

## DECKBLATT

	Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
	N A A N	N N N N N N N N N N	N N N N N N	X A A X X	A A	N N N N	N N
EU 418	9K	31892.34		GCB	RB	0009	00

Titel der Unterlage: Geologische und geotechnische Untersuchungen im Versuchsfeld 5/1 der Schachtanlage Konrad. Abschlußbericht	Seite: I.
	Stand: April 1991

Ersteller: BGR	Textnummer:
-------------------	-------------

Stempelfeld:

PSP-Element TP...../.....:	zu Plan-Kapitel: 3.1.9.7
----------------------------	--------------------------

	PL 25.04.1991  Freigabe für Behörden	PL 25.04.1991  Freigabe im Projekt
--	---	--

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



11/318438+100

DS 3077

# Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe



KONRAD  
EU  
418



BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE

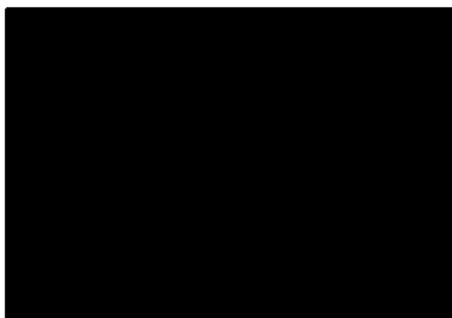
HANNOVER

Geologische und geotechnische Untersuchungen  
im Versuchsfeld 5/1  
der Schachtanlage Konrad

A B S C H L U ß B E R I C H T

AP 9K 31892.34

Sachbearbeiter:



Datum: Februar 1991  
Archiv-Nr.: 108 181  
Tagebuch-Nr.: 10347/91  
TK 25: 3828 Lebenstedt-Ost

<u>INHALTSVERZEICHNIS</u>	<u>SEITE</u>
1. Aufgabenstellung	1
2. Auffahrung der Versuchskammern und Untersuchungsprogramm	1
3. Geologie und Tektonik	5
3.1 Geologie	5
3.2 Tektonik	8
3.3 Hydrogeologie	10
3.4 Literatur	11
4. Untersuchungen zum Spannungszustand	12
4.1 Allgemeines	12
4.2 Geräte- und Versuchsbeschreibung	13
4.3 Meßergebnisse und deren Bewertung	15
4.4 Literatur	20
5. Geomechanische und geodätische Verformungsmessungen	21
5.1 Konvergenzmessungen	21
5.2 Bohrlochlageänderungsmessungen	30
5.3 Literatur	47

6.	Untersuchung der streckennahen Auflockerungszone	48
6.1	Aufgabenstellung	48
6.2	Ultraschallbohrlochmessungen	48
6.3	Permeabilitätsmessungen	60
6.4	Literatur	65
7.	Finite-Elemente-Analyse für das Versuchsfeld 5/1	66
7.1	System und Modell	66
7.2	Materialgesetz und Materialparameter	68
7.3	Ergebnisse und Beurteilung	68
7.4	Beurteilung von Rechen- und Meßergebnissen	75
7.5	Literatur	91
8.	Zusammenfassende Bewertung	92

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Kap. 2:

Abb. 2.1: Streckensystem des Versuchsfeldes 5/1 der Schachtanlage.

Kap. 3:

Abb. 3.1: Trennflächenstatistik - Sammeldiagramm und Außenkluftrose mit Lage der Streckenachsen (Sa).

Kap. 5:

Abb. 5.1: Konvergenzstationen im Versuchsfeld 5/1.

Abb. 5.2: Höhenmessung Feld 5/1, Strecke 241 S, Konvergenzanker (Sohle).

Abb. 5.3: Höhenmessung Feld 5/1, Strecke 241 S, Konvergenzanker (Firste).

Abb. 5.4: Querbewegungen (östl./westl. Stoß) in Strecke 241 S.

Abb. 5.5: Konrad Feld 5/1, Konvergenzstation K 101 S/3, Einfluß der Auffahrung der 241 S auf das Konvergenzverhalten in der Nachbarstrecke 101 S.

Abb. 5.6: Lage der Meßquerschnitte 1 bis 4 im Feld 5/1.

Abb. 5.7: Geologie des Meßquerschnitts 1 im Feld 5/1.

Abb. 5.8: Geologie des Meßquerschnitts 2 im Feld 5/1.

Abb. 5.9: Geologie des Meßquerschnitts 3 im Feld 5/1.

Abb. 5.10: Geologie des Meßquerschnitts 4 im Feld 5/1.

Abb. 5.11: Verschiebungsvektoren in MQ 1 wenige Tage nach Durchfahrung.

Abb. 5.12: Verschiebungsvektoren in MQ 4 wenige Wochen nach Durchfahrung.

Abb. 5.13: Verschiebungsvektoren in MQ 1 18 Monate nach Durchfahrung.

- Abb. 5.14: Verschiebungsvektoren in MQ 2 18 Monate nach Durchfahung.
- Abb. 5.15: Verschiebungsvektoren in MQ 3 13 Monate nach Durchfahung.
- Abb. 5.16: Verschiebungsvektoren in MQ 4 13 Monate nach Durchfahung.

Kap. 6:

- Abb. 6.1: Schematische Darstellung der Anordnung der Bohrungen für die Ultraschallmessungen.
- Abb. 6.2: Lage der Durchschallungsbohrungen im Feld 5/1.
- Abb. 6.3: Verlauf der Ultraschallwellengeschwindigkeiten der Bohrungen 2/40 bis 2/43 in der Kammer 241 S, Messung 04.89.
- Abb. 6.4: Verlauf der Ultraschallwellengeschwindigkeiten der Bohrungen 2/46 bis 2/47 in der Kammer 231 S, Messung 04.89.
- Abb. 6.5: Verlauf der Ultraschallwellengeschwindigkeiten der Bohrungen 2/40 bis 2/43 in der Kammer 241 S, Messung 11.89.
- Abb. 6.6: Verlauf der Ultraschallwellengeschwindigkeiten der Bohrungen 2/45 und 2/47 in der Kammer 231 S, Messung 11.89.
- Abb. 6.7: Zusammenfassung der Ultraschallwellengeschwindigkeiten aus dem Vorversuch und der Messung 04.89 des Hauptversuchs.
- Abb. 6.8: Zusammenfassung der Ultraschallwellengeschwindigkeiten der Messung 11.89 des Hauptversuchs.
- Abb. 6.9: Lageplan der Bohrungen für Vakuummessungen.
- Abb. 6.10: Druckanstieg in Bo 2/37 und Bo 2/38.

Kap. 7:

- Abb. 7.1: Gebirgsmechanisches Modell
- Abb. 7.2: Beanspruchungszustand des Streckensystems, Variante 1.
- Abb. 7.3: Beanspruchungszustand des Streckensystems, Variante 3.
- Abb. 7.4: Beanspruchungszustand des Streckensystems, Variante 2.
- Abb. 7.5: Vergleich berechneter und gemessener Verschiebungsvektoren, MQ 2.
- Abb. 7.6: Vergleich berechneter und gemessener Verschiebungsvektoren, MQ 4.
- Abb. 7.7: Vergleich gemessener Primärspannungen mit theoretischem Gebirgsdruck.
- Abb. 7.8: Berechnete Spannungsverläufe in Schnitt A-A zwischen den Strecken 231 S und 241 S.
- Abb. 7.9: Gemessene und berechnete Spannungen (bankrechte Komponente) in Schnitt A-A zwischen den Strecken 231 S und 241 S bei Durchfahrung des MQ 3.
- Abb. 7.10: Gemessene und berechnete Spannungen (bankrechte Komponente) in Schnitt A-A zwischen den Strecken 231 S und 241 S bei Durchfahrung des MQ 4.
- Abb. 7.11: Gemessene und berechnete Spannungen (Variante 1, geschlossene Kluft) in Schnitt B-B zwischen den Strecken 241 S und 101 S bei Durchfahrung des MQ 1.
- Abb. 7.12: Gemessene und berechnete Spannungen (Variante 2, offene Kluft) in Schnitt B-B zwischen den Strecken 241 S und 101 S bei Durchfahrung des MQ 1.
- Abb. 7.13: Gemessene und berechnete Spannungen (Variante 1, geschlossene Kluft) in Schnitt B-B zwischen den Strecken 241 S und 101 S bei Durchfahrung des MQ 2.
- Abb. 7.14: Gemessene und berechnete Spannungen (Variante 2, offene Kluft) in Schnitt B-B zwischen den Strecken 241 S und 101 S bei Durchfahrung des MQ 2.

ANLAGENVERZEICHNIS

Kap. 3:

Anl. 3.1: Tiefenlinienplan und Grundriß Feld 5/1.

Kap. 4:

- Anl. 4.1: Schachtanlage Konrad, Grundriß Feld 5/1 mit Spannungsmeßbohrungen.
- Anl. 4.2: Anordnung der Bohrungen 1/8 und 2/28 in MQ 1 / MQ 3 für Langzeitspannungsmessungen.
- Anl. 4.3: Anordnung der Bohrungen 1/7 und 2/29 in MQ 2 / MQ 4 für Langzeitspannungsmessungen.
- Anl. 4.4: Prinzip der BGR-Überbohrmethode bei Horizontalbohrungen.
- Anl. 4.5: Anordnung der Spannungsmonitorstationen in den Bohrungen 1/7, 1/8, 2/28, 2/29.
- Anl. 4.6: Anordnung der Spannungsgeber in den Bohrungen 2/28 und 2/29.
- Anl. 4.7: BGR-Überbohrversuch KO-1/8-BS6.
- Anl. 4.8: Primärspannungen.
- Anl. 4.9: Spannungsänderungen in Bo 1/8.
- Anl. 4.10: Spannungsänderungen in Bo 1/7.
- Anl. 4.11: Spannungsänderungen in Bo 2/28.
- Anl. 4.12: Zeitlicher Verlauf der bankrechten Spannung in unterschiedlichem Abstand zum Stoß in Bo 2/28.
- Anl. 4.13: Spannungsänderungen in Bo 2/29.
- Anl. 4.14: Zeitlicher Verlauf der bankrechten Spannung in unterschiedlichem Abstand zum Stoß in Bo 2/29.
- Anl. 4.15: Spannungsänderungen durch Auffahrung der Strecke 231 S, bankrechte Spannungskomponente.
- Anl. 4.16: Dilatometerversuch KO-2/37-DI1.
- Anl. 4.17: Dilatometermessungen Bo 2/37, Elastizitätsmoduli.
- Anl. 4.18: Arbeitslinien aus Biaxialversuch KO-2/24-BS5.
- Anl. 4.19: Elastizitätsmoduli aus Biaxialversuchen.

## 1. AUFGABENSTELLUNG

Die Machbarkeit und Standsicherheit der für das Endlager Konrad geplanten Einlagerungskammern und -systeme sollte in einem maßstäblichen Feldversuch in der Grube Konrad nachgewiesen werden. Dazu wurde im Feld 5/1 der Schachtanlage ein aus drei parallelen Einlagerungskammern und einer darüber liegenden Abwettersammelstrecke mit dazugehörigen Abwetterbohrlöchern bestehendes Streckensystem aufgeföhren.

Mit der Herstellung des für die geplanten Einlagerungskammern repräsentativen Streckensystems und mit der Durchführung begleitender geotechnischer Messungen und gebirgsmechanischer Berechnungen wird sowohl die Standfestigkeit der zwischen den Strecken befindlichen Gebirgsfesten von 28 m Breite als auch die betriebssichere Offenhaltung der Strecken für mehrere Jahre nachgewiesen.

## 2. AUFFAHRUNG DER VERSUCHSKAMMERN UND UNTERSUCHUNGSPROGRAMM

Im Versuchsfeld 5/1 der Schachtanlage Konrad wurde von Juni 1987 bis September 1989 ein Streckensystem bestehend aus drei benachbarten Kammern incl. der Zufahrten und einer darüber liegenden Abwettersammelstrecke mit zugehörigen Abwetterbohrlöchern erstellt (Abb. 2.1). In dieses Streckensystem ist die seit 1984/1985 bestehende Strecke 101 S, mit einem mittleren Streckenquerschnitt von ca. 29 m<sup>2</sup>, integriert.

Im Juni 1987 wurde aus der Rampe 210 A mit der Aufföhren der Zufahrt (Rampe 230) zu den Strecken 241 S und 231 S begonnen. Im Juli 1987 wurde das erste Teilstück der 241 S, die Entladische und der Übergang auf den Querschnitt von ca. 40 m<sup>2</sup> fertiggestellt. Im darauffolgenden Monat konnte die Rampe 230 fertiggestellt und die Entladische der 231 S sowie die Aufweitung des Querschnitts auf 40 m<sup>2</sup> hergestellt werden. Im

gleichen Monat wurde das Bunkerort für die Abwetterstrecke 110 aufgefahren. Am 04.11.1987 wurde der Vortrieb in der 110 vor Erreichen des Einbauortes der ersten Konvergenzmeßstation gestundet.

Im Januar 1988 wurde der Vortrieb in der Abwettersammelstrecke 110 wieder aufgenommen und die bestehenden Teile der 241 S und 231 S überfahren. Am 18.02.1988 wurde der Vortrieb in der 110 zunächst gestundet. Im Mai 1988 wurde die Abwettersammelstrecke um ca. 32 m verlängert und der Vortrieb danach eingestellt. Ende August 1988 konnte der Vortrieb in der 241 S wieder aufgenommen werden. Mit Erreichen des Auffahrungszieles wurde der Vortrieb am 13.10.1988 in der 241 S gestundet. Am 27.02.1989 wurde die Auffahrung der 231 S fortgesetzt und der Vortrieb am 31.03.1989 mit Erreichen des Auffahrungsziels gestundet. In Tab. 2.1 sind die in Feld 5/1 aufgefahrenen Strecken zusammengestellt. Ausgebaut wurde mit 1,8 m langen Spreizhülsenankern und Maschendraht sowie in Sonderfällen mit Spreizhülsenankern von 2,5 m Länge bzw. 1,8 m langen Split-Set-Ankern.

Bezeichnung	Querschnitt (m <sup>2</sup> )	Länge (m)
241 S	40	183,10
231 S	40	122,50
Kammerzufahrt zu 241 S	25	91,0
Kammerzufahrt zu 231 S (230)	25	193,0
Entladenische 241 S	30	11,4
Entladenische 231 S	30	13,1
Entladenische 101 S	30	11,4
Abwettersammelstrecke 110	20	486,4

Tab. 2.1: Aufgefahrene Strecken im Versuchsfeld 5/1 der Schachtanlage Konrad

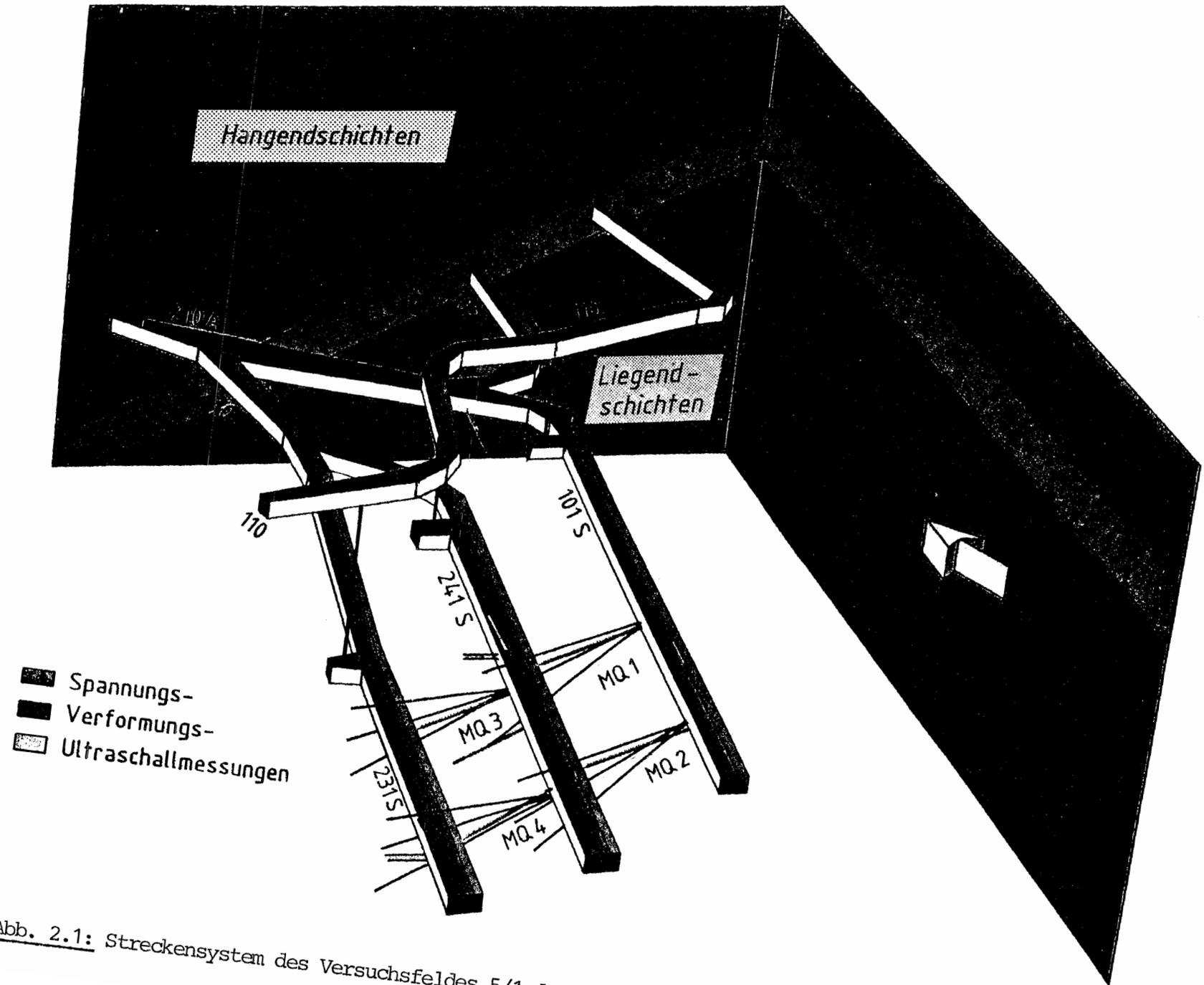


Abb. 2.1: Streckensystem des Versuchsfeldes 5/1 der Schachanlage Konrad

Weiterhin wurden im Versuchsfeld 3 Wetterbohrlöcher mit 1400 mm Durchmesser und 36,0 m (zur 101), 53,3 m (zur 241 S) bzw. 53,4 m (zur 231 S) Länge jeweils zwischen der Abwettersammelstrecke und dem Bereich einer Entladeneise erbohrt. Nach Ausbau mit Stahlblechsegmenten und Hinterfütterung haben diese Bohrlöcher einen lichten Durchmesser von 1 200 mm.

Das im wesentlichen von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) geplante geologische und geotechnische Untersuchungsprogramm wurde in Zusammenarbeit mit der

\_\_\_\_\_ sowie der Schachtanlage Konrad (\_\_\_\_\_) durchgeführt. Es beinhaltete:

1. Geologische Aufnahmen bei Streckenauffahrungen und Bohrlöcherstellungen (BGR und \_\_\_\_\_).
2. Messung von Primärspannungen und Spannungsänderungen in den Gebirgsfesten zwischen den Strecken sowie begleitende Untersuchungen zum Last-Deformations-Verhalten (BGR).
3. Verformungsmessungen in Bohrungen in den Gebirgsfesten zwischen den Strecken zur Bestimmung der Neigung und Streckung bzw. Stauchung der Bohrlochachsen (\_\_\_\_\_ und BGR).
4. Streckenkonvergenzmessungen (\_\_\_\_\_ und BGR).
5. Permeabilitätsmessungen zur Bestimmung der Auflockerungszone um Strecken (BGR).
6. Ultraschallbohrlochmessungen im Streckenmantel zur Bestimmung der Auflockerungszone (BGR).

Die Ermittlung der Primärspannungen erfolgte vor jeglicher bergmännischer Aktivität im Versuchsfeld. Spannungs- und Verformungsmessungen wurden während der Streckenauffahrung durchgeführt und sind als Langzeitmessungen angelegt. Die zur Ermittlung der Auflockerungszone durchgeführten Untersuchungen erfolgten nach Auffahrung der Strecken.

### 3. GEOLOGIE UND TEKTONIK

#### 3.1 Geologie

##### 3.1.1 Stratigraphie

Die im Versuchsfeld 5/1 aufgefahrene Strecken und ausgeführten Kern- und Vollbohrungen schließen ca. 75 % der Mächtigkeit des Zwischenmittels, das gesamte Untere Lager und die hangendsten Partien der Erzkalk-Serie des Unteren Korallenoolith auf /3.1/.

<u>Stratigraphie</u>	<u>Streckenort</u>
<u>Oberer Korallenoolith</u>	<u>Abwettersammelstrecke 110</u>
<u>Oberes Lager</u>	<u>Abwettersammelstrecke 110</u>
<u>Zwischenmittel</u>	<u>Abwettersammelstrecke 110 Ort 101 S Ort 230, 231 S, Ort 241 S</u>
<u>Unteres Lager</u>	<u>Abwettersammelstrecke 110 Ort 101 S Ort 230, 231 S, Ort 241 S</u>
<u>Unterer Korallenoolith</u>	<u>Bunkerort 110</u>

Tab. 3.1: Aufschlüsse von Korallenoolithschichten im Versuchsfeld 5/1

Die Erkundungsstrecke 101 S steht überwiegend im Hangendbereich des Unteren Lagers. Nach ca. 230 m Strecke werden mit dem westlichen Stoß zunehmend Schichten des Zwischenmittels aufgeschlossen, bedingt durch eine Änderung des Schichtstreichens in diesem Bereich. Im Südabschnitt steht die Strecke aufgrund der tektonischen Situation je zur Hälfte im Zwischenmittel bzw. im Unteren Lager.

Die Rampe 230 erschließt ca. 75 % des Zwischenmittelprofils und die Grenze Unteres Lager/Zwischenmittel.

Die Versuchskammer 241 S steht vorwiegend in den Hangendpartien des Unteren Lagers.

Die Versuchskammer 231 S schließt ebenfalls Schichten des Hangendbereichs des Unteren Lagers auf. Im Nordabschnitt der Strecke stehen in der Sohle und im unteren Teil des E-Stoßes Schichten aus dem mittleren Bereich des Unteren Lagers an. Im Südteil wurde in der Firste und in der Westschulter die Grenze Unteres Lager/Zwischenmittel aufgeschlossen.

### 3.1.2 Petrographie, Sedimentation und Mächtigkeiten

Aus den vorhandenen Streckenaufschlüssen im Feld 5/1 und der Abwettersammelstrecke 110 konnte die Mächtigkeit des Mittleren Korallenooliths mit ca. 43 m bestimmt werden. Dabei entfallen ca. 5 m auf das Obere Lager, ca. 22 m auf das Zwischenmittel und ca. 16 m auf das Untere Lager. Die Gesamtmächtigkeit des Unteren Korallenooliths wird hier unter Berücksichtigung von Aufschlüssen außerhalb der Versuchskammern auf ca. 57 m geschätzt.

Der Untere Korallenoolith wurde mit seinen hangendsten Partien im Ansatzpunkt der Abwettersammelstrecke 110 als im dm-Bereich gebankter, harter Kalk- und Brauneisenoide führender Kalkstein angetroffen. Die einzelnen Bänkchen werden durch dünne, tonige Lagen getrennt. Daneben erscheinen auch einzelne Lagen von Brauneisenoolith, Trümmererz und Gerölle. Den Abschluß der Folge bildet Tonmergelstein.

Mit einer Aufarbeitungslage setzt die Sedimentation des Unteren Lagers des Mittleren Korallenooliths ein. Häufig erscheinen im Unteren Lager des Feldes 5/1 mergelige Geröllagen, die lokale Leithorizonte darstellen. In den mittleren Partien wurden "absandende" Lagen beobachtet, deren Festigkeit durch

mangelnde Verkittung herabgesetzt ist. Die Schrägschichtungsblätter von Schüttungskörpern unterschiedlicher Ausmaße charakterisieren das Gebirge. Dabei ist die Ausbildung von Tonmergellagen auf den Böschungen dieser Schüttungskörper als mögliche Gleitbahnen für tektonische Bewegungen von Bedeutung.

Im Hangenden des Unteren Lagers ist das Erz besonders karbonatisch ausgebildet, wobei tonige Einschaltungen zunehmen. An der Grenze zum Zwischenmittel findet sich ein ca. 0,20 m mächtiger, milder Tonstein.

Darüber folgt das vorwiegend aus tonig-karbonatischen Sedimenten bestehende Zwischenmittel. Es setzt mit einer Eisenoolith- und Toneisensteingerölle führenden Aufarbeitungslage ein. Darüber folgen mittelgraue Tonmergel- und Kalkmergelsteine, die karbonatische und goethitische Ooide und Onkoide sowie scherbige Toneisensteingerölle in inhomogener Verteilung führen. In seinem mittleren Teil finden sich einzelne feste Kalkmergel- und Kalksteinbänke.

Das im Hangenden folgende Obere Lager besteht aus hellbraunem, schräggeschichtetem, eisenschüssigem oolithischem Kalkstein. Das Gestein weist Bankung im dm- bis 0,5 m-Bereich auf. An der Basis und an der Hangendgrenze finden sich Aufarbeitungslagen. Den Übergang zum Oberen Korallenoolith bilden zum Teil feingeschichtete Wechselfolgen von dunkelgrauem Ton- und Kalkmergelstein, in denen massenhaft Brauneisenoide, Trümmererz und Schalendetritus, letzterer teilweise gesteinsbildend, eingelagert sind. Darüber folgt gut gebankter oolithischer Kalkstein. Die liegenden Partien des Oberen Korallenooliths sind allgemein als schlecht sortiert zu bezeichnen, da neben den Hauptgemengteilen, mikritischer Kalkstein und Kalkooide, massenhaft goethitische (limonitische) Ooide und lagenweise angereichert Tonminerale und Molluskenschill vorkommen. Die höheren Teile des Oberen Korallenooliths zeigen einen deutlich massigeren Habitus. Das Gestein setzt sich

in der Regel aus Kalkooiden und Fossilresten mit zum Teil dolomitischer, mikritischer und auch sparitischer Matrix zusammen. Lösung des Dolomits und Rekristallisation von Calcit sind mikroskopisch ebenso zu beobachten wie offener Porenraum in den Zwickeln zwischen den Kalkooiden und Gesteinskomponenten. Die hangendsten aufgeschlossenen Schichten des Oberen Korallenoolith bestehen aus oolithischen Kalkmergelsteinen mit tonigen und organodetritischen Lagen.

### 3.2 Tektonik

Anhand der Rißunterlagen der Schachanlage Konrad und geologischer Aufnahmen von den Streckenauffahrungen der 1. Sohle Süd (101 S), der Abwettersammelstrecke 110 und der Örter 241 S und 230/231 S wurden Streckenlängsschnitte und Querprofile /3.1/ sowie ein Grundriß des Feldes 5/1 erstellt (Anl. 3.1).

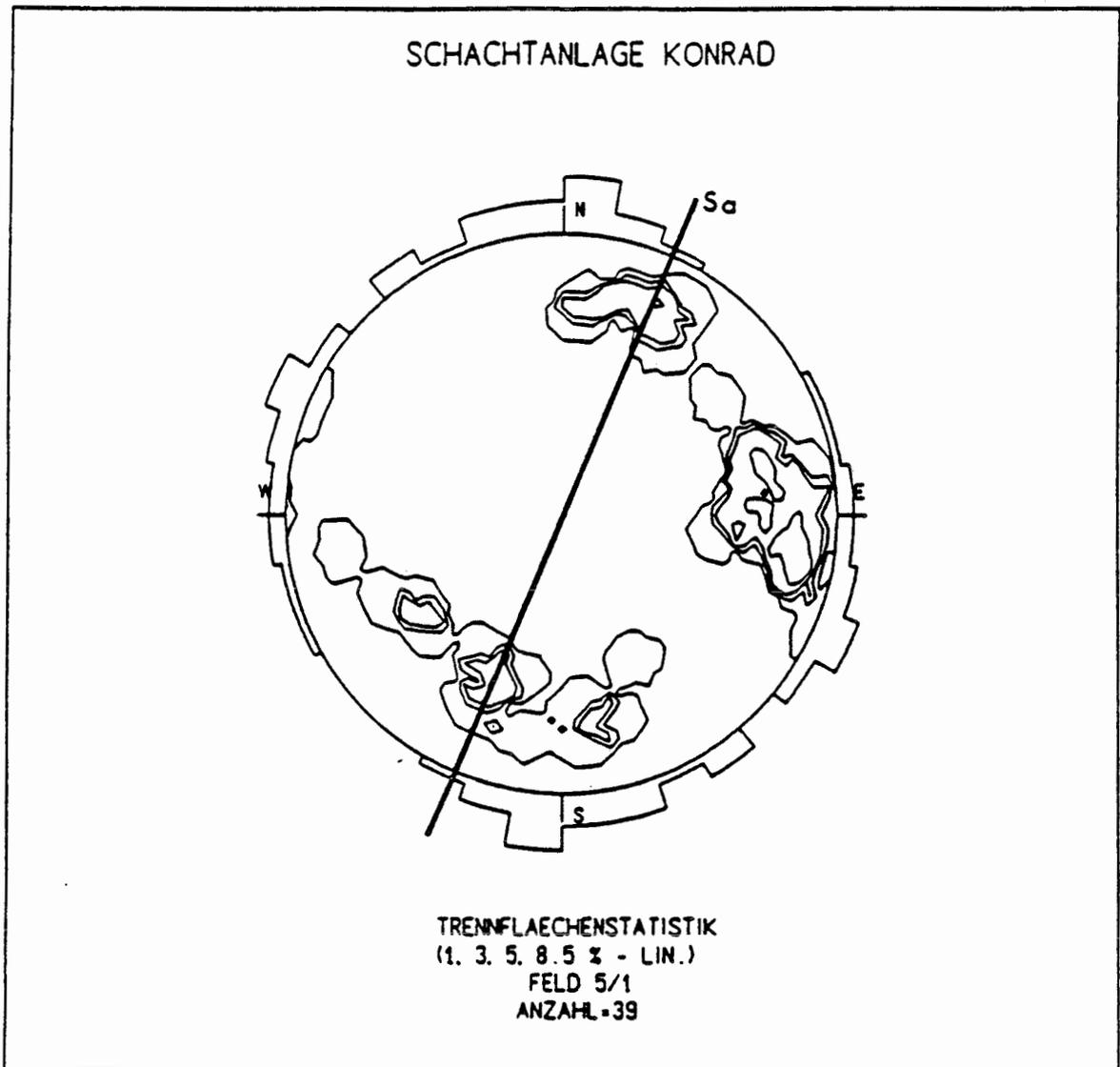
Die im Feld 5/1 aufgeschlossenen NNE-SSW-streichenden Schichten fallen mit Werten um  $27^{\circ}$  bis  $30^{\circ}$  nach WNW ein. Steileres Einfallen kann, wie im Ort 110, tektonisch bedingt sein (Schollenverkipfung) oder die Böschung eines Schüttungskörpers wiedergeben. In den südlichen Abschnitten der Strecken 241 S, 231 S und in der 101 S biegt das Schichtstreichen, tektonisch bedingt, von generell NNE-SSW in die Richtung NNW-SSE um. Die Ausrichtung der Strecken erfolgte analog dem aus dem Nordabschnitt der 101 S bekannten Streichen.

Das östlich des LHD-Feldes-Süd aufgeschlossene System der "Grabenstörung" beeinflusst mit seinen W-fallenden Abschiebungen auch das Feld 5/1 /3.2/. Mehrere gestaffelte Abschiebungen verwerfen das Untere Lager um insgesamt ca. 35 m zwischen Ort 101 S und Ort 331 A (LHD-Feld Süd) /3.2/.

Im Feld 5/1 wurden durch die Markscheiderei Schachanlage Konrad 39 Klüfte erfaßt und dokumentiert. Das Feld 5/1 entspricht ungefähr dem südlichen Teil des Teilbereichs 5 in /3.3/.

Die Raumstellung der Trennflächen ist in einem ungewichteten Isoliniendiagramm der Polpunktverteilung (Schmidt'sches Netz, untere Halbkugel / 360° Einteilung) dargestellt (Abb. 3.1).

Zur Verdeutlichung der Streichrichtungen ist eine Außenrichtungsrose beigefügt. N-S streichende Trennflächen mit steilem Einfallen nach W herrschen eindeutig vor, auch WNW-ESE-streichende Trennflächen ( $\pm$  senkrecht zur Streckenachse) mit Einfallen nach NNE bzw. SSW kommen relativ häufig vor.



**Abb. 3.1:** Trennflächenstatistik - Sammeldiagramm und Außenkluftrose mit Lage der Streckenachsen (Sa).

Die aus den Strecken und den Bohrungen bekannten Störungen (Anl. 3.1) haben aufgrund ihrer Weitständigkeit keine ingenurgeologischen Probleme für die Versuchskammern, etwa in Form von Gleitkörpern, verursacht.

### 3.3 Hydrogeologie

Beim Vortrieb der Strecken 101 S, 231 S und 241 S wurden einige wasserführende, vorwiegend N-S-streichende, Trennflächen angefahren. Die austretenden Wassermengen waren gering und versiegten nach relativ kurzer Zeit.

In den hangendsten Partien des Oberen Korallenooliths weisen einzelne massive oolithische Kalksteinbänke eine erhöhte Porendurchlässigkeit auf, so daß beim Anschlagen dieses Horizontes in der Abwettersammelstrecke 110 stark mineralisierte Wässer über längere Zeit zusitzen.

Entsprechende Wasserzutritte sind auch an anderen Stellen in der Grube zu beobachten. Die Zuflüsse erfolgen meist diffus über die gesamte angeschnittene Fläche, vereinzelt treten auch Wasser aus Ankerbohrlöchern und Klüften aus. Die austretenden Mengen sind stets gering. Die Ausflußstellen sind durch Salzkrusten gekennzeichnet.

In den Bohrungen 1/12, 1/13 und 1/14 aus der 101 wurde Salzwasser aus einer Störung gelöst. Die Verbindung der einzelnen Aufschlüsse zu einer Störungsfläche ergibt sich aus der Anlage 3.1.

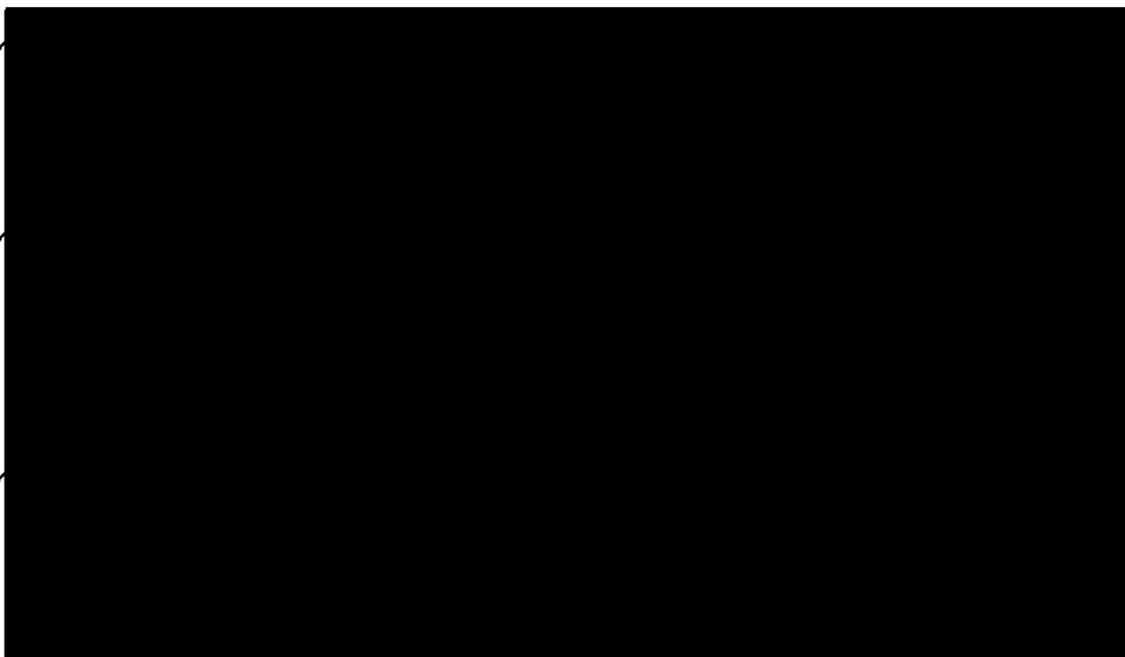
Das angetroffene Gebirgswasser wird durch die Wasserhaltung der Grube beherrscht.

3.4 Literatur

/3.1/

/3.2/

/3.3/



#### 4. UNTERSUCHUNGEN ZUM SPANNUNGSZUSTAND

##### 4.1 Allgemeines

Im Rahmen der geotechnischen Untersuchungen im Feld 5/1 führte die BGR Messungen zum Primärspannungszustand des Gebirges, zu den durch Streckenauffahrung hervorgerufenen Spannungsänderungen sowie begleitende Messungen in situ und im Labor zum Last-Deformations-Verhalten des Gebirges durch. Die einzelnen Tätigkeiten sind im Arbeitspaket 9K 31892.30 (siehe dazu /4.6/) beschrieben.

Folgende Methoden wurden verwendet:

- BGR-Überbohrmethode mit speziellen Überbohrsonden zur Ermittlung von Primärspannungen,
- Bohrlocheinschlußmethode mit Spannungsgebern (Typ Glötzl) zur Ermittlung von Spannungsänderungen,
- BGR-Bohrlochaufweitungsmethode mit einem Dilatometer zur Ermittlung des Last-Deformations-Verhaltens des Gebirges,
- biaxiale Be- und Entlastungsversuche im Labor zur Ermittlung des Last-Deformations-Verhaltens von Gebirge und Bohrlochverfüllmaterial.

Für die In-situ-Untersuchungen wurden nach Anlage 4.1 bis 4.3 folgende Bohrungen erstellt:

- Horizontalbohrung 2/24 vom Rampe 210 für Überbohrversuche,
- Bohrung 1/8 von Strecke 101 S in Nähe des Meßquerschnitts MQ 1 für Überbohrversuche und zur Installation von Spannungsgebern,

- Bohrung 1/7 von Strecke 101 S in Nähe des Meßquerschnitts MQ 2 zur Installation von Spannungsgebern,
- Bohrungen 2/28 und 2/29 von Strecke 241 S in Nähe des Meßquerschnitts MQ 3 bzw. MQ 4 zur Installation von Spannungsgebern,
- Bohrung 2/37 (erstellt für AP 9K 31892.32: Permeabilitätsmessungen in der Auflockerungszone) von Strecke 241 S für Dilatometeruntersuchungen.

Versuchsmethoden, Meß- und Versuchsdaten und Auswertung sind umfassend in /4.6/ dargestellt und dokumentiert.

## 4.2 Geräte- und Versuchsbeschreibung

### 4.2.1 Überbohrversuche mit BGR-Sonden

Die indirekte Spannungsermittlung nach der Überbohrmethode erfolgt durch das Überbohren eines Pilotbohrlochs. Die dabei auftretenden Entspannungsdeformationen des Pilotbohrlochs werden gemessen und in Gebirgsspannungen umgerechnet.

Für die Untersuchungen im Feld 5/1 wurde eine BGR-Überbohrsonde, Typ MK IV, eingesetzt. Meßprinzip, Sonde und Meßdatenregistrierung, etc., sind in /4.4/ und /4.6/ beschrieben. Zur Versuchsdurchführung ist der in Anlage 4.4 schematisch dargestellte Ablauf erforderlich, der speziell auf Horizontalbohrungen abgestimmt ist (siehe dazu auch /4.5/).

### 4.2.2 Langzeitmessungen mit Spannungsgebern

Für die langfristige Messung von Spannungsänderungen wurden im Feld 5/1 hydraulische Spannungsgeber (Typ Glötzl) eingesetzt. Meßmethodik und Geber sind in /4.6/ beschrieben.

Die Geber wurden einzeln oder zu Gruppen zusammengefaßt (sogenannte Spannungsmonitorstationen) in Bohrlöchern installiert, die anschließend mit einem geeigneten Material verfüllt wurden. Dabei weisen die Geber nach Anlage 4.5 und 4.6 unterschiedliche Orientierungen auf, um die Messung von Spannungen in mehreren Richtungen zu ermöglichen.

Um einen formschlüssigen Kontakt zwischen Geber und Gebirge herzustellen und um die Geber vorzuspannen, wurde nach einem speziellen, von der BGR entwickelten Verfahren über perforierte Ringleitungen Epoxyharz injiziert.

#### **4.2.3. Dilatometeruntersuchungen**

Zur Beurteilung des Gebirgsdeformationsverhaltens unter definierter Last wurde das BGR-Dilatometer in Bohrlochaufweitungsversuchen eingesetzt. Die Belastung des zu prüfenden Bohrlochabschnitts erfolgte durch stufenweise Steigerung des Dilatometerdrucks bis zum vorgesehenen Maximaldruck bei gleichzeitiger Messung der Bohrlochdurchmesseränderungen. Wege und Druck wurden regelmäßig registriert und in Arbeitslinien dargestellt, so daß daraus gebirgsmechanische Kenngrößen wie Elastizitäts- und Verformungsmodul ermittelt werden können.

