung) lag allein in Verantwortung der DMT, wie auch die Organisation der Grubenfahrten und die Bereitstellung der Infrastruktur (Bohrkerne für Kernaufnahme, Standrohr in den Bohrungen, Luftdruck, Wasserversorgung, Begleitperson mit entsprechenden Vollmachten).

Die Auswertung der durchgeführten Hydrofrac-Versuche erfolgte durch MeSy. Die Ergebnisse sind im vorliegenden Bericht zusammengefaßt.

2. ANGABEN ZU DEN BOHRUNGEN

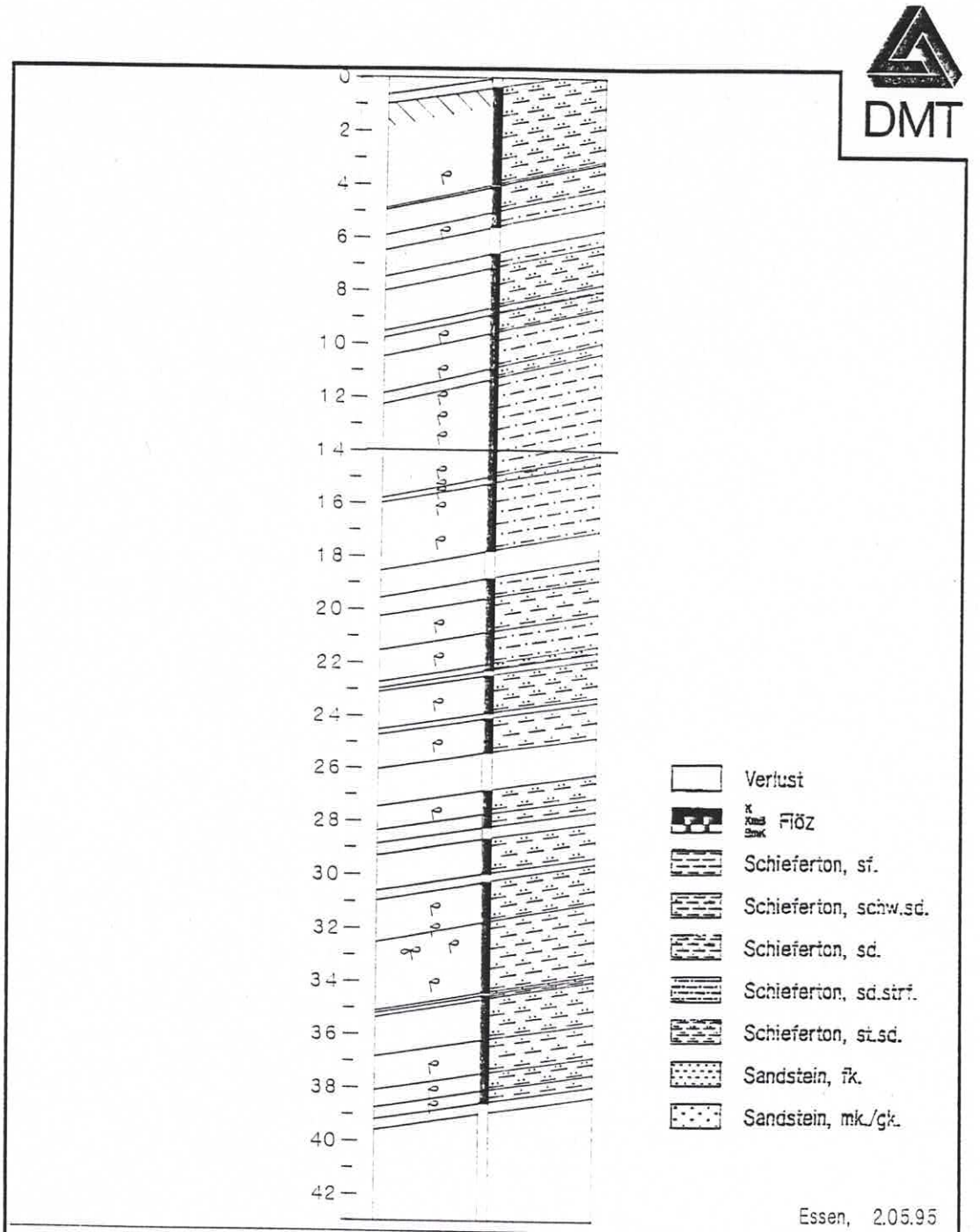
2.1 VERTIKALBOHRUNG NR. 0992 (DMT Untersuchungsbohrung 333)

Lokation	Bergwerk Niederberg, 3. Sohle (ca. - 630 m) Querschlag 2. Ost nach Süden Station : 207
Gauß - Krüger - Koordinaten	RW : 2541770.5 m HW : 5696808.0 m
Höhe, ü. N.N	- 589.3 m
Bohrtiefe	39.5 m
Durchmesser	60 mm
Verrohrung	keine
Geologie	Schieferton (Abb. 2.1)

2.2 HORIZONTALBOHRUNG (DMT Untersuchungsbohrung 335)

Lokation	Bergwerk Niederberg, 3. Sohle (ca. - 630 m) Querschlag 2. Ost nach Süden Station : 295
Gauß - Krüger - Koordinaten	RW : 2541750.0 m HW : 5696893.0 m
Höhe, ü. N.N	- 588.8 m
Bohrtiefe	40.8 m
Durchmesser	60 mm
Verrohrung	keine
Azimuth (N über E)	N 97°
Neigung (bzgl. Horizontal)	2°
Geologie	Schieferton, Sandstein (Abb. 2.2)

Abb. 2.1 : Lithologisches Profil der Vertikalbohrung Nr. 0992

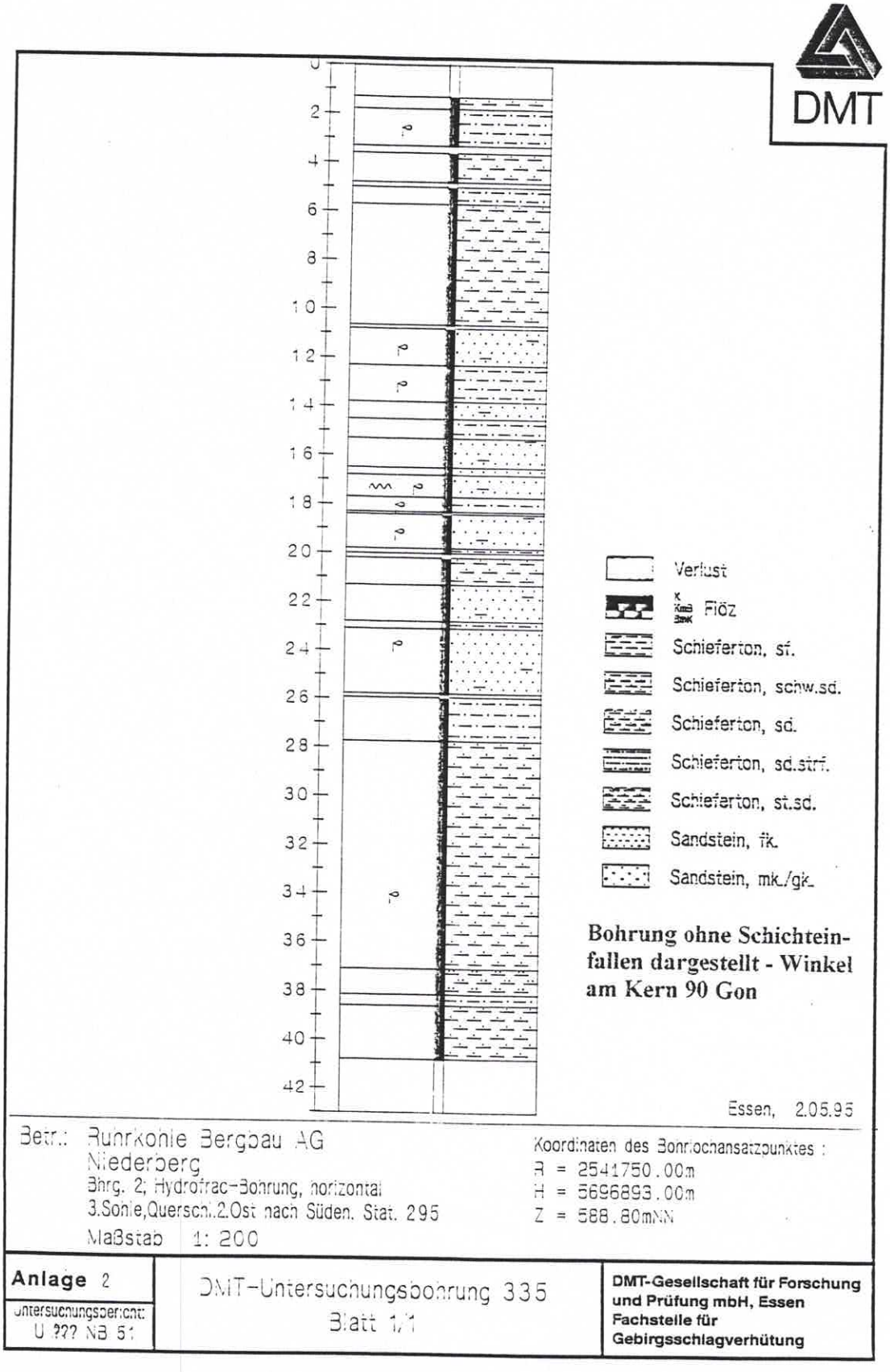


Betr.: Ruhrkohle Bergbau AG
Niederberg
Bhrg. 1; Hydrofrac-Bohrung, vertikal NR:0992
3.Sohle,Querschl.2.Ost nach Süden. Stat. 207
Maßstab 1: 200

Koordinaten des Bohrlochansatzpunktes :
R = 2541770.50m
H = 5696808.00m
Z = ~~326.00mNN~~ 589.30m NN

Anlage 1 Untersuchungsbericht: U ??? NB 51	DMT-Untersuchungsbohrung 333 Blatt 1/1	**DMT-Gesellschaft für Forschung und Prüfung mbH, Essen Fachstelle für Gebirgsschlagverhütung**

Abb. 2.2 : Lithologisches Profil der Horizontalbohrung



3. MESSAPPARATUR

Die Hydraulic-Fracturing Spannungsmessungen wurden mit der Hydrofrac-Apparatur der Deutschen Montan Technologie (DMT) vom Typ MeSy PERFRAC I / 54 durchgeführt. Die Packerelemente der Doppelpackersonde (OD : 47 mm) sind ca. 1 m lang und dichten ein ca. 0.7 m langes Injektionsintervall ab. Die Sonde wird mittels einer Seilwinde mit Stahlseil (OD : 8 mm) und einem Setzgestänge (Ermeto-Rohr, 10 x 2 mm) in die Bohrung eingebracht. Das Setzgestänge dient gleichzeitig als Injektionsleitung in das Testintervall. Die hydraulische Verbindung zwischen den Packerelementen und der Injektionspumpe wurde über einen Hochdruckschlauch vom Typ 1ST (OD : 18 mm / ID : 10 mm) hergestellt, der parallel zum Gestänge in der Bohrung eingebracht wurde. Als Hochdruckpumpe wurde eine pneumatisch betriebene Einkolbenpumpe vom Typ S&K Maximator GW-60 (max. Förderrate : 3 l/min) eingesetzt.