Meßgeräte, Meßwerterfassung und Versuchsablauf sind detailliert in /4.4/ beschrieben.

#### **4.2.4 Laborprüfeinrichtung**

Zur Ermittlung gebirgsmechanischer Kenngrößen ist von der BGR eine spezielle Laborprüfanlage aufgebaut worden, mit der das Last-Deformations-Verhalten hohlzylindrischer Prüfkörper untersucht werden kann. Die Gesteinsprüfkörper wurden im Zuge der Überbohrversuche erbohrt, die Prüfkörper für das Bohrlochverfüllmaterial wurden entweder während der Verfüllung

vor Ort oder im Labor in speziellen Formen hergestellt. Die einzelnen Komponenten der Prüfanlage sind z. B. in /4.5/ dargestellt und beschrieben.

#### 4.3 Meßergebnisse und deren Bewertung

##### 4.3.1 Primärspannungen

Exemplarisch sind in Anlage 4.7 für den Versuch KO-1/8-BS6 die gemessenen Entspannungsdeformationen in Abhängigkeit von der Überbohrteufe für vier Meßrichtungen aufgetragen. Die dargestellten Kurven zeigen den für Überbohrversuche in elastisch reagierendem Gebirge typischen Verlauf. Bei ausreichendem Überbohrfortschritt stellen sich i. a. konstante Werte ein. Die Differenz zwischen diesen Werten und den Werten zu Beginn des Überbohrvorgangs wird zur Umrechnung in Gebirgsspannungen herangezogen (siehe dazu /4.4/).

Die zur Auswertung erforderlichen Gebirgskenngrößen  $E$  und  $\nu$  ( $E$  = Elastizitätsmodul,  $\nu$  = Querdehnungszahl) werden folgendermaßen festgelegt:

$E = 13\,500 \text{ MPa}$  (siehe dazu Kapitel 4.3.4),  
 $\nu = 0,3$ .

Ein Drittel der Überbohrversuche war durch Kernbruch beim Überbohren derart beeinträchtigt, daß eine Auswertung nicht möglich war. Aus den verbleibenden Versuchen lassen sich nach Anlage 4.8 maximale Spannungswerte zwischen ca. -18,0 und -24,5 MPa (im Mittel -21,0 MPa) und minimale Spannungswerte zwischen ca. -12,0 und -17,6 MPa (im Mittel -14,8 MPa) ermitteln (Druckspannung ist negativ definiert).

Die maximalen Spannungswerte entsprechen zur einen Hälfte etwa dem theoretischen vertikalen Gebirgsdruck. In den anderen Fällen stellen sich um ca. 20 - 25 % höhere gemessene Werte ein. Das Gesamtmittel der Meßwerte liegt um 13 % höher als der theoretische Wert. Die gemessenen Maximalspannungen sind i. a. subvertikal ( $\pm 20 - 30^\circ$ ) orientiert.

#### 4.3.2 Spannungsänderungen

Die in Bohrung 1/8 und 1/7 in der Firste der Kammer 241 S gemessenen Spannungsänderungen sind über einen Zeitraum von ca. 12 Monaten in Anlage 4.9 und 4.10 dargestellt. Gekennzeichnet ist jeweils der Zeitpunkt der Unterfahrung der Meßbohrungen bzw. der Monitorstationen. Es zeigt sich, daß etwa 10 Tage vor Unterfahrung i. a. erste Spannungszunahmen auftreten. Unmittelbar während der Unterfahrung treten in einigen Meßrichtungen (z. B. in horizontaler/radialer Meßrichtung) erhebliche Spannungsreduktionen auf. Maximale Erhöhungen von ca. 4 MPa ergeben sich in bankrechter Richtung.

Bei Auffahrung der Kammer 231 S zeigt sich, daß entsprechend zu den Verformungsmessungen die über Kammer 241 S angeordneten Monitorstationen noch reagieren. So stellen sich z. B. in Bohrung 1/7 in bankrechter Richtung Änderungen von ca. 1,5 MPa ein. Diese zusätzlichen Änderungen sind auf die Ausbildung eines großräumigen sekundären Traggewölbes über dem Streckensystem zurückzuführen.

Die in Bohrung 2/28 und 2/29 im Stoß der Kammer 231 S gemessenen Spannungsänderungen sind über einen Zeitraum von ca. 6 Monaten in den Anlagen 4.11 und 4.14 dargestellt. Auch hier ist der Zeitpunkt der Unterfahrung der jeweiligen Monitorstation besonders gekennzeichnet. Die Anlagen 4.11 und 4.13 zeigen die mit einer Monitorstation in verschiedenen Richtungen gemessenen Spannungsänderungen. In den Anlagen 4.12 und 4.14 ist der zeitliche Verlauf der mit einzelnen Gebern in unterschiedlichem Abstand zum Stoß gemessenen bankrechten Spannungskomponenten aufgetragen.

Es zeigt sich auch hier, daß ca. 10 Tage vor Unterfahung der Meßbohrungen eine deutliche Reaktion der Spannungsgeber auftritt. Unmittelbar während der Unterfahung stellen sich bevorzugt in bankrechter und vertikaler Richtung z. T. erhebliche Spannungsänderungen ein. So ergibt sich z. B. in Bohrung 2/29 in größter Nähe zum Stoß der Kammer 231 S eine Erhöhung der bankrechten Komponente um ca. 20 MPa.

In Anlage 4.15 ist für die Meßbohrung 2/28 der Verlauf der bankrechten Spannungsänderung in Abhängigkeit von der Stoßentfernung für verschiedene Zeitpunkte während der Auffahrung der Kammer 231 S aufgetragen. Mit zunehmender Stoßentfernung nehmen die gemessenen Spannungsänderungen deutlich ab. Jedoch lassen sich in ca. 10 m Entfernung noch Werte bis 2 MPa registrieren. Die größten Änderungen (ca. 5 MPa) treten erwartungsgemäß in Stoßnähe auf.

#### 4.3.3 Last-Deformations-Verhalten (in situ)

In Bohrung 2/37 wurden insgesamt sieben Dilatometerversuche in Bohrlochteufen von 5 bis 15 m durchgeführt. Dabei wurden jeweils vier Laststufen bis 5, 10, 15 und 20 MPa gewählt.

Exemplarisch sind die im Versuch KO-2/37-Dil ermittelten Arbeitslinien in Anlage 4.16 dargestellt.

Es zeigt sich, daß das Verformungsverhalten des untersuchten Gebirgsbereiches durch eine starke Nichtlinearität der Arbeitslinien, insbesondere im unteren Belastungsbereich bis ca. 5 MPa, gekennzeichnet ist. Die Auswertung (siehe dazu /4.6/) der in den vier Laststufen ermittelten Entlastungsäste führt daher zwangsläufig zu lastabhängigen Elastizitätsmoduli.

In Anlage 4.17 sind die Elastizitätsmoduli für jeden Versuch als Mittel aus allen vier Laststufen in Abhängigkeit von der Bohrlochteufe aufgetragen. Dabei sind die für die einzelnen Meßrichtungen bestimmten Werte und deren Mittel dargestellt. In den einzelnen Meßrichtungen ergeben sich Werte zwischen 9,4 und 16,4 GPa. Die Mittelwerte liegen zwischen 10,8 und 13,8 GPa. Das Gesamtmittel aller Werte beträgt ca. 12,2 GPa und entspricht damit etwa dem in den numerischen Berechnungen verwendeten Wert  $E = 11$  GPa (siehe dazu Kapitel 7) sowie dem in Biaxialversuchen an hohlzylindrischen Prüfkörpern ermittelten Wert  $E = 12,9$  GPa (siehe dazu Kapitel 4.3.4).

#### 4.3.4 Last-Deformations-Verhalten (Laborversuche)

Die im Zuge der Überbohrversuche in Bohrung 2/24 erbohrten Hohlzylinder wurden in Biaxialversuchen bei Laststufen von 5, 10 und 15 MPa untersucht. Exemplarisch sind dazu die in den einzelnen Meßrichtungen A, B, C und D im Versuch KO-2/24-BS5 ermittelten Arbeitslinien in Anlage 4.18 dargestellt. Es zeigt sich, daß die Entlastungsäste im unteren Lastbereich durch einen nichtlinearen Verlauf ähnlich wie in den Dilatometermessungen gekennzeichnet sind.

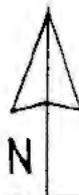
Die Auswertung aller sieben Biaxialversuche zeigt nach Anlage 4.19, daß sich Elastizitätsmoduli zwischen ca. 9,8 GPa und ca. 17,7 GPa ergeben. Dabei treten die höheren Werte i. a. an Prüfkörpern aus größerer Entnahmeteufe auf. Im gesamten Mittel ergibt sich ein Wert  $E = 12,9$  GPa, der etwa mit dem in Dilatometermessungen ermittelten Wert  $E = 12,2$  GPa (siehe Kapitel 4.3.3) und dem für die Auswertung der Überbohrversuche angenommenen Wert  $E = 13,5$  GPa (siehe Kapitel 4.3.1) übereinstimmt.

Zur Überprüfung der elastischen Eigenschaften des Bohrlochverfüllmaterials wurden insgesamt sechs hohlzylindrische Prüfkörper unter den o. g. Belastungsbedingungen in der Biaxialzelle untersucht. Das Verformungsverhalten ist durch einen nahezu idealelastischen Verlauf sowohl im Belastungs- als auch im Entlastungsbereich gekennzeichnet.

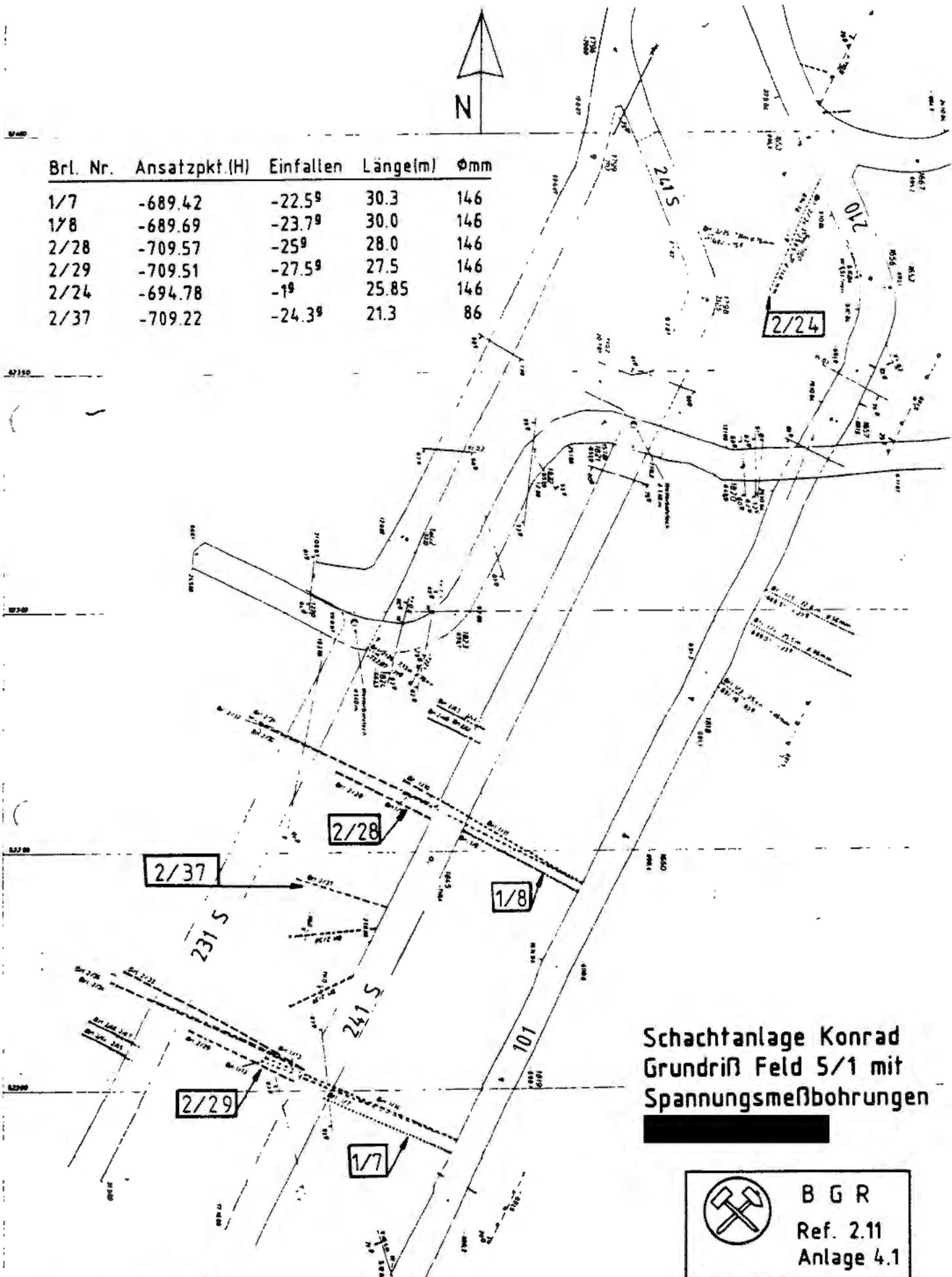
Die Auswertung ergab für die in situ angefertigten Prüfkörper einen Elastizitätsmodul zwischen 18 und 19 GPa. Dieser Wert weist die gleiche Größenordnung auf wie die in Dilatometermessungen bei höherer Belastung ermittelten Werte. Daher wird auf eine Korrektur der nach der Bohrlocheinschlußmethode mit Spannungsgebern ermittelten Spannungsänderungen verzichtet. Diese Korrektur wäre z. B. bei sehr unterschiedlicher Steifigkeit von Gebirge und Bohrlochverfüllmaterial notwendig.

#### 4.4 Literatur

- /4.1/ PAHL, A., GLÖGGLER, W. & SPRADO, K.-H. (1981): Erprobung einer Schlitzentlastungs- und Druckkissenbelastungsapparatur zur Ermittlung von Spannungen und Verformungsverhalten auf der 1 200 m-Sohle der Grube Konrad.- BGR-Bericht; Hannover.
- /4.2/ HEUSERMANN, St. & MÜLLER, D. W. (1985): Spannungsmessungen auf der Schachtanlage Konrad, 1 200 m-Sohle Süd.- BGR-Bericht, Archiv-Nr. 98 292; Hannover.
- /4.3/ HEUSERMANN, St. & GLÖGGLER, W. (1989): Schachtanlage Konrad, Feld 5/1, Spannungsuntersuchungen - Zwischenbericht zum AP 31892.30.- BGR-Bericht, Archiv-Nr. 104 644; Hannover.
- /4.4/ PAHL, A., HEUSERMANN, St., BRÄUER, V. & GLÖGGLER, W. (1989): Gebirgsspannungen (Felslabor Grimsel) - Schlußbericht zum BMFT-FV KWA 5303 4 / 5304 A 5.- BGR-Bericht, Archiv-Nr. 104 564; Hannover.
- /4.5/ BRÄUER, V., DIEKMANN, N., GERARDI, J., HEUSERMANN, St., LIEDTKE, L., MEISTER, D. & SCHNIER, H. (1989): Geologische und geotechnische Untersuchungen im Versuchsfeld 5/1 der Schachtanlage Konrad - Sachstandsbericht zum AP 31892.34.- BGR-Bericht, Archiv-Nr. 105 842; Hannover.
- /4.6/ HEUSERMANN, St., GLÖGGLER, W. & SPRADO, K.-H. (1990): Spannungsuntersuchungen auf der Schachtanlage Konrad, Feld 5/1 - Schlußbericht zum AP 31892.30.- BGR-Bericht, Archiv-Nr. 107 936; Hannover.



Brl. Nr.	Ansatzpkt.(H)	Einfallen	Länge(m)	Ømm
1/7	-689.42	-22.5 <sup>9</sup>	30.3	146
1/8	-689.69	-23.7 <sup>9</sup>	30.0	146
2/28	-709.57	-25 <sup>9</sup>	28.0	146
2/29	-709.51	-27.5 <sup>9</sup>	27.5	146
2/24	-694.78	-1 <sup>9</sup>	25.85	146
2/37	-709.22	-24.3 <sup>9</sup>	21.3	86

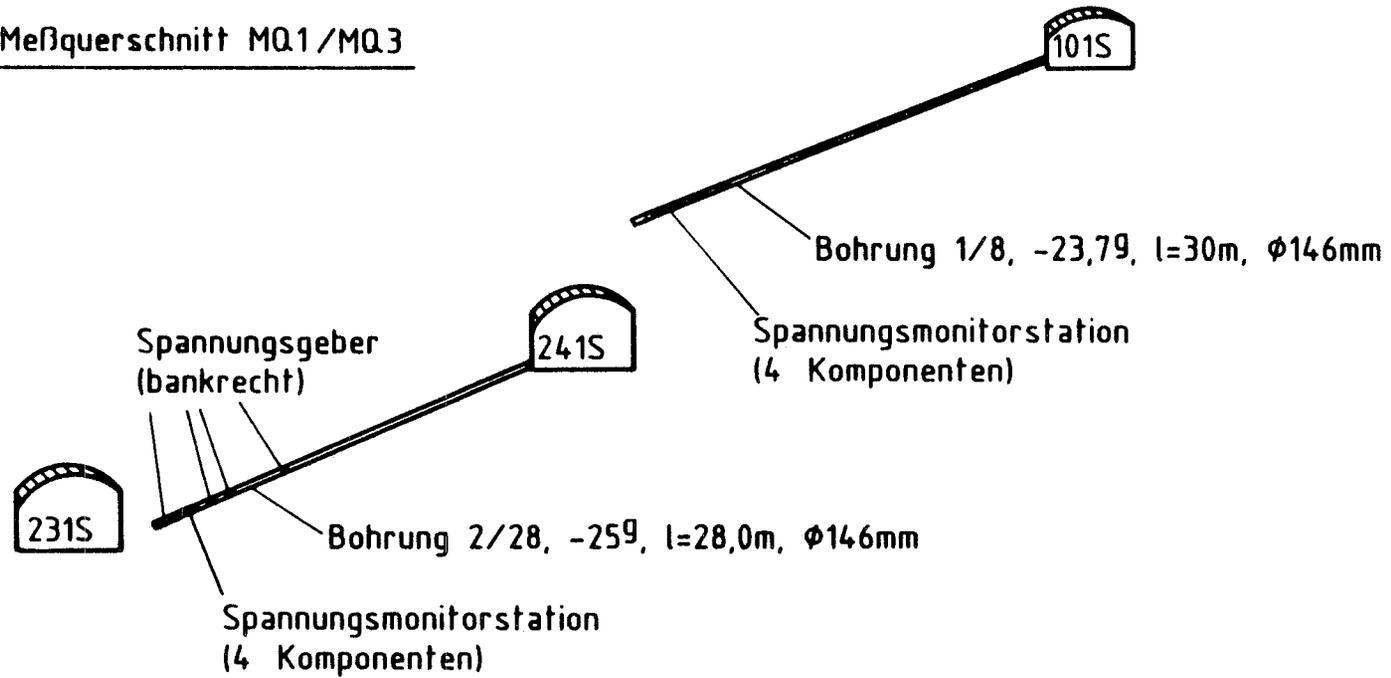


Schachanlage Konrad  
Grundriß Feld 5/1 mit  
Spannungsmeßbohrungen

 B G R  
Ref. 2.11  
Anlage 4.1

nach Unterlagen der [redacted]

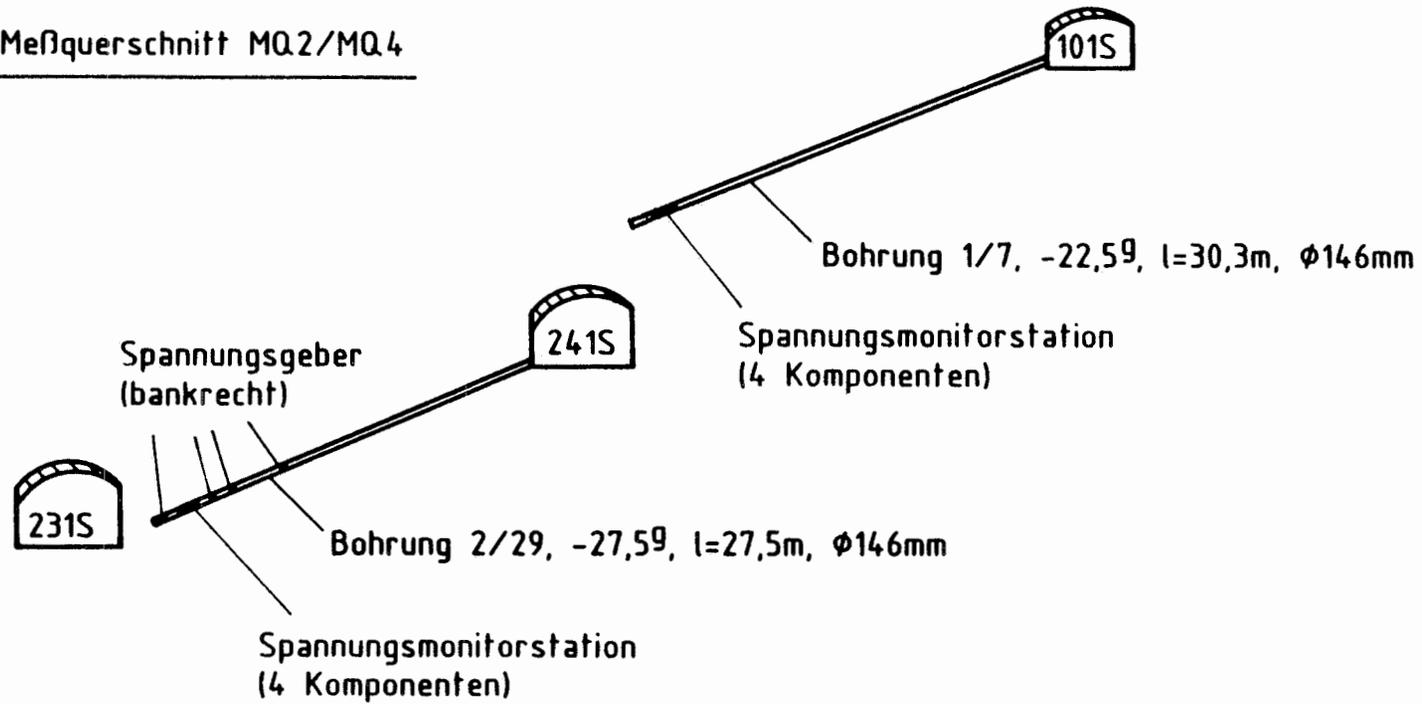
Meßquerschnitt MQ1/MQ3



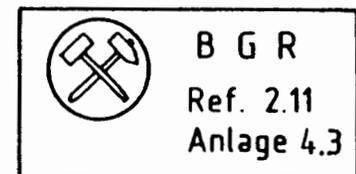
Anordnung der Bohrungen 1/8 u. 2/28 in MQ1/MQ3  
für Langzeitspannungsmessungen

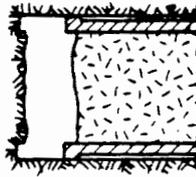


Meßquerschnitt MQ2/MQ4

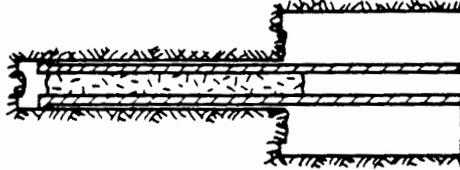


Anordnung der Bohrungen 1/7 u. 2/29 in MQ2/MQ4  
für Langzeitspannungsmessungen

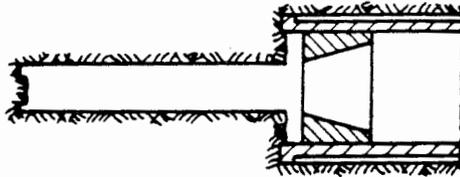




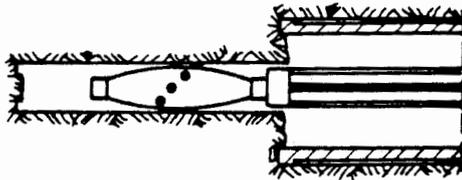
Kernbohrung  
Ø 146mm



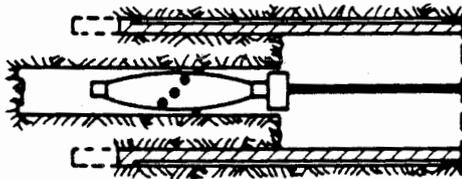
Pilotbohrloch  
Ø 46mm



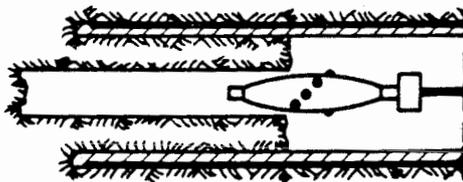
Einbau des  
Doppelkernrohres  
mit Zentrierung



Einbau der  
BGR-Sonde



Überbohren



Ausbau der  
Sonde und  
des Kernrohres

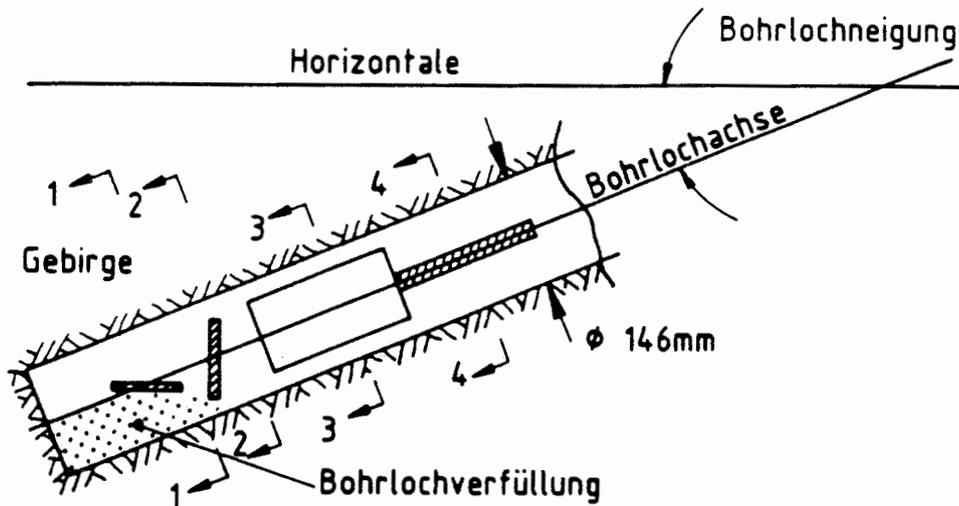
## Prinzip der BGR-Überbohrmethode bei Horizontalbohrungen



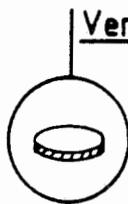
B G R  
Ref. 2.11  
Anlage 4.4

# Anordnung der Spannungsmonitorstationen in den Bohrungen 1/7, 1/8, 2/28, 2/29

Seitenansicht:

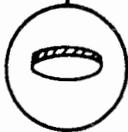


Schnitt 1:1 :



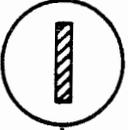
Geber 1, Typ BB 10  
Messung der vertikalen  
Spannungskomponente

Schnitt 2:2 :



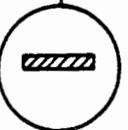
Geber 2, Typ BB 10  
Messung der horizontalen  
Spannungskomponente  
(radial zur Strecke)

Schnitt 3:3 :



Geber 3, Typ BB 10/20  
Messung der axialen (strecken-  
parallelen) Spannungskomponente

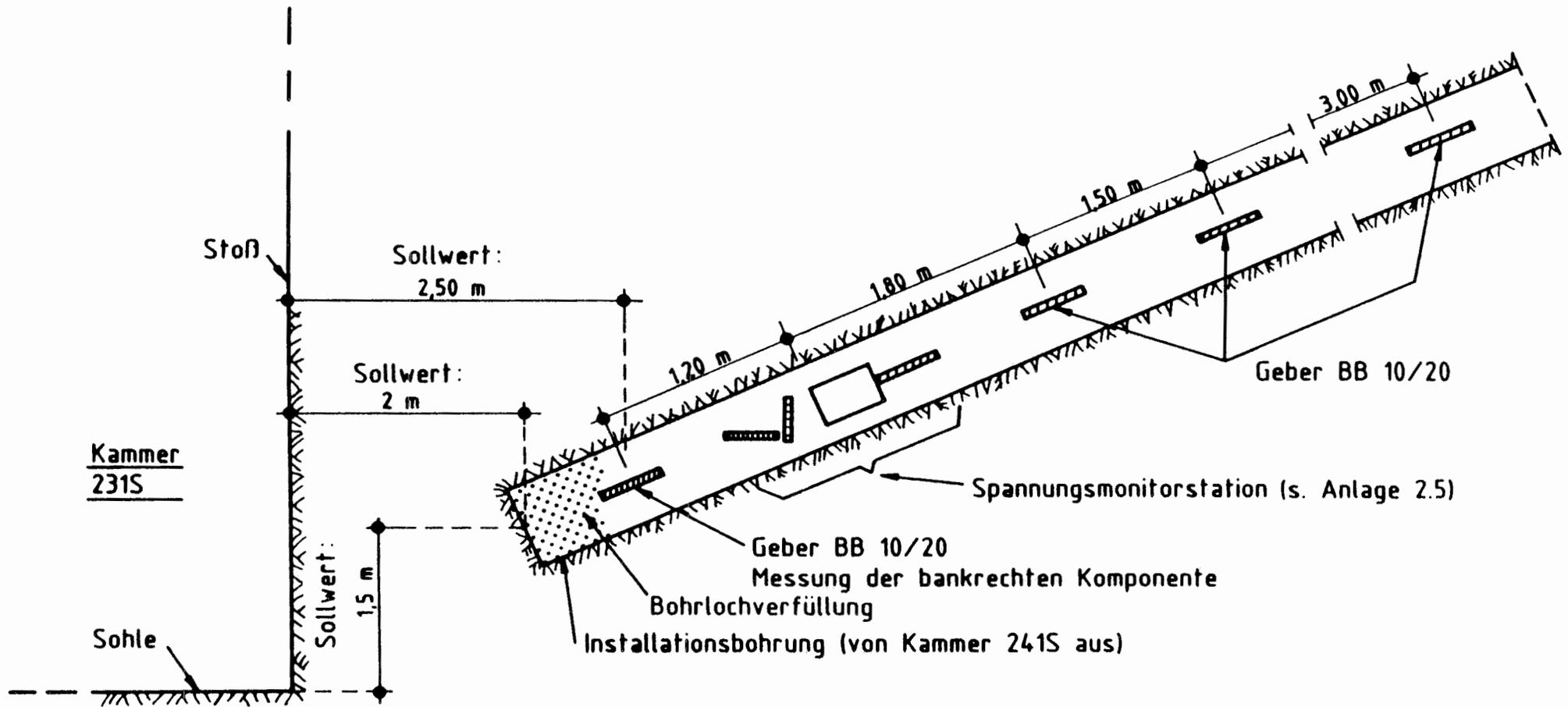
Schnitt 4:4 :



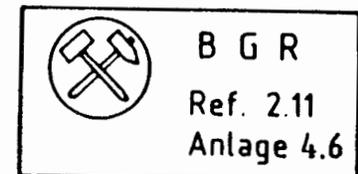
Geber 4, Typ BB 10/20  
Messung der bankrechten  
Spannungskomponente



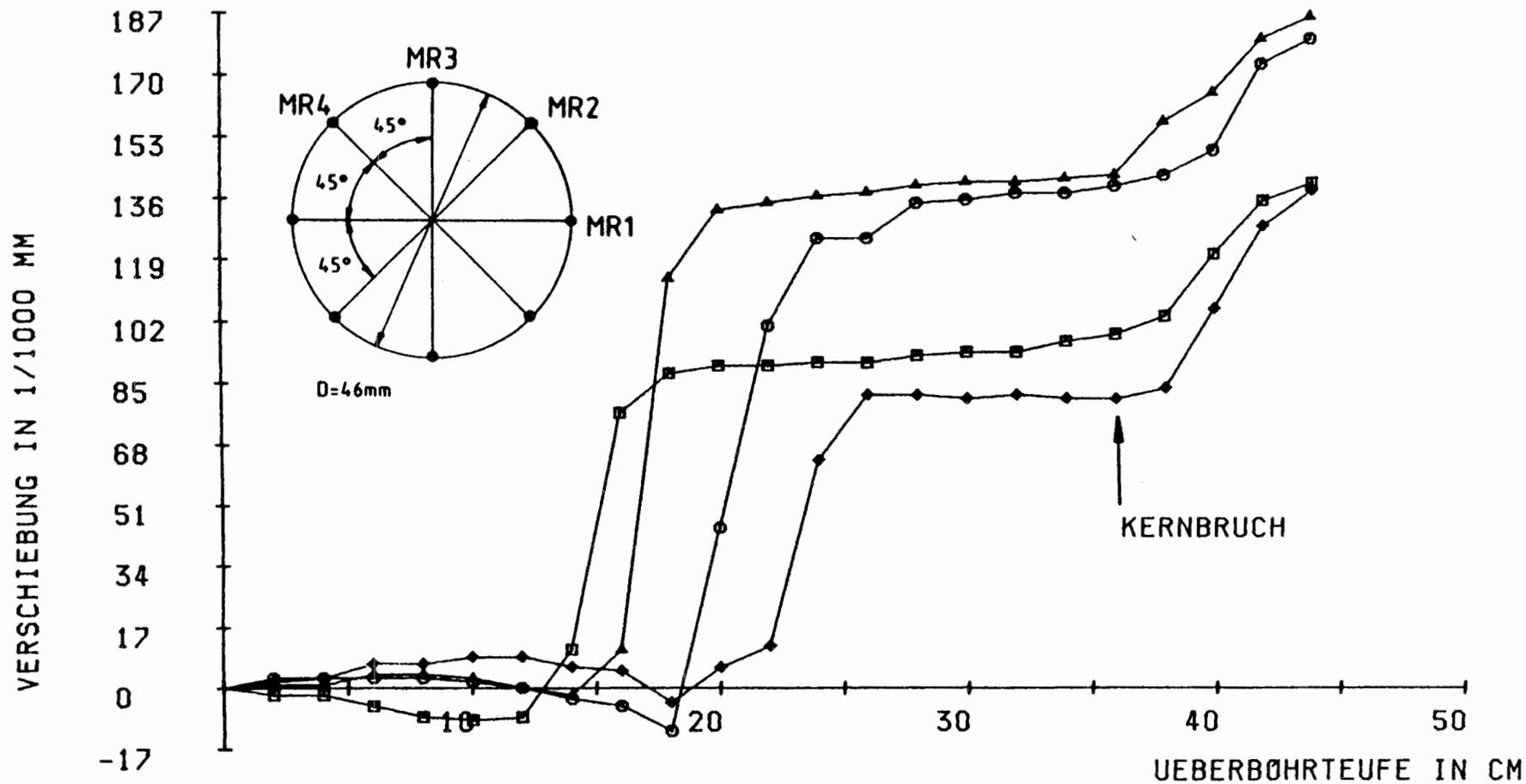
B G R  
Ref. 2.11  
Anlage 4.5



Anordnung der Spannungsgeber in den Bohrungen 2/28 u. 2/29



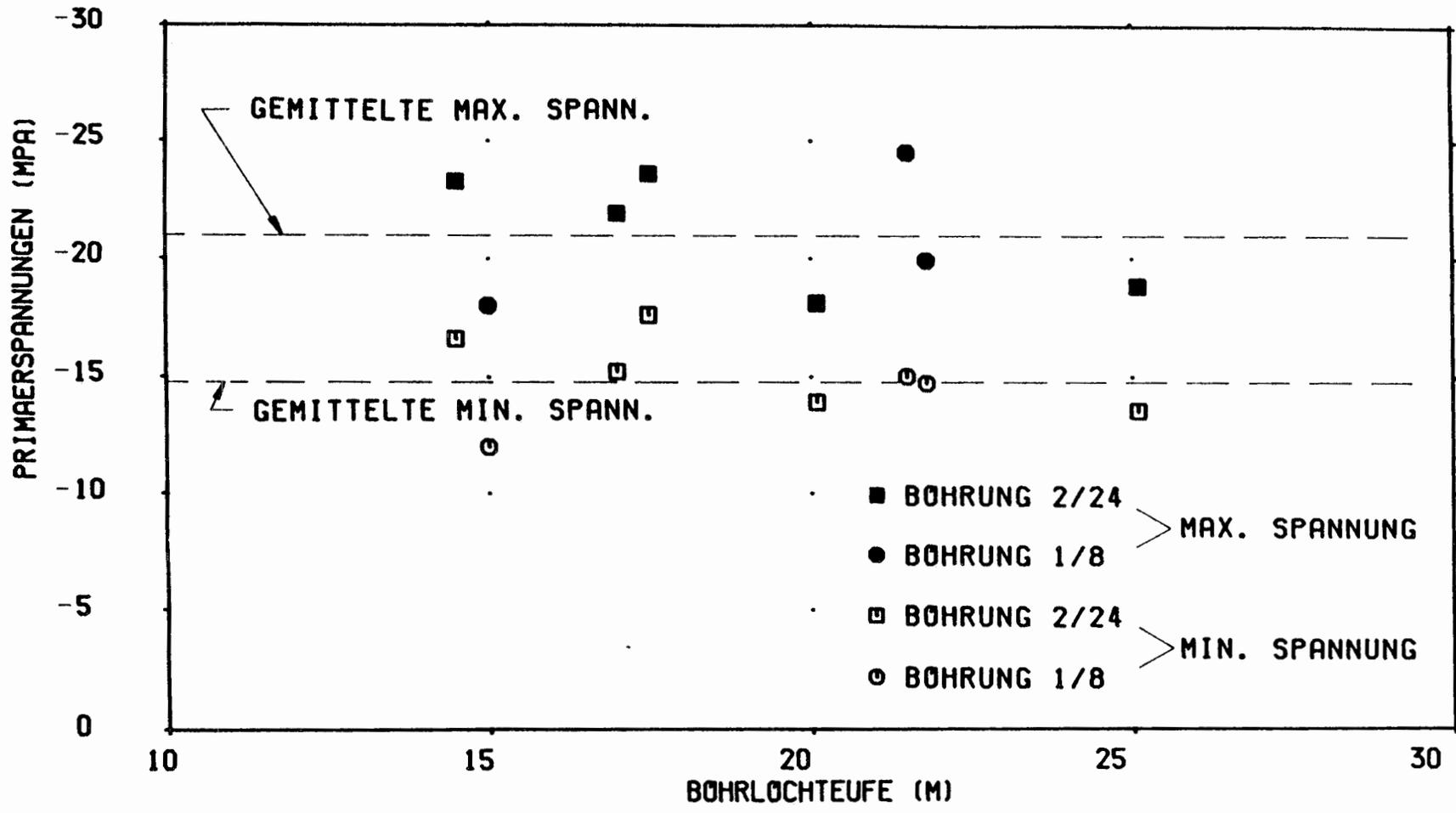
# BGR - UEBERBOHRVERSUCH K0-1/8-BS6



VERSUCHSORT : KONRAD, STRECKE 1015, BOHRUNG 1/8  
 UEBERBOHRTEUFE : 21.66 M - 22.10 M  
 DATUM : 22.05.1987  
 KERNBRUCH

◆ GEBER 1    □ GEBER 2  
 ▲ GEBER 3    ○ GEBER 4

BGR HANNÖVER  
 REF. B 2.11  
 ANLAGE 4.7



PRIMAERSPANNUNGEN

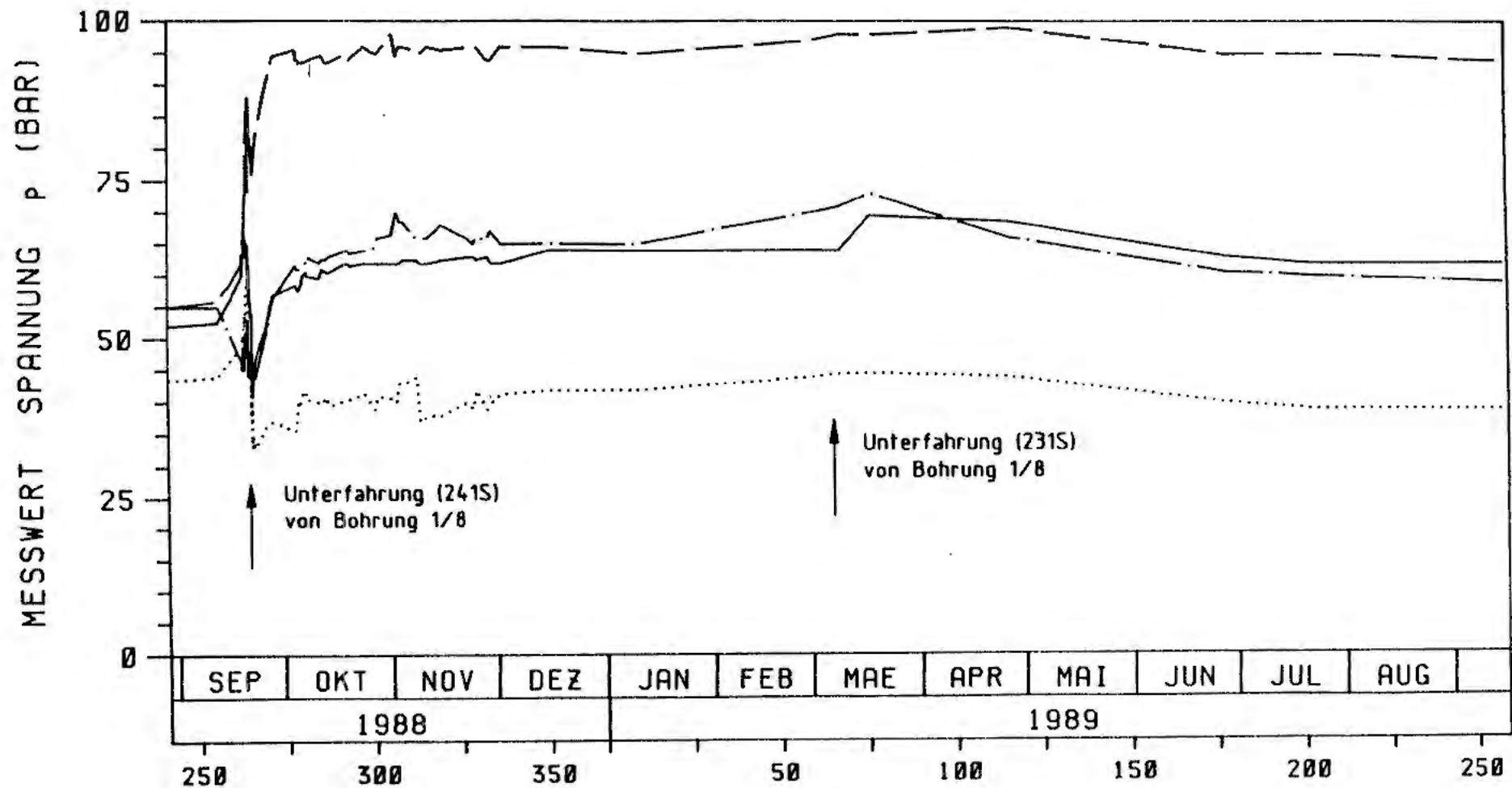
SCHACHTANLAGE KONRAD, FELD 5/1



BUNDESANSTALT  
 FUER  
 GEOWISSENSCHAFTEN  
 UND ROHSTOFFE

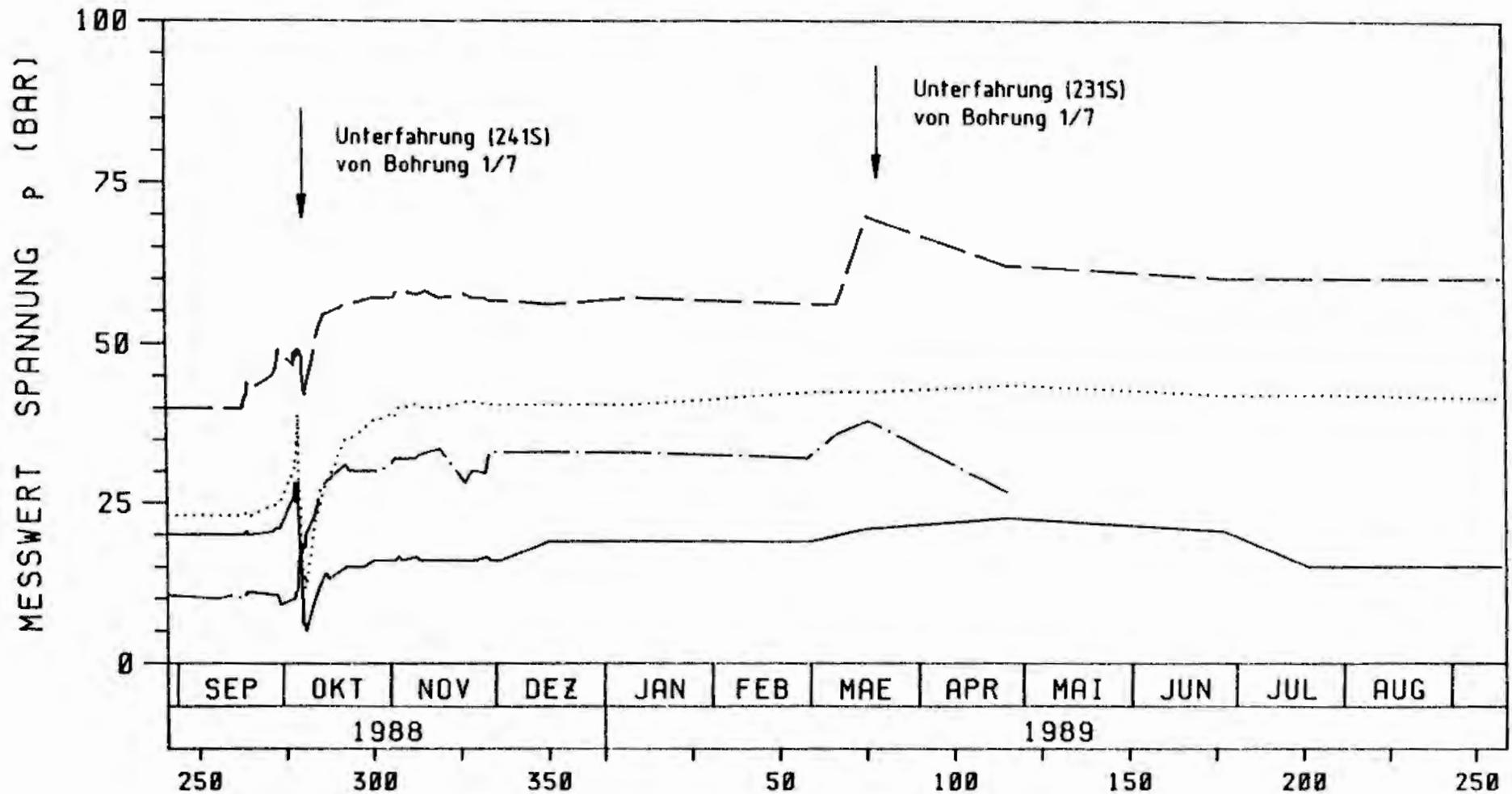
REF. 2.11

ANLAGE 4.8



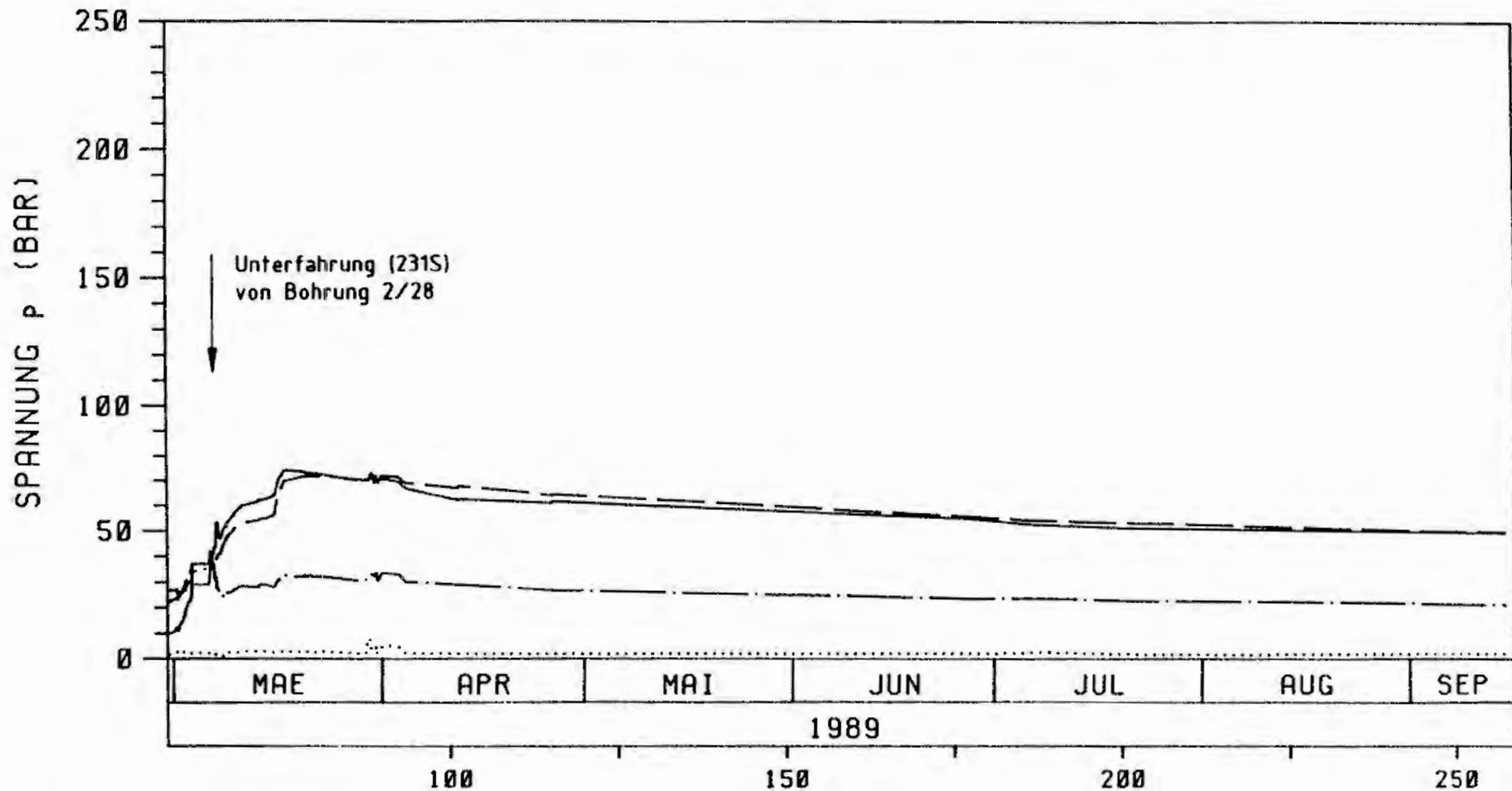
KURVE	MST GEBER	MD	MESSRICHTG	TEUFE (M)	HÖHE (m NN)	AUFGETRAGENER MESSZEITRAUM	KOMPENSAT
—	001 1/0.1.1	1	VERTIKAL	29.34	-699.50	290000-150989	OHNE
.....	002 1/0.1.2	1	HORIZONTAL	29.19	-699.53	290000-150989	OHNE
-.-.-	003 1/0.1.3	1	AXIAL	28.94	-699.44	290000-150989	OHNE
- - - -	004 1/0.1.4	1	BANKRECHT	28.69	-699.35	290000-150989	OHNE

SPANNUNGSMESSUNGEN	
Konrad Feld 5/1	ANLAGE: 4.9
B G R HANNOVER REF. 2.11	DATUM: 19.09.89



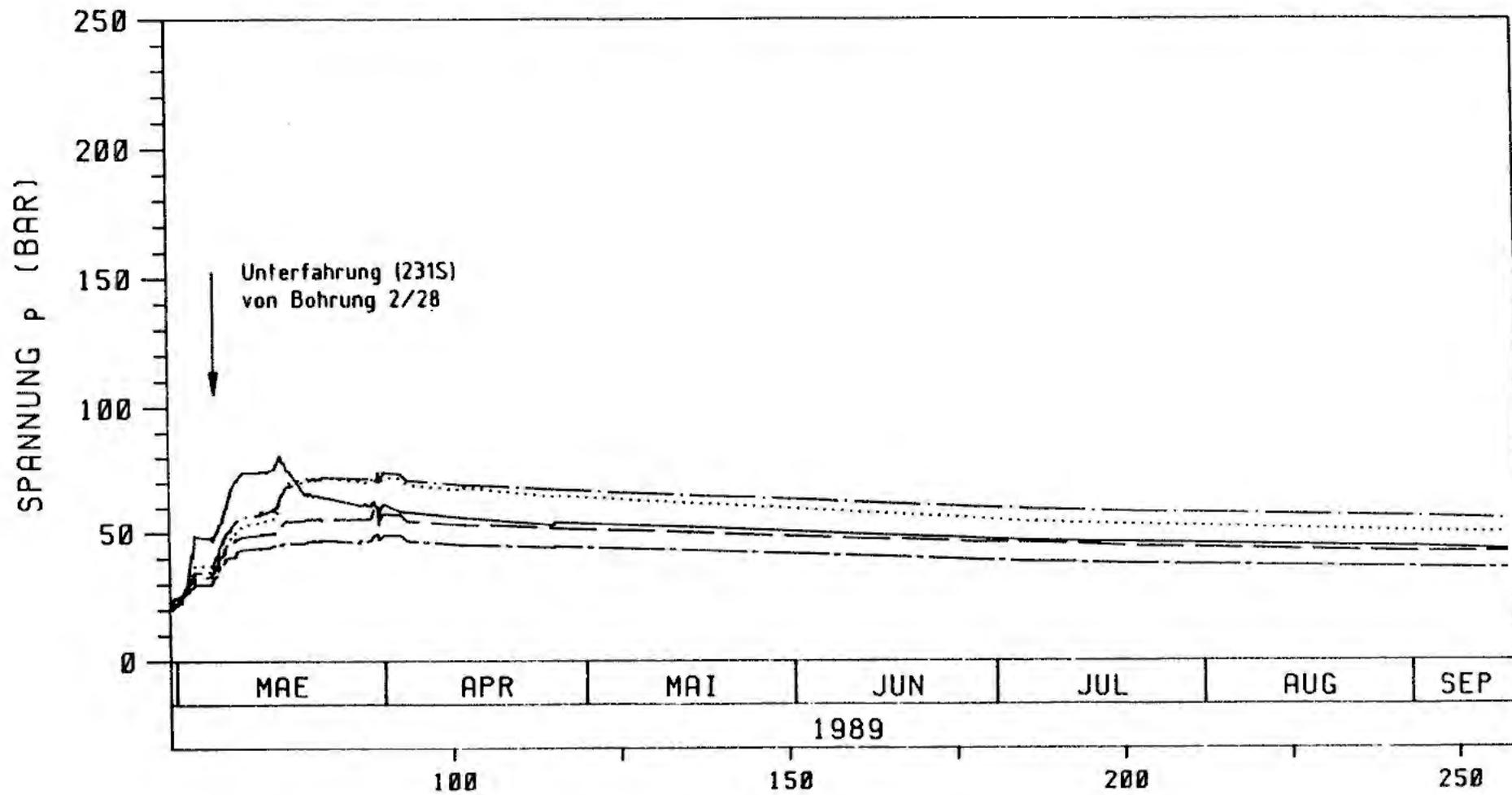
KURVE	MST GEBER	MQ	MESSRICHTG	TEUFE (M)	HÖHE (m NN)	AUFGETRAGENER MESSZEITRAUM	KOMPENSAT
—	005 1/7.2.1	2	VERTIKAL	29.34	-700.37	290000-150909	OHNE
.....	006 1/7.2.2	2	HORIZONTAL	29.19	-700.31	290000-150909	OHNE
- · - · -	007 1/7.2.3	2	AXIAL	28.94	-700.22	290000-260409	OHNE
- - - -	008 1/7.2.4	2	BANKRECHT	28.69	-700.13	290000-150909	OHNE

SPANNUNGSMESSUNGEN	
Konrad Feld 5/1	ANLAGE:
B G R HANNOVER	4.10
REF. 2.11	DATUM:
[REDACTED]	19.09.89



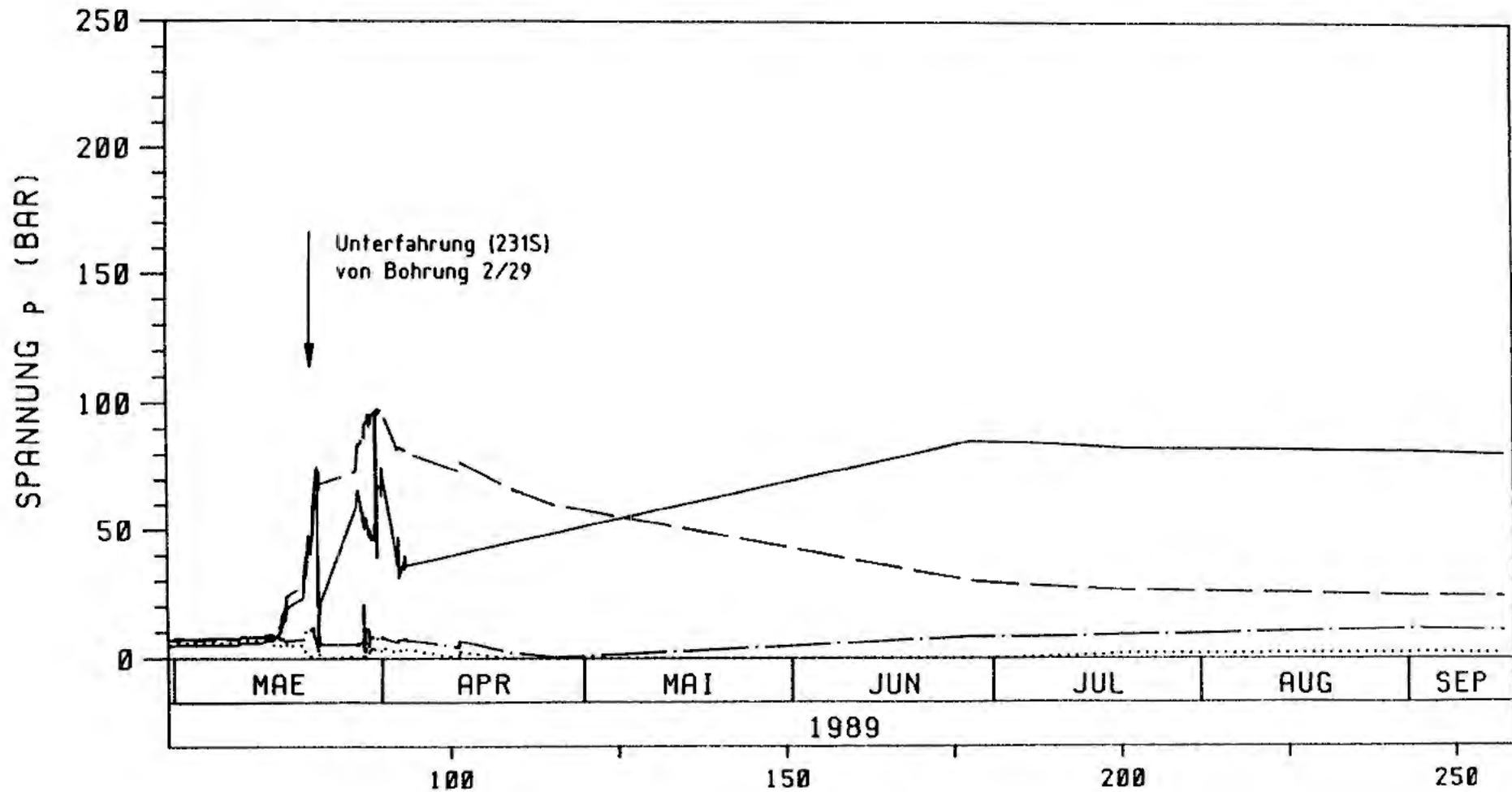
KURVE	MST GEBER	MQ	MESSRICHTG	TEUFE (M)	HÖHE (m NN)	AUFGETRAGENER MESSZEITRAUM	KOMPENSAT
————	002 2/28.1.2	3	VERTIKAL	26.45	0	200209-150909	OHNE
.....	003 2/28.1.3	3	HORIZONTAL	26.35	0	200209-150909	OHNE
— · — ·	004 2/28.1.4	3	AXIAL	26.3	0	200209-150909	OHNE
————	005 2/28.1.5	3	BANKRECHT	26.1	0	200209-150909	OHNE

SPANNUNGSMESSUNGEN	
Konrad Feld 5/1	ANLAGE:
B G R	4.11
	DATUM:
	19.09.89



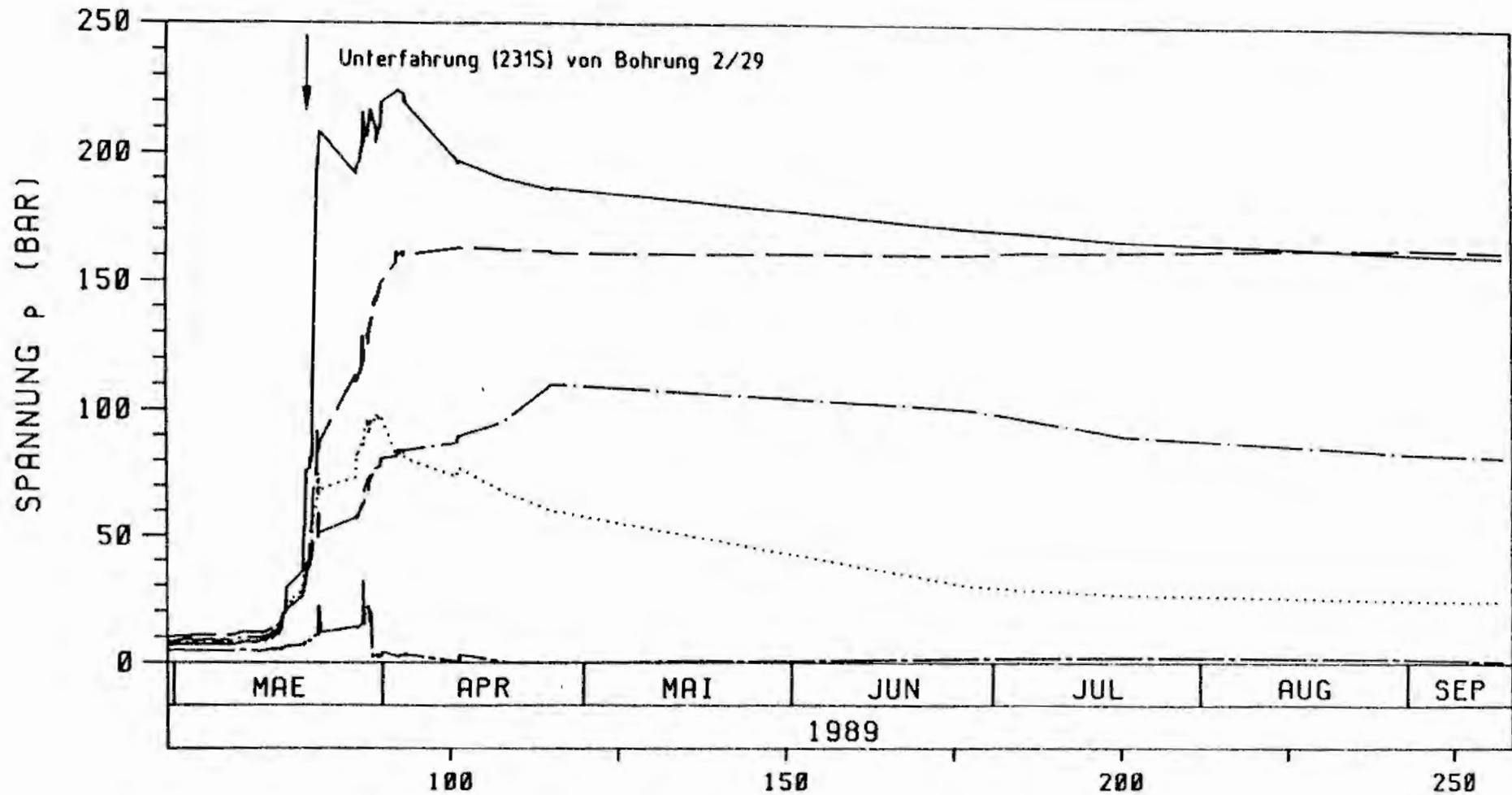
KURVE	MST GEBER	MO	MESSRICHTG	TEUFE (M)	HÖHE (m NN)	AUFGETRAGENER MESSZEITRAUM	KOMPENSAT
————	001 2/28.1.1	3	BANKRECHT	27.5	0	280289-150989	OHNE
.....	005 2/28.1.5	3	BANKRECHT	26.1	0	280289-150989	OHNE
— · — · —	006 2/28.1.6	3	BANKRECHT	24.5	0	280289-150989	OHNE
— — — —	007 2/28.1.7	3	BANKRECHT	23.0	0	280289-150989	OHNE
— · — · —	008 2/28.1.8	3	BANKRECHT	20.0	0	280289-150989	OHNE

SPANNUNGSMESSUNGEN	
Konrad Feld 5/1	ANLAGE:
B G R	4.12
	DATUM:
	19.09.89



KURVE	MST GEBER	MO	MESSRICHTG	TEUFE (M)	HÖHE (m NN)	AUFGETRAGENER MESSZEITRAUM	KOMPENSAT
————	Ø10 2/29.2.2	4	VERTIKAL	25.65	Ø	280289-150989	OHNE
.....	Ø11 2/29.2.3	4	HORIZONTAL	25.75	Ø	280289-150989	OHNE
— · — ·	Ø12 2/29.2.4	4	AXIAL	25.8	Ø	280289-150989	OHNE
— — — —	Ø13 2/29.2.5	4	BANKRECHT	25.60	Ø	280289-150989	OHNE

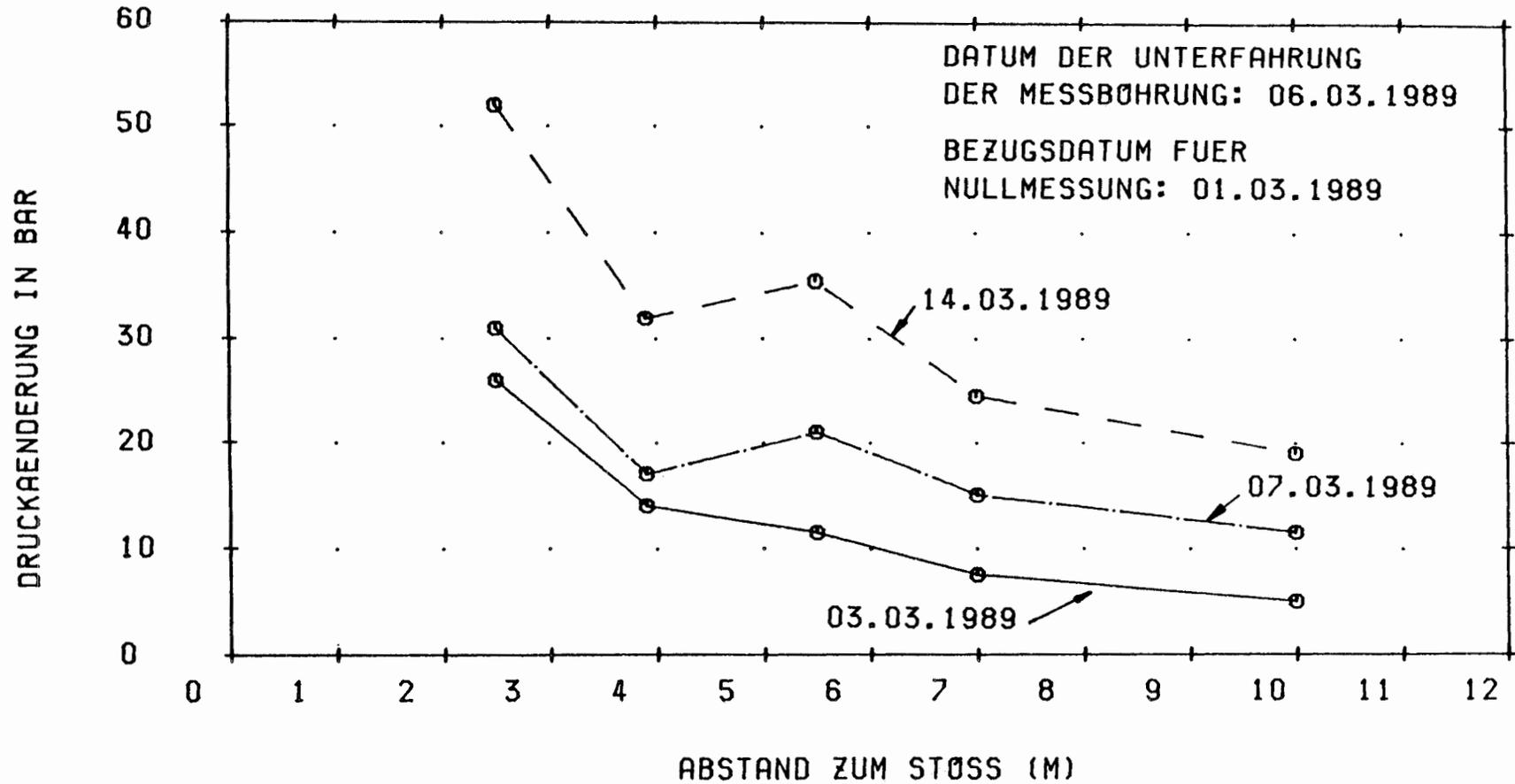
SPANNUNGSMESSUNGEN	
Konrad Feld 5/1	ANLAGE: 4.13
B G R	DATUM: 19.09.89



KURVE	MST GEBER	MD	MESSRICHTG	TEUFE (M)	HÖHE (m NN)	AUFGETRAGENER MESSZEITRAUM	KOMPENSAT
————	009 2/29.2.1	4	BANKRECHT	27.0	0	200209-150989	OHNE
.....	013 2/29.2.5	4	BANKRECHT	25.60	0	200209-150989	OHNE
— · — ·	014 2/29.2.6	4	BANKRECHT	24.0	0	200209-150989	OHNE
— — — —	015 2/29.2.7	4	BANKRECHT	22.50	0	200209-150989	OHNE
— · — · — ·	016 2/29.2.8	4	BANKRECHT	19.50	0	200209-150989	OHNE

SPANNUNGSMESSUNGEN	
Konrad Feld 5/1	ANLAGE:
B G R	4.14
	DATUM:
	19.09.89

# KONRAD FELD 5/1 - BØ 2/28



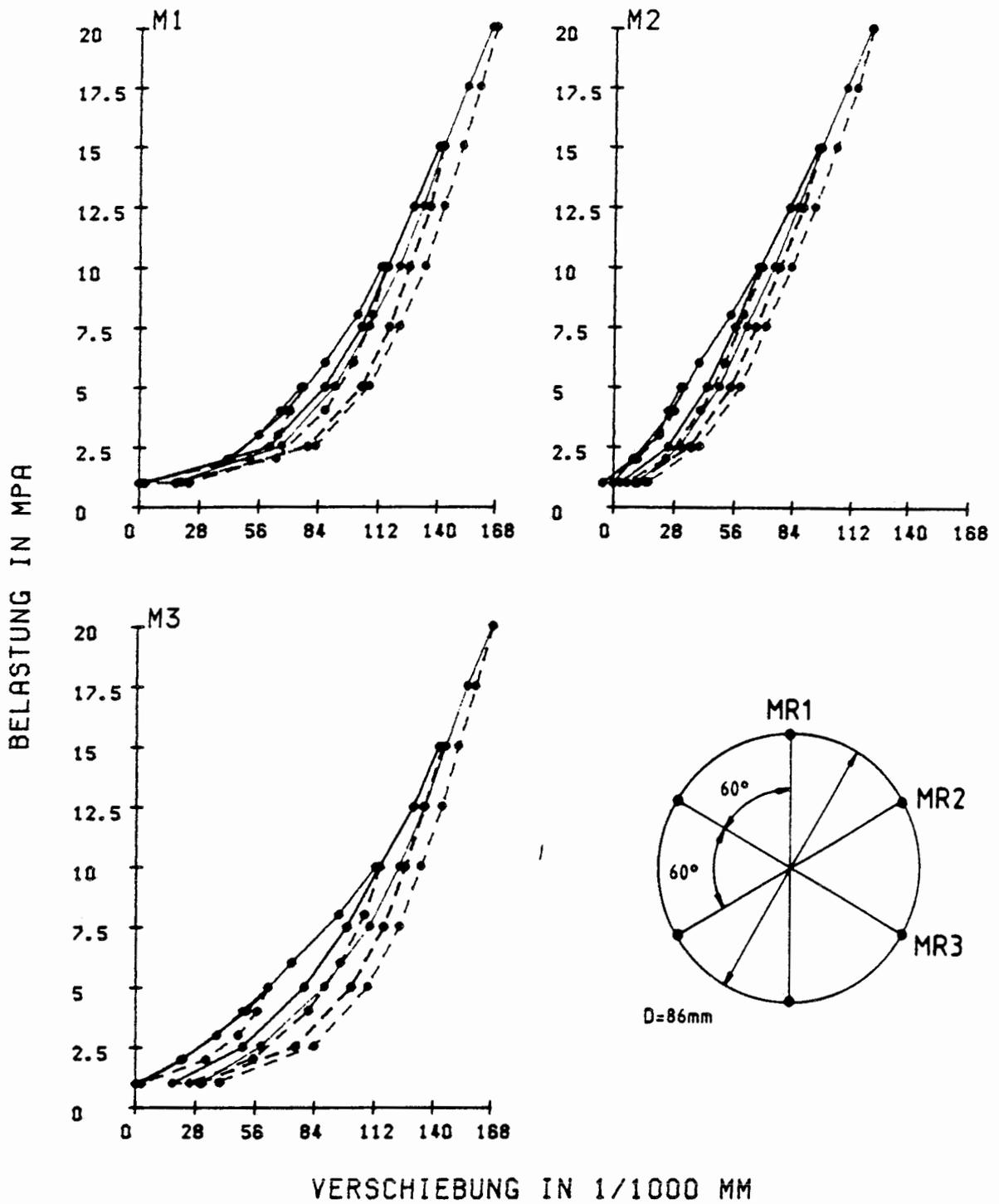
SPANNUNGSÄNDERUNGEN DURCH AUFFAHRUNG DER STRECKE 231 S  
BANKRECHTE SPANNUNGSKOMPONENTE



BUNDESANSTALT  
FUER  
GEOWISSENSCHAFTEN  
UND ROHSTOFFE

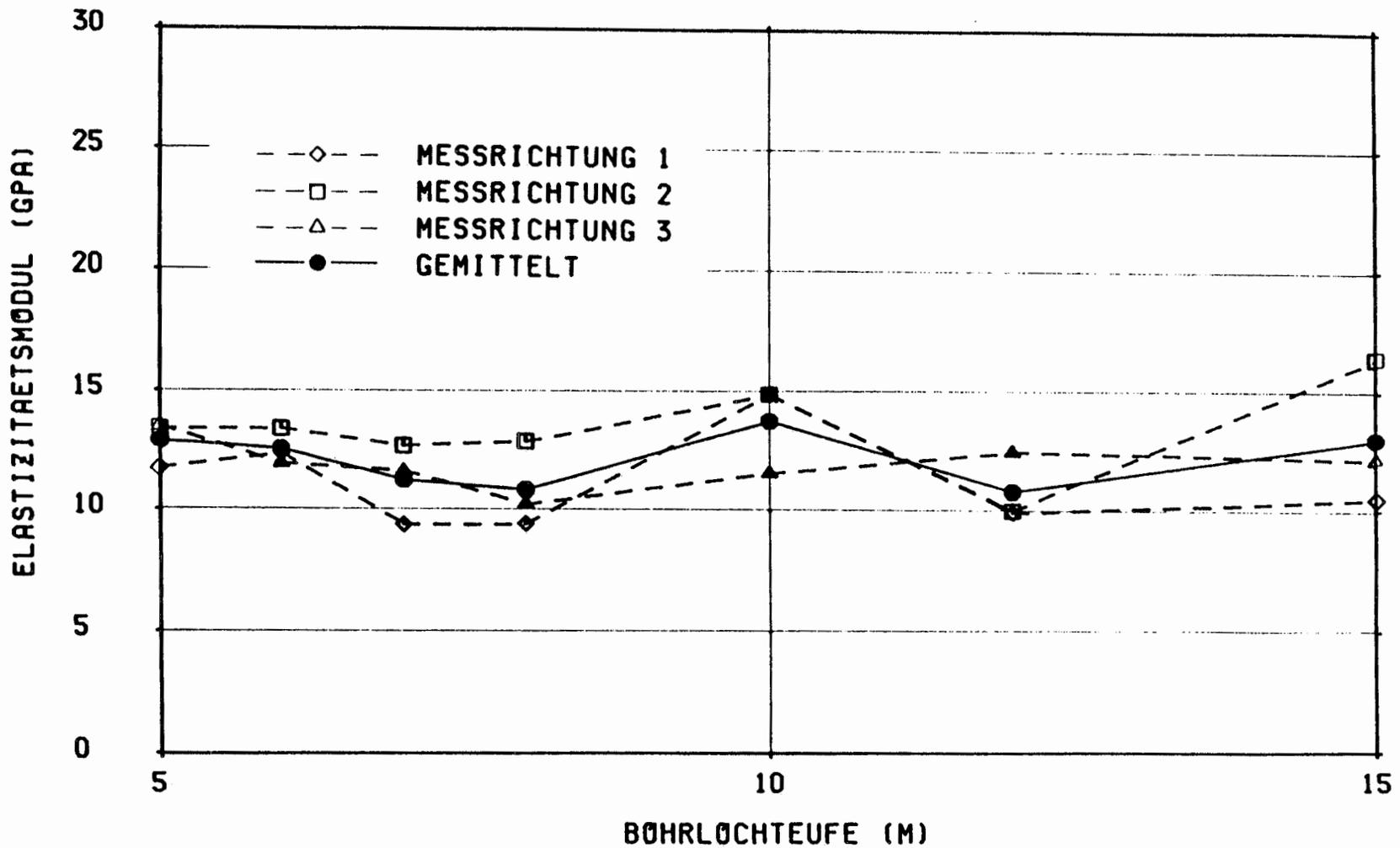
REF. 2.11 ANLAGE 4.15

# DILATOMETERVERSUCH K0-2/37-DI1



VERSUCHSORT : KÖNIGRAD FELD 5/1, 2415  
 DATUM : 16.03.1989  
 BÖHRUNG : 2/37 TEUFE : 15.00 M  
 SONDENORIENTIERUNG : MR 1 VERTIKAL

BGR HANNOVER  
 REF. B 2.11  
 ANLAGE 4.16



DILATÖMETERMESSUNGEN, KÖNRAD, FELD 5/1, BÖHRUNG 2/37

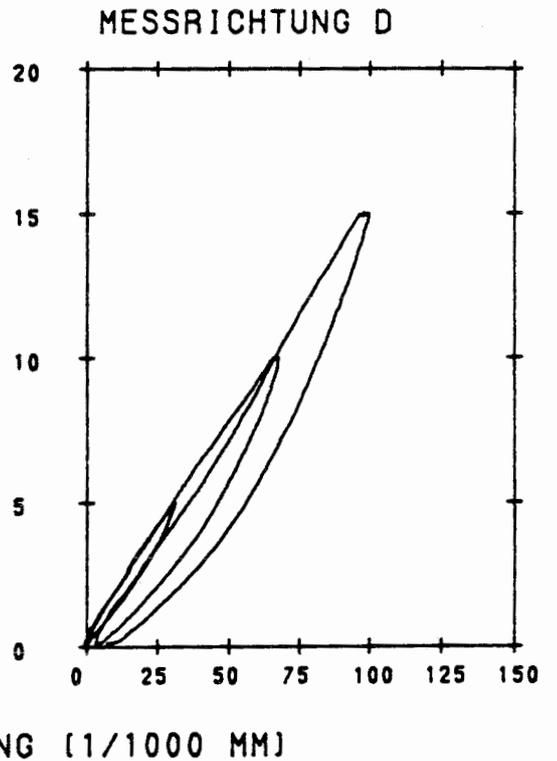
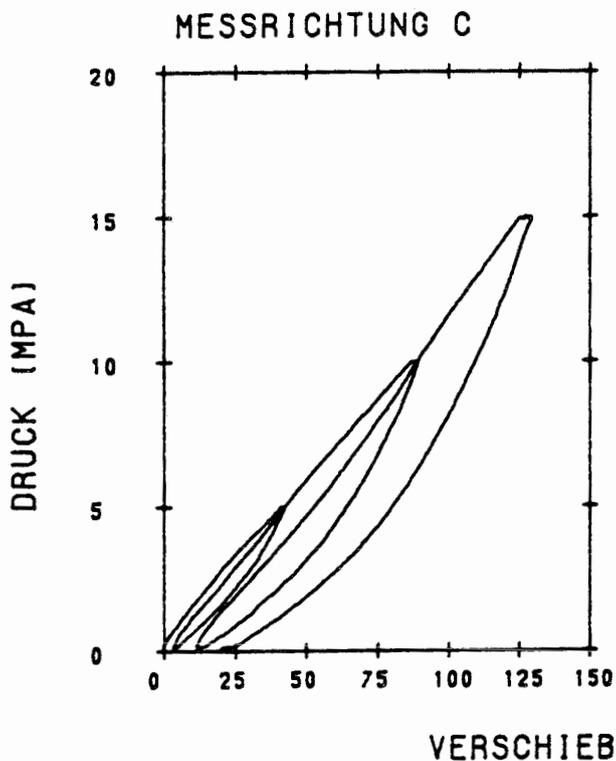
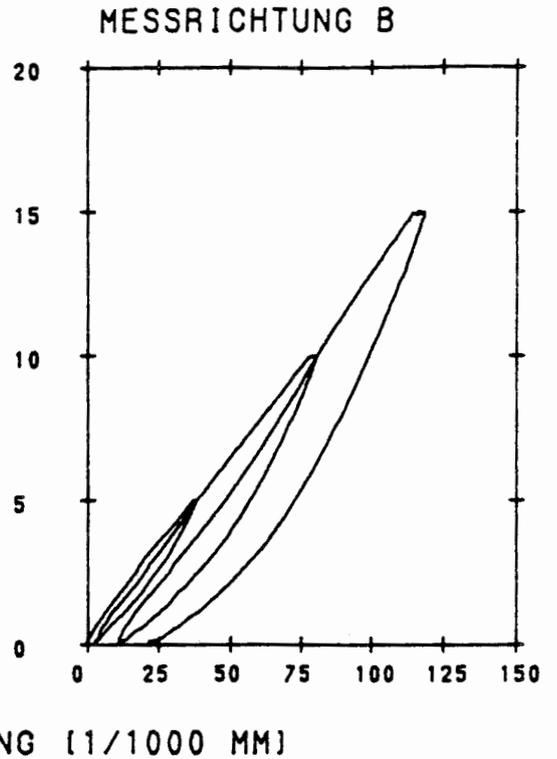
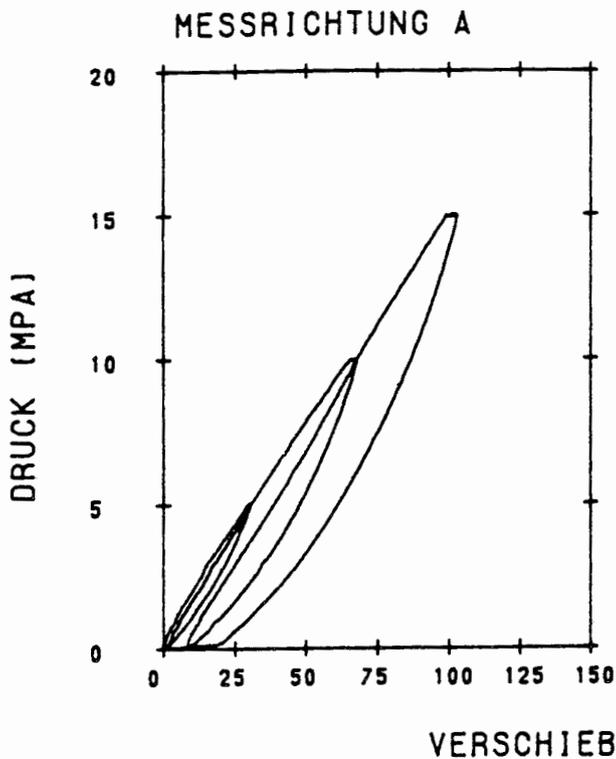
ELASTIZITÄTSMÖDULI (AUS SEKANTE,  $\nu = 0.3$ )