Die Druckregistrierung erfolgte mit einem mechanischen Druckschreiber (max. Druck: 60 MPa) bei einer Papiervorschubgeschwindigkeit von 2 cm/min.

Die Bestimmung der Orientierung der induzierten bzw. stimulierten Risse erfolgte mit einem ca. 1 m langen Abdruckpacker, der mit einer duktilen Gummimanschette versehen war in Verbindung mit einem magnetischen, Schlagwetter-geschützten Single-Shot-Gerät vom Typ EW-RG5.

4. DURCHFÜHRUNG DER HYDROFRAC - VERSUCHE

Aufgrund von Messungen in ca. 40 Bohrungen auf verschiedenen Ruhrkohle Bergwerken hat MeSy in Zusammenarbeit mit DMT Erfahrung bei der systematischen Durchführung von open-hole Messungen gewonnen. Diese Meßdurchführung bedingt folgendes Vorgehen:

- Zunächst Durchführung der Hydrofrac - Versuche in einer Vertikalbohrung mit Standrohrabsicherungen nach einer detaillierten Kernaufnahme und anschließend Abdruckpacker-Tests.

- Bestimmung der Bohrrichtung für die Horizontalbohrung aufgrund der Ergebnisse der Messungen in der Vertikalbohrung.

- Durchführung der Messungen in der Horizontalbohrung, wiederum nach deren Kernaufnahme zur Auswahl geeigneter Frac-Intervalle und zur Feststellung von Bereichen von Bohrlochstabilität

Der Ablauf eines einzelnen Hydrofrac-Tests kann wie folgt zusammengefaßt werden:

- Positionieren der Frac-Sonde in Meßteufe.

- Injektion in die Packer zum Anpressen der Packer an die Bohrlochwand.

- Injektion in das Testintervall und Erhöhung des Intervalldrucks auf 5 - 10 MPa mit anschließender Beobachtung des Druckabfalls bei geschlossenem System (Druckstoß- bzw. Permeabilitäts-Test).

- Druckentlastung des Meßintervalls.

- Injektion in das Meßintervall bis zum Erreichen des Frac-Drucks P_c (plötzlicher Druckabfall durch Induzierung eines Risses) bzw. bis zur Öffnung eines vorhandenen Risses.

- Vollständige Druckentlastung des Meßintervalls.

- Anschließend mehrere Injektionszyklen zur Bestimmung des Öffnungs- (Refrac-Druck P_r) und Einschließdrucks (Shut-in Druck P_{si}).

- Druckentlastung der Packer und Positionierung der Sonde in der nächsten Testtiefe

Nach Abschluß der Hydrofrac-Versuche wurden Abdruckpackertests zur Bestimmung der räumlichen Orientierung der induzierten Risse durchgeführt. Die Abdruckpackertests liefen nach folgendem Schema ab:

- Positionierung der Abdruckpacker-Sonde in einer Teufe, in der vorher ein Frac-Versuch erfolgte.

- Anpressen des Abdruckpackers an die Bohrlochwand mit einem Druck höher als der Rißöffnungsdruck über einen Zeitraum von etwa 15 Minuten.

- Entlastung der Abdruckpackersonde und Ausfahrt der Sonde.

- Aufzeichnung der Rißspuren am Packer auf eine Plastikfolie sowie Entwicklung des Filmplättchens der Single-Shot-Kompaßkamera.

Der zeitliche Ablauf der Hydrofrac-Messungen im Bergwerk Niederberg ist in Tabelle 4.1 aufgelistet. Die Messungen waren dabei von organisatorischen und technischen Schwierigkeiten begleitet, die im folgenden zusammengefaßt sind:

- Die Vertikalbohrung war zunächst nicht auffindbar, außerdem durch kein Standrohr gesichert.

- Aufgrund falscher Informationen wurde das Kernmaterial der Vertikalbohrung zweimal aufgenommen.

- Bohrlochinstabilitäten verhinderten den Einbau der Hydrofrac-Sonde bis zur Endteufe der Bohrung und verursachten ein Verklemmen der Sonde.

- Zur Vorbeugung eines möglichen Verlustes der DMT Hydrofrac-Sonde wurden anschließend keine Frac-Versuche in der Vertikalbohrung durchgeführt.

- Wegen zunächst fehlender Bohrkerne konnten die Messungen in der Horizontalbohrung erst mit erheblichen Verzögerungen begonnen werden (man bringt keine Sonde "blind" in eine Bohrung).

- Die Horizontalbohrung war für die Spannungsmessungen nicht optimal orientiert (bei einem Azimuth von N 97° verläuft die Bohrung weder parallel noch senkrecht zur NW-SE Richtung der maximalen horizontalen Kompression in Mitteleuropa).

- In der Horizontalbohrung wurden insgesamt 7 erfolgreiche Hydrofrac-Versuche inklusive Abdruckpackertests im Teufenbereich 29 m bis 9.5 m durchgeführt (ein Einbau der Meßsonde bis zur Endteufe der Bohrung war aufgrund von Bohrlochinstabilitäten nicht möglich).

Tab. 4.1 : Zeitlicher Ablauf der Hydrofrac-Messungen im Bergwerk Niederberg

29.03.95	6.15 - 14.00	Arbeitszeit MeSy - Mitarbeiter MeSy Mitarbeiter : Dipl.-Ing Hegemann Dipl.-Geophys. Kramer Dipl.-Geophys. Renner DMT Mitarbeiter : Dipl.-Geol. Huwe Dipl.-Ing. Schultheis
	8.00	Seilfahrt
	9.00	Ankunft Bohrstelle Vertikalbohrung Bohrloch weist kein Standrohr auf und kann nicht aufgefunden werden
	9.00 - 14.15	Kernaufnahme Vertikalbohrung sowie Inventur Meßeinrichtung
	12.00	Seilfahrt
	14.00	Ankunft bei MeSy
05.04.95	6.30 - 14.00	Arbeitszeit MeSy Mitarbeiter MeSy Mitarbeiter : Dipl.-Geophys. Kramer Dipl.-Geophys. Renner DMT- Mitarbeiter : Dipl.-Ing. Schultheis Dipl.-Ing. Wüllenweber Dr. Stadie
	7.00	Seilfahrt
	8.00	Kernaufnahme "Vertikalbohrung" (statt Horizontalbohrung), Aufbau der Apparatur an der Horizontalbohrung
	10.30	Entscheidung wegen fehlender Kerne der Horizontalbohrung auf Messung zu verzichten. Abbau der Meßapparatur
	12.00	Seilfahrt
	14.00	Ankunft MeSy

Tab. 4.1 : Fortsetzung

10.04.95	5.30 - 17.00	Arbeitszeit MeSy Mitarbeiter MeSy Mitarbeiter : Dipl.-Geophys. Klee Dipl.-Geophys. Kramer Dipl.-Geophys. Renner DMT Mitarbeiter : Dipl.-Geol. Hucke Dipl.-Ing. Schultheis Dipl.-Ing. Wüllenweber
	7.00	Seilfahrt
	7.55 - 8.30	Kernaufnahme Horizontalbohrung
	9.00 - 14.00	Durchführung von 7 Hydrofrac - Tests in der Horizontalbohrung im Teufenbereich 9.5 m bis 29.0 m (tieferer Einbau der Sonde nicht möglich)
	15.00	Seilfahrt
	17.00	Ankunft bei MeSy
11.04.95	5.30 - 16.40	Arbeitszeit MeSy Mitarbeiter MeSy Mitarbeiter : Dipl.-Geophys. Kramer Dipl.-Geophys. Renner DMT Mitarbeiter : Dipl.-Ing. Schultheis
	7.00	Seilfahrt
	8.00 - 14.00	Durchführung von 7 Abdruckpacker-Tests in der Horizontalbohrung
	15.00	Seilfahrt
	16.40	Ankunft bei MeSy
12.04.95	5.30 - 16.15	Arbeitszeit MeSy Mitarbeiter MeSy Mitarbeiter : Dipl.-Geophys. Kramer Dipl.-Geophys. Weber DMT Mitarbeiter : Dipl.-Ing. Schultheis Dipl.-Ing. Wüllenweber
	7.00	Seilfahrt
	8.00	Befahrung der Vertikalbohrung mit speziell angefertigtem Stahlrohr - Dummy, Bohrung frei bis 25 m Tiefe

Tab. 4.1 : Fortsetzung

12.04.95	9.00	Einbau Frac-Sonde bis 16 m Tiefe, Sonde steht auf (tieferer Einbau nicht möglich), Entscheidung für Versuch einer erneuten Dummy-Befahrung, danach Ausfahrt der Frac-Sonde mit hoher Schleiflast, in 8 m Tiefe sitzt Sonde fest, Abriß des Sicherungsseils
	12.00	Abbruch der Sondenbergung, Sicherung der Sonde über Setzgestänge und abgerissenem Seil
	14.00	Seilfahrt
	16.15	Ankunft bei MeSy
13.04.95	5.30 - 15.30	Arbeitszeit MeSy Mitarbeiter MeSy Mitarbeiter : Dipl.-Geophys. Kramer Dipl.-Geophys. Weber DMT Mitarbeiter : Dipl.-Ing. Schultheis Dipl.-Ing. Wüllenweber
	7.00	Seilfahrt
	8.00 - 11.00	Bergung der Frac-Sonde mit 2 Kettenzügen, Nachfall aus der Bohrlochwand bewirkte ein Aufweiten der Spreizhülsen und verursachte die erhöhte Schleiflast bzw. das Festsitzen der Sonde
	13.00	Seilfahrt
	15.30	Ankunft bei MeSy

5. AUSWERTUNG DER MESSUNGEN UND ERGEBNISSE

5.1 AUSWERTEVERFAHREN

Die Auswertung der Hydrofrac-Versuche erfolgte nach dem sog. klassischen Hydraulic-Fracturing-Konzept [HUBBERT und WILLIS, 1957] mit folgenden Annahmen:

- Die Bohrung verläuft in Hauptspannungsrichtung.
- Das Gebirge ist homogen, isotop und impermeabel.
- Der erzeugte Riß verläuft senkrecht zur kleinsten Hauptspannung.

Die Annahmen liefern folgende Beziehungen zur Spannungsfeldberechnung aus den charakteristischen Hydrofrac-Druckwerten:

- vertikale Bohrung mit axialen Rissen in Richtung von S_H

$$P_c = 3 \cdot S_h - S_H + P_{co}$$
$$P_{si} = S_h$$
$$P_{co} = P_c - P_r$$

mit P_c : Frac-Druck (Rißinitierung)
P_r : Refrac-Druck (Rißöffnung)
P_{si} : Shut-in-Druck (Einschließdruck)
P_{co} : in-situ Gebirgszugfestigkeit
S_h, S_H : kleinere und größere horizontale Hauptspannung

- horizontale Bohrung in Richtung S_H

• axiale, vertikale Risse ($S_v > S_h$):

$$P_{si} = S_h$$
$$3 \cdot P_{si} - P_r = S_v$$

• axiale, horizontale Risse ($S_h > S_v$):

$$P_{si} = S_v$$
$$3 \cdot P_{si} - P_r = S_h$$

mit S_v : Vertikalspannung

- horizontale Bohrung in Richtung von S_h

• radiale Risse ($S_v > S_h$)

$$P_{si} = S_h$$

• axiale, horizontale Risse ($S_h > S_v$)

$$P_{si} = S_v$$
$$3 \cdot P_{si} - P_r = S_H$$

In den Gleichungen ist der Einfluß des Porendrucks P_o in den nahezu "trockenen" Untertagebohrungen vernachlässigt.