BUNDESANSTALT  
FÜR  
GEOWISSENSCHAFTEN  
UND ROHSTOFFE

REF. 2.11

ANLAGE 4.17

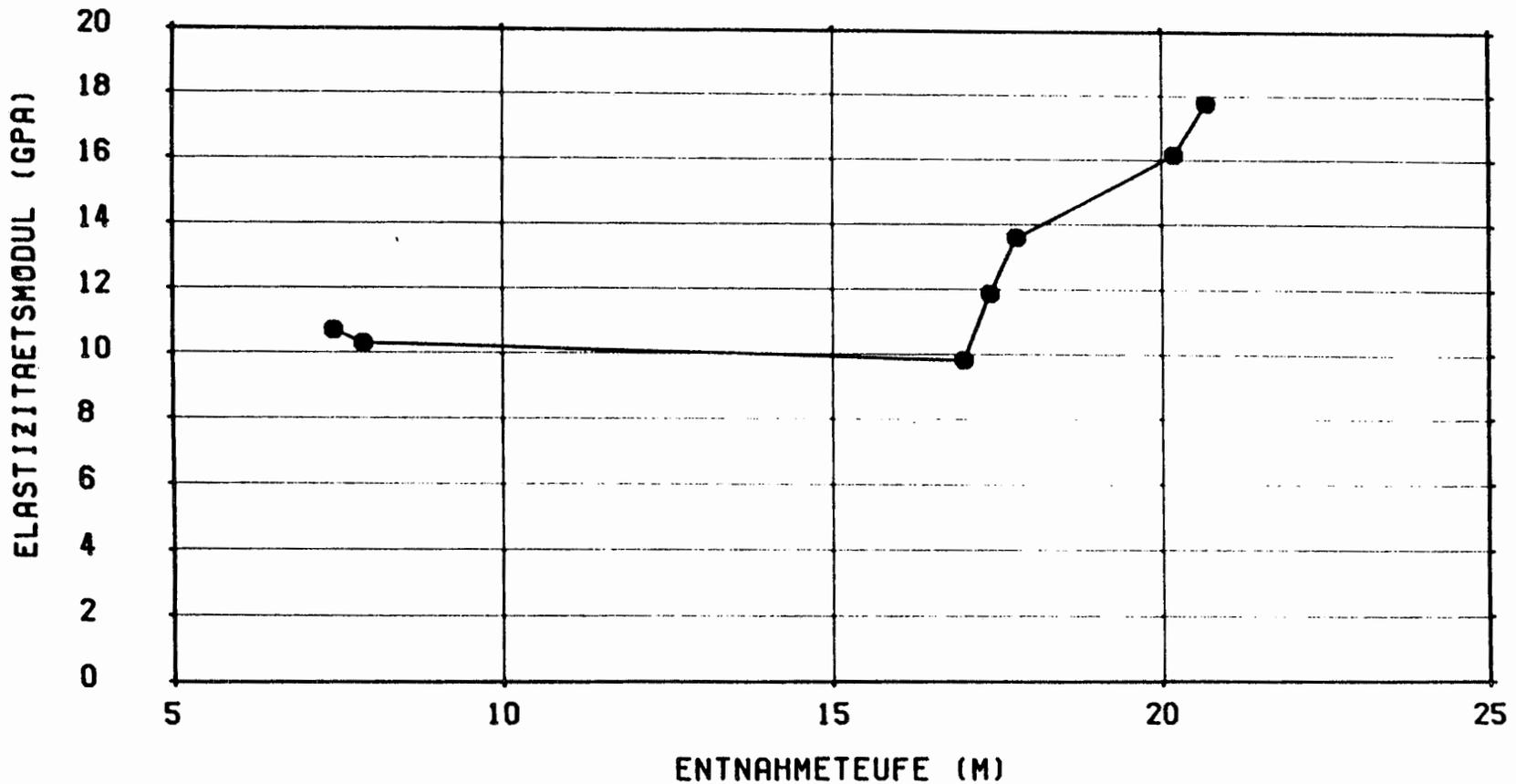


ENTNAHMEORT : KONRAD - FELD 5/1  
 VERSUCHSBEZ. : KO-2/24-BS5  
 MATERIAL : KORALLENOOLITH  
 BELASTUNG : 5/10/15  
 DATUM : 18.01.89 15H13'



BUNDESANSTALT  
 FÜR  
 GEOWISSENSCHAFTEN  
 UND ROHSTOFFE

REF. 2.11 ANLAGE 4.18



BIAXIALVERSUCHE AN HOHLPRUEFKOERPERN

KONRAD, FELD 5/1, BO 2/24

ELASTIZITÄTSMODULI (AUS SEKANTE)



BUNDESANSTALT  
FÜR  
GEOWISSENSCHAFTEN  
UND ROHSTOFFE

REF. 2.11

ANLAGE 4.19

## 5. GEOMECHANISCHE UND GEODÄTISCHE VERFORMUNGSMESSUNGEN

Während und nach der Auffahrung der Strecken im Versuchsfeld 5/1 wurden die dadurch hervorgerufenen Bewegungen im streckennahen Gebirge und in den Festen zwischen den Strecken meßtechnisch erfaßt. Zur Beurteilung der Stabilität des Streckenmantels und des streckennahen Gebirges dienen Konvergenzmessungen. Aus Lageänderungsmessungen in Bohrlöchern in den Festen zwischen den Strecken werden Ergebnisse gewonnen, die in Verbindung mit den Konvergenz- und Spannungsmessungen eine Beurteilungsgrundlage für die Standsicherheit des gesamten Streckensystems bilden /5.1/.

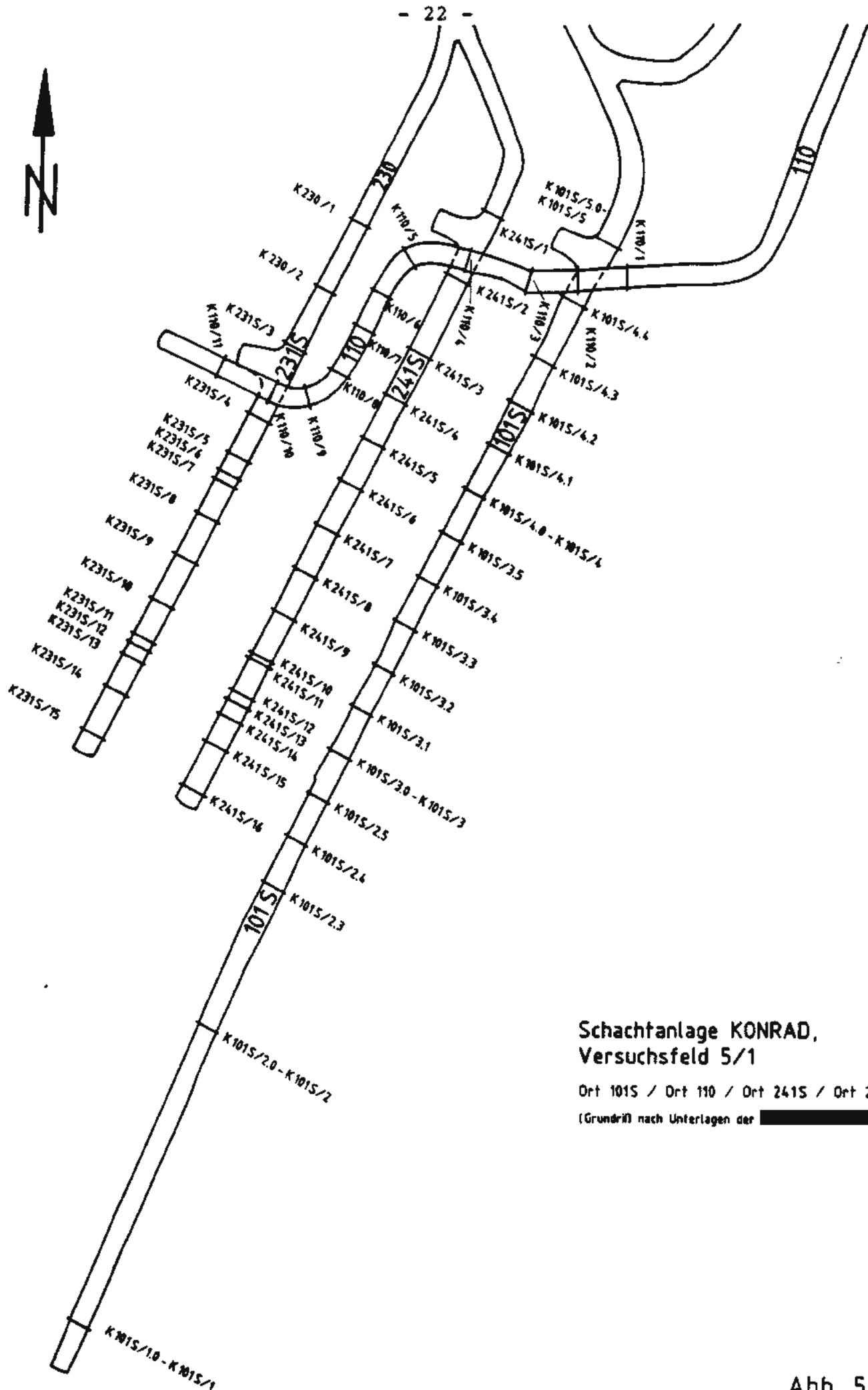
### 5.1 Konvergenzmessungen

Mit den Konvergenzmessungen wird die zeitliche Entwicklung der Hohlraumverformung am Streckenmantel erfaßt. Sie sind wesentlicher Bestandteil der Beurteilung der Standsicherheit der Strecken.

#### **5.1.1 Konvergenzmeßstationen**

In den Strecken des Versuchsfeldes 5/1 ist ein engmaschiges Netz von Konvergenzmeßstationen eingerichtet worden (Abb. 5.1). Der Abstand der Stationen beträgt 15 m, wobei die Stationen in den drei Parallelstrecken 101 S, 241 S und 231 S jeweils in der gleichen Richtungsachse liegen.

In jeder Station werden in zwei zueinander senkrecht stehenden Meßlinien die Konvergenzen zwischen Firste - Sohle und Stoß - Stoß gemessen. Als Konvergenzmeßbolzen wurden Kurzancker von 0,5 m Länge mit entsprechenden Adaptern für die Anbringung des Meßbandes der auf der Schachanlage verwendeten Konvergenzmeßgeräte Rock-MK-2 eingebaut. Die Genauigkeit der Konvergenzmessungen beträgt  $\pm 0,1$  mm.



Schachtanlage KONRAD,  
Versuchsfeld 5/1

Ort 101S / Ort 110 / Ort 241S / Ort 231S

(Grundriss) nach Unterlagen der [REDACTED]

Abb. 5.1

### 5.1.2 Ergebnisse der Konvergenzmessungen

Die Konvergenzen der im Unteren Erzlager aufgefahrenen Strecken 241 S und 231 S sind wesentlich von der Petrographie und Tektonik des Feldes bestimmt.

Wie auch in anderen Strecken der Schachtanlage Konrad beobachtet, sind die vertikalen Konvergenzen in der Regel deutlich größer als die horizontalen. In der Strecke 241 S sind bis etwa 15 Monate nach Erstellung der Strecke vertikale Konvergenzen bis zu 220 mm und horizontale Konvergenzen bis zu 70 mm gemessen worden. Dabei war festzustellen, daß konstante Änderungsraten im Falle der vertikalen Konvergenzen nach 150 bis 200 Tagen nach Auffahrung erreicht wurden.

Vergleichsweise dazu sind die vertikalen Konvergenzen in der Strecke 231 S 10 bis 12 Monate nach Erstellung der Strecke bis zu 150 mm und die horizontalen bis zu 90 mm angewachsen. Konstante Änderungsraten der Konvergenz treten für beide Richtungen nach etwa 100 Tagen nach Auffahrung ein.

Die deutlich höheren vertikalen Konvergenzen in der Strecke 241 S sind auf die Durchfeuchtung der Sohle infolge zusickernder Gebirgswässer aus den durchfahrenen Störungen zurückzuführen. Die geodätischen Nivellements der Konvergenzpunkte /5.2/ in der Strecke ergaben, daß der weitaus größte Anteil der vertikalen Konvergenz durch eine starke Sohlenhebung hervorgerufen wird (Abb. 5.2). Die Senkungen der Firste betragen dagegen nur 5% bis 20% der Sohlenhebung (Abb. 5.3).

Auch in der Strecke 231 S sind Gebirgswässer über Klüfte in die Strecke gelaufen. Allerdings wurden diese Wässer wesentlich früher als in der Strecke 241 S gefaßt und gesumpft.

Der Einfluß tektonischer Elemente auf die Konvergenz des Streckenmantels wird am Beispiel der Strecke 241 S deutlich, wo im Bereich der Konvergenzstationen K 241 S/10 bis K 241 S/15 zwei NNW-verlaufende Störungen angefahren wurden.

Höhenmessung Feld 5/I  
Strecke 241S  
Konvergenzanker (Sohle)

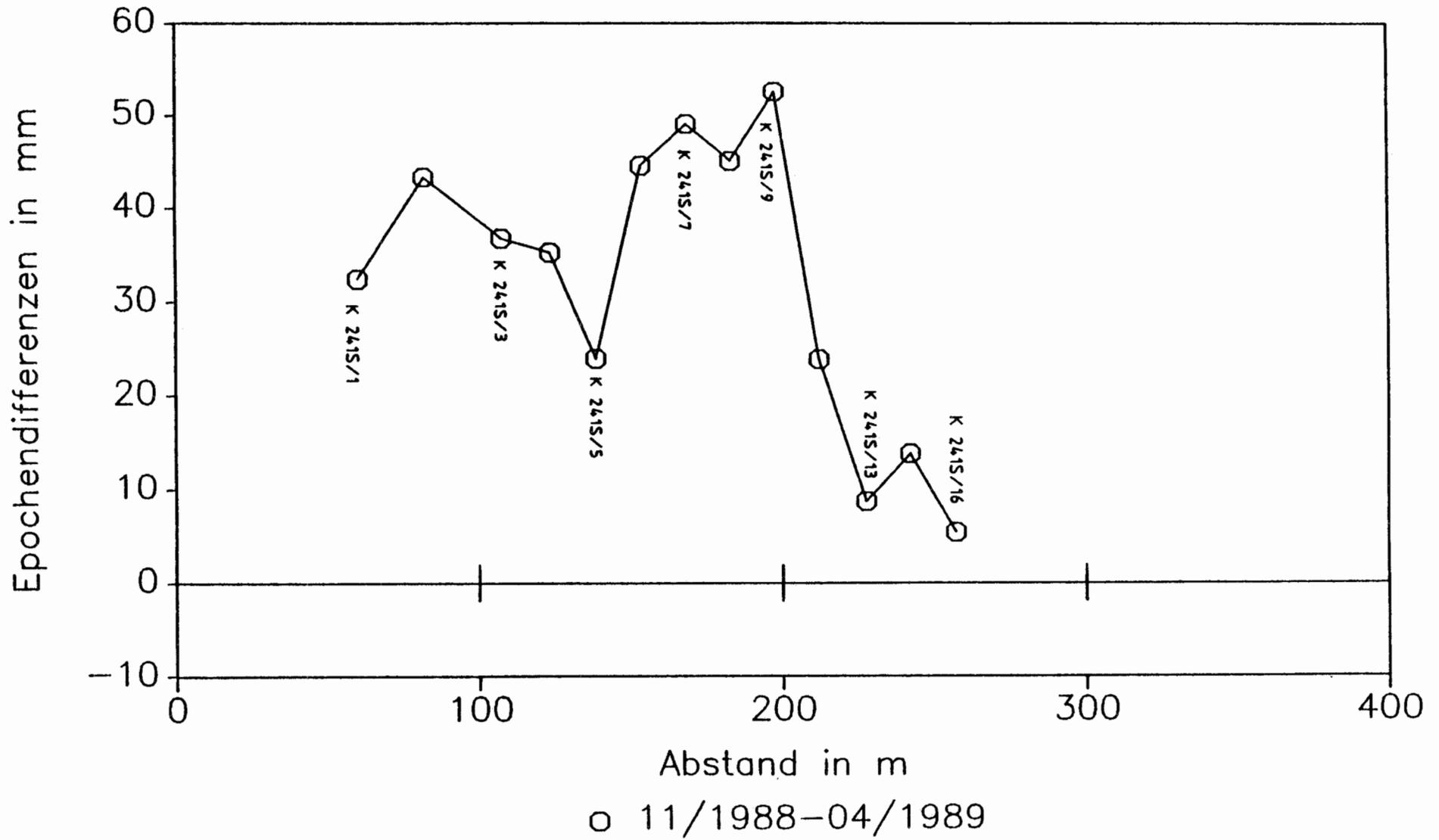


Abb. 5.2

Höhenmessung Feld 5/I  
Strecke 241S  
Konvergenzanker (Firste)

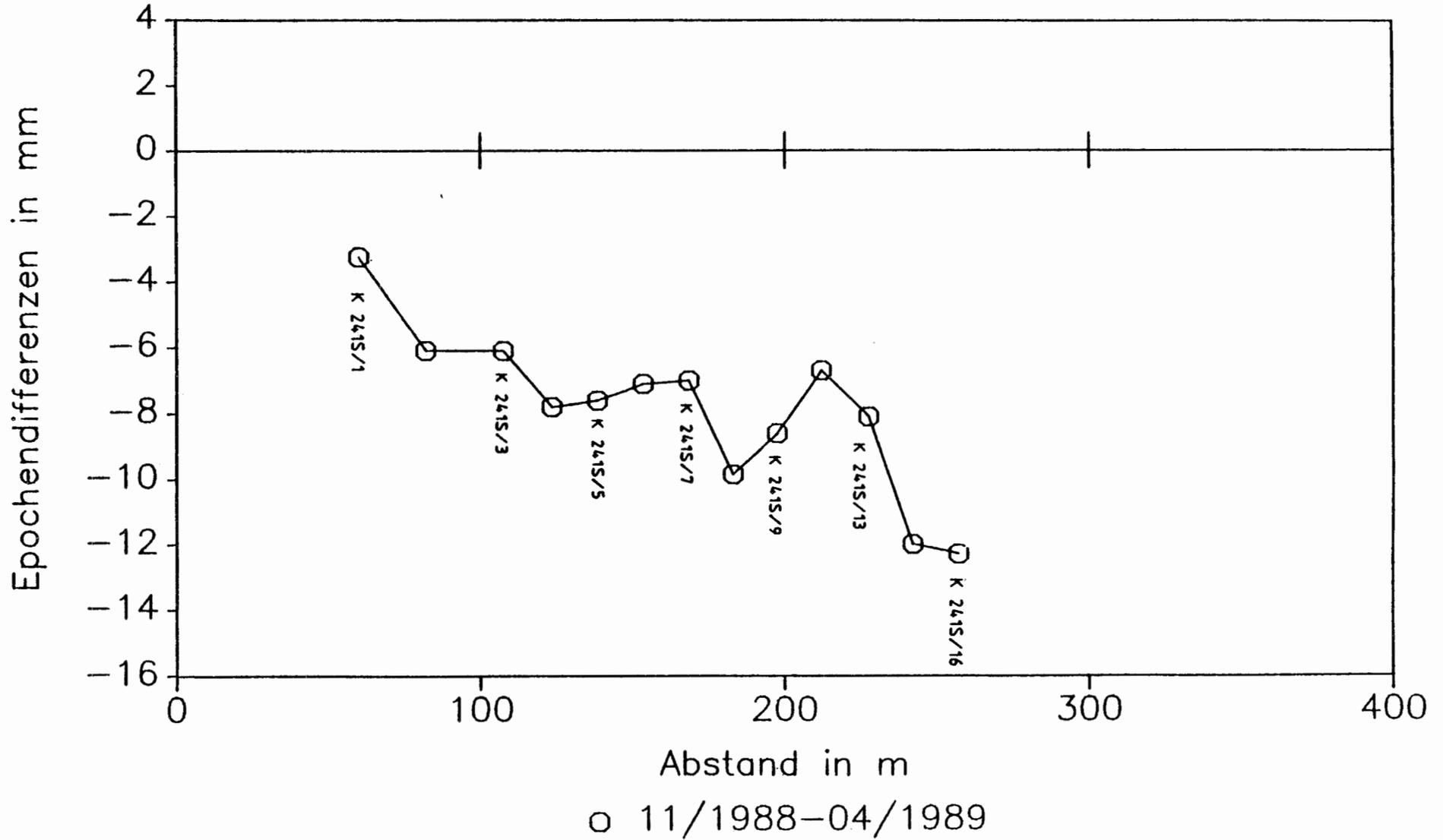


Abb. 5.3

Die mit der Hohlräumstellung verbundene Spannungsumlagerung führt bei offenen oder teilweise offenen Klüften zu entsprechend großen Verformungen und zu Spannungsentlastungen. Aus diesem Grund sind i. b. die vertikalen Konvergenzen im Bereich dieser Klüfte geringer. Aber auch die horizontalen Konvergenzen sind geringfügig kleiner. In der Abb. 5.4 sind die aus horizontalen Konvergenzen und Polygonmessungen zweier Meßkampagnen ermittelten Querbewegungen der Strecke 241 S angegeben. Im Bereich der Störungszone treten sowohl im Ost- als auch im Weststoß deutlich erhöhte horizontale Verschiebungen auf, die nur durch ein offenes oder teilweise offenes Kluftsystem ermöglicht werden.

Die Verschiebungen der Stöße sind unterschiedlich. Anfangs wird eine kleine horizontale Konvergenz ermittelt, die mit zunehmender Schließung des Kluftsystems anwachsen kann.

Der Abb. 5.4 ist auch zu entnehmen, daß der westliche Stoß der Strecke höhere horizontale Verschiebungen erfährt als der östliche Stoß.

Die Konvergenzmeßergebnisse in der Abwettersammelstrecke 110 zeigen das in der Grube Konrad bekannte und vorherrschende Streckenkonvergenzverhalten mit höheren vertikalen als horizontalen Konvergenzen. Die hohen vertikalen Konvergenzen mit Maximalbeträgen von ca. 165 mm nach 580 Tagen Meßdauer treten vornehmlich im Bereich der Kalkmergelsteine oder Mergelkalksteine auf. Erhöhte horizontale Konvergenzen ergeben sich häufig dort, wo im Meßquerschnitt Tonstein- oder Tonmergelsteinschichten eingeschaltet sind oder auch eine Schichtgrenze verläuft. Im Kalkoolith ergeben sich in beiden Richtungen deutlich kleinere Konvergenzen.

Mit der zeitlich auf die Auffahrung der Strecken abgestimmten und zu diesem Zeitpunkt verdichteten Messung der Konvergenzen konnten Auswirkungen der Auffahrung auf das Verformungsverhalten der Nachbarstrecken gezeigt werden /5.1/, /5.3/.

Strecke 241, Konvergenzmeßstationen  
 Querbewegungen östl./westl. Stoß  
 Epoche 1 – Epoche 2

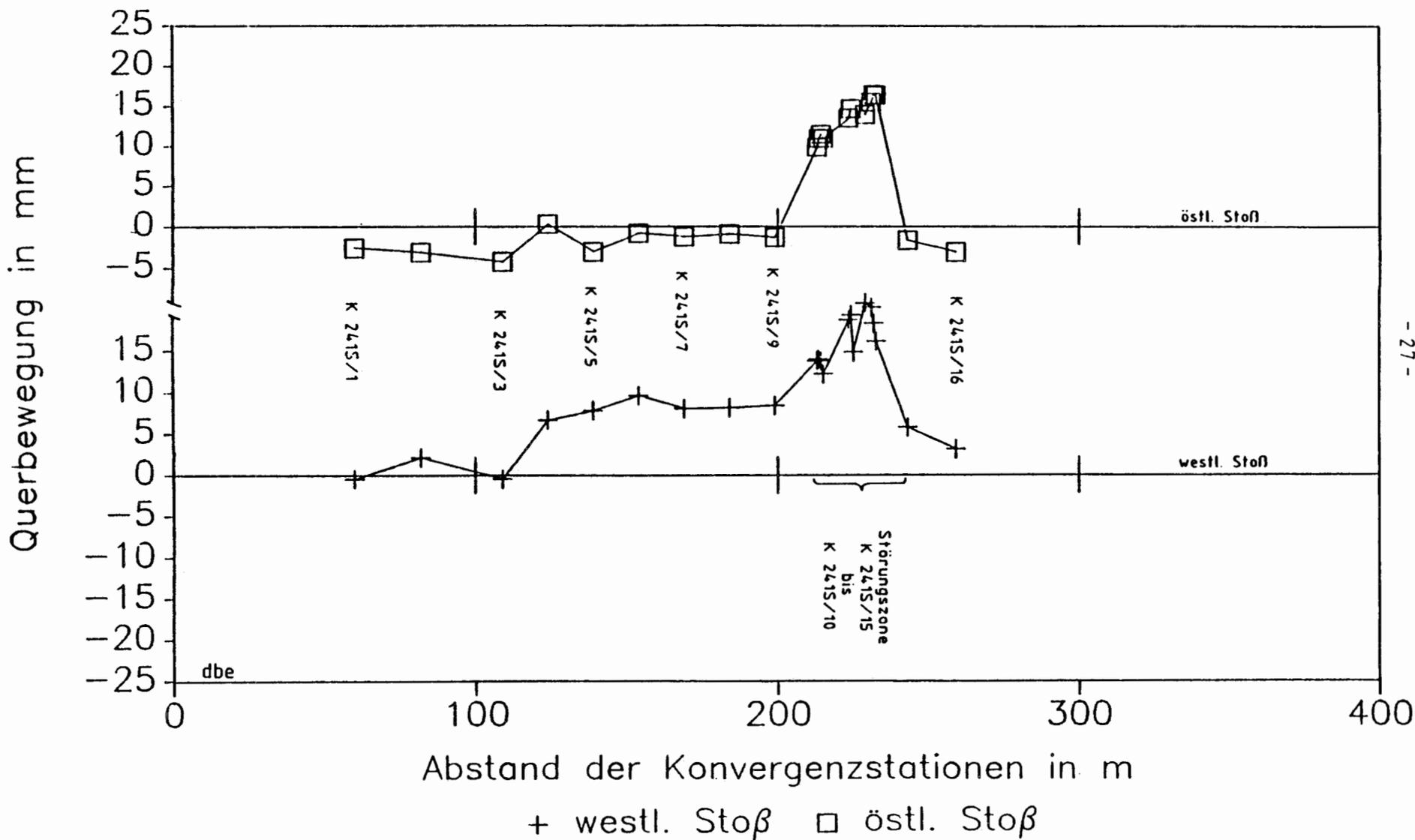


Abb. 5.4

Unter Berücksichtigung der erzielbaren Genauigkeit der Konvergenzmessungen ergibt sich ein signifikanter Einfluß aus der Auffahrung der Strecke 241 S auf die Konvergenzen der Strecke 101 S. Während der Auffahrung der ersten 80 m der Strecke 241 S ist eine Auswirkung in den zum jeweiligen Auffahrungsstand parallelen Konvergenzquerschnitt zeitgleich oder mit geringem Nachlauf zu verzeichnen. Danach zeigen ausschließlich südlich des jeweiligen Auffahrungsstandes in der 241 S gelegene Konvergenzstationen in der 101 S Reaktionen. Dabei steigen die vertikalen Konvergenzen stärker an als die horizontalen Konvergenzen. In der Abb. 5.5 ist der Einfluß der Auffahrung auf das Konvergenzverhalten in der Nachbarstrecke für die Konvergenzstation K 101 S/3 dargestellt. Die bergmännische Aktivität führt an dieser Station zu einem Anstieg der vertikalen Konvergenzgeschwindigkeit. Mit Abschluß der Auffahrung werden für beide Richtungen die gleichen Konvergenzgeschwindigkeiten gemessen wie zuvor. Die vertikale Konvergenz hat allerdings deutlich zugenommen.

Dieses Konvergenzverhalten und i. b. der deutliche Anstieg der vertikalen Konvergenzen macht die Bildung eines beide Strecken überspannenden sekundären Traggewölbes deutlich. Zur Bildung dieses Traggewölbes sind Spannungsumlagerungen und damit verbundene Verformungen in tiefere Gebirgsbereiche erforderlich, da größere Gebirgsbereiche zur Stabilisierung des Streckensystems mit herangezogen werden müssen. Erst nach Ausbildung eines stabilen sekundären Traggewölbes kommen die Konvergenzen zur Ruhe und laufen dann mit gleicher Konvergenzgeschwindigkeit wie vor der Auffahrung weiter. Die Zeit, die zur Bildung des sekundären Traggewölbes benötigt wird, ist relativ kurz.

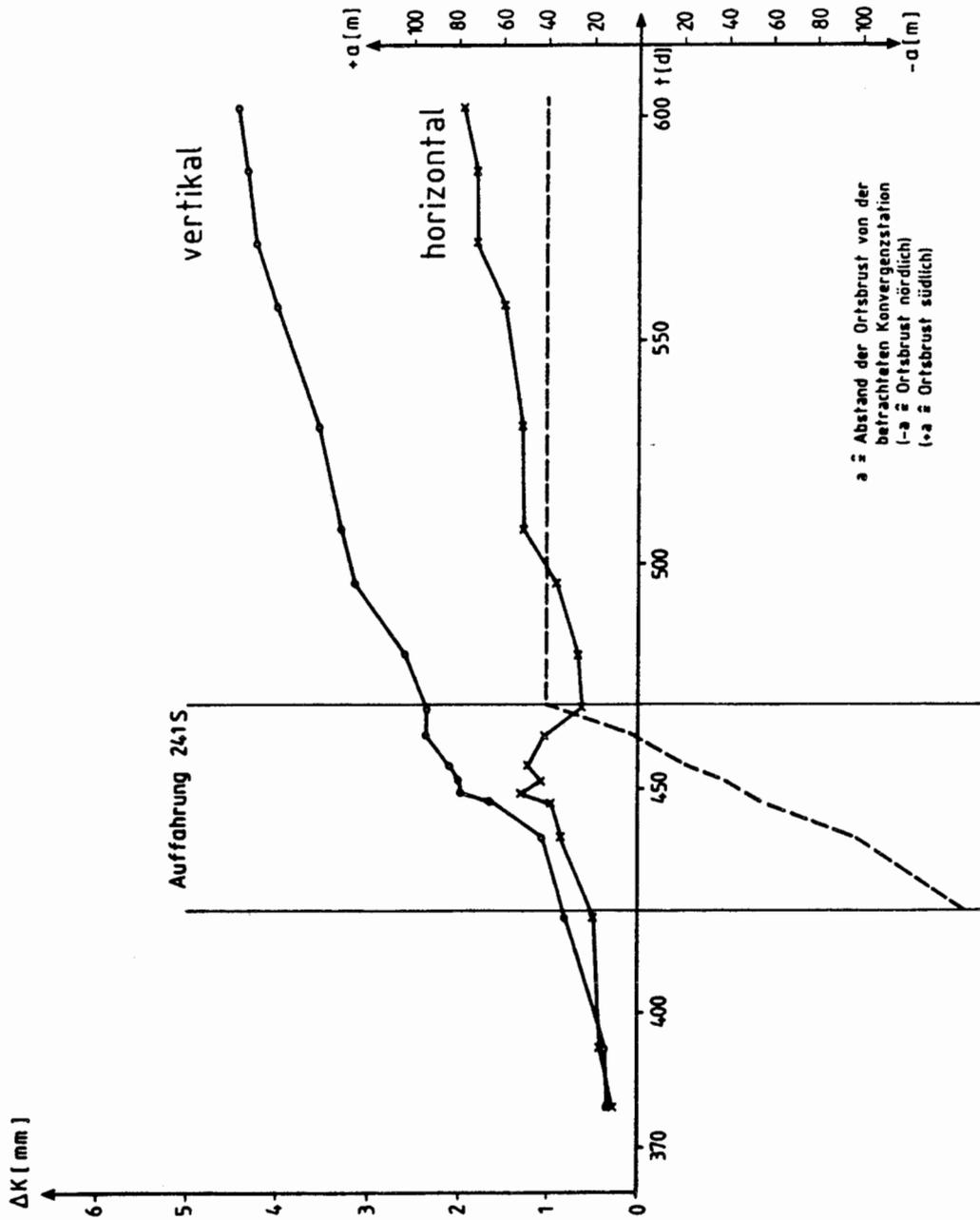


Abb. 5.5: Konrad Feld 5/1, Konvergenzstation K101S/3, Einfluß der Auffahrung der 241S auf das Konvergenzverhalten in der Nachbarstrecke 101S

## 5.2 Bohrlochlageänderungsmessungen

Zur Ermittlung der durch die Streckenauffahrung ausgelösten Gebirgsbewegungen in den Festen wurden zwischen den Parallelstrecken vier Meßquerschnitte eingerichtet, in denen in Bohrlöchern punktweise entlang der Bohrlochachsen in einer Meßebene die Verformungen in zwei Richtungen aufgenommen wurden. Die Meßquerschnitte MQ1 und MQ2 befinden sich in der Feste zwischen den Strecken 101 S und 241 S, die Meßquerschnitte MQ 3 und MQ 4 in der Feste zwischen den Strecken 241 S und 231 S. Dabei haben MQ 1 und MQ 3 bzw. MQ 2 und MQ 4 jeweils die gleiche normal zur Streckenachse stehende Richtung. Die Meßquerschnitte sind ca. 60 m voneinander entfernt (Abb. 5.6).

### 5.2.1 Meßquerschnitte und Meßsystem

Jeder Meßquerschnitt besteht aus drei fächerförmig angeordneten Bohrungen, in denen Meßrohre durch Zementation mit dem Gebirge verbunden sind. In den Abb. 5.7 bis 5.10 sind die Meßquerschnitte dargestellt. Die drei Bohrungen eines jeden Fächers sind so angeordnet, daß neben der Verformungsmessung in den Festen auch im Nahbereich der Strecken gemessen werden konnte. Die mittlere Bohrung eines jeden Fächers befindet sich innerhalb des Profils der unterhalb gelegenen Strecke. Sie wird bei der Auffahrung der Strecke durchtrennt. Die Meßquerschnitte wurden jeweils vor Beginn der aufzufahrenden Strecken 241 S und 231 S eingerichtet.

Mit Beginn der Auffahrung wurden die Messungen im dreitägigen Rhythmus aufgenommen. Mit zunehmender Annäherung der Ortsbrust an die Meßquerschnitte wurde die Meßfrequenz erhöht, so daß ab ca. 30 m vor dem ersten Meßquerschnitt auf tägliche Messungen bis zum Ende der Auffahrung umgestellt wurde. Im späteren Verlauf der Messungen wurde die Meßfrequenz den Ergebnissen angepaßt.



Um einen hohen Informationsgrad über die Gebirgsverformungen zu erhalten, wurden eine mobile Inkremental-Extensometersonde und eine Inklinometersonde der Firma Interfels eingesetzt. Diese Meßgeräte ermöglichen die linienförmige Aufnahme der bohrlochachsialen Verschiebung sowie die Neigung der Bohrlochachse zur Vertikalen in Meßpunkten mit einem Abstand von ca. 1 m bei einer Systemgenauigkeit für das Extensometer von  $\pm 0,4$  mm/m und für das Inklinometer von  $\pm 0,35$  mm/m. Die Meßarbeiten wurden von der [REDACTED] [REDACTED] ebenso durchgeführt wie die Auswertung der Meßdaten. Aus Gründen der Fehlerbetrachtung wurde für jede Bohrung ein verformungsloser, von der Auffahrung unbeeinflusster Bereich zwischen Meßposition 6 und 12 festgelegt, der im Laufe der zweijährigen Messungen bestätigt wurde. Die Ergebnisse der Meßreihen jeder Meßepoche wurden mit der Nullmessung verglichen.

Aus den Inklinometer- und Extensometermeßergebnissen wurden die Bohrlochverläufe durch einen Polygonzug berechnet. Aus den Epochenvergleichen der Bohrlochverläufe wurden für die Meßpositionen Verschiebungsvektoren abgeleitet und dargestellt.

### 5.2.2 Geologie der Meßquerschnitte

Aus den Profilen der Kernbohrungen in den Meßquerschnitten wurden die in den Abb. 5.7 bis 5.10 dargestellten geologischen Schnitte ermittelt.