5.2 ERGEBNISSE IN DER HORIZONTALBOHRUNG

In der Horizontalbohrung konnten im Teufenbereich 9.5 m bis 28.95 m insgesamt 7 Hydrofrac- und Abdruckpackertests durchgeführt werden. Kopien der Druckaufzeichnungen sind in ANHANG A, Kopien der Rißspuren der induzierten bzw. stimulierten Risse sind in ANHANG B gegeben.

Die charakteristischen Druckwerte Frac-Druck P_c, Refrac-Druck P_r und Shut-in-Druck P_{si} sind in Tabelle 5.1 zusammengefaßt und in Abbildung 5.1 graphisch dargestellt.

Die Frac-Druckwerte P_c variieren dabei zwischen 10.5 MPa und 19.0 MPa, die Refrac-Druckwerte zwischen 8.0 MPa und 16.5 MPa. Die daraus resultierende hydraulische Zugfestigkeit $P_{co} = P_c - P_r$ beträgt im Mittel 3.5 ± 1.7 MPa. Die deutlich ausgeprägten Shut-in-Drücke liegen zwischen 4.0 und 13.0 MPa. Auffällig der deutliche Anstieg der Shut-in- und Refrac-Druckwerte zwischen 23.0 und 25.0 m Tiefe, der durch folgende mittlere charakteristische Druckwerte angegeben werden kann:

Teufenbereich m	P_c MPa	P_r MPa	P_{si} MPa
9.5 - 23	14.1 ± 3.1	9.5 ± 1.8	5.9 ± 1.9
25 - 29	18.2 ± 0.8	15.8 ± 0.7	12.8 ± 0.3

Die Ergebnisse der Auswertung der Abdruckpackertests sind in Tabelle 5.2 zusammengefaßt. Dabei zeigt sich, daß aufgrund der ungünstigen Orientierung der Untersuchungsbohrung zum Primärspannungsfeld überwiegend radiale Risse erzeugt wurden. Das Streichen θ [N über E] dieser steilstehenden Risse (Einfallswinkel α = 81 ° ± 7°) beträgt mit Ausnahme der Rißspur in 9.5 m Tiefe im Mittel θ = 155° ± 32°. In diesem Fall kann lediglich die kleinere horizontale Hauptspannung S_h aus dem Hydrofrac-Versuch angegeben werden.

Sie beträgt im Mittel :

Teufenbereich, m	S_h, MPa
11 - 23	6.3 ± 2.1
25 - 29	12.8 ± 0.3

Der in 28.95 Tiefe erzeugte axiale steilstehende Riß erlaubt zusätzlich eine grobe Abschätzung der Vertikalspannung. Danach beträgt S_v etwa 22.5 MPa, gegenüber einem rechnerischen Überlagerungsdruck S_v* für eine mittlere Deckgebirgsdichte von 2.5 g/cm^3 von S_v* = 15.4 MPa. Die Abschätzung ist aufgrund nur eines Meßwerts wenig gesichert, deutet jedoch auf eine signifikant erhöhte Vertikalspannung hin.

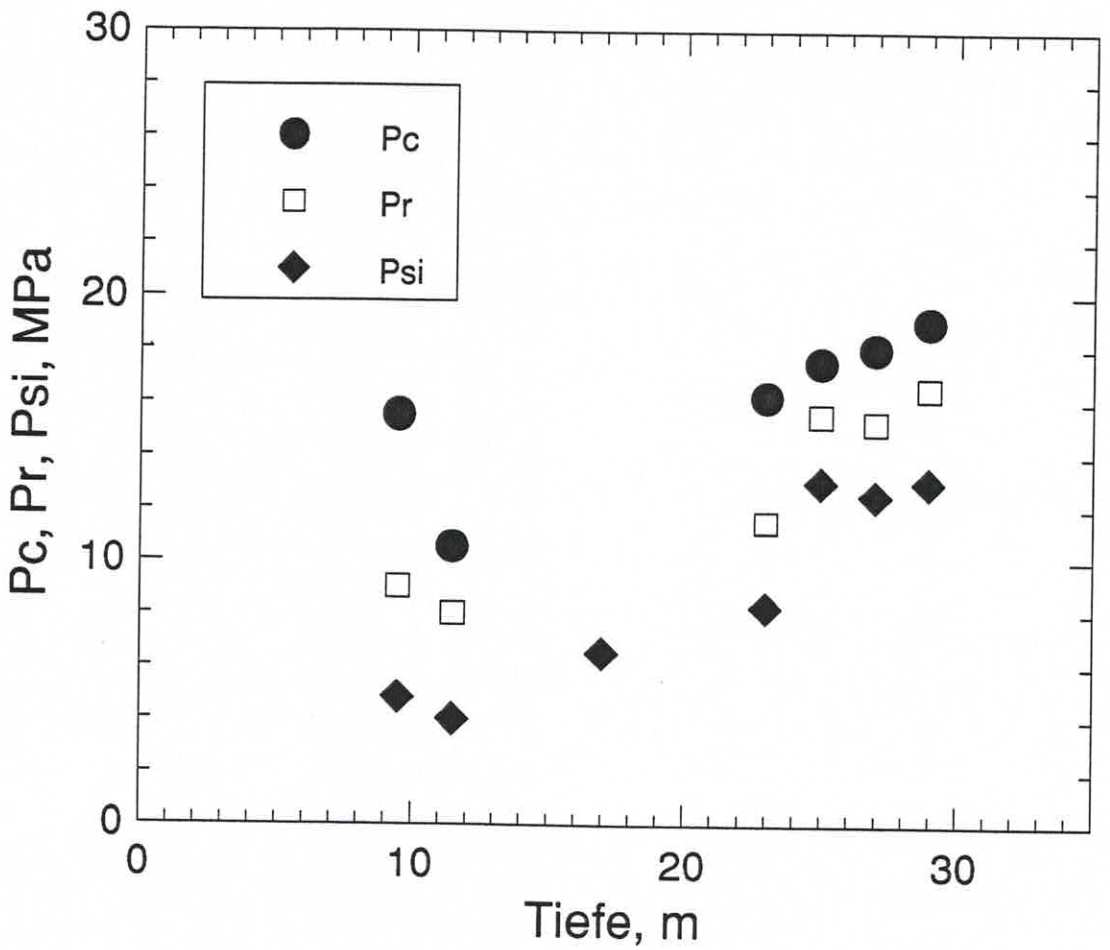
Tab. 5.1 : Frac-Druck P_c, Refrac-Druck P_r und Shut-in-Druck P_{si} in der Horizontalbohrung

Tiefe m	P_c MPa	P_r MPa	P_{si} MPa
9.5	15.5	9.0	4.8
11.5	10.5	8.0	4.0
17.0	--	--	6.5
23.0	16.2	11.5	8.25
25.0	17.5	15.5	13.0
27.0	18.0	15.25	12.5
28.95	19.0	16.5	13.0

Tab. 5.2 : Orientierung der hydraulisch induzierten bzw. stimulierten Risse in der Horizontalbohrung (θ : Streichen N über E, α : Einfallswinkel bzgl. Horizontal, ß : Einfallsrichtung N über E)

Tiefe m	θ deg.	α deg.	ß deg.	Bemerkung
9.5	33	63	133	radialer Riß
11.5	136	87	46	dto.
17.0	165	89	75	dto.
23.0	157	78	67	dto.
25.0	17	82	107	dto.
27.0	171	80	261	dto.
28.95	105	71	195	axialer Riß
	(96)	(55)	(186)	

Abb. 5.1 : Frac-Druck P_c, Refrac-Druck P_r und Shut-in-Druck P_{si} als Funktion der Tiefe in der Horizontalbohrung



6. ZUSAMMENFASSENDE BEWERTUNG DER HYDROFRAC - MESSUNGEN

Obwohl die Durchführung von Hydrofrac-Versuchen in der Vertikalbohrung nicht möglich war und die Orientierung der Horizontalbohrung nicht optimal gewählt wurde, können aus den Messungen folgende Ergebnisse abgeleitet werden:

(i) Die Auswertung der Rißorientierungen ergibt eine Richtung von N 155° ± 32° der größeren horizontalen Hauptspannung S_H. Die NW - SE Orientierung entspricht den Ergebnissen von Hydrofrac-Messungen in anderen Ruhrkohle-Bergwerken und stimmt mit den Vorstellungen zur Orientierung des Hauptspannungsfeldes überein, die im Rahmen der Plattentektonik verständlich sind (Abb. 6.1).

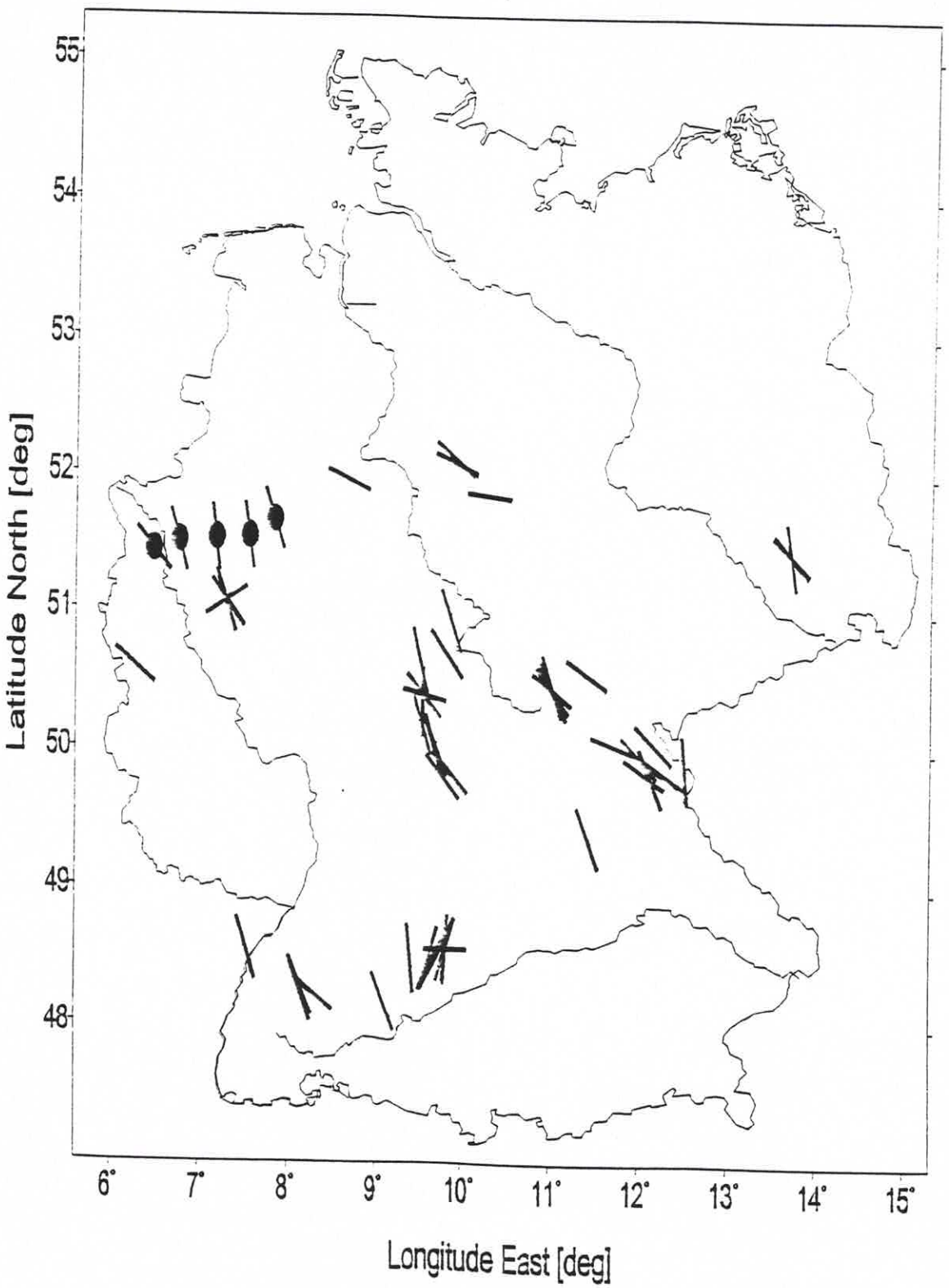
(ii) Die in der Horizontalbohrung ab 25 m Tiefe gemessenen Shut-in-Drücke betragen im Mittel 12.8 ± 0.3 MPa. Der Wert von ca. 13 MPa sollte dabei der kleineren horizontalen Hauptspannung S_h im Fernfeld der Strecke entsprechen.

(iii) Für zukünftige Untertage-Spannungsmessungen wird eine detaillierte Planung, speziell hinsichtlich der Durchführung der Messungen und der Anlage der Untersuchungsbohrungen (Verrohrung, Bohrrichtung) empfohlen.

7. LITERATUR

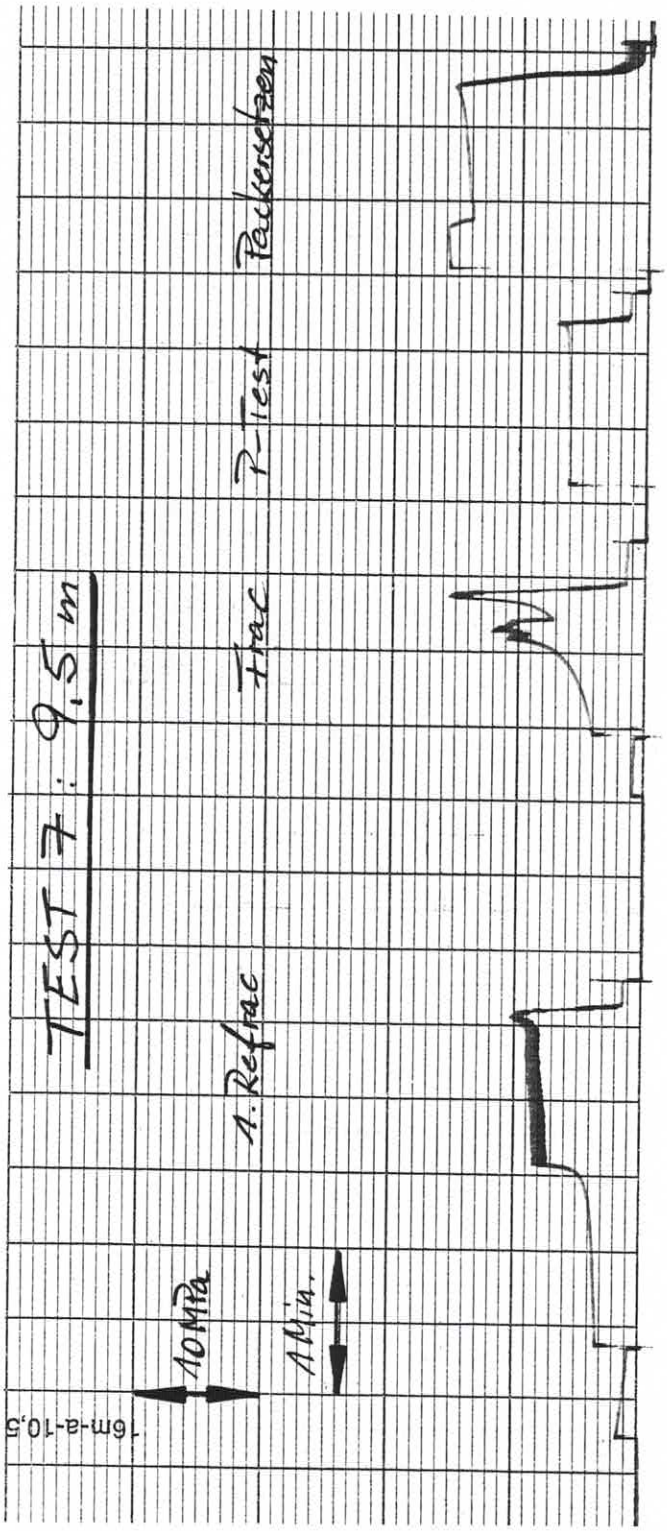
HUBBERT, M.K. and D.G. WILLIS (1957) : Mechanics of hydraulic fracturing. J. Petrol. Techn., Vol. 9, pp. 153 - 158.

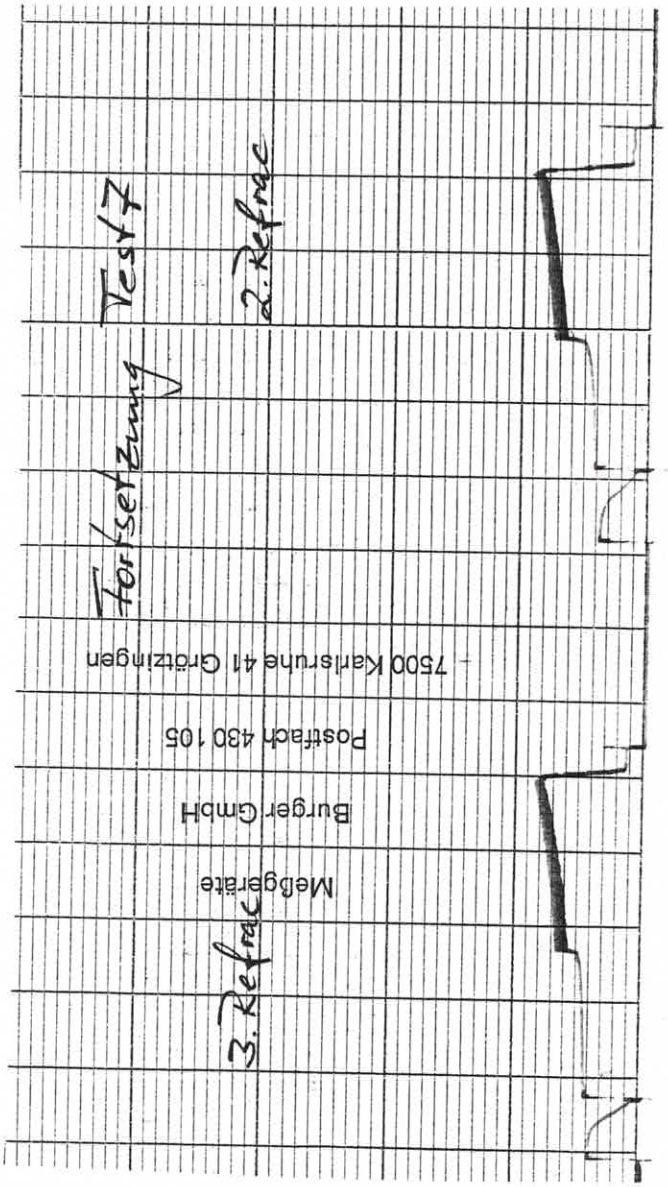
Abb. 6.1 : Orientierung der maximalen horizontalen Kompression S_H in Mitteleuropa abgeleitet aus Hydrofrac-Spannungsmessungen. Die Punkte markieren Ergebnisse in Ruhrkohle - Schachtanlagen