Die Bohrungen umfassen das Zwischenmittel und Untere Erzlager des Mittleren Korallenooliths sowie die oberen Schichten des Unteren Korallenooliths. Die mittleren Bohrungen in jedem Meßquerschnitt stehen vollständig im Unteren Erzlager. Dieses





### Geologie des Meßquerschnitts 3 im Feld 5/1, KONRAD

Bohrungen 2/30, 2/31, 2/32

(Lage der Bohrungen und Strecken nach Unterlagen der Schachtanlage Konrad)

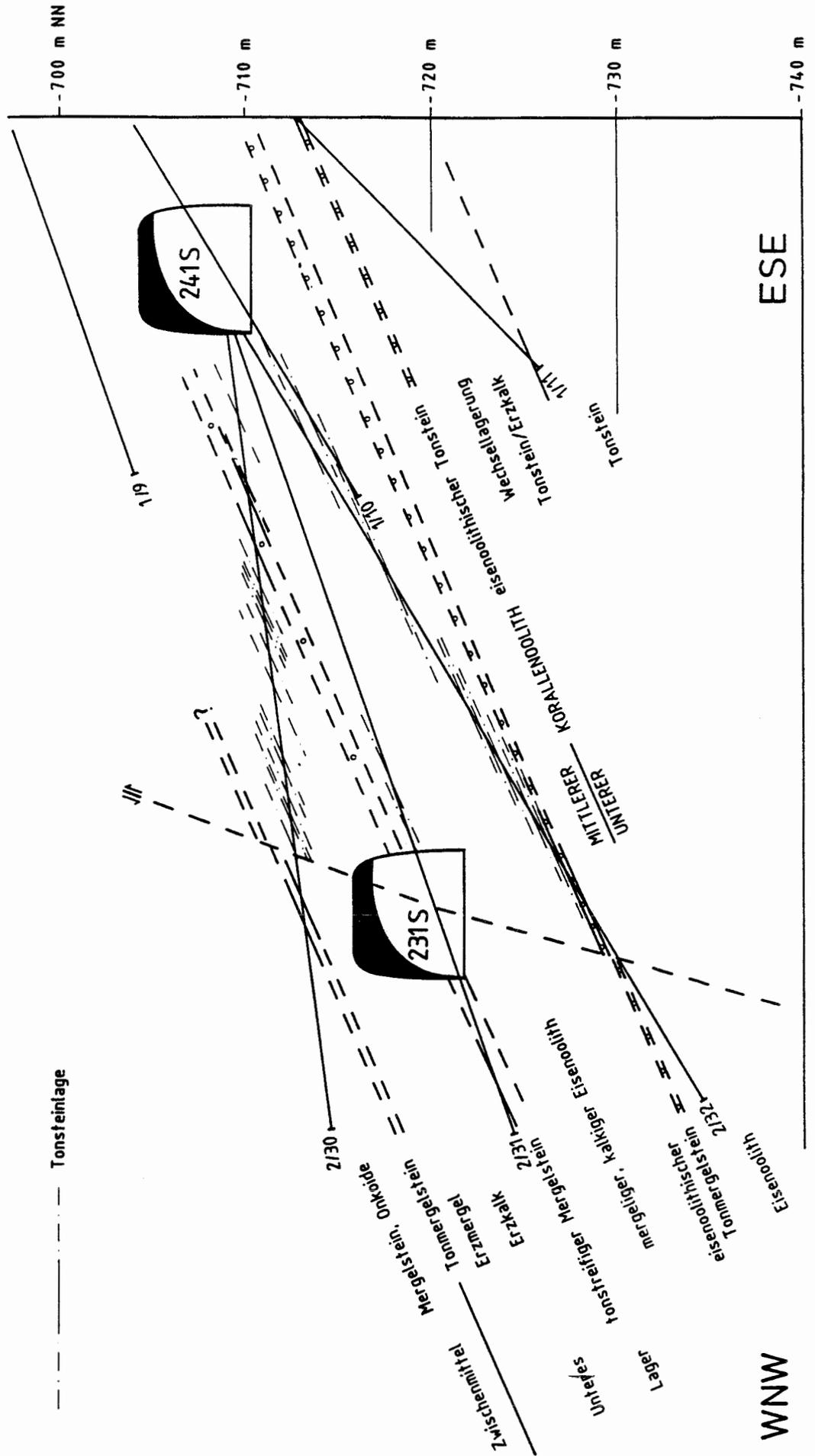


Abb. 5.9

# Geologie des Meßquerschnitts 4 im Feld 5/1, KONRAD

Bohrungen 2/33, 2/34, 2/35

(Lage der Bohrungen und Strecken nach  
Unterlagen der Schachtanlage Konrad)

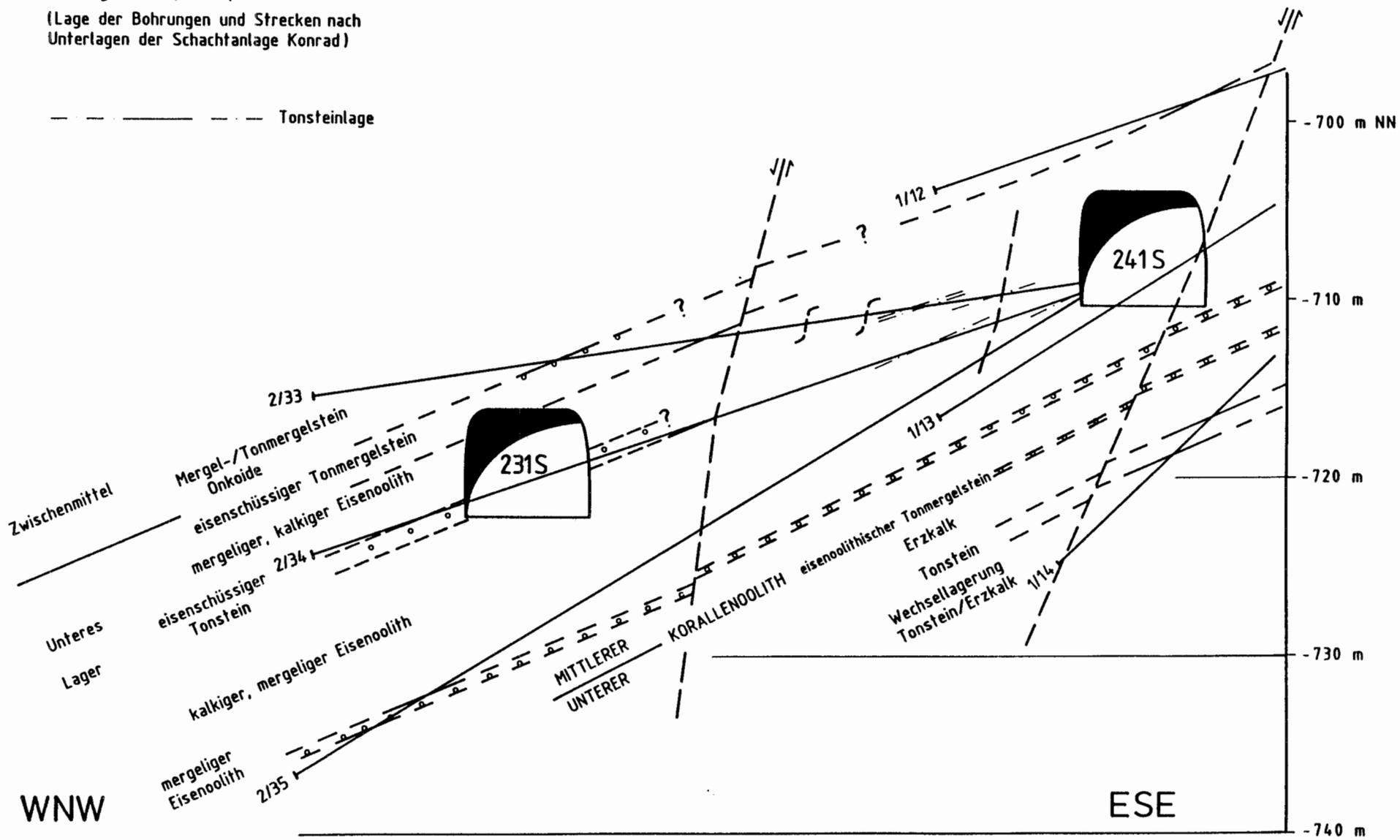


Abb. 5.10

trifft auch auf die unteren Bohrungen in den Meßquerschnitten 3 und 4 zu, während die unteren Bohrungen der Meßquerschnitte 1 und 2 in den oberen, tonigeren Schichten des Unteren Korallenooliths stehen. Die oberen Bohrungen der Meßquerschnitte 2, 3 und 4 befinden sich in den größeren Teufen im Ton- und Mergelstein des Zwischenmittels, wohingegen die obere Bohrung des Meßquerschnitts 1 im Hangendbereich des Unteren Lagers verbleibt.

Im Bereich des Meßquerschnitts 2 und unmittelbar südlich davon wurden zwei um NW-SE streichende aus der Strecke 101 S bekannte Klüfte aufgeschlossen. Die den Meßquerschnitt 2 querende Kluft zeigt Öffnungsweiten bis 5 cm und eine geringe Mineralisation aus Calcit und feinnadeligem Coelestin. Der vertikale Versatzbetrag beträgt 0,4 m. An der etwas weiter südlich liegenden Kluft wurden Öffnungsweiten bis 1 cm und kein Verwurf gemessen. Neben diesen beiden Klüften wurden nur schichtparallele Trennflächen beobachtet. Dabei fungieren die mm- bis cm-mächtigen Tonsteinbänkchen als Löserflächen.

Im Bereich des Meßquerschnittes 3 wurde über eine Länge von 25 m eine NNE-SSW streichende und mit  $81^{\circ}$  steil nach WNW fallende Kluft aufgeschlossen. Diese ist abschnittsweise drusig offen und mit etwas Calcit und wenig Coelestin mineralisiert. Der weitaus größte Teil der Kluft ist mit mylonisiertem Tonstein und Tonmergelstein geschlossen. Der vertikale Versatz beträgt 0,7 m. Neben dieser Kluft wurden nur schichtparallele Trennflächen beobachtet. Die Tonsteinbänkchen wirken als Löserflächen.

### 5.2.3 Ergebnisse der Lageänderungsmessungen

Für die Darstellung der Ergebnisse der Extensometer- und Inclinometermessungen wurden aus den achsialen und vertikalen Bohrlochverschiebungen Verschiebungsvektoren ermittelt. Zusätzlich wurden von der DBE auch Zeitreihendarstellungen der

Messungen für verschiedene Meßepochen angefertigt. Die Ergebnisse der Lageänderungsmessungen in den Meßquerschnitten MQ 1 - 4 werden an den Vektordarstellungen der Verschiebungen vorgestellt.

Die Lageänderungsmessungen wurden während der Auffahrungszeit der Strecken in engen Zeitabständen durchgeführt, so daß insbesondere bei der Annäherung des Vortriebs an den jeweiligen Meßquerschnitt Verformungen im Gebirge hätten gemessen werden können. In allen Meßquerschnitten wurden auch bei Abständen der Ortsbrust von nur wenigen Metern zum Meßquerschnitt keine Verschiebungen in den Festen oder im Bereich der Strecke gemessen. Die über die Konvergenzänderungen in den Nachbarstrecken registrierten Spannungsumlagerungen und Verschiebungen im Gebirge während der Auffahrung werden offensichtlich in der durch die 3 Bohrungen eines Meßquerschnitts aufgespannten Meßebe nicht erfaßt. Auch dem Vortrieb in Auffahrungsrichtung vorausseilende Verschiebungen werden in dieser Meßebe nicht erfaßt.

Erst mit der Durchfahung der Meßquerschnitte treten Verschiebungen in den Festen und insbesondere zunächst im Bereich der Strecken auf.

In allen Bohrungen werden in den ersten Tagen Verschiebungen von einigen Millimetern gemessen. Die Verschiebungsvektoren sind durchweg auf den aufgefahrenen Hohlraum gerichtet. Dabei verschieben sich die obere und untere Bohrung eines jeden Meßquerschnitts in etwa bankrecht zur Schichtung, während die mittlere Bohrung wegen der annähernden Übereinstimmung zwischen Schichteinfallswinkel und Bohrlochneigung im wesentlichen nur bohrlochachsiale Verschiebungen erfährt (Abb. 5.11 und 5.12). Mit zunehmender Standzeit der Strecken nehmen die Verschiebungen der Bohrungen zu und werden auch weitere Bereiche der Festen zwischen den Strecken geringfügig verformt. Dabei sind für Größe und Richtung der Verschiebungen im wesentlichen petrographische und tektonische Gegebenheiten von Bedeutung.



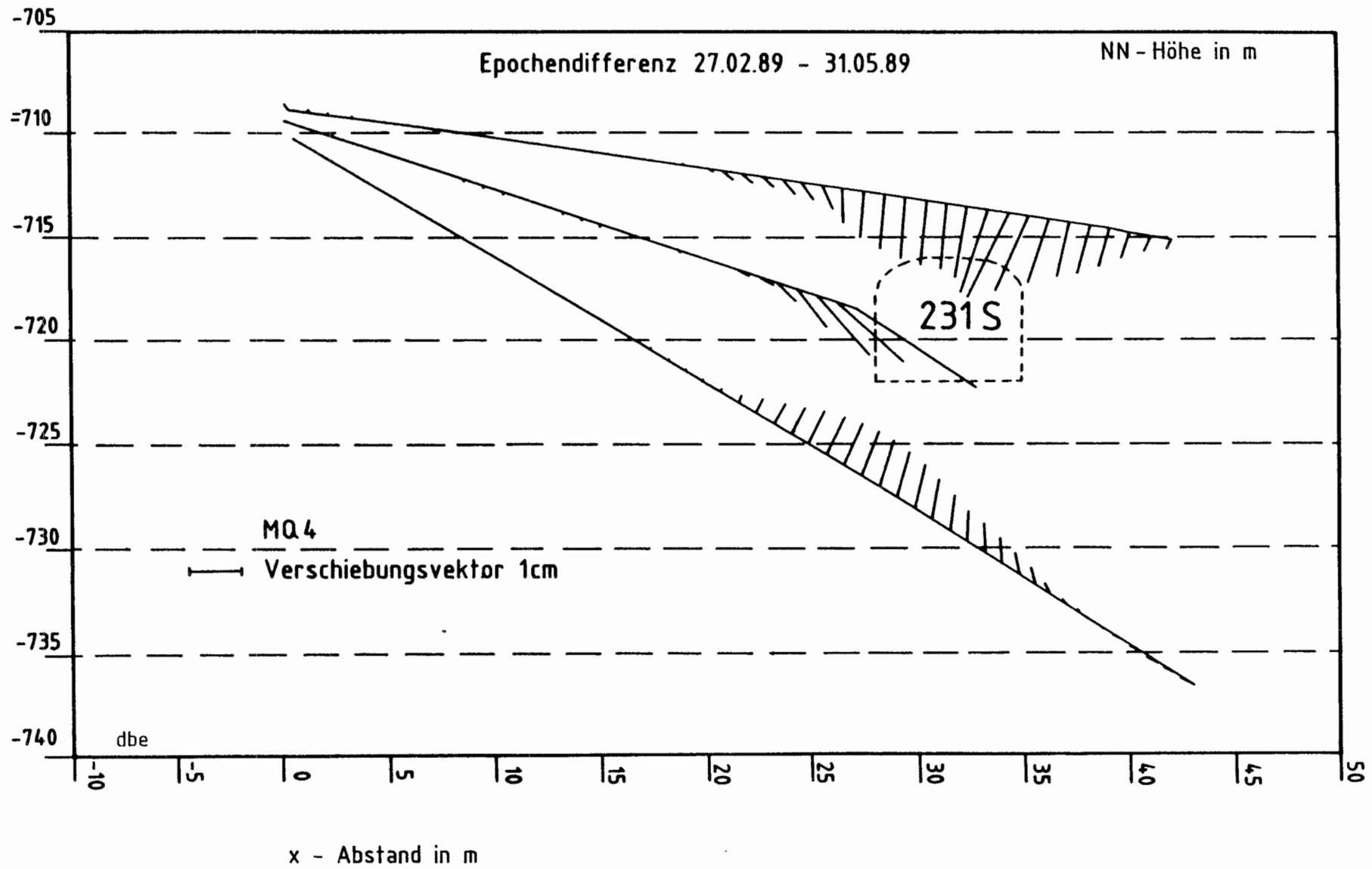


Abb. 5.12

### Meßquerschnitte 1 und 2

18 Monate nach der Auffahrung der Strecke 241 S haben sich die in den Abb. 5.13 und 5.14 dargestellten Verschiebungen in der Feste zwischen den Strecken 101 S und 241 S sowie im Nahfeld der Strecke ergeben. Die Verschiebungen im MQ 1 unterhalb der Strecke betragen bis zu 35 mm. Sie ergeben sich i. w. aus der Wechsellagerung von Tonstein und Erzkalk unterhalb der Strecke. Die auf die nordwestliche Streckenschulter gerichteten Verschiebungen oberhalb der 241 S sind deutlich kleiner. In der mittleren Bohrung wurden nur in den letzten 3 Meßpositionen nahezu bohrlochachsiale Verschiebungen von ca. 6 mm gemessen, die durch die streckennahe Auflockerung bedingt sind.

Wichtiges, das Verschiebungsbild beeinflussendes Element im MQ 2 ist die steilstehende, teilweise offene Störung. Die für die Ausbildung des primären Traggewölbes um die Strecke notwendigen Spannungsumlagerungen werden durch die Kluft derart beeinflusst, daß der östlich der Kluft befindliche streckennahe Gebirgsbereich zunächst relativ unbelastet bleibt, d. h. das Gewölbe sich zunächst westlich der Kluft bildet, und es damit in Verbindung mit dem oberhalb der Strecke liegenden Schichtwechsel vom Unteren Lager zum Zwischenmittel zu größeren Verschiebungen von ca. 30 mm kommt. Auch hier sind diese Verschiebungen auf die Nordwest-Schulter der Strecke gerichtet. Die in der oberen Bohrung 1/12 auftretende Umkehrung der Verschiebungen ist möglicherweise auf eine fehlerhafte Zementation des Meßrohres zurückzuführen und daher für das Verschiebungsbild nicht relevant. Mit zunehmender Standzeit der Strecke hat sich auch östlich der Störung ein Traggewölbe ausgebildet und haben sich Verschiebungen ergeben, die wegen der bereits abgebauten Spannungen kleiner sind.

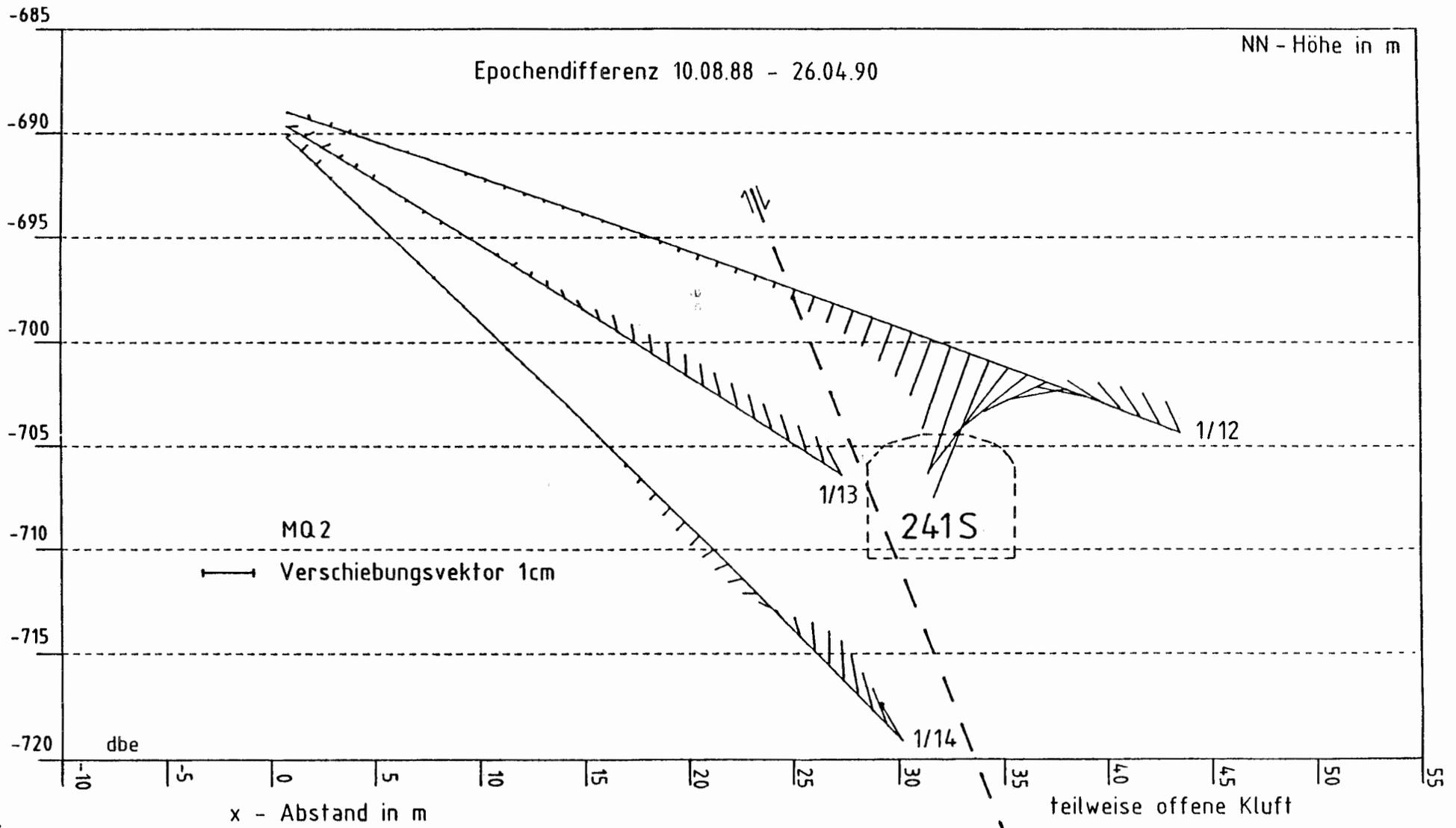


Abb. 5.14

### Meßquerschnitte 3 und 4

In den Meßquerschnitten 3 und 4 ergeben sich ca. 13 Monate nach Fertigstellung der Strecke 231 S annähernd gleiche Verschiebungsbilder (Abb. 5.15 und 5.16). Bedingt durch den nur wenige Meter oberhalb der Strecke 231 S liegenden Schichtwechsel vom Unteren Lager zum tonig, mergeligen Zwischenmittel werden in den Bohrungen 2/30 und 2/33 die größeren, auf die Nordwest-Schulter gerichteten Verschiebungen gemessen. Der steifere mergelige, kalkige Eisenoolith, in dem die unteren Bohrungen der Meßquerschnitte liegen, läßt weniger Verformung zu. Die mittleren Bohrungen weisen i. w. bohrlochachbiale Verschiebungen auf. Insbesondere im MQ 4 sind diese Verschiebungen bis zu 30 mm groß, da sich dort die Bohrung 2/34 im Bereich der Strecke in einer eisenschüssigen Tonsteinlage befindet. Im April 1990 konnten wegen zu hoher Verformung die letzten Meßpunkte dieser Bohrung nicht mehr befahren werden.

Die diagonal im MQ 3 stehende Kluft hat keinen Einfluß auf die Verschiebungen, da sie überwiegend geschlossen ist.

Die Ergebnisse der Lageänderungsmessungen in den Meßquerschnitten haben gezeigt, daß die durch die Streckenauffahrung hervorgerufenen Verschiebungen im Gebirge vornehmlich auf das Umfeld der Strecken begrenzt bleiben. Die Verschiebungen sind immer auf den Hohlraum gerichtet und stehen annähernd bankrecht zur Schichtung. In den Festen zwischen den Strecken ergeben sich etwa bis zur halben Festendicke noch Verschiebungen, die aber sehr klein sind.

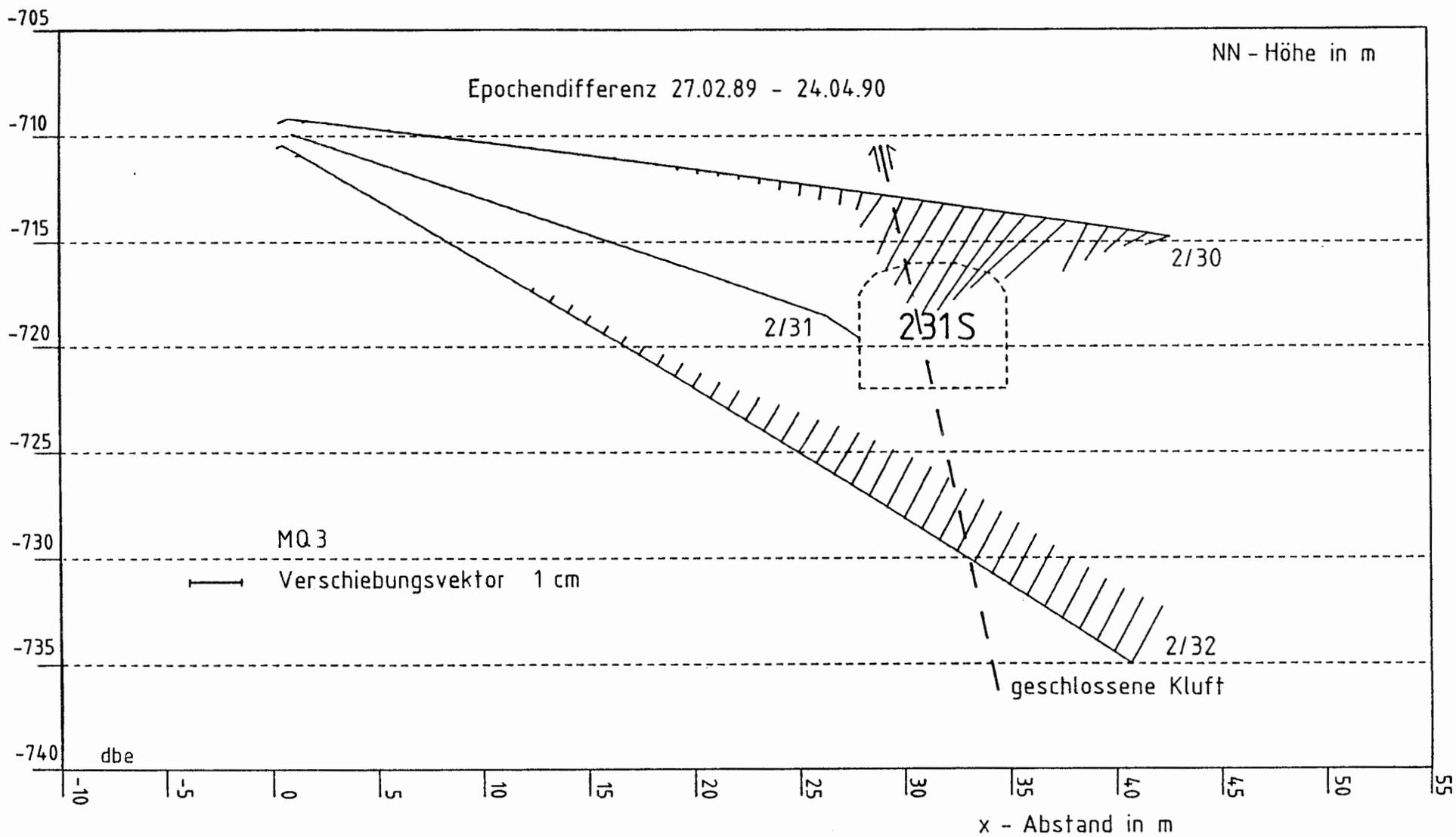


Abb. 5.15

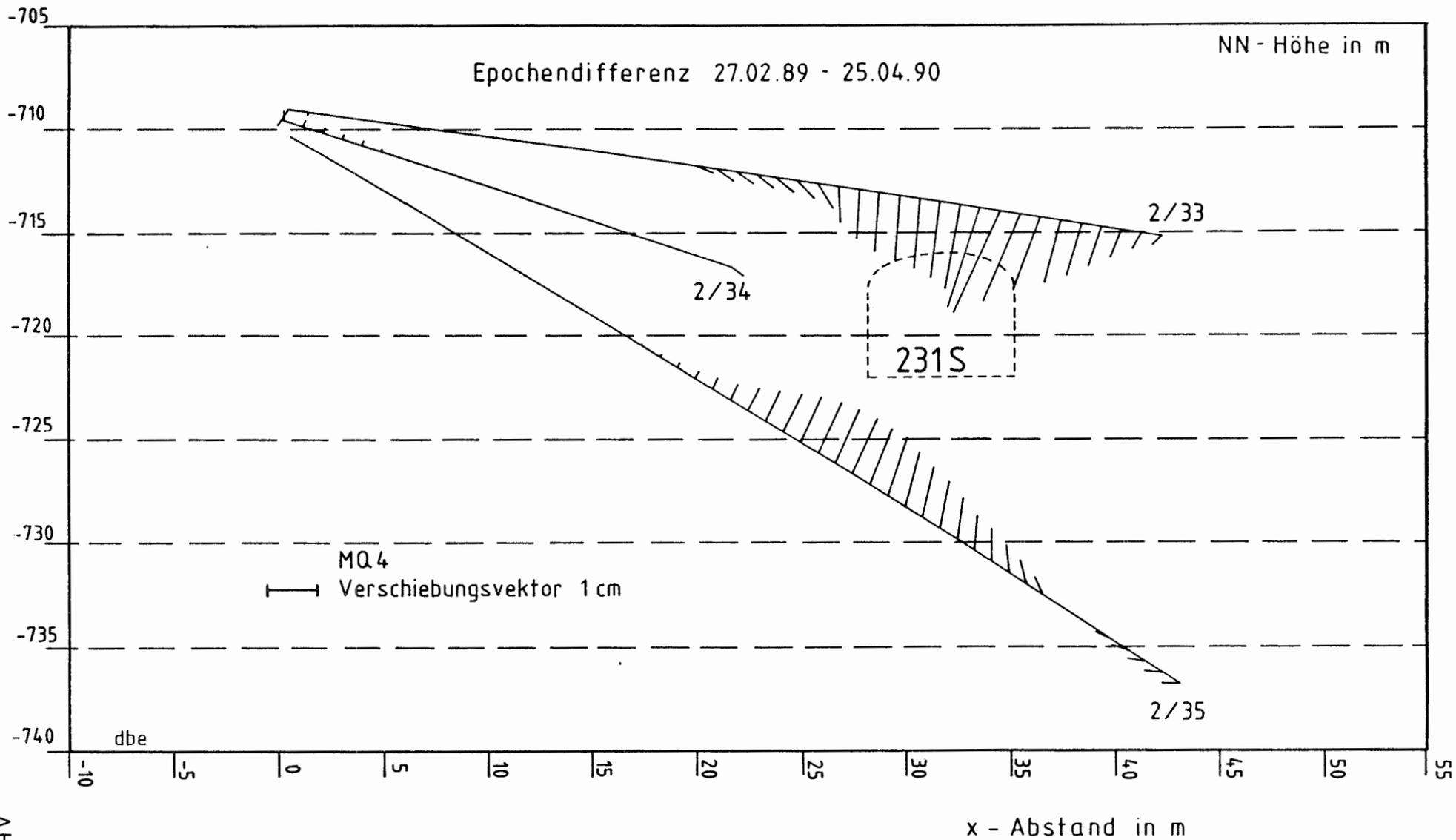


Abb. 5.16

### 5.3 Literatur

- /5.1/ DIEKMANN, N. (1991): Schachtanlage Konrad, Feld 5/1, Geomechanische und geodätische Verformungsmessungen - Bericht zum AP 9K 31892.31.- BGR-Bericht, Archiv-Nr. 108 408; Hannover.
- /5.2/ WEIDENBACH, A. (1990): Schachtanlage Konrad, Auswertung der Raumlagemessungen zur Bestimmung der Gebirgsbewegungen bei der Auffahrung des Versuchsfeldes 5/1 - Bericht zum AP 9K 31891.31.- DBE; Peine.
- /5.3/ RUDOLPH, P. & SCHNIER, H. (1990): Bewertung geomechanischer und geodätischer Messungen auf der Schachtanlage Konrad 1989 - Bericht zum AP 9K 2811.- BGR-Bericht, Archiv-Nr. 107 485; Hannover.

## 6. UNTERSUCHUNG DER STRECKENNAHEN AUFLOCKERUNGSZONE

### 6.1 Aufgabenstellung

Durch die Auffahrung von Hohlräumen im unverritzten Gebirge wird das ursprünglich herrschende Spannungs- und Verformungsgleichgewicht gestört. Bei der damit verbundenen Umlagerung der Spannungen bis zu einem neuen Gleichgewichtszustand kommt es im Nahbereich der Strecke zu Überschreitungen der Gebirgsfestigkeit und zu bruchhaften Verformungen (Auflockerungen). Für die Ermittlung der Ausdehnung der Auflockerungszone wurden das Ultraschallverfahren eingesetzt /6.1/ sowie Vakuummessungen in Bohrungen /6.2/ durchgeführt.

### 6.2 Ultraschallbohrlochmessungen

#### **6.2.1 Prinzip der Ultraschallmessung und Aufbau der Meßanlagen**

Bei der Ultraschallmessung werden Schallwellen in das Gebirge abgegeben, die sich mit gesteinspezifischen Geschwindigkeiten ausbreiten und durch einen geeigneten Empfänger registriert werden können. Die Schallwellen werden durch Unstetigkeitsflächen im Gebirgsverband beeinflußt; bei zu starker Auflockerung, speziell bei ausgedehnteren Rissen, kann es zu einer totalen Energieaufzehrung bzw. Reflektion kommen, so daß keine Signale mehr empfangen werden können. Dadurch ist die Ultraschallmethode geeignet, Auflockerungszonen um bergmännische Hohlräume festzustellen.

Für die hier durchgeführten Messungen sind zwei Meßbohrungen zur Aufnahme des Ultraschallsenders und des Empfängers erforderlich. Sender- und Empfängersonde werden mittels Gestänge in das Bohrloch eingefahren und zueinander in gleicher Teufe ausgerichtet. Die Messungen erfolgten in Abständen von 0,5 Metern bis zu einer maximalen Teufe von 10 m.

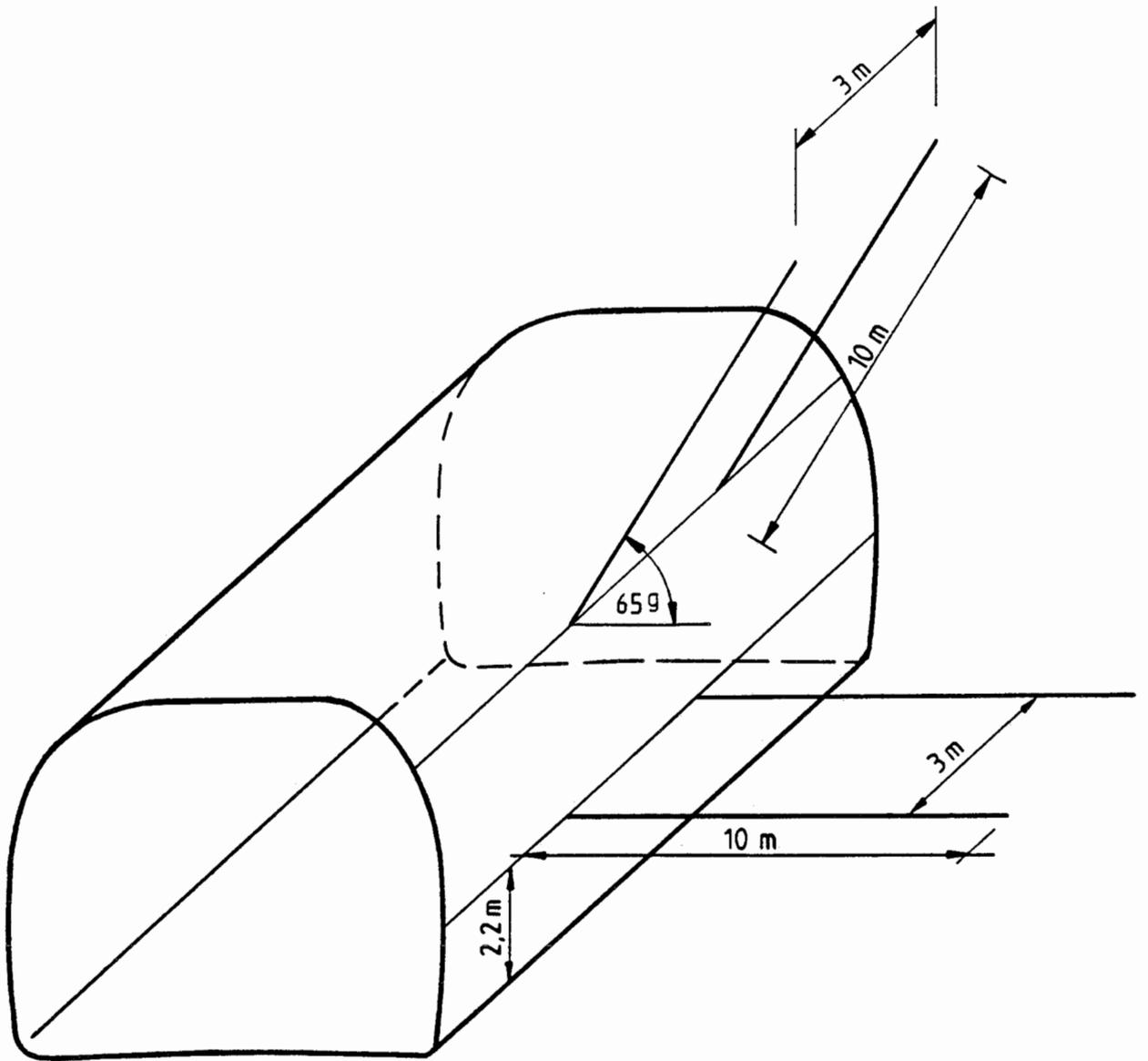


Abb. 6.1: Schematische Darstellung der Anordnung der Bohrungen für die Ultraschallmessungen

### 6.2.2 Lage der Bohrungen

Wie aus Extensometermessungen auf der Schachtanlage Konrad und aus numerischen Berechnungen zur Standsicherheit von Strecken im Erzlager zu entnehmen ist /6.3/, sind insbesondere die westliche Schulter und der westliche Stoß einer Strecke stark beansprucht. Daher wurden an jeder Meßstation jeweils 2 horizontale ( $0^{\circ}$ ) Bohrungen in den Weststoß und 2 Schrägbohrungen ( $+65^{\circ}$ ) in die Westschulter gestoßen (Abb. 6.1).

Die erste Bohrlochlokation befindet sich im vorderen Teil der Strecke 241 S zwischen den Konvergenzmeßstationen 241 S/5 und 241 S/6. Die Bohrungen hatten einen Abstand von 3 m. Die Horizontalbohrungen wurden ca. 2,20 m über der Sohle angesetzt. Sie stehen ganz, die Schrägbohrungen überwiegend im Eisenoolith des Unteren Lagers. Die zweite Lokation liegt im hinteren Teil der Kammer 231 S zwischen den Konvergenzmeßstationen 231 S/13 und 231 S/14. Die Anordnung der Bohrungen ist identisch mit derjenigen in der Kammer 241 S, wobei die Horizontalbohrungen ungefähr 2,3 m über der Sohle liegen. Die erbohrten Schichten der Horizontalbohrungen sind weitgehend dem Unteren Lager, die der Schrägbohrungen fast ausschließlich dem Zwischenmittel zuzuordnen. Die Lage der Bohrungen ist der Abb. 6.2 zu entnehmen.

Zur Vorbereitung der Untersuchungen im Feld 5/1 wurde in der Strecke 522 ein Vorversuch durchgeführt, um die Meßanordnung und die Meßapparatur mit den petrographisch/tektonischen Gegebenheiten der Grube Konrad abzustimmen. Alle Bohrungen standen im Eisenoolith des Unteren Lagers.

### 6.2.3 Ergebnisse der in-situ-Messungen

Die Messungen wurden in 2 Meßkampagnen im April und November 1989 durchgeführt. Dabei unterschieden sich die gemessenen Schallgeschwindigkeiten nur um Werte bis 250 m/s. Der relative Meßfehler der Geschwindigkeit lag zwischen 2 % und 8 %.

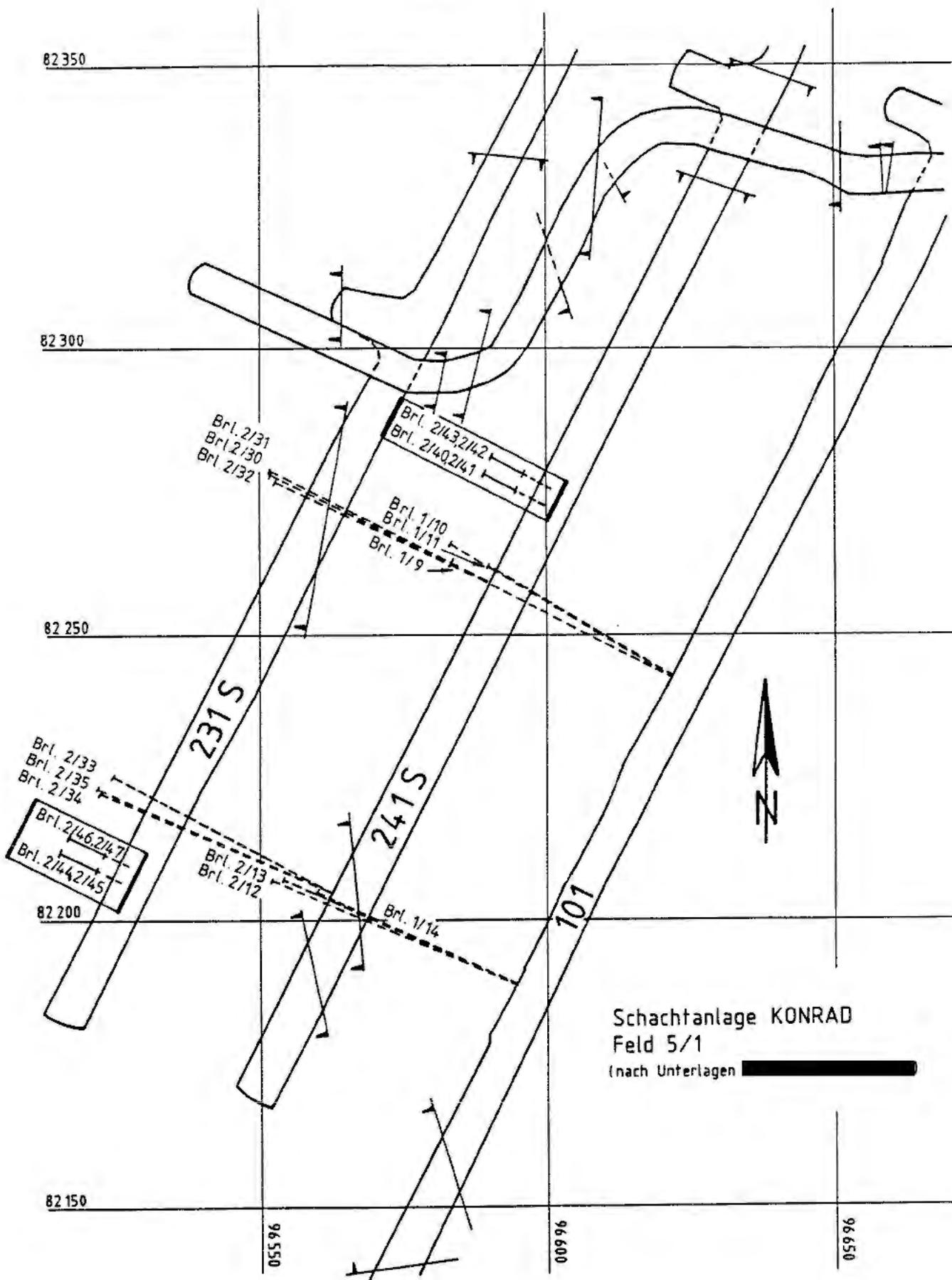


Abb. 6.2 : Lage der Durchschallungsbohrungen im Feld 5/1

In der 1. Meßkampagne gab es bei den Horizontalbohrungen Nachfall, der ebenso wie das im Bohrlochtiefsten angetroffene Wasser ausgeblasen wurde. Nur in den Bohrungen 2/44 und 2/46 gab es Querschnittsverengungen, die nicht beseitigt werden konnten. Bei der zweiten Messung war in allen Bohrungen Nachfall zu beobachten, der geräumt werden konnte. Allerdings waren in einigen Bohrungen dadurch Auskesselungen entstanden, in denen die Sonden keine ausreichende Anbindung an das Gebirge fanden.