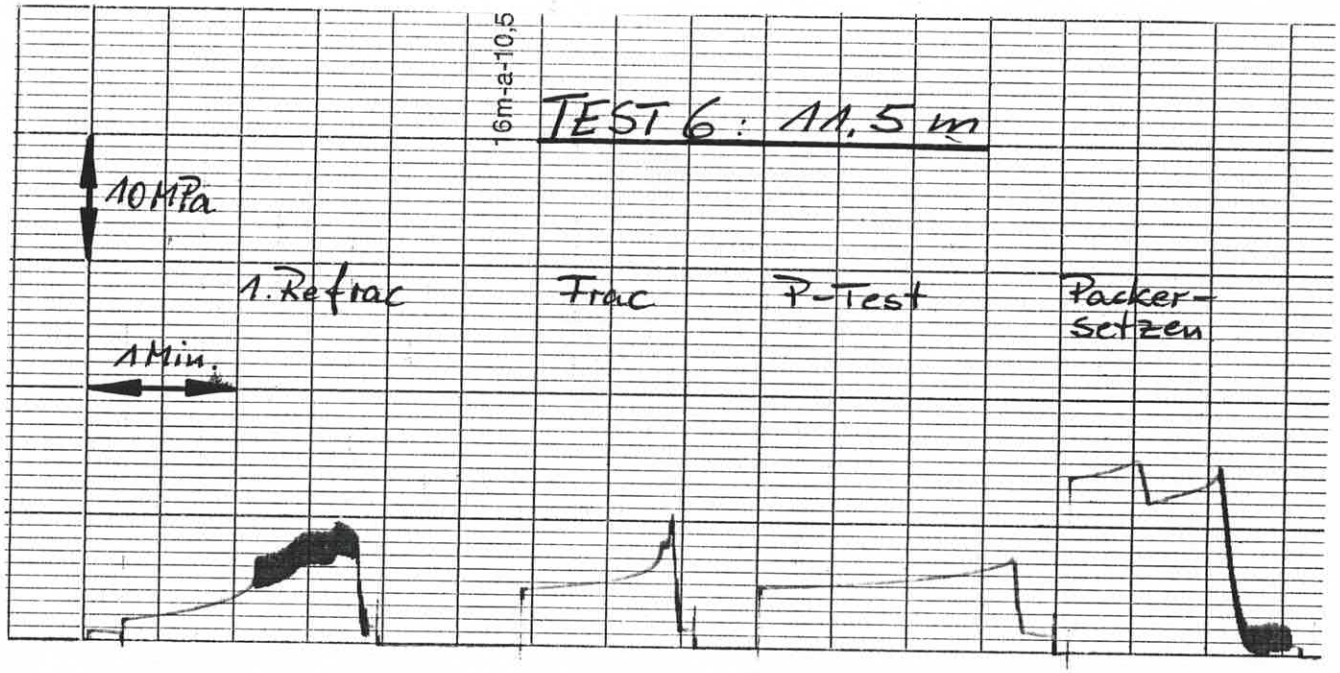


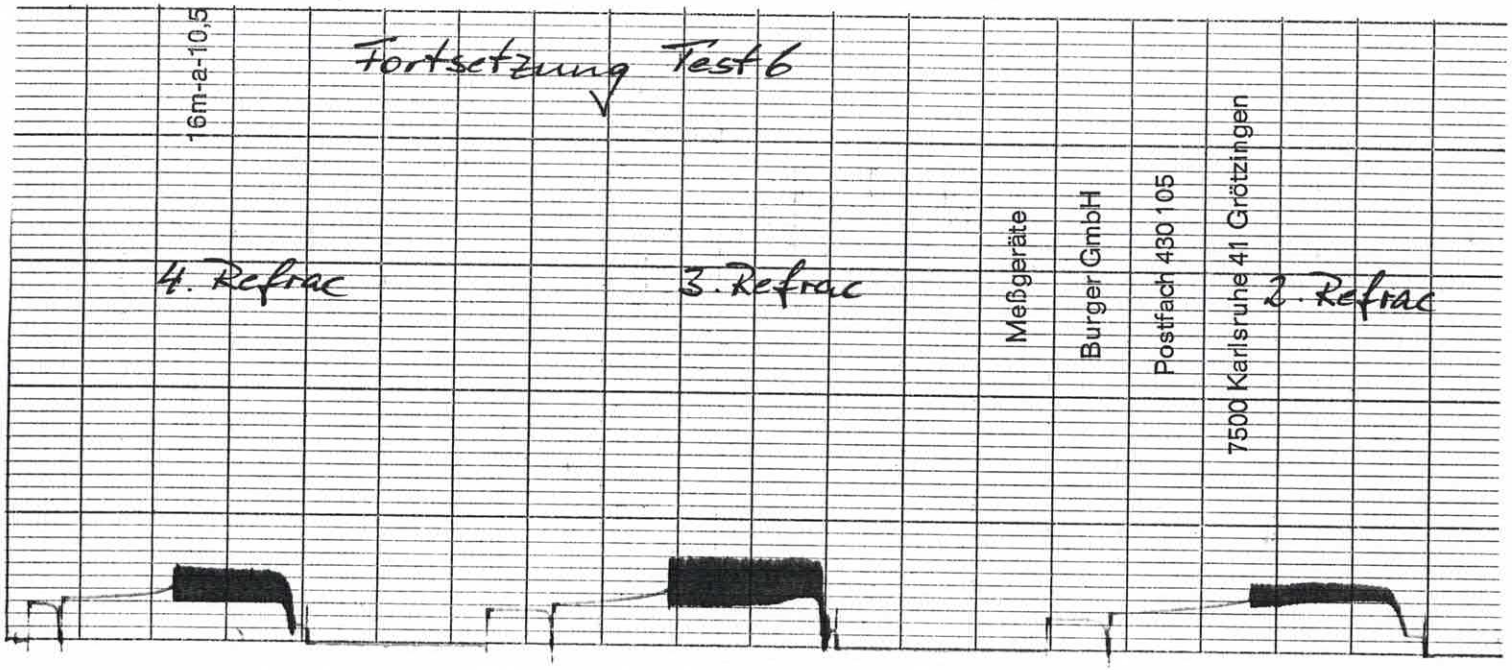
ANHANG A

Kopien der Druckaufzeichnungen der Frac - Versuche
in der Horizontalbohrung

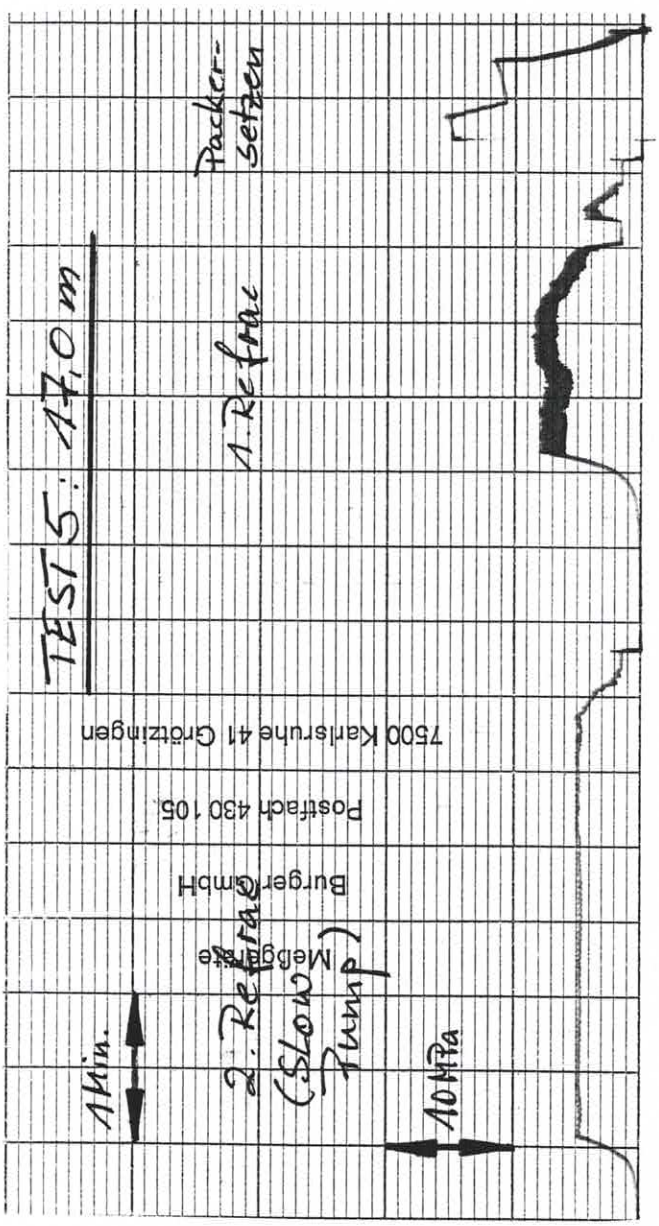

TEST 7 : 9,5 m
1. Refrac
Frac
P-Test
Packersetzen
10 MPa
1 Min.
16m-a-10,5

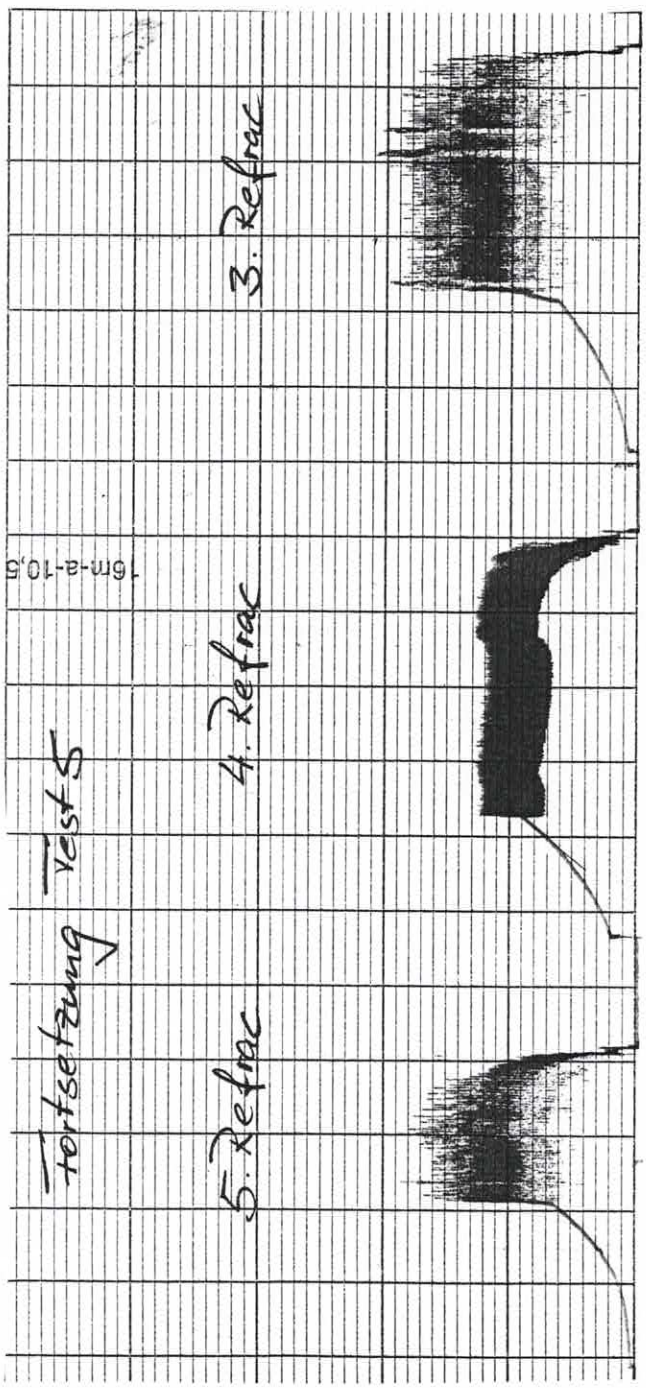

3. Refrac
Fortsetzung Test 7
2. Refrac
Meßgeräte
Burger GmbH
Postfach 430 105
7500 Karlsruhe 41 Grötzingen

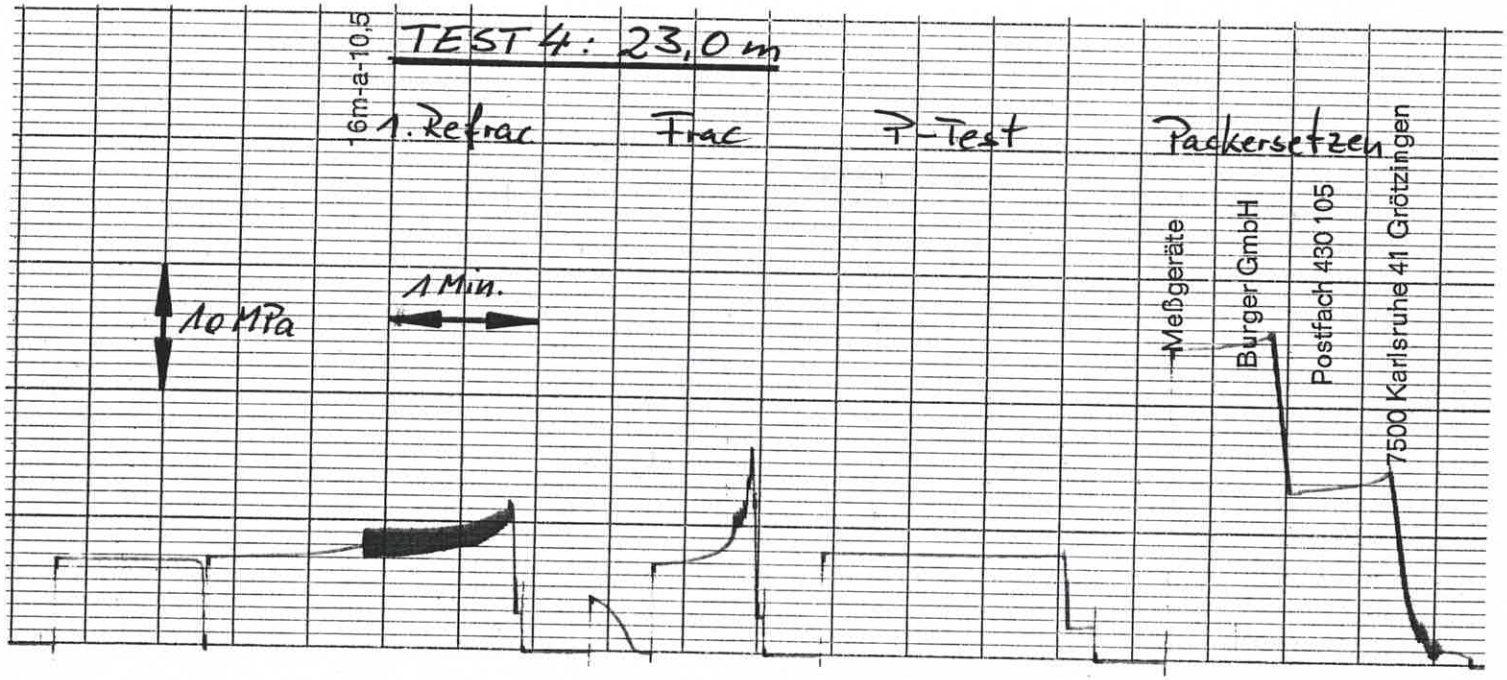


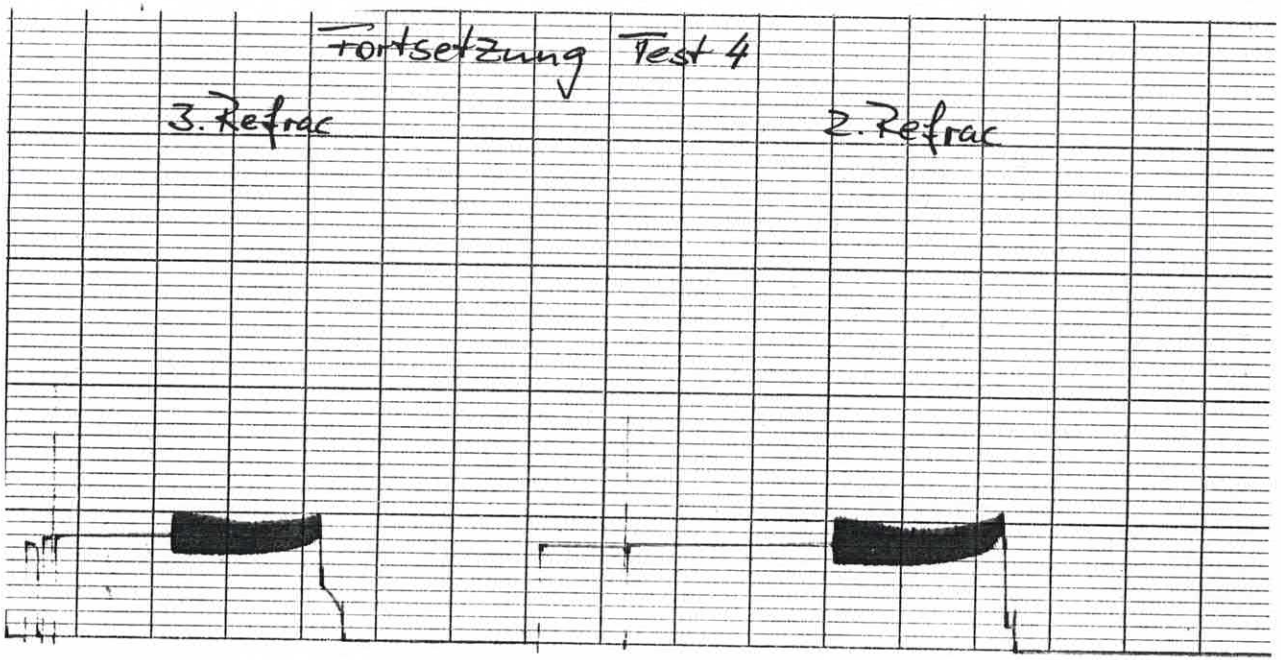


MeSy GEO-Meß-Systeme GmbH
Meßgeräte
Burger GmbH
Postfach 430 105
7500 Karlsruhe 41 Grötzingen

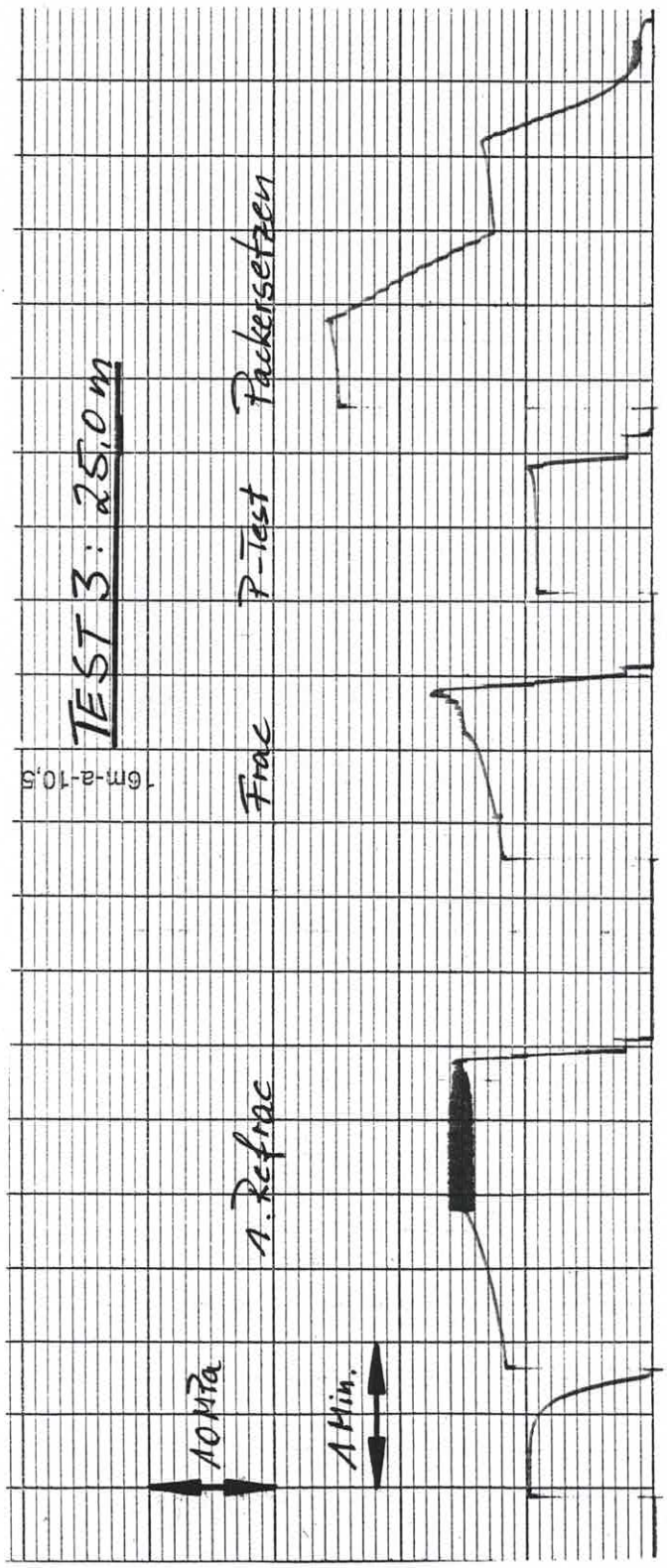

TEST 5: 17,0 m
1 Min.
10 MPa
2. Refrac (Slow Pump)
1. Refrac
Packer-setzen
Meßgeräte
Burger GmbH
Postfach 430 105
7500 Karlsruhe 41 Grötzingen