In den Abb. 6.3 bis 6.6 sind die Wellengeschwindigkeiten über die Teufe dargestellt. Für die einzelnen Bohrlochpaare ist folgendes festzustellen:

Kammer 241 S, Horizontalbohrungen 2/40 - 2/43

Die ersten auswertbaren Signale trafen ab einer Teufe von 2,0 m ein. Die Geschwindigkeiten liegen insgesamt zwischen 3 250 m/s und 3 900 m/s. Bis 3,75 m Teufe liegen die Wellengeschwindigkeiten im Mittel bei 3 540 m/s und steigen dann auf Mittelwerte von ca. 3 750 m/s an. Eine Zuordnung von Einzelgeschwindigkeiten zur Petrographie (z. B. Tonsteinlagen) ist nicht feststellbar. Bis ca. 2,0 m ist eine stärkere Gebirgsauflockerung vorhanden, die bis ca. 4,0 m geringer wird. Im Abschnitt der höheren Wellengeschwindigkeiten ab 4,0 m sind vermutlich keine nennenswerten Bruchvorgänge aufgrund der Hohlraumerstellung abgelaufen.

Kammer 241 S, Schrägbohrungen 2/41 - 2/42

Erste Signale wurden bereits bei einer Teufe von 0,5 m empfangen, die aber bei 1,5 m abbrachen. U. U. wurde bis 1,0 m in einer Gesteinsschale gemessen. Ab 4,0 m ist ein Anstieg der Geschwindigkeiten bis auf 4 350 m/s bei 5,0 m Bohrlochteufe festzustellen. Danach nehmen die Geschwindigkeiten ab

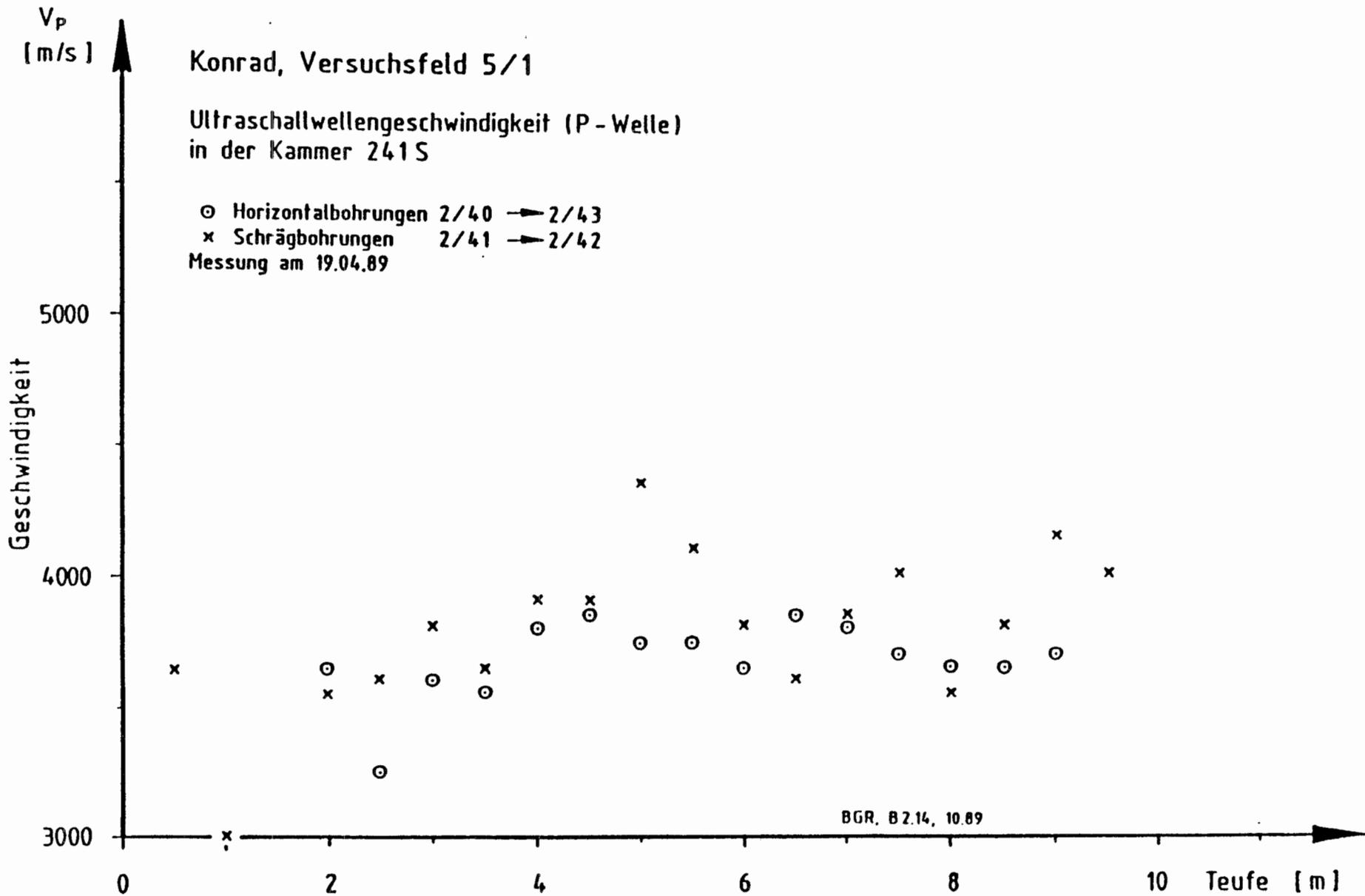


Abb. 6.3 : Verlauf der Ultraschallwellengeschwindigkeiten der Bohrungen 2/40 bis 2/43 in der Kammer 241 S, Messung 04.89

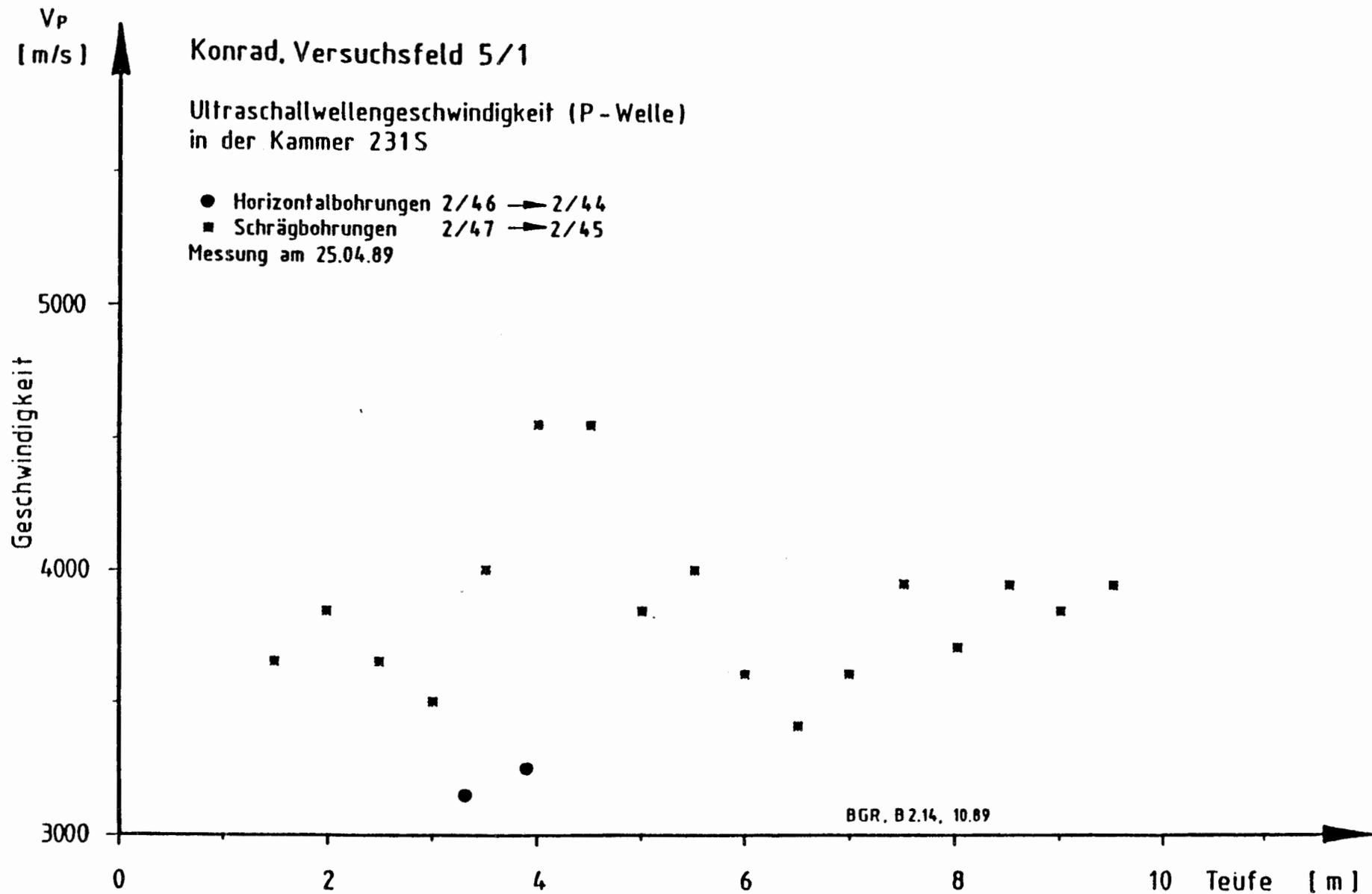


Abb. 6.4: Verlauf der Ultraschallwellengeschwindigkeiten der Bohrungen 2/46 bis 2/47 in der Kammer 231 S, Messung 04.89

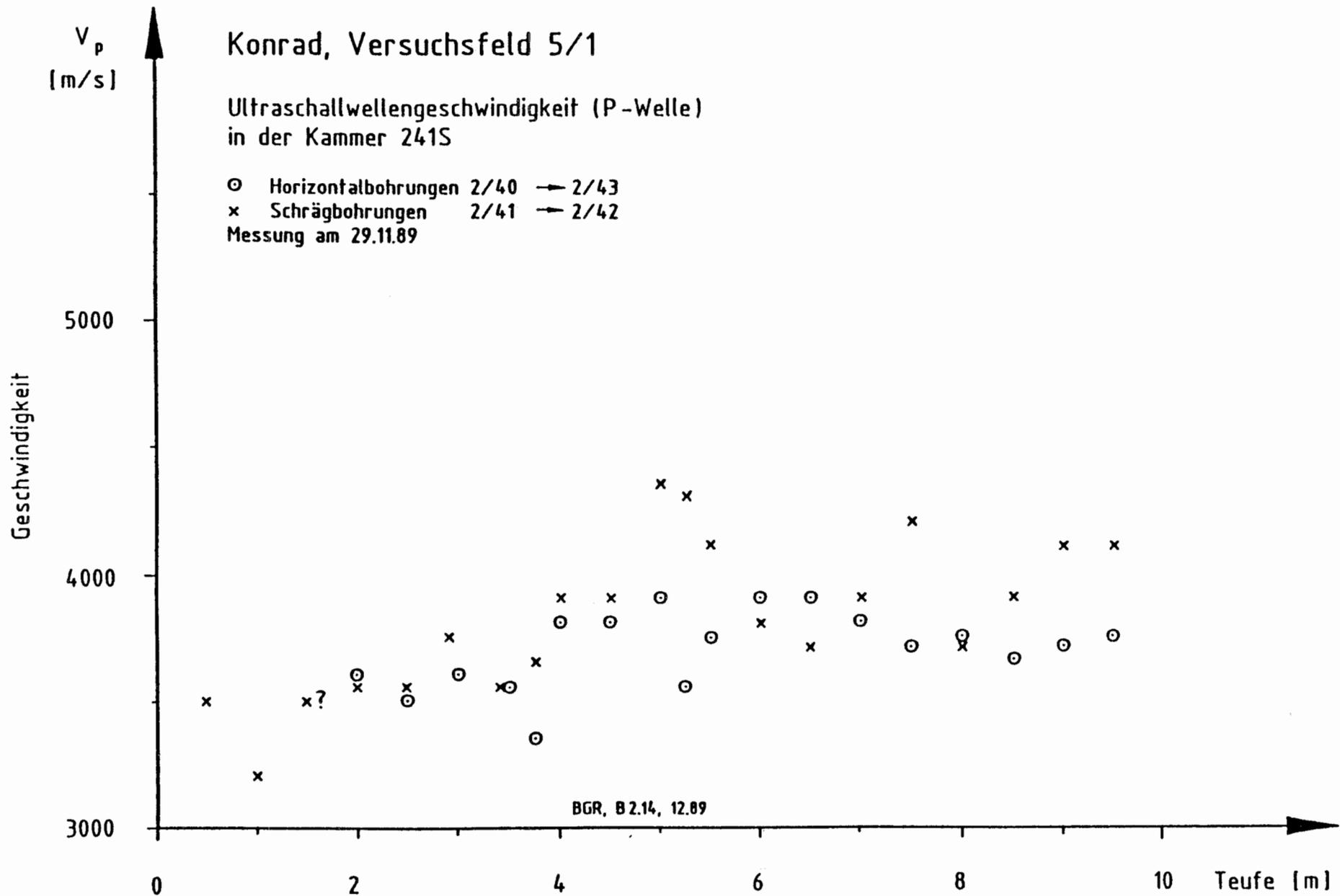


Abb. 6.5 : Verlauf der Ultraschallwellengeschwindigkeiten der Bohrungen 2/40 bis 2/43 in der Kammer 241 S, Messung 11.89

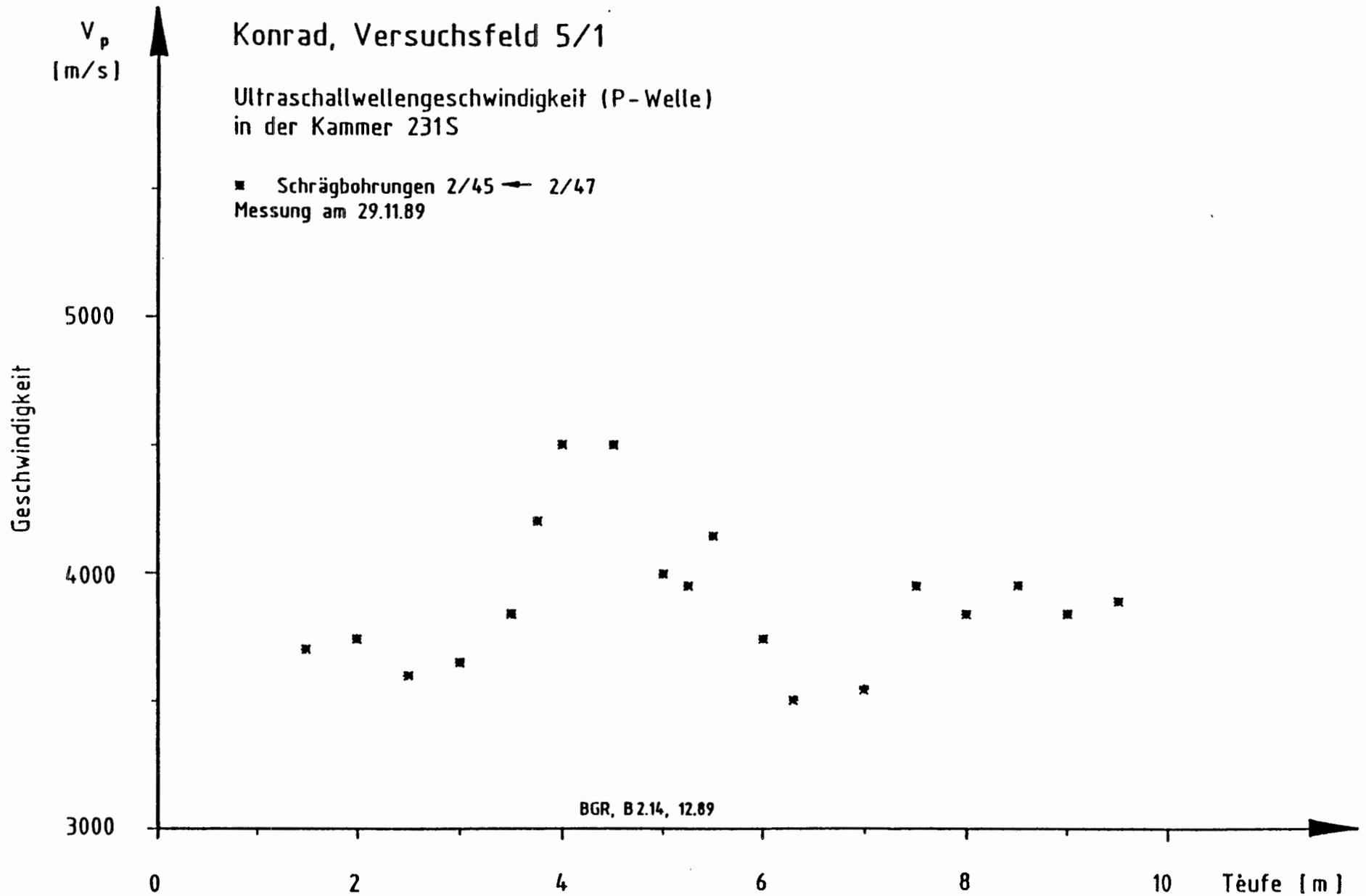


Abb. 6.6 : Verlauf der Ultraschallwellengeschwindigkeiten der Bohrungen 2/45 und 2/47 in der Kammer 231 S, Messung 11.89

und streuen um einen Mittelwert von 3 870 m/s. Der Auflockerungsbereich reicht bis ca. 4,0 m. Danach beginnt mit dem Bereich der hohen Geschwindigkeiten der ungestörtere Gebirgsabschnitt. Eine Korrelation zwischen Wellengeschwindigkeit und Petrographie ist nicht festzustellen.

#### Kammer 231 S, Horizontalbohrungen 2/44 - 2/46

Empfangssignale konnten nur bei der Erstmessung bei 3,3 m und 3,9 m aufgezeichnet werden. Ab 4,0 m war die Bohrung blockiert. Trotz intensiver Bemühungen konnte die Querschnittsverengung auch bei der Zweitmessung nicht beseitigt werden, so daß in der Meßkampagne November 1989 auf eine Wiederholungsmessung verzichtet wurde. Die niedrigen Geschwindigkeiten von ca. 3 200 m/s lassen vermuten, daß die Bohrlochwandung durch die Versuche zur Hindernisbeseitigung stärker in Mitleidenschaft gezogen wurden, und die Ankoppelung der Sonden an das Gebirge beeinträchtigt war. Eine außergewöhnliche Auflockerung des Stoßes konnte nicht beobachtet werden.

#### Kammer 231 S, Schrägbohrungen 2/45 - 2/47

Auswertbare Signale setzen ab 1,5 m Teufe ein. Bis 3,5 m liegen die Wellengeschwindigkeiten im Mittel bei 3 720 m/s und steigen danach steil auf ca. 4 500 m/s an. Ab 6,0 m streuen die Werte bis zur Endteufe von 10 m um ca. 3 770 m/s. Der durch die Kammerauffahrung erzeugte Auflockerungsbereich im Streckensaum reicht bis in eine Teufe von 3,5 m.

#### **6.2.4 Bewertung der Ultraschallmessungen**

In den Abb. 6.7 und 6.8 sind die Ergebnisse aus beiden Meßkampagnen zusammengefaßt. Sie weisen eine bis ca. 4 m in das streckennahe Gebirge reichende Zone mit einer mittleren Schallgeschwindigkeit von 3 610 m/s aus. Innerhalb dieses Be-

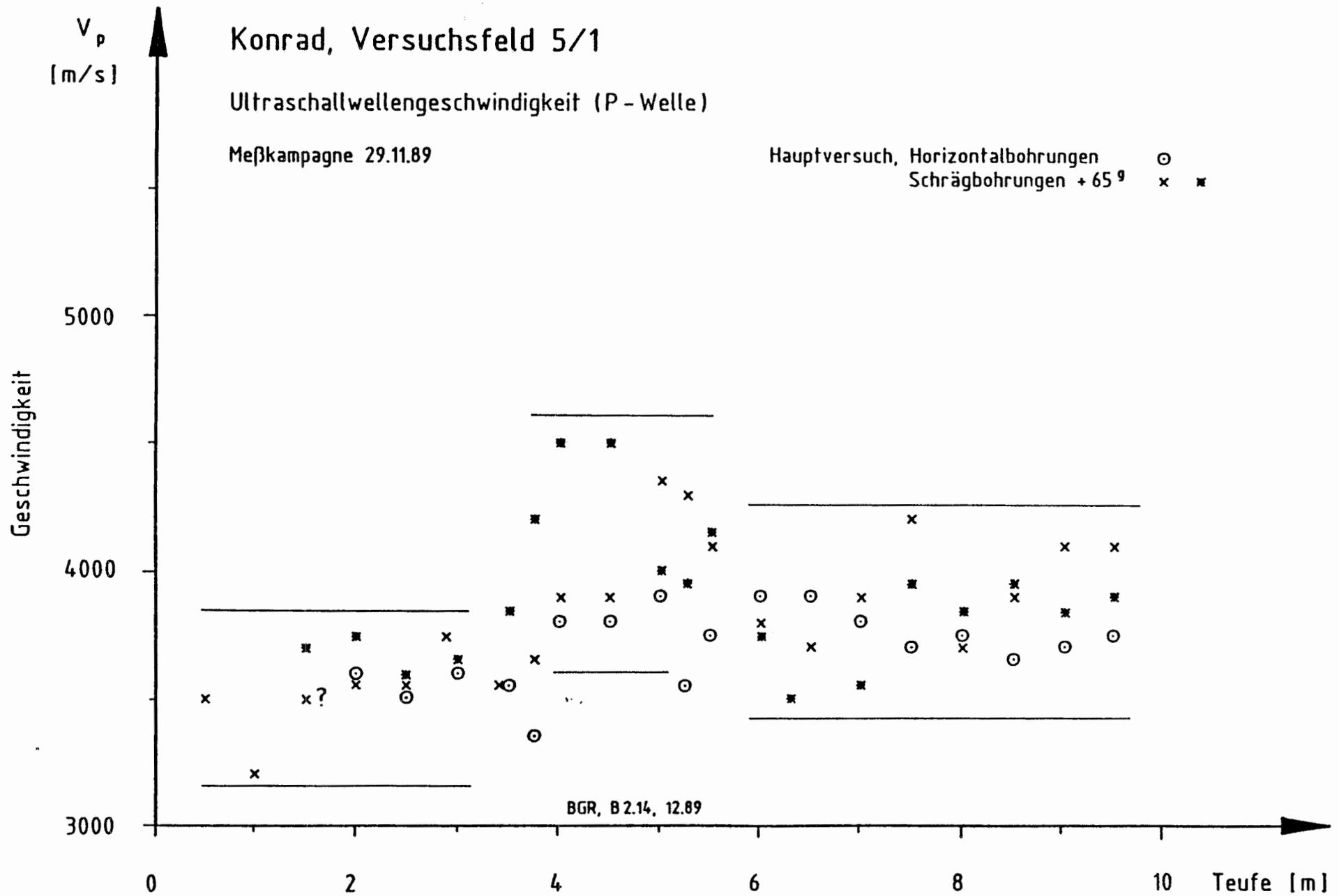


Abb. 6.7 : Zusammenfassung der Ultraschallwellengeschwindigkeiten aus dem Vorversuch und der Messung 04.89 des Hauptversuchs

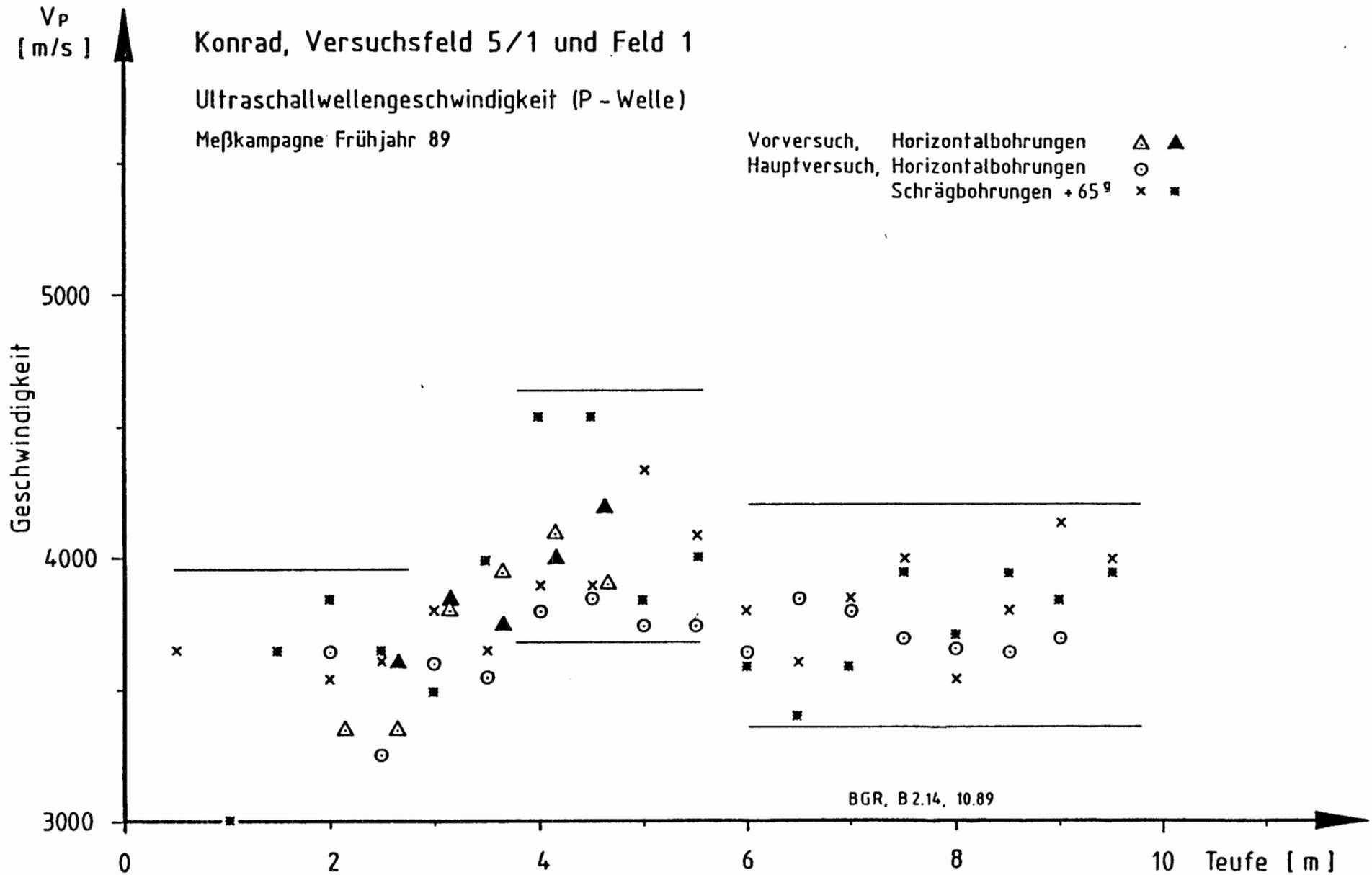


Abb. 6.8 : Zusammenfassung der Ultraschallwellengeschwindigkeiten der Messung 11.89 des Hauptversuchs

reiches traten bei der Auffahrung der Strecke hohe Verformungen infolge Überschreitung der mechanischen Gebirgsfestigkeit auf. Es folgten Auflockerungen, auch teilweise Abschaltungen an der unmittelbaren Streckenkontur. Bedingt durch die damit verbundene Schwächung dieses Gebirgsbereiches werden die Spannungen in tiefer gelegene Gebirgsbereiche umgelagert und bewirken dort erhöhte Verformungen. Dieser Bereich ergab sich aus den Messungen in einem Abstand von 4 m bis 5,5 m von der Strecke und zeichnete sich durch eine höhere mittlere Schallwellengeschwindigkeit von 4 040 m/s aus. Dieser Bereich stellt im wesentlichen das mittragende Gewölbe um die aufgefahrene Strecke dar. Der sich anschließende Gebirgsbereich ist durch eine mittlere Schallgeschwindigkeit von 3 800 m/s charakterisiert und entspricht näherungsweise dem ungestörten Gebirge.

Aus den im Abstand von 7 Monaten durchgeführten Messungen ist eine Vergrößerung der Auflockerungszone mit längerer Streckenstandzeit nicht abzuleiten, obwohl die Streckenkonvergenzen gering zugenommen haben.

Wie die Labormessungen zeigen auch die in-situ-Messungen keine einheitlichen Zusammenhänge zur Petrographie.

Die im Labor bestimmten Wellengeschwindigkeiten an Proben aus den Ultraschallbohrungen stimmen gut mit den in-situ-Geschwindigkeiten überein, wobei die Laborwerte in der Tendenz etwas niedriger sind als die in-situ-Werte, was auf Entlastungsvorgänge mit Entstehung von Mikrorissen zurückzuführen ist.

### 6.3 Permeabilitätsmessungen

Zur Ermittlung der Gebirgsauflockerung im Streckenmantel wurden als ein zweites Verfahren Messungen zur Durchlässigkeit des Gebirges in Bohrungen durchgeführt, um einen Vergleich zum Ultraschallverfahren zu erhalten und diese Meßergebnisse abzusichern /6.2/.

### 6.3.1 Prinzip des Meßverfahrens

Die Durchlässigkeit des Gebirges wurde mittels Vakuumverfahren ermittelt. Zur Anwendung kam ein Doppelpacker mit einer rd. 1 m langen Meßstrecke. Der Luftüberdruck in den Packern betrug ca. 15 bar. Die Bohrungen sind, soweit möglich, durchgehend in 1 m langen Abschnitten getestet worden. Zwischen den Packern betrug der Anfangsluftunterdruck ca. 10 bis 20 mbar. Als Maß für die Auflockerung bzw. Permeabilität des Gebirges galt der Druckanstieg in den getesteten Bohrlochabschnitten bei geschlossenem System. Nach diesem Versuchsschema wurde alle drei Bohrlöcher von oben nach unten mit rd. 46 Versuchen getestet.

### 6.3.2 Lage der Bohrungen

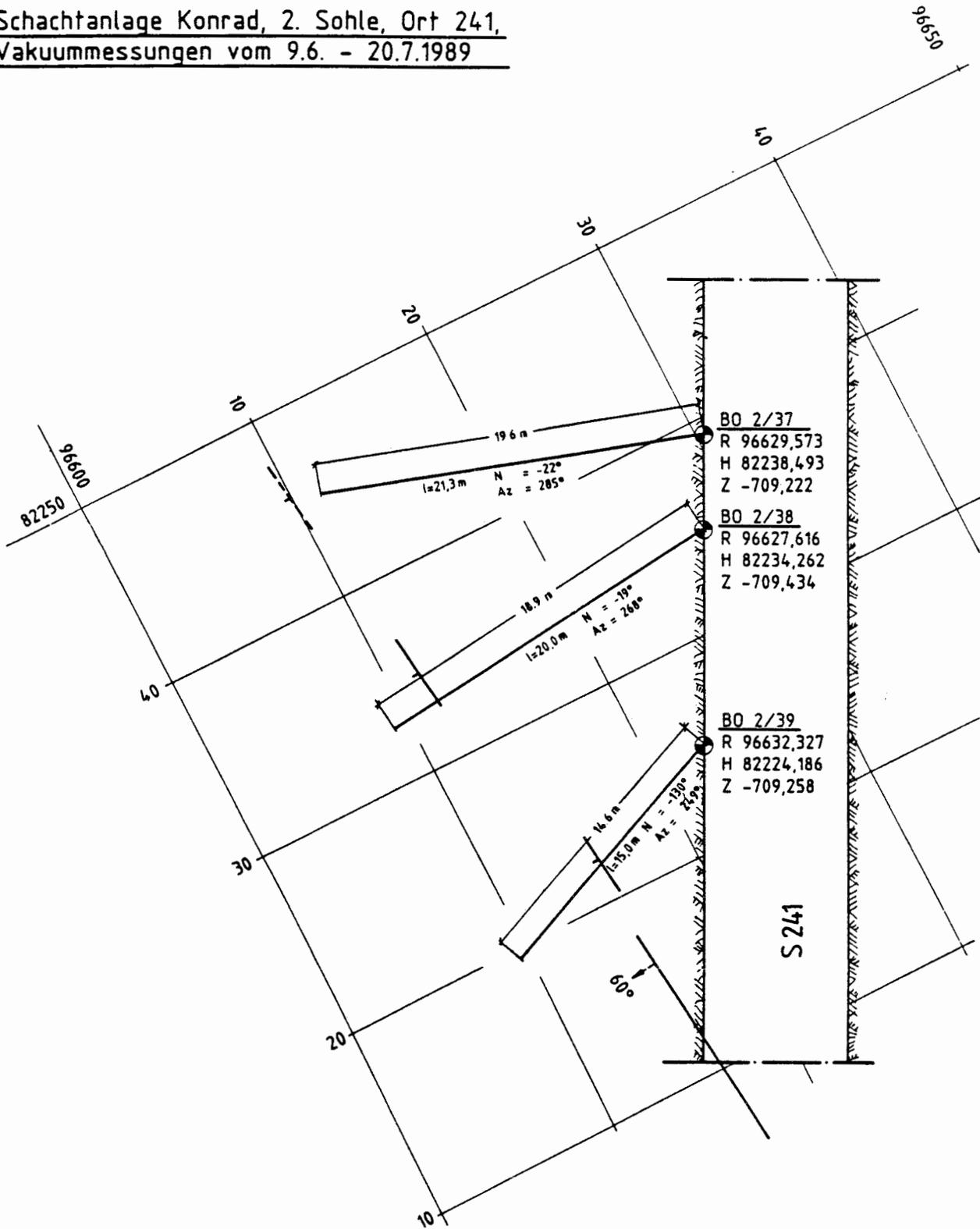
In der Strecke 241 S wurden 3 Kernbohrungen im Trockenbohrverfahren abgeteuft (Abb. 6.9). Alle drei Bohrungen durchteuften durchgehend den mittleren Teil des Unteren Erzlagere, der überwiegend aus rotbraunem Eisenoolith besteht und Absandungserscheinungen aufweist.

### 6.3.3 Ergebnisse

Auswertbare Ergebnisse wurden nur in 2 Bohrungen erzielt.

Die graphische Darstellung der Versuchsergebnisse in den Bohrungen Bo 2/37 und Bo 2/38 zeigt in der Abb. 6.10 den Druckanstieg in Abhängigkeit von der Teufe.

Schachtanlage Konrad, 2. Sohle, Ort 241,  
Vakuummessungen vom 9.6. - 20.7.1989



Lageplan (Skizze)

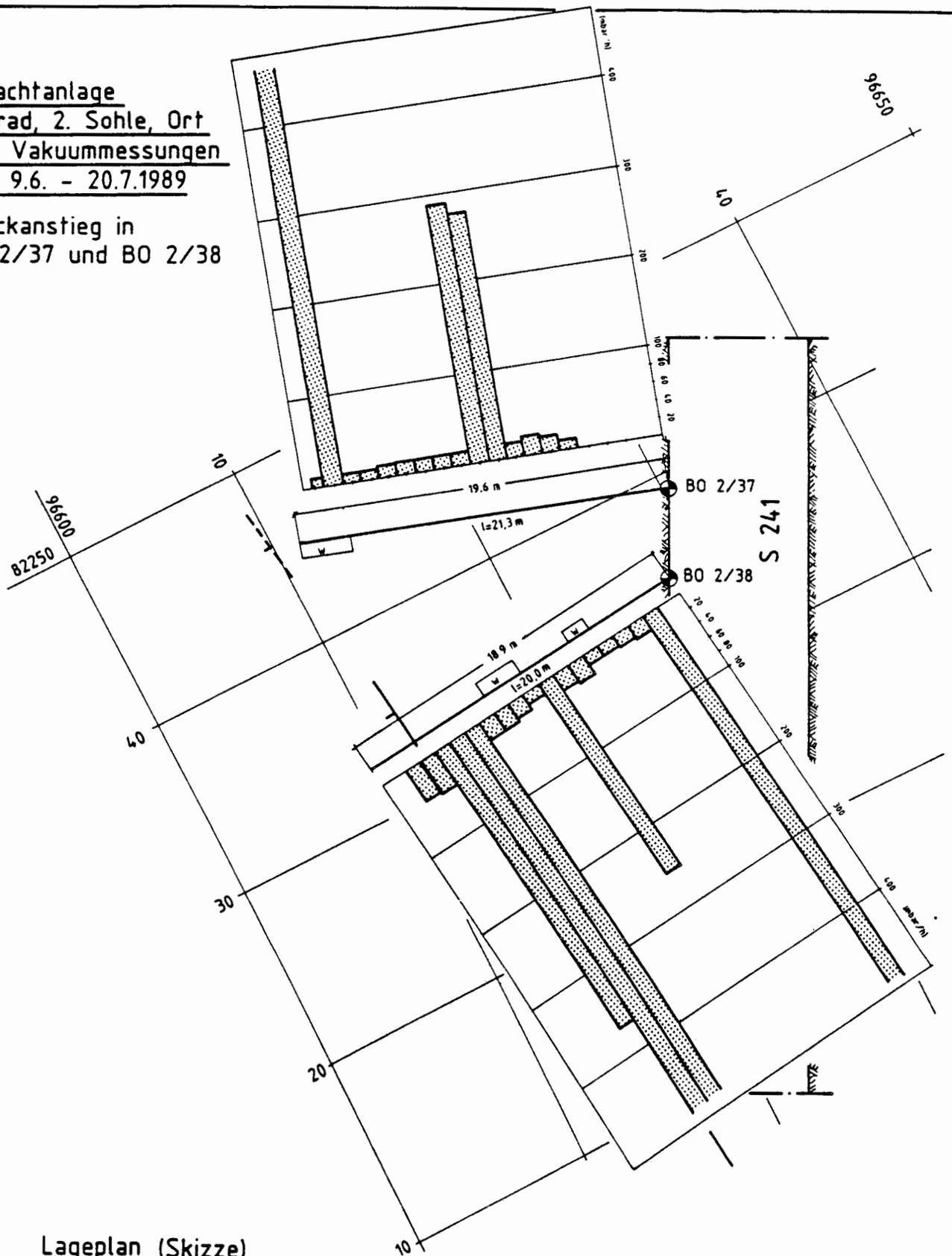
N = Neigung  
Az = Azimut

 BUNDESANSTALT  
FÜR  
GEOWISSENSCHAFTEN  
UND ROHSTOFFE

REF. 2.11      Abb. 6.9

Schachtanlage  
Konrad, 2. Sohle, Ort  
241, Vakuummessungen  
vom 9.6. - 20.7.1989

Druckanstieg in  
 BO 2/37 und BO 2/38



Lageplan (Skizze)

2/37:	17.8 - 21.3	: W (Wasser)
2/38:	5.05 - 6.55	: W
	10.15 - 12.30	: W
2/39:	2.5	: W
	5.4	: W



BUNDESANSTALT  
 FÜR  
 GEOWISSENSCHAFTEN  
 UND ROHSTOFFE

REF. 2 11

Abb. 6.10

Die Auflockerungszone um die Strecke reicht in der Versuchsbohrung Bo 2/38 bis zu einer Teufe von etwa 3 m, wobei die gemessene erhöhte Permeabilität ein Beurteilungskriterium darstellt. Aufgrund des sehr unregelmäßigen Kalibers der Bohrung 2/37 konnten bis zur Teufe 4,50 m keine zuverlässigen Messungen durchgeführt werden. Ab Teufe 4,50 m zeigten die Meßergebnisse, daß ein dichtes Gebirge vorliegt (Druckanstieg  $<20$  mbar/h). In größeren Bohrteufen sinkt allgemein die Permeabilität in Bo 2/37 und Bo 2/38 soweit, daß mit wenigen Ausnahmen von einem kompakten ungestörten Gebirge ausgegangen werden kann.