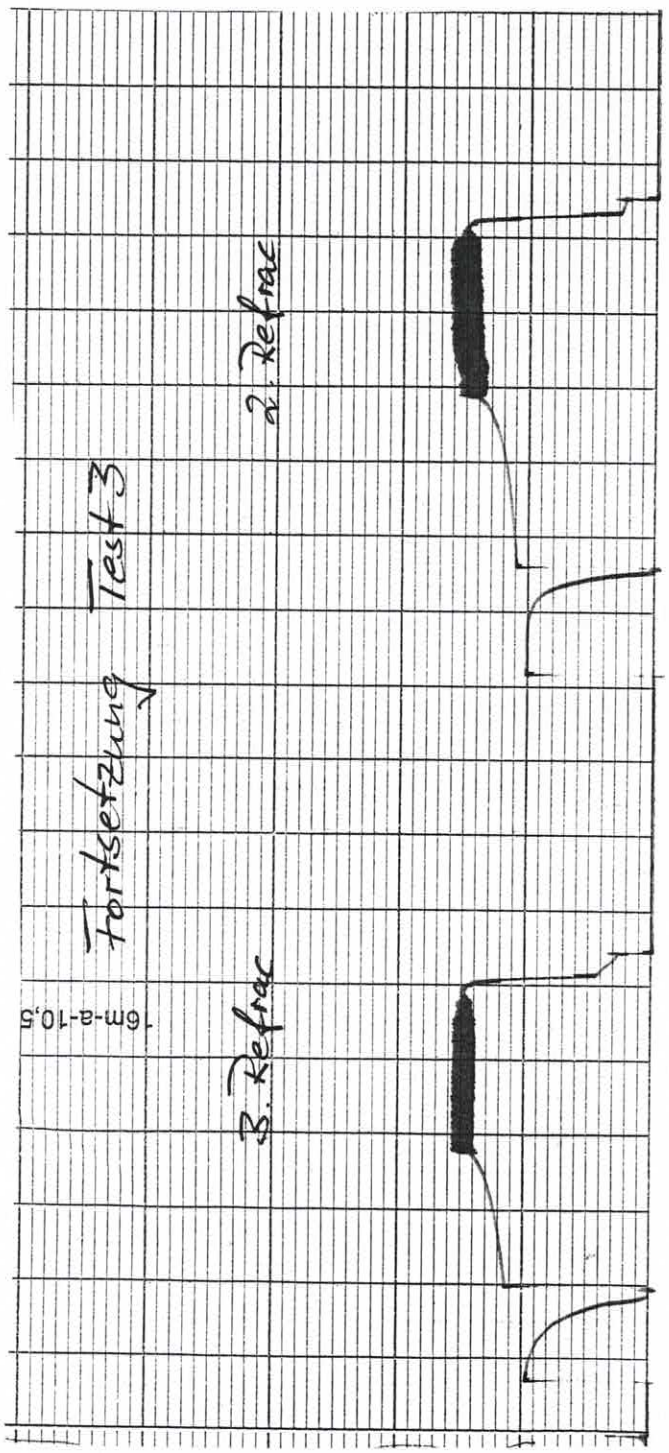

Fortsetzung Test 5
5. Refrac
4. Refrac
3. Refrac
16m-a-10,5



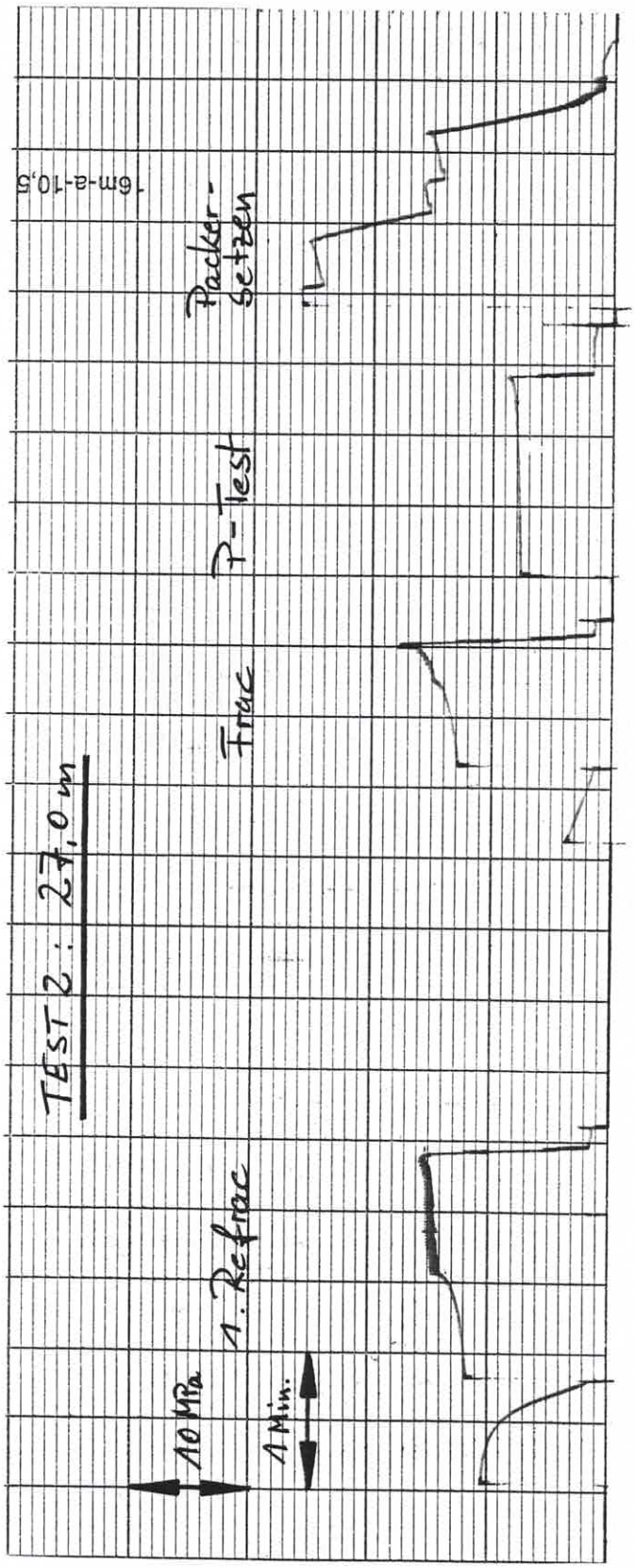


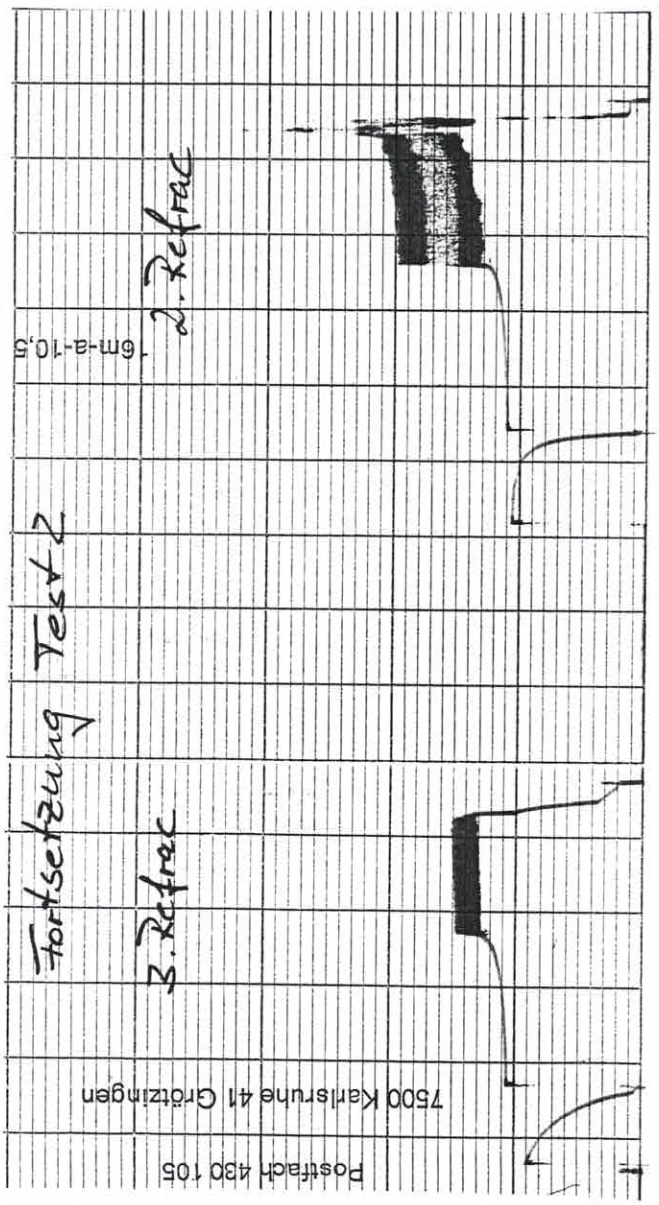
MeSy GEO-Meß-Systeme GmbH
Meßgeräte Burger GmbH
Postfach 430 105
7500 Karlsruhe 41 Grötzingen


TEST 3: 25,0 m
6m-a-10,5
1. Refrac
Frac
P-Test
Packersetzen
10 MPa
1 Min.


Fortsetzung Test 3
6m-a-10,5
3. Refrac
2. Refrac

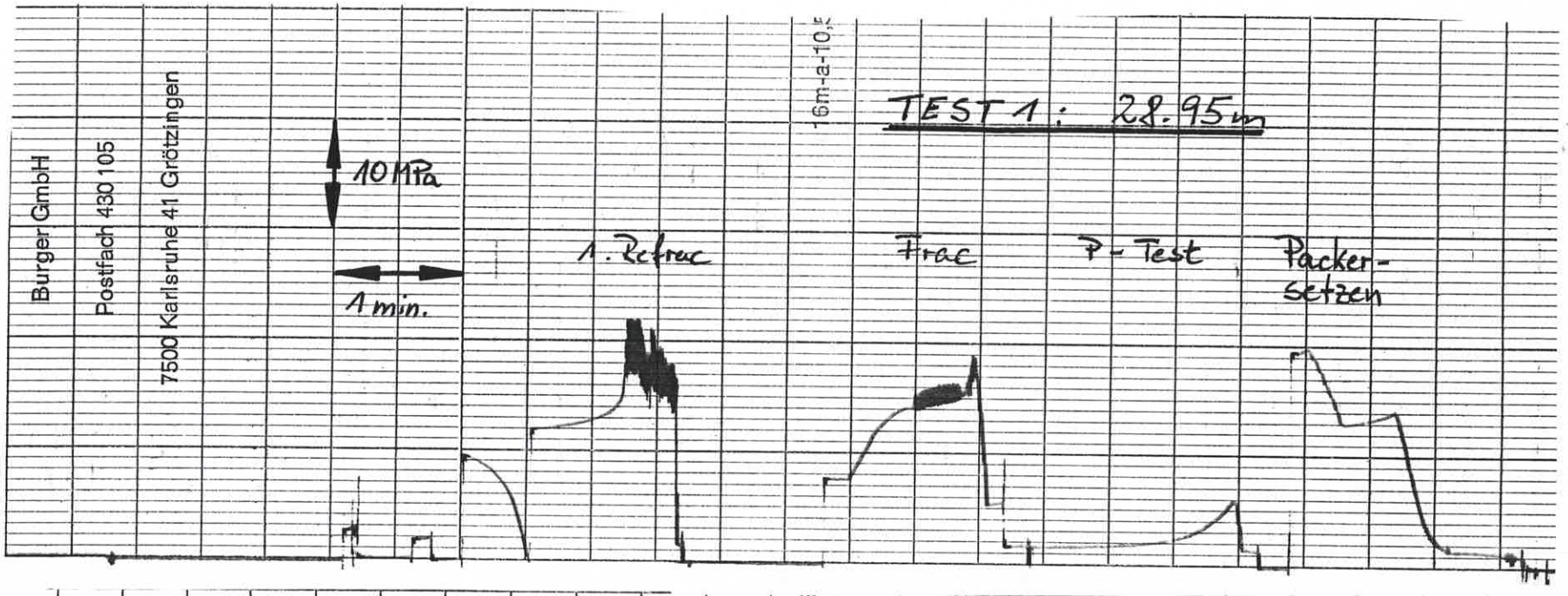
MeSy
GEO-Meß-Systeme GmbH

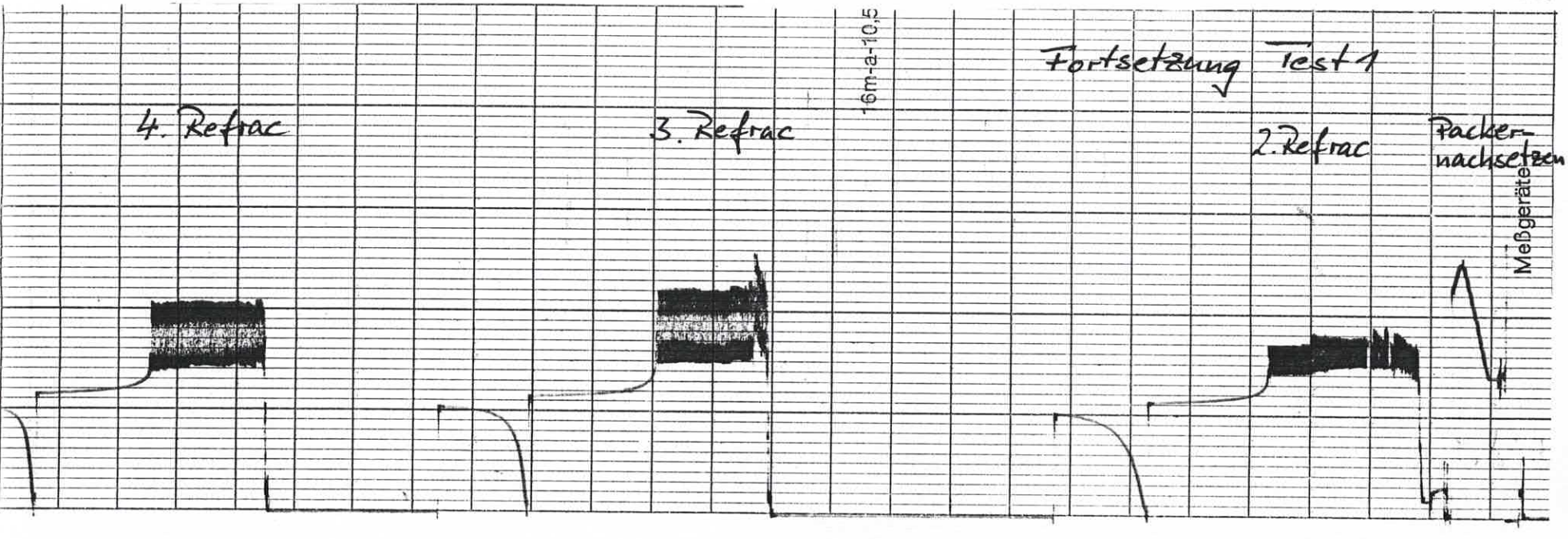




Postfach 430 105
7500 Karlsruhe 41 Grötzingen

Burger GmbH
Postfach 430 105
7500 Karlsruhe 41 Grötzingen





MeSy GEO-Meß-Systeme GmbH

ANHANG B

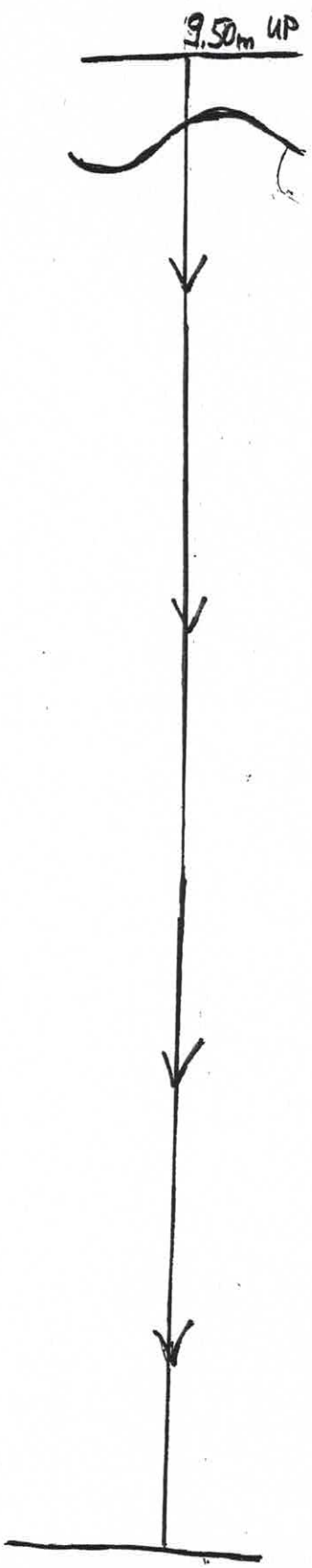
Kopien der Rißspuren der Abdruckpacker - Tests
in der Horizontalbohrung

Skalierung : Länge : ca. 1000 m
Umfang : ca. 180 mm

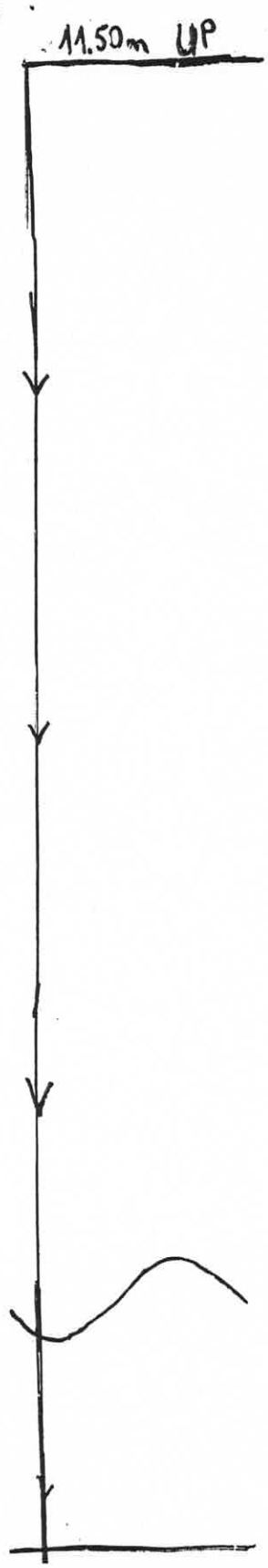
Die durchgezogene Linie mit Pfeilen kennzeichnet die
Marke auf der Kompaßsonde und gibt die Orientierung

GEO-Meß-Systeme GmbH

Azimuth der Bohrung: N 97°
Neigung der Bohrung: 2°
Marke: N 102°



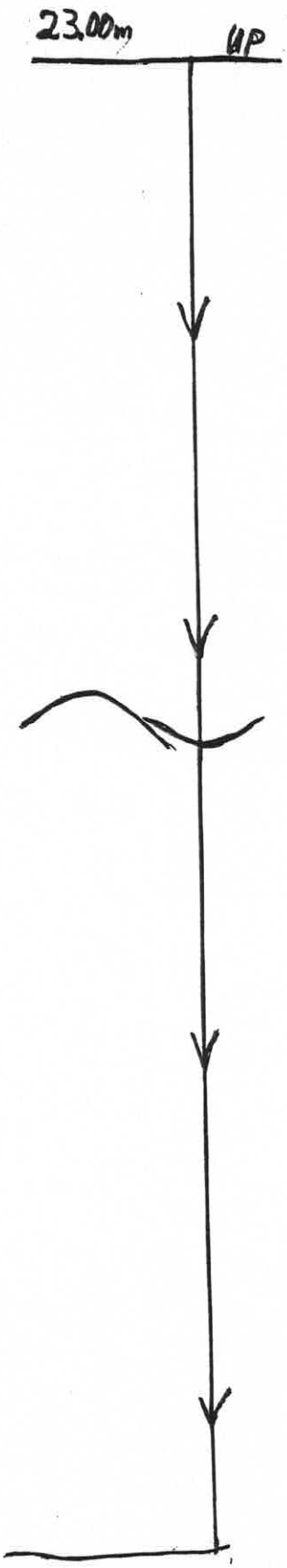
Azimuth der Bohrung: N 97°
Neigung der Bohrung: 2°
Marke: N 120°



GEO-Meß-Systeme GmbH

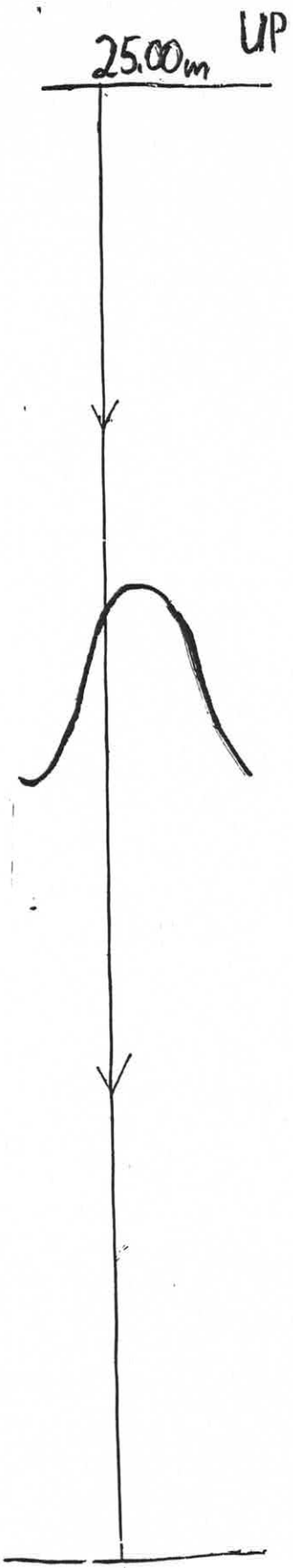
Azimuth der Bohrung: N 97°
Neigung der Bohrung: 2°
Marke: N 140°

Azimuth der Bohrung: N 97°
Neigung der Bohrung: 2°
Marke: N 122°

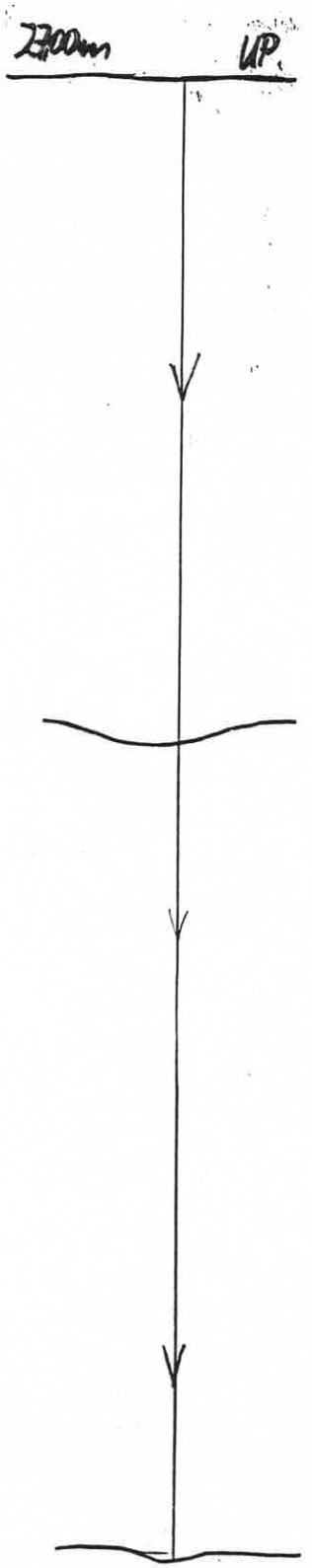


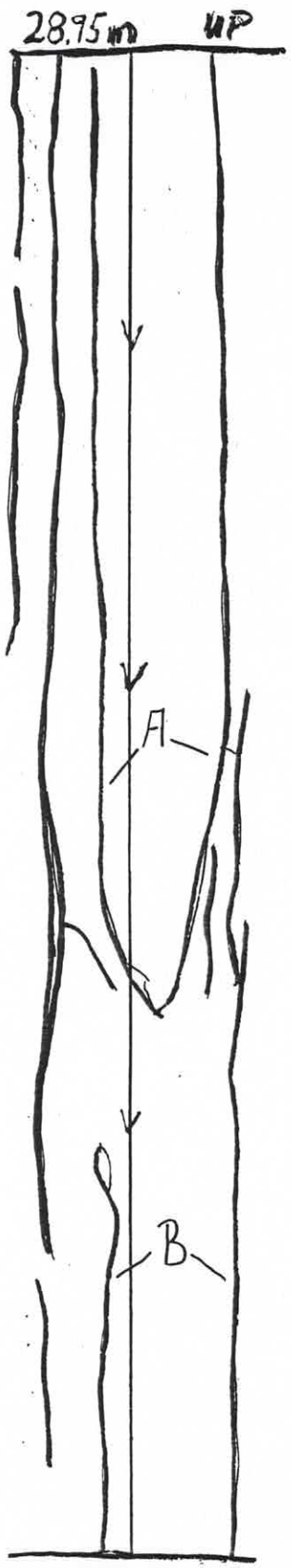
GEO-Meß-Systeme GmbH

Azimuth der Bohrung: N 97°
Neigung der Bohrung: 2°
Marke: N 100°



Azimuth der Bohrung: N 97°
Neigung der Bohrung: 2°
Marke: N 63°



GEO-Meß-Systeme GmbH

Azimuth der Bohrung: N 97°
Neigung der Bohrung: 2°
Marke: N 112°