#### 6.4 Literatur

- /6.1/ SCHNIER, H. (1990): Ergebnisse der Ultraschallmessungen im Feld 5/1 der Schachtanlage Konrad - Bericht zum AP 9K 31892.33.- BGR-Bericht, Archiv-Nr. 106 782; Hannover.
- /6.2/ BRÄUER, V., DIEKMANN, N., GERARDI, J., HEUSERMANN, St., LIEDTKE, L., MEISTER, D. & SCHNIER, H. (1989): Geologische und geotechnische Untersuchungen im Versuchsfeld 5/1 der Schachtanlage Konrad - Sachstandsbericht zum AP 31892.34.- BGR-Bericht, Archiv-Nr. 105 842; Hannover.
- /6.3/ BUNDESAMT FÜR STRAHLENSCHUTZ (April 1990): Plan Konrad, Stand September 1986.- Braunschweig.

## 7. FINITE-ELEMENT-ANALYSE FÜR DAS VERSUCHSFELD 5/1

Im Rahmen der Bearbeitung des Feldes 5/1 wurde eine numerische Analyse des aufgefahrenen Streckensystems mit Hilfe der Finite-Element-Methode (FEM) durchgeführt. Der Zweck dieser Analyse ist, die Ergebnisse des geotechnischen Untersuchungsprogramms nachzuvollziehen und zusammen damit eine Aussage zur Machbarkeit des Streckensystems, zur betrieblichen Sicherheit der Strecken sowie zur Standsicherheit derartig aufgefahrener Einlagerungsfelder im Endlager Konrad zu erarbeiten. Hierin eingeschlossen und wesentlicher Bestandteil ist der Vergleich zwischen Meß- und Rechenergebnissen.

### 7.1 System und Modell

Für die numerischen Berechnungen wurde das Streckensystem des Feldes 5/1 ohne die Abwetterstrecke in einem 300 m breiten und 250 m hohen zweidimensionalen Gebirgsausschnitt modelliert. Dieser Ausschnitt befindet sich in der durch die Meßquerschnitte 2 und 4 vorgegebenen Vertikalebene. Entsprechend der Geologie des Feldes 5/1 liegen die drei Strecken im Eisenerzlager. Die beiden wesentlichen Störungszonen sind als Kluft 1 und Kluft 2 modelliert. Aus rechentechnischen Gründen wurde eine Begrenzung der Klüftung innerhalb des Modells angenommen. Zusätzlich wurde die im Meßquerschnitt 4 angetroffene eisenschüssige Tonschicht modelliert (Abb. 7.1).

Die Berechnungen wurden mit dem FEM-Programmsystem ADINA (Version 5) durchgeführt. Unter der Voraussetzung des ebenen Verzerrungszustandes ist der Modellausschnitt mit zweidimensionalen Solid-Elementen (8 Knoten) diskretisiert worden. Im Bereich der Klüfte wurden geometrische Doppelknoten eingeführt, die im Falle geschlossener Klüfte durch programmspezifische Definitionen gekoppelt wurden. Die Elementierung orientiert sich an der Lösung im Sinne des Verlaufs der

Hauptspannungen. Bei der Modellaufbereitung wurde den Materialgrenzen durch Anpassung der finiten Elemente Rechnung getragen. Das Finite-Element-System ist am linken und rechten Rand mit horizontalen und am unteren Rand mit vertikalen Fesselungen statisch unbestimmt gelagert. Es wird durch eine konstante, sich aus der Überdeckung ergebende Auflast belastet.

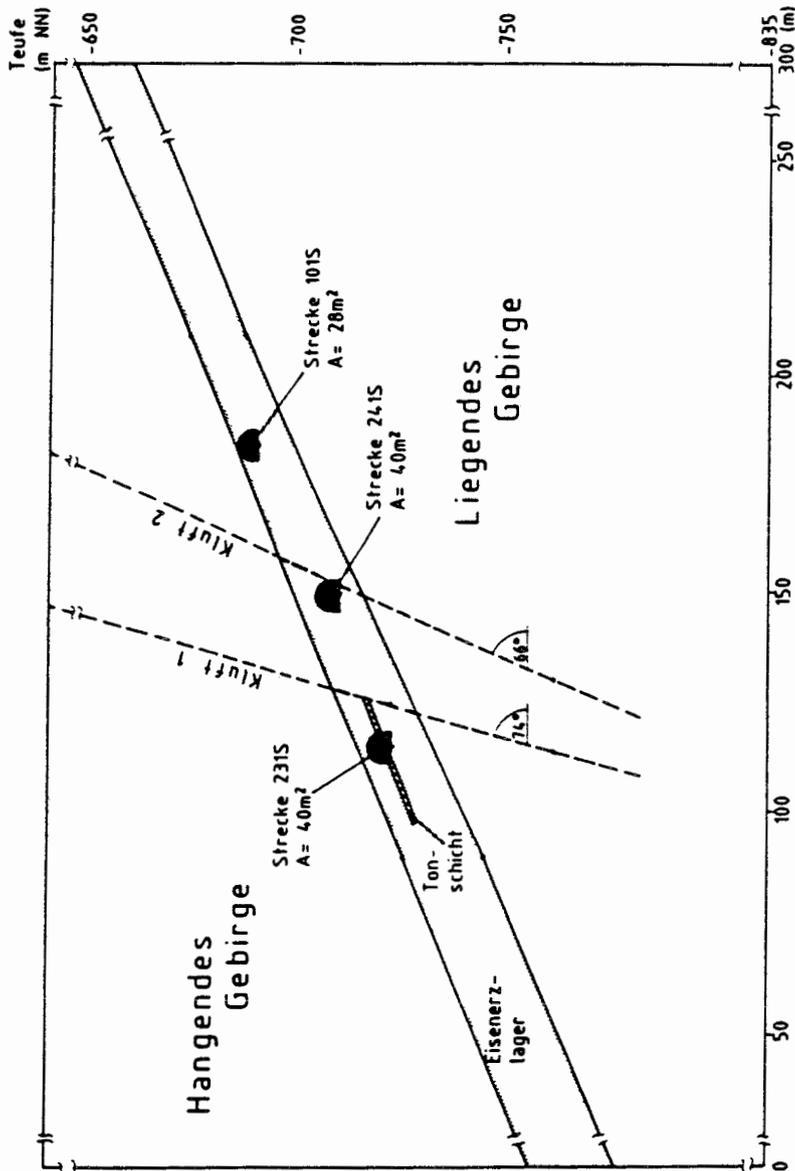


Abb. 7.1: Gebirgsmechanisches Modell

## 7.2 Materialgesetz und Materialparameter

In Übereinstimmung mit den numerischen Berechnungen zum Beanspruchungszustand des Gebirges im Bereich des Endlagers Konrad sowie zur Standsicherheit geplanter Einlagerungsfelder /7.1/ wurde in dieser FEM-Analyse ebenfalls ein ideal elastisch-plastisches Materialverhalten mit der Fließbedingung nach Drucker-Prager angewendet. Die Materialparameter der geologischen Bereiche des Modells wurden in festigkeitsmechanischen Laboruntersuchungen an Gesteinsproben aus dem Feld 5/1 ermittelt /7.2/. Sie sind in der Tab. 7.1 zusammengefaßt.

Parameter	Hangendes Material 1	Liegendes Material 2	Eisenerz Material 3	Tonstein Material 4
E-Modul	10 000 MPa	10 500 MPa	11 000 MPa	8 500 MPa
Querkontr.	0,3	0,3	0,3	0,3
$\phi$	34°	34°	37°	20°
c	2,5 MPa	2,4 MPa	2,6 MPa	1,8 MPa

Tab. 7.1: Materialparameter

Für das Feld 5/1 ergeben sich annähernd die gleichen elastischen Konstanten wie für die Berechnungen zum Kammer-Festen-Verhältnis in /7.1/. Demgegenüber sind insbesondere die Mohr-Coulombschen Parameter Kohäsion c und innerer Reibungswinkel  $\phi$  für das Hangende, das Liegende und das Untere Erzlager deutlich kleiner. Nur im Erzlager ergaben die Laboruntersuchungen einen geringfügig höheren Reibungswinkel  $\phi$ .

## 7.3 Ergebnisse und Beurteilung

Die Finite-Element-Analyse des Feldes 5/1 beinhaltet 5 verschiedene Berechnungsvarianten.

**Variante 1:** Klüfte 1 und 2 geschlossen, vollständige Kraftübertragung möglich.

**Variante 2:** Kluft 1 geschlossen, Kluft 2 geöffnet, keine Kraftübertragung durch Reibung möglich.

**Variante 3:** Kluft 1 geschlossen, Kluft 2 geöffnet, aber eingeschränkte Kraftübertragung durch Reibung möglich (Reibungsbeiwert  $\mu = 0,5$ ).

**Variante 4:** wie Variante 3, jedoch werden für die Tonschicht die Materialkennwerte der Eisenerzschicht eingesetzt.

**Variante 5:** Kluft 2 geschlossen, Kluft 1 geöffnet, aber eingeschränkte Kraftübertragung durch Reibung möglich (Reibungsbeiwert  $\mu = 0,5$ ).

Zur Beurteilung des Beanspruchungszustandes des Gebirges im Modell wurden in der graphischen Auswertung Isolinien der Sicherheit  $\eta$  dargestellt. Das Sicherheitsverhältnis  $\eta$  ist definiert als

$$\eta = \text{zul. } \sqrt{I'_2} / \text{vorh. } \sqrt{I'_2}.$$

$I'_2 = 2$ . Invariante des räumlichen Spannungsdeviators

Dabei ist der im Modell maximal aufnehmbare Spannungsdeviator  $\text{zul. } \sqrt{I'_2}$  durch die Fließbedingung nach Drucker-Prager für jeden betrachteten Integrationspunkt eines Elements bestimmt. Gleichzeitig läßt sich der durch den simulierten Ausbruch der Kammern hervorgerufene Beanspruchungszustand  $\eta$  für jeden Integrationspunkt angeben. Im Fall des Erreichens der Fließgrenze ( $\text{zul. } \sqrt{I'_2} = \text{vorh. } \sqrt{I'_2}$ ) ist  $\eta = 1$ . Diese ist gleichbedeutend mit einem Materialbruch, der mit Verformungen und Auflockerungserscheinungen verbunden ist und Spannungsumlagerungen in intakte Gebirgsbereiche bewirkt.

Das Ergebnis der Berechnungsvariante 1 ist in der Abb. 7.2 in der Form von Isoflächen für gleiche  $\eta$ -Werte dargestellt. Das Streckensystem und die Strecken, für die der Ausbruch gleichzeitig in 5 Rechenschritten erfolgte, werden relativ symmetrisch beansprucht. Entsprechend der Geometrie der Streckenquerschnitte ergeben sich die höchsten Beanspruchungen des streckennahen Gebirges in den Schulterbereichen, während Sohle und Firste weniger beansprucht sind. Eine Plastifizierung im Sinne des verwendeten Materialgesetzes tritt nur in unmittelbarer Streckennähe in einem Abstand bis etwa halbe Streckenbreite auf. Die Feste zwischen den Strecken sind nur gering beansprucht. Die im Bereich der unteren Strecke 231 S modellierte Tonschicht ist zum überwiegenden Teil durchplastifiziert.

Für die Variante 3 wird in der Kluft 2 eine eingeschränkte Kraftaufnahme über Reibung vorgegeben. Die Kluft 1 bleibt weiterhin geschlossen. Das Ergebnis dieser Berechnung zeigt die Abb. 7.3. Gegenüber dem Ergebnis der Variante 1 ändert sich der Beanspruchungszustand im Modell nicht. Allein in der mittleren Strecke verschieben sich die  $\eta$ -Werte, da dort die Kluft 2 die Strecke schneidet. Auch in diesem Fall sind die Feste kaum beansprucht und bleibt die Plastifizierung auf streckennächste Bereiche begrenzt.

In der Variante 2 wird die Kluft 2 vollständig geöffnet, so daß keine Kraftübertragung durch Reibung möglich ist. Die Kluft 1 ist weiterhin geschlossen. Die Öffnung der Kluft 2 bedeutet für das Rechenmodell eine starke Schwächung im Kluftbereich. Dadurch werden die Auflastkräfte schon sehr früh in die intakten Bereiche des modellierten Gebirgsausschnittes gelenkt und mittlere Bereiche geringfügiger beansprucht.

Für die mittlere Strecke ergibt sich daraus eine erhöhte Beanspruchung mit nahezu umlaufender Plastifizierungszone und hervorgehobener einseitiger Belastung (Abb. 7.4). Die außenliegenden Strecken des Hohlraumsystems weisen auch weiterhin

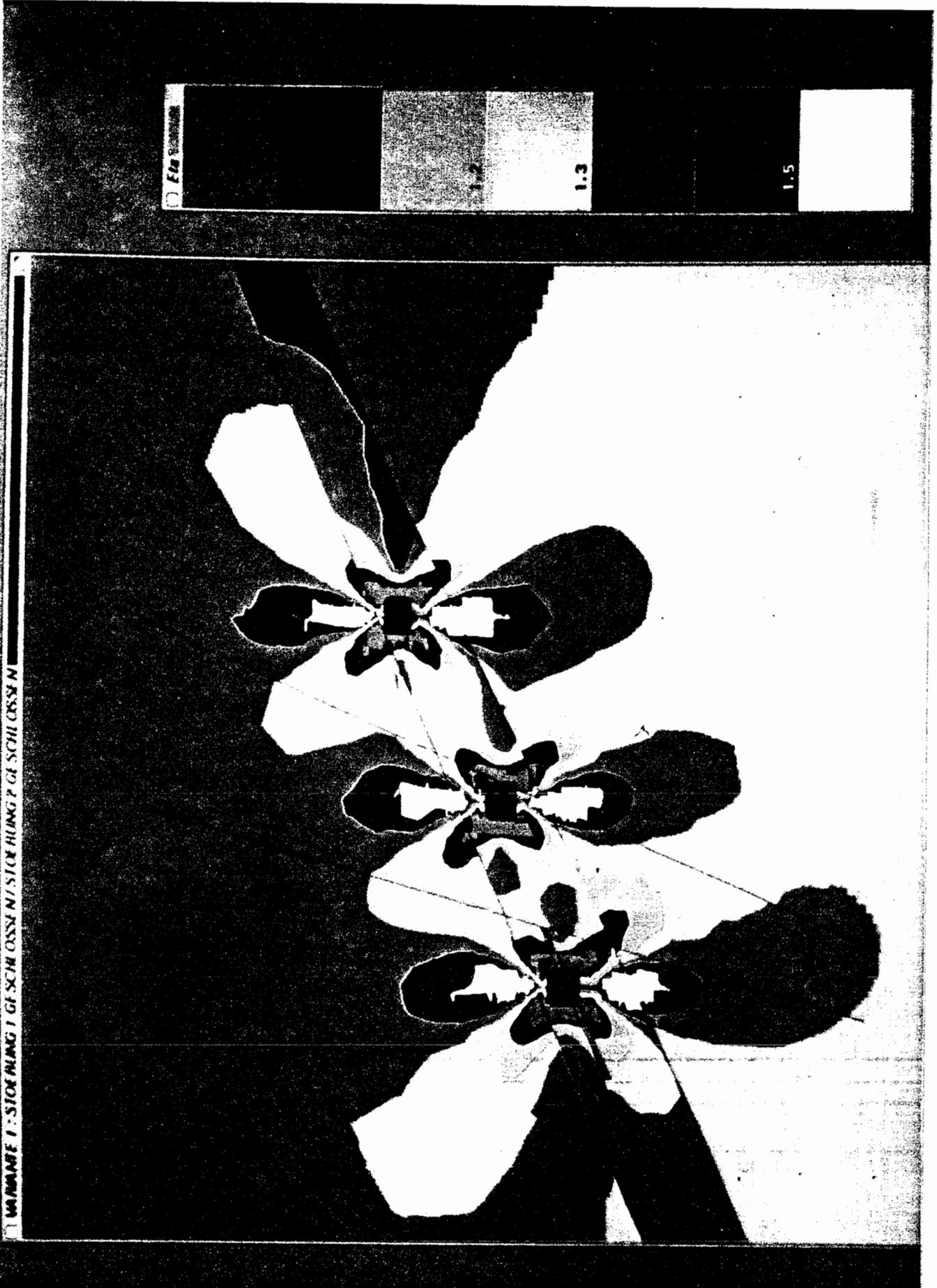


Abb. 7.2: Beanspruchungszustand des Streckensystems, Variante 1

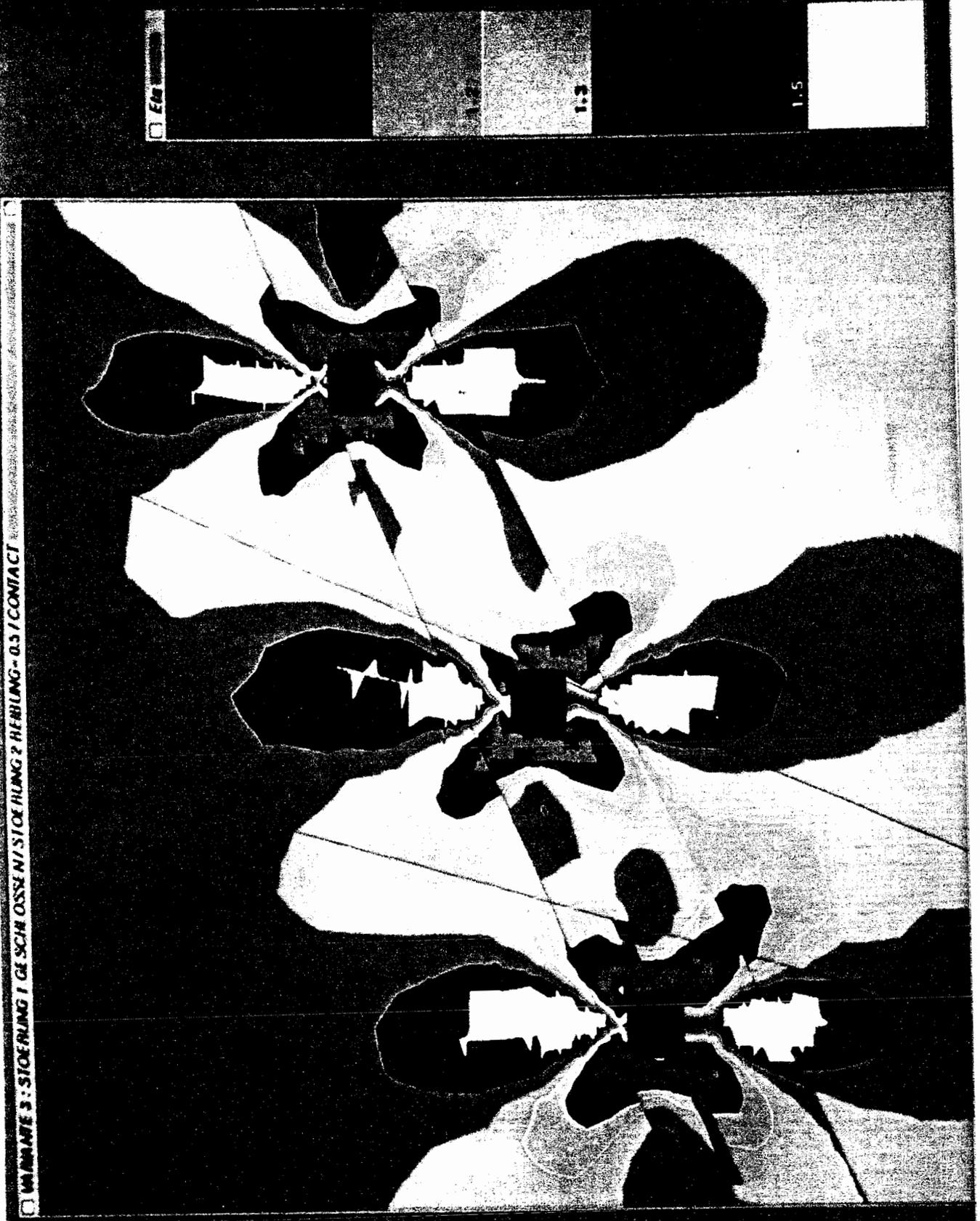


Abb. 7.3: Beanspruchungszustand des Streckensystems, Variante 3

Auflockerungen im Nahbereich auf. Insgesamt erscheint die Tiefe der höher beanspruchten streckennahen Bereiche kleiner zu sein als bei der Variante 3. Auch in diesem Berechnungsfall sind die Gebirgsfesten nur gering belastet bzw. sogar im Bereich der Kluft 2 entlastet. Da diese Variante nicht in der Realität auftreten wird, besitzt das Ergebnis den Charakter eines Grenzwertes. Im übrigen hat sich gezeigt, daß die Modellabmessungen für diesen Fall sowohl nach oben als auch nach unten vergrößert werden müßten, da sich in der graphischen Auswertung der singuläre Einfluß der Kluftenden am existierenden Modellrand deutlich zeigt. Hierdurch wird die Beurteilung des Ergebnisses nicht beeinflusst.

Die Varianten 4 und 5 sind bezüglich der Finite-Elemente-Analyse der Stabilität des Streckensystems von untergeordneter Bedeutung. Die Variante 5 liefert im Wesentlichen der Variante 1 ähnliche Ergebnisse. Die Variante 4 bedeutet eine Verbesserung und Homogenisierung des Tragverhaltens des Gebirges im Bereich der unteren Strecke 231 S.

Die Ergebnisse der numerischen Berechnungen haben wie bereits schon in /7.1/ gezeigt, daß unter den modellhaften Vorgaben und Annahmen ein globales Versagen des Gebirges bei Auffahrung eines für die Einlagerungsfelder geplanten Streckensystems auszuschließen ist. Das Kammer-Festen-Verhältnis von 1 : 4 wird durch diese Berechnungen erneut bestätigt. Im Streckennahbereich kommt es zur Auflockerung des Gebirges, die aber durch entsprechende bergmännische Maßnahmen beherrscht wird und keine Gefährdung des Betriebes bedeutet.



Abb. 7.4: Beanspruchungszustand des Streckensystems, Variante 2

## 7.4 Beurteilung von Rechen- und Meßergebnissen

### 7.4.1 Gegenüberstellung gemessener und berechneter Verschiebungen

Der für die numerischen Modellrechnungen betrachtete Gebirgsausschnitt liegt in der durch die Meßquerschnitte 2 und 4 aufgespannten Vertikalebene. Um den in den Bohrlöchern von MQ 2 und MQ 4 gemessenen Verschiebungen entsprechende Ergebnisse aus der numerischen Berechnung gegenüberzustellen, wurden die Ergebnisse der Berechnungsvariante 1 ausgewertet. Dazu wurden im FE-Modell 5 Integrationspunkte herausgesucht, die näherungsweise auf den Achsen der Bohrungen in den Meßquerschnitten liegen. Aus den Verschiebungen dieser Punkte sind Verschiebungsvektoren ermittelt und den Meßergebnissen nach ca. 18 Monaten nach Durchfahren des MQ 2 bzw. nach ca. 13 Monaten nach Durchfahren des MQ 4 gegenübergestellt worden. Diese Ergebnisse sind in den Abb. 7.5 und 7.6 dargestellt.

Unter Berücksichtigung der durch die Modellbildung gegebenen Randbedingungen und der systembedingten Genauigkeit der Messungen stimmen gemessene und berechnete Verschiebungen der Bohrungen in den betrachteten Meßquerschnitten gut überein. Die gute Übereinstimmung besteht sowohl hinsichtlich der Richtung als auch der Größe der Verschiebungsvektoren. Nur in der Bohrung 1/13 des Meßquerschnitts 2 ergeben sich entgegengesetzte Richtungen für die berechneten Verschiebungsvektoren. Der Grund hierfür liegt darin, daß in der ausgewerteten Berechnungsvariante 1 beide Klüfte geschlossen sind, während in Realität die Kluft 2 teilweise offen angetroffen wurde.

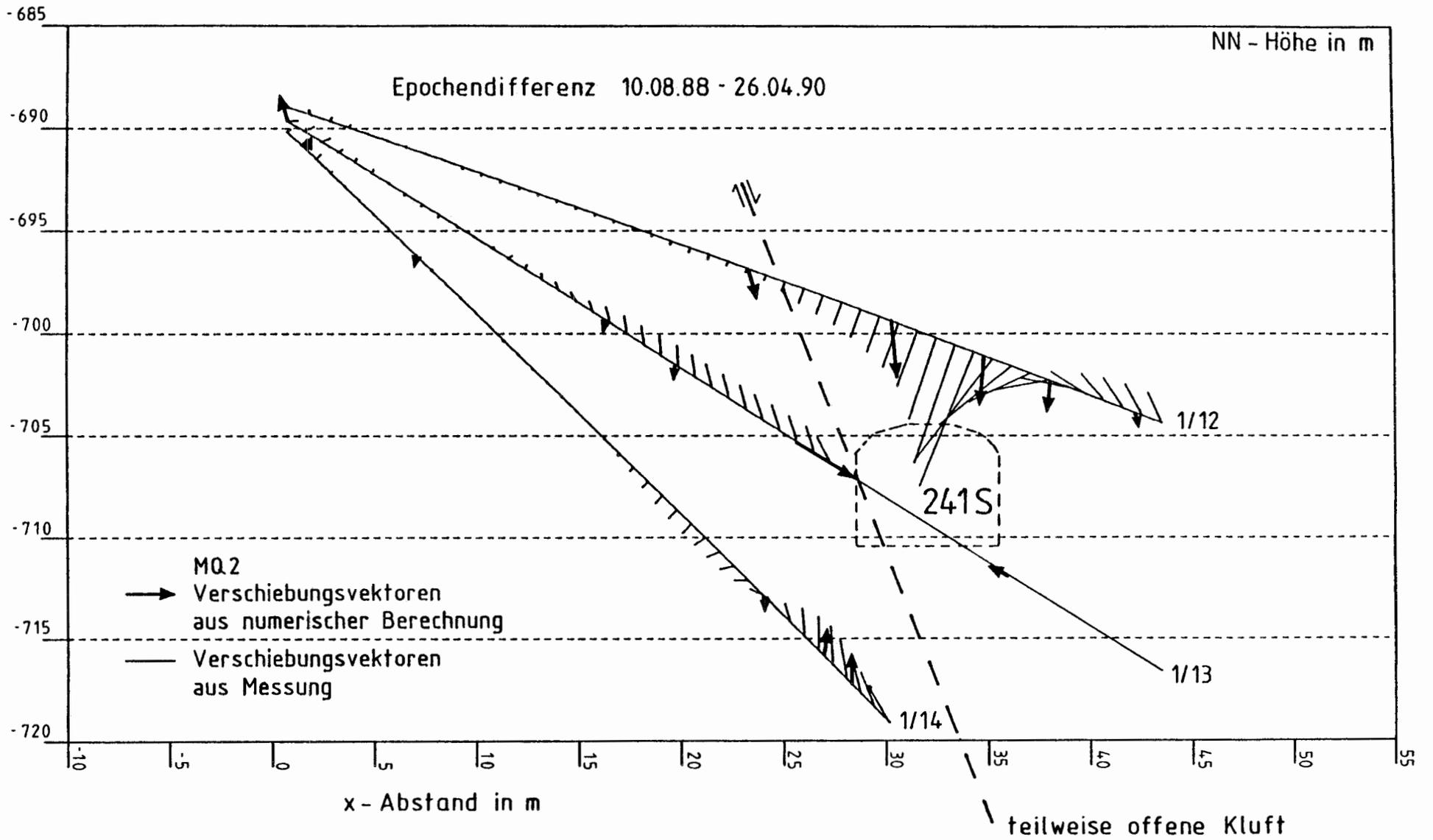


Abb. 7.5

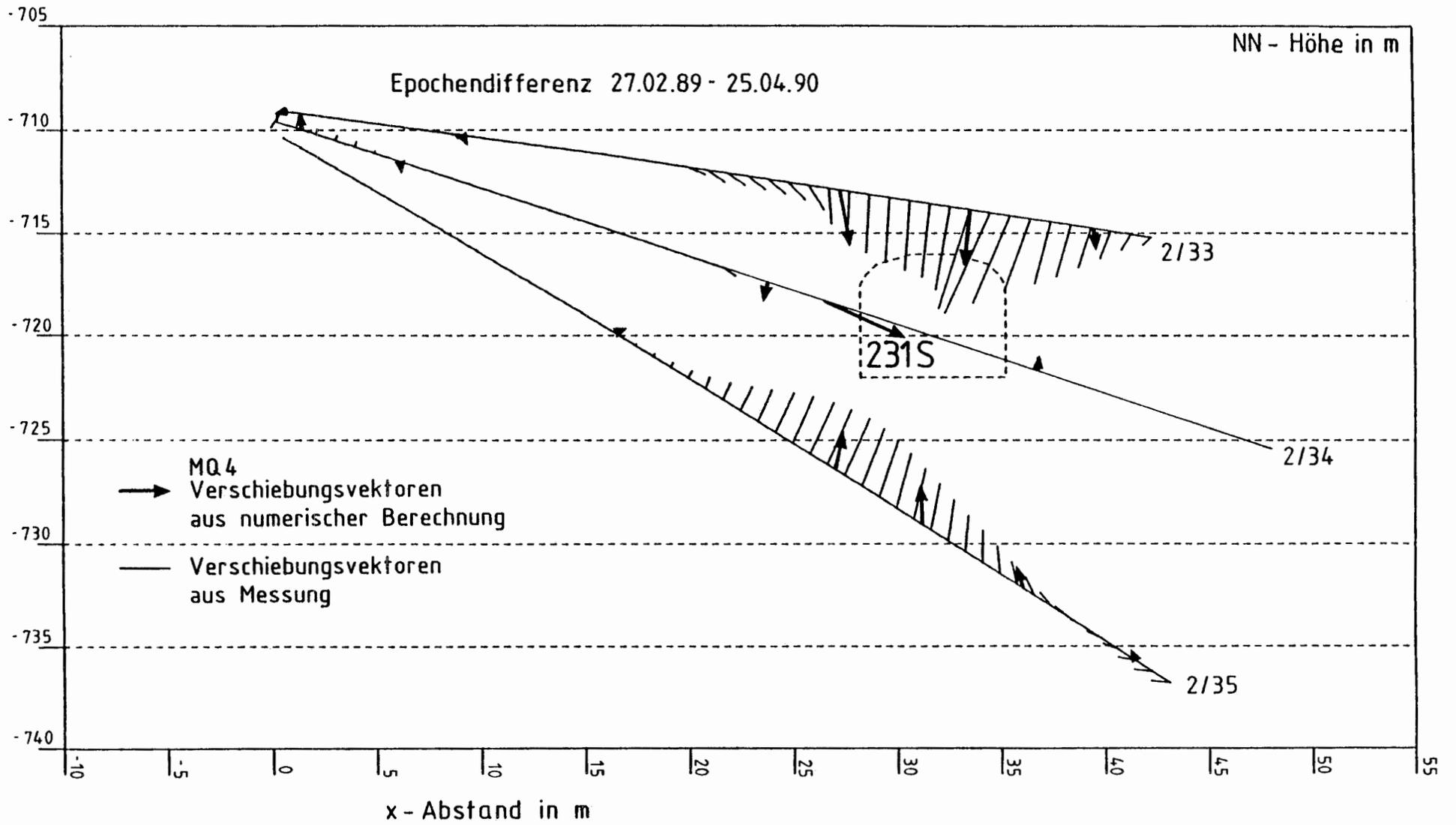


Abb. 7.6

## 7.4.2 Gegenüberstellung gemessener und berechneter Spannungen

### a) Primärspannungen

Für die numerischen Modellberechnungen wurden folgende Materialkennwerte angenommen:

- spezifische Dichte des Gebirges oberhalb des Berechnungsausschnitts  $\rho_1 = 2,4 \text{ g/cm}^3$ ,
- spezifische Dichte des Gebirges im Berechnungsausschnitt  $\rho_2 = 2,6 \text{ g/cm}^3$ ,
- Querdehnungszahl  $\nu = 0,3$ .

Für eine Überlagerungshöhe  $h = 675 \text{ m}$  des Berechnungsmodells ergibt sich mit

$$p_z = -\rho \cdot g \cdot h \quad [7.1]$$

die vertikale Auflast  $p_z$  in OK des Berechnungsmodells zu  $p_z = -15,89 \text{ MPa}$  (Erdbeschleunigung  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ ). Die vertikale Gebirgsspannung  $\sigma_z$  läßt sich dann mit

$$\sigma_z = -15,89 - \rho_2 \cdot g \cdot (z-h) \quad [7.2]$$

mit  $z$  als Teufe (bezogen auf GOK) ermitteln.

Die horizontalen Gebirgsspannungen  $\sigma_x$  bzw.  $\sigma_y$  lassen sich nach [7.3] mit Hilfe des Seitendruckbeiwertes  $K_0$  aus

$$K_0 = \frac{\nu}{1 - \nu} \quad [7.3]$$

und

$$\sigma_x = \sigma_y = K_0 \cdot \sigma_z \quad [7.4]$$

berechnen.

Für das Niveau der Sohle der Strecke 101 S mit  $z = 782$  m (entspricht etwa der Teufenlage der im Fels durchgeführten Primärspannungsmessungen) ergeben sich die folgenden theoretischen Primärspannungen (Druckspannungen sind neg. def.):

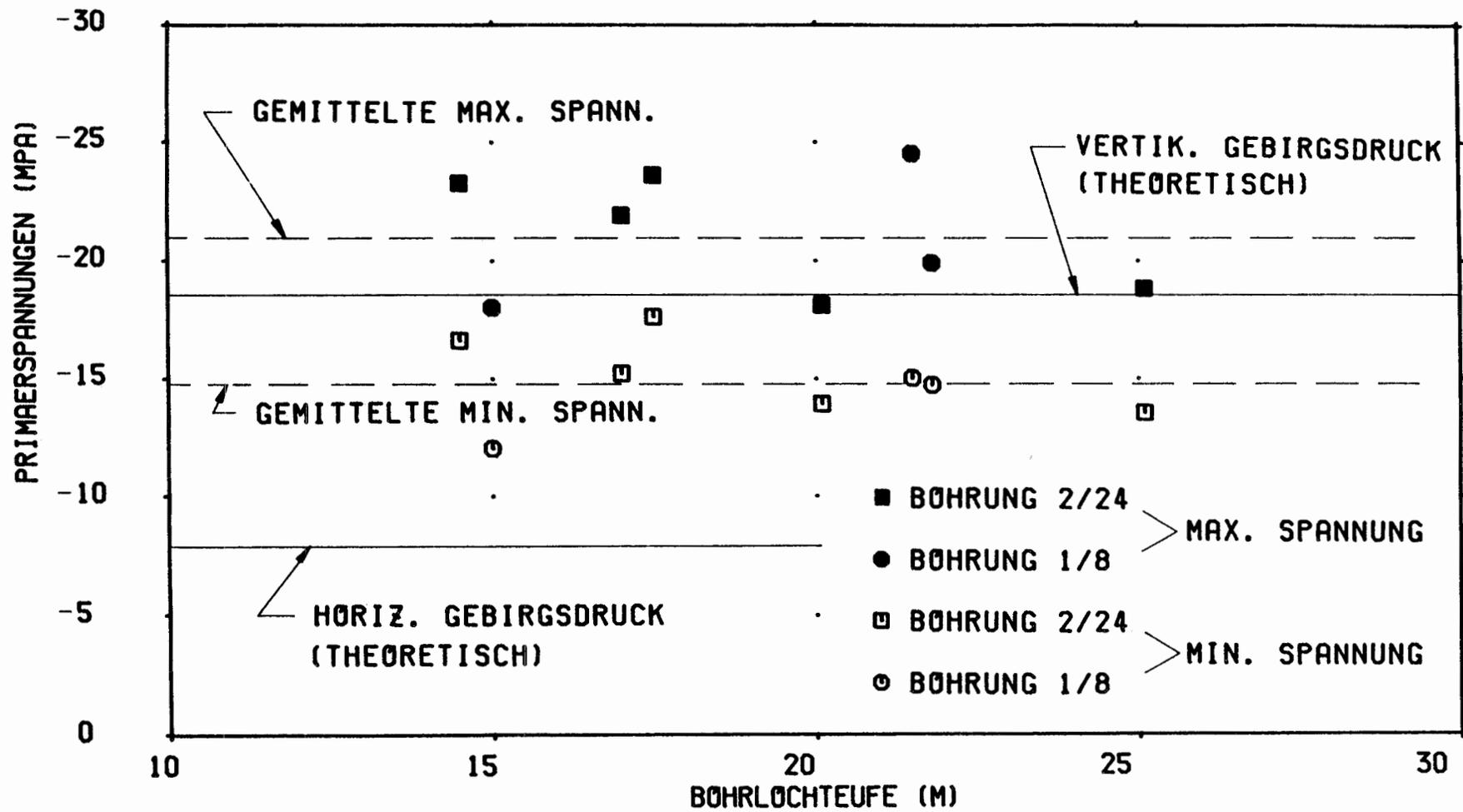
$$\begin{aligned}\sigma_z &= -18,6 \text{ MPa,} \\ \sigma_x &= \sigma_y = -8,0 \text{ MPa.}\end{aligned}$$

Meßprinzip und Versuchsablauf der Primärspannungsmessungen sind detailliert in /7.4/ und in Kapitel 4 beschrieben.

Die Ergebnisse der Primärspannungsmessungen sind in Abb. 7.7 zusammen mit den o. g. theoretischen Werten dargestellt. In Abhängigkeit von der Teufe der Untersuchungsbohrungen 2/24 und 1/8 sind jeweils die maximalen und minimalen Meßwerte aufgetragen. Die Auswertung der Messungen erfolgte mit  $E = 13\,500$  MPa und  $\nu = 0,3$  (siehe dazu /7.4/).

Es lassen sich maximale Spannungswerte zwischen ca.  $-18,0$  MPa und  $-24,5$  MPa und minimale Werte zwischen ca.  $-12,0$  MPa und  $-17,6$  MPa ermitteln. Die maximalen Spannungen sind i. a. subvertikal ( $\pm 20^\circ - 30^\circ$ ) orientiert.

Die gemessenen Maximalwerte entsprechen zur einen Hälfte etwa dem theoretischen vertikalen Gebirgsdruck, zur anderen Hälfte sind sie um ca. 20 % - 25 % und im Gesamtmittel um ca. 13 % höher. Die gemessenen Minimalwerte (annähernd horizontal mit  $\pm 20^\circ - 30^\circ$  orientiert) sind generell deutlich höher als der theoretische horizontale Gebirgsdruck. Dies ist darauf zurückzuführen, daß der theoretische Seitendruckbeiwert  $K_0$  nach Gl. [7.3] mit  $K_0 = 0,43$  offensichtlich zu niedrig angesetzt wurde. Nach den vorliegenden Meßergebnissen beträgt  $K_0$  ca. 0,7. Diese Diskrepanz ist für die numerischen Modellberechnungen jedoch von untergeordneter Bedeutung, da hier der kleinere  $K_0$ -Wert in statischer Hinsicht den ungünstigeren Fall darstellt.



PRIMAERSPANNUNGEN

SCHACHTANLAGE KONRAD, FELD 5/1



BUNDESANSTALT  
FÜR  
GEOWISSENSCHAFTEN  
UND ROHSTOFFE

REF. 2.11 ABBILDUNG 7.7

b) Spannungsänderungen infolge Auffahrung

Die infolge Streckenauffahrung auftretenden Spannungsumlagerungen wurden in den numerischen Berechnungen ermittelt.

Folgende Spannungskomponenten wurden berechnet:

$\sigma_v = \sigma_y$  (Vertikale Komponente),

$\sigma_H = \sigma_x$  (Horizontale Komponente, in Modellebene),

$\sigma_A$  (Axiale Komponente, normal zur Modellebene, d. h. in Streckenachsrichtung),

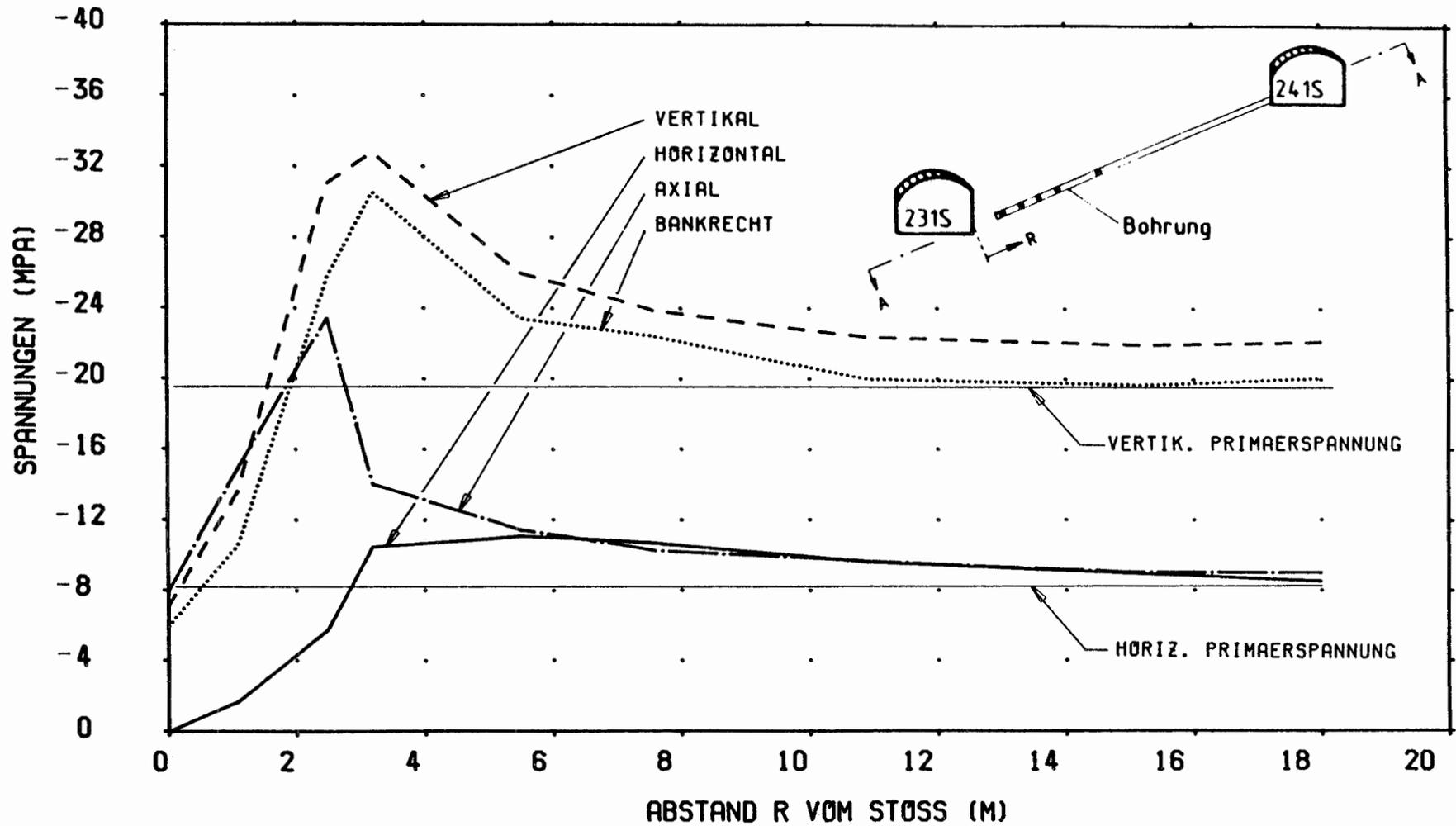
$\tau_{xy}$  (Schubspannungskomponente, in Modellebene).

Zum Vergleich mit den Messungen wurden die Ergebnisse für  $\sigma_v$ ,  $\sigma_H$  und  $\sigma_A$  aus den Varianten 1, 2 und 3 herangezogen. Ferner wurde, ebenfalls für Vergleichszwecke, die bankrechte Komponente  $\sigma_B$  nach /7.5/ mit

$$\sigma_B = \sin^2 \alpha \cdot (\sigma_H + \cos^2 \alpha) \cdot \sigma_v - (2 \cdot \tau_{xy}) \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha \quad [7.5]$$

mit  $\alpha$  als Winkel zwischen  $\sigma_v$  und  $\sigma_B$  ermittelt.

Abb. 7.8 zeigt dazu für die Berechnungsvariante 1 den Verlauf der o. a. numerisch ermittelten Spannungskomponenten in Schnitt A-A zwischen den Strecken 231 S und 241 S.



BERECHNETE SPANNUNGSVERLAEFUE IN SCHNITT A-A  
 ZWISCHEN DEN STRECKEN 231S UND 241S



BUNDESANSTALT  
 FUER  
 GEOWISSENSCHAFTEN  
 UND ROHSTOFFE

REF. 2.11 ABBILDUNG 7.8

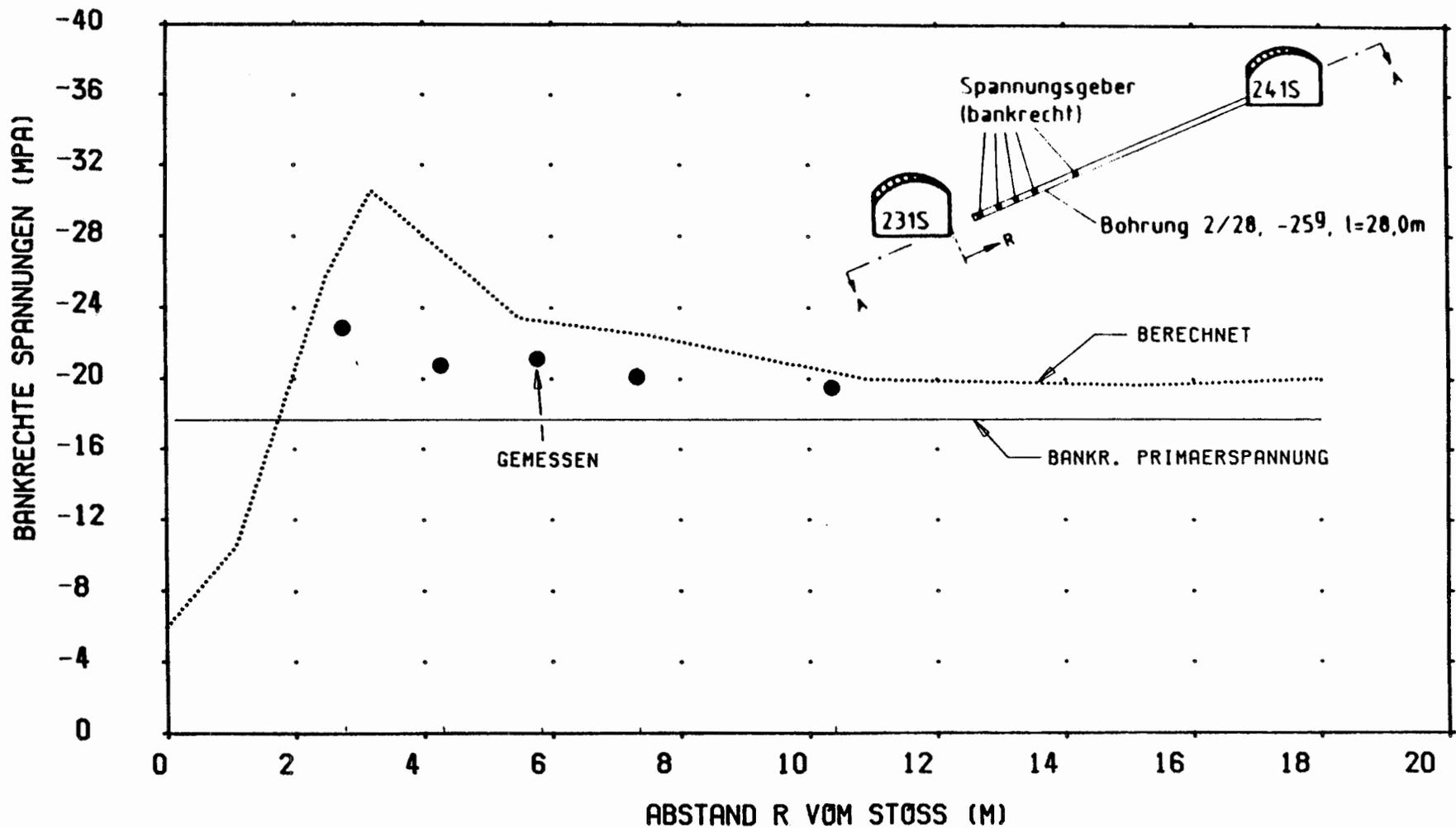
Aufgrund der zweidimensionalen Modellabbildung des Versuchsfeldes (Modellebene senkrecht zur Streckenachsrichtung) ist keine Berücksichtigung der zeitlichen Abfolge der Streckenauffahrung möglich. Der Vergleich berechneter und gemessener Spannungen beschränkt sich daher zwangsläufig auf den Zustand vor bzw. nach Auffahrung. Weiterhin werden die totalen Spannungen (= Sekundärspannungen) gegenübergestellt. Dazu wurden zunächst die gemessenen Spannungsänderungen als Differenz der Meßwerte ca. 6 Wochen nach Durchfahrung eines Meßquerschnitts und der Meßwerte vor Auffahrung ("Nullmessung") ermittelt. Dann wurden diese Spannungsänderungen jeweils um den Betrag der theoretischen Primärspannung korrigiert.

Das Prinzip der Spannungsmessungen nach der Bohrlochein-schlußmethode und die Anordnung der Geber sind eingehend in Kap. 4 und in /7.4/ beschrieben.

In den Abb. 7.9 und 7.10 sind die bankrechten Spannungskomponenten für Schnitt A-A im Pfeiler zwischen den Strecken 231 S und 241 S dargestellt. Für den Meßquerschnitt MQ 3 (Abb. 7.9) zeigt sich, daß die gemessenen Gebirgsspannungen generell niedriger als die berechneten Werte sind. Für MQ 4 (Abb. 7.10) ergeben sich dagegen i. a. etwas höhere gemessene Werte. Größenordnung und qualitativer Verlauf der gemessenen Spannungsgradienten stimmen gut mit dem berechneten Spannungsverlauf (Variante 1) überein.

Auf eine Darstellung der theoretischen Spannungsverläufe für die Berechnungsvarianten 2 und 3 wurde verzichtet, da sich dort ähnliche Verläufe wie für Variante 1 ergeben.

Die Abb. 7.11 und 7.12 zeigen den theoretischen Verlauf der vertikalen, horizontalen, axialen und bankrechten Spannungskomponenten in Schnitt B-B zwischen den Strecken 241 S und 101 S für die Berechnungsvarianten 1 und 2. Die Berechnungsergebnisse sind dem in MQ 1 und MQ 2 in der Firste der Strecke 241 S mit 4-Komponenten-Spannungsmonitorstationen ermittelten Meßwerten gegenübergestellt.



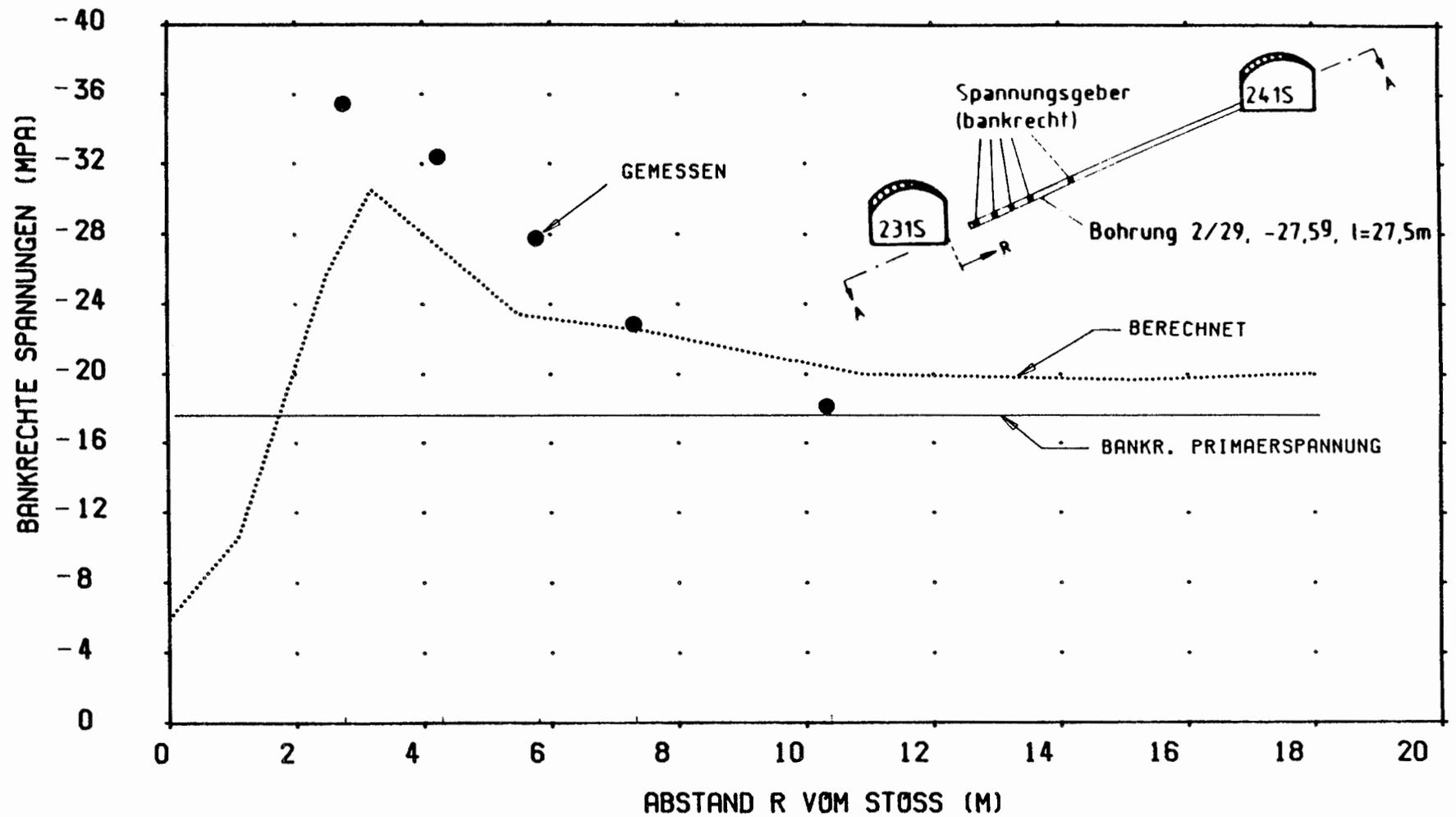
GEMESSENE UND BERECHNETE SPANNUNGEN (BANKRECHTE KOMPONENTE)  
 IN SCHNITT A-A ZWISCHEN DEN STRECKEN 231S UND 241S  
 BEI DURCHFÄHRUNG DES MESSQUERSCHNITTS MQ 3



BUNDESANSTALT  
 FÜR  
 GEOWISSENSCHAFTEN  
 UND ROHSTOFFE

REF. 2.11

ABBILDUNG 7.9

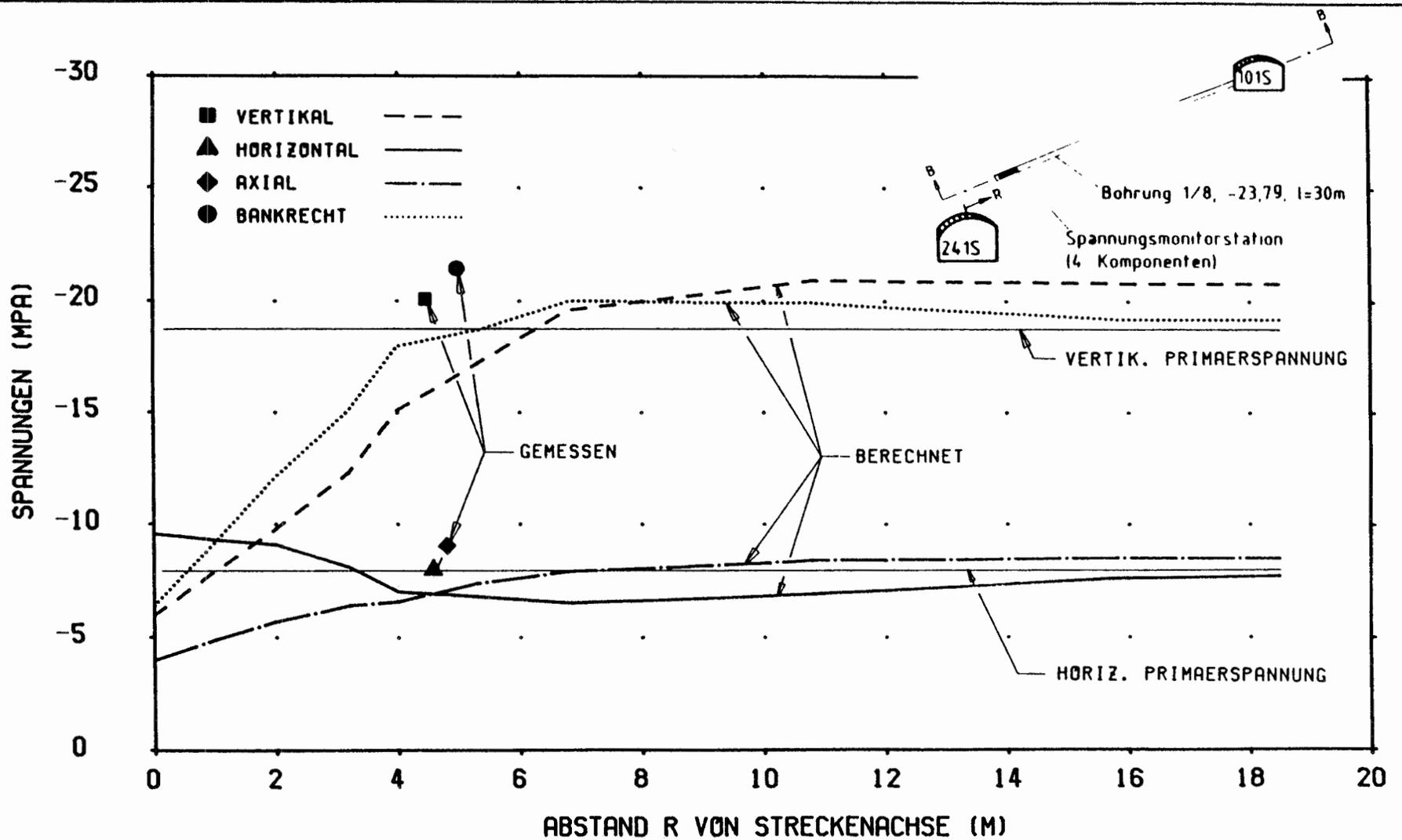


GEMESSENE UND BERECHNETE SPANNUNGEN (BANKRECHTE KOMPONENTE)  
 IN SCHNITT A-A ZWISCHEN DEN STRECKEN 231S UND 241S  
 BEI DURCHFÄHRUNG DES MESSQUERSCHNITTS MQ 4



BUNDESANSTALT  
 FUER  
 GEOWISSENSCHAFTEN  
 UND ROHSTOFFE

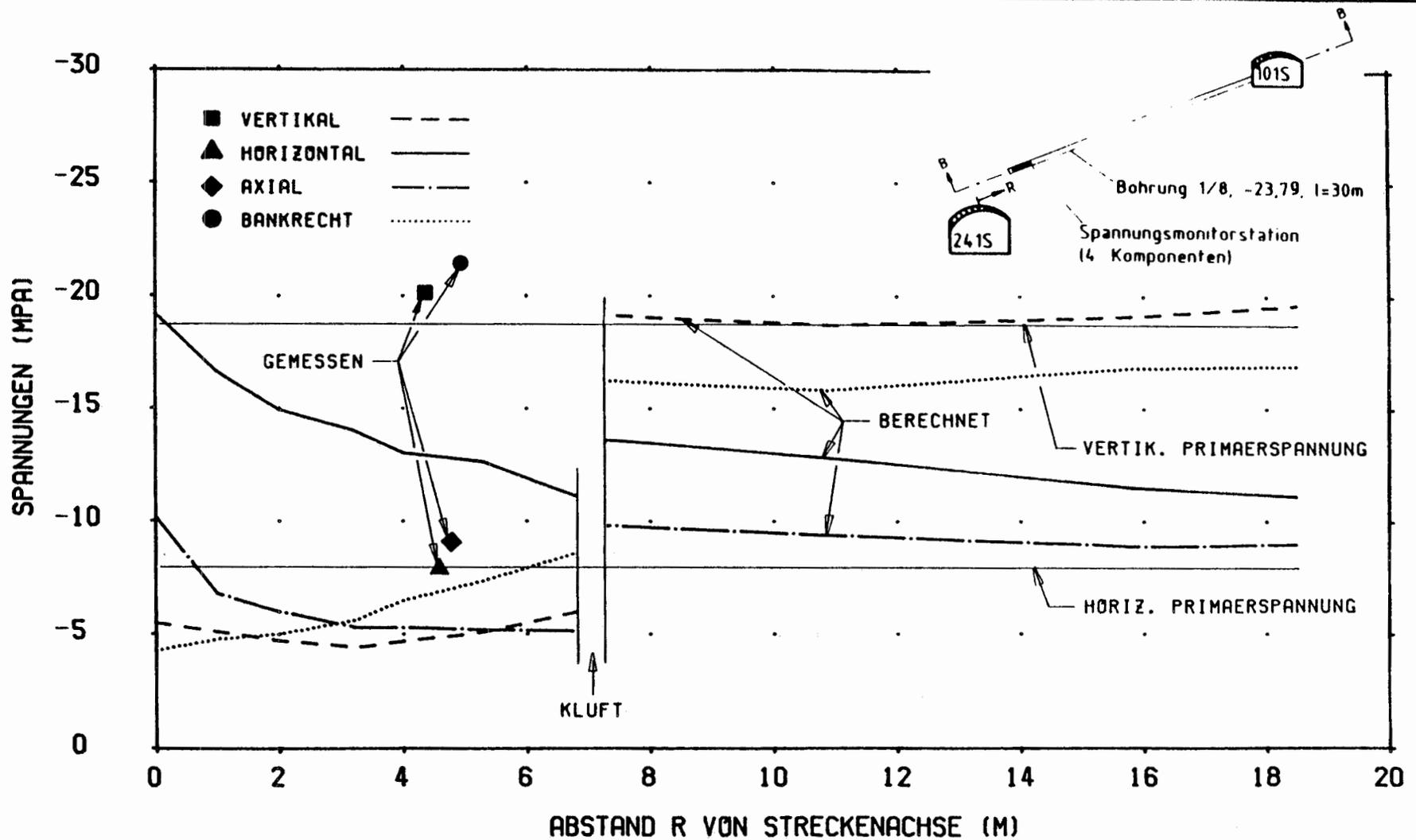
REF. 2.11 ABBILDUNG 7.10



GEMESSENE UND BERECHNETE SPANNUNGEN (VAR.1, GESCHL. KLUFT)  
 IN SCHNITT B-B ZWISCHEN DEN STRECKEN 241S UND 101S  
 BEI DURCHFABUNG DES MESSQUERSCHNITTS MQ1



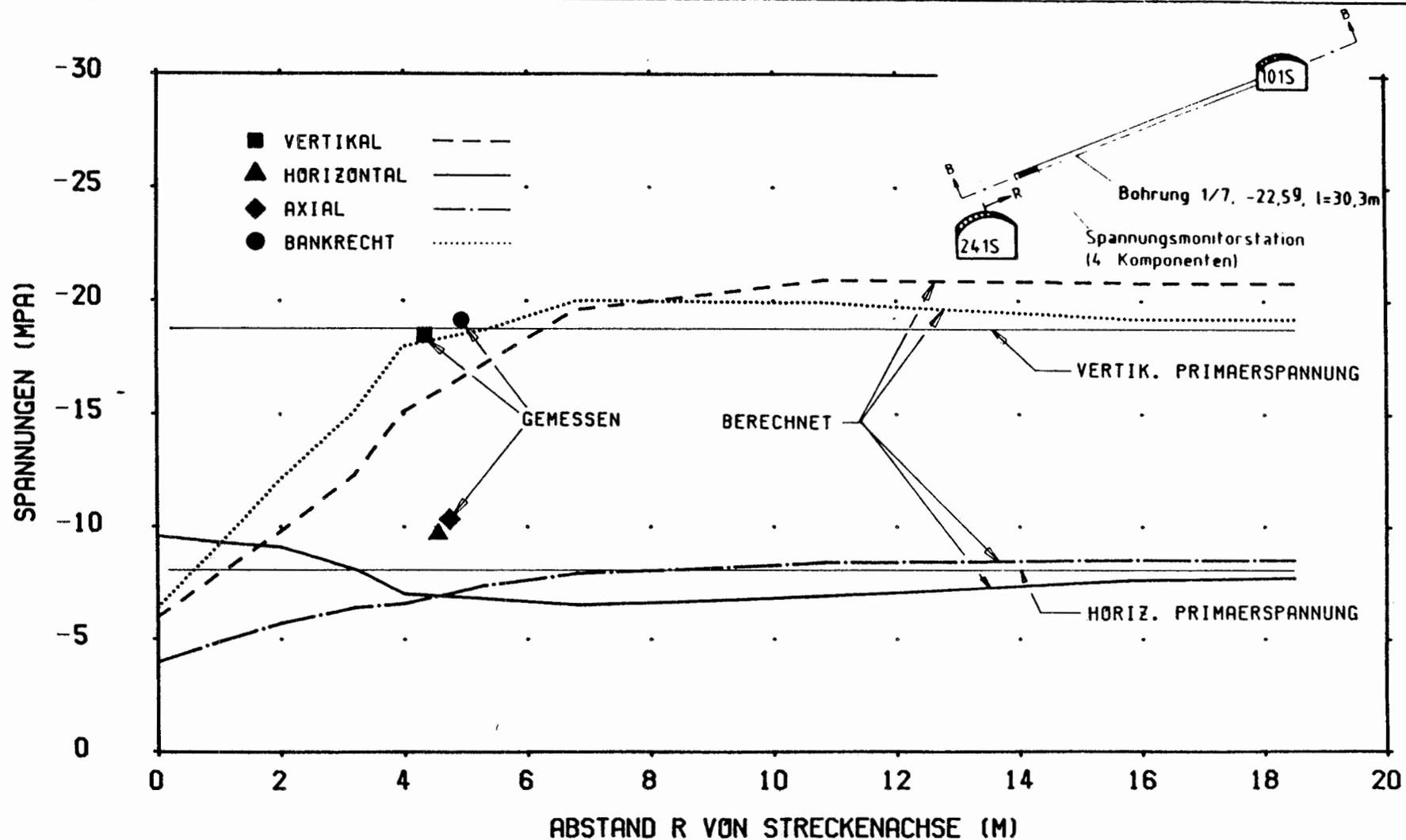
BUNDESANSTALT  
 FÜR  
 GEOWISSENSCHAFTEN  
 UND ROHSTOFFE  
 REF. 2.11 ABBILDUNG 7.11



GEMESSENE UND BERECHNETE SPANNUNGEN (VAR. 2, OFFENE KLUFT)  
 IN SCHNITT B-B ZWISCHEN DEN STRECKEN 241S UND 101S  
 BEI DURCHFABUNG DES MESSQUERSCHNITTS MQ1



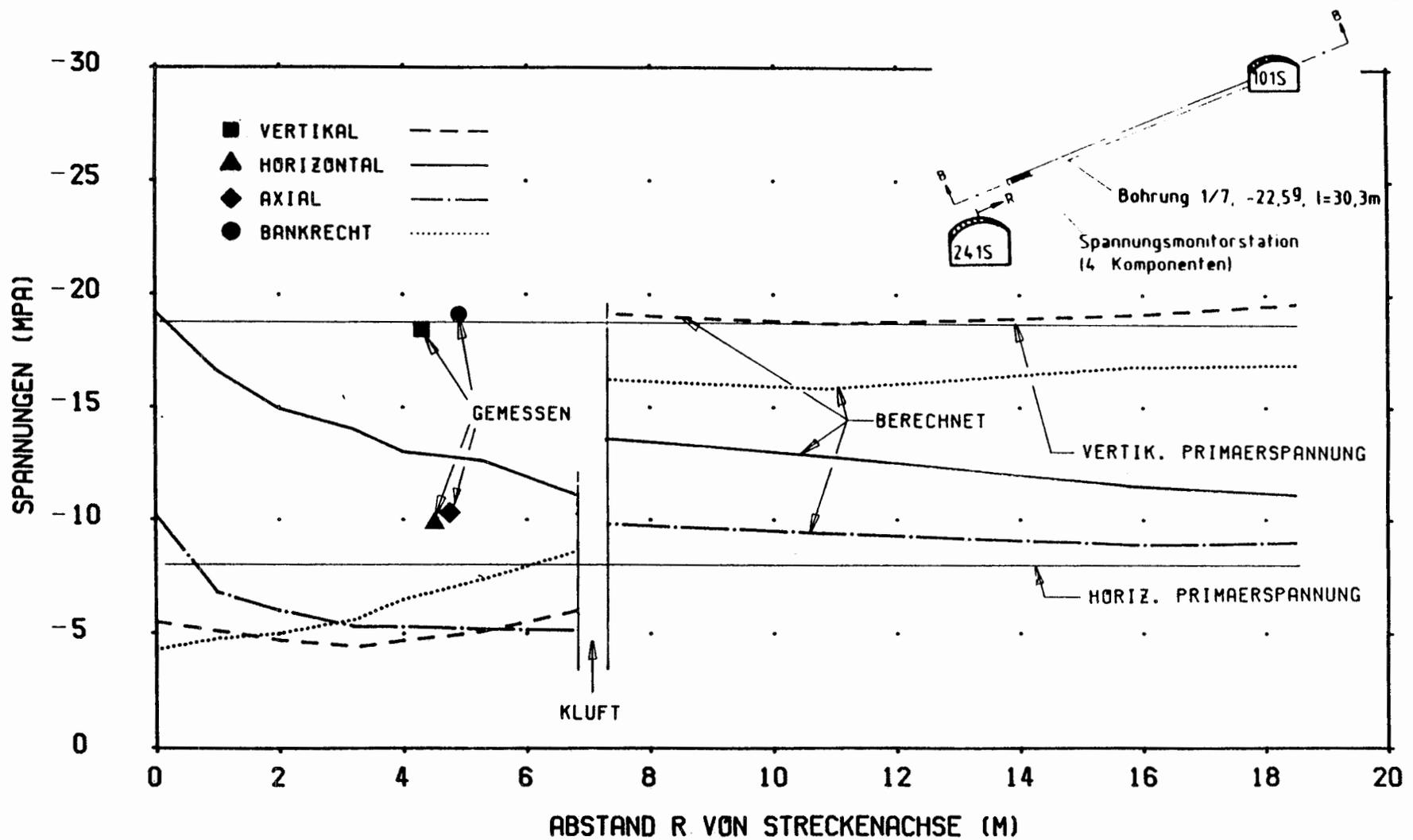
BUNDESANSTALT  
 FÜR  
 GEOWISSENSCHAFTEN  
 UND ROHSTOFFE  
 REF. 2.11 ABBILDUNG 7.12



GEMESSENE UND BERECHNETE SPANNUNGEN (VAR.1, GESCHL. KLUFT)  
 IN SCHNITT B-B ZWISCHEN DEN STRECKEN 241S UND 101S  
 BEI DURCHFABUNG DES MESSQUERSCHNITTS MQ2



BUNDESANSTALT  
 FUER  
 GEOWISSENSCHAFTEN  
 UND ROHSTOFFE  
 REF. 2.11 ABBILDUNG 7.13



GEMESSENE UND BERECHNETE SPANNUNGEN (VAR. 2, OFFENE KLUFT)  
 IN SCHNITT B-B ZWISCHEN DEN STRECKEN 241S UND 101S  
 BEI DURCHFÄHRUNG DES MESSQUERSCHNITTS MQ2



BUNDESANSTALT  
 FÜR  
 GEOWISSENSCHAFTEN  
 UND ROHSTOFFE  
 REF. 2.11 ABBILDUNG 7.14

Abb. 7.11 zeigt für MQ 1, daß gegenüber dem Primärspannungszustand i. a. geringfügige Spannungserhöhungen gemessen wurden, während sich theoretisch geringfügige Spannungsreduktionen (für  $R \sim 4,5$  m) ergeben.

Bei Berücksichtigung einer reibungsfreien, geöffneten Kluft 2 (Variante 2) zeigen sich nach Abb. 7.12 insbesondere für die vertikale und bankrechte Komponente deutliche theoretische Spannungsreduktionen, die nicht im Einklang mit den Meßergebnissen stehen. Dies ist ein Indiz dafür, daß die Annahme einer reibungsfreien, geöffneten Kluft 2 nicht zutreffend ist.

Die für MQ 2 in den Abb. 7.13 und 7.14 dargestellten Ergebnisse weisen die gleiche Tendenz wie für MQ 1 auf. Lediglich geringe Spannungsänderungen wurden gemessen. Dies steht in Einklang mit den theoretischen Ergebnissen der Berechnungsvariante 1 (geschlossene Klüfte), während bei Annahme einer reibungsfreien, offenen Kluft 2 ebenfalls deutliche Unterschiede zwischen Meß- und Berechnungsergebnissen auftreten.

Auf einen Vergleich der Meßergebnisse mit den theoretischen Spannungsverläufen der Berechnungsvariante 3 wurde verzichtet, da sich dort ähnliche Verläufe wie für Variante 1 ergeben.

## 7.5 Literatur

- /7.1/ BUNDESAMT FÜR STRAHLENSCHUTZ (1990): Plan Endlager für radioaktive Abfälle, Schachtanlage Konrad, Salzgitter, von 9/86 in der Fassung U/90.- Braunschweig.
- /7.2/ SCHNIER, H. (1990): Ergebnisse von festigkeitsmechanischen Laboruntersuchungen an Gesteinsproben aus dem Versuchsfeld 5/1 der Grube Konrad - Bericht zum AP 9K 31892.31.- BGR-Bericht, Archiv-Nr. 105 959; Hannover.
- /7.3/ KASTNER, H. (1962): Statik des Tunnel- und Stollenbaus.- Springer Verlag; Berlin.
- /7.4/ HEUSERMANN, St.; GLÖGGLER, W & SPRADO, K.-H. (1990): Spannungsuntersuchungen auf der Schachtanlage Konrad, Feld 5/1 - Schlußbericht zum AP 31892.30.- BGR-Bericht, Archiv-Nr. 107 936, Tagebuch-Nr. 10075/91; Hannover.
- /7.5/ WORCH, G. (1967): Elastische Scheiben.- Betonkalender 1967, Teil II, Verlag W. Ernst & Sohn; Berlin.

## 8. ZUSAMMENFASSENDE BEWERTUNG

Die zusammenfassende Bewertung basiert auf der Analyse ingenieurgeologischer Aufnahmen und der Auswertung geotechnischer Untersuchungen unter Berücksichtigung bergtechnischer Gegebenheiten bei der Auffahrung eines für ein geplantes Einlagerungsfeld repräsentativen Streckensystems. Die Ergebnisse der Untersuchungen im Feld 5/1 können wie folgt zusammengefaßt werden:

- Die parallelen Strecken 101 S, 241 S und 231 S befinden sich stratigraphisch überwiegend im Unteren Lager des Mittleren Korallenoolith. Die Gesteine bestehen aus Eisenoolithen und eisenerzführenden Kalkoolithen mit Wechselfolgen von Tonmergelsteinen und Kalkoolithlagen. Aufgrund größerer Mächtigkeit des Unteren Lagers als erwartet, konnte die Strecke 231 S nicht - wie ursprünglich geplant - teilweise bzw. mit vollem Querschnitt im Zwischenmittel des Mittleren Korallenoolith aufgefahren werden. Die Abwettersammelstrecke 110 schließt Schichten vom Unteren bis zum Oberen Korallenoolith auf.

Das angetroffene Trennflächengefüge setzt sich aus vorwiegend N-S- und weniger häufig E-W-streichenden Klüften und Störungen zusammen. Sie schneiden die Streckenachse unter Winkeln von  $30^\circ$  bis  $45^\circ$  bzw. unter  $70^\circ$  bis  $85^\circ$  und weisen Öffnungen bis zu 0,1 m auf. Streckenparallele Klüfte oder Störungen, die die Standfestigkeit der Strecken nachteilig beeinflussen würden, sind nicht angetroffen worden. Insgesamt beurteilt, liegen bisher keine Anzeichen für eine negative Beeinträchtigung der Standfestigkeit durch das beobachtete Trennflächengefüge vor.

Wasserzutritte im Unteren Lager waren vorwiegend auf N-S-gerichteten Trennflächen zu beobachten. Die austretenden geringen Wassermengen versiegten bald nach dem Anschlagen. Beim direkten Anschlagen von Schichten des Oberen Korallenoolith kann es zu dauerhaften Zuflüssen kommen, wie z. B. in der Abwettersammelstrecke 110.

- Die Untersuchungen zum Gebirgsspannungszustand haben zu den folgenden Ergebnissen geführt:

Die Primärspannungsmessungen im Feld 5/1 ergaben für die subvertikal orientierten Spannungen Werte zwischen -18,0 MPa und -24,5 MPa, mit einem Mittelwert von -21,0 MPa, der ca. 13 % über der sich aus dem Druck der überlagernden Gebirges ergebenden theoretischen Vertikalspannung von -18,6 MPa liegt. Die annähernd horizontal gerichteten minimalen Spannungswerte der Messungen liegen zwischen -12,0 MPa und -17,6 MPa. Hieraus ergibt sich ein mittlerer Seitendruckwert von  $K_0 = 0,7$ .

Die Messungen der Spannungsänderungen während der Auffahrung der Versuchsstrecken ergaben z. T. deutliche Spannungserhöhungen in der Firste und in den Stößen, die jedoch nach einigen Wochen weitgehend zum Stillstand kamen. Die größte Spannungserhöhung im Streckennahbereich erfolgte in der bankrechten Spannungskomponente.

Auffahrbedingte Spannungsänderungen traten bereits vor Durchfahrung der Meßlokation und vor der meßbaren Änderung von Verformungen in den Bohrungen der Meßquerschnitte auf.

- Die Konvergenzen in den Strecken des Feldes 5/1 zeigen den aus den anderen Bereichen der Grube Konrad bekannten und erwarteten Verlauf. In der Regel sind die vertikalen Konvergenzen größer als die horizontalen. Davon abweichendes Konvergenzverhalten ist i. a. petrographisch oder tektonisch bedingt und bleibt stets auf Einzellokationen begrenzt. Der zeitliche Verlauf der Konvergenzen und auch ihre absolute Größe zeigen, daß sowohl in der Strecke mit kleinem Querschnitt in wechselhafter Geologie (Abwettersammelstrecke 110) als auch in den Strecken im Unteren Erzlager mit nahezu 40m<sup>2</sup> Querschnitt ein sicherer Betrieb seit Auffahrung der Strecken stets gewährleistet war.

Die zeitlichen Konvergenzverläufe aller Meßstationen weisen darauf hin, daß eine Beeinträchtigung der Standsicherheit der Strecken auch bei längerem Offenstehen nicht zu erwarten ist. Auffahrbedingte Spannungsumlagerungen und Verformungen im Gebirge führen nur zu kurzfristigen Konvergenzänderungen und zu einem erneuten stabilen Gleichgewicht im streckennahen Gebirge. Wie die Ergebnisse der Bochlochlageänderungsmessungen zeigen, ist für die Strecken langfristig die Ausbildung des typischen "Konradprofils" zu erwarten. Dieses ist durch Verformungen im nordwestlichen Bereich der Firste und durch relativ große Hebungen insbesondere im südöstlichen Bereich der Sohle gekennzeichnet.

Die Ergebnisse der Lageänderungsmessungen in den vier Meßquerschnitten haben gezeigt, daß zu keinem Zeitpunkt innerhalb des Beobachtungszeitraums Verformungen beobachtet wurden, die eine Gefährdung der Standsicherheit der Festen und damit des Streckensystems zur Folge gehabt hätten. Auch bei längerem Offenstehen der Hohlräume ist zu erwarten, daß die Festen nicht kritisch beansprucht werden.

- Die Untersuchungen der Auflockerungszone führen zu dem Ergebnis, daß der aufgelockerte Streckensaum eine Ausdehnung von ca. 3 m bis 4 m hat. Wie die Messungen weiter gezeigt haben, resultiert aus petrographischen Unterschieden der Gesteine kein nachweisbarer Einfluß auf die lokale Ausdehnung der Auflockerungszone. Eine wesentliche Änderung der Ausdehnung der Auflockerungszone in Umfangsrichtung der Strecke wurde nicht beobachtet. Die Mächtigkeit der Auflockerungszone im Kämpferbereich stimmt mit der im Stoßbereich annähernd überein.

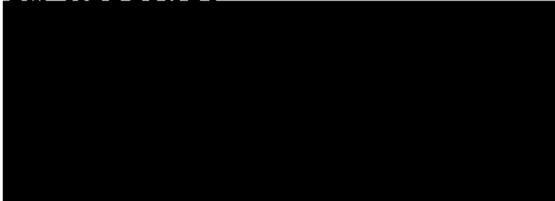
Insgesamt kann festgestellt werden, daß mit den Durchlässigkeits- und Ultraschallmessungen kleinere Ausdehnungen der Auflockerungszone im Streckenbereich ermittelt wurden, als die im Plan Konrad /6.3/ enthaltenen gebirgsmechanischen Modellberechnungen ausweisen.

Zusammenfassend werden die Untersuchungsergebnisse beim Auf-  
fahren der Versuchsstrecken im Feld 5/1 wie folgt beurteilt:

Generell ist die Herstellung von Einlagerungskammern mit  
40 m<sup>2</sup> Querschnittsfläche im Unteren Lager des Mittleren Ko-  
rallenoolith bergmännisch machbar. Die durchgeführten geo-  
technischen Messungen zeigten über einen Zeitraum von mehr  
als zwei Jahren keine Gefährdung der Standsicherheit der Ge-  
birgsfesten und der Strecken. Auch bei längerem Offenstehen  
der Hohlräume ist eine Beeinträchtigung der Standfestigkeit  
nicht zu erwarten. Dieses Ergebnis steht im Einklang mit den  
Ergebnissen der im Plan Konrad enthaltenen gebirgsmechani-  
schen Berechnungen, die die Tragfähigkeit der Festen bei dem  
geplanten Kammer-Festen-Verhältnis als gegeben aufweisen. Im  
Hinblick auf die längerfristige Offenhaltung von Kammern mit  
ca. 40 m<sup>2</sup> Querschnittsfläche sollten betriebliche Streckenun-  
terhaltungsmaßnahmen nicht unberücksichtigt bleiben.

BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE

Im Auftrag:



Sachbearbeiter:

