










## DECKBLATT

	Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Aufgabe	JA	Lfd. Nr.	Rev.
	EU 298	N A A 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
	9K	33222.37		GIKK	TX	0001	00

<b>Titel der Unterlage:</b> Kammerabschlußbauwerk Modell 2: Standsicherheitsnachweis für Strecken im Bereich der Kammerabschlußbauwerke	Seite: I.
	Stand: Juli 1989
<b>Ersteller:</b> 	Textnummer:

Stempelfeld:

PSP-Element TP.....:	zu Plan-Kapitel: ,						
	<table border="1"> <tr> <td></td> <td>  </td> <td>  </td> </tr> <tr> <td></td> <td>Freigabe für Behörden</td> <td>Freigabe im Projekt</td> </tr> </table>					Freigabe für Behörden	Freigabe im Projekt
							
	Freigabe für Behörden	Freigabe im Projekt					

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

# Revisionsblatt



EU 298	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 N	X A A X X	A A	N N N N N	N N
	9K	33222.37		GNK	TX	0001	00




<b>Titel der Unterlage:</b> Kammerabschlußbauwerk Modell 2: Standsicherheitsnachweis für Strecken im Bereich der Kammer- abschlußbauwerke	Seite: <div style="text-align: center; border: 1px solid black; padding: 5px;">II.</div> Stand: <div style="text-align: center; border: 1px solid black; padding: 5px;">Juli 1989</div>
--	---

Rev.	Revisionsst. Datum	verant. Stelle	Gegenzeichn. Name	rev. Seite	Kat. *)	Erläuterung der Revision

\*) Kategorie R = redaktionelle Korrektur  
 Kategorie V = verdeutlichende Verbesserung  
 Kategorie S = substantielle Änderung  
 Mindestens bei der Kategorie S müssen Erläuterungen angegeben werden.

Arbeitsgemeinschaft Konrad  
Strabag Bau-AG      Sachtleben Bergbau GmbH

Schachtanlage Konrad  
Kammerabschlußbauwerk Modell 2  
Standsicherheitsnachweis für  
Strecken im Bereich der  
Kammerabschlußbauwerke

Verfasser:     
Beratende Ingenieure für Grundbau  
und Felsbau GmbH

Aachen, Juli 1989

## Zusammenfassung

Im vorliegenden Bericht wird nachgewiesen, daß sich auf der als Endlager für nukleare Abfälle vorgesehenen Schachtanlage Konrad Strecken mit vertretbarem Sicherungsaufwand standsicher auffahren lassen und daß die Hohlraumrandverformungen sowie die Verformungen des Gebirges in der Umgebung der Strecken nach Beendigung der Ausbruch- und Sicherungsarbeiten relativ schnell zur Ruhe kommen. Dies ist insbesondere im Hinblick auf die Errichtung von Kammerabschlußbauwerken, die in der Betriebsphase die mit Abfallgebinden gefüllten Einlagerungskammern vom betriebenen Grubengebäude trennen sollen, von Bedeutung.

Anhand der durchgeführten Feld- und Laborversuche wird zunächst eine Einschätzung der felsmechanischen Parameter vorgenommen. Anschließend werden die an der Geländeoberfläche gemessenen Senkungen und die im Bereich der ungesicherten Strecken festgestellten Konvergenzen erläutert und interpretiert. Mit Hilfe von Berechnungen nach der Methode der Finiten Elemente für den Bereich der Versuchsstrecke 532 und für den Bereich der Versuchskammern im Feld 5/1 kann der o.g. Nachweis für die Auffahrung standsicherer Strecken geführt werden. Weiterhin können anhand der Berechnungen felsmechanische Kennwerte für die maßgeblichen Schichten angegeben werden, die als Grundlage für die weiteren Planungsarbeiten zu Kammerabschlußbauwerken im Bereich der Schachtanlage Konrad dienen.



<u>Inhalt</u>	<u>Seite</u>
1. Aufgabenstellung	1
2. Beschreibung des Grubengebäudes	3
2.1 Allgemeines	3
2.2 Streckenauffahrungen während der Abbautätigkeit und zur weiteren Erkundung	3
2.3 Planung der Einlagerungsfelder und Einlagerungs- kammern	4
2.4 Beschreibung des Konzeptes für Kammerabschlußbauwerk Modell 2 und der Versuchsstrecke 532	5
2.5 Beschreibung der Versuchskammerauffahrung im Feld 5/1	10
3. Stratigraphie und Petrographie der im Bereich der Schachtanlage anstehenden Schichten	11
4. Einschätzung der felsmechanischen Kennwerte der Schichten des Jura und der Kreide anhand der Ergebnisse von Labor- und Feldversuchen	17
4.1 Allgemeines	17
4.2 Kreideschichten	19
4.3 Kimmeridge	20
4.4 Oberer Korallenoolith	21
4.5 Oberes Lager	21
4.6 Zwischenmittel	22
4.7 Unteres Lager	22
4.8 Unterer Korallenoolith	23
4.9 Braunjura (Oberer Dogger)	24

<u>Inhalt</u>	<u>Seite</u>
5. Darstellung und Interpretation der Ergebnisse von Verformungsmessungen an der Geländeoberfläche und in der Grube	25
5.1 Messungen an der Geländeoberfläche	25
5.2 Konvergenzmessungen im Grubengebäude	26
5.2.1 Vorbemerkungen	26
5.2.2 Meßergebnisse der Querschnitte 620A/1, 610A/2, 602/3 bis 602/6, 610N/7, zu I	27
5.2.3 Meßergebnisse der Querschnitte 522/1, 522/4, 672/1, 672/2, zu I	28
5.2.4 Meßergebnisse der Querschnitte 532/1, 542/1, 542/2, 552/1 und 552/3, zu II	30
5.2.5 Meßergebnisse der Querschnitte 402/2 und 502/1, zu III	32
5.2.6 Bewertung der Ergebnisse der Konvergenzmessungen	32
6. Ergebnisse der Messungen in der Versuchsstrecke 532	34
6.1 Beschreibung des Meßprogramms	34
6.2 Ergebnisse der Verformungsmessungen	37
6.2.1 Extensometermessungen	37
6.2.2 Konvergenzmessungen	43
6.2.3 Inklinometermessungen	44
6.3 Spannungsmessungen	44
6.4 Ankerkraftmessungen	45
7. Finite-Element-Berechnungen zur Interpretation der beim Aufweiten der Strecke 532 gemessenen Gebirgsverformungen	45
7.1 Beschreibung des Berechnungsverfahrens	45
7.2 Berechnungsausschnitt und Elementnetz	47
7.3 Rechnerische Simulation des Ausbruches der Abbaufelder und der Strecken	48
7.4 Referenzfall	50

<u>Inhalt</u>	<u>Seite</u>
7.4.1 Felsmechanische Kennwerte	50
7.4.2 Primärzustand und Ausbruch mit Versatz des Abbaufeldes	51
7.4.3 Auffahren der Strecken im Konradprofil	53
7.4.4 Aufweitung der Strecke 532	54
7.5 Großräumiges Gebirgsverhalten - Parameterstudie zur Abmessung und Verformbarkeit des Abbaufeldes	56
7.6 Großräumiges Gebirgsverhalten - Parameterstudie zur Verformbarkeit des Deckgebirges	57
7.7 Gebirgsverhalten in der Umgebung der Strecke 532 - Parameterstudie zum Einfluß der Verformbarkeit und Festigkeit des Mittleren und Unteren Korallenooliths	58
7.7.1 Zusammenstellung der variierten Kennwerte	58
7.7.2 Fälle G6 und G7	60
7.7.3 Fälle G9 und G10	61
7.7.4 Fälle G4 und K2P	62
7.7.5 Fälle K2E, K3E und K4E	65
7.7.6 Fälle K3P	66
7.7.7 Fälle K4P	67
8. Ergebnisse der in den Strecken im Feld 5/1 durchge- führten Messungen	69
8.1 Meßprogramm	69
8.2 Ergebnisse der Verformungsmessungen	70
8.2.1 Ergebnisse der Konvergenzmessungen	70
8.2.2 Ergebnisse der Messungen in den Lageänderungs- bohrungen	72
9. Finite-Element Berechnungen zur Interpretation der beim Auffahren der Strecke 241S gemessenen Gebirgsverfor- mungen	75
9.1 Berechnungsausschnitt und Berechnungsablauf	75

<u>Inhalt</u>	<u>Seite</u>
9.2 Beschreibung der verwendeten FE-Netze und Randbedingungen	76
9.3 Referenzfall	77
9.3.1 Felsmechanische Kennwerte	77
9.3.2 Ausschnitt A - Primärfall und Ausbruch des LHD-Feldes	77
9.3.3 Ausschnitt B - Auffahren der Strecke 101S, 241S und 231S	79
9.4 Berechnungsausschnitt A - Parameterstudie zur Verformbarkeit des LHD-Feldes, des Deckgebirges, des Zwischenmittels und des Unteren Korallenooliths	82
9.5 Ausschnitt B - Parameterstudie zur Verformbarkeit und zur Festigkeit des Mittleren und Unteren Korallenoolith	83
9.5.1 Zusammenstellung der variierten Kennwerte	83
9.5.2 Annahme eines rein elastischen Verhaltens Fälle B51A1, B51A2, B51A4	83
9.5.3 Annahme eines elastisch-viskoplastischen Verhal- tens - Fälle B51E, B51G, B51J	84
9.5.4 Annahme eines elastisch-viskoplastischen Verhal- tens unter Berücksichtigung einer anisotropen Festigkeit - Fälle B51KM, B51LM, B51MM, B51NM, B51OM, B51PM	86
10. Zusammenfassung und Schlußfolgerungen	88
11. Anlagenverzeichnis	97
12. Literaturverzeichnis	104

## 1. Aufgabenstellung

Kammerabschlußbauwerke trennen in der Betriebsphase des Endlagers mit Abfallgebänden befüllte Einlagerungskammern vom betriebenen Grubengebäude. Um dieses Ziel zu erreichen, werden die Kammerabschlußbauwerke mit einer geringen Durchlässigkeit für flüchtige radioaktive Stoffe realisiert. Wesentliche Antriebsmechanismen einer Freisetzung flüchtiger radioaktiver Stoffe sind Diffusion, Konvergenz und Luftdruckschwankungen.

Die Grundanforderungen an Kammerabschlüsse ergeben sich aus den Sicherheitsanalysen zum bestimmungsgemäßen Betrieb des Endlagers. In diesen Sicherheitsanalysen wird die erforderliche Reduzierung einer Freisetzung flüchtiger radioaktiver Stoffe durch Diffusion und Strömung ermittelt. Der Antriebsmechanismus für eine Freisetzung durch Diffusion ist hierbei ein Konzentrationsgefälle von Radionukliden zwischen abgeworfener Kammer und bewettertem Grubengebäude. Für eine Freisetzung durch Strömung ist es die Druckdifferenz, hervorgerufen durch Konvergenz des Resthohlraumes der Einlagerungskammer, durch Temperaturerhöhung in der Einlagerungskammer, durch Gasbildung sowie durch Luftdruckschwankungen.

Für das Endlager Konrad bestehen zwei Modelle von Kammerabschlüssen mit folgenden gestuften Anforderungen hinsichtlich der Rückhaltung flüchtiger Radionuklide:

Modell 1:

- Rückhaltung von Aerosolen,
- Reduzierung einer  $^{222}\text{Rn}$ -Freisetzung durch Verzögerung.

Modell 2:

- Rückhaltung von Aerosolen,
- Reduzierung der  $^3\text{H}$ -,  $^{14}\text{C}$ - und  $^{222}\text{Rn}$ -Freisetzung durch quasidichten Abschluß.

Abfälle mit erhöhter Aktivitätsfreisetzung werden in Kammern eingelagert, die mit Abschlußbauwerken des Modells 2 quasidicht verschlossen werden.

Um ein quasidichtes Bauwerk zu erhalten, ist die Abdichtung des Gebirges, insbesondere des durch Festigkeitsüberschreitungen aufgelockerten streckennahen Bereiches durch Gebirgsinjektionen vorgesehen. Außerdem muß die Strecke selbst durch ein quasidichtes Stahlbetonbauwerk verschlossen werden. Da nach der Fertigstellung eintretende Gebirgsverformungen zum Öffnen von Trennflächen im Gebirge und zu Rissen im Stahlbeton und der damit verbundenen Erhöhung der Durchlässigkeit des Kammerabschlusses führen können, ist die Errichtung von Kammerabschlußbauwerken nach Modell 2 nur in Strecken, in denen keine weiteren Verformungen zu erwarten sind, möglich.

Im vorliegenden Bericht wird nachgewiesen, daß sich auf der Schachanlage Konrad Strecken mit vertretbarem Sicherungsaufwand stand-sicher auffahren lassen und die Hohlraumrandverformungen sowie die Verformungen des Gebirges in der Umgebung der Strecken nach Beendigung der Ausbruch- und Sicherungsarbeiten relativ schnell zur Ruhe kommen.

Zunächst werden dazu das vorhandene Grubengebäude, die Planung der Strecken für die Endlagerung, die Versuchsstrecke 532 und die Versuchskammerauffahrung im Feld 5/1 beschrieben. An die Beschreibung der geologischen Verhältnisse schließt sich die Zusammenstellung und Bewertung der zur Ermittlung der felsmechanischen Parameter durchgeführten Labor- und Feldversuche an. Darüber hinaus werden die ober-tägigen Senkungsmessungen und die Meßergebnisse von bestehenden Konvergenzmeßstrecken erläutert und bewertet.

Die bei der Auffahrung der Versuchsstrecke 532 und bei der Versuchskammerauffahrung im Feld 5/1 erhaltenen Ergebnisse werden beschrieben. Eine Interpretation der erhaltenen Meßergebnisse und Beobachtungen mittels Finite-Element Berechnungen führt zu den felsmechanischen Parametern, mit denen das Spannungsdehnungsverhalten des Gebirges beschrieben werden kann.

Auf diese Weise wird die Grundlage für die Extrapolation der erhaltenen Ergebnisse auf andere Bereiche des Grubengebäudes geschaffen.

## 2. Beschreibung des Grubengebäudes

### 2.1 Allgemeines

Das Eisenerzbergwerk Konrad liegt im südöstlichen Niedersachsen auf dem Gebiet der Stadt Salzgitter. Das in der Schachtanlage abgebaute Eisenerzvorkommen wurde im Jahre 1933 bei der Erdölsuche entdeckt. Etwa 20 Jahre später wurde von der Salzgitter Erzbergbau AG und der Ilseder Hütte AG die bergrechtliche Gewerkschaft Konrad gegründet. Vom Beginn des Schachteufens im Jahre 1957 bis zum Beginn der Erzförderung vergingen 8 Jahre. Wegen der Unwirtschaftlichkeit des Erzabbaus wurden die Abbautätigkeiten im Jahre 1976, nachdem etwa 6,1 Mio. Tonnen Erz gefördert worden waren, eingestellt. Zur gleichen Zeit wurde mit der Prüfung des Standortes Konrad für die Endlagerung radioaktiver Abfälle begonnen.

### 2.2 Streckenauffahrungen während der Abbautätigkeit und zur weiteren Erkundung

Nach dem Abteufen der Schächte wurden zunächst die Vorrichtungsstrecken aufgefahren, die zur Versorgung des Abbaubetriebes mit Energie, Licht und Wasser sowie zum Transport von Geräten sowie des abgebauten Erzes erforderlich sind. Der Streckenvortrieb wurde, wie später auch der Erzabbau, mit dem Sprengverfahren durchgeführt. Aus der Raumstellung des in Nord-Süd Richtung streichenden und mit etwa  $22^{\circ}$  nach Westen einfallenden Erzlagers sowie des vorgesehenen Abbauprozesses sind die Strecken parallel zur Streichrichtung angeordnet (Anlage 2.1). Im Jahre 1964 wurde der Erzabbau durch schwebenden Kammerbau mit streichendem Vortrieb in dem östlich der 1100 m Sohle und etwa 1300 m südlich des Schachtes 1 gelegenen Bereich aufgenommen. Aus der o.g. Raumstellung des Lagers ergab sich die Ausrichtung der etwa 60 bis 70 m langen Abbaukammern in Ost-West Richtung (Anlage 2.1).

Zwischen der 4. und der 3. Sohle wurde dabei der Abbau bis etwa

600 m südlich des Schachtes 1 und zwischen der 3. und 2. Sohle bis etwa 800 m südlich des Schachtes 1 fortgesetzt (Anlage 2.1). Der Durchbauungsgrad beträgt in diesem Bereich der Grube etwa 60 bis 70 %, wobei zu berücksichtigen ist, daß die Überwiegende Zahl der Abbaukammern mit einem Kies-Sand Gemisch zugespült wurde. Im Jahre 1972 wurde der Abbau aus wirtschaftlichen Gründen auf das "LHD"-Verfahren (Load, Haul and Dump) mit dieselgetriebenen Fahrladern umgestellt. Das durch Sprengvortrieb gelöste Erz wird bei diesem Abbauverfahren durch die Fahrlader abtransportiert. Die so aufgefahrenen Kammern sind in der Streichrichtung des Erzlagers angeordnet. Der Durchbauungsgrad beträgt nur etwa 20 %. Auf das Einbringen von Versatz wurde verzichtet.

Insgesamt hat der abgebaute Bereich eine Ausdehnung von 450 bis 550 m in Ost-West und etwa 1600 m in Nord-Süd Richtung. Bis zur Einstellung der Erzförderung wurde auf der Schachanlage Konrad ein Bereich aufgeschlossen, der sich in Ost-West Richtung auf etwa 1000 m und in Nord-Süd Richtung auf etwa 2500 m erstreckt und in Teufen von 800 bis 1200 m liegt [2, 4].

Zur Überprüfung der Eignung als Endlager sowie zur weiteren Erkundung wurden weitere Strecken wie z.B. die 1. Sohle, die 6. Sohle sowie mehrere Rampen und Versuchsstrecken aufgefahren (Anlage 2.1). Im Unterschied zu dem bisher durchgeführten Sprengvortrieb wurde ab 1981 der Vortrieb mit Teilschnittmaschinen durchgeführt. Durch die neuen Erkundungsstrecken vergrößerte sich der aufgeschlossene Bereich in Ost-West Richtung auf eine Breite von etwa 1600 m.

### 2.3 Planung der Einlagerungsfelder und Einlagerungskammern

Die Planung des Grubengebäudes für das Endlager schließt an die Gegebenheiten des ehemaligen Erzbergwerks an. Der geplante Einlagerungsbereich ist in die Felder 1 bis 6, 5a und 6a unterteilt (Anlage 2.2). Diese Felder sind durch Erkundungsstrecken erschlossen. Die Einlagerungskammern befinden sich innerhalb der so erschlossenen Felder (Anlage 2.3). Jede Einlagerungskammer nach dem Modell 2 wird durch ein Wetterbohrloch an die Abwettersammelstrecke des Feldes angeschlossen [1].



Die Auslegungsmerkmale sind unter anderen:

- Regelquerschnitte bei aufzufahrenden Strecken,  
Rampen und Wendeln 25 m<sup>2</sup>
- Regelneigung bei Rampen und Wendeln 12 %
- Mindestaußenkurvenradius für Rampen und Wendeln etwa 20 m
- maximale Längsneigung der Einlagerungskammern 2,5 %

Das Kammerabschlußbauwerk Modell 2 wird in der Regel in der Einlagerungskammer, kammerseitig hinter der Entladekammer, errichtet (Anlagen 2.3 und 2.4).

Kammern Modell 2 können in Feldern ausschließlich oder in Kombination mit Kammern Modell 1 errichtet werden. Die Lage von Kammern Modell 2 innerhalb dieser Felder wird unter Berücksichtigung der geotechnischen Anforderungen festgelegt.

#### 2.4 Beschreibung des Konzeptes für Kammerabschlußbauwerk Modell 2 und der Versuchsstrecke 532

##### Vorbemerkungen

Die Beschreibung des Konzeptes für Kammerabschlußbauwerke ist in einem gesonderten Bericht [1] enthalten, aus dem wesentliche Teile der folgenden Beschreibung übernommen sind.

Das Kammerabschlußbauwerk besteht aus einer ausgebauten Strecke mit abgedichtetem streckennahen Bereich sowie dem Kammerabschluß, einem in der Strecke gebetteten konisch ausgebildeten Stahlbetonbauwerk, das nach Befüllen der Kammer mit Beton verschlossen wird (Anlage 2.4).

In [1] sind die radiologischen, betrieblichen und geotechnischen Anforderungen angegeben. Daraus ergeben sich folgende Vorgaben hinsichtlich der Auffahrung und Errichtung:

- Reduzierung der Tiefe der Auflockerungszonen
  - durch gebirgsschonendes Auffahren,
  - durch sofortige Sicherung mit bewehrtem Spritzbeton und Gebirgsankern,
  - durch frühzeitigen Einbau des Sohlgewölbes.
- Fertigstellung der Spritzbetonschale erst nach Abklingen der Gebirgsverformungen.
- Abdichtung des streckennahen Bereiches nach Fertigstellung der Spritzbetonschale
- Errichtung des Stahlbetonbauwerks nach Fertigstellung der Abdichtung des streckennahen Bereichs.

#### Ausbruch und Sofortsicherung

Zur Auffahrung werden zwei Verfahren angewendet:

- Vortrieb mit Teilschnittmaschine (TSM),
- Vortrieb durch gebirgsschonendes Bohren und Sprengen.

Der Vortrieb mit TSM hat im Vergleich zum Sprengvortrieb den Vorteil der schonenderen Gebirgsbehandlung und der profilgenaueren Herstellung der erforderlichen Querschnittsformen. Er kommt vorrangig zum Einsatz.

Der Sprengvortrieb in gebirgsschonender Weise ist insbesondere für die Auffahrung von Strecken in schwer schneidbarem Gestein vorgesehen.

Da allgemein der kreisförmige Querschnitt die günstigste Standsicherheitsbedingung hat, wird im Bereich des Kammerabschlußbauwerks diese Form als Ausbruchquerschnitt gewählt.

Der Ausbruch der Firste, Stöße und Sohle im Bereich des Kammerabschlußbauwerks einschließlich der beiden Übergangsbereiche erfolgt in Teilabschnitten mit Abschlügen, deren Längen im wesentlichen von der jeweils vorhandenen Gebirgsfestigkeit bestimmt werden.

Im unmittelbaren Bereich des Stahlbetonbauwerks wird die Strecke aufgeweitet, um die infolge Druckdifferenz zwischen abgeworfener Einlagerungskammer und bewettertem Grubengebäude auf das Kammerabschlußbauwerk wirkenden Kräfte über den Kammerabschluß und das Stahlbetonbauwerk in das Gebirge einleiten zu können. Die Größe der Aufweitung richtet sich nach den einzuleitenden Kräften und den jeweils vorhandenen Gebirgsfestigkeiten.

Während der Auffahrung wird die Firste geankert. Zur Ausführung kommen unvermörtelte Anker, z.B. Keilanker. Abweichend hiervon werden im Bereich des Stahlbetonbauwerks vermörtelte Anker eingesetzt, um die Gebirgspermeabilität nicht zu vergrößern.

#### Sicherung durch Spritzbeton und Gebirgsanker

Der Spritzbetonausbau dient der Begrenzung der Gebirgsverformungen und der streckennahen Auflockerungen.

Dem Auffahren eines Abschlags folgt die Versiegelung und Profilierung (siehe Anlage 2.5) der Ausbruchlaibung mit Spritzbeton und zeitlich versetzt, entsprechend der Gebirgsfestigkeit und Vortriebsgeschwindigkeit, die abschnittsweise Ausführung der Spritzbetonschale:

- Im Abstand einer Abschlagslänge hinter dem Einbau der Versiegelung werden die äußere Bewehrungslage und etwa 10 cm Spritzbeton eingebaut. Zur zerstörungsfreien Aufnahme von Gebirgsverformungen sind in diesem äußeren Teil der Spritzbetonschale streckenparallel Fugen angeordnet.
- Eine weitere Abschlagslänge zurück erfolgt der Einbau von Gleitankern.

Nach Abschluß des Streckenvortriebs, frühestens jedoch nach Abklingen der Gebirgsverformungen, d.h. wenn die Verformungen des streckennahen Bereichs gegen Null konvergieren und sich die Spritzbetonschale über einen Zeitraum von 3 Monaten im baupraktischen Sinn nicht verformt, wird der innere Teil der Spritzbetonschale wie folgt eingebaut:

- Gegebenenfalls abgeplatzte Teile der Spritzbetonschale werden entfernt und durch Auftragen von Spritzbeton wird die Sicherung nachgebessert.
- Die streckenparallelen Fugen werden mit Spritzbeton geschlossen und die Gleitanker werden auf voller Länge vermörtelt.
- Die Oberfläche der Spritzbetonschale wird zur Verbesserung der Verbundwirkung mit dem inneren Teil der Schale gemäß Abs. 6.1 in DIN 18551 vorbehandelt, ggf. kann der Auftrag einer Haftemulsion vorgesehen werden.
- Nach Einbau der inneren Bewehrungslage wird der Tragquerschnitt der Schale auf die vorgesehene Gesamtdicke von etwa 25 cm ergänzt.

Nach Einbau des äußeren Teils der Spritzbetonschale erfolgt eine zusätzliche Sicherung der Ausbruchlaibung mit Gebirgsankern. Zur Ausführung kommen z.B. Gleitanker, die bei Erreichen der zulässigen Ankerkraft Gebirgsverformungen ohne zusätzliche Ankerkraftaufnahme zulassen.

Gleitanker als Ausbaumittel erlauben außerdem, daß nach Einbau des äußeren Teils der Spritzbetonschale eine Beobachtung des Gebirgsverhaltens durchgeführt werden kann. Zusätzlich werden in ausgewählten Meßquerschnitten mit Hilfe von Ankerkraftmeßdosen die sich infolge von Gebirgsverformungen einstellenden Ankerkräfte gemessen.

Zur Ausführung kommen Anker mit Verankerungslängen von 4 bis 8 m. Die Anker werden den statischen Erfordernissen entsprechend zunächst als Freispielanker mit einer vermörtelten Verankerungsstrecke von etwa 1,0 bis 1,2 m eingebaut.

Durch die Vermörtelung im Bereich der Verankerungsstrecke erfolgt eine feste Verspannung und Verzahnung des Stahlzuggliedes im Gebirge und über die Ankerplatte am Ankerende eine sichere Übertragung der Vorspannkraft auf das Gebirge.

Im Zuge der Fertigstellung der Spritzbetonschale werden die Anker im Bereich der freien Ankerlänge mit Mörtel verpreßt. Die Nachvermörte-

lung des Ringraumes zwischen Bohrloch und Anker erfolgt z.B. durch das Ankerrohr und die Mörtelaustrittsöffnungen (Anlage 2.5). Nachfolgend werden die Gebirgsinjektionen [1, 6] durchgeführt und das Stahlbetonbauwerk errichtet [1].

### Beschreibung der Versuchsstrecke 532

Mit der Aufweitung der Versuchsstrecke 532 auf ein Kreisprofil mit 9,50 m Durchmesser soll gezeigt werden, daß das der Planung zugrunde gelegte oben beschriebene Konzept für Kammerabschlußbauwerke Modell 2 auf der Schachanlage Konrad durchführbar ist. Darüber hinaus soll die Versuchsstrecke zu Erkenntnissen über das mechanische Verhalten des Gebirges führen, die eine Übertragung des Konzepts auf andere Einlagerungsfelder ermöglichen.

Der Streckenabschnitt, in dem die Versuchsstrecke liegt, wurde im Jahre 1976, also vor über 13 Jahren, mittels Sprengvortrieb im Unteren Lager in etwa 1100 m Tiefe von Süden nach Norden aufgefahren (Anlagen 2.1 und 2.6). Der ursprüngliche Querschnitt wurde 1982 von 20 auf 30 bis 35 m<sup>2</sup> aufgeweitet (Anlage 2.8). Als Sicherung wurden vornehmlich im Firstbereich 1,80 m lange Keilanker und Maschendraht vorgesehen. Der Abstand zu den Nachbarstrecken, die in gleicher Weise aufgefahren und gesichert wurden, beträgt etwa 25 bis 30 m und entspricht damit etwa dem geplanten kleinsten Abstand von benachbarten Einlagerungskammern [1] (Anlage 2.6).

Die Aufweitung der Versuchsstrecke 532 auf ein Kreisprofil mit 9,50 m Durchmesser entspricht dem in Anlage 2.4 dargestellten Konzept. Lediglich der im Norden an die Versuchsstrecke anschließende Abschnitt weicht hinsichtlich seines Querschnitts vom geplanten Hufeisenprofil ab. Außerdem wurden die Entladeneische, das Wetterbohrloch und die örtliche Aufweitung für das konische Stahlbetonbauwerk nicht ausgeführt (Anlage 2.7). Die Länge der Übergangsbereiche beträgt jeweils 9,0 m, so daß bei der Gesamtlänge von 66,0 m der volle kreisförmige Ausbruchquerschnitt mit 9,5 m Durchmesser auf einer Länge von 48 m hergestellt wurde. Damit ist dieser Abschnitt etwa fünfmal größer als der Streckendurchmesser, und man kann aufgrund von Erfahrungen im Hohlraumbau [5] davon ausgehen, daß sich im mittleren Bereich der Streckenaufweitung ein ebener Verzerrungszustand

einstellt, der unabhängig von der Querschnittsform der an die Versuchsstrecke anschließenden Bereiche ist. Es war deshalb auch nicht erforderlich, in den anschließenden Abschnitten einen hufeisenförmigen Querschnitt, die Entladenische und das Wetterbohrloch auszuführen.

Der für die Aufweitung auf das Kreisprofil erforderliche Ausbruch wurde entsprechend dem oben beschriebenen Konzept ausgeführt (Anlage 2.8). Der zusätzliche Ausbruch betrug in der Firste und Sohle etwa 1,0 bis 2,5 m, während im Stoßbereich nur 0,5 bis 1,5 m Fels gelöst werden mußten. Nach der Sofortsicherung durch 1,80 m lange Spreizhülsenanker und einer Spritzbetonversiegelung wurden die 4 m und 8 m langen Gleitanker eingebaut und die äußere etwa 15 cm dicke Spritzbetonlage mit horizontalen Längsfugen von 30 cm Breite entsprechend dem oben beschriebenen Konzept eingebracht.

Die vorgenannten Arbeiten wurden im März 1989 abgeschlossen. Das Schließen der horizontalen Längsfugen der äußeren Lage des Spritzbetons und das Aufbringen der 2. Lage ist für den Oktober 1989 vorgesehen.

### 2.5 Beschreibung der Versuchskammerauffahrung im Feld 5/1

In dem für die Einlagerung projektierten Feld 5/1 wurden die 3 Versuchskammern 101S, 241S und 231S mit der für Einlagerungskammern nach Modell 1 vorgesehenen, hufeisenförmigen Querschnittsfläche von  $40 \text{ m}^2$  mit Teilschnittmaschinen aufgefahren. Die Versuchskammern liegen in etwa 800 m Tiefe im östlichen Bereich der Schachtanlage (Anlagen 2.1, 2.2, 2.9) und besitzen einen gegenseitigen Abstand von etwa 28 m. Neben den 3 im Unteren Lager aufgefahrenen Versuchskammern wurde die Strecke 110, die später als Abwettersammelstrecke dienen soll, östlich bzw. oberhalb der Versuchskammern aufgefahren. Die Strecke 110 schließt im nördlichen Bereich das Untere Lager auf und durchfährt bis zum höchsten Punkt, an dem sie etwa 60 m oberhalb der Versuchskammern liegt, die Schichten bis zum Oberen Korallenoolith [31, 34].

Die Strecken wurden mittels Teilschnittmaschine aufgefahren. Die

Sicherung ist im wesentlichen auf den Firstbereich beschränkt und besteht wie auf der Schachtanlage Konrad üblich aus 1,80 m langen Spreizhülsenankern und Maschendraht.

### 3. Stratigraphie und Petrographie der im Bereich der Schachtanlage anstehenden Schichten

In diesem Abschnitt sollen die Schichtenfolge und der Aufbau, der im Bereich der Einlagerungsfelder sowie darüber und darunter anstehenden Schichten beschrieben werden. Außerdem werden die vorliegenden Angaben zum Schichteinfallen sowie zu den im Bereich der Einlagerungsfelder angetroffenen Störungen in kurzer Form dargestellt. Die Ausführungen dienen als Grundlage für die in den nachfolgenden Kapiteln erläuterten Berechnungen zur Standsicherheit der Versuchsstrecke 532. Da hierfür in erster Linie das Erzlager und die unmittelbar darüber- und darunterliegenden Schichten von Bedeutung sind, wird auf deren Beschreibung nachfolgend besonderer Wert gelegt. Die Ausführungen basieren auf den in den Unterlagen [3, 4, 7, 8, 9] enthaltenen, ausführlichen Beschreibungen der geologischen Verhältnisse und der Entstehungsgeschichte.

Eine Übersicht über den Untergrundaufbau in der engeren und weiteren Umgebung der Grube Konrad gibt der in Anlage 3.1 dargestellte, nördlich des Schachtes Konrad 1 in WNW-ESE geführte Schnitt I-I, der südöstlich etwa 5000 m und nordwestlich etwa 7000 m über den Bereich der Schachtanlage hinausreicht. Für den engeren Bereich der Schachtanlage sind die geologischen Verhältnisse in den Schnitten II-II, III-III und IV-IV dargestellt (Anlagen 3.2 bis 3.4). Der Schnitt II-II ist im Bereich der zuerst abgebauten Spülversatzfelder und der Versuchsstrecke 532 in Ost-West Richtung geführt (Anlage 3.2). Der etwa 900 m südlich davon geführte Schnitt III-III zeigt die geologischen Verhältnisse im Bereich des LHD-Feldes Süd und des projektierten Einlagerungsfeldes 5 (Anlage 3.3). Etwa 20 m westlich des Schachtes Konrad 1 liegt der in Nord-Süd Richtung durch die Abbaufelder geführte Schnitt IV-IV (Anlage 3.4).

Die in Anlage 3.1 dargestellte Schichtenfolge wurde aus den Ergebnissen reflexionsseismischer Messungen in einem 160 km<sup>2</sup> großen Ge-

biet [8], aus den Ergebnissen von Tiefbohrungen und Oberflächenkartierungen sowie aus den beim Abteufen der Schächte und beim Auffahren des Grubengebäudes gewonnenen Erkenntnissen abgeleitet [9, 37].

Danach stehen über dem in Tiefen von 2000 m bis 3500 m liegenden Zechstein Gesteine aus den Formationen des Trias, des Jura und der Kreide sowie an der Oberfläche des Quartärs an. Die Schichten des Tertiärs fehlen im Projektgebiet. Das Trias gliedert sich von unten nach oben in den Buntsandstein, den Muschelkalk und den Keuper. Der Jura ist aus den Schichten des Schwarzjura (Lias), Braunjura (Dogger) und Weißjura (Malm) aufgebaut (Anlage 3.1). Die Kreide besteht im Projektgebiet im wesentlichen aus den Schichten der Unter- und der Oberkreide.

Die Grube und die Einlagerungsfelder liegen in den zum Weißjura gehörenden Schichten des Oxford und zwar zwischen den im Westen bzw. im Osten liegenden Salzstöcken Vechelde und Thiede. Wie aus Anlage 3.1 ersichtlich, liegt die Grube in Tiefen von etwa 700 bis 1300 m. In diesem Bereich streicht das Oxford wie auch die anderen Schichten des Jura in Nord-Süd Richtung und fällt unter  $\sim 22^\circ$  nach Westen ein. Die Einfallwinkel der Schichten des gesamten Jura schwanken zwischen  $20$  und  $25^\circ$  (Anlagen 3.1 bis 3.4). Die oberhalb des Jura liegenden Kreideschichten sind dagegen nahezu horizontal, so daß die Schichten des Jura nach Osten, an der Unterseite der Kreide auskeilen (Anlagen 3.1 bis 3.3). Auch die unterhalb des Jura liegenden Schichten des Trias liegen nahezu horizontal.

Wie die Anlagen 3.2 bis 3.4 zeigen, sind im Oxford und den unmittelbar darüber- und darunterliegenden Schichten eine Reihe von Störungen ausgebildet. Hervorzuheben sind hier der Ost-West streichende und unter  $50$  bis  $60^\circ$  nach Norden einfallende Bleckenstedter Sprung sowie der weiter nördlich liegende Konrad Sprung mit gleicher Raumstellung. Beide Störungen liegen allerdings außerhalb der in diesem Bericht untersuchten Grubenbereiche und haben somit vermutlich nur einen geringen Einfluß auf die Standsicherheit der Strecke 532 und auf den weiter südlich liegenden Bereich des Feldes 5/1.



Berücksichtigt werden muß dagegen die in den Anlagen 3.2 und 3.3 dargestellte Grabenstörung, die etwa in Nord-Süd Richtung streicht und mit ca.  $50^{\circ}$  nach Osten einfällt. Daneben wurden im Grubengebäude noch eine Reihe weiterer Störungen mit gleicher Streichrichtung und mit gegenläufigem Einfallen angetroffen. Diese und die Grabenstörung haben nur zu kleinen Versetzungsbeträgen der Schichten geführt. Es ist davon auszugehen und wurde in Kartierungen festgestellt, daß im betrachteten Bereich parallel zu diesen Störungen verlaufende Klüfte ausgebildet sind.

Nachfolgend soll die Zusammensetzung der o.g. Schichten näher beschrieben werden soweit die vorhandenen Aufschlüsse das zulassen:

Die den Zechstein überlagernden Schichten des Unteren und Mittleren Buntsandsteins wurden nur in einiger Entfernung von der Schachtanlage (Salzgitter-Höhenzug und Salzstock Thiede) aufgeschlossen. Demnach bestehen diese Schichten aus einer Wechsellagerung von Tonmergel- und Sand- bzw. Kalksandsteinen. Darüber stehen der Obere Buntsandstein und der Muschelkalk mit einer Schichtdicke von insgesamt 400 m an. Der Obere Buntsandstein ist in toniger und evaporitischer Fazies ausgebildet, wobei im unteren Teil auch Steinsalz im Wechsel mit Anhydrit und Tonlagen auftritt. Der darüberliegende Untere Muschelkalk besteht aus einer Folge dünner, schwach mergeliger, flaserig welliger Kalksteinlagen und der abschließenden Schaumkalk-Folge. Im Mittleren Muschelkalk stehen neben tonigen und karbonatischen Gesteinen auch Anhydrit, Gips und Steinsalz an. Möglicherweise ist hier auch ein 100 m dickes Steinsalzlager ausgebildet. Der Obere Muschelkalk besteht aus bankigen Kalksteinen im Liegenden und aus einer Kalkstein-Tonstein Wechselfolge im Hangenden.

Der Keuper steht im Bereich der Schachtanlage Konrad in einer Schichtdicke von nur 200 m an. Über den Fein-Mittelsandsteinen des Unteren Keuper liegen die vorwiegend mergeligen Gesteine des Mittleren Keuper mit Wechselfolgen aus dünnen Ton- und Sandsteinlagen. Der Obere Keuper (Rhät) läßt sich in das vorwiegend tonige Unterrhät, sandsteinführendes Mittelrhät und wiederum toniges Oberrhät gliedern.

Darüber folgt der Schwarze Jura (Lias), der im Bereich der Schachtanlage Schichtdicken von 75 bis 180 m aufweist. Aufschlüsse des Lias gibt es im Bereich der Schachtanlage Konrad nur in begrenztem Umfang, da die Mehrzahl der Erkundungsbohrungen nach dem Erreichen des Lias eingestellt wurden. Wie erwähnt, fällt der Lias ebenso wie die anderen Schichten des Jura im Bereich der Schachtanlage mit etwa 20 bis 25° nach Westen ein, während die oben beschriebenen, darunterliegenden Schichten horizontal gelagert sind. Das Hettangium, die älteste Schicht des Schwarzen Jura, besteht überwiegend aus Tonsteinen, in die tonflaserige und karbonatische Sandsteinbänke eingelagert sind. Das Sinemurium und Unterpliensbachium bestehen ebenfalls vorwiegend aus Tonsteinen, in die Kalksteinbänke eingeschaltet sind. Das darüberliegende Untertoarcium setzt sich aus bituminösen Ton- und Mergelsteinen, in die ebenfalls Kalksteinbänke eingebettet sind, zusammen.

Das Obertoarcium kann, obwohl stratigraphisch dem Lias zugehörig, mit dem Aalenium und Bajocium des Dogger zusammengefaßt werden. Seine Schichtdicke beträgt im Bereich der Schachtanlage etwa 50 bis 200 m und es besteht wie auch das Aalenium im wesentlichen aus schluffigen, schwachkalkigen Tonsteinen. Im höheren Aalenium wurde ein Sandstein erbohrt, der von Tonsteinen überlagert wird. Im Unterbajocium folgen tonig-schluffige bis feinsandige Sedimentgesteine. Im Mittel- und Oberbajocium überwiegen dagegen die Tonsteine.

Der Obere Dogger, der in Bathonium und Callovium untergliedert wird, steht mit Schichtdicken von 75 bis 200 m an. Die oberen Bereiche dieser Schichtenfolge sind durch den Schacht Konrad 2 und teilweise auch durch Strecken aufgeschlossen worden. Danach besteht das Unterbathonium aus einem feinsandigen Sandstein ("Cornbrash") und schluffigen Tonsteinen. Das Mittelbathonium wurde, wie auch höhere Teile des Unterbathoniums vor der Oberbathonium Transgression erodiert, so daß die schluffigen Tonsteine des Oberbathonium unmittelbar auf das Unterbathonium folgen.

Der weiße Jura (Malm) steht oberhalb des Dogger an. Durch spätere Abtragungsvorgänge wurden insbesondere die jüngeren Schichten Port-

land und Kimmeridge abgetragen, so daß die gesamte Schichtenfolge nur östlich des Salzstockes Vechelde mit einer Gesamtdicke von 800 m vorhanden ist (Anlage 3.1). Nach Osten nehmen die Schichtdicken ab und die Schichten keilen im Bereich und östlich des Grubengebäudes - wie oben erwähnt - unterhalb der Kreide aus (Anlage 3.1).

In der untersten Schichtenfolge des weißen Jura, dem Oxford, liegen die Abbau- und die geplanten Einlagerungsfelder der Grube Konrad. Das Oxford ist deshalb im Bereich der Grube sehr gut aufgeschlossen und soll hinsichtlich seines Aufbaus eingehender beschrieben werden. Das Unteroxford besteht aus einer 1,5 bis 2 m dicken Aufarbeitungslage, die von den 5 bis 10 m dicken, feinsandigen Mergeltonsteinen der Heersumer Schichten überlagert wird (Anlagen 3.2 bis 3.4).

Darüber steht der zum Mittelloxford gehörende 50 bis 60 m dicke Untere Korallenoolith an, der sich in drei Serien aufgliedern läßt. Die Trümmerkalk-Serie im Liegenden besteht aus gebankten, sandigen Kalksteinen in Wechsellagerung mit cm dicken Tonsteinlagen. Die mittlere Fladentonsteinserie ist als Wechsellagerung von massigen Kalksteinen und engständig geklüfteten Tonmergelsteinen ausgebildet. Eisenhaltige Kalkoolithe mit zwischengelagerten Mergelstein- und Tonsteinlagen sind in der hangenden Erzkalk-Serie aufgeschlossen worden.

Der Mittlere Korallenoolith, der bereits zum Oberoxford zählt, enthält zwei durch ein tonmergeliges Zwischenmittel getrennte Erzlager, das sogenannte Untere Lager und das Obere Lager. Im Unteren Lager, das mit 5 bis 18 m Schichtdicke und Eisengehalten von 33 % als abbauwürdig erkannt wurde, ist nahezu das gesamte Grubengebäude aufgeföhren. Das Untere Lager fällt, wie die gesamten Schichten des Oxford, wie erwähnt mit etwa 22° nach Westen ein und besteht aus einem karbonatischen Brauneisen-Silikat-Oolith in den teilweise dünne Tonsteinlagen eingelagert sind. Das im Hangenden des Unteren Lagers anstehende etwa 20 m dicke, sogenannte Zwischenmittel besteht aus einem eisenarmen Mergeltonstein. Im Schacht 1 wurden innerhalb des Zwischenmittels Anhydritknollen und Fasergipslagen aufgeschlossen. Die schwach eisenoolithischen Mergelkalksteine des Oberen Lagers besitzen eine Dicke von 5 bis 8m. Der gesamte Mittlere Korallenoolith weist somit eine Dicke von 30 bis 45 m auf. Der Obere Korallenoolith

ist aus schwach eisenoolithischen Kalkooiden und Mergeltonsteinen aufgebaut und besitzt eine Dicke von 25 bis 50 m.

Die oberen Schichten des Malm, der Kimmeridge und die Munder Mergel weisen westlich der Schachtanlage die größten Schichtdicken auf und keilen wie erwähnt nach Osten aus. Das Unter-Kimmeridge besteht aus einer Wechselfolge von Mergel-, Tonmergel- und Kalksteinen. Im Unterschied dazu sind die Schichten des Mittel-Kimmeridge kalkiger ausgebildet, während im Ober-Kimmeridge limnische Tonsteine in Wechsellagerung mit Mergeltonsteinen auftreten. Die im Hangenden folgenden Munder Mergel sind im Bereich der Schachtanlage weitgehend abgetragen worden. Lediglich im westlichen Bereich sind die zum Teil dolomitischen, kalkigen Tonsteine dieser Formation in einer Schichtdicke von 80 bis 100 m erhalten.

Die Kreideschichten lagern diskordant zu den Schichten des Jura und fallen im Bereich der Schachtanlage mit etwa 5° nach Westen ein, d.h. sie sind wie bereits erwähnt nahezu horizontal gelagert. Die Basis der Unterkreide wird durch das Hauterive gebildet und liegt in 550 bis 800 m Tiefe. Das Hauterive besteht aus Ton- und Tonmergelsteinen und besitzt eine Schichtdicke von etwa 70 bis 115 m. Darüber lagern die dünn-schichtigen Tonsteine des Barrême in einer Mächtigkeit von 80 bis 140 m. Im Hangenden folgen die Mergeltonsteine des Apt mit einer Dicke von 30 m und die die Unterkreide abschließenden Tonsteine des Alb, die mit Schichtdicken von 220 bis 300 m anstehen.

In den 56 bis 70 m dicken Schichten des zur Oberkreide zählenden Unter Cenoman überwiegt der Tonsteinanteil, während das Mittel- und Ober Cenoman hauptsächlich aus Kalk- und Kalkmergelsteinen aufgebaut ist. Das Turon bildet den Abschluß der Oberkreide im betrachteten Bereich. Die Dicke der im wesentlichen aus Kalk- und Kalkmergelsteinen bestehenden Schichten beträgt etwa 140 m.

Durch das Fehlen der tertiären Ablagerungen folgen auf die Oberkreideschichten unmittelbar die kiesig-sandig bis tonig-schluffig ausgebildeten quartären Lockergesteine. Die Dicke der wasserführenden quartären Ablagerungen schwankt zwischen wenigen Dezimetern auf Ge-

ländeerhebungen bis zu 50 m in Rinnen und beträgt im Mittel etwa 10 bis 20 m.

#### 4. Einschätzung der felsmechanischen Kennwerte der Schichten des Jura und der Kreide anhand der Ergebnisse von Labor- und Feldversuchen

##### 4.1 Allgemeines

In den Abschnitten 7 und 9 dieses Berichts werden die in der Versuchsstrecke 532 und in den Strecken 101S, 231S und 241S des Feldes 5/1 gemessenen Verformungen mit Hilfe von FE-Berechnungen interpretiert. Mit Hilfe vergleichender Berechnungen werden Kombinationen der felsmechanischen Kennwerte für das Gebirge abgeleitet, die das Gebirgsverhalten im Bereich der Strecken am besten beschreiben und die als Grundlage für den Standsicherheitsnachweis der derzeitigen und zukünftig aufzufahrenden Strecken für Kammerabschlußbauwerke nach Modell 2 dienen können.

Anhaltswerte für die ersten Berechnungen dieser Parameterstudien können im vorliegenden Fall praktisch nur aus den Ergebnissen von Laborversuchen an Gesteinsproben abgeleitet werden. Einaxiale und dreiaxiale Druckversuche wurden an einer großen Zahl von Gesteinsproben aus den Schichten der Kreide und des Jura (Kimmeridge, Korallenoolith, Oberer Dogger) durchgeführt. Diese Proben wurden aus im Bereich der Schachanlage durchgeführten Bohrungen entnommen. Daneben wurden eine vergleichsweise geringe Zahl von Dilatometerversuchen in Bohrungen ausgeführt. Außerdem sind einige Primärspannungsmessungen durchgeführt worden.

Erfahrungsgemäß führen Versuche an ungeklüftetem Gestein in der Regel zu erheblich höheren E-Moduln und Festigkeiten als sie für den Fels maßgebend sind. Für den Fels ergeben sich wegen seiner Schichtung und Klüftung sowie aufgrund anderer Inhomogenitäten aus Feldversuchen oder der Interpretation gemessener, ausbruchbedingter Verformungen in der Regel erheblich geringere E-Moduln und Festigkeiten als aus Laborversuchen.

Dennoch wird nachfolgend versucht, aus den Ergebnissen von Laborversuchen Anhaltswerte für die felsmechanischen Kennwerte des Gebirges abzuleiten. Für die Einschätzung der Kennwerte des Unteren Lagers stehen dabei auch die Ergebnisse einiger Dilatometerversuche zur Verfügung.

Wegen der verhältnismäßig geringen Senkungen an der Geländeoberfläche (vgl. Abschnitt 5) kann man davon ausgehen, daß im Deckgebirge im Bereich der Grube Konrad keine Festigkeitsüberschreitungen aufgetreten sind. Vielmehr dürfte sich das Deckgebirge im wesentlichen zeitunabhängig und elastisch verhalten. Die zeitliche Zunahme der Senkungen dürfte auf fortschreitende Festigkeitsüberschreitungen des Gebirges im Bereich der Abbaufelder zurückzuführen sein. Auch die tiefer unterhalb des Unteren Lagers liegenden Schichten dürften sich im Zuge der Herstellung der Grube im wesentlichen elastisch verhalten haben. Weiterhin dürften die elastischen Konstanten des Deckgebirges nur einen geringen Einfluß auf die Spannungen und Verformungen im Bereich der Strecken haben, weil sie im wesentlichen nur als Auflast wirken und ihre "Steifigkeit" praktisch ohne Einfluß ist.

Anders verhält es sich mit dem Unteren Lager und den unmittelbar darüber- und darunterliegenden Schichten. Von der Verformbarkeit und zum Teil auch der Festigkeit dieser Schichten werden die in den Strecken auftretenden Verformungen entscheidend beeinflusst. Weil die Einschätzung der Kennwerte auf der Grundlage von Laborversuchsergebnissen wie erwähnt mit Unsicherheiten verbunden ist, werden deshalb für die Kennwerte dieser Schichten größere Streubreiten angegeben.

Auf die Festigkeit entlang der Schicht- und Klufflächen geben die Ergebnisse der Laborversuche keine Hinweise. Hierzu werden deshalb in diesem Abschnitt keine Angaben gemacht. Grundlage für die Einschätzung der Kennwerte sind die in Anlage 4.1 zusammengestellten Ergebnisse der Laborversuche. Nach Schichten getrennt, sind hier die an Gesteinsproben gemessenen E-Moduln, einaxialen Druckfestigkeiten sowie Kohäsionen und Reibungswinkel zusammengestellt.

Soweit vorhanden wurden die Mittelwerte und der Streubereich durch

den größten und den kleinsten Meßwert dargestellt. In Anlage 4.2 sind außerdem die Mittel- und Extremwerte der aus Dilatometerversuchen im Unteren Lager erhaltenen E-Moduln zusammengestellt. .

#### 4.2 Kreideschichten

Die aus der Oberen Kreide untersuchten Proben sind aus dem Cenoman entnommene mergelige Kalk- bis Mergelsteine (Anlage 4.1 lfd. Nr. 1). Die gemessenen mittleren E-Moduln und einaxialen Festigkeiten sind für Kalkstein mit  $\bar{E} = 11000$  MPa und  $\bar{\sigma}_{dg} = 30$  MPa eher gering. Aus der Unteren Kreide wurden Proben aus den verschiedenen Schichtgliedern vom Oberalb bis zum Hauterive untersucht (Anlage 4.1 lfd. Nr. 2 bis 8). Hierbei handelt es sich vorwiegend um Tonsteine bis Tonmergelsteine. Die für die einzelnen Schichten erhaltenen Mittelwerte für den E-Modul schwanken zwischen 3370 MPa für Tonsteine des Alb und 7000 MPa für Tonmergelsteine des Hauterive und sind damit erwartungsgemäß kleiner als der für das Cenoman erhaltene mittlere E-Modul. Für die einaxialen Druckfestigkeiten ergibt sich ebenfalls ein relativ geringer Schwankungsbereich für die Mittelwerte, die hier zwischen  $\approx 11$  und 20 MPa liegen.

Aus den von der BGR im Hauterive vom Schacht Konrad 1 aus durchgeführten Dilatometerversuchen ergaben für den Erstbelastungsast E-Moduln von etwa 860 MPa in aufgelockerten Bereichen und von etwa 1500 MPa in weiter von der Schachtwand entfernten Zonen 10 .

Ein Vergleich des letztgenannten E-Moduls mit den an Gesteinsproben aus dem Hauterive gemessenen Moduln bestätigt die im Abschnitt 1 getroffene Aussage, daß die an Gesteinsproben gemessenen E-Moduln in der Regel größer sind als die für den Fels maßgebenden Werte.

Wegen der verhältnismäßig geringen Streuungen der aus den Laborversuchen an Proben aus den einzelnen Schichtgliedern der Kreide erhaltenen mittleren E-Moduln und da diese Schichten im Hinblick auf die Verformungen im Grubengebäude wie erwähnt im wesentlichen nur als Auflast wirksam sind, kann die Kreide im Hinblick auf die Verformbarkeit als homogen betrachtet werden. Es wird ein Schwankungsbe-

reich von  $E = 1000 - 2000$  MPa für den E-Modul vorgeschlagen. Als Folge der Schichtung besitzen die Schichten der Kreide möglicherweise eine leicht anisotrope Verformbarkeit, u.U. sind die E-Moduln parallel zur Schichtung größer als die in den Laborversuchen ermittelten, für eine Beanspruchung senkrecht zur Schichtung maßgebenden Werte.

Festigkeitsparameter für die Schichten der Kreide werden aus den im Abschnitt 4.1 genannten Gründen nicht angegeben.

### 4.3 Kimmeridge

Die aus dem Kimmeridge entnommenen Proben lassen sich nach dem Kalkanteil im Kalkstein, Kalk-Mergelstein und Mergelstein einteilen (Anlage 4.1 lfd. Nr. 11,9 u. 12,10). Für den Kalkstein und Kalk-Mergelstein ergaben sich mittlere E-Moduln von 23000 bis 25000 MPa. Betrachtet man die Einzelergebnisse, so zeigt sich mit Werten von 8300 bis 40100 MPa ein großer Streubereich (Anlage 4.1 lfd. Nr. 12). Für den Mergelstein ergibt sich mit 11000 MPa nur ein etwa halb so großer E-Modul (Anlage 4.1 lfd. Nr. 10). Die größten Festigkeiten weist mit einer einaxialen Druckfestigkeit von  $\approx 88$  MPa der Kalkstein auf, während für den Kalk-Mergelstein Werte von  $\approx 58$  bis 60 MPa und für den Mergelstein nur  $\approx 37$  MPa gemessen wurden.

Auch für das Kimmeridge sind die Unterschiede in den gemessenen E-Moduln nicht so groß, daß eine Berücksichtigung der einzelnen Schichtglieder in den FE-Berechnungen gerechtfertigt wäre. Es wird vorgeschlagen mit E-Moduln zwischen 5000 und 10000 MPa zu rechnen. Falls die Festigkeit des Kimmeridge von Einfluß ist, sollte mit einaxialen Druckfestigkeiten in der Größenordnung von  $\sigma_{gd} \approx 20$  MPa gerechnet werden. Das entspricht einer Abminderung der an Gesteinsproben gemessenen Werte auf 1/2 bis 1/4 und bei Reibungswinkeln von  $\varphi = 25^\circ$  bis  $30^\circ$  einer Kohäsion von  $c = 6$  MPa. Die Annahme einer isotropen Gebirgsfestigkeit wird wegen der im Kimmeridge vermutlich vorhandenen Klüftung und Schichtung und den dadurch bedingten Festigkeitsanisotropie allerdings den tatsächlichen Verhältnissen nur bedingt gerecht.



#### 4.4 Oberer Korallenoolith

Die aus dem Oberen Korallenoolith entnommenen Proben wurden als Kalkstein, Kalk-Mergelstein, Mergelstein und Ton-Tonmergelstein angesprochen. Entsprechend der petrographischen Zuordnung ergeben sich deutlich unterschiedliche Versuchsergebnisse (Anlage 4.1 lfd. Nr. 13 bis 20). An Proben aus Kalkstein und Kalk-Kalkmergelstein wurden mittlere E-Moduln von etwa 18000 bis 27000 MPa, aus einer Versuchsserie an Kalk-Mergelsteinen sogar 41000 MPa ermittelt. Für den Ton-Tonmergelstein und den Mergelstein wurden dagegen mittlere E-Moduln von nur 9000 bis 14000 MPa gemessen.

Die größten einaxialen Druckfestigkeiten wurden mit 34 bis 97 MPa für den Kalkstein und Kalk-Mergelstein erhalten, während für den Ton-Tonmergel- und Mergelstein nur 8 bis 24 MPa gemessen wurden.

Für die Berechnungen soll auch für den Oberen Korallenoolith mit einem einheitlichen E-Modul gerechnet werden. Es wird vorgeschlagen, mit Werten zwischen  $E = 2000$  bis  $6000$  MPa zu rechnen. Mit den im Abschnitt 4.3 genannten Einschränkungen wird auch hier mit einer isotropen Gebirgsfestigkeit gerechnet. Legt man Reibungswinkel von  $\varphi \approx 20$  bis  $30^\circ$  zugrunde, so ergibt sich bei einer einaxialen Druckfestigkeit von  $\check{\sigma}_{dg} = 6$  bis  $14$  MPa eine Kohäsion von  $c = 2$  bis  $6$  MPa.

#### 4.5 Oberes Lager

Die aus dem Oberen Lager gewonnenen Proben bestehen im wesentlichen aus Kalkstein, der zum Teil erzführend und z.T. mergelig ist (Anlage 4.1 lfd. Nr. 21 bis 24). Die für die Gesteinsproben gemessenen mittleren E-Moduln betragen zwischen  $16000$  MPa für Kalkstein und  $34000$  MPa für erzführende Kalksteine. Auch hier gilt, daß in den Einzelversuchen z.T. große Streubreiten festgestellt wurden. Für die einaxiale Druckfestigkeit wurden für den Kalkstein ein Mittelwert von etwa  $40$  MPa und für den erzführenden Kalkstein etwa  $90$  MPa gemessen. Es wird empfohlen, die Berechnungen mit E-Moduln für diese Schicht in der Größenordnung von  $E = 6000$  bis  $15000$  MPa zu beginnen. Mit den oben getroffenen Einschränkungen, d.h. ohne Berücksichtigung der festigkeitsmindernden Einflüsse eventueller Trennflächen, kann mit

einer einaxialen Druckfestigkeit für den Fels von 12 bis 28 MPa, d.h. bei Reibungswinkeln von 25 bis 30° und Kohäsion zwischen  $c = 4$  bis 8 MPa gerechnet werden.

#### 4.6 Zwischenmittel

Die aus dem Zwischenmittel entnommenen Proben bestehen aus Kalkstein, Kalk-Kalkmergelstein, tonigem Kalkstein, Mergelstein und Tonmergelstein (Anlage 4.1 lfd. Nr. 25 bis 32). Die größten E-Moduln wurden mit Mittelwerten von 31000 bis 33000 MPa für Gesteinsproben aus teilweise auch als tonig angesprochenen Kalkstein (Anlage 4.1 lfd. Nr. 25) gemessen. Deutlich geringere E-Moduln weisen die Proben aus Mergelstein mit Mittelwerten von 7000 und 14000 MPa auf, während der Tonmergelstein eine mittlere Druckfestigkeit von ca. 22000 MPa bei einer Streubreite von 7300 bis 37200 MPa besitzt. Möglicherweise sind bei den Proben, die hohe Festigkeiten aufweisen, Kalk- oder Kalkmergelsteine mit erfaßt worden. Die größten einaxialen Druckfestigkeiten weisen wiederum die Kalksteine mit 53 bis 61 MPa auf. Die Festigkeiten der Mergel und Tonmergelsteine sind mit 19 bis 39 MPa dagegen fast nur halb so groß.

Für die weitere Bearbeitung sollten die E-Moduln mit 2000 bis 10000 MPa und die Festigkeiten mit einer Kohäsion von 2 bis 6 MPa bei einem Reibungswinkel von 20 bis 25°, entsprechend einer einaxialen Druckfestigkeit von etwa 6 bis 20 MPa, berücksichtigt werden.

#### 4.7 Unteres Lager

Die im Unteren Lager entnommenen Proben sind petrographisch dem Eisenoolith zuzuordnen. Eine Ausnahme hiervon bilden lediglich die in zwei Versuchsserien untersuchten Kerne aus erzführendem Kalkstein und Kalkmergelstein (Anlage 4.1 lfd. Nr. 33 bis 40). Die für den Eisenoolith in Laborversuchen ermittelten mittleren E-Moduln liegen zwischen ca. 15000 und 33000 MPa. Die im unmittelbaren Bereich der Versuchsstrecke 532 entnommenen Proben (Anlage 4.1 lfd. Nr. 40) weisen dabei mit ca. 33000 MPa den größten Mittelwert, aber auch einen sehr großen Streubereich von 18500 bis 54700 MPa auf. Die Kalk- und

Kalkmergelsteine, die im Unteren Lager nur untergeordnet auftreten, besitzen E-Moduln von etwa 13000 bis 15000 MPa. Für den Eisenoolith ergeben sich mit 36 bis 56 MPa einaxiale Druckfestigkeiten, die in der Größenordnung der für Proben aus Kalkstein festgestellten Werte liegen. Der im Unteren Lager beprobte erzführende Kalk weist mit 52 MPa etwa gleiche Festigkeiten auf.

Neben den Laborversuchen wurden im Unteren Lager Dilatometerversuche mit der BGR-Sonde und mit der Goodman-Sonde durchgeführt. Die Versuche wurden zum einen in der Strecke 672 sowie in der alten Revierkammer auf der 5. Sohle durchgeführt [11, 12]. Die Versuchsergebnisse sind in Anlage 4.2 zusammengefaßt. Es ergeben sich relativ kleine E-Moduln von 7000 bis 9000 MPa für den Erstbelastungsast und von ca. 11000 bis 15000 MPa für den Ent- und Wiederbelastungsast.

Für die durchzuführenden Berechnungen sollte auch für das Untere Lager von einem relativ großen Streubereich für die felsmechanischen Kennwerte ausgegangen werden, da die Eigenschaften dieser Schicht, wie die der unmittelbar darüber- und darunterliegenden Schichten, einen großen Einfluß auf die ausbruchbedingten Verformungen besitzen (vgl. Abschnitt 4.1). Für die weitere Bearbeitung sollten für den E-Modul Werte von  $E = 6000$  bis  $15000$  MPa in Ansatz gebracht werden. Ohne Berücksichtigung des festigkeitsmindernden Einflusses der Trennflächen kann man von einaxialen Druckfestigkeiten des Felses von etwa 12 bis 28 MPa ausgehen. Setzt man den Reibungswinkel auch hier mit  $\varphi = 25^\circ$  bis  $30^\circ$  vorsichtig an, so leitet sich daraus eine Kohäsion von  $c = 4$  bis 8 MPa ab.

#### 4.8 Unterer Korallenoolith

Aus dem Unteren Korallenoolith wurden für die Laborversuche im wesentlichen Proben aus den Kalk- und Kalkmergelsteinen entnommen. In zwei Versuchsserien wurden darüberhinaus Mergel- bzw. Ton- und Tonmergelsteine untersucht (Anlage 4.1 lfd. Nr. 41 bis 47). Die an den Kalk-Kalkmergelsteinen ermittelten mittleren E-Moduln sind mit ca. 14000 bis 27000 MPa eher klein. Die Mergel- bzw. Ton-Tonmergelsteine weisen mit Werten von ca. 7000 bis 13000 MPa noch geringere

Werte auf. Die einaxialen Druckfestigkeiten der Kalk-Kalkmergelsteine betragen mit 36 bis 71 MPa ein mehrfaches der für den Ton-Tonmergelstein festgestellten Werte.

Bei der Einschätzung der Kennwerte für die weitere Bearbeitung sind beim Unteren Korallenoolith auch die Kernaufnahmen, die bei den Extensometerbohrungen in der Strecke 532 und bei Bohrungen für die Permeabilitätsprüfung angefertigt wurden [13], zu beachten. Der Untere Korallenoolith weist danach eine deutliche Zerklüftung auf. Da außerdem der Tonstein bzw. Tonmergelanteil in den oberen Metern sehr groß ist ( $\approx 50\%$ ), sollten für den Unteren Korallenoolith der weiteren Bearbeitung zugrundegelegte E-Moduln und Festigkeiten im Vergleich zu den Ergebnissen der Laborversuche eher vorsichtig eingeschätzt wurden. Es wird vorgeschlagen, für den E-Modul des Gebirges Werte von  $E = 1000$  und  $6000$  MPa zu wählen. Auch bei der Wahl der Festigkeitsparameter sollten die Kennwerte des Tonsteins stärker eingehen als die der Kalk-Kalkmergelsteine. Daher werden für die Kohäsion  $1,5$  bis  $6$  MPa und für den Reibungswinkel  $20$  bis  $25^\circ$  vorgesehen. Diese Werte entsprechen einer einaxialen Druckfestigkeit von etwa  $4$  bis  $18$  MPa und beinhalten nicht den Einfluß von Trennflächen.

#### 4.9 Braunjura (Oberer Dogger)

Die aus den Callovium und Bathonium, d.h. aus dem Oberen Dogger bzw. Braunjura entnommenen Proben lassen sich petrographisch in kalkigen Tonstein, Ton-Mergelstein, tonigen Kalksand-Kalkmergelstein und Tonmergel-Kalkmergelstein einteilen (Anlage 4.1 lfd. Nr. 48 bis 51). Die mittleren E-Moduln des Gesteins betragen zwischen ca.  $5000$  und  $12000$  MPa. Die einaxialen Festigkeiten schwanken zwischen  $25$  und  $56$  MPa. Aufgrund des relativ großen Abstandes zum Grubengebäude sind die Kennwerte dieser Schichten, wie im Abschnitt 4.1 bereits erwähnt, eher von untergeordneter Bedeutung. In den Berechnungen kann entsprechend den in den Laborversuchen gemessenen geringen Werten der E-Modul zwischen  $1000$  und  $4000$  MPa gewählt werden. Für die Festigkeit der Schichten sollten die gleichen Annahmen wie für den Unteren Korallenoolith getroffen werden. Die Bedeutung dieser Annahme ist allerdings gering, weil in diesen Schichten nicht mehr mit Festigkeitsüberschreitungen zu rechnen ist.

## 5. Darstellung und Interpretation der Ergebnisse von Verformungsmessungen an der Geländeoberfläche und in der Grube

### 5.1 Messungen an der Geländeoberfläche

Mit Beginn des Erzabbaus im Jahr 1965 wurden die Senkungen der Geländeoberfläche durch Nivellements gemessen. Mit Ausnahme der Jahre 1969, 1971 und 1973 wurde in jedem Jahr eine Messung durchgeführt. Die durch Interpolation der Meßergebnisse für das Jahr 1987 ermittelte Senkungsmulde (Anlage 5.1) hat die Form einer Ellipse, die sich in Nord-Süd Richtung über eine Länge von etwa 5200 m und in Ost-West Richtung über etwa 4500 m und damit über beide Abbaufelder erstreckt. Die größten Senkungen von etwa 250 bis max. 270 mm (Punkt 5034) wurden über den südwestlichen Spülversatzfeldern gemessen [24, 25, 26]. An der Form und Erstreckung der Linien gleicher Geländesenkungen erkennt man, daß das Spülversatzfeld und das südliche LHD-Feld trotz der unterschiedlichen Abbauarten in gleicher Weise an der Entstehung der Senkungen beteiligt sind.

In Anlage 5.1 ist die Zeit-Senkungslinie für die Punkte 5034, 5011 und 5065 dargestellt. Wie man erkennt, hat der Punkt 5034, der über den Abbaufeldern liegt, während des Erzabbaus Senkungen von etwa 22 bis 25 mm/a erfahren. Nach der Beendigung der Abbautätigkeit nahm die Senkungsgeschwindigkeit innerhalb eines Zeitraumes von 1 bis 2 Jahren auf 2 bis 4 mm/a ab. Bis 1987 ist die jährliche Zunahme der Senkungen konstant geblieben.

Der 300 m westlich der Abbaufelder gelegene Punkt 5011 zeigt hinsichtlich der Tendenz das gleiche Verhalten wie der Punkt 5034. Die Senkungsgeschwindigkeit und die Gesamtsenkung betragen allerdings aufgrund der größeren Entfernung vom Abbaufeld nur etwa 1/3 der im Punkt 5034 gemessenen Werte. Seit etwa 1979 wird eine konstante Senkungsgeschwindigkeit von 0,5 bis 1,0 mm/a gemessen.

Bei dem 900 m westlich der Abbaufelder gelegenen Punkt 5065 ist das bei den beiden anderen Punkten festgestellte Verhalten nicht so deutlich erkennbar, da aufgrund der wesentlich kleineren Senkungs-

beträge Meßgenauigkeiten einen größeren Einfluß auf die Meßergebnisse haben. Eine Senkung wurde hier erst im Juli 1970 festgestellt. Danach nahmen die Senkungen dieses Punktes etwa bis zum Jahr 1980 zu. In den Jahren von 1984 bis 1987 zeigte sich praktisch keine Zunahme der bis dahin auf 27,0 mm angewachsenen Senkungen.

Wie die Zeit-Senkungskurven zeigen, resultieren aus der 11 Jahre zurückliegenden Abbautätigkeit noch weiträumige Senkungen der Geländeoberfläche, die unmittelbar über den Abbaufeldern noch jährlich um 2 bis 4 mm zunehmen. Erst in etwa 800 bis 1000 m Entfernung scheinen die Senkungen zur Ruhe gekommen zu sein. Die mehr als 11 Jahre nach Beendigung der Abbautätigkeit andauernden Senkungszunahmen sind vermutlich darauf zurückzuführen, daß sich im Bereich der Abbaufelder noch kein Gleichgewichtszustand eingestellt hat. Da die größten Senkungsgeschwindigkeiten im Bereich der Spülversatzfelder auftreten, muß davon ausgegangen werden, daß der eingebrachte Versatz nicht oder nur teilweise kraftschlüssig mit dem Deckgebirge verbunden ist und daß es in den innerhalb und neben dem Abbaufeld verbliebenen Gebirgspfählen noch zu Festigkeitsüberschreitungen, Lastumlagerungen und damit zu zeitabhängigen Verformungen kommt. Man kann an dieser Stelle aber auch nicht ausschließen, daß die weiteren Streckenauffahrungen und -aufweitungen sowie die im Abschnitt 5.2 erläuterten, andauernden Verformungszunahmen in den bestehenden Strecken zu einer Zunahme der Geländesenkungen beitragen.

## 5.2 Konvergenzmessungen im Grubengebäude

### 5.2.1 Vorbemerkungen

Im Bereich der 4., 5. und 6. Sohle der Schachtanlage Konrad wurden in den Jahren 1981 bis 1986 18 Konvergenz- und 11 Extensometermeßquerschnitte eingerichtet [28, 29] (Anlage 5.2). Die Meßquerschnitte liegen sowohl in bestehenden, im Konradprofil aufgefahrenen Strecken als auch in neuen, im Hufeisenprofil aufgefahrenen Strecken. Die Sicherung der Strecken besteht lediglich aus 1,80 m langen Spreizhülseankern und Maschendraht.

Im folgenden werden nur die Konvergenzmessungen betrachtet, da die Ergebnisse der Extensometermessungen widersprüchlich sind. Da die eingesetzten Drahtextensometer erfahrungsgemäß fehleranfällig sind - sie werden deshalb seit einigen Jahren in der Praxis kaum mehr verwendet - sind diese Widersprüche vermutlich auf Meßfehler zurückzuführen.

Im Hinblick auf eine Interpretation der Meßergebnisse wurden die Meßquerschnitte nach folgenden Kriterien in verschiedene Gruppen eingeteilt:

- I Zeitlicher Abstand zwischen Auffahrung der Strecke im Bereich des Meßquerschnitts und der Durchführung der Nullmessung
- II Beeinflussung durch Streckenaufweitungen, Nacharbeiten der Sohle und Nähe zu Streckenkreuzungen
- III Abstand der Strecke von den Liegendschichten, geringer Abstand zu den Nachbarstrecken und zum Abbaufeld

#### 5.2.2 Meßergebnisse der Querschnitte 620A/1, 610A/2, 602/3 bis 602/6, 610N/7, zu I

Bei den oben genannten Meßquerschnitten vergingen zwischen der Auffahrung des Meßquerschnitts und der Nullmessung zwischen 4 und 14 h (Anlagen 5.2 und 5.3). Lediglich beim Meßquerschnitt 610N/7 wurde die Nullmessung erst 3 Tage nach dem Ausbruch des Querschnitts durchgeführt. Man kann deshalb davon ausgehen, daß in den Meßquerschnitten 620A/1, 610A/2 sowie 602/3 bis 602/6 der größte Teil der vortriebsbedingten Konvergenzen erfaßt wurde. Eine Beeinflussung der Meßergebnisse durch die Abbaufelder oder Nachbarstrecken kann ausgeschlossen werden, da die in 1300 m Tiefe aufgefahrne 6. Sohle am westlichen Rand des Grubengebäudes liegt und der Abstand zu den Abbaufeldern etwa 500 m und zur Nachbarstrecke etwa 200 m beträgt (Anlage 5.2). Die Strecke wurde mit hufeisenförmigem Querschnitt mit einer Querschnittsfläche von  $28 \text{ m}^2$  aufgefahren.

In Anlage 5.3 sind die für die oben genannten Querschnitte gemessenen horizontalen Konvergenzen in Abhängigkeit von der Zeit dargestellt. Es zeigt sich, daß bei allen Meßquerschnitten innerhalb von etwa 2 bis 6 Wochen bereits ein großer Anteil der insgesamt gemessenen Verformungen eingetreten ist, daß aber selbst 3 Jahre nach dem Auffahren noch Konvergenzraten von etwa 1 bis 4 mm/a auftreten. Die größten Konvergenzen wurden mit 204 mm im Querschnitt 620A/1, der in den Tonmergelsteinen des Zwischenmittels liegt, gemessen. In den Querschnitten 610A/2 und 602/3 bis 602/6, die mit Ausnahme des vollständig im Unteren Lager liegenden Querschnittes 602/6 im Übergang vom Unteren Lager zum Zwischenmittel aufgefahren wurden, sind die gemessenen Konvergenzen mit 94 bis 122 mm nur etwa halb so groß (Anlage 5.3). Deutlich kleinere Konvergenzen, die jedoch auch noch Zunahmen von 1 bis 4 mm/a zeigen, wurden mit 16 bzw. 30 mm in den Querschnitten 602/6 und 610N/7 gemessen. Diese Meßergebnisse sind jedoch nicht ohne weiteres vergleichbar, da der Querschnitt 602/6 im Bleckenstedter Sprung angeordnet ist und der Querschnitt 610N/7 in einer in der Fallrichtung der Schichten aufgefahrenen Schrägstrecke in den Kalkmergelsteinen des Kimmeridge liegt.

### 5.2.3 Meßergebnisse der Querschnitte 522/1, 522/4, 672/1, 672/2, zu I

Die vorgenannten Meßquerschnitte wurden ebenfalls in neu aufgefahrenen Strecken eingerichtet mit dem Unterschied, daß der Zeitraum zwischen dem Ausbruch des Querschnitts und der Nullmessung zwischen 1 bis 8 Wochen betrug und der Vortrieb vor der Nullmessung bis zu 12 m über den Meßquerschnitt hinaus fortgesetzt wurde (Anlage 5.4).

Die Strecke 672 liegt etwa 300 m westlich der Abbaufelder und besitzt einen Abstand von 50 m zur Nachbarstrecke (Anlage 5.2). Die Nullmessung wurde im Querschnitt 672/1 8 Wochen und im Querschnitt 672/2 6 Wochen nach der Streckenauffahrung im Bereich des Querschnitts durchgeführt, so daß nur ein Teil der eingetretenen Konvergenzen gemessen werden konnte (Anlage 5.4). Bei Betrachtung der gemessenen Anteile der Konvergenzen fällt auf, daß der steile Anstieg der Konvergenz-Zeit Kurven etwa 4 bis 6 Monate nach dem Durchfahren



des Querschnitts anhält und daß die Kurven danach abflachen. Die vertikale und die horizontale Konvergenz nehmen allerdings bis zum Jahr 1987 konstant um 3 mm/a bzw. 0,5 mm/a zu. Die 9 Jahre nach dem Auffahren festgestellten, durch die Messungen erfaßten Anteile der Konvergenzen betragen vertikal 60 mm bzw. 95 mm und horizontal 18 bzw. 12 mm für den Querschnitt 672/1 bzw. 672/2. Der Unterschied zwischen der gemessenen vertikalen Konvergenz findet vermutlich seine Begründung darin, daß die Nullmessung in Querschnitt 672/1 mit zeitlich größerem Abstand zum Ausbruch durchgeführt wurde als im Querschnitt 672/2. Außerdem liegt der Querschnitt 672/2 in der Nähe einer Streckenkreuzung, im Bereich derer die räumliche Lastabtragung vermutlich zu größeren plastischen, zeitabhängigen Verformungsanteilen führt (Anlage 5.2).

Die etwa 230 m westlich der Abbaufelder gelegene Strecke 522 wurde von Ende 1981 bis Mitte 1982 in Richtung Norden verlängert (Anlagen 5.2, 5.4). Die 1 Woche nach dem Auffahren der Kalotte im Bereich der Strecke begonnenen Konvergenzmessungen zeigen zunächst eine starke Zunahme der Konvergenzen. Die Konvergenz-Zeit-Kurven, für die sich nach etwa 3 Monaten ein Abflachen andeutet, steigen bedingt durch das Nachschneiden der Sohle über 1 Monat hinweg wieder steil an. Danach nehmen die vertikale bzw. horizontale Konvergenz nur noch geringfügig auf 105 bzw. 45 mm zu (Anlage 5.4). Die im Vergleich zur Strecke 672 großen Konvergenzen sind vermutlich darauf zurückzuführen, daß hier zeitiger mit den Messungen begonnen wurde. Die im Vergleich zu den in der Strecke 672 erhaltenen Ergebnisse, schnelle Abnahme der Konvergenzraten, ist möglicherweise auf den geringen Abstand des Meßquerschnitts 522 zur Ortsbrust und deren stabilisierende Wirkung zurückzuführen.

Wie die Strecke 522 wurde auch die etwa 120 m vom Abbaufeld entfernt gelegene Strecke 552 nach Norden verlängert (Anlagen 5.2 und 5.4). Im Unterschied zur Strecke 522 wurde die Sohle im Bereich der Streckenverlängerung allerdings nicht nachgeschnitten. Die 2 Wochen nach der Auffahrung aufgenommenen Messungen ergeben horizontale Konvergenzen von 2 bis 3 mm und vertikale Konvergenzen von etwa 15 mm. Der größte Anteil der vertikalen Konvergenzen ist etwa 3 Monate nach

dem Auffahren eingetreten, danach beträgt die Verformungsgeschwindigkeit bis 1987 etwa 1 mm/a.

Die kleinen Konvergenzen in horizontaler Richtung sind vermutlich im wesentlichen darauf zurückzuführen, daß die Sohle hier nicht nachgeschnitten wurde. Die horizontale Meßstrecke liegt deshalb nur etwa 50 cm oberhalb der Sohle. Außerdem besitzt die Strecke im Meßquerschnitt einen relativ großen Abstand zum Liegenden. Dieser Einfluß führt möglicherweise zu einer Verringerung der vertikalen Konvergenzen.

#### 5.2.4 Meßergebnisse der Querschnitte 532/1, 542/1, 542/2, 552/1 und 552/3, zu II

Die hier aufgeführten Meßquerschnitte wurden in bestehenden Strecken eingerichtet, deren Auffahrung zum Zeitpunkt der Nullmessungen bereits mehrere Jahre zurücklag. Der Einfluß der Streckenauffahrung kann daher aus diesen Meßergebnissen nicht abgelesen werden, wohl aber ist es möglich, Einflüsse aus nachfolgenden Erweiterungen der Strecke selbst oder von Erweiterungen bzw. Neuauffahrungen von Nachbarstrecken aus den Ergebnissen abzulesen. Ebenso kann man Rückschlüsse auf das plastische, zeitabhängige Spannungsdehnungsverhalten des Gebirges ziehen.

Die 1975 aufgefahrne Strecke 552 liegt etwa 110 m westlich des Abbaufeldes (Anlage 5.2). Der Querschnitt 552/1 wurde 5 Jahre nach der Auffahrung etwa 10 m südlich einer Streckenkreuzung eingerichtet (Anlage 5.5). Innerhalb des 1. Jahres wurden vertikal 12 mm und horizontal 6 mm Verformungen gemessen, ehe sich nach der Streckenerweiterung ein starker Anstieg der Konvergenzen ergab. Die Verformungsgeschwindigkeiten nehmen danach nur langsam ab und vergrößern sich bald danach, vermutlich als Folge erneuter Erweiterungsarbeiten der Strecke 552 und der Erweiterung der Strecke 532. Auch in der folgenden, von Erweiterungsarbeiten freien Zeit klingen die Verformungen nur langsam ab. Bis 1987 wurden 249 bzw. 166 mm vertikale bzw. horizontale Konvergenzen gemessen (Anlage 5.5).

Der weiter nördlich gelegene Meßquerschnitt 552/3 wurde erst nach

Abschluß der Erweiterungsarbeiten eingerichtet. Die gemessenen Konvergenzen sind mit 68 bzw. 36 mm vertikaler und horizontaler Konvergenz zwar kleiner als im Querschnitt 552/1, es werden aber dennoch jährliche Zunahmen von 1 bis 2 mm gemessen.

In der etwa 30 m westlich der Strecke 552 gelegenen Strecke 542 wurde 4 Jahre nach der Streckenauffahrung und 1 Monat nach einer Streckenerweiterung der Meßquerschnitt 542/1 eingebaut (Anlagen 5.2 und 5.5). Aus der Erweiterung resultieren bis Mitte 1982 kleine Konvergenzen von 10 mm in horizontaler und vertikaler Richtung. Im Anschluß an die Erweiterung der Nachbarstrecken 532 und 552 ergibt sich aber ein starker Anstieg der Verformungsgeschwindigkeit, der erst nach einem Jahr wieder langsam abklingt. Bei Konvergenzen von 100 mm in vertikaler und 62 mm in horizontaler Richtung deutet sich 1987 ein Abklingen der Konvergenzen an.

Der etwa 100 m südlich von Querschnitt 542/1 gelegene Querschnitt 542/2 wurde im Februar 1981 in der Nähe einer Streckenkreuzung eingerichtet (Anlagen 5.2 und 5.5). Die Messungen zeigen bis Mitte 1982 gleichmäßig anwachsende Konvergenzen von 35 bzw. 28 mm in vertikaler bzw. horizontaler Richtung. Die große Verformungsgeschwindigkeit von über 20 mm/a ist vermutlich auf die vorausgegangene Erweiterung der Strecke 542 sowie die Nähe zur Streckenkreuzung zurückzuführen. Nach der Erweiterung der Nachbarstrecken 532 und 552 ergibt sich 1982 noch eine Steigerung der Verformungsgeschwindigkeit, die nach Beendigung der Arbeiten nur langsam abnimmt und auch nach mehreren Jahren noch erhebliche Werte aufweist. Bis zum Jahr 1987 wurden 148 bzw. 130 mm vertikale bzw. horizontale Konvergenzen gemessen. Die Verformungsgeschwindigkeit beträgt dabei gegen Ende des in Anlage 5.5 dargestellten Meßzeitraums etwa 4 mm/a bzw. 2 mm/a, so daß hier von einem weiteren Anwachsen der Konvergenzen auszugehen ist.

Die Meßeinrichtungen im Querschnitt 532/1 wurden etwa 2 Jahre nach dem Vortrieb der blind endenden Strecke 532 in einem Abstand von 3 m zur Ortsbrust eingebaut. Trotz des kleinen Abstandes zur Ortsbrust wurden vertikale und horizontale Konvergenzen von 12 bzw. 10 mm gemessen, wobei die Verschiebungen auch hier noch nicht zur Ruhe gekommen sind (Anlagen 5.2 und 5.5).

### 5.2.5 Meßergebnisse der Querschnitte 402/2 und 502/1, zu III

Die hier beschriebenen Meßergebnisse resultieren aus Querschnitten, in denen die tonsteinhaltigen Liegendschichten angeschnitten wurden. Darüber hinaus liegt der Querschnitt 402/2 in unmittelbarer Nähe des Abbaufeldes, und die Strecke 502 hat im Bereich des Querschnitts 502/1 nur einen geringen Abstand zur östlich gelegenen Nachbarstrecke. Die Meßeinrichtungen wurden erst 20 Jahre nach dem Auffahren eingebaut (Anlagen 5.2 und 5.6).

In der nur 20 m von den Abbaufeldern entfernt liegenden Strecke 402 wurde der Meßquerschnitt 402/2 4 Wochen nach einer Absenkung der Sohle eingerichtet (Anlagen 5.2 und 5.6). Die gemessenen Konvergenzgeschwindigkeiten sind sehr groß und nehmen nur sehr langsam ab. So beträgt die vertikale Verformungsgeschwindigkeit 3,5 Jahre nach dem Absenken der Sohle noch 15 bzw. 8 mm/a in vertikaler bzw. horizontaler Richtung bei Gesamtkonvergenzen von 122 bzw. 62 mm.

Im Unterschied zum Meßquerschnitt 402/2 wurde der Meßquerschnitt 502/1 eingerichtet, ehe in dieser Strecke die Sohle abgesenkt wurde. Bis dahin entwickeln sich die vertikalen Konvergenzen praktisch wie im Querschnitt 402/2. Als Folge des Nachschneidens der Sohle und des Breißens der Stöße erhöhen sich offenbar die Konvergenzgeschwindigkeiten. Bis zum Jahr 1987 wurden in diesem Querschnitt 390 mm vertikale und 80 mm horizontale Konvergenzen gemessen. Die Verformungsgeschwindigkeit verringert sich nur sehr langsam.

### 5.2.6 Bewertung der Ergebnisse der Konvergenzmessungen

Wie die Auswertung und Interpretation der gemessenen Konvergenzen zeigt, sind diese von einer Reihe von Einflüssen abhängig. Sehr große Verformungen und ein nur langsames Abklingen der Konvergenzen wurde in Querschnitten gemessen, in denen das Liegende angeschnitten wurde, die in der Nähe von Streckenkreuzungen liegen, die im Zwischenmittel liegen oder die einen geringen Abstand zum Abbaufeld haben. Das Aufweiten von Strecken und in einzelnen Fällen auch das Aufweiten von Nachbarstrecken führt ebenfalls zu einem Anwachsen der

Konvergenzen. In Querschnitten, die einen geringen Abstand vom Ende der Strecke haben, wie das beispielsweise bei den Meßquerschnitten 522/1, 532/1 und 552/4 der Fall ist, klingen die Konvergenzen verhältnismäßig schnell ab.

Eine Aussage darüber, wie sich die gemessenen Konvergenzen auf die gegenüberliegenden Meßpunkte verteilen, ist wegen des Meßprinzips nicht möglich. Auf der anderen Seite führten die Extensometermessungen nicht zu zuverlässigen Ergebnissen.

Nach Streckenbegehungen und den Erfahrungen des Bergbaubetriebes ist davon auszugehen, daß die vertikalen Konvergenzen zu einem großen Teil aus Sohlhebungen resultieren, da die Senkungen der Firste eher gering sind. Darüber hinaus sind die Verschiebungen am Weststoß vermutlich eher größer als die des Oststoßes.

Diese Aussagen findet man bestätigt, wenn man die Stöße, die Firste und die Sohlen der Strecken aufmerksam beobachtet. Dabei wird deutlich, daß das Gebirge an den Stößen - insbesondere auf der westlichen Seite - in der Regel stark überbeansprucht ist. Die Stöße klingen beim Abklopfen mit dem Hammer hohl und der Fels läßt sich in beiden Bereichen trotz seiner im ungestörten Zustand hohen Festigkeit leicht aus dem Verband lösen. Dasselbe trifft für das Gebirge unterhalb der Sohle zu. Dagegen erkennt man an der Firste kaum überbeanspruchte Zonen. Besonders deutlich erkennbar sind die Festigkeitsüberschreitungen in der Nähe des Abbaufeldes (Strecke 402) in der Nähe von Kreuzungen oder in Zonen, in denen die Strecken das Liegende oder das Zwischenmittel anschneiden. In den ersten beiden Fällen ist das auf die in diesen Bereichen besonders hohen Beanspruchungen des Gebirges zurückzuführen, während in den beiden letztgenannten Fällen offensichtlich die geringere Gebirgsfestigkeit der fraglichen Schichten ursächlich für die großen Konvergenzen ist.

Die Ergebnisse der in der Strecke 522 durchgeführten Versuchsinjektionen bestätigen ebenfalls zumindest teilweise die weiter oben getroffenen Aussagen. Hier wurden neben dem westlichen Stoß und unterhalb der Sohle bis in Tiefen von  $\approx 3$  m sehr hohe Zementaufnahmen

festgestellt, die sich nur durch Auflockerungen aufgrund der bei Festigkeitsüberschreitungen auftretenden Dilatanz zurückführen lassen [6]. Oberhalb der Firste ergaben sich dagegen praktisch keine Injektionsgutaufnahmen. Daraus kann man schließen, daß das Gebirge hier weitgehend elastisch geblieben ist.

Während ein Fels der hier vorliegenden Art bei Beanspruchungen unterhalb der Festigkeit erfahrungsgemäß ein weitgehend zeitunabhängiges Spannungsdehnungsverhalten aufweist, treten bei Festigkeitsüberschreitungen stark zeitabhängige Verformungen auf. Damit erklärt sich auch das nur sehr langsame Abklingen der Konvergenzraten.

Inwieweit die plastischen Verformungen - wegen des sehr leichten Ausbaus der Strecken - aus streckennahen Verformungen resultieren, kann aus Konvergenzmessungen nicht abgeleitet werden, da damit der Verlauf der Verformungen mit zunehmendem Abstand vom Hohlraum nicht erfaßt wird. Eine Aussage darüber, ob die Verformungen aus großräumigen Spannungsumlagerungen im Bereich der Grube resultieren, ist aufgrund der Ergebnisse der hier dargestellten Messungen ebenfalls nicht möglich.

## 6. Ergebnisse der Messungen in der Versuchsstrecke 532

### 6.1 Beschreibung des Meßprogramms

Die Aufweitung der Strecke 532 auf ein Kreisprofil mit 9,5 m Durchmesser soll als Nachweis dafür dienen, daß die Herstellung eines standsicheren Hohlraums, bei dem die Hohlraumrandverformungen und Gebirgsverformungen nach Beendigung des Vortriebs relativ schnell zur Ruhe kommen, möglich ist (vgl. Abschnitte 2.4, 5.2). Außerdem sollen die Ergebnisse eines baubegleitenden Meßprogramms wie erwähnt mit Hilfe von FE-Berechnungen interpretiert und daraus Aussagen zur Standsicherheit des Hohlraums und zu den felsmechanischen Kennwerte des Gebirges abgeleitet werden.

Zur Erfassung der Hohlraumrandverformungen und der Gebirgsverformungen werden 2 Extensometerquerschnitte angeordnet (532/6 und 532/7,

Anlagen 6.1 und 6.2). Die Extensometerquerschnitte liegen im mittleren Drittel der Versuchsstrecke und sind 14 m voneinander entfernt. In jedem Querschnitt sind 4 6-fach (E1, E2, E5, E6) und 2 5-fach (E3, E4) Stangenextensometer angeordnet.

Die in der Firste und im Hangenden auftretenden Verformungen werden durch den vertikal nach oben angeordneten Extensometer E1 und den etwa bankrecht, steigend gebohrten Extensometer E6 erfaßt. Die Verformungen des Ost- und Weststosses sowie der dahinter liegenden Gebirgspfeiler bis zu den Nachbarstrecken 542 und 522 werden durch die etwa im Einfallen des Unteren Lagers angeordneten Extensometer E2 und E5 gemessen. Die Sohlverformungen und die Verformungen des im Liegenden anstehenden Unteren Korallenooliths werden mit den Extensometern E3 und E4 gemessen. Bei diesen ursprünglich mit 6 Stangen ausgerüsteten Extensometern entfiel die kurze Stange nach dem Auffahren der Sohle, da zwischenzeitlich das Ausbruchprofil von 8,5 m auf 9,5 m Durchmesser vergrößert wurde. Da die Extensometer bereits vor der Aufweitung eingerichtet wurden, werden auch die dem Vortrieb voreilenden Verformungen miterfaßt. Lediglich die während der zum Verlegen des Extensometerkopfes erforderlichen Meßpause eintretenden Verformungen werden mit dem betroffenen Extensometer nicht erfaßt. Diese Verformungsanteile können nur näherungsweise aus den Ergebnissen der Konvergenzmessungen abgeleitet werden.

Mit den Extensometern werden parallel zur Bohrlochachse gerichtete Relativverschiebungen zwischen den einzelnen Meßpunkten gemessen. Nimmt man an, daß sich der Punkt im Bohrlochtiefsten nicht verschiebt, lassen sich die Relativverschiebungen in Absolutverschiebungen bzw. deren Komponenten parallel zur Bohrlochachse umrechnen. Als Kontrolle dafür, ob diese Annahme berechtigt ist, können Konvergenzmessungen, die zwischen zwei gegenüberliegenden Extensometern, z.B. E1 und E4, durchgeführt werden, herangezogen werden. Die Meßergebnisse aus der Konvergenzmessung muß der Summe der Verformungen der beiden Extensometerköpfe entsprechen.

Die Konvergenzen werden aus den oben genannten Gründen in den Extensometerquerschnitten und in 2 zusätzlichen nördlich bzw. süd-

lich davon gelegenen Meßquerschnitten gemessen (532/5 und 532/8, Anlage 6.1). Zur Kontrolle der Auswirkungen der Aufweitung auf die Nachbarstrecken sind auch dort Konvergenzmeßquerschnitte eingerichtet worden (522/5-8, 542/5-8, Anlagen 6.1 und 6.2). In den Konvergenzmeßquerschnitten werden jeweils die horizontale und vertikale Konvergenz sowie die Konvergenz in 2 Diagonalstrecken gemessen (Anlage 6.2).

Mit Inklinometern werden im Unterschied zu Extensometern die senkrecht zur Bohrlochachse auftretenden Verschiebungen gemessen. Da die Messung relativ zeitaufwendig ist, sind nur 2 Inklinometer parallel zu den etwa im Schichtfallen angeordneten Extensometern E2 und E5 in Meßquerschnitt 532/7 angeordnet worden (Anlagen 6.1 und 6.2). Die Bohrungen sind zu den Nachbarstrecken durchschlägig, so daß die Messungen von der Strecke 542 und 522 aus durchgeführt werden können ohne die Vortriebs- und Sicherungsarbeiten zu behindern.

Neben den Verformungsmessungen wurden auch Meßeinrichtungen, die der Erfassung der Belastung von Sicherung und Ausbau dienen, angeordnet.

Die Erfassung der Ankerkräfte erfolgt in 4 Querschnitten mit jeweils 6 Ankerkraftmeßdosen (Anlagen 6.1 und 6.3). Außerdem sind in 8 Querschnitten alle Anker mit einer "optischen" Gleitanzeige versehen (Anlagen 6.1 und 6.3). Bei Verschiebungen der Gleitmutter verformt sich die Meßeinrichtung, so daß ohne weiteren Geräteeinsatz festgestellt werden kann, ob eine Gleitbewegung stattgefunden hat.

Die Belastung des Spritzbetons wird durch Anordnung von Druckmeßdosen in 2 Meßquerschnitten erfaßt (Anlagen 6.1 und 6.3). Zur Messung der Tangentialspannung sind jeweils 2 Druckmeßdosen an 8 gleichmäßig über den Querschnitt verteilten Stellen angeordnet. Durch die Anordnung jeweils in dem inneren bzw. äußeren Teil der Spritzbetonschale kann auf die Randspannungen und damit auf die Schnittgrößen geschlossen werden.

Die an 4 Stellen im Querschnitt radial angeordneten Druckmeßdosen liefern die vom Gebirge auf den Spritzbeton übertragenen Radialspan-



nungen, die der Belastung der Spritzbetonschale entsprechen. Daneben wird die über die Stauchungsfugen hinweggeführte Bewehrung des Spritzbetons ständig im Hinblick auf eventuelle Stauchungen visuell untersucht.

## 6.2 Ergebnisse der Verformungsmessungen

### 6.2.1 Extensometermessungen

Aus den Ergebnissen der Extensometermessungen wurden zunächst die Verschiebungen der Extensometerköpfe, in Abhängigkeit von der Zeit abgeleitet, in den Anlagen 6.4 bis 6.9 dargestellt.

Außerdem sind in den Anlagen 6.11 und 6.12 die am Ende des Meßzeitraumes erhaltenen Verläufe der Verschiebungen entlang der verschiedenen Extensometer dargestellt. Dabei wurden die während des Abkoppelns der Extensometer eingetretenen Verschiebungen wie erwähnt aus den Konvergenzmessungen abgeleitet. Die in den Zeitverschiebungskurven dargestellten Verschiebungen stellen die Summe der bis zum jeweiligen Zeitpunkt gemessenen Relativverschiebungen zwischen dem tiefsten Extensometermeßpunkt und dem Extensometerkopf dar. Nach dem vortriebsbedingten Abkoppeln der Extensometer und dem Verlegen des Extensometerkopfes auf die Ausbruchlaibung des Kreisprofils, wurde die zuvor an der Berandung des Konradprofils gemessene Verschiebung mit berücksichtigt. Diese Vorgehensweise führt dazu, daß die hier dargestellten Verschiebungen etwas größer als die tatsächlich eingetretenen Hohlraumrandverschiebungen des Kreisprofils sind, da vor dem Abkoppeln nicht die Verschiebungen der späteren Ausbruchlaibung des Kreisprofils, sondern die des Konradprofils dargestellt sind (Anlage 6.10).

Die Anlage 6.4 enthält die Zeit-Verschiebungskurven für die Firstextensometer E1 und E6 des Meßquerschnittes 6. Die Zeit ist auf der Abszisse aufgetragen und die Verschiebungen, die zum Hohlraum hin gerichtet sind, sind mit negativen Vorzeichen auf der Ordinate aufgetragen. Die Zeitverschiebungslinien sind mit einem Kreissymbol für den Extensometer E1 und einem Dreiecksymbol für den Extensometer E6

gekennzeichnet. Zusätzlich sind die Stationen des Firstausbruchs, der Aufweitung im Bereich der Stösse und des Sohlausbruchs über der Zeit in das Diagramm eingetragen. Man erkennt, daß die Kalotte, die Stösse 1 und 2 von Süden nach Norden und die Sohle entgegengesetzt von Norden nach Süden vorgetrieben wurden (Anlagen 2.8, 6.4 bis 6.9). Aus dem Diagramm ist ersichtlich, daß erst nach dem Kalottendurchgang geringfügige Verformungen auftreten. Diese wachsen bis zum Durchgang des Vortriebs im Stoßbereich langsam auf Werte von 1,5 bis 2,0 mm an. Der bankrechte Extensometer zeigt dabei geringfügig größere Verschiebungen. Der Ausbruch im Bereich der Stösse und dabei insbesondere im tieferliegenden Bereich 2 (Anlage 2.8) führt im Januar 1989 zu einer weiteren Zunahme der Verschiebungen auf etwa 3,5 mm. Im Februar zeigen die Extensometer noch geringe Verschiebungszunahmen an. Bis Mitte April werden für den Extensometer E1 Verschiebungen von etwa 5,5 mm und für E6 etwa 6 mm gemessen. Danach treten nur noch geringfügige Verschiebungszuwächse auf.

Für die Darstellung der Zeit-Verschiebungskurven der Firstextensometer des Meßquerschnitts 7 wurde die oben beschriebene Darstellungsweise übernommen (Anlage 6.5). Die Extensometer zeigen praktisch gleiches Verformungsverhalten. Vor dem Durchgang des Kalottenvortriebs durch den Meßquerschnitt wurden mit weniger als 1 mm nur geringe Verschiebungen gemessen. Erst nach dem Kalottendurchgang im Dezember treten mit 1 bzw. 3 mm in Extensometer E1 bzw. E6 gewisse Verschiebungen auf, die bis in den Januar hinein noch geringe Zunahmen aufweisen. Durch den Vortrieb im Bereich der Stösse und der Sohle werden im Januar bzw. Februar weitere Verschiebungen ausgelöst, die zu Gesamtwerten von 3,7 mm für E1 und 6,9 mm für E6 führen. Danach ergeben sich nur noch geringfügige Zunahmen.

Die Meßergebnisse der im Einfallen des Unteren Lagers angeordneten Extensometer E2 und E5 sind für den Meßquerschnitt 532/6 in der bereits bekannten Form in Anlage 6.6 dargestellt. Dem Kalottenvortrieb voreilende Verformungen wurden weder mit dem Extensometer E2 (Kreisymbol) noch mit E5 (Dreiecksymbol) gemessen. Erst nach dem Kalottendurchgang ergeben sich Verschiebungen von etwa 0,5 mm für Extensometer E2 und 2 mm für E5, die bis zum Durchgang im Bereich der Stösse aber weiter auf 1 bzw. 4 mm anwachsen. Mit dem Durchgang des

Vortriebs im oberen Bereich der Stösse werden zusätzliche Verschiebungen im Extensometer E2 ausgelöst, während der tiefer liegende Extensometer E5 erst mit dem Ausbruch im unteren Bereich der Stösse zusätzliche Verschiebungen anzeigt. Im Extensometer E2 treten dabei nur geringe Verschiebungen von insgesamt etwa 4,5 mm auf, die aber noch weiter zunehmende Tendenz aufweisen. Im Unterschied dazu werden im Extensometer E5 sehr große zusätzliche Verschiebungen von etwa 30 mm gemessen. Dabei zeigt sich erst etwa 2 Wochen nach dem Ausbruch im unteren Bereich der Stösse eine langsam abnehmende Verschiebungsgeschwindigkeit. Der Vortrieb der Sohle Ende Februar führt zu keiner Beeinflussung der Verschiebungen am Extensometer E2, der bis Ende März nur Verschiebungen von etwa 6 mm aufweist. Im Unterschied dazu werden durch den Vortrieb der Sohle mit dem Extensometer E5 Verschiebungszuwächse von etwa 10 mm gemessen. Nach dem Vortrieb der Sohle nimmt die Verschiebungsgeschwindigkeit auch in diesem Extensometer innerhalb von 3 bis 4 Wochen ab, so daß sich etwa Ende März eine Konvergenz der Verschiebungen gegen ihre Endwerte ergeben hat.

Die Extensometer E2 und E5 im Meßquerschnitt 532/7 zeigen keine Unterschiede zu den oben beschriebenen Ergebnissen (Anlage 6.7). Die dem Vortrieb vorauseilenden Verschiebungen sind sehr klein. Durch den Kalottenvortrieb werden Verschiebungen von etwa 2 bzw. 6 mm im Extensometer E2 bzw. E5 hervorgerufen. Erst durch den Ausbruch im Bereich der Stösse und der Sohle wurden größere Verschiebungen verursacht. Der etwa Mitte Februar in beiden Kurven auftretende Knick ist auf Arbeiten in der Sohle zum Tieferlegen der beiden Sohlextensometer E3 und E4 zurückzuführen. Der Durchgang des Sohlvortriebes führt im Unterschied zum Querschnitt 532/6 auch beim Extensometer E2 zu zusätzlichen Verschiebungen von etwa 6 mm. Mit dem Extensometer E5 werden zusätzliche Verschiebungen von etwa 8 mm registriert.

Die Verschiebungszuwächse klingen beim Extensometer E2 innerhalb von 2 Wochen ab, während es beim Extensometer E5 doch immerhin 4 bis 6 Wochen dauert, ehe die Verschiebungsgeschwindigkeit bis auf Null abnimmt.

Die Zeit-Verschiebungslinien für die Sohlextensometer sind in den Anlagen 6.8 bzw. 6.9 für die Querschnitte 532/6 bzw. 532/7 darge-

stellt. Der Vortrieb der Kalotte im Meßquerschnitt 532/6 wirkt sich zunächst nur unwesentlich auf die in den Sohlextensometern gemessenen Verschiebungen aus. Insbesondere bei dem Extensometer E3 (Kreisymbol), der bankrecht angeordnet ist, zeigen sich jedoch mit der Zeit zunehmende Verschiebungen, die bis zur Aufweitung im Bereich der Stösse auf etwa 4 mm anwachsen. Mit dem Vortrieb im Bereich der Stösse insbesondere mit dem Vortrieb des tieferliegenden Bereiches 2, zeigen sich größere Verschiebungen. Mit dem vertikal angeordneten Extensometer E4 (Dreiecksymbol) werden zusätzlich etwa 4 mm Sohlhebungen gemessen, während sich der Kopf des bankrecht angeordneten Extensometers E3 um etwa 25 mm hebt. Die Verschiebungsgeschwindigkeit des Extensometers E4 nimmt nach dem Durchgang der Aufweitung im Bereich 2 schnell ab. Im Unterschied dazu zeigt sich beim Extensometer E3 bis zum Durchgang des Sohlvortriebs keine wesentliche Abnahme der Verschiebungsgeschwindigkeit. Nach dem Sohlvortrieb wurden am Extensometer E3 noch zusätzliche Verschiebungen von etwa 20 mm gemessen. Die Verschiebungsgeschwindigkeit nimmt innerhalb von etwa 2 bis 3 Wochen nahezu auf Null ab. Dieses Verhalten, das nach den vorher beobachteten, aus dem Vortrieb im Bereich der Stösse resultierenden, lang anhaltenden Verschiebungsgeschwindigkeiten nicht zu erwarten war, ist vermutlich auf den Einfluß der Sicherung, die erst nach dem Sohlausbruch eingebracht wurde, zurückzuführen. Am Extensometer E4 wurden nur geringe aus dem Sohlausbruch resultierende Sohlhebungen von etwa 4 mm gemessen. Auch klingen die Verschiebungen innerhalb von etwa 2 bis 3 Wochen nach dem Vortrieb ab.

Im Meßquerschnitt 532/7 zeigen die Sohlextensometer wiederum ein ähnliches Verhalten (Anlage 6.9). Durch den Vortrieb der Kalotte werden Verschiebungen ausgelöst, die bis zum Ausbruch im Bereich der Stösse im Januar auf etwa 1,5 mm bzw. 6 mm für den vertikal angeordneten Extensometer E4 und den bankrecht angeordneten Extensometer E3 anwachsen. Durch die Aufweitung im Bereich der Stösse ergeben sich für den Extensometer E4 2 mm und für den Extensometer E3 etwa 20 bis 25 mm an zusätzlichen Hebungen. Beim Extensometer E4 zeigt sich dabei ein rasches Abklingen, während beim Extensometer E3 ein Abklingen der Verschiebungen nicht erkennbar ist. Der Knick in den Zeit-Verschiebungslinien Mitte Februar ist auf Ausbrucharbeiten zum Ver-

legen dieser Extensometer auf die vorgesehene Ausbruchlaibung zurückzuführen. Durch den Sohlvortrieb wurden an den Extensometern E4 und E3 etwa 4 bzw. 10 bis 12 mm zusätzliche Sohlhebungen verursacht. In beiden Extensometern zeigt sich jedoch bereits 2 bis 3 Wochen nach dem Vortrieb ein Abklingen der Verschiebungen.

Wie die Zeit-Verschiebungskurven erkennen lassen, sind die Meßpunkte aller Extensometer praktisch in Ruhe. Bei 5 Extensometern (532/6: E1, E4, E6; 532/7: E4, E6) wurden von Ende April bis Ende Juni Zunahmen von maximal 0,2 mm gemessen. Diese Werte liegen im Bereich der Meßgenauigkeit.

Die aus den Extensometermessungen resultierenden Verformungen der Hohlraumwand und des Gebirges sind in den Anlagen 6.11 und 6.12 dargestellt. Die Ermittlung der Verschiebungen der Hohlraumwand aus den vor dem Abkoppeln der Extensometer erhaltenen Meßergebnissen wurde auf dem in Anlage 6.10 dargestellten Wege durchgeführt. Die für die einzelnen Extensometermeßpunkte ermittelten Verschiebungen sind jeweils für das Meßintervall vor und nach dem Verlegen des Extensometerkopfes senkrecht zur Bohrlochachse aufgetragen. Durch Interpolation der Meßwerte des Extensometerkopfes und des 1. Meßpunktes läßt sich die Verschiebung der Hohlraumlaibung für das 1. Meßintervall ermitteln. Die Gesamtverschiebungen ergeben sich dann aus Addition der in den jeweiligen Meßintervallen erhaltenen Ergebnisse.

In den Anlagen 6.11 und 6.12 sind die Ergebnisse der so bereinigten Extensometermessungen dargestellt. In der Darstellung sind die parallel zum Extensometer gerichteten Verschiebungen senkrecht zur Bohrlochachse aufgetragen. Wie man erkennt, haben beide Meßquerschnitte zu nahezu identischen Ergebnissen geführt. In der Firste ergeben sich Senkungen von 0,4 bis 0,7 cm. Ein geringfügig größerer Verschiebungsgradient in der Nähe der Ausbruchlaibung deutet auf größere Zerrungen hin, die vermutlich auf Festigkeitsüberschreitungen zurückzuführen sind.

In den etwa parallel zum Einfallen des Unteren Lagers angeordneten Extensometern E2 und E5 zeigen sich wie oben bereits beschrieben große Unterschiede. Mit den nach Westen zur Strecke 522 gerichteten Extensometern wurden die größten Verschiebungen der Hohlraumlaibung von 4,6 bzw. 4,1 cm gemessen.

Diese großen Verschiebungen reichen im Meßquerschnitt 532/6 etwa 8 bis 10 m und im Meßquerschnitt 532/7 etwa 3 bis 4 m in den Gebirgs-pfeiler hinein. Die größten Verschiebungsgradienten ergeben sich auch hier in dem an den Hohlraum grenzenden Bereich. Die an den zur Strecke 542 gerichteten Extensometern E2 gemessenen Verschiebungen sind deutlich kleiner. Im Meßquerschnitt 532/7 wurden 1,3 cm und in 532/6 nur 0,6 cm große Verschiebungen für den Hohlraumrand gemessen. Die Bereiche mit einem größeren Verschiebungsgradienten besitzen eine Tiefe von etwa 2 m im Meßquerschnitt 532/6 bzw. 4 m im Meßquerschnitt 532/7.

Auch die an den Sohlextensometern gemessenen Verschiebungsverläufe zeigen eine gute Übereinstimmung. In den bankrecht angeordneten Extensometern E3 wurden im Querschnitt 532/6 3,0 cm und im Querschnitt 532/7 3,3 cm Sohlhebungen gemessen. Während sich im Querschnitt 532/7 der Bereich mit den größten Verschiebungsgradienten im wesentlichen auf das Erzlager beschränkt, also etwa 1,5 bis 2 m in das Gebirge reicht, erstreckt sich im Querschnitt 532/6 dieser Bereich etwa 4 bis 5 m in das Gebirge und damit auch in die tonsteinreichen Schichten des Unteren Korallenooliths hinein.

In dem vertikal angeordneten Extensometer E4 ergeben sich in beiden Querschnitten 532/6 bzw. 532/7 mit 0,8 bzw. 1,2 cm gegenüber den bankrecht angeordneten Extensometern deutlich kleinere Verschiebungen. Die Bereiche mit einem größeren Verschiebungsgradienten sind sehr klein bzw. nicht vorhanden. Im Vergleich mit den bankrechten Extensometern zeigt sich im Querschnitt 532/7 ab etwa 2-3 m Entfer-

nung vom Hohlraumrand eine gute Übereinstimmung der gemessenen Verschiebungen. Diese Übereinstimmung ist im Querschnitt 532/6, für den der Extensometer E4 im ganzen Bereich deutlich kleinere Verformungen anzeigt, nicht gegeben.

### 6.2.2 Konvergenzmessungen

Da der Informationsgehalt der Konvergenzmessungen im Vergleich zu den Extensometermessungen sehr gering ist, wird hier auf die Darstellung der Ergebnisse der in der Strecke 532 im Bereich der Aufweitung durchgeführten Konvergenzmessungen verzichtet. Dagegen werden die Ergebnisse der in der Strecke 542 und 522 durchgeführten Konvergenzmessungen beispielhaft für die Querschnitte 522/6 und 542/6 als Zeit-Verformungskurven dargestellt (Anlagen 6.13 und 6.14). Als Folge der vergleichsweise geringen Meßgenauigkeit der Konvergenzmeßgeräte und der kleinen Verformungsdifferenzen weisen die Kurven einen unruhigen Verlauf auf. Die im Querschnitt 542/6 durchgeführten Messungen ergeben eine horizontale und vertikale Konvergenz von jeweils etwa 3 mm in der Zeit von Oktober '88 bis Juni '89 (Anlage 6.13).

Eine Abhängigkeit vom Vortrieb in der Strecke 532 ist nicht erkennbar. Die sich aus der Konvergenz errechnende Verformungsgeschwindigkeit von etwa 4 mm/a ist wie erwähnt auch in anderen praktisch ungesicherten Strecken der Schachtanlage Konrad gemessen worden (s. Abschnitt 5.2), so daß ein Einfluß der Aufweitung der Strecke 532 auf die Nachbarstrecken praktisch ausgeschlossen werden kann.

In der westlich gelegenen Strecke 522 wurden im Meßquerschnitt 522/6 in der Zeit von Oktober '88 bis Juni '89 etwa 1 mm horizontale und 6 mm vertikale Konvergenz gemessen (Anlage 6.14). Eine direkte Abhängigkeit vom Vortrieb der Strecke 532 ist auch hier nicht erkennbar, so daß davon ausgegangen werden kann, daß eine Beeinflussung der Nachbarstrecken durch die Aufweitung der Strecke 532 praktisch nicht gegeben ist.

Die Ergebnisse von Konvergenzmessungen in bestehenden Meßeinrichtungen nördlich der Versuchsstrecke 532 sind in Anlage 6.15 darge-

stellt. Es handelt sich dabei um die automatisch aufzeichnenden Meßquerschnitte M1 und M2 und den herkömmlichen Konvergenzmeßquerschnitt K532/2 [30] (Anlage 6.15).

Der Meßquerschnitt K532/2 liegt etwa 10 m nördlich der Aufweitung der Strecke 532. Eine Beeinflussung der Konvergenzen dieses Meßquerschnittes durch die Aufweitungsarbeiten ist nicht erkennbar. Die Meßergebnisse, die auch hier in Form von Zeit-Verformungskurven dargestellt sind (Anlage 6.15), nehmen mit einer etwa konstanten Verformungsgeschwindigkeit von 2,5 bis 3 mm/a zu. Auch in den weiter nördlich gelegenen Meßquerschnitten M1 und M2 zeigt sich keine Beeinflussung der Zeit-Verformungskurven durch die Aufweitung der Strecke 532. Die Konvergenzen zeigen ebenfalls konstante Verformungsgeschwindigkeiten von etwa 0,5 bis 1 mm pro Jahr an (Anlage 6.15). Die vergleichsweise geringen Verformungsgeschwindigkeiten sind vermutlich in dem kleinen Abstand von etwa 20 bzw. 40 m, den dieser Meßquerschnitt zur Ortsbrust hat, begründet.

### 6.2.3 Inklinometermessungen

Die Ergebnisse der Inklinometermessungen liegen als Rohdaten vor. Die Auswertung dieser Daten ergibt, daß sich in den Bohrungen I1 und I2, die parallel zu den Extensometern E2 bzw. E5 gerichtet sind (Anlage 6.2), quer zur Bohrlochachse nach unten gerichtete Verschiebungen von etwa 1,0 bis 1,5 cm ergeben. Eine weitere Zunahme der Verschiebungen ist seit etwa April nicht mehr erkennbar.

### 6.3 Spannungsmessungen

Die Ergebnisse der bisher durchgeführten Spannungsmessungen werden hier nicht erläutert, da das Meßprogramm erst mit dem Schließen der Fugen im Spritzbeton und dem Einbau der 2. Lage des Spritzbetons vervollständigt wird (s. Abschnitt 6.1, Anlage 6.3). Bislang sind nur die zwischen Spritzbeton und Gebirge und die in der äußeren Spritzbetonlage angeordneten Druckmeßdosen eingebaut. Auf eine Darstellung der bisher durchgeführten Messungen wird aus den oben



genannten Gründen verzichtet. Es kann jedoch festgestellt werden, daß die gemessenen Spannungen sehr gering sind.

#### 6.4 Ankerkraftmessungen

Die Ankerkraftmessungen konnten wegen langer Lieferzeiten der Ankerkraftmeßgeber erst im April installiert werden. Da ab diesem Zeitpunkt nur noch geringfügige Verschiebungen aufgetreten sind (s. Abschnitt 6.2), zeigen auch die Ankerkraftmeßgeber nur geringe Änderungen. Daher wird auf die Darstellung der Ergebnisse verzichtet.

### 7. Finite-Element-Berechnungen zur Interpretation der beim Aufweiten der Strecke 532 gemessenen Gebirgsverformungen

#### 7.1 Beschreibung des Berechnungsverfahrens

Die statischen Berechnungen werden mit Hilfe des Rechenprogramms FEST03, das auf der Methode der Finiten Elemente beruht, auf der büroeigenen Rechenanlage Micro-Vax II von Digital Equipment Corp. durchgeführt. Das Programm FEST03 wurde speziell für Standsicherheitsuntersuchungen von Hohlraumbauten, Böschungen, Baugruben und anderen in Boden und Fels gegründeten Bauwerken entwickelt. Es erlaubt auf wirtschaftliche Weise, zwei- und dreidimensionale Berechnungen unter Berücksichtigung der beim Aushub von Baugruben und beim Tunnelvortrieb auftretenden Bauzustände durchzuführen. Ausführlich ist das Programmsystem in [5] beschrieben. Im folgenden wird die dem Programm zugrundeliegende Modellvorstellung für das Spannungsdehnungsverhalten des Untergrundes in kurzer Form erläutert.

Im Programmsystem FEST03 wird das Spannungsdehnungsverhalten des Gebirges durch eine elastisch-viskoplastische Spannungsdehnungsbeziehung beschrieben, die vereinfacht dem in Anlage 7.1, links oben dargestellten rheologischen Modellkörper entspricht. Dieser besteht im eindimensionalen Fall aus einer Feder, der in einer Parallelschaltung ein Gleitelement und ein viskoser Dämpfer nachgeschaltet sind.

Unter einer Spannung  $\sigma$  wird zunächst die Feder elastisch gedehnt bzw. gestaucht. Diese Verformungen bzw. Dehnungen sind bis zum Er-

reichen der Grenzspannung  $\zeta_f$  proportional zur aufgebrauchten Spannung und treten ohne zeitliche Verzögerung auf (vgl.  $\xi^{el}$  in Anlage 7.1). Im isotropen Fall lassen sich diese Verformungen durch die Elastizitätskonstanten E und  $\nu$  beschreiben. Mit dem Programmsystem FESTO3 ist auch die Berücksichtigung eines anisotropen elastischen Verhaltens (z.B. transversale Isotropie, Orthotropie) möglich.

Wird die Grenzspannung  $\zeta_f$  überschritten, so kommt es am Gleitelement zu einer plastischen Verschiebung, die in dem in Anlage 7.1 dargestellten eindimensionalen Fall über alle Grenzen anwächst, weil dieser Bewegung außer dem Widerstand des Gleitelements keine Spannung entgegenwirkt. Der parallel zum Gleitelement angeordnete Dämpfer bewirkt lediglich eine zeitliche Verzögerung dieser Bewegung (viskoplastische Verformung bzw. Dehnung in Anlage 7.1).

Die Festigkeit des Gebirges wird in dem eindimensionalen rheologischen Modell durch das Gleitelement repräsentiert. Im Programmsystem FESTO3 wird dieses Modell auf dreidimensionale Spannungszustände übertragen. Dabei wird für die Scherfestigkeit das Bruchkriterium nach Mohr-Coulomb verwendet und für den Fall einer begrenzten Zugfestigkeit erweitert ("tension-cut-off-Kriterium", vgl. unteres Diagramm in Anlage 7.1). Die Bruchbedingung wird in beiden Fällen durch die Nullstellen einer "failure-Funktion" F formuliert ( $F = 0$ ). Der elastische Bereich ist durch die Bedingungen  $F \leq 0$  gekennzeichnet. Spannungszustände mit  $F > 0$  führen zu Spannungsumlagerungen, die mit viskoplastischen Verformungen verbunden sind.

Mit dem Programmsystem FESTO3 können sowohl eine Abnahme der Festigkeit nach Erreichen des Bruchzustandes (Restfestigkeiten) als auch Anisotropien der Festigkeit berücksichtigt werden. Eine Anisotropie der Festigkeit kann insbesondere dann im Gebirge vorhanden sein, wenn es von einer oder mehreren Trennflächenscharen durchzogen wird, bei denen die Scherfestigkeit parallel zu den Trennflächen und die Zugfestigkeit senkrecht dazu kleiner sind als die der Matrix.

Die Beschreibung des mechanischen Verhaltens des Gebirges nach Überschreiten der Festigkeit in der Matrix oder auf den Trennflächen ( $F > 0$ ) erfolgt im Programmsystem FEST03 wie oben erwähnt nach der Theorie der Viskoplastizität. Im Anschluß an eine elastische Berechnung wird dabei eine lokale Differenz zwischen der unzulässigen Beanspruchung des Gebirges und seiner Festigkeit im Rahmen einer Iterationsrechnung in Nachbarbereiche umgelagert. Diese Spannungsumlagerung ist abgeschlossen, wenn an jeder Stelle des Gebirges die Beanspruchung höchstens gleich der Festigkeit bzw. der Restfestigkeit ist. Das Erreichen eines solchen Gleichgewichtszustandes erkennt man an einer Konvergenz der plastischen Verformungsanteile.

Die viskoplastischen Dehnungsraten bzw. Dehnungen können auf der Grundlage einer assoziierten oder einer nichtassoziierten Fließregel ermittelt werden. Dabei ist eine Berücksichtigung von Volumenzunahmen, wie sie im Zuge der Spannungsumlagerungen im plastischen Gebirgsbereich auftreten kann, möglich. Diese Volumenzunahme kann beispielsweise durch Verschiebungen bedingt sein, die sich bei einer Schubbeanspruchung von im Gebirge vorhandenen Trennflächen senkrecht zu den Trennflächen einstellen können. Ihre Größe wird neben dem Spannungszustand durch die Rauigkeit der Trennflächen bestimmt und innerhalb des verwendeten Rechenprogramms durch die entsprechende Wahl des zugehörigen Dilatanzwinkels beeinflusst.

Mit der beschriebenen elastisch-viskoplastischen Modellvorstellung für das Spannungsdehnungsverhalten des Gebirges ist es möglich, die zeitliche Veränderung der plastischen Zonen in der Umgebung eines Hohlraumes zu erfassen. Dies ist insbesondere für die Beschreibung des mechanischen Verhaltens des Erzlagere sowie der darüber- und darunterliegenden Schichten, die nach den Ergebnissen der Konvergenz- und Extensometermessungen ein ausgeprägt zeitabhängiges Verhalten zeigen, von Bedeutung.

## 7.2 Berechnungsausschnitt und Elementnetz

Da die alten Abbaufelder in Nord-Süd-Richtung eine wesentlich größere Erstreckung haben als in Ost-West Richtung (s. Anlage 7.2),

kann man davon ausgehen, daß das Gebirge die aus dem Abbau resultierenden Lasten im wesentlichen in Ost-West-Richtung abträgt. Diese Feststellung wird auch durch die Form der Senkungsmulde gestützt. Die Berechnungen werden deshalb an einem in Ost-West-Richtung verlaufenden Gebirgsausschnitt durchgeführt, dessen Lage der Anlage 7.2 entnommen werden kann (Schnitt II-II). Der Berechnungsausschnitt liegt demnach unmittelbar am Übergang vom in Ost-West Richtung gemessenen ca. 470 m breiten zum ca. 210 m breiten Spülversatzfeld. Durch die Berücksichtigung der beiden Grenzfälle - zum einen breiter und zum anderen schmaler Abbaufeldbereich - in den Berechnungen kann der Einfluß der Ausdehnung der Abbaufelder auf die Strecke 532 festgestellt werden.

Der gewählte Berechnungsausschnitt (s. Anlage 7.3) hat eine Dicke von 1 m und bildet das Gebirge in einer Breite von 3000 m und einer Tiefe von 1880 m unter der Geländeoberfläche nach. Der gesamte Ausschnitt wird in 2948 finite Elemente mit 2 x 3011 Knotenpunkten aufgeteilt (Netz G). Der Aufbau des Netzes erlaubt neben der Berücksichtigung der geologischen Verhältnisse, gemäß der Beschreibung in Kapitel 3, die Simulation des Ausbruchs der Abbaufelder, des Ausbruchs der Strecken 502-402 im Konradprofil, der Aufweitung der Strecke 532 auf ein Kreisprofil sowie des Einbaus einer Spritzbetonsicherung in der Strecke 532. Die hierzu erforderliche Netzeinteilung im Nahbereich der Abbaufelder und der Strecken ist im Detail in der Anlage 7.4 dargestellt.

Die gewählten Randbedingungen sind in der Anlage 7.3 dargestellt. Die Knoten auf der unteren Begrenzungsebene werden in z-Richtung festgehalten und sind in x-Richtung verschieblich, während die Knoten auf den seitlichen Begrenzungsebenen in x-Richtung festgehalten werden und in z-Richtung verschieblich sind. In der y-Richtung sind sämtliche Knoten beider Knotenebenen unverschieblich.

### 7.3 Rechnerische Simulation des Ausbruchs der Abbaufelder und der Strecken

Die Berechnungen mit dem Programmsystem FEST03 werden bei dem vor-

liegenden Problem in 5 Rechenschritten durchgeführt (s. Anlagen 7.5 bis 7.9). Im 1. Rechenschritt wird der Primärfall, d.h. der Zustand vor der Errichtung des Grubengebäudes, untersucht. Der Primärspannungszustand im unverritzten Gebirge ergibt sich dabei unter Berücksichtigung der elastischen Konstanten der einzelnen Schichten (vgl. Anlage 7.5) aus dem Eigengewicht des Felses und der Verhinderung der Querdehnung. Die Berechnung dieses Schrittes wird als elastische Berechnung, d.h. ohne Berücksichtigung der Festigkeiten der einzelnen Schichten ausgeführt.

Im 2. Rechenschritt (Anlage 7.6) wird der bis 1976 durchgeführte Abbau des Erzlagere (Unteres Lager) in vereinfachter Form rechnerisch simuliert. Dabei wird angenommen, daß das Erzlager in der gesamten Dicke im Bereich der Abbaufelder abgebaut und durch eingebrachtes Versatzmaterial ersetzt wird. Die zwischen den einzelnen Abbaubereichen verbliebenen Gebirgspfeiler werden nicht diskret simuliert, sondern durch den Ansatz eines "verschmierten" Elastizitätsmoduls für das Pfeiler-Versatz-System berücksichtigt. In unterschiedlichen Berechnungen wird zu Vergleichszwecken zum einen das Abbaufeld mit geringerer Breite (ca. 210 m) und zum anderen das Abbaufeld mit größerer Breite (ca. 470 m) berücksichtigt (vgl. Anlage 7.2). Die Berechnungen werden jeweils als elastisch-viskoplastische Iterationsrechnungen unter Berücksichtigung der Festigkeit des Gebirges durchgeführt.

Im 3. Rechenschritt wird der gleichzeitige Ausbruch der westlich des Abbaufeldes liegenden Strecken 502-402 im Konradprofil simuliert (s. Anlage 7.7). Dazu werden den innerhalb des Streckenprofils gelegenen Elementen die Kennwerte von "Luft" zugewiesen. Der Einbau einer Sicherung in den Strecken wird nicht berücksichtigt. Auch im 3. Rechenschritt wird die Berechnung als elastisch-viskoplastische Iterationsrechnung durchgeführt.

Im 4. Rechenschritt wird die Aufweitung der Strecke 532 auf das aufgefahrene Kreisprofil simuliert (s. Anlage 7.8). An die elastische Berechnung der Spannungen und Verformungen schließt sich wiederum eine viskoplastische Iterationsrechnung an. Der Einbau von Siche-

rungsmitteln im aufgeweiteten Streckenquerschnitt wird im 4. Rechenschritt noch nicht berücksichtigt.

Erst im 5. Rechenschritt (Anlage 7.9) wird der Einbau der Spritzbetonschale in der aufgeweiteten Strecke 532 simuliert.

Durch die Berücksichtigung der Aufweitung des Querschnitts und den Einbau der Schale in 2 getrennten Rechenschritten (4. und 5. Rechenschritt) wird der verzögerte Einbau der Schale nachgebildet. Hierdurch können sich wie in der Natur bereits vor dem Einbau der Schale Spannungsumlagerungen und sowohl elastische als auch viskoplastische Verschiebungen im Gebirge einstellen, die zu einer geringeren Beanspruchung der Sicherung führen, als es bei einem sofortigen Einbau der Fall wäre. Die im Verlauf des 5. Rechenschrittes in der Schale entstehenden Schnittgrößen können zum Abschluß der Berechnung ermittelt werden.

#### 7.4 Referenzfall

##### 7.4.1 Felsmechanische Kennwerte

In der Anlage 7.10 sind die felsmechanischen Kennwerte für den Fall G4, der als Referenzfall bezeichnet wird, zusammengestellt. Es handelt sich dabei um Angaben zur Wichte, zur Verformbarkeit sowie zur Druck- und Zugfestigkeit des Gebirges.

Für die Wichte der Schichten wurde einheitlich  $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$  angenommen. Lediglich für das Ersatzmaterial im Bereich des Abbaufeldes, mit dem wie bereits erwähnt der Versatz und die verbliebenen Gebirgspfeiler berücksichtigt werden sollen, wird eine Wichte von  $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$  angenommen. Grundwasser bzw. die Wirkung von Auftriebskräften wird nicht berücksichtigt.

Die Verformbarkeit des Gebirges, ausgedrückt durch die elastischen Kennwerte  $E$  und  $\nu$ , wird als näherungsweise isotrop vorausgesetzt. In Anlehnung an die Ergebnisse von Feld- und Laborversuchen und die in Kapitel 4 vorgenommenen Einschätzungen werden Elastizitätsmoduln von

2000 MPa und 6000 MPa für die einzelnen Schichten angenommen. Die Zuordnung zu den Schichten ist im einzelnen der Anlage 7.10 zu entnehmen. Im Hinblick auf die Versuchsergebnisse stellen die E-Moduln eine vorsichtige Einschätzung dar. Für das Ersatzmaterial im Bereich des Abbaufeldes, das im Referenzfall mit einer Breite von ca. 210 m berücksichtigt wird, wird ein E-Modul von 100 MPa angenommen. Das entspricht etwa der Verformbarkeit eines Kieles oder Kiessandes.

Die Poissonzahlen der einzelnen Gebirgsschichten werden in Anlehnung an die jeweiligen E-moduln festgelegt. Erfahrungsgemäß ergeben sich die Poissonzahlen bei größerer Verformbarkeit größer als bei geringerer Verformbarkeit. Die angenommenen Zahlenwerte können im einzelnen der Anlage 7.10 entnommen werden.

Während für die Schichten der Kreide und des Braunjura sowie für das Ersatzmaterial im Bereich des Abbaufeldes von einem rein elastischen Materialverhalten ausgegangen wird, wird bei den anderen Schichten (Unterer Korallenoolith bis Kimmeridge) die Festigkeit des Gebirges, ausgedrückt durch die Scherparameter  $c$  und  $\psi$ , berücksichtigt (Anlage 7.10). Auch diese Parameter werden im Hinblick auf die Ergebnisse der durchgeführten Laborversuche relativ vorsichtig eingeschätzt (vgl. Kapitel 4). Die Zugfestigkeit des Gebirges wird grundsätzlich für alle zwischen dem Braunjura und der Kreide liegenden Schichten zu Null angenommen.

#### 7.4.2 Primärzustand und Ausbruch mit Versatz des Abbaufeldes

Im 1. Rechenschritt (vgl. Anlage 7.5) werden die Spannungen und Verformungen für den ungestörten Zustand im Gebirge vor Beginn der bergbaulichen Eingriffe ermittelt. Die sich hierbei ergebenden Spannungen in vertikaler Richtung ( $\sigma_z$ ) sind für einige schichtungsparallel geführte Schnitte in der Anlage 7.11 dargestellt. Daraus geht hervor, daß sich die Größe der Vertikalspannungen proportional zur Tiefe jeweils zu etwa  $\sigma_z = \gamma \cdot h$  ergibt. Für eine Tiefe von 1100 m beträgt die Vertikalspannung im Primärfall somit etwa  $\sigma_z = 27,5$  MPa. Die nicht dargestellten Horizontalspannungen ergeben sich aus der

Vertikalspannung und der Verhinderung der Seitendehnung zu  $\bar{\sigma}_x = k_0 \cdot \bar{\sigma}_z$  mit  $k_0 = \frac{\nu}{1-\nu}$ . Im vorliegenden Fall liegt der Seitendruckbeiwert etwa in der Größenordnung von  $k_0 = 0,5$ .

Nach dem Ausbruch des Abbaufeldes und dem rechnerisch gleichzeitig simulierten Einbau des Versatzmaterials (2. Rechenschritt, vgl. Anlage 7.6) ergibt sich die in der Anlage 7.12 großräumig dargestellte Verteilung der Hauptnormalspannungen. Aufgrund der großen Verformbarkeit des Versatzes im Abbaufeld bildet sich ein Gewölbe um das Abbaufeld herum aus. Hierdurch werden Spannungserhöhungen in den seitlich an das Abbaufeld angrenzenden Gebirgsbereichen hervorgerufen, die zu Überschreitungen der Festigkeit führen. In der Anlage 7.12 sind diese Bereiche, in denen sich solche Festigkeitsüberschreitungen ergeben und deren Ausdehnung dem ebenfalls dargestellten Detail entnommen werden kann, mit einem kreisförmigen Symbol im Spannungskreuz gekennzeichnet.

Für die bereits erwähnten schichtungsparallel geführten Schnitte sind in der Anlage 7.13 die vertikalen Spannungskomponenten  $\bar{\sigma}_z$  im 2. Rechenschritt dargestellt. Zum Vergleich sind noch einmal die entsprechenden Spannungen im Primärfall (1. Rechenschritt) mit eingezeichnet. Man erkennt, daß die Vertikalspannungen im Gebirge am Rand des Abbaufeldes bis auf etwa das Doppelte der vertikalen Primärspannungen anwachsen. Die Spannungserhöhung und somit auch die Ausdehnung der plastischen Zonen ist jedoch auf einen relativ kleinen Bereich seitlich des Abbaufeldes begrenzt. Daneben liegen nur geringfügige Störungen des primären Spannungszustandes vor. Oberhalb und unterhalb des Abbaufeldes tritt eine deutliche Verringerung der Vertikalspannungen ein, die zu einer Entlastung des Abbaufeldbereiches führt. Die Vertikalspannungen im Versatzmaterial innerhalb des Abbaufeldes stellen sich demzufolge in der gleichen Größe ein, wie im ober- und unterhalb angrenzenden Gebirge (s. Anlage 7.13).

Die aus dem Ausbruch des Abbaufeldes resultierenden Verschiebungen sind in Anlage 7.14 dargestellt. Die Senkungen an der Geländeoberkante sind mit 20 cm etwas geringer als die gemessenen Senkungen, die maximal ca. 27 cm betragen. In der Nähe des Abbaufeldes ergeben



sich deutlich größere Verschiebungen, die auf bis zu ca. 70 cm für Punkte direkt auf der Ausbruchlaibung anwachsen.

Unterhalb des Abbaufeldes stellen sich infolge der Entlastung Hebungen ein, die jedoch betragsmäßig und auch hinsichtlich ihrer Ausdehnung kleiner sind als die Senkungen bzw. deren Ausdehnung oberhalb des Abbaufeldniveaus.

An den seitlichen Rändern des Berechnungsausschnittes sind die Verschiebungen trotz der dort unbehinderten vertikalen Verschieblichkeit etwa Null. Daraus geht hervor, daß die gewählte Größe des Berechnungsausschnittes ausreichend ist.

#### 7.4.3 Auffahren der Strecken im Konradprofil

Im 3. Rechenschritt wird das Auffahren der im unteren Erzlager westlich des Abbaufeldes gelegenen Strecken 402-502 simuliert (vgl. Anlage 7.7). Auch hier treten in der näheren Umgebung der Strecken infolge der ausbruchbedingten Spannungumlagerungen Festigkeitsüberschreitungen auf, die zur Ausbildung der in der Anlage 7.15 dargestellten plastischen Zonen führen. Die im Verlauf des 2. Rechenschrittes (Ausbruch und Versatz des Abbaufeldes) im an das Abbaufeld angrenzenden Gebirgsbereich entstandenen plastischen Zonen sind in der Anlage 7.15 noch einmal mit dargestellt. Daraus geht hervor, daß die plastischen Zonen am Rande des Abbaufeldes wesentlich größer sind als diejenigen im Bereich der Strecken und bis in den Unteren Korallenoolith und das Zwischenmittel reichen. Die die Strecken umgebenden plastischen Zonen beschränken sich dagegen fast nur auf das Untere Erzlager (s. Anlage 7.15). Zwischen den einzelnen Strecken bleibt das Gebirge größtenteils elastisch, d.h. es treten dort keine Überschreitungen der Gebirgsfestigkeit auf. Dies gilt im wesentlichen auch für den Gebirgspfeiler zwischen der Strecke 402 und dem Abbaufeld, wenngleich hier die durch das Abbaufeld bedingten plastischen Zonen im Unteren Korallenoolith die plastischen Zonen infolge der Streckenauffahrung in einem kleinen Bereich tangieren.

In der Anlage 7.16 sind die Hauptnormalspannungen und die plasti-

schen Zonen im Bereich der Strecke 532 noch einmal im Detail dargestellt, wobei vor allem die zeitliche Entwicklung der plastischen Zonen im Verlauf der viskoplastischen Iterationsrechnung verdeutlicht werden soll. Im oberen Teil der Anlage 7.16 sind die Bereiche mit Festigkeitsüberschreitungen im Ausgangszustand unmittelbar nach Abschluß der elastischen Berechnung (vgl. Abschnitt 7.1) zum Zeitpunkt  $t = 0$  dargestellt. Da entsprechend dem in Abschnitt 7.1 erläuterten Bruchkriterium kein Gleichgewichtszustand vorliegt, müssen die überschüssigen Spannungen schrittweise in weniger stark beanspruchte Gebirgsbereiche umgelagert werden, bis zum Zeitpunkt  $t =$  ein Gleichgewichtszustand erreicht ist. Die Ausdehnung der zu diesem Zeitpunkt gehörenden plastischen Zonen sowie die Größe und Richtung der Hauptnormalspannungen sind im unteren Teil der Anlage 7.16 dargestellt.

Im Rechenmodell wird dabei zur Zeit eine fiktive Zeit bis zum Erreichen des neuen Gleichgewichtszustandes benötigt, die nicht mit der in der Realität benötigten Zeit bis zum Erreichen dieses Zustandes, d.h. bis zum Abklingen aller Verformungen identisch ist<sup>\*)</sup>. Der rechnerisch ermittelte Spannungs- und Verformungszustand wird davon jedoch nicht berührt, sondern stimmt bei zutreffender Wahl der felsmechanischen Kennwerte weitgehend mit dem in der Realität vorliegenden Zustand überein.

#### 7.4.4 Aufweitung der Strecke 532

Durch die Aufweitung der Strecke 532 im 4. Rechenschritt (vgl. Anlage 7.8) vom Konradprofil auf den Kreisquerschnitt (Ausbruchdurchmesser ca. 9,5 m) treten wiederum Spannungsumlagerungen und eine

---

<sup>\*)</sup> Die aus dem Bereich der Grube vorliegenden Ergebnisse von Verschiebungsmessungen im Bereich überbeanspruchter Gebirgsbereiche reichten bislang nicht dazu aus, zuverlässige Angaben zum zeitabhängigen plastischen Verhalten des Felses zu machen.

Veränderung der Ausdehnung der plastischen Zonen ein. In der Anlage 7.17 sind die plastischen Zonen sowohl für den 3. als auch für den 4. Rechenschritt am Ende der viskoplastischen Iterationsrechnung dargestellt. Die Ausdehnung der plastischen Zonen im 4. Rechenschritt zeigt auch hier, daß die Aufweitung auf das Kreisprofil ohne Einfluß auf die benachbarten Strecken bleibt.

In der Anlage 7.18 sind die infolge der Aufweitung eintretenden Verschiebungen an der Ausbruchlaibung dargestellt. Sie betragen an der Firste und in den Stößen ca. 2,5 bis 3,0 cm und in der Sohle ca. 4,5 cm. Die dargestellten Verschiebungen beinhalten sowohl die elastischen als auch die plastischen Anteile und ergeben sich aus der Differenz der im 4. und der im 3. Rechenschritt ermittelten Verschiebungen.

In der Anlage 7.19 sind die infolge der Aufweitung (4. - 3. Rechenschritt) entstehenden Verschiebungen im hohlraumnahen Bereich entlang von 6 ausgewählten Schnitten aufgetragen. Die Lage und die Orientierung der Schnitte entspricht dabei den in den Meßquerschnitten installierten Extensometern E1 bis E6, so daß ein Vergleich zwischen den rechnerisch ermittelten und den gemessenen Verschiebungen vorgenommen werden kann. Hierauf wird im Kapitel 7.7 näher eingegangen.

Aus der Darstellung in der Anlage 7.19 geht hervor, daß auch im Bereich der Extensometerendpunkte noch Verschiebungen zwischen ca. 0,4 cm und 0,7 cm auftreten. Der mit einem Extensometer der dargestellten Länge (ca. 30 m) meßbare Verschiebungsanteil ergibt sich, in dem jeweils der am Extensometerendpunkt auftretende Verschiebungsanteil von der Gesamtverschiebung abgezogen wird. In der Anlage 7.19 sind die meßbaren Verschiebungsanteile besonders gekennzeichnet.

Aus den dargestellten Verschiebungsverläufen geht hervor, daß im Firstbereich eine relativ gleichmäßige Zunahme der Verschiebungen bis zum Hohlraumrand auftritt (s. Anlage 7.19, E1 und E6). In den Stößen erfolgt dagegen der größte Verschiebungszuwachs in der unmittelbaren Umgebung des Hohlraums (E2 und E5). Auch im Sohlbereich (E3 und E4) treten in Hohlraumnähe größere Verschiebungszuwächse

auf, jedoch nicht so ausgeprägt wie im Bereich der Stösse. Weiterhin kann festgestellt werden, daß die rechnerisch ermittelten Verschiebungen, die aus der Aufweitung der Strecke 532 resultieren, im Gebirge bis in den Bereich der benachbarten Strecken 522 und 542 reichen.

Die zeitliche Entwicklung der senkrecht zur Ausbruchlaibung gerichteten Verschiebungen von 4 auf der Berandung des späteren Aufweituingsquerschnitts liegenden Knotenpunkten im Verlauf des 2. bis 5. Rechenschritts ist auf der Anlage 7.20 dargestellt. Dabei stellen die vertikalen Kurvenabschnitte jeweils die elastischen Verschiebungsanteile zu Beginn der einzelnen Rechenschritte dar. Die im Verlauf der Iterationsrechnung eintretenden viskoplastischen Verschiebungsanteile werden jeweils zur elastischen Verschiebung addiert. Die Annäherung der Kurven an eine Horizontale, d.h. kein weiterer Zuwachs der viskoplastischen Verschiebungen, bedeutet, daß ein Gleichgewichtszustand erreicht wird. Wie aus der Anlage 7.20 hervorgeht, konvergieren die Verschiebungen aller 4 Punkte innerhalb der einzelnen Rechenschritte jeweils gegen einen endlichen Grenzwert. Innerhalb eines jeden Rechenschrittes wird somit ein Gleichgewichtszustand erreicht.

Aus der Anlage 7.20 ist weiterhin zu entnehmen, daß innerhalb des 5. Rechenschrittes (Einbau der Spritzbetonschale) kein wesentlicher Verschiebungszuwachs mehr stattfindet. Dementsprechend sind die sich in der Spritzbetonschale einstellenden Schnittgrößen klein. Auf ihre Darstellung soll an dieser Stelle verzichtet werden.

#### 7.5 Großräumiges Gebirgsverhalten - Parameterstudie zur Abmessung und Verformbarkeit des Abbaufeldes

Wie erwähnt wurde im Referenzfall G4 die Breite des Abbaufeldes mit 210 m und die Verformbarkeit des Versatz-Pfeiler-Systems im Abbaufeld mit  $E = 100 \text{ MPa}$  angenommen. Die sich unter diesen Annahmen ergebenden Senkungen der Geländeoberfläche betragen bis zu ca. 21 cm und liegen damit in der Größenordnung der Meßwerte.

Gemäß den Ausführungen im Abschnitt 7.2 liegt der Berechnungsschnitt

am Übergang vom schmalen (ca. 210 m) zum breiten (ca. 470 m) Abbaufeldbereich. Es ist somit erforderlich, zum Vergleich auch Berechnungen unter Berücksichtigung des breiteren Abbaufeldes durchzuführen. Damit die rechnerischen Senkungswerte an der Geländeoberfläche auch für diesen Fall größenordnungsmäßig mit den Meßwerten übereinstimmen, muß der (fiktive) E-Modul für das Versatz-Pfeiler-System im Abbaufeld in diesem Falle größer gewählt werden. In den Berechnungen ergab sich, daß bei Berücksichtigung des 470 m breiten Abbaufeldes die Annahme von  $E = 300 \text{ MPa}$  zu befriedigenden Rechenergebnissen für die Senkungen an der Geländeoberfläche (ca. 21,5 cm) führt. Die Kennwerte der anderen Schichten wurden wie im Referenzfall G4 angenommen.

Die Berechnungen zeigen weiterhin, daß die mit diesen Kennwerten ermittelten Spannungs- und Verformungszustände im westlich des Abbaufeldes gelegenen Bereich des Unteren Lagers, d.h. im Bereich der Strecken 402 - 502 weitgehend mit den entsprechenden im Referenzfall G4 ermittelten Spannungen und Verformungen übereinstimmen. Für die Beurteilung des Gebirgsverhaltens im Bereich der Strecke 532 ist es daher von untergeordneter Bedeutung, ob für das Abbaufeld eine Breite von 210 m oder 470 m berücksichtigt wird, sofern der Versatz der Strecken mit den entsprechenden Verformungsmoduln ( $E = 100$  bzw.  $300 \text{ MPa}$ ) angenommen wird. Wie eine weitere Vergleichsrechnung gezeigt hat, ist diese Aussage für den Fall des nicht mit Versatzmaterial verfüllten Abbaufeldes nicht zutreffend. In diesem Fall treten wesentlich größere Beanspruchungen des Gebirges neben dem Abbaufeld auf, die auch den Bereich der Strecken beeinflussen.

#### 7.6 Großräumiges Gebirgsverhalten - Parameterstudie zur Verformbarkeit des Deckgebirges

In weiteren Vergleichsberechnungen wurde untersucht, wie sich die Verformbarkeit des Deckgebirges (Kreide und Kimmeridge, vgl. Anlage 7.3) auf die Spannungen und die Verschiebungen im Bereich des Unteren Lagers und auch auf die Senkungen an der Geländeoberfläche auswirkt.

Ausgehend vom Referenzfall G4 wurden die beiden Berechnungsfälle H2 und H3 mit den folgenden Verformungsmoduln für das Deckgebirge durchgeführt:

Fall	[ - ]	G4	H2	H3
$E_{\text{Kreide}}$	[MPa]	2000	2000	1000
$E_{\text{Kimmeridge}}$	[MPa]	6000	2000	1000

Die im Vergleich zum Referenzfall in den Fällen H2 und H3 geringeren Verformungsmoduln wurden dabei in Anlehnung an die Ergebnisse einiger Dilatometerversuche in den Schichten der Kreide festgelegt (vgl. Kapitel 4).

Die größten Senkungen an der Geländeoberfläche ergeben sich in den beiden Vergleichsberechnungen zu ca. 24 cm (H2) bzw. 28 cm (H3) und stimmen somit eher noch besser mit den Meßwerten überein, als die im Referenzfall ermittelten Senkungen.

Im Bereich des Unteren Lagers und somit in der Umgebung der Strecke 532 wurden die Spannungen und die Verschiebungen durch die Abminderung der E-Moduln des Deckgebirges nicht merklich beeinflusst. Für die weiteren Berechnungen wird daher von den im Fall G4 (Referenzfall) für das Deckgebirge angenommenen Elastizitätsmoduln ausgegangen.

## 7.7 Gebirgsverhalten in der Umgebung der Strecke 532 -

### Parameterstudie zum Einfluß der Verformbarkeit und Festigkeit des Mittleren und Unteren Korallenooliths

#### 7.7.1 Zusammenstellung der variierten Kennwerte

Zur Interpretation der Meßergebnisse im Bereich der Strecke 532 wurde eine größere Anzahl von FE-Berechnungen durchgeführt. In der An-

lage 7.21 sind für die wesentlichsten dieser Berechnungen die verwendeten Kennwerte in einer tabellarischen Übersicht zusammengestellt. Ausgehend vom Referenzfall G4 sind jeweils die Änderungen in den einzelnen Fällen angegeben. Auf die Wiedergabe der Kennwerte soll an dieser Stelle verzichtet werden. Sie erfolgt zusammen mit der Erläuterung der Berechnungsergebnisse in den folgenden Abschnitten.

Ein Teil der im folgenden beschriebenen Berechnungen (Fälle K) wurde zur Verringerung des Berechnungsaufwandes, vor allem der Rechenzeit, an einem kleineren Berechnungsausschnitt durchgeführt. Das hierzu verwendete FE-Netz, das hinsichtlich seiner Diskretisierung dem in der Anlage 7.4 dargestellten Detail-Netzausschnitt für das große Netz entspricht, ist in der Anlage 7.22 dargestellt. Als Randbedingungen wurden seitlich vertikal verschiebliche und an der unteren Begrenzung horizontal verschiebliche Gleitlager gewählt. An den Knotenpunkten der oberen Berandung wird das Gewicht der Überlagerung durch vertikale, nach unten gerichtete Einzelkräfte simuliert.

Der Ablauf der Berechnungen am kleinen FE-Netz entspricht weitgehend der im Abschnitt 7.3 beschriebenen Vorgehensweise. Selbstverständlich entfällt bei den Berechnungen am kleinen Netz der Rechenschritt Ausbruch und Versatz des Abbaufeldes.

Bedingt durch die geneigten Schichtlagerungsverhältnisse und die in einem Teil der Berechnungen berücksichtigten hohen E-Moduln im Bereich der Erzlager (vgl. Anlage 7.21) wurde z.T. aus rechentechnischen Gründen ein zwischengeschalteter Rechenschritt erforderlich. Hierdurch konnte erreicht werden, daß im Primärfall in allen Schichten die Hauptnormalspannungen horizontal und vertikal orientiert sind, wie es den Ergebnissen durchgeführter Primärspannungsmessungen entspricht. Auf die ausführliche Beschreibung der Vorgehensweise soll an dieser Stelle verzichtet werden.

In einigen vergleichenden Berechnungen am großen und am kleinen FE-Netz konnte nachgewiesen werden, daß die Durchführung der Berechnungen am kleinen Netz gerechtfertigt ist. Die Spannungen und Verfor-

mungen in der näheren Umgebung der Strecke 532 werden durch diese Vereinfachung nur unwesentlich beeinflusst.

### 7.7.2 Fälle G6 und G7

Die in der Anlage 7.21 aufgeführten Fälle G wurden zu einem Zeitpunkt durchgeführt, zu dem noch keine bzw. nur sehr wenige Meßergebnisse vorlagen. Diese Fälle dienen daher eher der grundsätzlichen Einschätzung des Einflusses verschiedener Parameter auf die Berechnungsergebnisse.

In den Fällen G6 und G7 werden die Einflüsse einer gegenüber dem Referenzfall G4 abgeminderten Festigkeit bzw. erhöhten Verformbarkeit des Unteren Korallenooliths untersucht. Im Fall G6 wurde dabei die Festigkeit dieser Schicht abgemindert, indem nur der halbe Wert für die Kohäsion berücksichtigt wurde (vgl. Anlage 7.21). Die unter dieser Annahme ermittelten, infolge der Aufweitung eintretenden Verschiebungen entlang der bereits erwähnten, an der Lage der Extensometer orientierten Schnitte sind in der Anlage 7.23 dargestellt. Es sei darauf hingewiesen, daß - auch bei den folgenden Fällen - jeweils nur der sog. meßbare Verschiebungsanteil (vgl. Kapitel 7.4.4) angegeben ist. Zum Vergleich sind die entsprechenden Verschiebungen für den Referenzfall G4 ebenfalls dargestellt. Man erkennt, daß in beiden Fällen keine Unterschiede in der Größe und im Verlauf der Verschiebungen auftreten. Das ist darauf zurückzuführen, daß auch im Fall G6 die plastischen Zonen in der Umgebung der Strecke 532 nicht bis in den Unteren Korallenoolith reichen.

Im Fall G7 wurde die Festigkeit des Unteren Korallenooliths nicht abgemindert, dafür jedoch eine größere Verformbarkeit dieser Schicht angenommen (vgl. Anlage 7.21). Wie die Darstellung der aufweitungsbedingten Verschiebungen in der Anlage 7.24 zeigt, hat dies einen großen Einfluß auf die Hebungen im Sohlbereich der Strecke 532. Gegenüber dem Fall G4 tritt infolge der Halbierung des E-Moduls für den Unteren Korallenoolith eine Vergrößerung der Verschiebungen um ca. 60-80 % (bei E3 und E4) auf. Der Einfluß im Stoss- und Firstbereich (E2 und E5 bzw. E1 und E6) ist dagegen relativ gering (s. Anlage 7.24).



### 7.7.3 Fälle G9 und G10

In den bisher beschriebenen Fällen G4, G6 und G7 wurden jeweils isotrope Gebirgseigenschaften sowohl hinsichtlich der Verformbarkeiten als auch der Festigkeiten der einzelnen Schichten angenommen. In den Fällen G9 und G10 wird dagegen jeweils eine unter  $60^\circ$  einfallende Trennflächenschar (Klüfte) mit gegenüber der Matrix des Gebirges vermindelter Scherfestigkeit berücksichtigt. Die beiden Berechnungsfälle unterscheiden sich dabei nur durch die angenommene Einfallrichtung der Trennflächenschar, die zum einen dem Einfallen des Lagers entgegengesetzt (Fall G9) und zum anderen gleich gerichtet ist (Fall G10). Trennflächen mit diesen beiden Raumstellungen wurden vor Ort häufiger beobachtet und sind durch Kartierungen belegt.

Die auf den Trennflächen angenommene Scherfestigkeit wurde aufgrund von Erfahrungen abgeschätzt, da keine Versuchsergebnisse hierzu vorliegen. Da es sich nach den Beobachtungen um ungefüllte, über größere Erstreckung durchgehende Klüfte handelt, wird die Kohäsion mit  $c_k = 0$  angenommen. Der Reibungswinkel auf den unebenen und rauen Klüftflächen wird zu  $\varphi_k = 40^\circ$  eingeschätzt. Infolge der Rauigkeit der Klüftflächen kommt es bei einer trennflächenparallelen Relativverschiebung der Flächen auch zu einer Verschiebung senkrecht zur Klüftfläche. Dieser Verschiebungsanteil wird in der Berechnung durch den sog. Dilatanzwinkel erfaßt, der im vorliegenden Fall mit  $\psi_k = \frac{1}{2} \cdot \varphi_k = 20^\circ$  abgeschätzt wurde.

Die im Fall G9 (Klufteinfallen entgegengesetzt zum Lagereinfallen) ermittelten Verschiebungen infolge der Aufweitung der Strecke 532 sind in der Anlage 7.25 für die 6 Schnitte E1 bis E6 dargestellt. Zu Vergleichszwecken sind auch hier die entsprechenden, aus dem Referenzfall G4 resultierenden Verschiebungen angegeben. Während sich für die vertikalen (E1 und E4) und für die senkrecht zum Lager geführten Schnitte (E3 und E6) nur geringfügige Unterschiede zum Fall G4 ergeben, wächst der meßbare Verschiebungsanteil bei E5 um ca. 50 % und bei E2 um ca. 100 % an.

Für den Fall G10 (Klufteinfallen in Richtung des Lagereinfallens) sind die errechneten Verschiebungen wiederum zusammen mit den im Fall G4 ermittelten Werten in der Anlage 7.26 dargestellt. Auch hier ergeben sich im Firstbereich (E1 und E6) nur geringfügige Unterschiede zwischen den beiden Fällen. In der Sohle ergibt sich im Fall G10 vor allem bei E3 ein deutlicher Verschiebungszuwachs gegenüber dem Fall G4. Ebenso ist in den Stößen (E2 und E5) ein Zuwachs festzustellen, der jedoch deutlich kleiner als im o.g. Fall G9 ausfällt.

Vergleicht man die errechneten Verschiebungen der Fälle G9 und G10 mit den Meßergebnissen 532/6 und 532/7 (vgl. Anlagen 6.11 und 6.12), so stellt man fest, daß die im Fall G10 ermittelten Verschiebungen in ihrer Tendenz den Meßergebnissen näher kommen als die Ergebnisse des Falles G9. In Übereinstimmung mit den Meßergebnissen ergibt sich beim Fall G10, daß die Verschiebungen in den Stößen bei E5 größer als bei E2 und im Sohlbereich bei E3 größer als bei E4 sind. Im Firstbereich ergeben sich die Verschiebungen sowohl in der Messung als auch in den Berechnungen bei E1 und bei E6 etwa gleich groß.

Aus den o.g. Ausführungen kann geschlossen werden, daß im Bereich der Strecke 532 im Lager die mechanische Wirksamkeit einer mit der gleichen Richtung wie das Lager einfallenden Trennflächenschar wahrscheinlich ist.

#### 7.7.4 Fälle G4 und K2P

Anhand von Berechnungen (Fälle G), bei deren Durchführung die Ergebnisse der Messungen noch nicht oder nur unvollständig bekannt waren, wurde in den vorangegangenen Abschnitten der Einfluß verschiedener Parameter auf die bei der Aufweitung der Strecke 532 auftretenden Verformungen qualitativ aufgezeigt.

In den im folgenden beschriebenen Berechnungen (Fälle K) werden die Parameter, ausgehend vom Referenzfall G4 im Hinblick auf eine genauere Interpretation der mit den Extensometern gemessenen Gebirgsverformungen variiert.

Dazu erfolgt zunächst ein Vergleich zwischen den Meß- und den Berechnungsergebnissen für den Fall G4. In der Anlage 7.27 sind die Meßergebnisse für den Meßquerschnitt 532/7 (in Klammern für 532/6) und die im Fall G4 berechneten Verschiebungen (meßbarer Anteil) angegeben. Die Meßwerte sind im einzelnen der Anlage zu entnehmen. Daraus geht hervor, daß die im Fall G4 berechneten Verschiebungen in der Firste (E1 und E6) etwa 3-4 mal und in den Stößen (E2 und E5) etwa 2 mal so groß wie die entsprechenden Meßwerte sind. In der Sohle findet sich bei E3 eine relativ gute Übereinstimmung zwischen der Messung und der Rechnung, während bei E4 wiederum eine zu große berechnete Verschiebung (Faktor 3) vorliegt.

Mit Ausnahme von E3 ergeben sich somit die Verschiebungen im Berechnungsfall G4 im Vergleich zu den Meßergebnissen als zu groß. Geringere Verschiebungen lassen sich in der Rechnung erhalten, wenn die Elastizitätskonstanten heraufgesetzt oder/und die Festigkeiten des Gebirges höher angenommen werden. Erfahrungsgemäß lassen sich die Festigkeitsparameter des ungeklüfteten Gesteins anhand der Laborversuchsergebnisse einschätzen, so daß auf eine Variation dieser Parameter im vorliegenden Fall verzichtet werden soll. Vielmehr werden im folgenden die Elastizitätsmoduln des Unteren Korallenooliths, des Unteren Lagers und des Zwischenmittels gegenüber dem Fall G4 heraufgesetzt. Aufgrund der in den vorangegangenen Abschnitten erläuterten Überlegungen kann davon ausgegangen werden, daß im wesentlichen die mechanischen Eigenschaften dieser 3 Schichten für die Größe der Verschiebungen im Bereich der Strecke 532 bestimmend sind.

Unter Berücksichtigung der im Fall G4 ermittelten Verschiebungen (s. Anlage 7.27) und unter der Annahme, daß der E-Modul des Unteren Lagers sich auf die Verschiebungen in den Stößen, der Firste und der Sohle, der E-Modul des Zwischenmittels sich dagegen im wesentlichen nur auf die Verschiebungen in der Firste und der E-Modul des Unteren Korallenooliths sich im wesentlichen nur auf die Verschiebungen in der Sohle auswirken, werden zunächst die für den Fall K2P in der Anlage 7.21 angegebenen E-Moduln für diese Schichten gewählt. Im Vergleich zum Fall G4 bedeutet dies im einzelnen die folgende Erhöhung der E-Moduln:

Schicht	E [MPa]		Erhöhungs- faktor
	K2P	G4	
Zwischenmittel	6000	2000	3,0
Unteres Lager	12000	6000	2,0
Unterer Korallenoolith	3000	3000	1,5

In der Anlage 7.28 sind die für den Fall K2P ermittelten Verschiebungen zusammen mit den Meßergebnissen dargestellt. Daraus geht hervor, daß die Übereinstimmung zwischen den Berechnungs- und den Meßergebnissen für die Extensometer E1, E2, E3 und E6 unter den getroffenen Annahmen relativ gut ist. Für E4 und E5 ist die Übereinstimmung jedoch noch nicht zufriedenstellend.

Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, daß der in der Anlage 7.28 dargestellte meßbare Anteil der Verschiebungen bei den Extensometern E2 und E5 mit den berechneten Gesamtverschiebungen nahezu identisch ist, d.h. im Bereich der Nachbarstrecken 522 und 542 treten unter den im Fall K2P getroffenen Annahmen infolge der Aufweitung der Strecke 532 keine nennenswerten Verschiebungen auf. Da dies auf die Größe der gewählten E-Moduln für das Untere Lager, den Unteren Korallenoolith und das Zwischenmittel zurückzuführen ist, gilt diese Feststellung in gleicher Weise auch für alle in den folgenden Abschnitten beschriebenen Fälle K (vgl. hierzu Kennwerte in Anlage 7.21).

Da der Berechnungsfall K2P als elastisch viskoplastische Berechnung durchgeführt wurde (vgl. Kapitel 7.1), enthalten die ermittelten Verschiebungen sowohl elastische als auch plastische Anteile. Um eine Aussage zu treffen, ob die gewählten Elastizitätsmoduln in der richtigen Größenordnung liegen, ist es zweckmäßig, die beiden Verschiebungsanteile getrennt zu betrachten. Im Fall der Berechnung kann dies durch eine rein elastische Berechnung geschehen, die unmittelbar die elastischen Verschiebungsanteile liefert (s. folgendes Kapitel 7.7.5).

Auch die mit den Extensometern gemessenen Verschiebungen enthalten elastische und plastische Anteile, die jedoch nicht ohne weiteres anzugeben sind. Es werden daher auch hierfür die Berechnungsergebnisse herangezogen, indem die im Berechnungsfall K2P ermittelten plastischen Zonen zusammen mit den Meßergebnissen dargestellt werden. Eine solche Darstellung findet sich getrennt für die Meßquerschnitte 532/7 und 532/6 in den Anlagen 7.29 und 7.30. Daraus geht hervor, daß in der Nähe des Hohlraums im Bereich der plastischen Zonen höhere Verschiebungsgradienten vorliegen als in den hohlraumfernen, elastischen Gebirgsbereichen. Die elastischen, zeitunabhängigen Verschiebungsanteile lassen sich anhand der Anlagen 7.29 und 7.30 näherungsweise wie folgt ermitteln:

E1, E6 und E4:	ca. 0,4 cm
E3:	ca. 0,7 bis 0,9 cm
E2:	ca. 0,25 cm
E5:	ca. 0,5 bis 1,0 cm

#### 7.7.5 Fälle K2E, K3E und K4E

Zur Kontrolle, ob die im Fall K2P gewählten Elastizitätsmoduln der 3 Schichten im Nahbereich der Strecke 532 in der richtigen Größenordnung liegen, werden - wie bereits im vorherigen Abschnitt angedeutet - weitere Berechnungen durchgeführt.

Im Fall K2E wird der Rechenschritt "Aufweitung der Strecke 532" als rein elastische Rechnung durchgeführt. Das vorherige Auffahren der Strecken im Konradprofil wird dagegen auch im Fall K2E unter Berücksichtigung des elastisch-viskoplastischen Gebirgsverhaltens simuliert. Die angenommenen Elastizitätskonstanten im Fall K2E entsprechen denen im Fall K2P (vgl. Anlage 7.21). Es ergeben sich die in der Anlage 7.31 dargestellten Verschiebungsverläufe und an der Hohlraumlaibung die folgenden (elastischen) Verschiebungen:

Firste:	ca. 0,5 cm
Stöße:	ca. 0,25 cm
Sohle:	ca. 0,8 cm

Ein Vergleich mit den im Abschnitt 7.7.4 aus den Meßergebnissen abgeleiteten elastischen Verschiebungen zeigt eine im wesentlichen befriedigende Übereinstimmung.

Mit den Fällen K3E und K4E werden zwei weitere mögliche Kennwertkombinationen untersucht, mit denen sich die aus den Meßwerten abgeleiteten elastischen Verschiebungen relativ gut nachvollziehen lassen. Im Fall K3E wird der E-Modul des Unteren Lagers noch einmal deutlich heraufgesetzt ( $E = 18000$  MPa) und auch der E-Modul des Unteren Korallenooliths auf 4000 MPa angehoben (vgl. Anlage 7.21). Die im Fall K3E ermittelten Verschiebungen infolge der Streckenaufweitung sind in der Anlage 7.32 dargestellt.

Im Fall K4E wird der E-Modul des Unteren Lagers gegenüber dem Fall K2E nicht verändert. Die Moduln des Unteren Korallenooliths und des Zwischenmittels werden dagegen auf 4000 bzw. 9000 MPa angehoben (vgl. Anlage 7.21). Die im Fall K4E ermittelten Verschiebungen können der Anlage 7.33 entnommen werden.

Wie erwähnt können die aus den Meßergebnissen abgeleiteten elastischen Verschiebungen mit allen 3 Kennwertkombinationen relativ gut nachvollzogen werden, d.h. die gewählten elastischen Konstanten liegen in einer zutreffenden Größenordnung.

#### 7.7.6 Fälle K3P

Im folgenden soll versucht werden, die Meßergebnisse unter Berücksichtigung des elastisch-viskoplastischen Gebirgsverhaltens zu interpretieren. Die Annahme eines solchen Gebirgsverhaltens dürfte den in der Natur vorliegenden Verhältnissen am nächsten kommen.

In den Fällen K3P1 und K3P4 werden die beim Fall K3E erläuterten elastischen Kennwerte angenommen. Die Festigkeit des Gesteins wird wie im Referenzfall G4 berücksichtigt. Weiterhin wird eine in die gleiche Richtung wie das Lager, unter  $60^{\circ}$  einfallende Kluftschär mit den in der Anlage 7.2.1 angegebenen Kennwerten berücksichtigt ( $\psi_k = \psi_k/2$ ).

Im Fall K3P4 wird unter sonst gleichen Annahmen der Dilatanzwinkel  $\psi_k$  in der gleichen Größe wie der Reibungswinkel  $\varphi_k$  angenommen (s. Anlage 7.21).

Die Ergebnisse der beiden Berechnungsfälle sind als meßbare Verschiebungen in der bekannten Weise in den Anlagen 7.34 (Fall K3P1) und 7.35 (Fall K3P4) dargestellt. Die Meßergebnisse für den Meßquerschnitt 532/7 sind dort ebenfalls angegeben. In beiden Fällen ergeben sich für die Extensometer E1, E2, E3 und E6 relativ gute Übereinstimmungen zwischen Meß- und Rechenergebnissen, während die berechneten Verschiebungen bei E4 deutlich größer und bei E5 deutlich kleiner als die Meßwerte sind.

#### 7.7.7 Fälle K4P

In den beiden Fällen K4P4 und K4P2 werden die beim Fall K4E erläuterten Elastizitätskonstanten angenommen (s. Anlage 7.21). Im Fall K4P5 wird im Unterschied dazu der E-Modul des Unteren Korallenooliths um 1000 MPa höher angesetzt.

In allen 3 Fällen wird neben der Festigkeit des Gesteins (wie im Fall G4) entsprechend den Fällen K3P die unter  $60^\circ$  in die gleiche Richtung wie das Lager einfallende Kluftchar berücksichtigt. Die angenommenen Kennwerte für diese Trennflächen entsprechen in den Fällen K4P4 und K4P1 und K3P4, d.h.  $\psi_k = \varphi_k/2$  und  $\varphi_k = \varphi_k$  (s. Anlage 7.21). Im Fall K4P5 ergeben sich hinsichtlich der Annahmen zur Festigkeit und zur Dilatanz keine Unterschiede zum Fall K4P2.

Die in den 3 Fällen K4P ermittelten Verschiebungen sowie die Meßergebnisse finden sich in den Anlagen 7.36 bis 7.38. Es zeigt sich, daß auch in diesen Fällen eine im allgemeinen gute Übereinstimmung zwischen den gemessenen und den berechneten Verschiebungen vorliegt. Insbesondere in den beiden Fällen, in denen der Dilatanzwinkel  $\psi_k$  genauso groß angenommen wurde wie der Reibungswinkel  $\varphi_k$ , ergeben sich hinsichtlich des Verhältnisses der Verschiebungen bei E5 und E2 bzw. bei E3 und E4 recht zufriedenstellende Werte.

Beispielsweise ist im Fall K4P5 (s. Anlage 7.38) die berechnete Verschiebung bei E5 um etwa den Faktor 1,8 größer als die Verschiebung bei E2. Betrachtet man die Verschiebungen bei E3 und E4, so ergibt sich das Verhältnis zu ca. 2,0. Diese unterschiedlich großen Verschiebungen bei E5 und E2 bzw. E3 und E4 können auch bei den Meßergebnissen eindeutig festgestellt werden.

Es kann festgestellt werden, daß die gemessenen Verschiebungen mit den durchgeführten Berechnungen genau genug interpretiert und die Berechnungen daher an dieser Stelle abgebrochen werden können. Eine weiterführende Variation, beispielsweise der Scherfestigkeit auf den Klufflächen, erscheint nicht notwendig, auch wenn dadurch evtl. eine noch bessere Übereinstimmung zwischen den berechneten und den gemessenen Verschiebungen erzielt werden könnte. Dies betrifft vor allem die bei den Messungen festgestellten deutlich voneinander abweichenden Verschiebungen bei E5 und E2.

Eine speziell auf diesen Punkt ausgerichtete Verbesserung der Ergebnisse kann aber auch erreicht werden, wenn man bei der Auswertung der Berechnungen die Lage des Extensometers E5 um nur 1 m nach oben verschiebt. In der Anlage 7.39 ist beispielhaft für den Fall K4P2 der Verschiebungsplot und der in der o.g. Weise um 1 m verschobene Extensometer E5 dargestellt. Daraus geht hervor, daß die zum Hohlraum hin gerichteten Verschiebungen an der Ausbruchlaibung im Bereich der verschobenen Extensometerlage wesentlich größer sind als in dem hier zugrunde gelegten Fall. Im Bereich des Extensometerfußpunktes ergeben sich dagegen in beiden Fällen kaum Unterschiede. Wie erwähnt sind die Verschiebungen im Bereich der Extensometerfußpunkte von E5 und E2, d.h. im Bereich der Nachbarstrecken, in den Fällen K vernachlässigbar klein.

Aus dem in der Anlage 7.39 dargestellten Verschiebungsplot geht außerdem hervor, daß die resultierenden Verschiebungen der Ausbruchlaibung über den Umfang zum einen unterschiedlich groß und zum anderen nur in Teilbereichen radial gerichtet sind. Hieraus ergeben sich tangentielle Stauchungen an der Ausbruchlaibung, die aufgrund des Verformungsbildes vor allem im Bereich der Stösse zu erwarten sind.



Die letztendlich aus den im Kapitel 7 erläuterten Berechnungsergebnissen abzuleitenden Schlußfolgerungen finden sich im Kapitel 10 dieses Berichtes.

## 8. Ergebnisse der in den Strecken im Feld 5/1 durchgeführten Messungen

### 8.1 Meßprogramm

Durch die Auffahrung der Strecken 101S, 231S und 241S soll gezeigt werden, daß das in Abschnitt 2.3 beschriebene Konzept für die Anordnung und Erschließung der Einlagerungskammern realisierbar ist. Zur Erfassung der im Gebirge und am Hohlraumrand auftretenden Verformungen wurde ein umfangreiches Meßprogramm eingerichtet. Im vorliegenden Bericht soll nur auf die während und auch nach der Auffahrung der Strecke 241S durchgeführten Messungen eingegangen werden (Anlage 8.1).

In den zum gegenwärtigen Zeitpunkt bereits aufgefahrenen Strecken bzw. Teilstrecken 101S, 110, 231S und 241S wurden zahlreiche Konvergenzmeßquerschnitte eingerichtet. Während der Auffahrung wurden in der Strecke 241S zusätzliche Meßquerschnitte, in denen die horizontalen und vertikalen Konvergenzen gemessen wurden, eingebaut [31, 32, 33] (Anlage 8.1). Zur Erfassung der Gebirgsverformungen wurden zusätzlich 2 Meßquerschnitte mit jeweils 3 Bohrungen für Lageänderungsmessungen eingerichtet [35] (MQ1 und MQ2, Anlagen 8.1 bis 8.3).

In die Bohrungen wird ein spezielles Kunststoffrohr, auf dem außen im Abstand von 1 m Metallringe aufgebracht sind und das innen Laufnuten für Sonden besitzt, eingebracht und mit dem Gebirge kraftschlüssig verbunden. Die Messungen der Lageänderung erfolgt mittels zweier Sonden, die für jede Messung in das Bohrloch eingeführt werden müssen. Mit der Inkrementalextensometersonde werden die Längendifferenzen zwischen zwei Metallringen, also in Richtung der Bohrlochachse, gemessen. Die zweite Sonde, die Inklinometersonde dient zur Messung der Verformungen senkrecht zur Bohrlochachse. Aus der Verknüpfung beider Meßverfahren lassen sich somit die räumlichen Verschiebungsvektoren der im Abstand von 1 m angeordneten Meßringe ermitteln.

In beiden Meßquerschnitten ist je eine Bohrung oberhalb der Firste und unterhalb der Sohle angeordnet. Der kleinste Abstand der Bohrungen zum Hohlraum beträgt im Bereich der Firste und der Sohle etwa 4 bis 5 m. Die dritte Bohrung verläuft diagonal durch die Strecke 241S. Mit dem Streckendurchgang durch den Meßquerschnitt verringert sich die Länge dieser Bohrung. Durch den Einbau der Meßeinrichtungen vor der Auffahrung der Strecken wurden alle durch die Streckenauffahrung verursachten Verformungen erfaßt.

Da die vor der Streckenauffahrung im Gebirge herrschenden Spannungen Einfluß auf die Größe der durch den Streckenvortrieb ausgelösten Verformungen haben, wurden Primärspannungsmessungen in Kombination mit Dilatometerversuchen in einer Bohrung im Meßquerschnitt MQ1 durchgeführt (Anlage 8.2). Die Ergebnisse dieser Versuche lagen bei der Erarbeitung des vorliegenden Berichtes jedoch noch nicht vor. Desweiteren wurden in den Meßquerschnitten MQ1 und MQ2 je eine Spannungsmonitorstation eingerichtet, mit der die Änderung der vertikalen, der beiden horizontalen (Ost-West und Süd-Nord) sowie der bankrechten Spannungskomponenten erfaßt werden sollen (Anlagen 8.2 und 8.3). Da die Ergebnisse dieser Messungen nur in Form eines Zwischenberichtes vorliegen und weil auch die Ergebnisse der Primärspannungsmessungen noch nicht ausgewertet wurden, soll in diesem Bericht hierauf nicht weiter eingegangen werden [36].

## 8.2 Ergebnisse der Verformungsmessungen

### 8.2.1 Ergebnisse der Konvergenzmessungen

Die Ergebnisse der in der Strecke 241S durchgeführten Konvergenzmessungen sind in Anlage 8.4 in Form von Zeit-Verschiebungskurven getrennt für die horizontalen und vertikalen Meßstrecken dargestellt. Außerdem sind in der Darstellung die Lage der temporären Ortsbrust zu verschiedenen Zeitpunkten und der zeitliche und räumliche Abstand zwischen Nullmessung und Streckendurchgang eingetragen. Zwischen Streckendurchgang und Nullmessung vergingen zwischen 0,7 und 3,3 Tage. Innerhalb dieses Zeitraumes wurde die Strecke zwischen 0,5 und 7,5 m über den Meßquerschnitt hinaus aufgefahren. Der Verlauf

der Kurven ist mit demjenigen der in Abschnitt 5.2 beschriebenen Konvergenzmessungen (vgl. Anlage 5.3) vergleichbar. Innerhalb von 2 bis 3 Wochen ergibt sich eine starke Abnahme der Verschiebungsgeschwindigkeit, die aber auch bis zum Ende des dargestellten Meßzeitraums, bis Februar 1989, noch erheblich ist. Für die vertikale und horizontale Konvergenz werden von Januar bis Februar noch Zunahmen bis zu 10 mm und bis zu 2 mm gemessen.

Die bis Ende Februar gemessenen Konvergenzen streuen zwischen 30 und 210 mm in vertikaler und 15 bis 55 mm in horizontaler Richtung. Damit sind die in Strecke 241S gemessenen horizontalen Konvergenzen im Vergleich zu den auf der 6. Sohle gemessenen horizontalen Konvergenzen nur etwa halb so groß (Anlage 5.3). Der Unterschied ist möglicherweise auf die unterschiedliche Teufenlage der Strecken von etwa 800 m für 241 s und 1300 m für die 6. Sohle zurückzuführen.

Bei genauerer Betrachtung der Meßergebnisse fällt auf, daß die im südlichen Bereich der Strecke gelegenen Meßquerschnitte K241S/10/13/15/16 die kleinsten Meßergebnisse, insbesondere in vertikaler Richtung aufweisen. Das läßt sich u.U. mit der Nähe der Ortsbrust erklären, aber auch der zum Süden hin größer werdende Abstand zum Liegenden wirkt sich vermutlich besonders auf die vertikalen Konvergenzen aus (Anlagen 8.2 und 8.3). Auch die Meßergebnisse des Querschnitts K241S/2 müssen besonders bewertet werden, da der Kopfbereich der Strecke 241S bis auf 1,6 m vor den späteren Meßquerschnitt aufgefahren wurde. Vermutlich sind in diesem Meßquerschnitt die dem Vortrieb voreilenden Verformungen besonders groß gewesen, so daß später nur noch ein kleinerer Teil gemessen werden konnte.

Ohne Berücksichtigung der vorgenannten Meßquerschnitte verkleinert sich der Streubereich für die vertikalen Konvergenzen auf etwa 160 bis 210 mm. Für die horizontalen Konvergenzen ergibt sich ein Streubereich von etwa 30 bis 55 mm.

Die in den Nachbarstrecken 101S und 110 durchgeführten Konvergenzmessungen zeigen keine Beeinflussung durch den Streckenvortrieb in 241S. Es wurden vielmehr nur Konvergenzgeschwindigkeiten von 1 bis

8 mm/a gemessen, wie sie auch ohne Vortriebsarbeiten in der Strecke 241/s aufgetreten sind bzw. wären. Auf eine Darstellung dieser Ergebnisse wird hier verzichtet.

### 8.2.2 Ergebnisse der Messungen in den Lageänderungsbohrungen

Die Ergebnisse der in den Lageänderungsbohrungen durchgeführten Messungen der Meßquerschnitte MQ1 und MQ2 sind als Verschiebungsvektoren in Anlage 8.5 dargestellt. Die Darstellung stellt eine Momentaufnahme für einen etwa 3 Monate hinter dem jeweiligen Streckendurchgang liegenden Zeitpunkt dar.

In dem in Anlage 8.5 oben dargestellten Meßquerschnitt MQ1 werden in der oberhalb der Firste angeordneten Bohrung Verschiebungen von maximal 8,5 mm gemessen, die nahezu bankrecht zur Strecke hinweisen. Der verformte Bereich der Bohrung erstreckt sich seitlich nur wenig über die Strecke 241S hinaus. Im Gebirgspfeiler und auch im Bereich der Strecke 101S treten nur vernachlässigbare Verformungen auf.

In der auf den Stoß der Strecke 241S gerichteten Bohrung ist nur in dem der Strecke am nächsten liegenden Punkt eine Verschiebung, die zum Hohlraum gerichtet ist, erkennbar. Sie beträgt  $\approx 6$  mm. Alle anderen Bereiche der Bohrung haben demnach keine Verschiebungen erlitten.

Die größten Verschiebungen wurden in der unter der Sohle, im Unteren Korallenoolith angeordneten Bohrung gemessen. Die Verschiebungen weisen nach oben zur Strecke hin und besitzen eine Größe von max. 23,5 mm. Selbst in dem tiefsten Punkt, der etwa 11 m unterhalb der Sohle der Strecke 241S liegt, wurde mit 16 mm eine doppelt so große Verschiebung wie in der oberhalb der Firste angeordneten Bohrung gemessen. Der Bereich in dem vortriebsbedingte Verschiebungen gemessen wurden, reicht etwa 6 bis 7 m seitlich über die Strecke 241S hinaus. Im Gebirgspfeiler wurden keine Verformungen gemessen, während in 1 bis 2 m Abstand von der Strecke 101S nach unten gerichtete Verschiebungen von etwa 2 mm Größe gemessen wurden, die allerdings bereits vor dem Streckendurchgang durch den Meßquerschnitt eingetreten waren und vermutlich aus anderen Einflüssen resultieren.

Die in den Lageänderungsbohrungen gemessenen Verschiebungen betragen nur einen Bruchteil der bis dahin aufgetretenen Konvergenzen. So stehen den Konvergenzen von z.B. 157 mm aus den Lageänderungsbohrungen nur Verschiebungen von  $8,5 + 23,5 = 32$  mm gegenüber. Dieser Unterschied ist auf den großen Abstand der Bohrungen zur Ausbruchlängung zurückzuführen. Bemerkenswert ist jedoch, daß die Hebungen unterhalb der Sohle sehr viel größer als die Senkungen oberhalb der Firste sind. Die großen Verschiebungen in Hohlraumnähe sind auch hier auf Festigkeitsüberschreitungen und damit verbundenen zeitabhängigen Dehnungen im Gebirge zurückzuführen. Begehungen der Strecke haben gezeigt, daß auch hier im Gebirge deutliche Festigkeitsüberschreitungen eingetreten sind.

Die im Meßquerschnitt MQ2 etwa 3 Monate nach dem Auffahren der Strecken 241S in den Lageänderungsbohrungen ermittelten Verschiebungsvektoren sind in Anlage 8.5 unten dargestellt. Im Vergleich zu dem Meßquerschnitt MQ1 zeigt sich hier ein anderes Bild. In der über der Firste angeordneten Bohrung, die teilweise im Zwischenmittel liegt, wurden hier die größten, zum Hohlraum gerichteten Verschiebungen mit einem Betrag von maximal 21 mm gemessen. In dem westlich der Strecke liegenden Teil der Bohrung wurden Hebungen festgestellt, deren Ursache unklar ist. Im Gebirgspfeiler und in der Nähe der Strecke 101S sind dagegen keine Verformungen aufgetreten.

Die zum Stoß der Strecke 241S gerichtete Bohrung weist zum Gebirgspfeiler gerichtete Verschiebungen von max. 6 mm aus. Im Bereich des Gebirgspfeilers wurden praktisch keine Verschiebungen gemessen wohingegen im Bereich der Strecke 101S wiederum in den Gebirgspfeiler weisende Verschiebungen gemessen wurden.

Die unter der Sohle der Strecke 241S liegende Bohrung reicht nur auf den letzten Metern in den Unteren Korallenoolith. Die in dem unterhalb der Strecke gelegenen Bereich der Bohrung gemessenen Verschiebungen weisen in Richtung der Strecke und besitzen eine Größe von etwa 6 mm. Zum Gebirgspfeiler hin werden die Verschiebungen rasch kleiner und verschwinden schließlich ganz. In der Nähe der Strecke 101S werden kleine Hebungen gemessen.

Im Vergleich zum Meßquerschnitt MQ1 ist im Meßquerschnitt MQ2 das Verhältnis der vertikalen Konvergenz von 56 mm zu den Hebungen bzw. Senkungen in den Bohrungen von  $21 + 6 = 27$  mm eher klein. Das unterschiedliche Verformungsverhalten des Gebirges ist vermutlich in der unterschiedlichen Höhenlage der Strecke im Erzlager zu suchen. Im Meßquerschnitt MQ2 beträgt dieser Abstand etwa 7 m, während im Meßquerschnitt MQ1 nur ein Abstand von 6 m vorhanden ist (Anlagen 8.2 und 8.3).

Die oben beschriebenen Meßergebnisse stellen nur eine Momentaufnahme dar. Um die zeitliche Entwicklung der Verschiebungen zu erfassen, wurden in Anlage 8.6 die Zeitverschiebungslinien von Punkten in den Bohrungen dargestellt. Die Darstellungsweise entspricht der für die Konvergenzmessungen gewählten. Abgebildet sind für beide Meßquerschnitte die Zeit-Verschiebungskurven der Punkte mit den maximalen Verschiebungen, die oberhalb bzw. unterhalb der Strecke liegen. Zum Vergleich sind die vertikalen Konvergenzen aus den jeweils nächstgelegenen Konvergenzmeßquerschnitten eingetragen. Wie sich zeigt, wachsen im Meßquerschnitt MQ1 die Verschiebungen in der "First"- und "Sohlbohrung" gleichmäßig an (MQ1:F und MQ1:S in Anlage 8.6). Etwa 3 Wochen nach dem Streckendurchgang durch den Meßquerschnitt ist in der oberhalb der Firste liegenden Bohrung der Endwert der Verschiebung erreicht, während das in der "Sohlbohrung" erst etwa nach 12 Wochen der Fall ist. Danach ergeben sich keine weiteren Verschiebungszunahmen. Die vertikalen Konvergenzen weisen dagegen, wie oben bereits beschrieben, noch deutliche Zunahmen auf.

Im Meßquerschnitt MQ2 ergibt sich nach den oben bereits beschriebenen Ergebnissen ein anderes Bild. Die in der "Firstbohrung" gemessenen Verschiebungen sind größer als die in der "Sohlbohrung" gemessenen, und im Unterschied zum Meßquerschnitt MQ1 klingen hier zunächst die Verformungen in der "Sohlbohrung" ab während in der "Firstbohrung" noch bis zum Januar leichte Zunahmen gemessen werden.

Die oben beschriebenen Ergebnisse der Verschiebungsmessungen zeigen, daß die vertikalen Konvergenzen, insbesondere auch die lang andauernden Verschiebungszunahmen, im wesentlichen aus Sohlhebungen re-

sultieren. Bei größerem bzw. kleinerem Abstand zum Liegenden verkleinern bzw. vergrößern sich insbesondere die Sohlhebungen und damit auch die vertikalen Konvergenzen. Mit zunehmender Entfernung klingen die Verschiebungszunahmen offensichtlich rascher ab.

## 9. Finite-Element Berechnungen zur Interpretation der beim Auffahren der Strecke 241S gemessenen Gebirgsverformungen

### 9.1 Berechnungsausschnitt und Berechnungsablauf

Da, wie in den Abschnitten 5.1 und 7.2 bereits erläutert, das Gebirge die aus dem Abbau resultierenden Lasten im wesentlichen in Ost-West- Richtung abträgt und die Versuchskammern im Feld 5/1 annähernd in Nord-Süd Richtung aufgefahren wurden, werden die Berechnungen an einem in Ost-West Richtung verlaufenden Gebirgsausschnitt durchgeführt, dessen Lage der Anlage 9.1 entnommen werden kann. Der abgebaute Bereich - in Anlage 9.1 als LHD-Feld Süd bezeichnet - hat in dem Schnitt eine Breite von etwa 550 m.

Das geologische Profil dieses Schnittes entspricht dem des Schnittes III-III in Anlage 3.3 und ist in Anlage 9.2 idealisiert wiedergegeben. Der gewählte Berechnungsausschnitt A entspricht in seinen Abmessungen dem in Kapitel 7.2 beschriebenen Berechnungsausschnitt (Anlagen 9.3, 9.8).

Die Berechnungen mit dem Programmsystem FESTO3 wurden beim vorliegenden Problem in 5 Rechenschritten durchgeführt (Anlagen 9.3 bis 9.7). Im 1. Rechenschritt wird der Primärfall, d.h. der Zustand vor der Errichtung des Grubengebäudes untersucht (s. hierzu Abschnitt 7.2, Anlage 9.3). Im 2. Rechenschritt wird der bis 1976 durchgeführte Abbau des Erzlagers (Unteres Lager) im Bereich des LHD-Feldes rechnerisch simuliert (s. hierzu Abschnitt 7.3, Anlage 9.4) und dessen Einfluß auf die benachbarten Gebirgsbereiche ermittelt.

Im 3. bis 5. Rechenschritt wird dann die Auffahrung der Versuchskammern 101S, 241S und 231S untersucht (Anlagen 9.5 bis 9.7). Zur Verringerung der Rechenzeit wurden die Rechenschritte 3 bis 5 an einem

kleineren Berechnungsausschnitt, dem Ausschnitt B, durchgeführt (Anlagen 9.4 bis 9.7). Die Übertragung des im 2. Rechenschritt am Gesamtausschnitt A erhaltenen Spannungsverformungszustandes erfolgt dabei in einem Zwischenschritt, in dem den Rändern des Ausschnittes B die im 2. Rechenschritt errechneten Gebirgsverformungen als vorgeschriebene Randverformungen mittels Federelementen aufgeprägt werden (Anlage 9.4).

Der Berechnungsausschnitt B hat eine Breite von 200 m, eine Höhe von etwa 135 m und eine Dicke von 1 m. Der Abstand der Strecken zu den Rändern dieses Ausschnittes beträgt seitlich etwa 60 bis 100 m und in der Höhe 50 bis 60 m.

Im 3. an diesem Berechnungsausschnitt B durchgeführten Rechenschritt wird der Ausbruch der Strecke 101S simuliert. Die Berücksichtigung des im 1. und 2. Rechenschritt an Ausschnitt A ermittelten Spannungsverformungszustandes geschieht dabei in der oben beschriebenen Weise (Anlage 9.8). Die rechnerische Simulation der weiteren Versuchskammern 241S und 231S wird in analoger Weise im 4. und 5. Rechenschritt durchgeführt (Anlagen 9.6 und 9.7).

## 9.2 Beschreibung der verwendeten FE-Netze und Randbedingungen

Das für den Berechnungsausschnitt A verwendete FE-Netz ist in Anlage 9.8 dargestellt. Der Ausschnitt wird in insgesamt 1097 Elemente mit 2 x 1134 Knoten (vordere und hintere Begrenzungsebenen) unterteilt. Der Aufbau des Netzes erlaubt neben der Berücksichtigung der in Anlage 9.2 dargestellten Schichtenfolge die Berücksichtigung der Grabenstörung und in vereinfachter Form auch die Simulation des Einflusses des LHD-Feldes.

Die gewählten Randbedingungen sind in der Anlage 9.8 dargestellt. Die Knoten der unteren Begrenzungsebene werden in z-Richtung festgehalten und sind in x-Richtung verschieblich, während die Knoten auf den seitlichen Begrenzungsebenen in x-Richtung festgehalten werden und in z-Richtung verschieblich sind. In y-Richtung werden sämtliche Knoten festgehalten.



Der Berechnungsausschnitt B wird durch das in Anlage 9,9 dargestellte FE-Netz in 1315 Elemente mit 2 x 1338 Knoten (vordere und hintere Begrenzungssebenen) unterteilt. Mit dem Netz können sowohl die Schichtenfolge als auch die Auffahrung der Strecken 101S, 241S und 231S im Hufeisenprofil simuliert werden.

In y-Richtung werden sämtliche Knoten, wie beim Netz für den Berechnungsausschnitt A, festgehalten, während in x- und z-Richtung sämtliche Knoten verschieblich sind. Die Übertragung der vorgeschriebenen Randverformungen auf die an dem oberen, unteren und seitlichen Rändern des Netzes liegenden Knoten geschieht mit Hilfe von Federelementen (Anlage 9.9).

### 9.3 Referenzfall

#### 9.3.1 Felsmechanische Kennwerte

Die felsmechanischen Kennwerte für den Referenzfall Fall B51B entsprechen denen des in Abschnitt 7.4 beschriebenen Falls G4. Die Verformbarkeit des Abbaufeldes (LHD-Feld) wird auch hier vereinfachend durch eine homogene Schicht aus einem elastischen Material simuliert. Damit soll die Wirkung der zwischen den Kammern verbleibenden Pfeiler simuliert werden. Allerdings wird hierfür mit  $E = 300 \text{ MPa}$  ein anderer E-Modul gewählt (vgl. Abschnitt 7.4.1, Anlage 7.10).

#### 9.3.2 Ausschnitt A - Primärfall und Ausbruch des LHD-Feldes

Im 1. Rechenschritt werden die Spannungen und Verformungen im Gebirge für den natürlichen, vor Beginn der bergbaulichen Eingriffe herrschenden Zustand ermittelt. Die sich für diesen Zustand einstellenden Hauptnormalspannungen sind in Anlage 9.10 dargestellt. Man erkennt, daß die Vertikalspannungen in etwa dem Gewicht der jeweiligen Überlagerung ( $\sigma_z = \gamma \cdot h$ ) entsprechen. Die Horizontalspannungen  $\sigma_x$  ergeben sich entsprechend der behinderten Seitendehnung und den gewählten Poissonszahlen zu  $\sigma_x = \frac{\nu}{1 - \nu} \sigma_z$ . Im Bereich des Ausschnitts B beträgt die Vertikalspannung  $\sigma_z$  entsprechend der Tiefe von 800 m etwa  $\sigma_z = 20,0 \text{ MPa}$ .

Nach dem Ausbruch des LHD-Feldes und dem rechnerisch gleichzeitig simulierten Einbau des Ersatzmaterials (2. Rechenschritt Anlage 9.4) ergeben sich die in Anlage 9.11 großräumig dargestellten Spannungen im Gebirge und Senkungen an der Geländeoberfläche. Aufgrund der im Vergleich zum Gebirge hohen Verformbarkeit des Ersatzmaterials bildet sich um das LHD-Feld herum ein Gewölbe aus. Hierdurch werden Spannungserhöhungen, die teilweise zu Festigkeitsüberschreitungen führen, in den seitlich des LHD-Feldes gelegenen Gebirgsbereichen hervorgerufen.

Für den an den östlichen Rand des LHD-Feldes angrenzenden Gebirgsbereich sind die Hauptnormalspannungen in Anlage 9.12 dargestellt. Elemente, deren Festigkeit überschritten wurde, sind mit einem Kreissymbol kenntlich gemacht. Wie man erkennt, treten Festigkeitsüberschreitungen nur in einem etwa 30 m breiten Bereich seitlich des LHD-Feldes auf. Ober- und unterhalb des Erzlagers sind die Zonen mit Festigkeitsüberschreitungen ausgedehnt, da die Festigkeiten dieser Schichten kleiner angenommen wurden. Ober- und unterhalb des LHD-Feldes selbst treten keine Festigkeitsüberschreitungen auf.

In dem in Anlage 9.12 gekennzeichneten Ausschnitt B treten unter den getroffenen Annahmen keine Festigkeitsüberschreitungen auf. Lediglich im linken Teil des Ausschnittes B ist eine geringfügige Erhöhung der Spannungen um etwa 10 % gegenüber dem Primärfall (Anlage 9.10) erkennbar. Im mittleren Bereich ergeben sich im Vergleich zum Ausgangszustand keine signifikanten Spannungsänderungen.

Die in Anlage 9.11 dargestellte Senkungsmulde der Geländeoberfläche weist einen Maximalwert von 25,8 cm auf. Die gemessenen Senkungen sind mit etwa 15 bis 20 cm geringer. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, daß in der zweidimensionalen Berechnung von einem in y-Richtung unendlich ausgedehnten LHD-Feld ausgegangen wird, während in Wirklichkeit der geführte Schnitt im südlichen Bereich der Abbaufelder liegt und sich somit ein räumliches Tragverhalten, daß zu kleineren Senkungen führt, einstellt. Außerdem stellt die Annahme, die Steifigkeit der im Abbaufeld verbleibenden Restpfeiler durch ein homogenes Ersatzmaterial zu simulieren, eine Vereinfachung der tatsächlichen Verhältnisse dar.

### 9.3.3 Ausschnitt B - Auffahren der Strecke 101S, 241S und 231S

Die Rechenschritte 3 bis 5, in denen die Auffahrung der Versuchskammern simuliert wird, wurde an dem Berechnungsausschnitt B unter Berücksichtigung der vorgeschriebenen Randverformungen aus dem 2. Rechenschritt durchgeführt.

Beispielhaft sind in Anlage 9.13 die aus dem 4. Rechenschritt (Anlage 9.6) für den Bereich der Strecke 241S resultierenden Hauptnormalspannungen dargestellt. Wie man erkennt, bildet sich um den Hohlraum herum ein Gewölbe aus. Dadurch zeigt sich seitlich der Stöße bis zu einem Abstand von etwa 6 bis 7 m, der der Breite der Strecke entspricht, eine Zunahme der Vertikalspannungen. Die Spannungen in weiter entfernt liegenden Bereichen der Gebirgspfeiler zwischen den benachbarten Strecken werden durch die Streckenauffahrung nicht beeinflusst. Die oberhalb und unterhalb der Strecke gelegenen Gebirgsbereiche wurden dagegen durch den Ausbruch der Strecke entlastet. Der entlastete Bereich reicht nach oben bis in das Zwischenmittel und nach unten bis in den Unteren Korallenoolith hinein.

Festigkeitsüberschreitungen, die durch einen Kreis gekennzeichnet sind, treten um den gesamten Hohlraum herum auf. Die Größe dieser plastischen Zonen ist jedoch unterschiedlich. In der Firste reichen sie etwa 1 m und seitlich der Stöße etwa 2 m in das Gebirge hinein. Unterhalb der Sohle ergeben sich hingegen größere plastische Zonen, die sich insbesondere im rechten, östlichen Teil bis etwa 5 m in das Gebirge hinein erstrecken (Anlage 9.13).

Wie oben bereits erwähnt, wird durch den Ausbruch der Strecken nur ein relativ schmaler Gebirgsbereich seitlich der Strecken beeinflusst, so daß die gegenseitige Beeinflussung der Kammern gering ist. Das zeigt auch die in Anlage 9.14 dargestellte Entwicklung der plastischen Zonen vom Rechenschritt 3 über den Schritt 4 bis zum 5. Rechenschritt. Die Zahl der Elemente mit Festigkeitsüberschreitungen im Bereich der Strecke 101S wird durch den Ausbruch der Strecken 241S und 231S (Rechenschritte 4 und 5) nicht beeinflusst. Außerdem besitzt die plastische Zone bei allen Strecken die gleiche Größe.

In der Anlage 9.15 ist die Entwicklung der Verschiebungen einzelner Punkte an der Firste, Sohle und den Stößen der Strecken 101S, 241S und 231S für die Rechenschritte 3 bis 5 über der Zahl der viskoplastischen Iterationen aufgetragen. In der Darstellung entsprechen die vertikalen Abschnitte der Kurven den elastischen Verschiebungsanteilen.

Für die Strecke 101S sind die Hohlraumrandverschiebungen in Anlage 9.15 oben links dargestellt. Für die Firste und Sohle ergeben sich elastische Senkungen bzw. Hebungen von 2,1 bzw. 2,8 cm. Im Verlauf der viskoplastischen Iteration wachsen diese auf Werte von etwa 2,8 bzw. 3,5 cm an. Das Auffahren der Strecken 241S und 231S macht sich dabei kaum bemerkbar.

Für die Stöße wurden mit 0,6 und 0,7 cm wesentlich kleinere elastische Verschiebungsanteile errechnet. Im Unterschied zur Firste und Sohle ergeben sich an beiden Stößen relativ große viskoplastische Verschiebungsanteile, so daß am Ende des 3. Rechenschrittes beide Stöße etwa 1,5 cm große Verschiebungen aufweisen. Durch die Simulation der Auffahrung der Strecken 241S und 231S ergeben sich an beiden Stößen Verschiebungen von etwa 1 bis 2 mm in Richtung der aufgefahrenen Strecken. Im weiteren Verlauf der viskoplastischen Iterationsrechnung wächst die Verschiebung des östlichen Stoßes auf etwa 1,9 cm an.

Ein ähnliches Verhalten zeigt sich bei Betrachtung der Hohlraumrandverschiebungen in den Strecken 241S und 231S.

Die im 4. Rechenschritt für die Strecke bzw. für die Umgebung der Strecke 241S errechneten Hohlraumrand- bzw. Gebirgsverschiebungen sind in der Anlage 9.16 dargestellt. Die größten Verschiebungen treten mit maximal 36 bzw. 30 mm im Bereich der Sohle und der Firste auf. Die Verschiebungen der Stöße sind im unteren Drittel der Strecke mit etwa 20 mm am größten. Die sich daraus ergebenden vertikalen Konvergenzen sind mit 65,6 mm deutlich kleiner als die Meßwerte (s. Abschnitt B), während die horizontalen Konvergenzen, die 35 mm betragen, in der Größenordnung der Meßergebnisse liegen.

Während seitlich des Hohlraumes die zur Strecke hin gerichteten Verschiebungen schnell abnehmen, zeigen sich in den entlasteten Gebirgsbereichen oberhalb der Firste und unterhalb der Sohle auch in 5 bis 6 m Entfernung noch zum Hohlraum gerichtete Verschiebungen von 15 bis 20 mm.

Da die Verschiebungen in der unmittelbaren Umgebung des Hohlraums nicht gemessen wurden, ist ein Vergleich dieser Rechenergebnisse mit Meßwerten nicht möglich. Auch die oben vorgenommene Gegenüberstellung der gemessenen und errechneten Konvergenzen ist mit großen Vorbehalten zu betrachten, da sich die Meßwerte nicht eindeutig auf die gegenüberliegenden Meßpunkte aufteilen lassen.

Im folgenden wird deshalb auf einen Vergleich der gemessenen Konvergenzen mit den Rechenergebnissen verzichtet. Vielmehr werden die Rechenergebnisse mit den Meßergebnissen der Lageänderungsbohrungen des Meßquerschnittes MQ1 (s. Abschnitt 8) verglichen.

Auf einen Vergleich mit den Meßergebnissen des Meßquerschnitts MQ2 wird verzichtet, da in diesem Meßquerschnitt die Strecke 241S einen größeren Abstand zum Liegenden aufweist, als in den Berechnungen simuliert wurde.

In Anlage 9.17 sind die Meßergebnisse der Lageänderungsbohrungen des Meßquerschnittes MQ1 im Vergleich zu den im Fall B51B errechneten Verschiebungen dargestellt. Wie sich zeigt, sind die im Fall B51B erhaltenen Verschiebungen im Bereich oberhalb der Firste mit 15,5 mm deutlich größer als die Meßwerte. Im Bereich des östlichen Stoßes ist der Absolutwert der Verschiebung zwar richtig, jedoch ist die errechnete Verformung nahezu vertikal nach unten gerichtet, während die gemessene Verformung etwa horizontal zur Strecke weist. Die Sohlhebungen wurden in 2 Punkten verglichen. Die Berechnungsergebnisse sind etwa 25 bis 30 % kleiner als die Meßergebnisse.

#### 9.4 Berechnungsausschnitt A - Parameterstudie zur Verformbarkeit des LHD-Feldes, des Deckgebirges, des Zwischenmittels und des Unteren Korallenooliths

Der E-Modul für das Ersatzmaterial, das im 2. Rechenschritt nach dem Ausbruch des LHD-Feldes eingebaut wird, wurde nur abgeschätzt. Um den Einfluß dieses Moduls auf die Spannungen und Verformungen im Gebirge abzuschätzen, wurden für den großen Berechnungsausschnitt 2 Fälle mit kleinerem E-Modul für das Ersatzmaterial untersucht. Dabei zeigt sich, daß durch die Verringerung des E-Moduls auf 100 bzw. 200 MPa (Fälle 51 und 51A, Anlage 9.18) die Senkungen der Geländeoberfläche auf 65 bzw. 37 cm anwachsen (Anlage 9.18). Auch die plastischen Zonen seitlich des LHD-Feldes vergrößern sich; doch eine Beeinflussung des Spannungs- und Verformungszustandes im Bereich der Versuchskammern tritt nicht ein.

Der Einfluß der Verformbarkeit der Schichten des Deckgebirges wurde in den Fällen 51C und 51D untersucht (Anlage 9.18). Durch die Abminderung des E-Moduls in den Schichten des Kimmeridge von 6000 auf 2000 MPa wachsen zwar die Senkungen an der Geländeoberkante geringfügig von 26 cm auf 27 cm an, doch eine Beeinflussung der Spannungen und Verschiebungen im Bereich der Versuchskammern wurde nicht festgestellt. Diese Feststellung trifft auch für den Fall 51D, in dem gegenüber dem Fall 51C die E-Moduln der Schichten der Kreide und des Kimmeridge von 2000 auf 1000 MPa vermindert wurden, zu. Die Senkungen der Geländeoberfläche wachsen in diesem Fall auf 30,5 cm an. Wie bereits bei der Interpretation der in der Strecke 532 gemessenen Verformungen festgestellt, haben die elastischen Konstanten des Deckgebirges praktisch keinen Einfluß auf die Spannungen und Verformungen im Bereich der Strecken. Hierfür sind allein die mechanischen Eigenschaften des Lagers und der unmittelbar darüber- und darunterliegenden Schichten von Bedeutung.

Die Änderung der E-Moduln des Zwischenmittels und des Unteren Korallenooliths (Fälle 51E und 51G) bewirken im Vergleich zum Referenzfall B51B weder eine signifikante Änderung der Senkungen an der Ge-

ländeoberfläche noch eine Änderung der Spannungen und Verformungen im Bereich der Versuchskammern (Anlage 9.18).

Auch eine Simulation der Grabenstörung durch reduzierte E-Moduln, wie sie in einem hier nicht näher dargestellten Lauf vorgenommen wurde, zeigte keinen Einfluß auf die Spannungen und Verformungen im Bereich der Versuchskammern. Auf weitere Untersuchungen dieser Einflüsse wurde daher verzichtet.

## 9.5 Ausschnitt B - Parameterstudie zur Verformbarkeit und zur Festigkeit des Mittleren und Unteren Korallenoolith

### 9.5.1 Zusammenstellung der variierten Kennwerte

Am Berechnungsausschnitt B wurden weitere Berechnungen mit den in Anlage 9.19 zusammengestellten Parametern durchgeführt. Die untersuchten Fälle und die Berechnungsergebnisse werden im folgenden dargestellt.

### 9.5.2 Annahme eines rein elastischen Verhaltens - Fälle B51A1, B51A2, B51A4

Für die Fälle B51A1, B51A2 und B51A4 wurde elastisches Verhalten für das Gebirge angenommen. Der Rechenablauf der im folgenden beschriebenen Fälle entspricht der in Abschnitt 9.1 beschriebenen Vorgehensweise.

Im Fall B51A1 wurden die dem Referenzfall B51B zugrundegelegten Elastizitätskonstanten angenommen. Wie der Vergleich der Berechnungsergebnisse mit den Meßergebnissen der Lageänderungsmessungen zeigt, ergeben sich in der oberhalb der Firste gelegenen Bohrung zu große Verschiebungen (Anlage 9.20). Die für den Stoß errechneten Verschiebungen stimmen dagegen relativ gut mit den Meßergebnissen überein. In der Sohle ergeben sich die größten Unterschiede. Die in den Berechnungen ermittelten Verschiebungen betragen nur die Hälfte bzw. ein Drittel der Meßwerte.

Der Einfluß der Erhöhung des E-Moduls für das Zwischenmittel im Hangenden des Unteren Lagers von  $E = 2000$  auf  $E = 6000$  MPa wurde mit dem Fall B51A2 untersucht. Wie in Anlage 9.21 erkennbar, stimmt in der oberhalb der Firste liegenden Bohrung der Meßwert etwa mit der berechneten Verschiebung überein. Im Stoß ist eine genaue Übereinstimmung erkennbar. In der unterhalb der Sohle gelegenen Bohrung sind die errechneten Verschiebungen im Vergleich zu den Meßergebnissen noch immer zu klein (Anlage 9.21).

Der Einfluß des E-Moduls des Liegenden, des Unteren Korallenooliths wurde in dem Fall B51A4 untersucht. Gegenüber dem letzten Fall B51A2 wurde der E-Modul des Unteren Korallenoolith von 2000 auf 500 MPa reduziert. Wie die in Anlage 9.22 dargestellten Ergebnisse im Vergleich mit den Meßergebnissen zeigen, ergeben sich sowohl in der oberhalb der Firste sowie der unterhalb der Sohle gelegenen Bohrung gute Übereinstimmungen von Meß- und Berechnungsergebnissen. Lediglich die in der Nähe des Stoßes errechnete Verschiebung besitzt eine von dem Meßwert abweichende Richtung.

Aus der mit dem Fall B51A4 erreichten, weitgehenden Übereinstimmung zwischen Meß- und Rechenergebnissen darf jetzt nicht der Schluß gezogen werden, daß die für das Gebirge gewählten elastischen Konstanten den tatsächlichen Werten entsprechen. Wie bereits mehrfach erwähnt, sind zumindest die in Hohlraumnähe gemessenen Verformungen auch auf Festigkeitsüberschreitungen im Fels zurückzuführen und nicht rein elastischer Natur. Da die gemessenen Verformungen mit dem Fall B51A4 rein elastisch interpretiert werden, kann man andererseits davon ausgehen, daß die zugrundegelegten elastischen Konstanten nicht unterschritten werden.

### 9.5.3 Annahme eines elastisch-viskoplastischen Verhaltens - Fälle B51E, B51G, B51J

Mit den folgenden drei Fällen sollen die Elastizitätskonstanten ermittelt werden, mit denen sich die Meßwerte nachvollziehen lassen, wenn man für das Lager, das Hangende und das Liegende die Festigkeiten des Referenzfalls einführt.



Im Fall B51E wird gegenüber dem Referenzfall für das Zwischenmittel der E-Modul von 2000 auf 6000 MPa erhöht. Die Ergebnisse sind wiederum im Vergleich zu den Ergebnissen der Lageänderungsmessungen dargestellt (Anlage 9.23). In den oberhalb der Firste und seitlich des Stoßes gelegenen Bohrungen ergibt sich eine gute Übereinstimmung zwischen den Meß- und Berechnungsergebnissen. In der unterhalb der Sohle gelegenen Bohrung sind die Berechnungsergebnisse mit 13 bzw. 15,5 mm deutlich kleiner als die Meßergebnisse, die eine Größe von 17 bzw. 23,5 mm aufweisen.

Der Einfluß einer Reduzierung des E-Moduls des Zwischenmittels von 2000 auf 1000 MPa gegenüber dem Referenzfall wurde in dem Fall B51G untersucht (Anlage 9.19). Wie in der Anlage 9.24 erkennbar ist, ergibt sich dadurch in der unterhalb der Sohle gelegenen Bohrung eine sehr gute Übereinstimmung zwischen den Meß- und Berechnungsergebnissen. In der seitlich des Stoßes liegenden Bohrung weist die errechnete Verschiebung gegenüber dem Meßwert eine abweichende Richtung auf. Die absolute Größe der Meß- und Berechnungsergebnisse ist dagegen etwa gleich. In der oberhalb der Firste gelegenen Bohrung ergibt die Berechnung, wie bereits im Referenzfall mit 15,5 mm eine zu große Verschiebung; gemessen wurde eine Verschiebung von etwa 8,5 mm (Anlage 9.24).

Die für die Fälle B51E und B51G erhaltenen Unterschiede zwischen den Rechen- und Meßergebnissen führten zur Wahl der Kennwerte für den Lauf B51J. Im Vergleich zum Referenzfall wurden der E-Modul des Zwischenmittels von 2000 auf 6000 MPa erhöht, während für den Unteren Korallenoolith der E-Modul von 2000 auf 1000 MPa abgemindert wurde (Anlage 9.19). Die im Fall B51J erhaltenen Berechnungsergebnisse wurden in Anlage 9.25 den Meßergebnissen gegenübergestellt. Wie man leicht erkennt, ergibt sich in allen Bohrungen eine sehr gute Übereinstimmung mit den Meßergebnissen.

Zusammenfassend kann man feststellen, daß bei Berücksichtigung der Scherparameter des Lagers, des Zwischenmittels und des Unteren Korallenooliths eine Erhöhung des E-Moduls des Unteren Korallenooliths von  $E = 500$  MPa (Fall B51A4) auf  $E = 1000$  MPa (Fall B51J) erfordert,

wenn die Berechnung zu einer Übereinstimmung zwischen Rechen- und Meßergebnissen führen soll. Die anderen elastischen Konstanten müssen nicht geändert werden. Vergleicht man die elastischen Konstanten, die hier zu einer Übereinstimmung der Rechen- mit den Meßergebnissen führen, mit denen, die für die Strecke 532 eine Übereinstimmung gebracht haben, so fällt auf, daß die letzteren mit  $E = 9000$  MPa für das Zwischenmittel,  $E = 12000$  MPa für das Lager und  $E = 5000$  MPa für das Liegende größer sind.

Im Fels sind derartige Unterschiede nicht ungewöhnlich und lassen sich u.U. auch auf unterschiedliche Eigenschaften der Schichten innerhalb des Grubengebäudes zurückführen. Es ist aber auch möglich, daß die E-Moduln des Felses im Fels 5/1 größer sind als im Fall B51J angenommen, dafür aber geringere Gebirgsfestigkeiten in Ansatz gebracht werden müssen als in der Strecke 532. Einen Hinweis hierauf geben die Ergebnisse von Ortsbegehungen und der Kartierungen der Lageänderungsbohrungen.

Hiernach treten im Unteren Lager im Bereich der Versuchskammern verstärkt Tonsteinlagen von wenigen cm Dicke in Abständen von 40 bis 60 cm auf. Diese Tonsteinlagen bewirken neben einer Anisotropie in der Verformbarkeit, die aber bei den geringen Schichtdicken vernachlässigbar klein ist, auch eine Abminderung der Scherfestigkeit parallel zur Schichtung. In den im folgenden beschriebenen Fällen sollen die Meßergebnisse deshalb unter Berücksichtigung einer Schichtung mit verminderter Festigkeit nachvollzogen werden.

#### 9.5.4 Annahme eines elastisch-viskoplastischen Verhaltens unter Berücksichtigung einer anisotropen Festigkeit - Fälle B51KM, B51LM, B51MM, B51NM, B51OM, B51PM,

Da der Ausbruch des LHD-Feldes nur einen geringen Einfluß auf die Verformungen und Spannungen im Ausschnitt B hat, wurden, um die Rechenzeiten zu verkürzen, die folgenden Berechnungen nur am Ausschnitt B (Anlagen 9.4, 9.5 und 9.9) durchgeführt.

Der Primärfall wird dadurch simuliert, daß Einzelkräfte, die dem

Gewicht der Überlagerung entsprechen, an der oberen Begrenzungsebene des Berechnungsausschnittes angreifen. Die Randbedingungen werden gegenüber den vorstehend erläuterten Berechnungen so verändert, daß wie beim Ausschnitt A die Knoten auf den seitlichen Begrenzungsebenen in x-Richtung festgehalten und in z-Richtung verschieblich sind. Die auf der unteren Begrenzungsebene liegenden Knoten werden in z-Richtung festgehalten und sind in x-Richtung verschieblich. In y-Richtung werden alle Knoten festgehalten.

Da sich aus dem Auffahren der Strecken praktisch keine Beeinflussung der Spannungen und Verformungen in der Umgebung der Nachbarstrecken ergibt, wird nach dem Primärfall nur im 2. Rechenschritt die Auffahrung der Strecke 241S simuliert.

Die dem Fall B51KM zugrundegelegten Kennwerte sind in Anlage 9.19 zusammengestellt. Gegenüber dem Referenzfall B51B wurden der E-Modul für das Zwischenmittel auf 12000 MPa, der E-Modul für das Untere Lager auf 18000 MPa und der E-Modul für den Unteren Korallencolith auf 4000 MPa heraufgesetzt. Auf der anderen Seite wurde parallel zur Schichtung mit einem Reibungswinkel von  $\psi_s = 20^\circ$  und einer Kohäsion von  $c_s = 0$  eine geringe Scherfestigkeit in den Berechnungen eingeführt. Der Dilatanzwinkel wurde zu  $\psi_s = \varphi_s = 20^\circ$  angenommen, was der Annahme einer assoziierten Fließregel entspricht.

Die Ergebnisse dieses Falles sind in Anlage 9.26 den Meßergebnissen gegenübergestellt. In der oberhalb der Firste gelegenen Bohrung ergibt sich eine relativ gute Übereinstimmung zwischen Berechnungs- und Meßergebnissen. In der Nähe des Stoßes weisen Meß- und Rechenergebnis zwar die gleiche absolute Größe auf, aber die Verschiebungen besitzen eine unterschiedliche Richtung. Die unterhalb der Sohle ermittelten Berechnungsergebnisse sind mit etwa 9 mm bzw. 11 mm nur etwa halb so groß wie die Meßergebnisse (17 bzw. 23,5 mm).

In dem Fall B51LM wird auch für den Unteren Korallencolith mit einer parallel zur Schichtung abgeminderten Scherfestigkeit gerechnet. Die Scherparameter entsprechen denen für das Untere Lager (Anlage 9.19).

Die erhaltenen Ergebnisse unterscheiden sich allerdings nicht sehr stark von denen des vorher untersuchten Falles (Anlage 9.26 und 9.27).

In dem Fall B51MM wurde gegenüber dem Fall B51LM der E-Modul für den Unteren Korallenoolith von 4000 auf 2000 MPa reduziert. Durch diese Annahmen vergrößern sich im Vergleich zum Fall B51LM die errechneten Verschiebungen für den Bereich unterhalb der Sohle (Anlagen 9.27 und 9.28). Sie bleiben allerdings mit 10,8 bzw. 23,5 mm gegenüber den Meßergebnissen von 17 und 14,5 mm immer noch zu klein. Aus diesem Grund wurde im Fall B51NM der E-Modul des Unteren Lagers von 18000 MPa auf 12000 MPa reduziert. Im unteren Korallenoolith werden dagegen wiederum 4000 MPa für den E-Modul angenommen. Eine abgeminderte Scherfestigkeit parallel zur Schichtung wird nur für das Lager berücksichtigt. Für diesen Fall ergibt sich oberhalb der Firste und seitlich des Stoßes eine gute Übereinstimmung mit den Meßergebnissen (Anlage 9.29). Unterhalb der Sohle sind die errechneten Verformungen mit 9,6 bzw. 11,7 mm im Vergleich zu den Meßergebnissen (17,0 bzw. 23,5 mm) allerdings wiederum zu klein.

In dem Fall B51OM wird gegenüber dem vorher erläuterten Fall B51NM für den Unteren Korallenoolith erneut eine kleinerer E-Modul von 2000 MPa berücksichtigt (Anlage 9.19). Wie die in Anlage 9.30 dargestellten Ergebnisse zeigen, ergibt sich nunmehr auch in den unterhalb der Sohle liegenden Punkten eine befriedigende Übereinstimmung der Berechnungsergebnisse von 12,8 bzw. 17,3 mm mit den Meßergebnissen (17 bzw. 23,5 mm).

Die zusätzliche Berücksichtigung der Schichtung im Unteren Korallenoolith mit Festigkeitsparametern von  $\varphi_s = 20^\circ$  und  $c = 0$  sowie eines Dilatanzwinkels von  $\psi_s = \varphi_s = 20^\circ$  führt nur zu einer geringfügigen Änderung der Ergebnisse (Anlage 9.31).

## 10. Zusammenfassung und Schlußfolgerungen

Im vorliegenden Bericht wird nachgewiesen, daß sich auf der Schachtanlage Konrad Strecken mit vertretbarem Sicherungsaufwand standsi-

cher auffahren lassen und die Hohlraumrandverformungen sowie die Verformungen des Gebirges in der Umgebung der Strecken nach Beendigung der Ausbruch- und Sicherungsarbeiten relativ schnell zur Ruhe kommen. Dies ist insbesondere im Hinblick auf die Errichtung von Kammerabschlußbauwerken, die in der Betriebsphase die mit Abfallgebunden gefüllten Einlagerungskammern vom betriebenen Grubengebäude trennen sollen, von Bedeutung (Kapitel 1).

Im Kapitel 2 folgt eine Beschreibung des Grubengebäudes. Neben der Streckenauffahrung während der Abbautätigkeit werden das Konzept für Kammerabschlußbauwerke (Modell 2) sowie die Auffahrung und die Sicherung der Versuchsstrecke 532 und der Versuchskammern im Feld 5/1 erläutert.

Die geologischen Verhältnisse im Bereich der Schachtanlage Konrad werden im Kapitel 3 anhand von vertikal geführten Schnitten beschrieben. Danach stehen vom Liegenden zum Hangenden die Schichten des Trias, des Jura und der Kreide an. Sowohl die Abbaufelder als auch das projektierte Endlager befinden sich im unteren Teil des Weißen Jura (Oxford). Die maßgeblichen Schichten sind das Untere Erzlager (Bereich der Abbaufelder und der Strecken) sowie im Liegenden der Untere Korallenoolith und im Hangenden das sog. Zwischenmittel. Die vorgenannten Schichten stehen im Bereich der Schachtanlage in Tiefen von 800 bis 1300 m an und fallen mit etwa  $22^{\circ}$  nach Westen ein.

Die Verformbarkeiten und die Festigkeiten der maßgeblichen Schichten werden anhand der Ergebnisse von Labor- und Feldversuchen sowie vorliegender Erfahrungen abgeschätzt (Kapitel 4). Nach diesen Unterlagen liegt der E-Modul des Zwischenmittels etwa zwischen 2000 und 10000 MPa. Die einaxiale Druckfestigkeit des Gesteins beträgt etwa 6 bis 20 MPa. Die Verformbarkeit des Unteren Lagers kann nach durchgeführten Labor- und Feldversuchen durch einen E-Modul von etwa  $E = 6000 - 15000$  MPa abgeschätzt werden. Mit etwa 10 bis 30 MPa ist die einaxiale Druckfestigkeit des Gesteins größer als die im Zwischenmittel.

Für die im Liegenden des Erzlagers anstehenden Schichten des Unteren Korallenooliths ergibt sich der E-Modul etwa zwischen 1000 und 6000 MPa. Die einaxialen Druckfestigkeiten des Gesteins liegen hier etwa zwischen 4 und 18 MPa.

Die im Kapitel 5 beschriebenen Senkungsmessungen an der Geländeoberfläche weisen bis 1987 maximale Senkungen von etwa 27 cm aus. Die Senkungen haben ihren Endwert noch nicht erreicht, sondern wachsen mit jährlichen Zuwachsraten bis zu 4 mm weiter an.

Wie die Auswertung untertägiger Konvergenzmessungen zeigt, ist bei Streckenauffahrungen im Konrad- bzw. Hufeisenprofil unter Anwendung der auf der Schachanlage Konrad üblichen Sicherungsmittel mit großen, über Jahre andauernden Hohlraumrandverschiebungen zu rechnen. Die Größe der eintretenden Konvergenzen ist von verschiedenen Einflüssen wie der Größe der Überdeckung (800 bis 1300 m), dem Abstand zu Nachbarstrecken, dem Abstand zum Abbaufeld, dem Abstand zu Streckenkreuzungen und dem Abstand zu den Liegendschichten abhängig. Die gemessenen Konvergenzen betragen in vertikaler Richtung etwa 10 bis 30 cm und in horizontaler Richtung zwischen 3 und 20 cm. Bei nahezu allen Messungen wurde eine langandauernde Zunahme der Konvergenzen festgestellt, die sich z.T. bis über 10 Jahre nach der Streckenauffahrung hinzieht. Auch Aufweitungsarbeiten und das Bereiben der Sohlen ist in den meisten Fällen mit großen und langandauernden Gebirgsverformungen verbunden.

In den Kapiteln 6 und 8 sind die in den Versuchsstrecken ermittelten Meßergebnisse beschrieben. In der Strecke 532 wurden in den 2 Meßquerschnitten praktisch gleich große Verschiebungen gemessen. Die hier vorgenommene Aufweitung einer im Konradprofil aufgefahrenen Strecke auf ein Kreisprofil mit 9,5 m Durchmesser bei gleichzeitigem Einbau der Sicherung führt zu Firstsenkungen von nur ca. 0,4 bis 0,7 cm. Die größten Verschiebungen wurden im westlichen Stoß mit etwa 4,1 bzw. 4,6 cm gemessen, während im östlichen Stoß nur 0,7 bzw. 1,3 cm gemessen wurden. In der Sohle wurden mit den vertikalen Extensometern Hebungen von etwa 1,0 cm festgestellt. Demgegenüber wurden mit den in der Sohle bankrecht angeordneten Extensometern

etwa 3,3 cm Verschiebungen gemessen. Bereits wenige Wochen nach Beendigung der Vortriebsarbeiten zeigten sich nur noch geringe Zunahmen der Verschiebungen, die etwa 3 Monate nach Beendigung des Vortriebs nahezu vollständig abgeklungen sind.

Während der Auffahrung der Versuchskammern im Feld 5/1, die ein Hufeisenprofil aufweisen und mit dem auf der Schachtanlage Konrad üblichen Ankerausbau aus 1,80 m langen Keilankern gesichert sind, wurden Konvergenzmessungen und Messungen in Lageänderungsbohrungen durchgeführt. Die gemessenen Konvergenzen betragen 16 bis 21 cm in vertikaler und 3 bis 5,5 cm in horizontaler Richtung. Diese Werte stellen jedoch noch keine Endwerte dar, da auch hier etwa 9 Monate nach dem Abschluß der Vortriebsarbeiten von weiteren Verformungszunahmen ausgegangen werden muß. Eine gegenseitige Beeinflussung der benachbarten Strecken ist, wie die Ergebnisse der Lageänderungsmessungen zeigen, nicht eingetreten.

Mit den in den Kapiteln 7 und 9 durchgeführten FE-Berechnungen sollten die in den Versuchsstrecken erhaltenen Meßergebnisse interpretiert und die felsmechanischen Kennwerte für weitere Untersuchungen festgelegt werden. Die Berechnungen wurden an 2 Ost-West gerichteten Schnitten durchgeführt. Die Berücksichtigung der alten, mit Spülversatz gefüllten Abbaufelder geschieht dabei vereinfachend durch den Ansatz eines Ersatz-E-Moduls für das Strecken-Pfeilersystem.

In den Berechnungen zur Strecke 532 (Kapitel 7) ergibt sich, daß sich die infolge des Erzabbaus entstandenen plastischen Zonen auf einen relativ kleinen Bereich seitlich des Abbaufeldes beschränken und den Bereich der weiter entfernt liegenden Strecken nicht beeinflussen. Die in der unmittelbaren Umgebung der Strecken infolge der Auffahrung entstehenden plastischen Zonen weisen nur eine Ausdehnung von wenigen Metern auf und liegen i.a. vollständig innerhalb des Unteren Lagers. Dies gilt auch für den Fall der Aufweitung der Strecke 532. Die gemessenen Verschiebungen im Bereich der Strecken werden nach den Ergebnissen der Berechnungen im wesentlichen durch die Verformbarkeiten der 3 bereits genannten maßgeblichen Schichten (Zwischenmittel, Unteres Lager, Unterer Korallenoolith) bestimmt. In den

Berechnungen können Festigkeits- und Verformbarkeitsparameter für die einzelnen Schichten ermittelt werden, mit denen sich die gemessenen Verschiebungen relativ gut nachvollziehen lassen. Weiterhin ergibt sich, daß durch die Aufweitung der Strecke 532 keine Beeinflussung der Nachbarstrecken eintritt.

Die Berechnungen zum Feld 5/1 (Kapitel 9) lassen grundsätzlich ähnliche Aussagen wie die Berechnungen zur Strecke 532 zu. Die Interpretation der Meßergebnisse führt jedoch in den beiden Fällen nicht zu identischen Kennwerten. Hierbei ist jedoch zu berücksichtigen, daß im Feld 5/1 bisher nur unvollständige Aussagen über die Verschiebungen des Hohlraumrandes (lediglich Relativverschiebungen wurden gemessen) und über den Verlauf der Verschiebungen mit zunehmendem Abstand von den Hohlraumwänden vorliegen. Die entsprechenden Berechnungen zur Interpretation der Verschiebungen weisen daher einen etwas geringeren Zuverlässigkeitsgrad als die Berechnungen zur Strecke 532 auf.

Im folgenden werden die wesentlichen Schlußfolgerungen angegeben, die sich aus den in den vorangegangenen Kapiteln erläuterten Ergebnissen der Versuche, Messungen und Berechnungen ableiten lassen.

Die Senkungen der Geländeoberfläche wachsen auch gegenwärtig noch jährlich um bis zu 4 mm an und sind demzufolge zeitabhängig. Sie sind auf großmaßstäbliche Lastumlagerungen im Bereich der Abbaufelder zurückzuführen. Ein Ende dieser Lastumlagerungen und damit auch der Senkungszunahmen ist z.Zt. nicht abschätzbar.

Infolge des Erzabbaus entstehen im an die Abbaufelder angrenzenden Gebirgsbereich plastische Zonen. Nach den Ergebnissen der Finite-Element-Berechnungen ist die Ausdehnung dieser Zonen jedoch begrenzt. Weiterhin läßt sich aus den Berechnungsergebnissen entnehmen, daß die Auffahrung von Strecken neben den Abbaufeldern nicht ursächlich für die Senkungen an der Geländeoberfläche ist. Dies trifft auch für neu aufzufahrende Strecken zu, soweit sie außerhalb des Einflußbereiches der alten Abbaufelder liegen.



Die im Hufeisen- und Konradprofil aufgefahrenen und mit dem auf der Schachtanlage Konrad üblichen Ankerabau gesicherten Strecken weisen große, lang andauernde Verformungen auf. Die zeitabhängigen Verformungen werden durch Festigkeitsüberschreitungen verursacht, die sich auf den hohlraumnahen Bereich beschränken. Dies haben auch die in der Strecke 522 durchgeführten Injektionsversuche gezeigt. Die plastischen Verformungen im Bereich der alten Strecken wachsen über einen Zeitraum von mehreren Jahren an und klingen, wenn überhaupt, nur langsam ab.

Im Unterschied dazu ist es in der Strecke 532 gelungen, die aus einer erheblichen Erweiterung der Strecke resultierenden Verschiebungen durch die Wahl eines statisch günstigen Kreisprofils und durch den raschen Einbau einer Sicherung aus Spritzbeton und 4 bis 8 m langen Ankern auf maximal 4,6 cm zu begrenzen. Außerdem sind die in der Strecke 532 gemessenen Verschiebungen innerhalb von nur 4 Wochen nahezu vollständig abgeklungen. Die danach noch festgestellten Verschiebungen liegen im Bereich der Meßgenauigkeit. Aufgrund des raschen Abklings der Hohlraumrandverschiebungen können die im Spritzbeton angeordneten Fugen bald geschlossen werden. Es kann somit festgestellt werden, daß die Herstellung eines standsicheren Hohlraums mit vergleichsweise kleinen und innerhalb kurzer Zeit zur Ruhe kommenden Verformungen im Unteren Lager möglich ist. Voraussetzung hierfür ist jedoch ein ausreichender gegenseitiger Abstand der Strecken (ca. 30 m). Außerdem müssen die Strecken ausreichend weit von den vorhandenen Abbaufeldern entfernt sein.

Die Interpretation durch FE-Berechnungen bestätigt die vorstehenden Ausführungen und führt zu Kennwerten, die sich für eine Extrapolation im Rahmen weitergehender Untersuchungen eignen. In den Berechnungen ergibt sich, daß für die im Streckenbereich auftretenden Verschiebungen im wesentlichen die Verformbarkeiten des Unteren Lagers, des Zwischenmittels und des Unteren Korallenooliths sowie die Festigkeiten des Unteren Lagers bestimmend sind.

Demzufolge können durch die Berechnungen auch nur die Kennwerte dieser Schichten hinreichend genau bestimmt werden. Andererseits ist

die Ermittlung der Kennwerte der übrigen Schichten für die anstehenden Fragen auch von untergeordneter Bedeutung. Die durch die FE-Berechnungen bestimmten Kennwerte der o.g. drei Schichten werden im folgenden näher erläutert.

Für die Verformbarkeiten können die nachstehenden Elastizitätsmoduln empfohlen werden:

Zwischenmittel:	E = 5000 - 10000 MPa
Unteres Lager:	E = 8000 - 15000 MPa
Unterer Korallenoolith:	E = 2000 - 5000 MPa

Die Poissonzahlen können jeweils mit  $\nu = 0,30 \pm 0,05$  angenommen werden.

Die angegebenen Streubreiten ergeben sich daraus, daß es sich um ein relativ großes betrachtetes Untersuchungsgebiet (ca.  $5 \text{ km}^2$ ) handelt, in dem naturgemäß Inhomogenitäten vorliegen. Weiterhin lassen sich die Meßergebnisse mit befriedigender Genauigkeit durch verschiedene Kennwertkombinationen innerhalb der angegebenen Streubreiten nachvollziehen.

Wie erwähnt, sind auch die Festigkeiten des Gesteins im Bereich des Unteren Lagers von Bedeutung für die auftretenden Verschiebungen. In Anlehnung an die Laborversuchsergebnisse kann mit einem Reibungswinkel von  $\varphi = 25^\circ$  gerechnet werden. Für die Kohäsion wird empfohlen, etwa die Hälfte des in den Laborversuchen ermittelten mittleren Wertes anzunehmen, d.h. etwa  $c = 6 \text{ MPa}$ . Die angegebenen Scherparameter entsprechen einer einaxialen Druckfestigkeit von  $\sigma_{gd} = 19 \text{ MPa}$ . Bei Annahme dieser Festigkeitsparameter werden mit den Berechnungen zufriedenstellende Ergebnisse erzielt. Im übrigen halten sich bei der Wahl eines statisch günstigen Ausbruchprofils (Kreis) und Einbau einer angemessenen Sicherung die plastischen Verschiebungsanteile in Grenzen. Der Einfluß der Festigkeit des Gesteins auf die Verschiebungen sollte daher im Hinblick auf die Herstellung von Kammern für Abschlußbauwerke nach Modell 2 nicht überbewertet werden. Die angegebene Einschätzung der Festigkeit wird deshalb für genau genug gehalten.

Ein eventuelles zeitabhängiges Verhalten nach dem Bruch des Gesteins kann z.Zt. nicht näher angegeben werden. Hierzu wären umfangreichere Messungen in weitgehend ungesicherten Strecken erforderlich. In derartigen Messungen müßte vor allem der Verlauf der Verschiebungen in der Umgebung der Strecken erfaßt werden. Für die vorliegende Aufgabenstellung kann auf derartige Untersuchungen verzichtet werden, da durch die Wahl eines statisch günstigen Querschnittes und einer aus Spritzbeton und Ankern bestehenden Sicherung Festigkeitsüberschreitungen im Gebirge weitgehend vermieden werden können.

In den Berechnungen konnte weiterhin festgestellt werden, daß die unter  $60^{\circ}$  einfallenden Klüfte einen Einfluß auf die Verschiebungen haben. Dies trifft im Bereich der Strecke 532 im wesentlichen auf die nach Westen, d.h. in die gleiche Richtung wie das Lager einfallenden Klüfte zu. Daneben treten auch entgegengesetzt einfallende Klüfte auf, die im vorliegenden Fall jedoch mechanisch nicht wirksam zu sein scheinen. Auch die etwa senkrecht zur Strecke streichenden Klüfte sind vermutlich von untergeordneter Bedeutung. Für die Scherfestigkeit auf den Klüftflächen kann von etwa  $\varphi_k = 40^{\circ}$  ( $c_k = 0$ ) ausgegangen werden.

Obwohl die Schichtung des Unteren Lagers in den alten Strecken deutlich sichtbar ist (vgl. Konradprofil), kann man zumindest für den Bereich der Strecke 532 davon ausgehen, daß sie mechanisch nicht wirksam ist. In den entsprechenden Berechnungen wurde daher keine Schichtung berücksichtigt. Andere Verhältnisse liegen evtl. im Bereich des Feldes 5/1 vor, wo cm-dicke Tonsteinlagen in das Erzlager eingeschaltet sind. Die in den zugehörigen Berechnungen angenommene Scherfestigkeit auf der Schichtung ( $\varphi_s = 20^{\circ}$ ,  $c_s = 0$ ) dürfte jedoch eine untere Grenze darstellen.

Sowohl bei den Klüften als auch bei der Schichtung sollte die Zugfestigkeit senkrecht zu den Trennflächen zu Null angenommen werden.

Zusammenfassend wird festgestellt, daß die empfohlenen Kennwerte als Grundlage für die weiteren Planungsarbeiten dienen. Es wird im jeweiligen Fall, d.h. bei der Herstellung von Kammern für Abschlußbauwerke nach Modell 2 eine Verifizierung der Annahmen vorgenommen. Dies erfolgt z.B. durch weitere Kartierungen, Messungen, Versuche und begleitende Berechnungen.

Abschließend soll noch eine Sicherheitsbetrachtung vorgestellt werden, die sich auf ein eventuell mögliches zeitabhängiges Gebirgsverhalten (plastisches Kriechen) bezieht. Falls ein solches Verhalten vorliegt, könnte es auf Dauer zu einer Überbeanspruchung der Spritzbetonschale und somit zu einer Belastung des Kammerabschlußbauwerks (Modell 2) führen. Zur Abschätzung dieser Beanspruchung könnte beispielsweise eine dreidimensionale viskoplastische FE-Berechnung durchgeführt werden, in der die Spritzbetonschale als unwirksam angenommen wird. Vereinfachend kann jedoch auch angenommen werden, daß infolge der räumlichen Tragwirkung, die sich in einem solchen Fall einstellen würde, das Kammerabschlußbauwerk die Lasten anzieht und daß der Einflußbereich etwa die dreifache Länge des Kammerabschlußbauwerks aufweist. Die Belastung des Kammerabschlußbauwerks kann dann näherungsweise aus der Beanspruchung der anfänglich noch wirksamen Spritzbetonschale abgeleitet werden, wobei der o.g. räumliche Einfluß entsprechend der geschätzten Größe des Einflußbereiches durch den Lasterhöhungsfaktor 3 berücksichtigt wird. Auf die quantitative Erfassung einer auf das o.a. Gebirgsverhalten zurückzuführenden Belastung des Kammerabschlusses wurde an dieser Stelle verzichtet, da aus den vorliegenden Ergebnissen ein plastisches Kriechen nicht abgeleitet werden kann.

Zusammenfassend wird festgestellt, daß nach den Ergebnissen der Versuchsstrecken und der Finite-Element-Berechnungen Kammerabschlußbauwerke nach Modell 2 im Endlager Konrad im Unteren Lager grundsätzlich herstellbar sind.

Aachen, den 21.07.1989



## 11. Anlagenverzeichnis

- 2.1      Übersichtsriß der Schachtanlage Konrad [9]
- 2.2      Anordnung der Einlagerungsfelder [27]
- 2.3      Prinzipskizze eines Einlagerungsbetriebes [27]
- 2.4      Grundriß und Längsschnitte [1]
- 2.5      Darstellung des Sicherungskonzeptes [1]
- 2.6      Lage der Versuchsstrecke 532
- 2.7      Grundriß und Längsschnitt Versuchsstrecke 532
- 2.8      Aufweitungsfolge in Strecke 532 [1]
- 2.9      Lage der Versuchskammern im Feld 5/1 [38]
  
- 3.1      NW-SE Schnitt I-I im Bereich der Schachtanlage Konrad [8]
- 3.2      W-E Schnitt II-II auf H 83 250 [3]
- 3.3      W-E Schnitt III-III auf H 82 350 [3]
- 3.4      N-S Schnitt IV-IV auf R 96 000 [3]
  
- 4.1      Zusammenstellung der in den Laborversuchen ermittelten  
          E-Moduln und Festigkeitsparameter
- 4.2      Zusammenstellung der Ergebnisse der Dilatometerversuche  
          im Unteren Lager
  
- 5.1      Darstellung der Geländesenkungen (Stand 5'87) [26]  
          und der Zeit-Senkungskurven der Punkte 5034, 5011 und 5065
- 5.2      Lageplan der Extensometer- und Konvergenzquerschnitte
- 5.3      Horizontale Konvergenzen in den Meßquerschnitten 620A/1,  
          610A/2, 602/3, 602/4, 602/5, 602/6 und 610N/7
- 5.4      Konvergenzen in den Extensometermeßquerschnitten 522/1,  
          552/4, 672/1 und 672/2
- 5.5      Konvergenzen in den Extensometermeßquerschnitten 532/1,  
          542/1, 552/1 und 552/2
- 5.6      Konvergenzen in den Extensometermeßquerschnitten 402/2 und  
          502/1

- 6.1 Anordnung der Meßquerschnitte in den Meßstrecken 532, 522 und 542
- 6.2 Anordnung der Extensometer, Inklinometer und Konvergenzmeßstrecken in Strecke 532, 542 und 522
- 6.3 Anordnung der Druckmeßdosen, Ankerkraftmeßdosen und Darstellung der Gleitanzeige
- 6.4 Aufweitung und Verschiebung als Funktion der Zeit, Meßquerschnitt 532/6 Extensometer E1 und E6
- 6.5 Aufweitung und Verschiebung als Funktion der Zeit, Meßquerschnitt 532/7 Extensometer E1 und E6
- 6.6 Aufweitung und Verschiebung als Funktion der Zeit, Meßquerschnitt 532/6 Extensometer E2 und E5
- 6.7 Aufweitung und Verschiebung als Funktion der Zeit, Meßquerschnitt 532/7 Extensometer E2 und E5
- 6.8 Aufweitung und Verschiebung als Funktion der Zeit, Meßquerschnitt 532/6 Extensometer E3 und E4
- 6.9 Aufweitung und Verschiebung als Funktion der Zeit, Meßquerschnitt 532/7 Extensometer E3 und E4
- 6.10 Beispielhafte Ermittlung der Verschiebungen bei Rückverlegung des Extensometerkopfes
- 6.11 Darstellung der im Meßquerschnitt 532/6 gemessenen Hohlraum- und Gebirgsverschiebungen
- 6.12 Darstellung der im Meßquerschnitt 532/7 gemessenen Hohlraum- und Gebirgsverschiebungen
- 6.13 Konvergenz als Funktion der Zeit, Meßquerschnitt 542/6
- 6.14 Konvergenz als Funktion der Zeit, Meßquerschnitt 522/6
- 6.15 Meßergebnisse von Konvergenzmessungen nördlich der Aufweitungsstrecke [30]
  
- 7.1 Elastisch-viskoplastisches Modell für das Spannungsdehnungsverhalten des Gebirges
- 7.2 Übersichtsriß der Schachtanlage Konrad und Lage des Berechnungsschnittes II-II
- 7.3 FE-Netz Gesamtausschnitt (Netz G)
- 7.4 FE-Detailnetz aus dem in Anlage 7.3 dargestellten Berechnungsausschnitt

- 7.5 1. Rechenschritt Eigengewicht des Gebirges
- 7.6 2. Rechenschritt Ausbruch und Versatz des Abbaufeldes
- 7.7 3. Rechenschritt Ausbruch der Strecken 502-402 im Konradprofil
- 7.8 4. Rechenschritt Aufweitung der Strecke 532 auf Kreisquerschnitt ohne Berücksichtigung der Sicherung
- 7.9 5. Rechenschritt Einbau der Spritzbetonschale in Strecke 532
- 7.10 Referenzfall G4 Zusammenstellung der felsmechanischen Kennwerte
- 7.11 Fall G4 1. Rechenschritt (Primärfall) vertikale Spannungskomponente  $\sigma_z$
- 7.12 Fall G4 2. Rechenschritt (Ausbruch des Abbaufeldes) Hauptnormalspannungen und plastische Zonen im Gebirge
- 7.13 Fall G4 2. Rechenschritt (Ausbruch und Versatz des Abbaufeldes) vertikale Spannungskomponente  $\sigma_z$
- 7.14 Fall G4 Verschiebungen infolge Abbau (2. Rechenschritt - 1. Rechenschritt)
- 7.15 Fall G4 3. Rechenschritt (Auffahren der Strecken) Plastische Zonen im Bereich der Strecken und des Abbaufeldes
- 7.16 Fall G4 3. Rechenschritt - Zeitliche Veränderung der plastischen Zonen im Bereich der Strecke 532
- 7.17 Fall G4 4. - 2. Rechenschritt - Plastische Zonen im Bereich der Strecke 532
- 7.18 Fall G4 4. - 3. Rechenschritt - Verschiebungen der Ausbruchlaibung infolge Aufweitung der Strecke 532
- 7.19 Fall G4 4. - 3. Rechenschritt - Gebirgsverschiebungen im Bereich der Strecke 532
- 7.20 Fall G4 2. bis 5. Rechenschritt - Zeitliche Entwicklung der Hohlraumrandverschiebungen (Aufweitung 532)
- 7.21 Zusammenstellung der variierten Kennwerte

- 7.22 FE-Detailnetz aus dem in Anlage 7.3 dargestellten Berechnungsausschnitt
- 7.23 Meßbare Extensometerverschiebungen - Vergleich der Rechnungen Fall G4 und Fall G6
- 7.24 Meßbare Extensometerverschiebungen - Vergleich der Rechnungen Fall G4 und Fall G7
- 7.25 Meßbare Extensometerverschiebungen - Vergleich der Rechnungen Fall G4 und Fall G9
- 7.26 Meßbare Extensometerverschiebungen - Vergleich der Rechnungen Fall G4 und Fall G10
- 7.27 Meßbare Extensometerverschiebungen - Vergleich Messung (MQ 532/7) und Rechnung (Fall G4)
- 7.28 Meßbare Extensometerverschiebungen - Vergleich Messung (MQ 532/7) und Rechnung (Fall K2P)
- 7.29 Aus der Berechnung (Fall K2P) abgeleitete, in den Meßergebnissen enthaltene elastische Extensometerverschiebungen (MQ532/7)
- 7.30 Aus der Berechnung (Fall K2P) abgeleitete, in den Meßergebnissen enthaltene elastische Extensometerverschiebungen (MQ532/6)
- 7.31 Fall K2E 4. - 3. Rechenschritt elastische Extensometerverschiebungen
- 7.32 Fall K3E 4. - 3. Rechenschritt elastische Extensometerverschiebungen
- 7.33 Fall K4E 4. - 3. Rechenschritt elastische Extensometerverschiebungen
- 7.34 Meßbare Extensometerverschiebungen - Vergleich Messung (MQ 532/7) und Rechnung (Fall K3P1)
- 7.35 Meßbare Extensometerverschiebungen - Vergleich Messung (MQ 532/7) und Rechnung (Fall K3P4)
- 7.36 Meßbare Extensometerverschiebungen - Vergleich Messung (MQ 532/7) und Rechnung (Fall K4P4)
- 7.37 Meßbare Extensometerverschiebungen - Vergleich Messung (MQ 532/7) und Rechnung (Fall K4P2)



- 7.38 Meßbare Extensometerverschiebungen - Vergleich Messung (MQ 532/7) und Rechnung (Fall K4P5)
- 7.39 Fall K4P2 4. - 3. Rechenschritt - Verschiebungen im Bereich der Aufweitung Strecke 532
- 8.1 Lageplan der Versuchskammer 241S mit Anordnung der Meßeinrichtungen [31]
- 8.2 Anordnung der Lageänderungsbohrungen und der Spannungsmonitorstation Meßquerschnitt 1 [35]
- 8.3 Anordnung der Lageänderungsbohrungen und der Spannungsmonitorstation Meßquerschnitt 2 [35]
- 8.4 Darstellung der in Strecke 241S gemessenen Konvergenzen in Abhängigkeit der Zeit
- 8.5 Darstellung der in den Lageänderungsbohrungen gemessenen Verformungen [35]
- 8.6 Vertikale Konvergenzen und Vertikalverschiebungen in den Lageänderungsbohrungen in Abhängigkeit der Zeit
- 9.1 Übersichtsriß der Schachtanlage Konrad Betrachteter Schnitt III-III im Bereich des LHD-Feldes-Süd
- 9.2 Vertikalschnitt III-III: Profil W-E auf H 82350
- 9.3 Berechnungsausschnitt A: 1. Rechenschritt - Primärzustand
- 9.4 Berechnungsausschnitt A: 2. Rechenschritt - Ausbruch  
LHD-Feld-Süd
- 9.5 Berechnungsausschnitt B: 3. Rechenschritt - Ausbruch  
Strecke 101S
- 9.6 Berechnungsausschnitt B: 4. Rechenschritt - Ausbruch  
Strecke 241S
- 9.7 Berechnungsausschnitt B: 5. Rechenschritt - Ausbruch  
Strecke 231S
- 9.8 Elementnetz - Berechnungsausschnitt A
- 9.9 Elementnetz - Berechnungsausschnitt B
- 9.10 Fall 51B: 1. Rechenschritt (Primärzustand) - Hauptnormalspannungen im Untergrund
- 9.11 Fall 51B: 2. Rechenschritt (Ausbruch des LHD-Feldes-Süd) - Hauptnormalspannungen im Untergrund

- 9.12 Fall 51B: 2. Rechenschritt - Hauptnormalspannungen und plastische Zone im östlichen Rand des LHD-Feldes-Süd
- 9.13 Fall B51B: 4. Rechenschritt - Hauptnormalspannungen im Gebirge im Bereich der Strecke 241S
- 9.14 Fall B51B: 3.-5. Rechenschritt - Plastische Zonen in der Umgebung der Strecken 101S, 241S, 231S
- 9.15 Fall B51B: 3.-5. Rechenschritt - Zeitliche Entwicklung der Hohlraumrandverschiebungen in den Strecken 101S, 241S, 231S
- 9.16 Fall B51B: 4. Rechenschritt - Gebirgsverschiebungen im Bereich der Strecke 241S
- 9.17 Fall B51B: Gebirgsverschiebungen im Bereich der Lageänderungsbohrungen (MQ1) - Vergleich Messung/Rechnung
- 9.18 FE-Berechnung am Ausschnitt A: Recherische Geländesenkungen infolge Ausbruch des LHD-Feldes-Süd (Parameterstudie)
- 9.19 FE-Berechnungen am Ausschnitt B - Zusammenstellung der variierten Kennwerte
- 9.20 Fall B51A1 Gebirgsverschiebungen im Bereich der Lageänderungsbohrungen (MQ1) - Vergleich Messung/Rechnung
- 9.21 Fall B51A2 Gebirgsverschiebungen im Bereich der Lageänderungsbohrungen (MQ1) - Vergleich Messung/Rechnung
- 9.22 Fall B51A4 Gebirgsverschiebungen im Bereich der Lageänderungsbohrungen (MQ1) - Vergleich Messung/Rechnung
- 9.23 Fall B51E Gebirgsverschiebungen im Bereich der Lageänderungsbohrungen (MQ1) - Vergleich Messung/Rechnung
- 9.24 Fall B51G Gebirgsverschiebungen im Bereich der Lageänderungsbohrungen (MQ1) - Vergleich Messung/Rechnung
- 9.25 Fall B51J Gebirgsverschiebungen im Bereich der Lageänderungsbohrungen (MQ1) - Vergleich Messung/Rechnung

- 9.26 Fall B51KM Gebirgsverschiebungen im Bereich der Lageänderungsbohrungen (MQ1) - Vergleich Messung/Rechnung
- 9.27 Fall B51LM Gebirgsverschiebungen im Bereich der Lageänderungsbohrungen (MQ1) - Vergleich Messung/Rechnung
- 9.28 Fall B51MM Gebirgsverschiebungen im Bereich der Lageänderungsbohrungen (MQ1) - Vergleich Messung/Rechnung
- 9.29 Fall B51NM Gebirgsverschiebungen im Bereich der Lageänderungsbohrungen (MQ1) - Vergleich Messung/Rechnung
- 9.30 Fall B51OM Gebirgsverschiebungen im Bereich der Lageänderungsbohrungen (MQ1) - Vergleich Messung/Rechnung
- 9.31 Fall B51PM Gebirgsverschiebungen im Bereich der Lageänderungsbohrungen (MQ1) - Vergleich Messung/Rechnung

## 12. Literaturverzeichnis

- [1] Konzepte von Kammerabschlußbauwerken Modell 2 - Konzept und Systembeschreibung. Arbeitsgemeinschaft Konrad, Köln, März 1989
  
- [2] Plan, Endlager für radioaktive Abfälle, Schachtanlage Konrad, Hauptkapitel 1, Stand 9/86; Beschreibung der Schachtanlage Konrad bis zum Beginn der Einrichtung als Endlager, Physik.-Techn.-Bundesanstalt, Braunschweig
  
- [3] Plan, Endlager für radioaktive Abfälle, Schachtanlage Konrad, Unterkapitel 3.1.9, Stand 9/86; Geologische, hydrologische und hydrogeologische Verhältnisse, Physik.-Techn.-Bundesanstalt, Braunschweig
  
- [4] Plan, Endlager für radioaktive Abfälle, Schachtanlage Konrad, Unterkapitel 3.10, Stand 9/86; Geowissenschaftliche Bewertung, Physik.-Techn.-Bundesanstalt, Braunschweig
  
- [5] Wittke, W.: Felsmechanik - Grundlagen für wirtschaftliches Bauen im Fels, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, Tokyo, New York, 1984
  
- [6] Schachtanlage Konrad, Kammerabschlußbauwerk Modell 2, Injektionstechnik zur Abdichtung des streckennahen Bereichs, Prof. Wittke, Beratende Ingenieure für Grundbau und Felsbau GmbH, Aachen, Juli 1989
  
- [7] Schloenbach, R.: Zu den tektonischen Grundlagen der südlichen Bleckenstedter Mulde im Aufschlußbereich des oolithischen Eisenerzlagers (Mittlerer Korallenoolith) der Grube Konrad bei Salzgitter/Niedersachsen, Clausthaler Geowiss. Dissertat. H16, Clausthal-Zellerfeld, August 1985

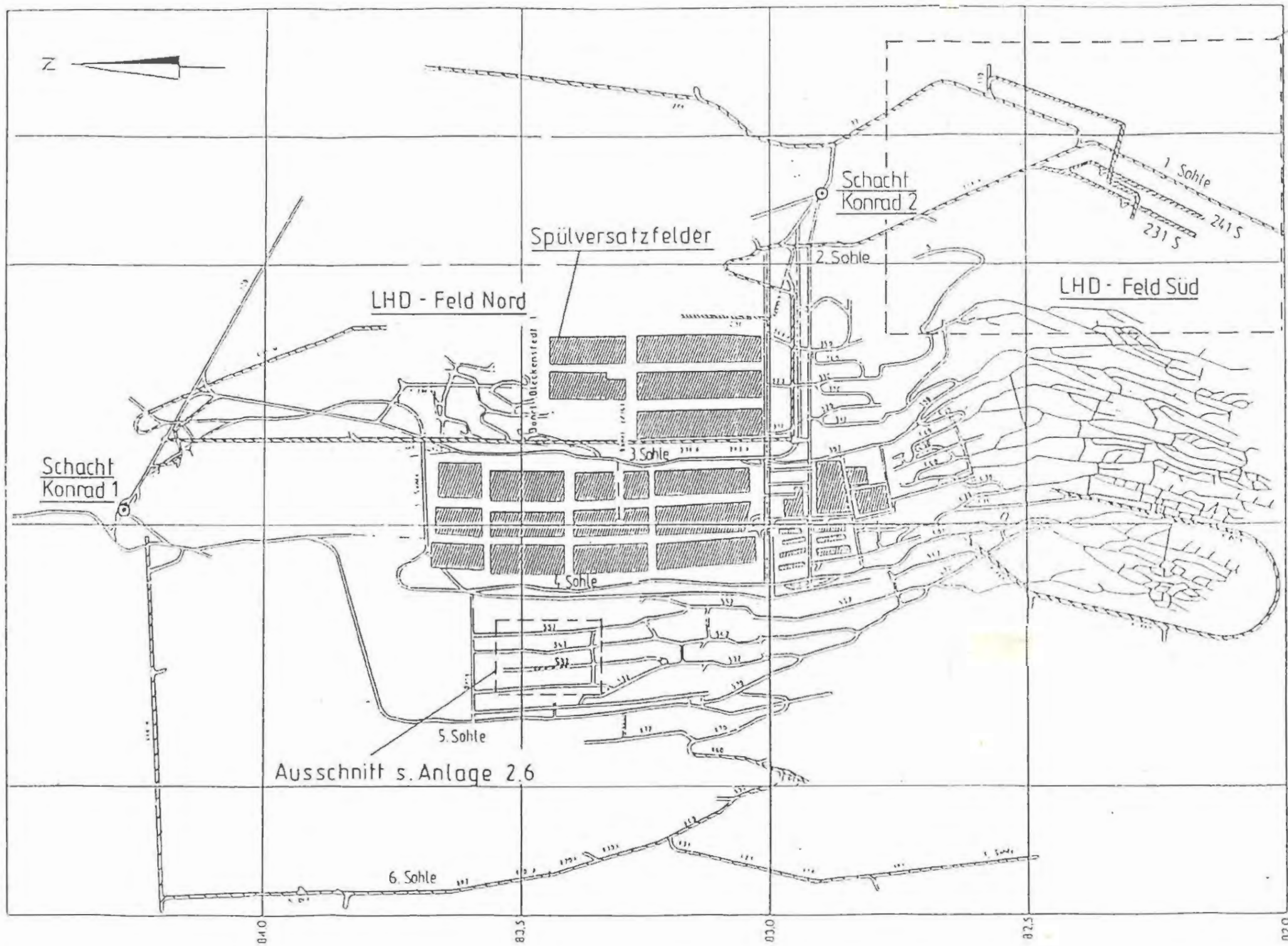
- [ 8]      Geologische Auswertung reflexionsseismischer Messungen in der Umgebung der Schachtanlage Konrad, Salzgitter, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover, Juni 1985
  
- [ 9]      Schachtanlage Konrad, Untertägige Erkundung, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover, März 1988
  
- [10]      Dilatometermessungen im Bereich des geplanten Widerlagers, Tgb.-Nr. 11813/86, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover, August 1986
  
- [11]      Spannungsmessungen auf der Schachtanlage Konrad 1200 m Sohle Süd, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover, Juli 1985
  
- [12]      Eignungsprüfung der Schachtanlage Konrad für die Endlagerung radioaktiver Abfälle, Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH, Juni 1982
  
- [13]      Kernbeschreibungen von Permeabilitätsbohrungen KAB, Deutsche Gesellschaft zum Bau und Betrieb von Endlagern für Abfallstoffe mbH, Peine, April 1987
  
- [14]      Untersuchungen zur Festigkeit und Verformbarkeit von Tonmergel und Tonstein Prüfkörpern aus der Bohrung Konrad 101, Ergebnisse von Dauerstandsversuchen, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover, Juli 1986
  
- [15]      Ergebnisse der festigkeitsmechanischen Laboruntersuchungen an Proben aus den Schachtwiderlagerbohrungen im Schacht Konrad 2, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover, Juli 1986
  
- [16]      Ergebnisse der festigkeitsmechanischen Laboruntersuchungen an Gesteinsproben aus dem Hangend- und Liegendbereich der Grube Konrad, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover, September 1986

- [17] Ergebnisse der festigkeitsmechanischen Laboruntersuchungen an Gesteinsproben aus dem Oxford und Kimmeridge des Nahbereichs der Grube Konrad, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover, Dezember 1986
- [18] Ergebnisse der festigkeitsmechanischen Laboruntersuchungen an Gesteinsproben aus den Schachtwiderlagerbohrungen im Schacht Konrad 1, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover, Februar 1987
- [19] Felsmechanische Gesteinsparameter: Auswertung der felsmechanischen Laboruntersuchungen, Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH, München, November 1985
- [20] Felsmechanische Gesteinsparameter in Erkundungsstrecken: Probennahme und Durchführung felsmechanischer Laboruntersuchungen, Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH, Juli 1986
- [21] Schachtanlage Konrad, Ergebnisse einaxialer Druckversuche an Bohrkernen aus dem Erzlager, dem Liegenden und dem Hangenden, Institut für Grundbau, Bodenmechanik, Felsmechanik und Verkehrswasserbau der RWTH Aachen, November 1988
- [22] Schachtanlage Konrad, Ergebnisse dreiaxialer Druckversuche an Bohrkernen aus dem Erzlager, dem Liegenden und dem Hangenden, Institut für Grundbau, Bodenmechanik, Felsmechanik und Verkehrswasserbau der RWTH Aachen, November 1988
- [23] Schachtanlage Konrad, Ergebnisse einaxialer Druckversuche an Tonsteinproben, Institut für Grundbau, Bodenmechanik, Felsmechanik und Verkehrswasserbau der RWTH Aachen, April 1989
- [24] Bericht über das Nivellement des Senkungstroges Konrad 1985, Deutsche Gesellschaft zum Bau und Betrieb von Endlagern für Abfallstoffe mbH, Peine, September 1985



- [25] Bericht über das Nivellement des Senkungstrogas Konrad 1986, Deutsche Gesellschaft zum Bau und Betrieb von Endlagern für Abfallstoffe mbH, Peine, August 1986
  
- [26] Bericht über das Nivellement des Senkungstrogas Konrad 1987, Deutsche Gesellschaft zum Bau und Betrieb von Endlagern für Abfallstoffe mbH, Peine, Oktober 1987
  
- [27] Plan, Endlager für radioaktive Abfälle, Schachtanlage Konrad, Anlagen zum Kapitel 3.2, Stand 3/86, Physik. Techn. Bundesanstalt, Braunschweig, März 1986
  
- [28] Schachtanlage Konrad, Ergebnisse von Konvergenzmessungen, Stand 12/87 - 6/88, Schachtanlage Konrad, Salzgitter 1988
  
- [29] Dokumentation, Interpretation und Bewertung von geomechanischen und geodätischen Messungen auf der Schachtanlage Konrad, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover, Dezember 1988
  
- [30] Kammerabschlußbauwerk in-situ-Erprobung im Zeitraum 2/87 bis 2/89, Konvergenzmessungen, Deutsche Gesellschaft zum Bau und Betrieb von Endlagern für Abfallstoffe mbH, Peine, Juni 1989
  
- [31] Auffahrung des Versuchsfeldes 5/1 in der Schachtanlage Konrad, Monatsbericht 9'88, Schachtanlage Konrad, Salzgitter, Oktober 1988
  
- [32] Auffahrung des Versuchsfeldes 5/1 in der Schachtanlage Konrad, Monatsbericht 12'88, Schachtanlage Konrad, Salzgitter, Januar 1989
  
- [33] Auffahrung des Versuchsfeldes 5/1 in der Schachtanlage Konrad, Monatsbericht 2'89, Schachtanlage Konrad, Salzgitter, März 1989
  
- [34] Schachtanlage Konrad, Die Geologie der Abwettersammelstrecke 110, Schachtanlage Konrad, Salzgitter, August 1988

- [35] Bohrloch-Lageänderungsmessungen im Feld 5/1, Zwischenbericht, Deutsche Gesellschaft zum Bau und Betrieb von Endlagern für Abfallstoffe mbH, Peine, Januar 1989
  
- [36] Schachtanlage Konrad, Feld 5/1, Spannungsuntersuchungen, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover, Januar 1985
  
- [37] Bohrung Konrad 101, Teil I: Geologischer Bericht, Teil II: Schichtenverzeichnis, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover, September 1986
  
- [38] Übersichtsriß Grubengebäude südöstlicher Bereich, Liegendplan, Deutsche Gesellschaft zum Bau und Betrieb von Endlagern für Abfallstoffe mbH, Peine, Januar 1989





Ausschnitt s. Anlage 2.9

 Erkundungsstrecken  
 Versuchsstrecken

Ausschnitt s. Anlage 2.6

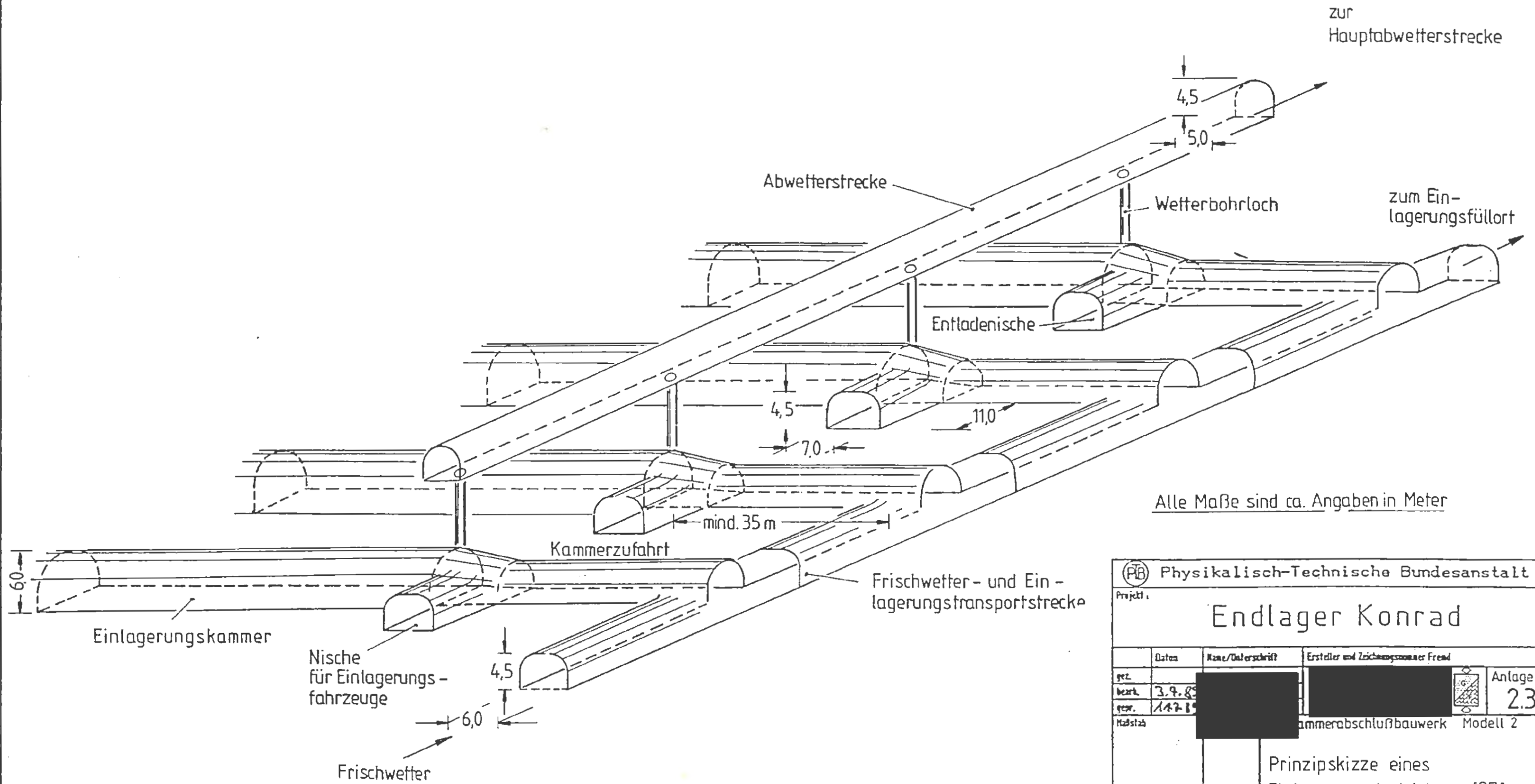
# Übersichtsriß der Schachtanlage Konrad

nach Grubenbild der Schachtanlage Konrad

 Physikalisch-Technische Bundesanstalt						
Projekt: Endlager Konrad						
Datum	Korrektur	Ersteller und Zeichnungsnummer				
gezeichnet	3.7.89	[Redacted]				Anlage 2.1
geprüft	11.7.89	[Redacted]				
Maßstab		Kammerabschlußbauwerk Modell 2				
Übersichtsriß der Schachtanlage Konrad (9)						
Blatt		von Blatt				
Klassifizierung: Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor.						
Projekt	PSP-Einzel		Objekt-Geometrie			
9 K	33222.37		5500			
Familie	Lebensgröße	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
			GHK			
ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD						
Strabag Bau-AG			Sachtloban Bergbau GmbH			



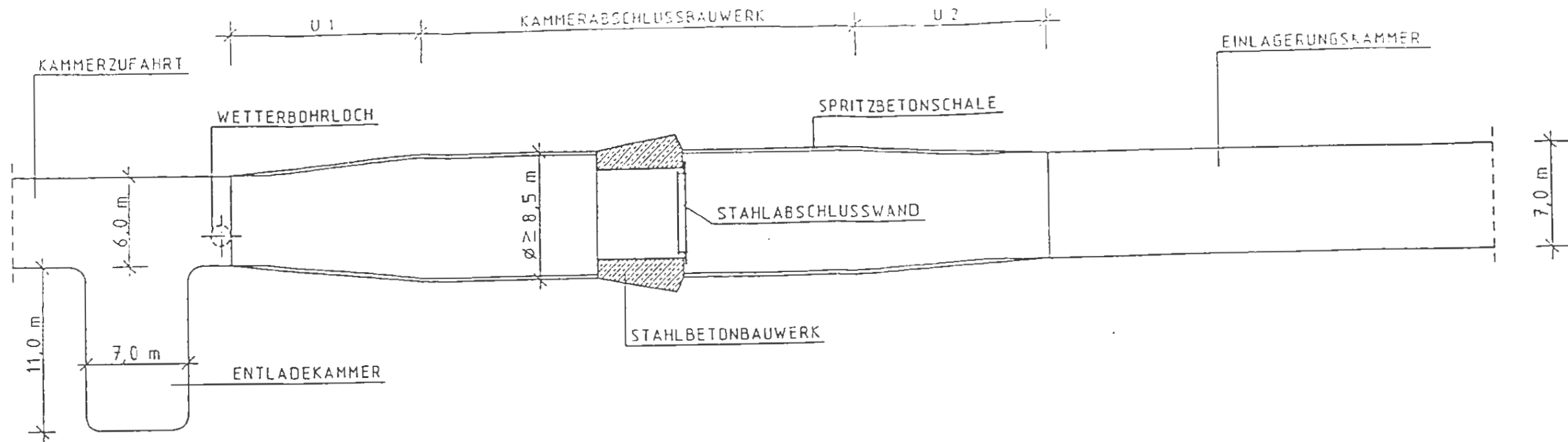




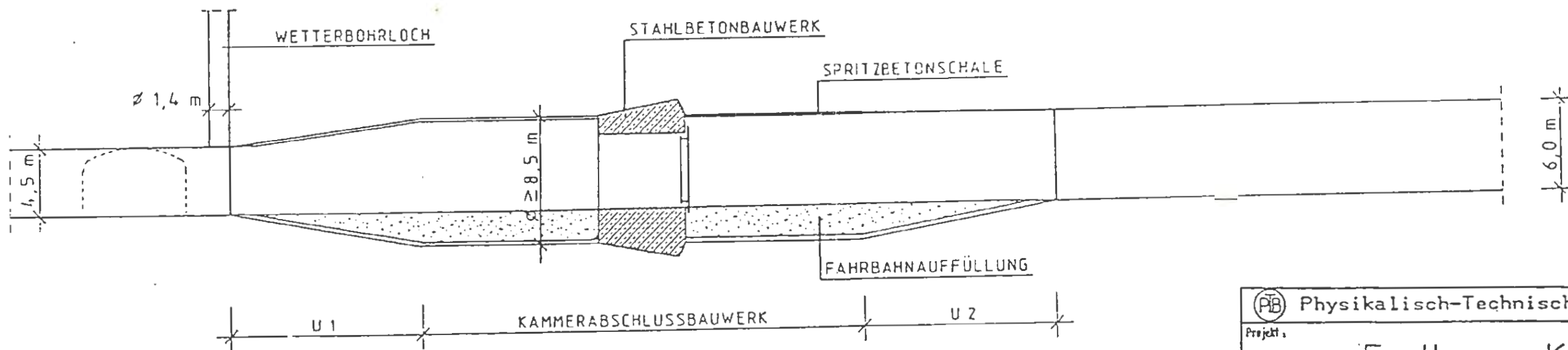
Alle Maße sind ca. Angaben in Meter

Physikalisch-Technische Bundesanstalt						
Projekt: <b>Endlager Konrad</b>						
Datum gez. bearb. gepr. Maßstab	Name/Unterschrift [Redacted]	Ersteller und Zeichnungsnummer Fremd [Redacted]			Anlage <b>2.3</b>	
Maßstab: Kammerabschlußbauwerk Modell 2					Prinzipskizze eines Einlagerungsbetriebes [27]	
KF-Nr.		Blatt von Blatt				
Klassifizierung: Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor						
Projekt <b>9 K</b>	PSP-Element <b>33222.37</b>	Objekt-Genz. <b>5500</b>				
Funktion 	Komponente 	Bezugsgruppe 	Aufgabe <b>GHK</b>	UA 	Lfd.Nr. 	Rev. 
ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD Strabag Bau-AG				Sachtleben Bergbau GmbH		

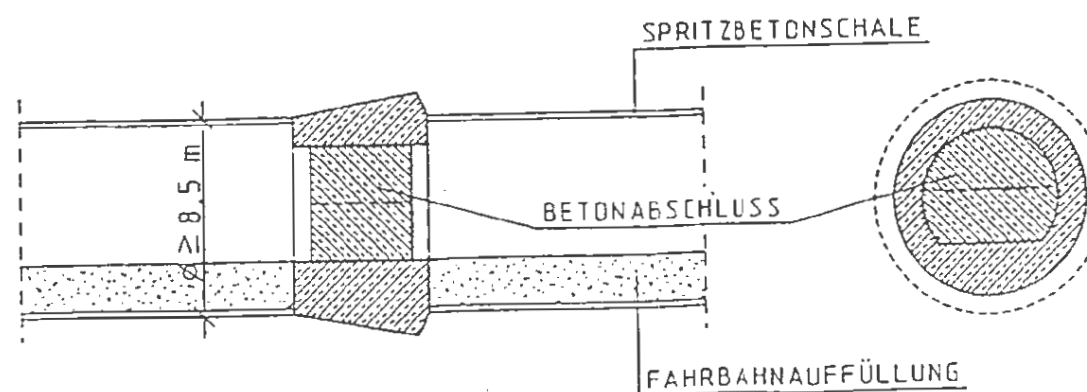




GRUNDRISS . PRINZIPDARSTELLUNG



LÄNGSSCHNITT . PRINZIPDARSTELLUNG



**Physikalisch-Technische Bundesanstalt**  
 Projekt: **Endlager Konrad**

gez.		Name/Unterschrift	Ersteller und Zeichnungsnummer	Anlage
bezh.	3.9.89			2.4
gepr.	14.7.89			
Maßstab			Kammerabschlußbauwerk Modell 2	

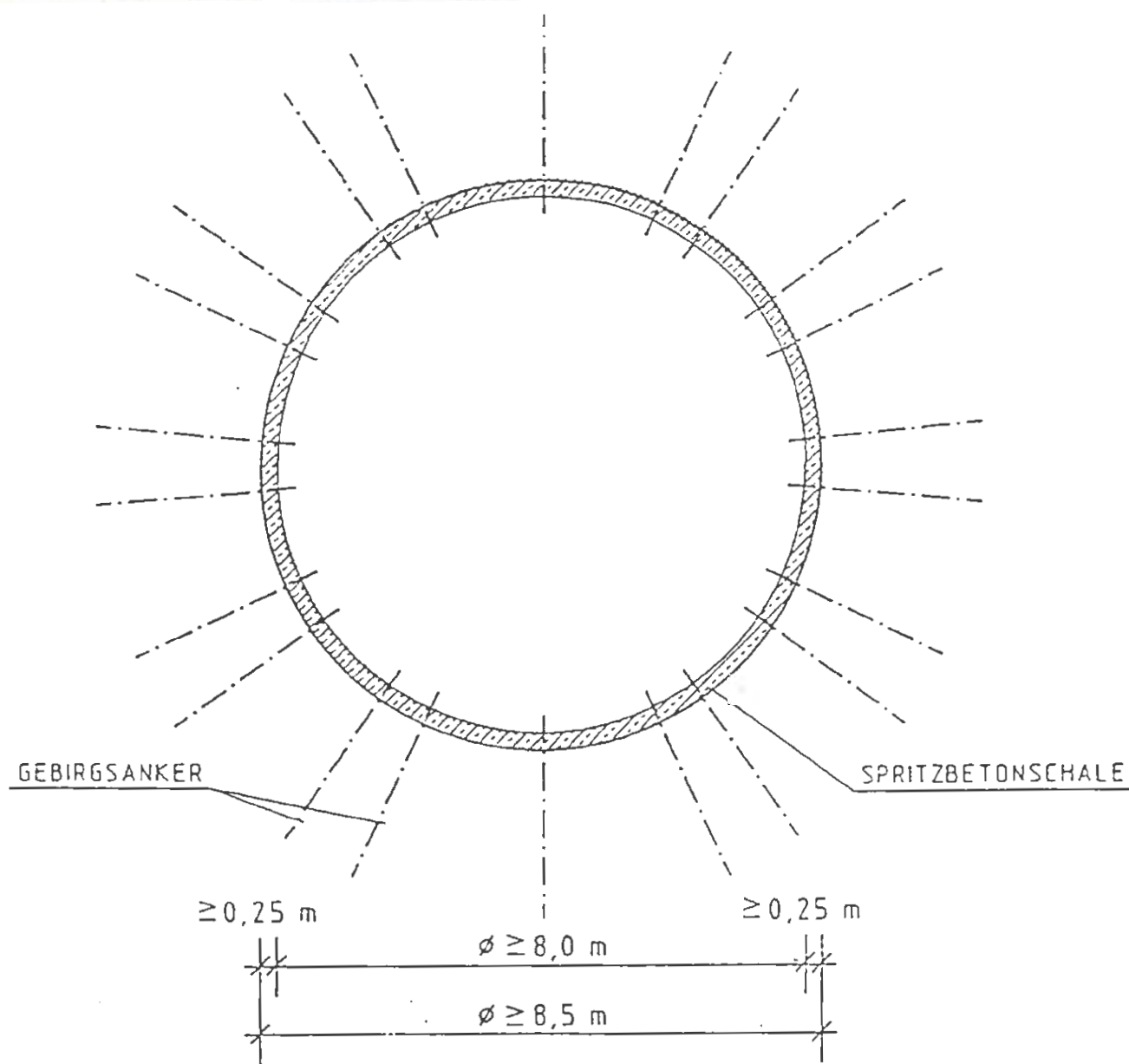
Nr.-Nr. \_\_\_\_\_  
 Blatt von Blatt \_\_\_\_\_  
 Grundriß und Längsschnitte [1]

Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor.

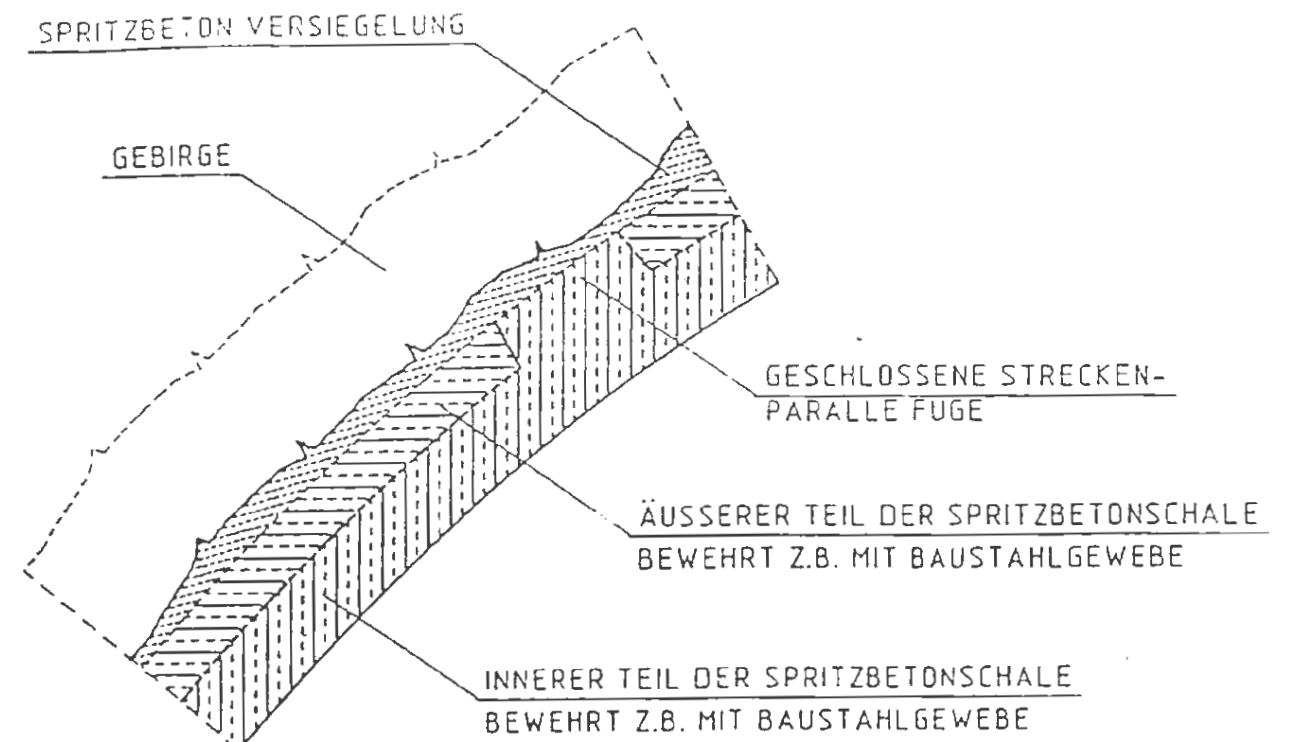
Projekt	PSP-Element	Objekt-Kennz.
9 K	33222.37	5500

Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.	Rev.
			GHK			

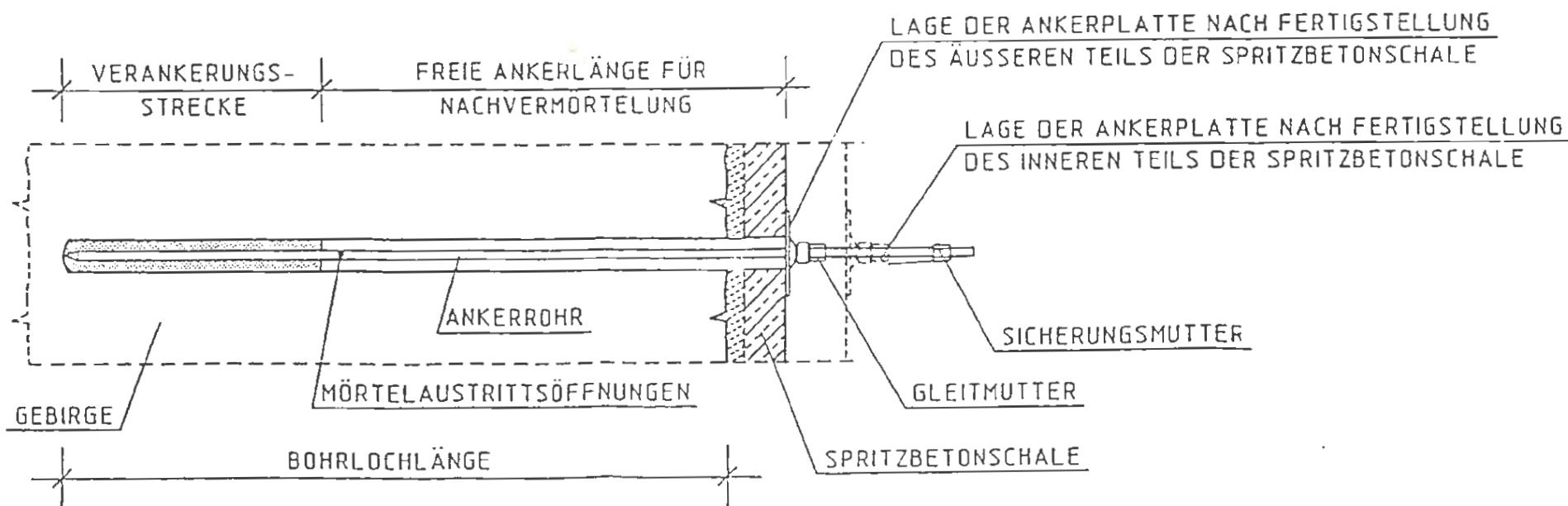
ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD  
 Strabag Bau-AG      Sachtleben Bergbau GmbH



AUSGEBAUTER STRECKENQUERSCHNITT , PRINZIPDARSTELLUNG



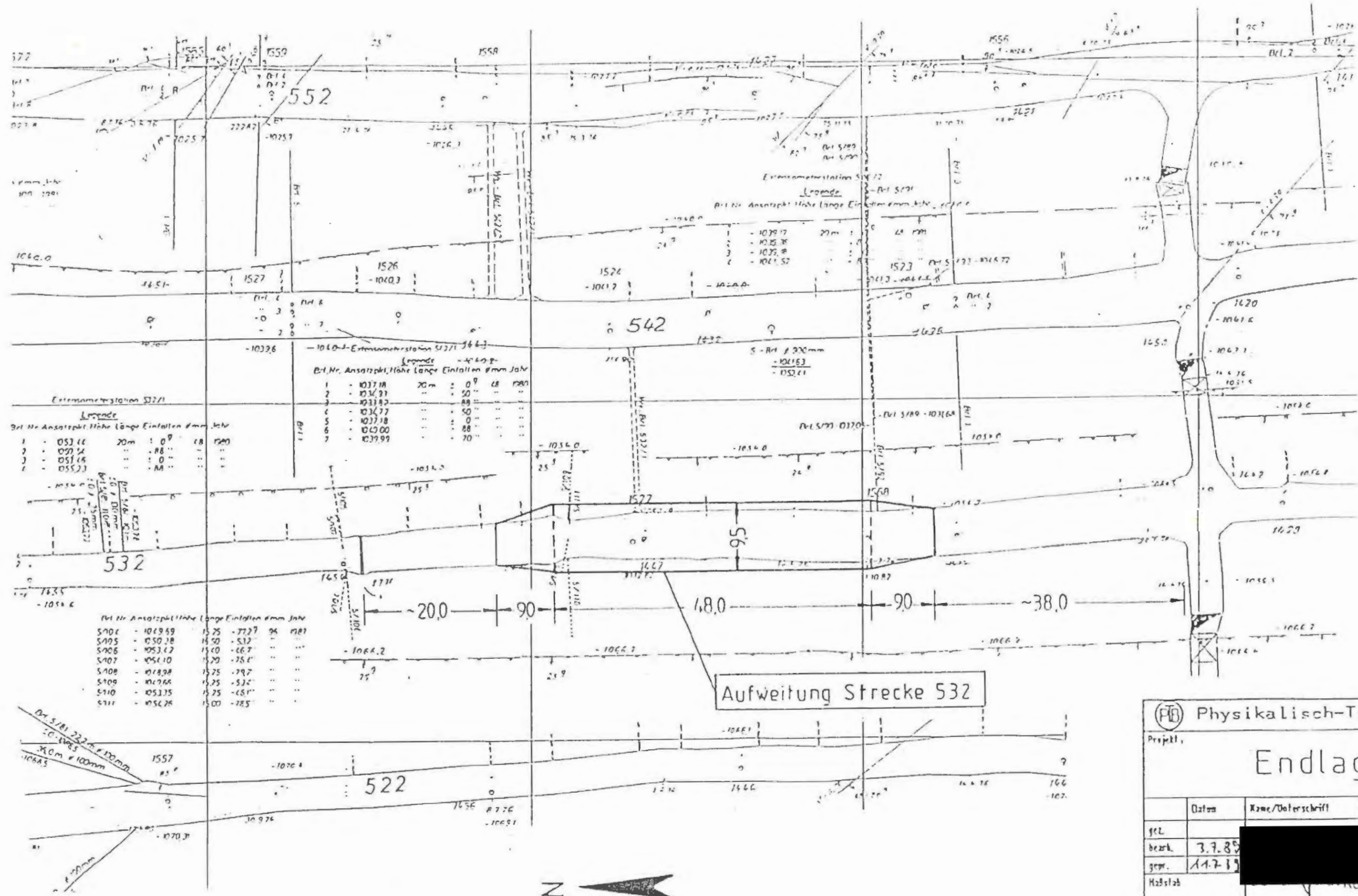
DETAIL SPRITZBETONSCHALE , PRINZIPDARSTELLUNG



DETAIL ANKER , PRINZIPDARSTELLUNG EINES GLEITANKERS

Physikalisch-Technische Bundesanstalt					
Projekt: <b>Endlager Konrad</b>					
	Datum	Name/Unterschrift	Ersteller und Zeichnungsnummer Fremd		Anlage
gez.					2.5
bezeichnet	3.7.89				
gepr.	11.7.89				
Maßstab			Anmerabschlußbauwerk Modell 2		
Darstellung des Sicherungskonzeptes [1]					
Klassifizierung:			Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor		
Projekt	PSP-Element	Objekt-Code			
9 K	33222.37	5500			
Funktion	Leitende	Bezugsgruppe	Ausgabe	GA	Lfd.Nr.
			GHK		
ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD					
Strebaq Bau-AG			Sachtleben Baubau GmbH		





1:1000  
100 100

Erweiterungsstation S277

Legende

Bst. Nr.	Ansatzpt.	Höhe	Länge	Einfallen	mm	Jahr
1	053 66	20m	0	8	1980	
2	051 56		88			
3	051 66		0			
4	055 23		88			

Erweiterungsstation S277

Legende

Bst. Nr.	Ansatzpt.	Höhe	Länge	Einfallen	mm	Jahr
S104	1049 69	15 25	77 27	96	1981	
S105	1050 28	16 50	53 2			
S106	1053 62	15 10	66 7			
S107	1056 10	15 20	75 1			
S108	1048 28	15 25	79 7			
S109	1047 66	15 25	53 2			
S110	1053 75	15 25	65 1			
S111	1056 26	15 00	78 5			

Aufweitung Strecke 532

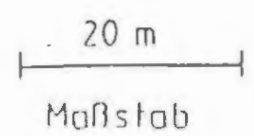
Lage des Ausschnittes s. Anlage 2.1

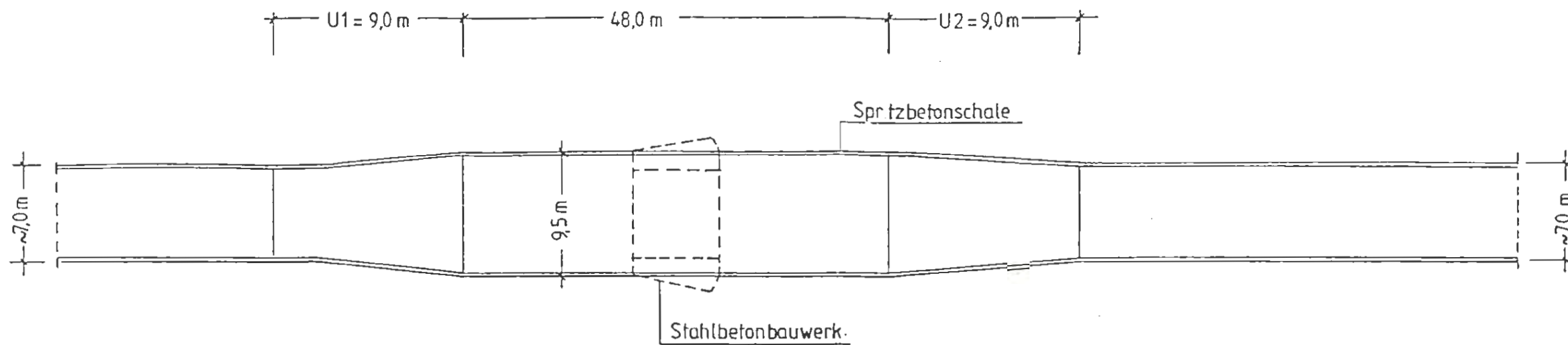
nach Grubenbild der Schachtanlage Konrad

Physikalisch-Technische Bundesanstalt

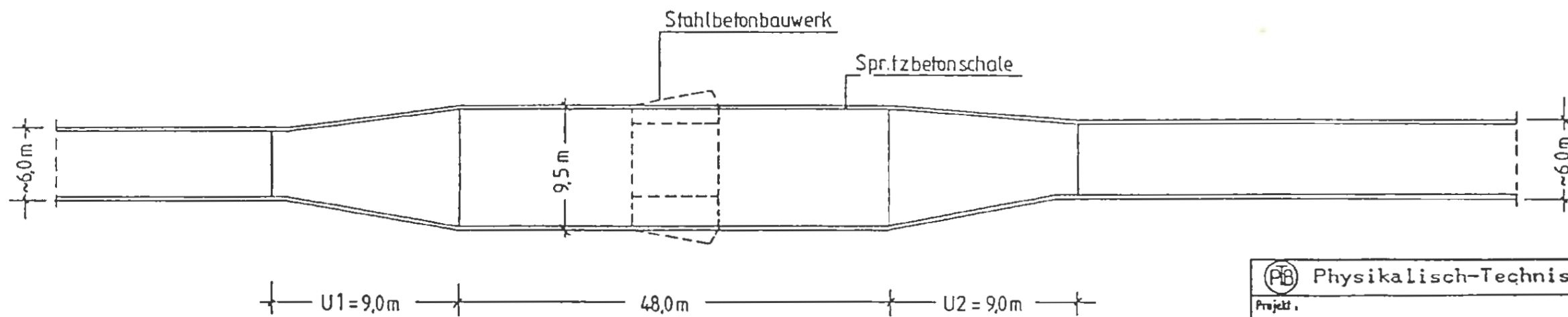
Projekt: Endlager Konrad

Datum	Name/Unterschrift	Ersteller und Zeichnungsnummer	Freud
gcl			
bezk.	3.7.85		Anlage 2.6
gew.	1.7.85		
Maßstab		Kammerabschlussbauwerk	Modell 2
Loge der Versuchsstrecke 532			
Nr.-			
Blatt	von	Blatt	
Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor			
Projekt	PSP-Element	Objekt-Kennz.	
9 K	33222.37		
Familie	Laufenzahl	Bezugsgruppe	Aufgabe
			GIK
ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD			
Strabag Bau-AG		Sachtleben Bergbau GmbH	

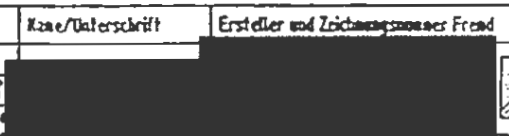




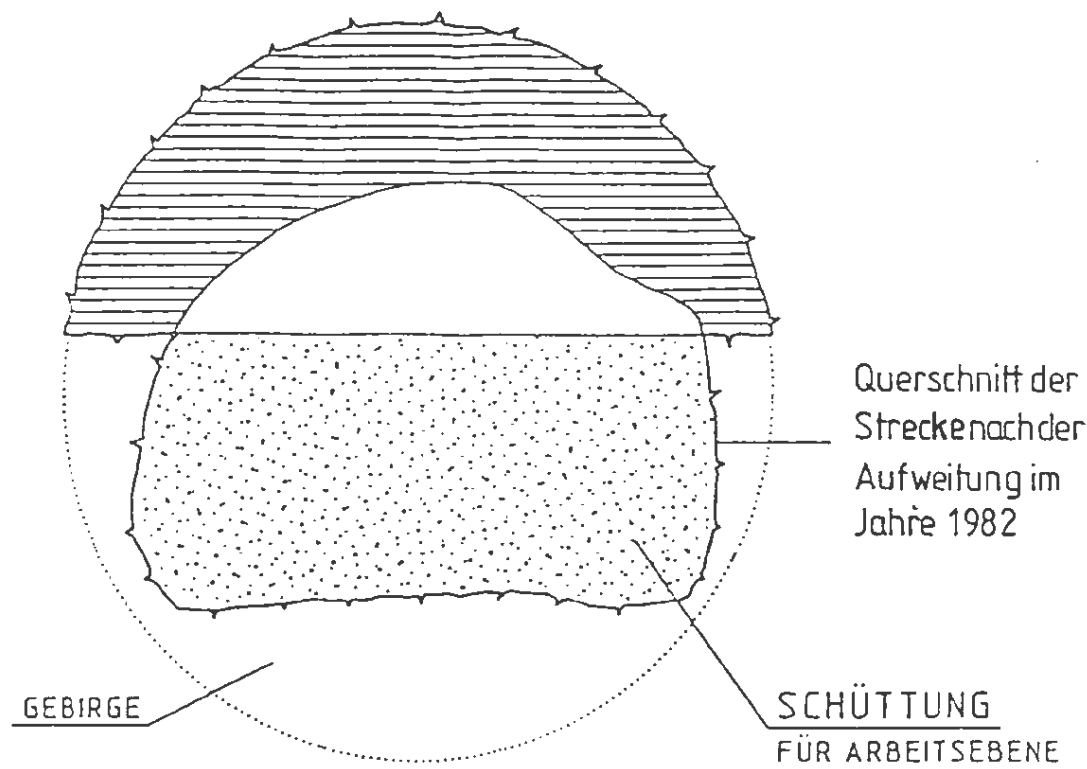
GRUNDRISS, PRINZIPDARSTELLUNG



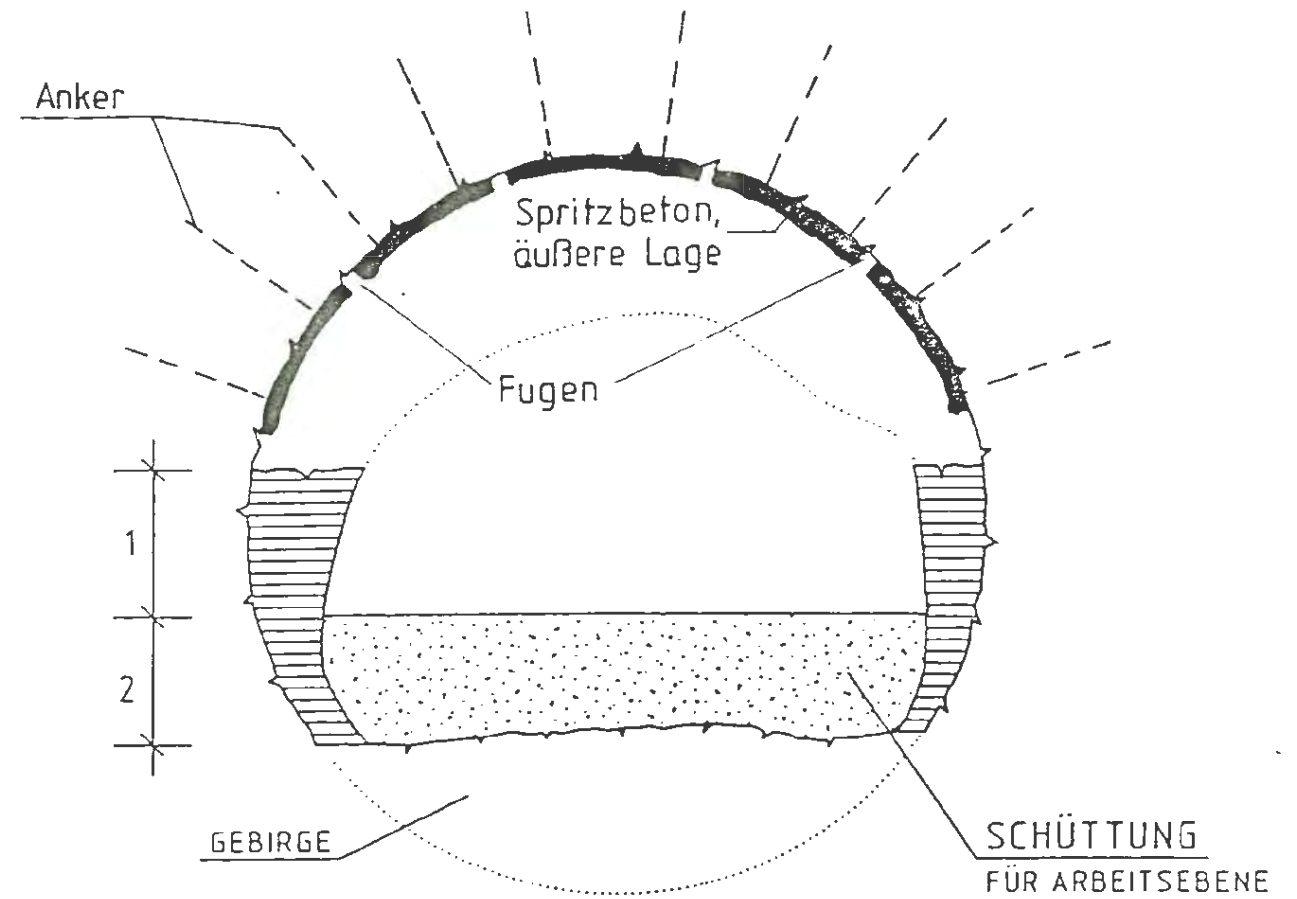
LÄNGSSCHNITT, PRINZIPDARSTELLUNG

(PTB) Physikalisch-Technische Bundesanstalt					
Projekt: <b>Endlager Konrad</b>					
	Datum	Name/Unterschrift	Ersteller und Zeichnungsnummer Fremd		
gez.					
bezt.	2.9.8				
gepr.	11.7.8				
Maßstab			Kammerabschlußbauwerk Modell 2		
NF-Nr.			Grundriß und Längsschnitt Versuchsstrecke 532		
Blatt von		Blatt			
Klassifizierung:			Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor		
Projekt	PSP-Element	Objekt-Kez.			
9 K	33222.37	5500			
Funktion	Laage	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.
			GHK		
ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD					
Strabag Bau-AG			Sachtleben Bergbau GmbH		

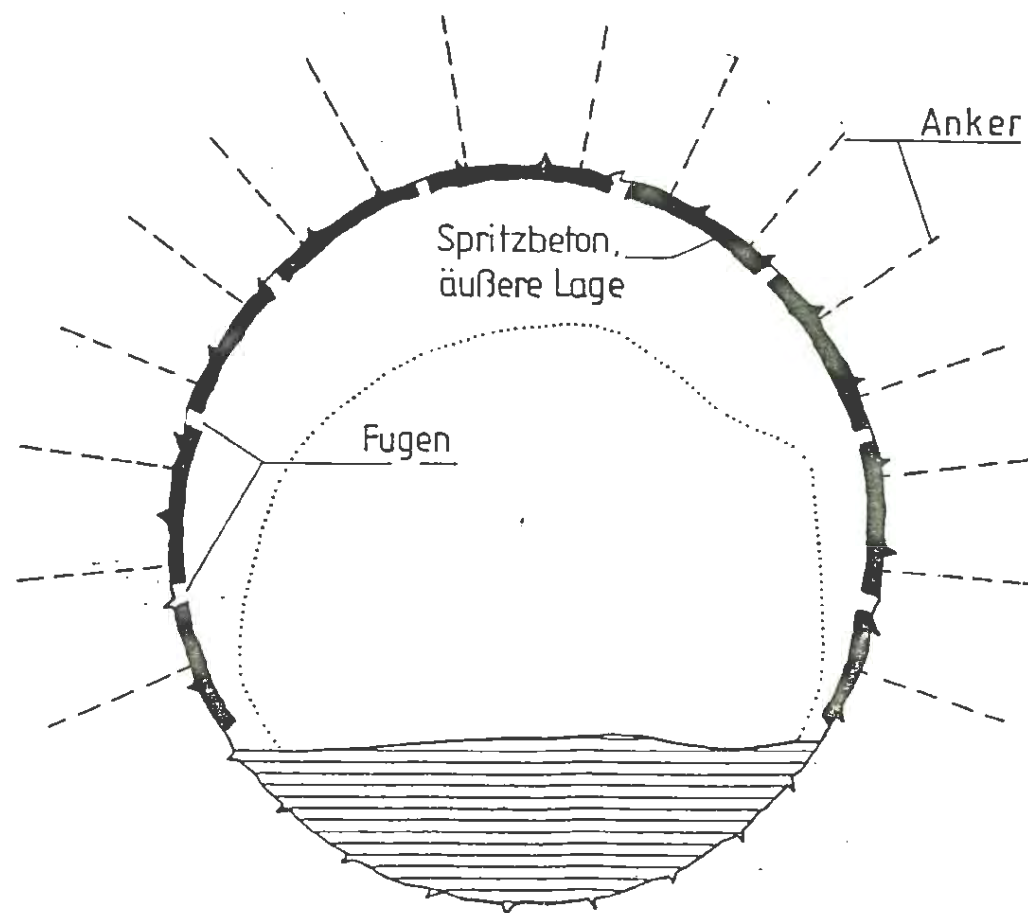
AUFWEITUNGSPROFILE, PRINZIPDARSTELLUNG



1. SCHRITT : AUFWEITUNG DER FIRSTE



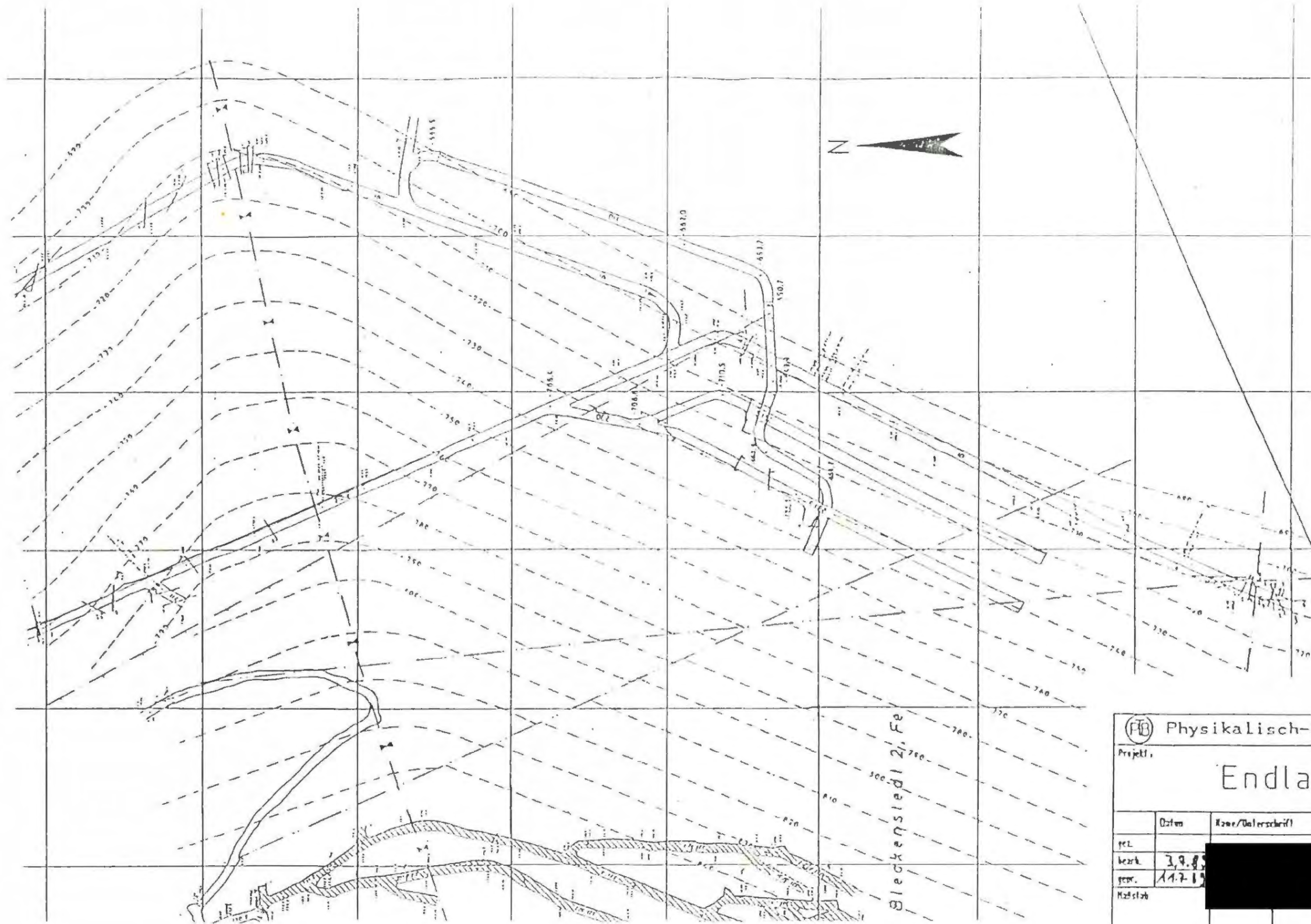
2. SCHRITT : AUFWEITUNG DER STÖSSE IN ZWEI TEILSCHRITTEN



3: SCHRITT : AUFWEITUNG DER SOHLE

Physikalisch-Technische Bundesanstalt					
Projekt: <b>Endlager Konrad</b>					
	Datum	Name/Unterschrift	Ersteller und Zeichnungsnummer		
gez.					Anlage
bezt.	3.3.8				2.8
gepr.	14.7.89				Modell 2
Maßstab			Aufweitungsfolge in Strecke 532 [1]		
KF-Nr.					
Blatt	von	Blatt			
Klassifizierung:			Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor		
Projekt	PSP-Element		Objekt-Code		
9 K	33222.37		5500		
Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfz.Nr.
			GHK		
ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD Strabag Bau-AG			Sachtleben Bergbau GmbH		





100 m  
Maßstab

Lage des Ausschnitts s. Anlage 2.1

nach Grubenbild der Schachtanlage Konrad

PTB Physikalisch-Technische Bundesanstalt

Projekt: Endlager Konrad

Datum	Name/Unterschrift	Ersteller und Zeichnungsnummer	Anlage
gez.			2.9
bezt.			
gepr.			
Maßstab	Kammerabschlussbauwerk Modell 2		

Lage der Versuchskammern im Feld 5/1 [38]

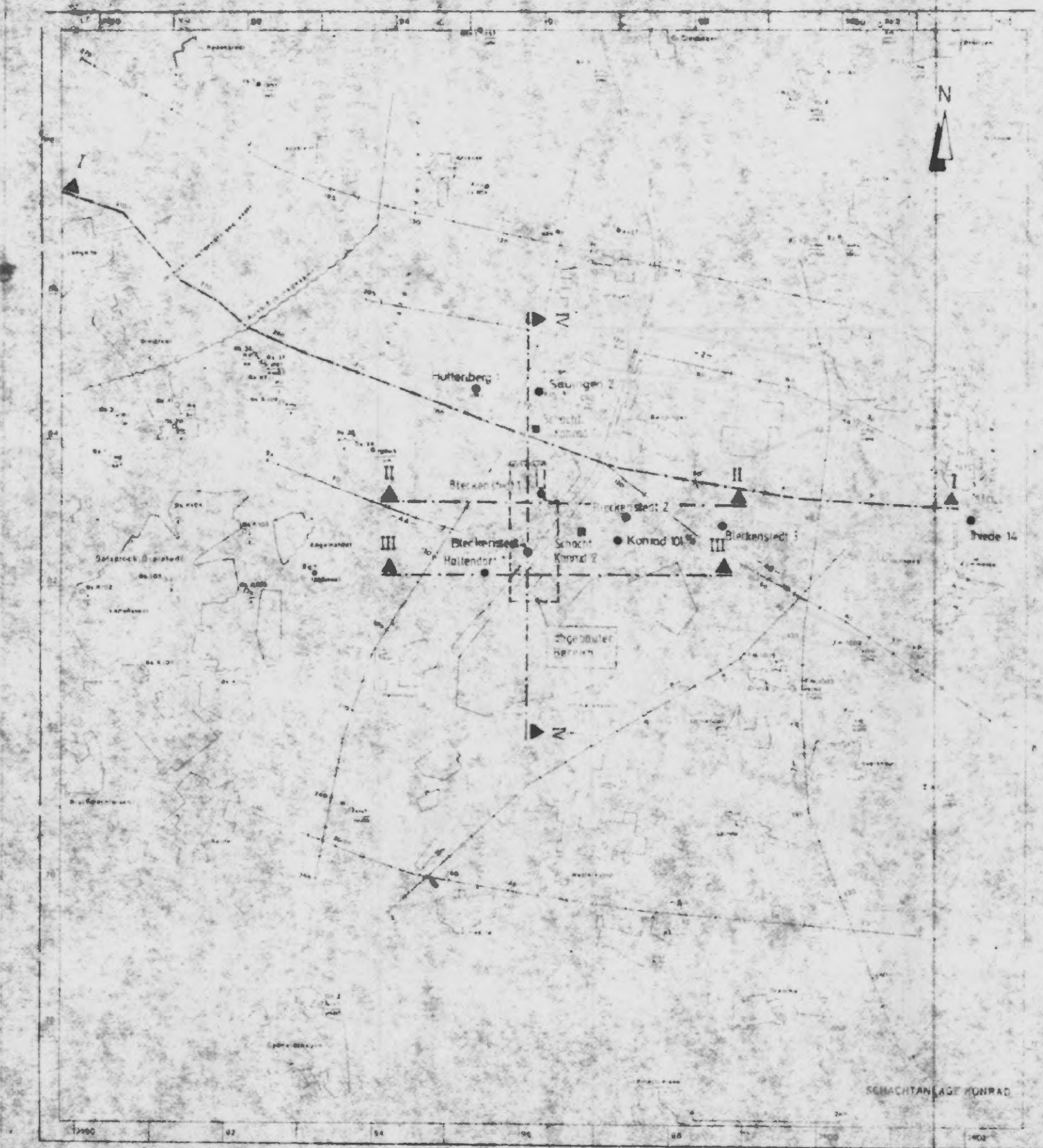
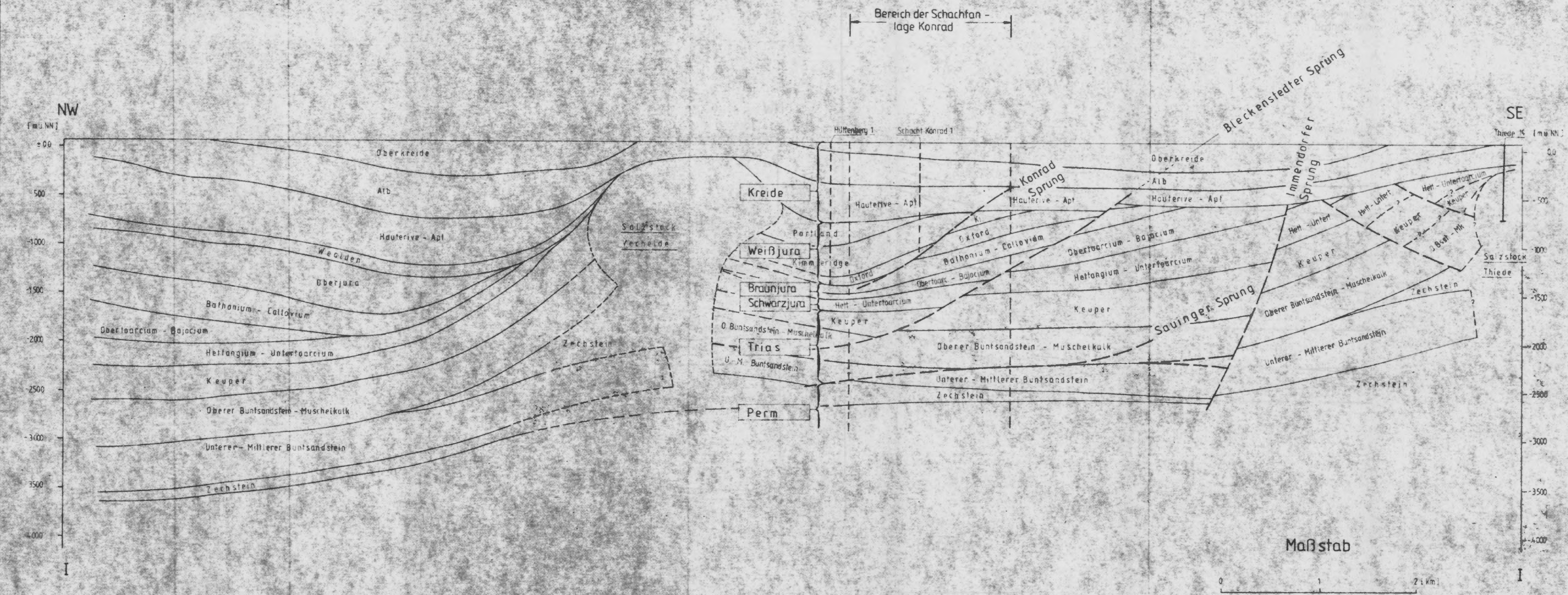
NS-Nr. Blatt von Blatt

Klassifizierung: Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor

Projekt	PSP-Element	Objekt-Code
9 K	33222.37	5500
Funktion	Langversion	Baugruppe
Aufgabe	UA	Lfd.Nr.
GIHK		

ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD  
Steinag Bau-AG      Sachtleben Bergbau GmbH



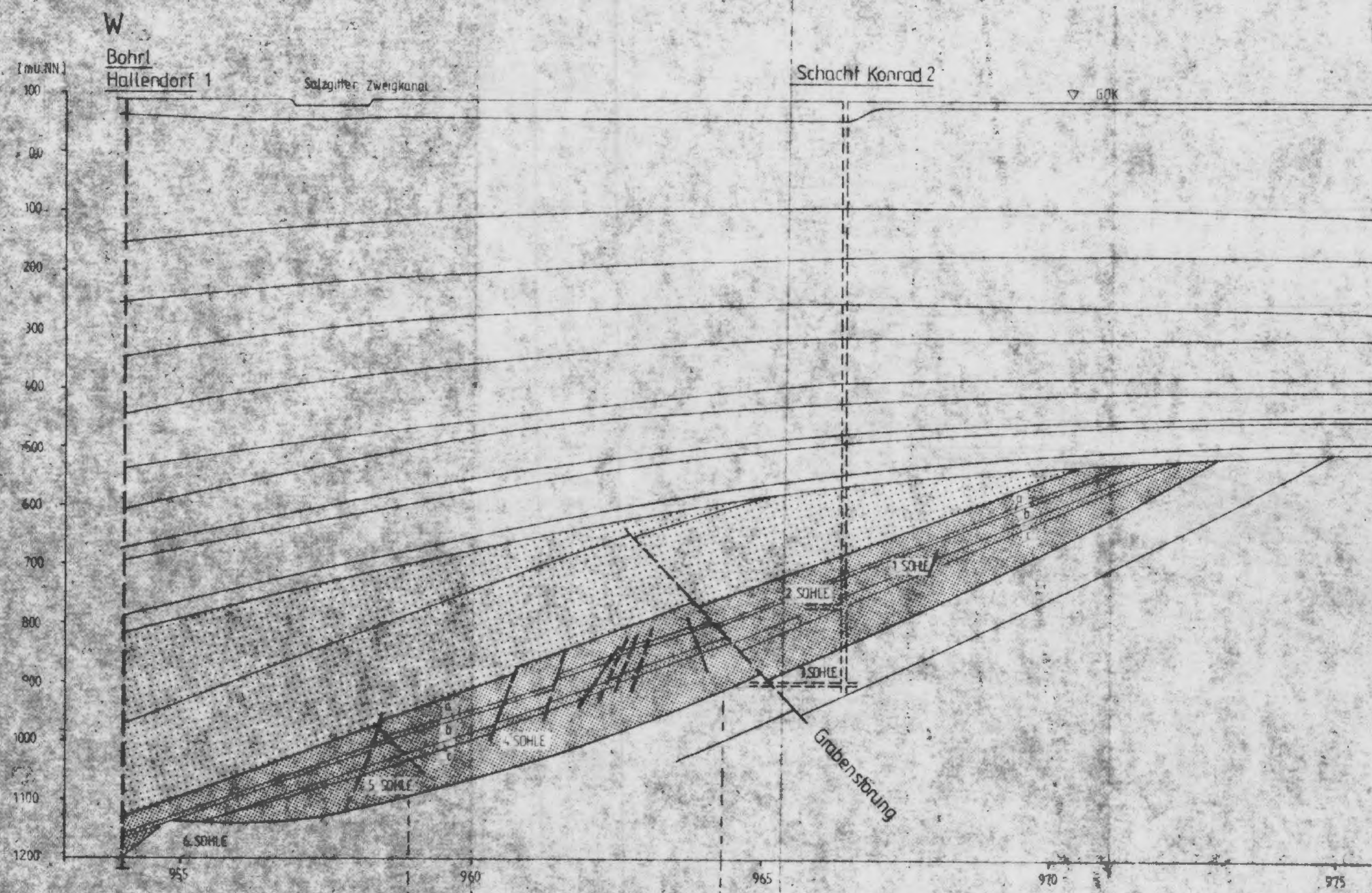


Physikalisch-Technische Bundesanstalt Projekt: Endlager Konrad			
Datum:	Klassifizierung:	Ersteller und Zeichnungsmannschaft:	
gepl.:	brak.:	gepr.:	Maßstab:
3.7.47			
Anlage 3.1 Modell 2			NW-SE Schnitt I-I im Bereich der Schachfanlage Konrad (8)
Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor.			
Projekt:	PSP-Nummer:	Objekt-Nummer:	
9 K	33222.37	5500	
Funktion:	Gezeichnet:	Beauftragter:	Anlage:
			GHK
ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD Strabag Bau-AG      Sachtleben Bergbau GmbH			

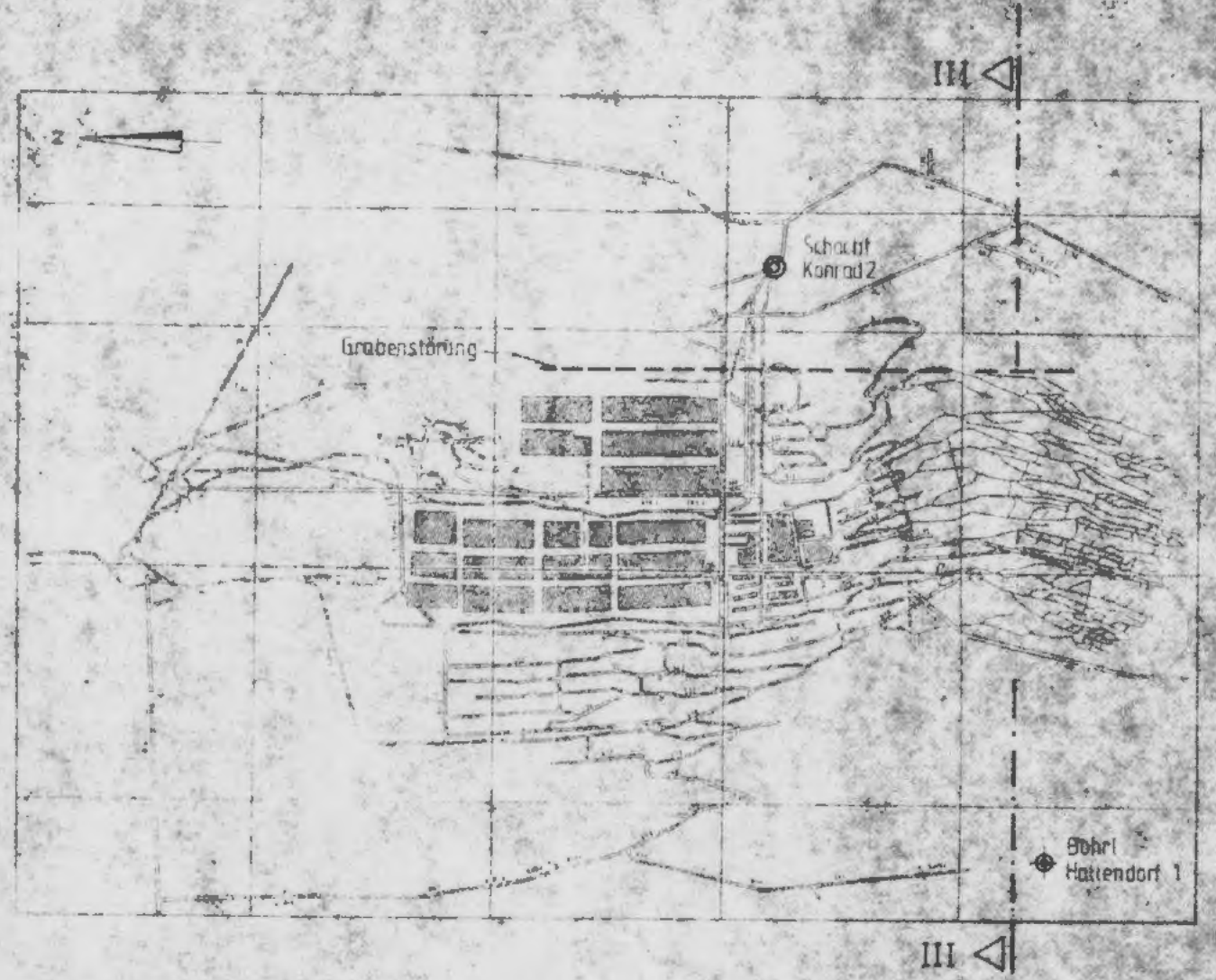




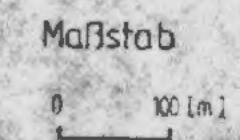




- Stratigraphie**
- Quaternar
  - Ober-Unterturon
  - Ober- bis Unterceoman
  - Oberalb
  - Mittelalb
  - Unteralb mit Hilssandstein
  - Oberalp
  - Ober- bis Unterbarrême
  - Ober- bis Unterhaueneve
  - Oberalm 1-4
  - Mittel- und Unterkammernge
  - Oxfordium mit Korallenoolith und Heersümer Schichten
  - Callovium
  - Bathonium
  - a Oberes Lager
  - b Zwischenmittel
  - c Unteres Lager

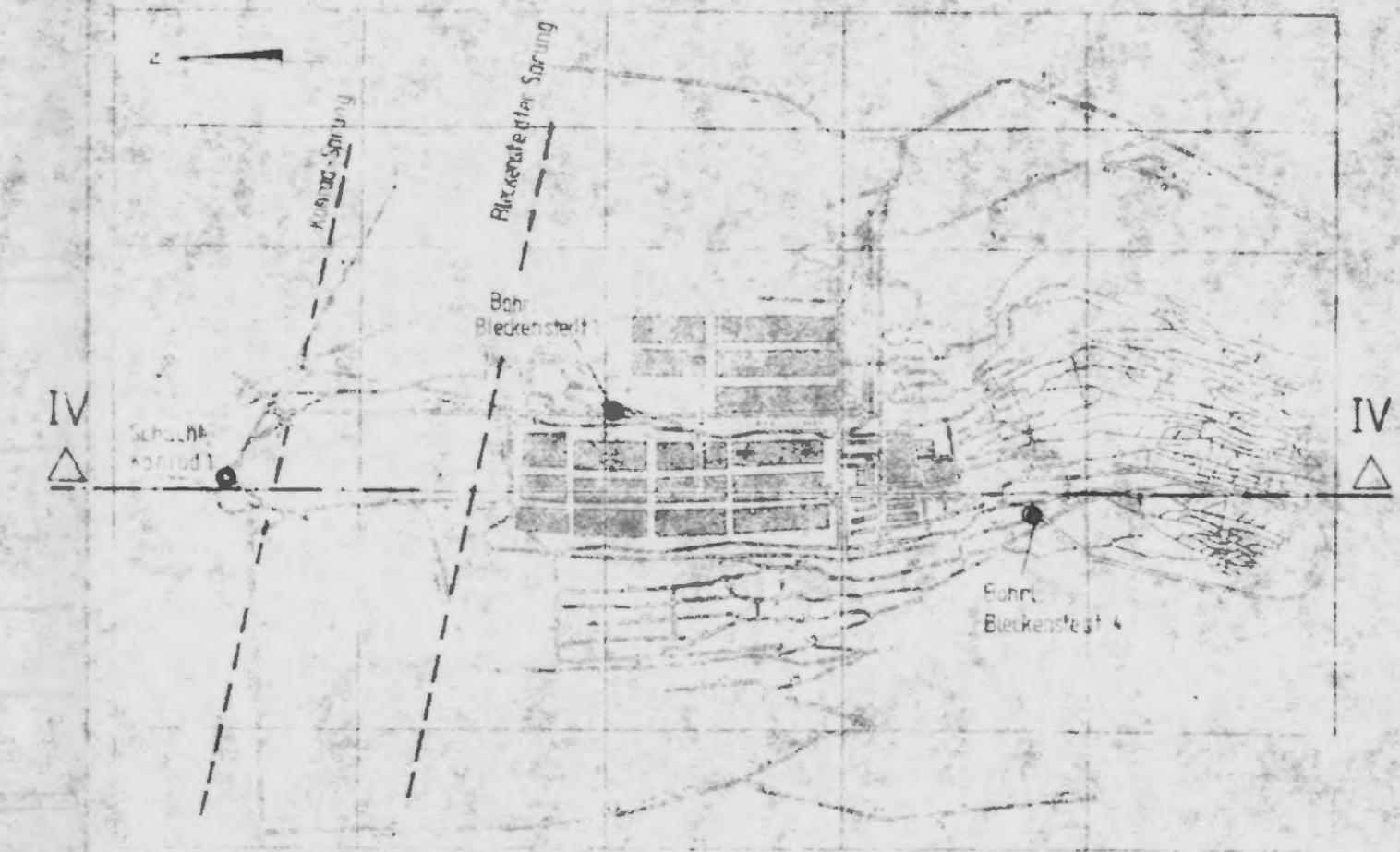
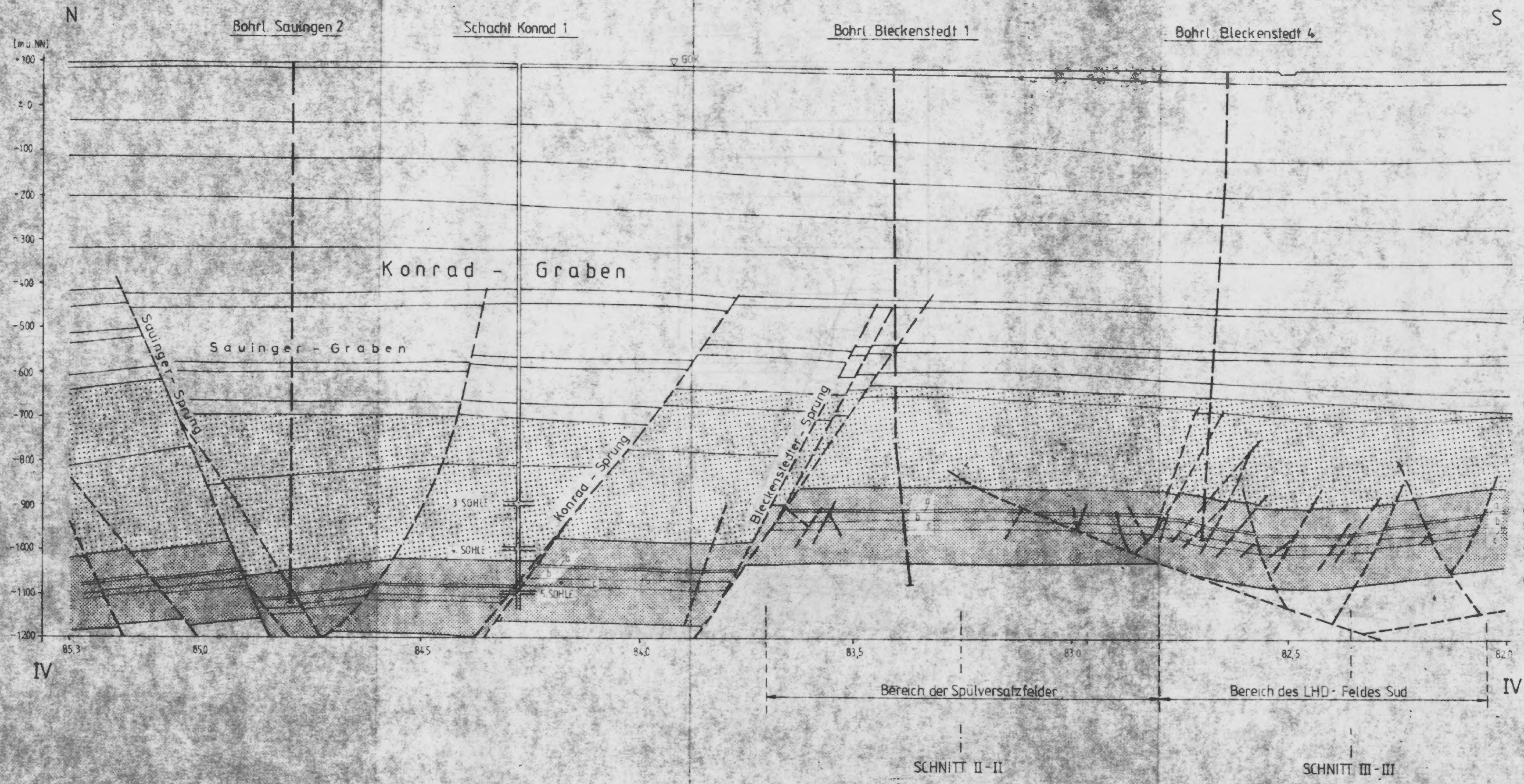


<b>Endlager Konrad</b>			
Projekt	Anlage 3.3		
Datum	Name/Unterschrift	Ersteller und Zeichnungsgruppe/Freid.	
gez.			
bearb.	3.9.8		
gepr.	6.7.8		
Maßstab	Modell 2		
<b>W-E Schnitt III-III</b> <b>auf H 82390 (3)</b>			
Nr. Nr.			
Blatt	von	Blatt	
Klassifizierung		Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor	
Projekt	PSP-Element	Objekt-Kennz.	
9 K	33222.37	5500	
Funktion	Responsor	Gruppe	Aufgabe
			GHK
<b>ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD</b> <b>Strabag Bau-AG</b>			
<b>Seetleben Bergbau GmbH</b>			



SCHNITT IV - IV





PIB Physikalisch-Technische Bundesanstalt			
Projekt: Endlager Konrad			
Datum	Ries/Unterschrift	Ersteller und Zeichnungsnummer	Fremd
ent.			Anlage 34
bearb.	27.8.9		
gepr.	6.3.85		
Maßstab	Mittelmaßstab		Modell 2
N-S Schnitt IV-IV auf R 96000 (3)			
Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor			
Projekt	PIP-Element	Objekt-Code	
9 K	33222.37	5500	
Funktion	Komponente	Bezeichnung	Aufgabe
			GHK
ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD			
Strabag Bau-AG		Sachtleben Bergbau GmbH	



lfd. Nr.	Stratigraphie	Petrographie	E [MPa]	$\nu$ [%]	$\sigma_{tg}$ [MPa]
1	Obere Kreide Cenoman (16)	Mergel Kalkstein - Mergelstein	7100, 10800, 13800	26,3	13800
2	Untere Kreide Alb (14)	Tonstein	2500, 3370, 4000	15,20	4000
3	Untere Kreide Oberalb (16)	Tonmergel - toniger Mergelstein	6000, 5500, 7000	31, 30, 28,6	7000
4	Untere Kreide Mittel - Unteralb (16)	Tonmergel - Mergelstein	1500, 3000, 6000	16,7, 16,7, 16,7	6000
5	Untere Kreide Barreme (14)	Tonmergel - Tonstein	1300, 2550, 3200	19,3, 20,5, 20,7	3200
6	Untere Kreide Barreme (16)	Tonmergelstein	2100, 3000	32, 29,3, 10,9	3000
7	Untere Kreide Hauterive (15)	Tonmergelstein Kalkiger Tonstein	2900, 5800, 8000	23,5, 13,1	8000
8	Untere Kreide Hauterive (18)	Ton - Tonmergelstein	1100, 7000, 14000	14,5	14000
9	Weißer Jura Kimmeridge (19)	Kalkstein - Mergelstein teilweise tonig	22700	37, 27, 27, 27	22700
10	Mergelstein	Mergelstein	11200	37, 21	11200
11	Weißer Jura Kimmeridge (17)	Kalkstein	11900, 26700, 31000	16,0, 16,0, 16,0	31000
12	Mergel - Kalkstein - Kalkmergelstein	Mergel - Kalkstein - Kalkmergelstein	8800, 26200, 40100	16,7, 16,7, 16,7	40100
13	Weißer Jura Oberer Korallien - oolith (19)	Kalkstein	126200	21,8	126200
14	Kalk - Mergelstein	Kalk - Mergelstein	64200	30,4	64200
15	Weißer Jura Oberer Korallien - oolith (20)	Mergelstein	5900, 17500, 23600	22, 21, 34	23600
16	Mergelstein	Mergelstein	13800, 17100	21, 27, 21, 27	17100
17	Weißer Jura Oberer Korallien - oolith (17)	Kalk - Kalkmergelstein	19500, 26800, 33400	13, 13, 13	33400
18	oolithischer, tauber - noser Kalkstein	oolithischer, tauber - noser Kalkstein	15050, 16000, 23100	13, 13, 13	23100
19	Weißer Jura Oberer Korallien - oolith (17)	Mergelstein	6400, 17000, 17100	13, 13, 13	17100
20	Ton - Tonmergelstein	Ton - Tonmergelstein	2300, 6000, 13900	22, 22, 22	13900
21	Weißer Jura Oberes Lager (19)	Kalkstein	415500	15, 15, 15	415500
22	Kalkstein erzführend	Kalkstein erzführend	23300	7, 10, 8, 10, 4, 5, 3, 8	23300
23	Weißer Jura Oberes Lager (17)	Kalk - Kalkmergelstein	5650, 17100, 27400	9,0, 9,0, 52, 34	27400
24	Weißer Jura Oberes Lager (20)	Kalkstein	19700, 20800, 27900	20,0, 39, 31, 45	27900

**Legende:**

- \* aus dreiaxialen Druckversuchen
- \*\* aus einaxialen Druckversuchen
- \*\*\* aus Einaxial- und Spaltzug bzw. Torsionsversuchen

Mittelwert: 7.100 / 10.800 / 13.800  
 kleinster Mittelwert: 13.800  
 größter Mittelwert: 7.100

Physikalisch-Technische Bundesanstalt

Projekt: Endlager Konrad

Datum: 14.8.85  
 Name/Unterschrift: [Redacted]  
 Ersteller und Erhebungsleiter Freund: [Redacted]

Objekt: Anlage 4.1 Blatte 1  
 Modultab: [Redacted] - immerdasschuldbauwerk - Model 1-2

Zusammenstellung der in den Laborversuchen ermittelten E - Moduli und Festigkeitsparameter

Classifizierung: 9 K 33222.37 5500  
 GHK

ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD  
 Strabag Bau-AG Sachtleben Bergbau GmbH



lfd. Nr.	Strati-graphie	Petrographie	ε (MPa)	σ <sub>1</sub> (MPa)	σ <sub>2</sub> (MPa)	σ <sub>3</sub> (MPa)	φ (°)	α <sub>11</sub> (MPa)
25	Weißer Jura Zwischenmittel [19]	harter Kalkstein	90500 / 80000 / 70000 / 60000 / 50000 / 40000 / 30000 / 20000 / 10000 / 0	33000 / 27000 / 21000 / 15000 / 9000 / 3000 / 0	15000 / 12000 / 9000 / 6000 / 3000 / 0	0	155 / 130 / 105 / 80 / 55 / 30 / 10 / 0	17700 / 15000 / 12000 / 9000 / 6000 / 3000 / 0
26		Mergelstein erzführend	17700 / 15000 / 12000 / 9000 / 6000 / 3000 / 0	33000 / 27000 / 21000 / 15000 / 9000 / 3000 / 0	15000 / 12000 / 9000 / 6000 / 3000 / 0	0	155 / 130 / 105 / 80 / 55 / 30 / 10 / 0	17700 / 15000 / 12000 / 9000 / 6000 / 3000 / 0
27		Kalkstein	132400 / 110000 / 90000 / 70000 / 50000 / 30000 / 10000 / 0	55000 / 45000 / 35000 / 25000 / 15000 / 5000 / 0	25000 / 20000 / 15000 / 10000 / 5000 / 0	0	69 / 58 / 47 / 36 / 25 / 14 / 3 / 0	132400 / 110000 / 90000 / 70000 / 50000 / 30000 / 10000 / 0
28	Weißer Jura Zwischenmittel [20]	Kalkmergelstein	21500 / 20300 / 19100 / 17900 / 16700 / 15500 / 14300 / 13100 / 11900 / 10700 / 9500 / 8300 / 7100 / 5900 / 4700 / 3500 / 2300 / 1100 / 0	8100 / 7000 / 6000 / 5000 / 4000 / 3000 / 2000 / 1000 / 0	4000 / 3500 / 3000 / 2500 / 2000 / 1500 / 1000 / 500 / 0	0	53 / 45 / 37 / 29 / 21 / 13 / 5 / 0	21500 / 20300 / 19100 / 17900 / 16700 / 15500 / 14300 / 13100 / 11900 / 10700 / 9500 / 8300 / 7100 / 5900 / 4700 / 3500 / 2300 / 1100 / 0
29		Kalkstein	23000 / 21600 / 20200 / 18800 / 17400 / 16000 / 14600 / 13200 / 11800 / 10400 / 9000 / 7600 / 6200 / 4800 / 3400 / 2000 / 600 / 0	9000 / 8000 / 7000 / 6000 / 5000 / 4000 / 3000 / 2000 / 1000 / 0	4500 / 4000 / 3500 / 3000 / 2500 / 2000 / 1500 / 1000 / 500 / 0	0	53 / 45 / 37 / 29 / 21 / 13 / 5 / 0	23000 / 21600 / 20200 / 18800 / 17400 / 16000 / 14600 / 13200 / 11800 / 10400 / 9000 / 7600 / 6200 / 4800 / 3400 / 2000 / 600 / 0
30	Weißer Jura Zwischenmittel [17]	Mergelstein	6440 / 13700 / 27040	3300 / 2700 / 2100 / 1500 / 900 / 300 / 0	1500 / 1200 / 900 / 600 / 300 / 0	0	155 / 130 / 105 / 80 / 55 / 30 / 10 / 0	6440 / 13700 / 27040
31		Kalk- / Kalkmergelstein	8100 / 13800 / 27050	3300 / 2700 / 2100 / 1500 / 900 / 300 / 0	1500 / 1200 / 900 / 600 / 300 / 0	0	155 / 130 / 105 / 80 / 55 / 30 / 10 / 0	8100 / 13800 / 27050
32	Weißer Jura Zwischenmittel [21, 22]	Tonmergelstein	7700 / 22300 / 37200	1300 / 1100 / 900 / 700 / 500 / 300 / 100 / 0	650 / 550 / 450 / 350 / 250 / 150 / 50 / 0	0	13 / 11 / 9 / 7 / 5 / 3 / 1 / 0	7700 / 22300 / 37200
33	Weißer Jura Unteres Lager [12]	Eisenoolith Strecke 672	16800 / 22400 / 29700	4200 / 3500 / 2800 / 2100 / 1400 / 700 / 0	2100 / 1750 / 1400 / 1050 / 700 / 350 / 0	0	156 / 130 / 104 / 78 / 52 / 26 / 0	16800 / 22400 / 29700
34	Weißer Jura Unteres Lager [19]	Eisenoolith Kalkig	120500 / 105000 / 90000 / 75000 / 60000 / 45000 / 30000 / 15000 / 0	48000 / 42000 / 36000 / 30000 / 24000 / 18000 / 12000 / 6000 / 0	24000 / 21000 / 18000 / 15000 / 12000 / 9000 / 6000 / 3000 / 0	0	19000 / 16500 / 14000 / 11500 / 9000 / 6500 / 4000 / 1500 / 0	120500 / 105000 / 90000 / 75000 / 60000 / 45000 / 30000 / 15000 / 0
35		Eisenoolith mergelig	19000 / 17000 / 15000 / 13000 / 11000 / 9000 / 7000 / 5000 / 3000 / 1000 / 0	7500 / 6500 / 5500 / 4500 / 3500 / 2500 / 1500 / 500 / 0	3750 / 3250 / 2750 / 2250 / 1750 / 1250 / 750 / 250 / 0	0	18000 / 16000 / 14000 / 12000 / 10000 / 8000 / 6000 / 4000 / 2000 / 0	19000 / 17000 / 15000 / 13000 / 11000 / 9000 / 7000 / 5000 / 3000 / 1000 / 0
36		Kalkstein erzführend	11700 / 10000 / 8300 / 6600 / 4900 / 3200 / 1500 / 0	4680 / 4000 / 3320 / 2640 / 1960 / 1280 / 600 / 0	2340 / 2000 / 1660 / 1320 / 980 / 640 / 300 / 0	0	11700 / 10000 / 8300 / 6600 / 4900 / 3200 / 1500 / 0	11700 / 10000 / 8300 / 6600 / 4900 / 3200 / 1500 / 0
37	Weißer Jura Unteres Lager [20]	Eisenoolith	20600 / 21900 / 24600	5150 / 5525 / 6150	2575 / 2762 / 3075	0	156 / 167 / 188	20600 / 21900 / 24600
38	Weißer Jura Unteres Lager [17]	Kalk- / Kalkmergelstein	9880 / 13300 / 17800	2470 / 3320 / 4170	1235 / 1660 / 2085	0	156 / 167 / 188	9880 / 13300 / 17800
39		Eisenoolith	11700 / 14600 / 21700	2925 / 3650 / 5475	1462 / 1825 / 2737	0	130 / 163 / 245	11700 / 14600 / 21700
40	Weißer Jura Unteres Lager [21, 22]	Eisenoolith	18500 / 32000 / 54700	4625 / 8000 / 13675	2312 / 4000 / 6837	0	180 / 320 / 547	18500 / 32000 / 54700
41	Weißer Jura Unteres Korallienoolith [19]	Kalkstein erzführend	14000 / 12000 / 10000 / 8000 / 6000 / 4000 / 2000 / 0	5600 / 4800 / 4000 / 3200 / 2400 / 1600 / 800 / 0	2800 / 2400 / 2000 / 1600 / 1200 / 800 / 400 / 0	0	14000 / 12000 / 10000 / 8000 / 6000 / 4000 / 2000 / 0	14000 / 12000 / 10000 / 8000 / 6000 / 4000 / 2000 / 0
42		Mergelstein	113200 / 98000 / 83000 / 68000 / 53000 / 38000 / 23000 / 8000 / 0	45280 / 39200 / 32900 / 26800 / 20700 / 14600 / 8500 / 2800 / 0	22640 / 19600 / 16450 / 13400 / 10350 / 7300 / 4250 / 1400 / 0	0	113200 / 98000 / 83000 / 68000 / 53000 / 38000 / 23000 / 8000 / 0	113200 / 98000 / 83000 / 68000 / 53000 / 38000 / 23000 / 8000 / 0
43		Kalkstein	26770 / 23000 / 19200 / 15400 / 11600 / 7800 / 4000 / 0	10708 / 9200 / 7680 / 6160 / 4640 / 3120 / 1600 / 0	5354 / 4600 / 3840 / 3120 / 2400 / 1600 / 800 / 0	0	26770 / 23000 / 19200 / 15400 / 11600 / 7800 / 4000 / 0	26770 / 23000 / 19200 / 15400 / 11600 / 7800 / 4000 / 0
44	Weißer Jura Unteres Korallienoolith [17]	oolithischer Kalkstein	13000 / 21500 / 34000	3250 / 5375 / 8450	1625 / 2712 / 4225	0	13000 / 21500 / 34000	13000 / 21500 / 34000
45		Kalkmergelstein	5400 / 12550 / 16000	1350 / 2887 / 3663	675 / 714 / 915	0	5400 / 12550 / 16000	5400 / 12550 / 16000
46	Weißer Jura Unteres Korallienoolith [21, 22, 23]	oolith- / Kalk- / Kalksandstein	17700 / 21700 / 27000	4425 / 5425 / 6750	2212 / 2712 / 3375	0	17700 / 21700 / 27000	17700 / 21700 / 27000
47		Ton- / Tonmergelstein	4400 / 6800 / 18000	1100 / 1700 / 4500	550 / 850 / 2250	0	4400 / 6800 / 18000	4400 / 6800 / 18000
48	Brauner Jura Collivium [19]	Tonstein, hollig	11100 / 10000 / 9000 / 8000 / 7000 / 6000 / 5000 / 4000 / 3000 / 2000 / 1000 / 0	4440 / 4000 / 3600 / 3200 / 2800 / 2400 / 2000 / 1600 / 1200 / 800 / 400 / 0	2220 / 2000 / 1800 / 1600 / 1400 / 1200 / 1000 / 800 / 600 / 400 / 200 / 0	0	11100 / 10000 / 9000 / 8000 / 7000 / 6000 / 5000 / 4000 / 3000 / 2000 / 1000 / 0	11100 / 10000 / 9000 / 8000 / 7000 / 6000 / 5000 / 4000 / 3000 / 2000 / 1000 / 0
49	Brauner Jura Collivium [19]	Ton- / Mergelstein	32700 / 50500 / 63300	8175 / 12625 / 15825	4087 / 6312 / 7912	0	32700 / 50500 / 63300	32700 / 50500 / 63300
50	Brauner Jura Bathonium [16]	harter Kalksand- / Kalkmergelstein	67600 / 100700 / 140000	16900 / 25175 / 33600	8450 / 12587 / 16800	0	67600 / 100700 / 140000	67600 / 100700 / 140000
51	Brauner Jura Bathonium [16]	Tonmergel- / toniger Kalksand- / Kalkmergelstein	64200 / 115700 / 160000	16050 / 28925 / 39500	8025 / 14462 / 19750	0	64200 / 115700 / 160000	64200 / 115700 / 160000

**Legende:**

- aus dreiaxialen Druckversuchen
- aus einaxialen Druckversuchen
- aus Einaxial- und Spaltzug bzw. Torsionsversuchen

Mittelwert  
 7 100 / 10 800 / 13 800  
 kleinster Mittelwert - größter Mittelwert

Physikalisch-Technische Bundesanstalt

Projekt: Endlager Konrad

Datum: [redacted] Name/Unversandt: [redacted] Ersteller und Zeichnungsnummer: [redacted]

gepr. [redacted] bearb. [redacted] gezeichnet [redacted] Maßstab: [redacted]

Anlage 4.1 BLATT 2 VON 2

Zusammenstellung der in den Laborversuchen ermittelten E-Moduln und Festigkeitsparameter


Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor

Projekt: 9 K 33222.37 Objekt: 5500

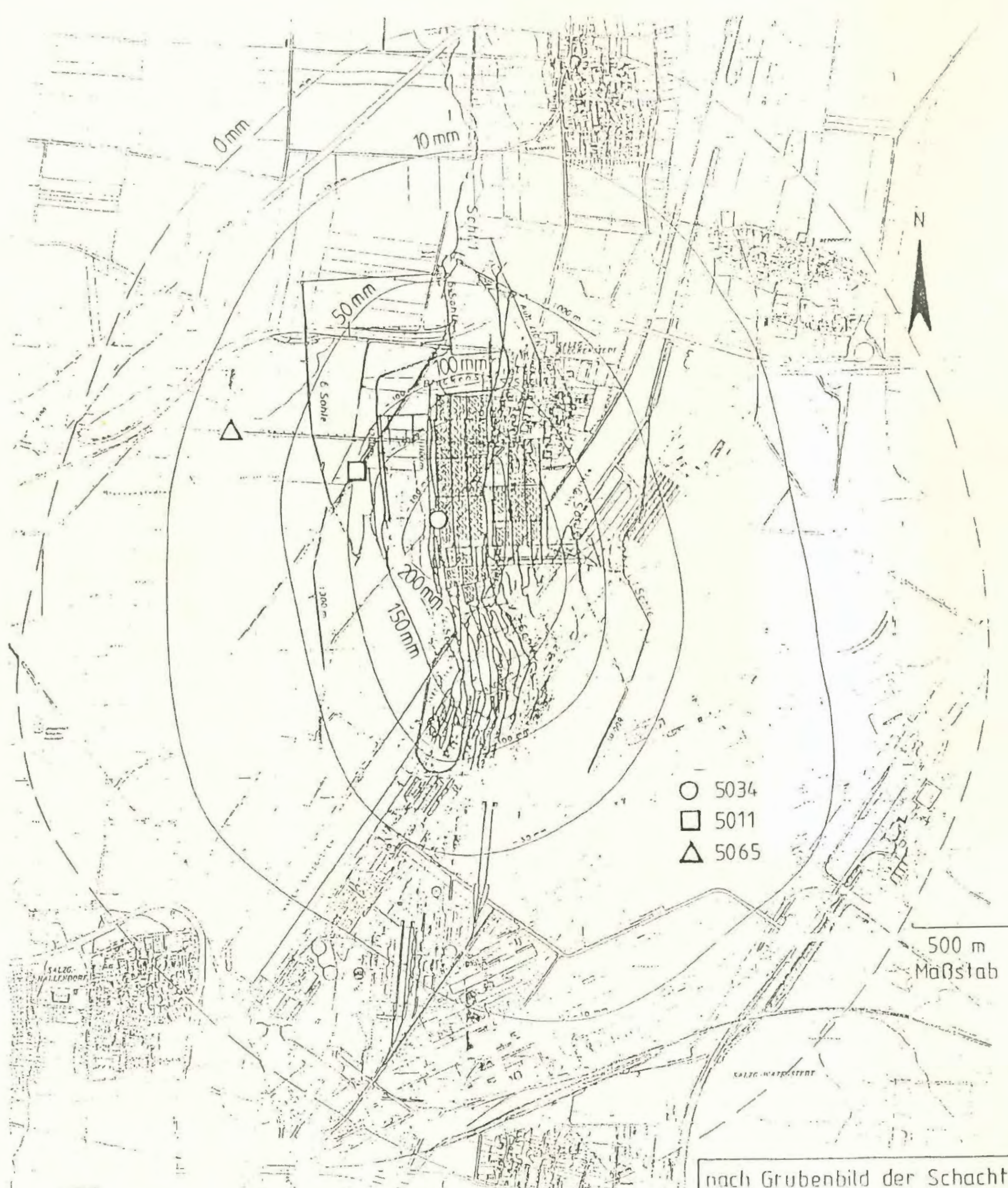
Arbeitsgemeinschaft Konrad  
 Strabag Bau-AG Sechtleben Bergbau GmbH



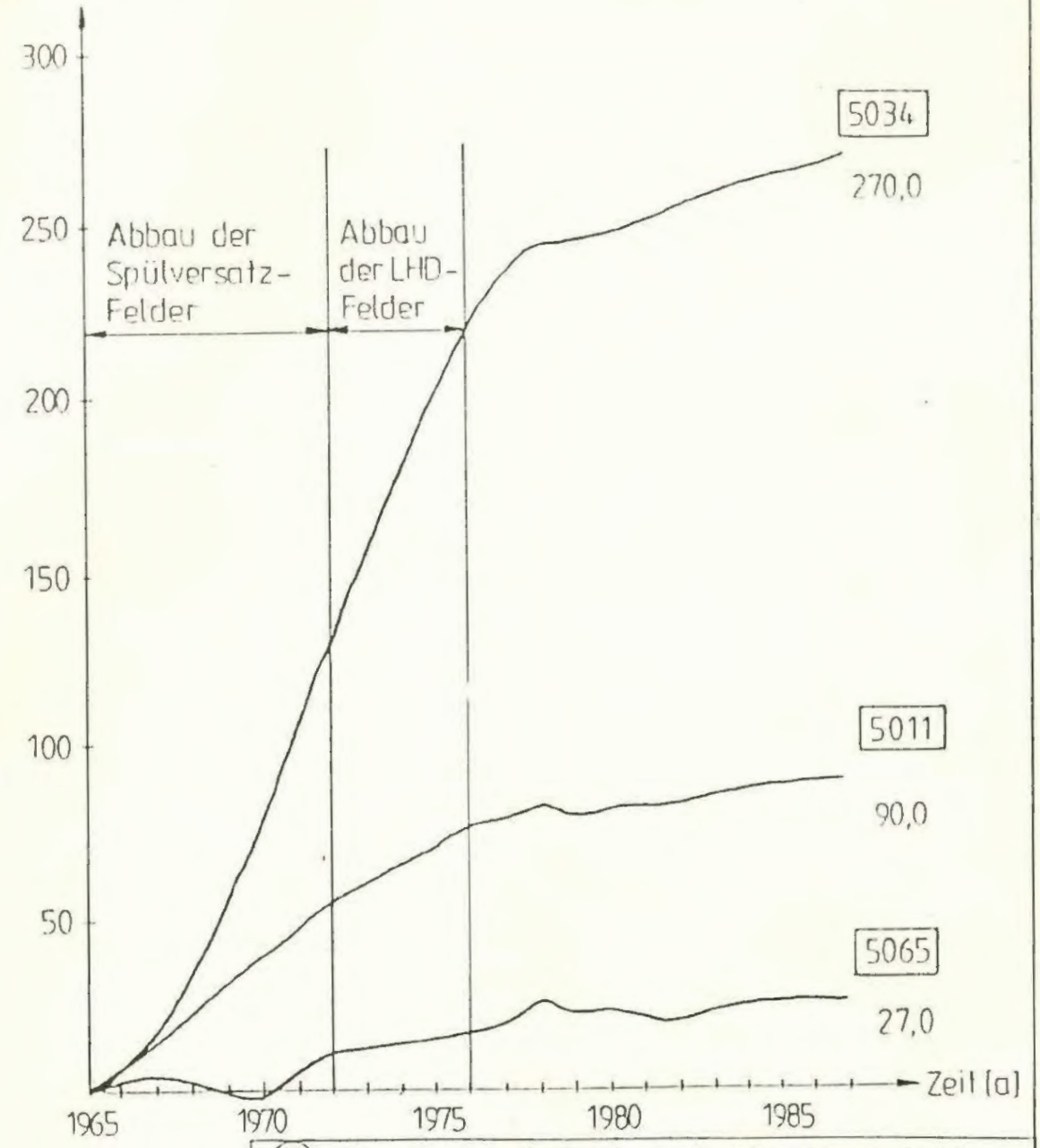
Versuch	E - Moduln [MPa]					
	Erstbelastung			Ent- bzw. Wiederbelastung		
	Min. Wert	Max. Wert	Mittelwert	Min. Wert	Max. Wert	Mittelwert
BGR-1981 Strecke 672 (BGR - Sonde) {12}	6 850	9 140	8 150	12 860	17 060	14 690
GSF - 1982 Strecke 672 (Goodman-Sonde) {12}	4 190	~ 12 070	7 030	6 410	15 270	11 750
BGR - 1985 1200m - Sohle (Revierkammer) {11}	-	-	- 9 000	-	-	11 250

 <b>Physikalisch-Technische Bundesanstalt</b>						
Projekt: <b>Endlager Konrad</b>						
	Datum	Name/Unterschrift	Ersteller und Zeichnungsnummer Freund			
gez.						Anlage
bezt.	6.7.8					4.2
gepr.	11.7.8					
Maßstab	Kammerabschlußbauwerk Modell 2					
RF-Nr.			Zusammenstellung der Ergebnisse der Dilatometerversuche im Unteren Lager			
Blatt	von	Blatt				
Klassifizierung:			Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor			
Projekt	PSP-Element		Objekt-Numm.			
9 K	33222.37		5500			
Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.	Rev.
			GHK			
<b>ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD</b> Strabag Bau-AG <span style="float: right;">Sachtloben Bergbau GmbH</span>						





Senkung (mm)



- 5034
- 5011
- △ 5065

500 m Maßstab

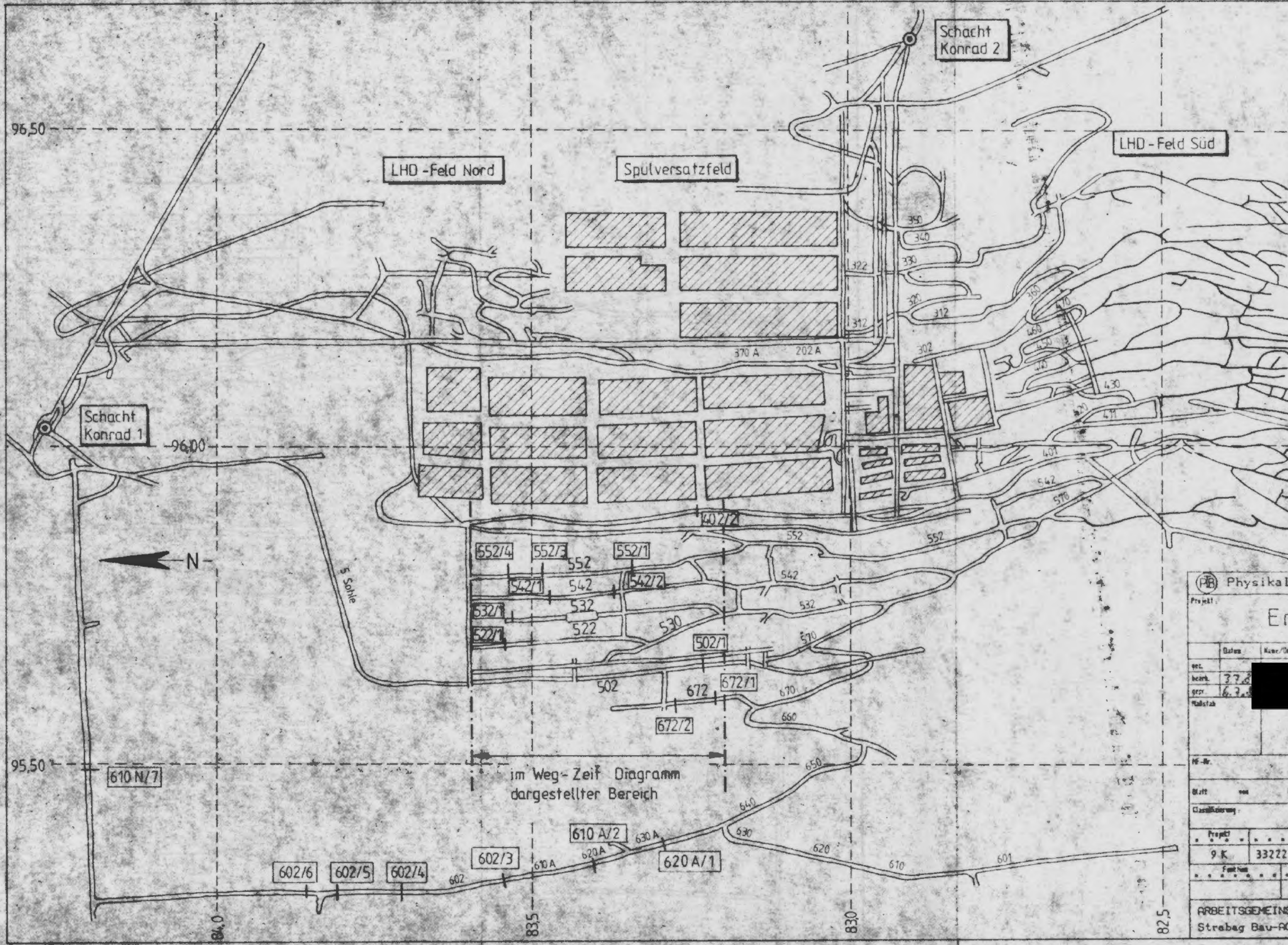
nach Grubenbild der Schachtanlage Konrad

PTB Physikalisch-Technische Bundesanstalt

Projekt: Endlager Konrad

grz.				Anlage
bearb.	1.7.8			5.1
gepr.	6.7.8			
Maßstab	1:10000			Modell 2
MF-Nr.				Darstellung der Geländesenkungen (Stand 5'87)[19] und der Zeit-Senkungskurven der Punkte 5034, 5011 und 5065
Blatt	100	Blatt		
Klassifizierung:		Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor		
Projekt	PSP-Nummer	Objekt-Nummer		
9 K	33222.37	5500		
Funktion	Competenz	Abgepruft	Aufgabe	UA
			GHK	
ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD				
Steirag Bau-AG				Sachtloben Bergbau GmbH

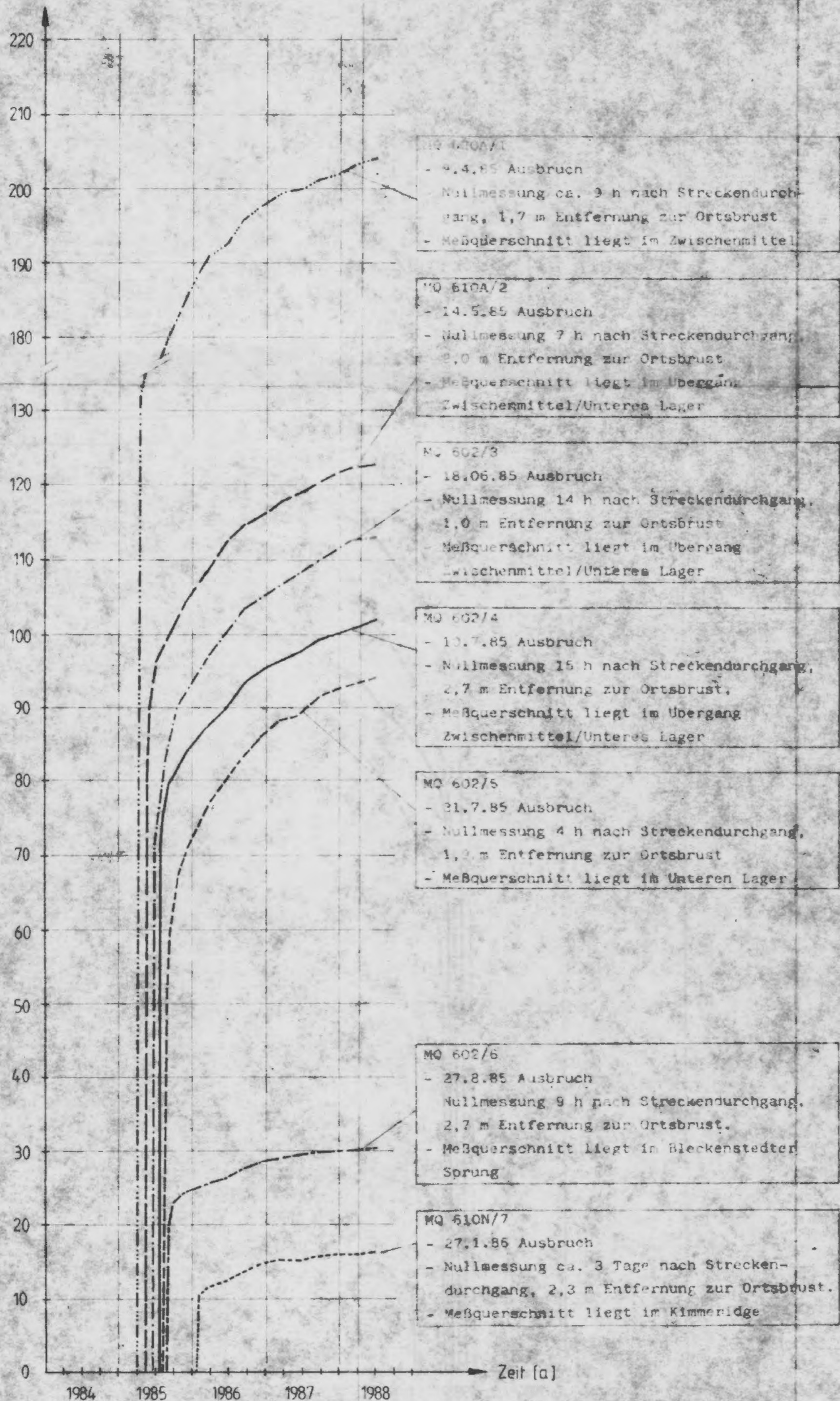




Physikalisch-Technische Bundesanstalt			
Projekt: <b>Endlager Konrad</b>			
Datum	Name/Unterschrift	Ersteller und Zeichnungsnummer/Prüfung	
ent.			Anlage 5.2
beurk.	3.7.8		
gepr.	6.3.8		
Maßstab		immerabschlußbauwerk Modell 2	
Lageplan der Extensometer- und Konvergenzmeßquer-schnitte			
Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor			
Projekt	PSP-Element	Objekt-Konuz	
9 K	33222.37	5500	
Funktion	Leistung	Gruppe	Art
			GHK
ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD Strabag Bau-AG			
Sachtleben Bergbau GmbH			



horizontale Konvergenz [mm]



Physikalisch-Technische Bundesanstalt			
Projekt: <b>Endlager Konrad</b>			
Datum	Name/Unterschrift	Ersteller und Zeichnungsnummer	
verf.			Anlage 5.3
beach.			
gepr.			
Maßstab	Kammerabschlußbauwerk Modell 2		
Nr.-Nr.	Horizontale Konvergenzen in den Meßquerschnitten 620 A/1, 610 A/2, 602/3, 602/4, 602/5, 602/6 und 610 N/7		
Blatt	von	Blatt	
Klassifizierung: <span style="float: right;">Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor</span>			
Projekt	PSP-Element	Objekt-Numm.	
9 K	33222.37	5500	
Funktion	Componen.	Samgruppe	Aufgabe
			GHK
ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD Strabag Bau-AG <span style="float: right;">Sachtleben Bergbau GmbH</span>			

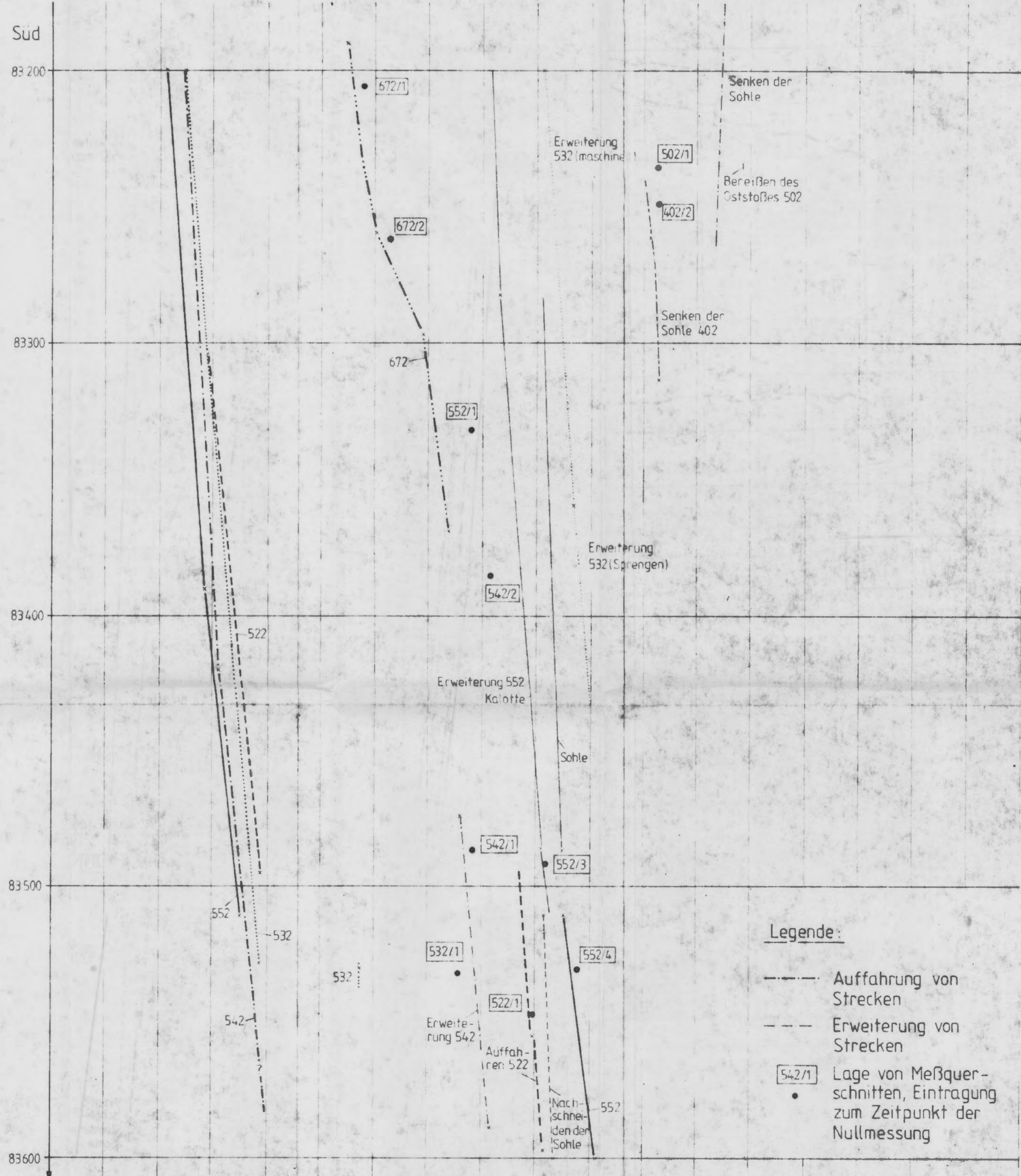
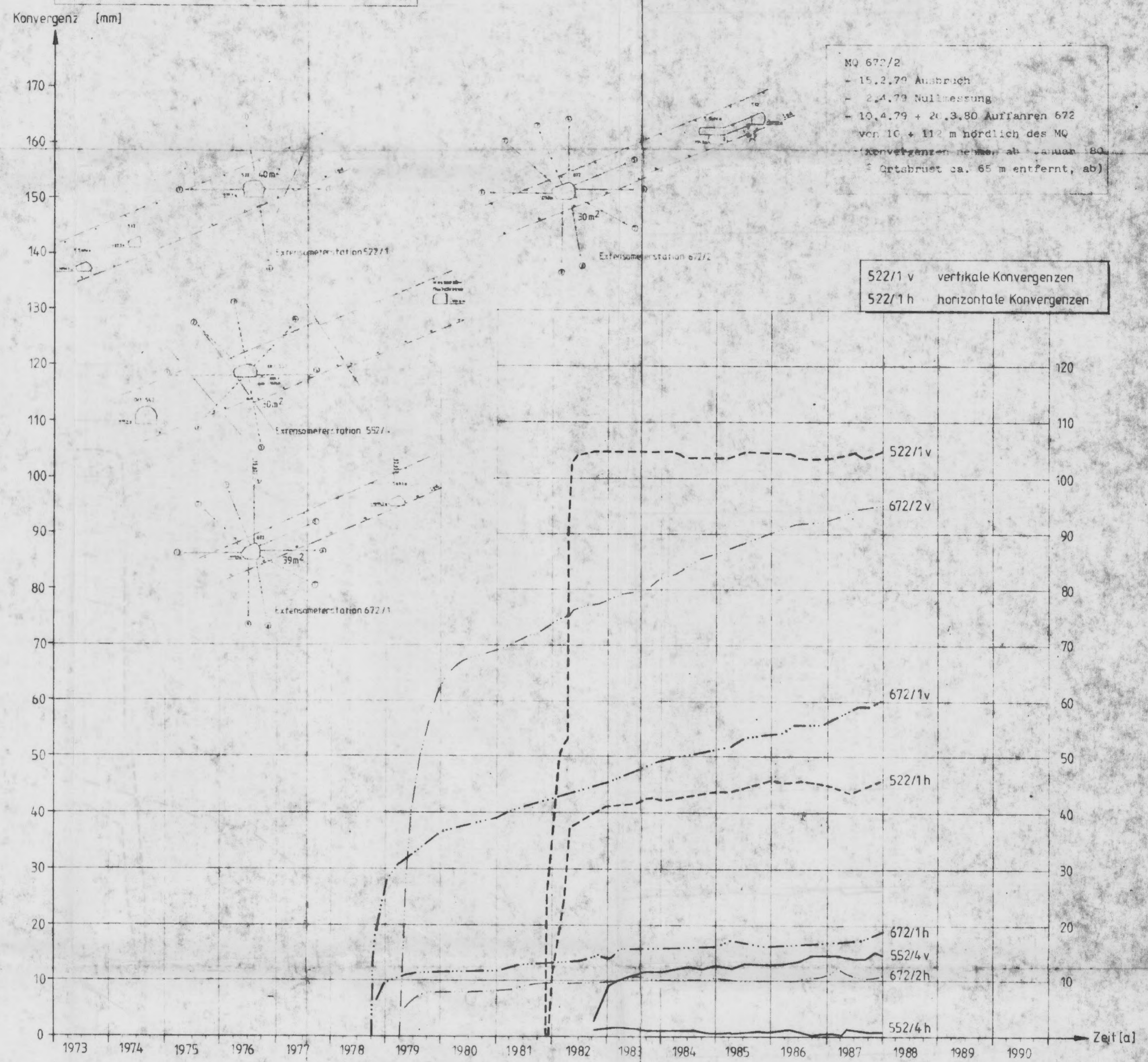


MQ 522/1  
 - 20.11.81 Ausbruch  
 - 27.11.81 Nullmessung  
 - 16.12.81 + 13.2.82 Auffahren 522 von 7 + 50 m nördlich (nur Kalotte) (starkes Ansteigen der Konvergenzen)  
 - 1.3.82 - 28.5.82 Auffahren 522 (Sohle) von 38 m südlich + 50 m nördlich des MQ (weiteres starkes Ansteigen der Konvergenzen, ab Mitte '82 jedoch - Stillstand)

MQ 552/4  
 - 7.9.82 Ausbruch  
 - 24.9.82 Nullmessung  
 - 27.9.82 + 2.2.83 Auffahren 552 von 4 + 67 m nördlich des MQ (nur geringe Konvergenzen, ab März '83 - Stillstand)

MQ 672/1  
 - 5.7.76 Ausbruch  
 - 5.2.78 Nullmessung  
 - 7.7.78 - 20.3.80 Auffahren 672 von 12 + 112 m nördlich des MQ (Konvergenzen nehmen ab Januar 80 ab, Oktober ca. 50 m entfernt, ab)

MQ 672/2  
 - 15.2.79 Ausbruch  
 - 2.4.79 Nullmessung  
 - 10.4.79 + 21.3.80 Auffahren 672 von 10 + 112 m nördlich des MQ (Konvergenzen nehmen ab Januar 80 ab, Oktober ca. 65 m entfernt, ab)



- Legende:**
- Auffahrung von Strecken
  - - - Erweiterung von Strecken
  - Lage von Meßquerschnitten, Eintragung zum Zeitpunkt der Nullmessung

(PTB) Physikalisch-Technische Bundesanstalt Projekt: <b>Endlager Konrad</b>			
Datum	Kennzeichensystem	Ersteller und Zeichnungsnummer	Blatt
19.8.82			5.4
1.7.82			Modell 2
Konvergenzen in den Extensometermeßquerschnitten 522/1, 552/4, 672/1 und 672/2			
Für diese Zeichnung behalte ich mich für alle Rechte vor			
Projekt	Proj. Nr.	Blatt-Nr.	
9 K	33222.37	5500	
Gezeichnet	Geprüft	Gezeichnet	Geprüft
ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD Strabag Bau-AG      Sachtleben Bergbau GmbH			



**MQ 552/1**  
 - 9.75 Ausbruch  
 - 15.9.80 Nullmessung  
 - 2.2.81 - 28.6.82 Erweiterung bzw. Nachreißen der Strecke 552 von 175 m südlich + 220 m nördlich des MQ (starker Anstieg der Konvergenzen)  
 - 28.6.82 + 2.2.83 Auffahren 552 von 175 + 220 m nördlich des MQ (kein Einfluß erkennbar)  
 - 15.3.82 - 31.12.82 Erweiterung 552 von 135 m südlich + 104 m nördlich des MQ (mit 21 m nördlich des MQ durch Sprengen) (starker Anstieg der Konvergenzen)

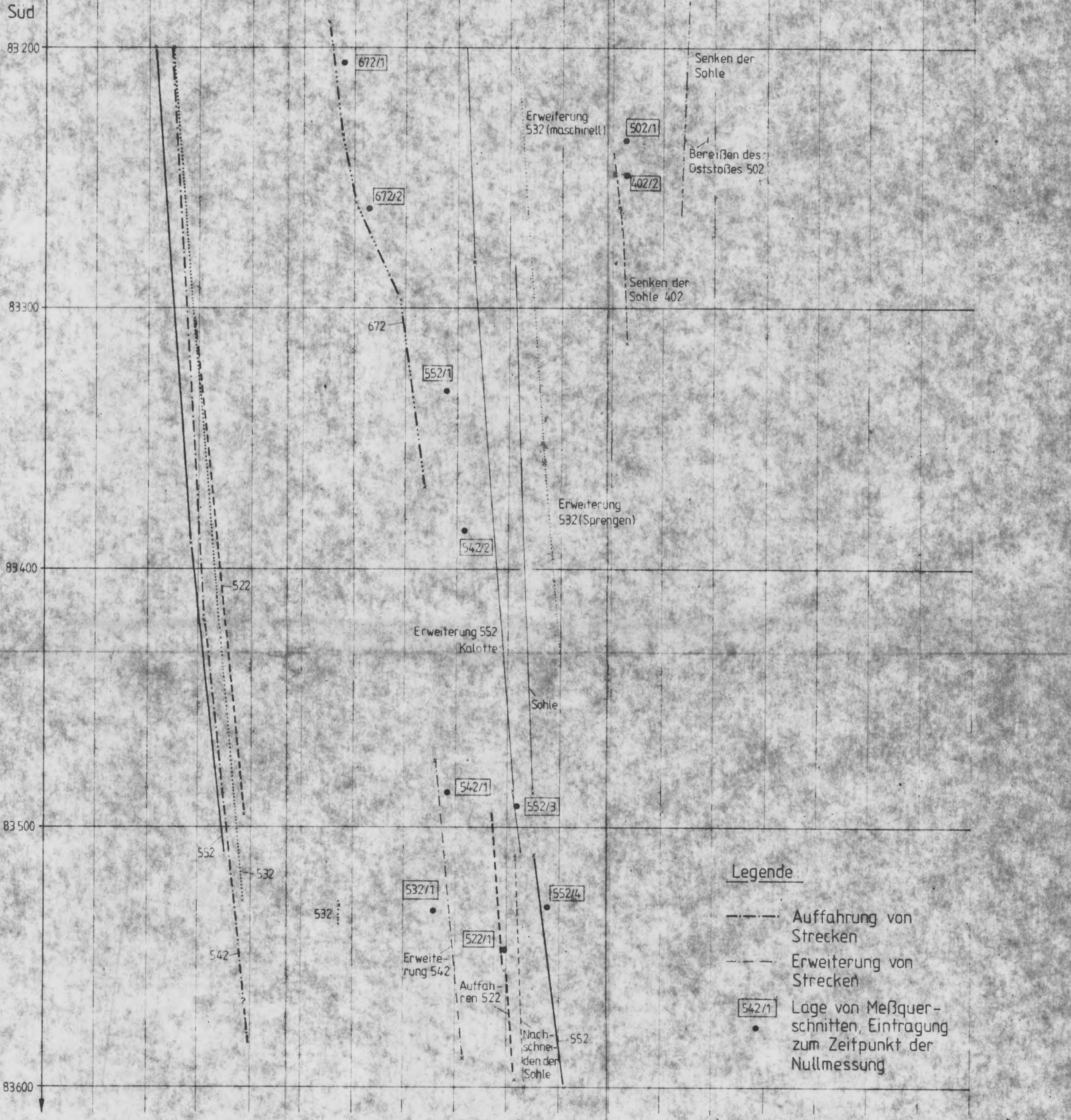
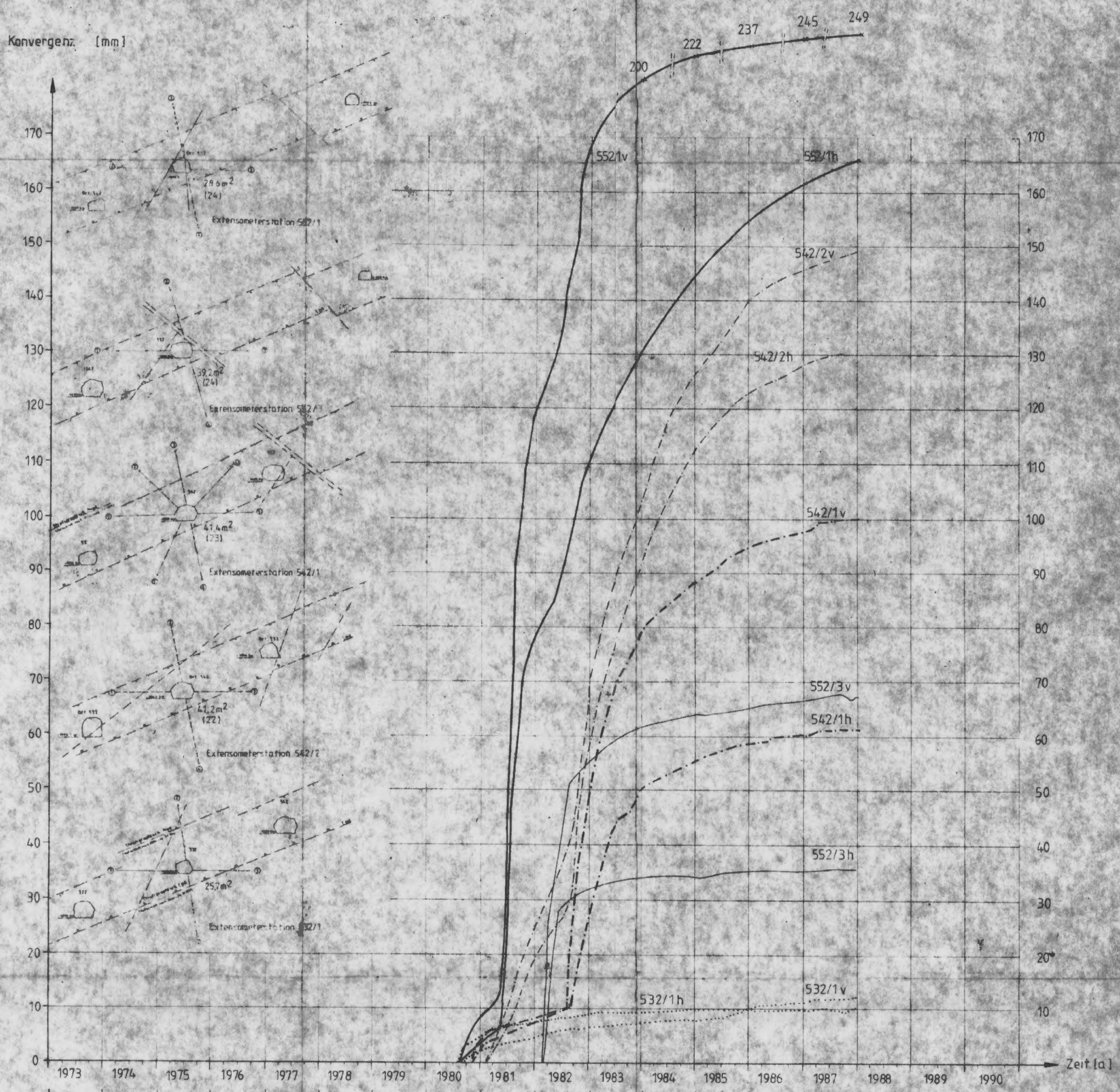
**MQ 552/1**  
 - 10.10.78 Ausbruch  
 - 8.8.80 Nullmessung  
 - 23.10.81 + 13.1.82 Erweiterung 542 von 15 m südlich + 64 m nördlich des MQ  
 - 1.10.81 + 28.5.82 Auffahren 522 von 22 m südlich + 65 m nördlich des MQ (Anstieg der Konvergenzen aufgrund der Arbeiten nicht erkennbar)

**MQ 542/1**  
 - 25.6.76 Ausbruch  
 - 22.10.80 Nullmessung  
 - 5.8.80 + 28.2.81 Erweiterung 42 von 11 m südlich + 102 m nördlich des MQ (Einfluß kaum erkennbar)  
 - 14.5.81 + 28.6.82 Erweiterung 552 von 203 m südlich bis in Höhe MQ (kein Einfluß erkennbar)  
 - 1.10.81 - 13.2.83 Auffahren 52 von 16 + 103 m nördlich des MQ (kein Einfluß)  
 - 28.6.82 - 2.2.83 Auffahren der Strecke 552 von 0-112 m nördlich des MQ (kein Einfluß)  
 - 11.8.82 - 31.12.82 Erweiterung 532 von 128 + 48 m südlich des MQ (Sprengen) (starker Anstieg der Konvergenzen)

**MQ 552/3**  
 - 5/76 Ausbruch  
 - 24.2.82 Nullmessung  
 - 11.2.82 + 28.6.82 Erweiterung 552 von 134 m südlich + 22 m nördlich des MQ (große Konvergenzen)  
 - 28.6.82 + 2.2.83 Weiterfahren 552 von 22 m nördlich - 106 m nördlich des MQ (kein Einfluß erkennbar)

**MQ 542/2**  
 - 15.12.75 Ausbruch  
 - 19.2.81 Nullmessung  
 - 28.4.81 + 26.6.82 Erweiterung 552 von 117 m südlich + 127 m nördlich des MQ (zusätzliche Konvergenzen erkennbar)  
 - 1.10.81 + 28.5.82 Auffahren 522 von 130 + 215 m nördlich (kein Einfluß erkennbar)  
 - 11.8.82 - 31.12.82 Erweiterung 532 von 33 m südlich + 54 m nördlich des MQ (Sprengen) (starkes Ansteigen der Konvergenzen)

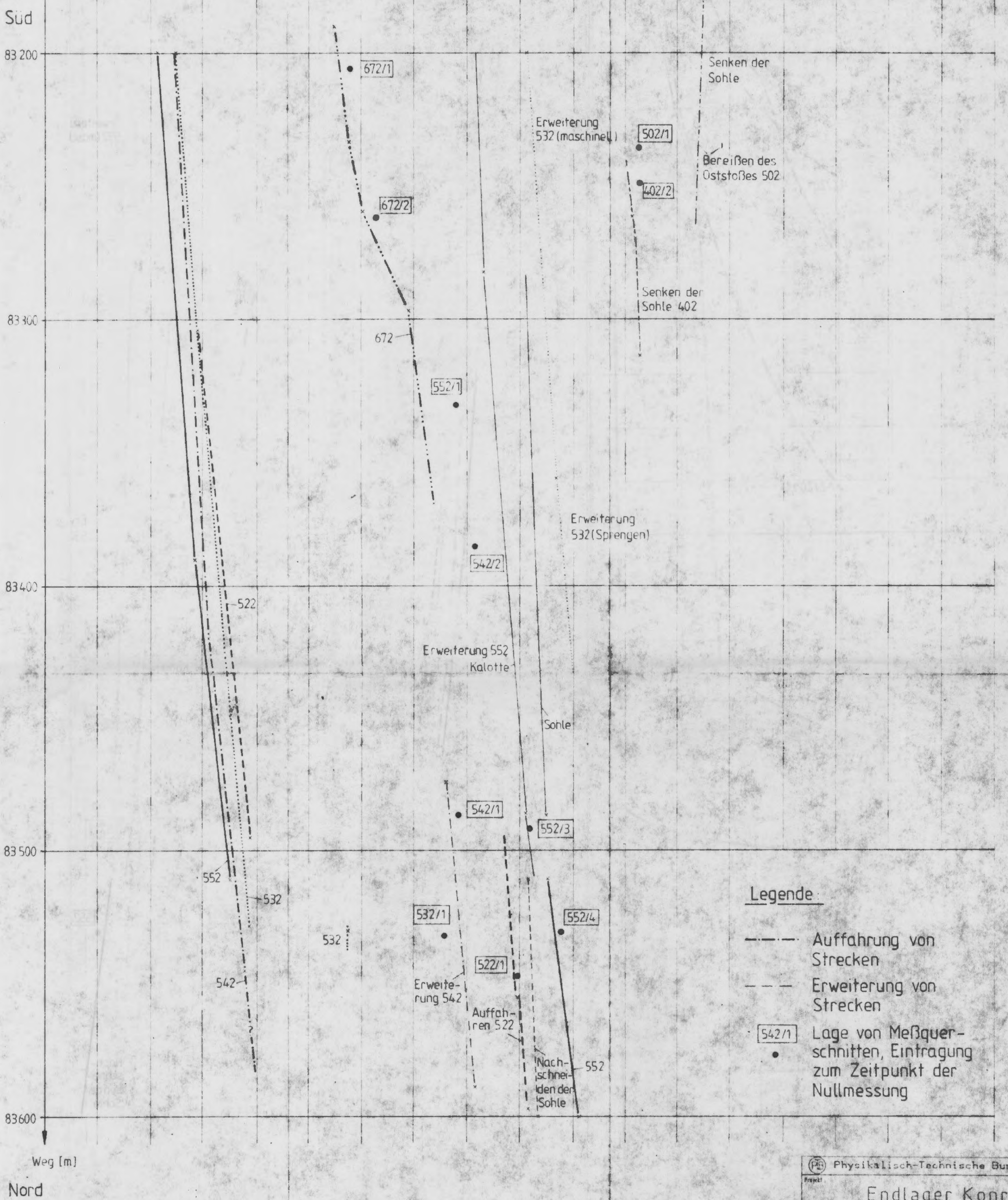
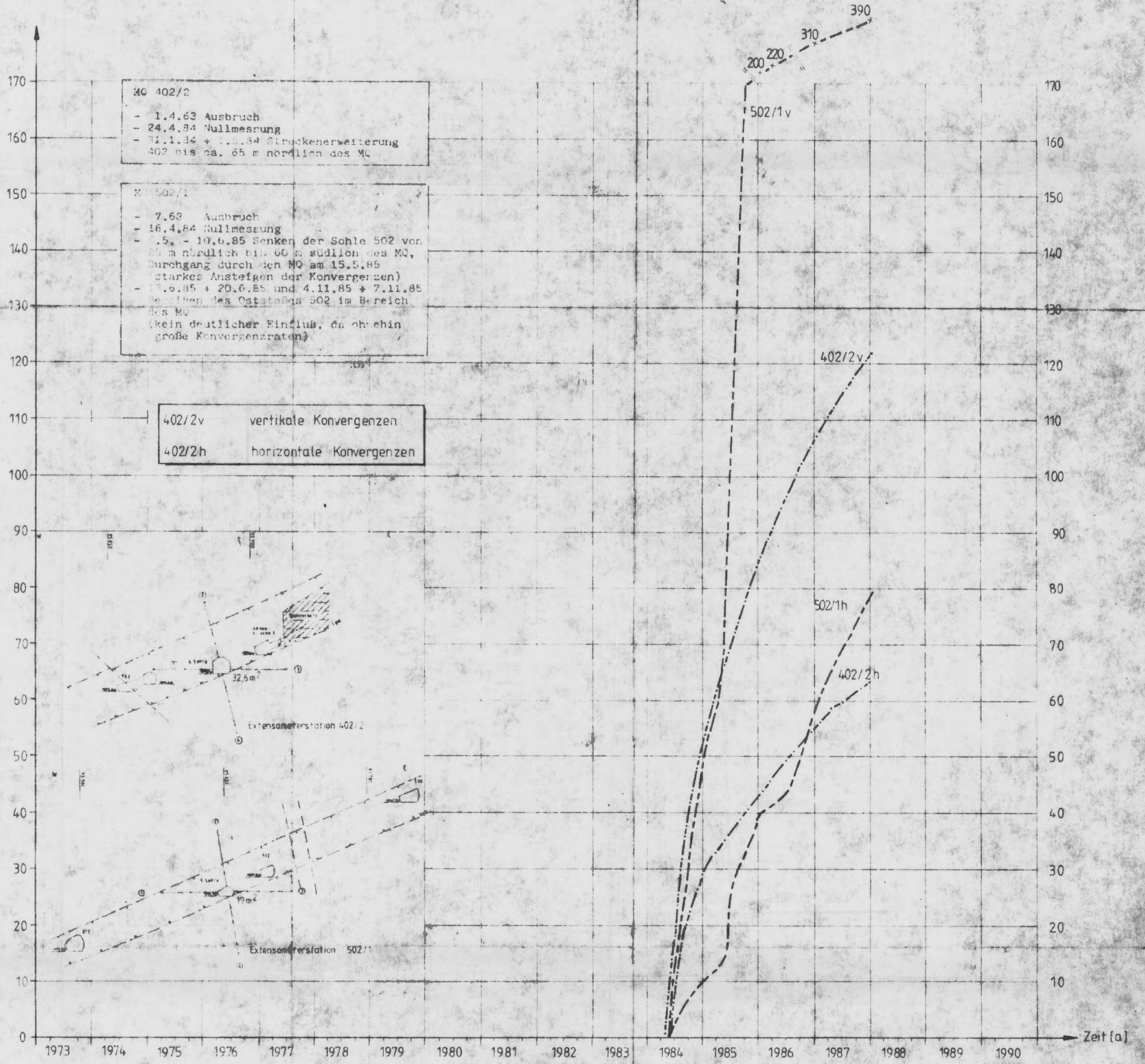
552/1v vertikale Konvergenzen  
 552/1h horizontale Konvergenzen



Physikalisch-Technische Bundesanstalt  
 Endlager Konrad  
 Anlage 55  
 Konvergenzen in den Extensometrierquerschnitten 532/1, 542/1, 542/2, 552/1 und 552/3  
 Projekt: 33222.37  
 Maßstab: 1:500  
 Blatt: 1/1  
 Datum: 1982  
 Zeichner: [Name]  
 Geprüft: [Name]  
 Freigegeben: [Name]



Konvergenz [mm]



- Legende**
- Auffahrung von Strecken
  - - - Erweiterung von Strecken
  - Lage von Meßquerschnitten, Eintragung zum Zeitpunkt der Nullmessung

Physikalisch-Technische Bundesanstalt

Projekt: **Endlager Konrad**

Titel	Blatt	Anteil	Anteil
Anteil	Anteil	Anteil	Anteil
Anteil	Anteil	Anteil	Anteil
Anteil	Anteil	Anteil	Anteil

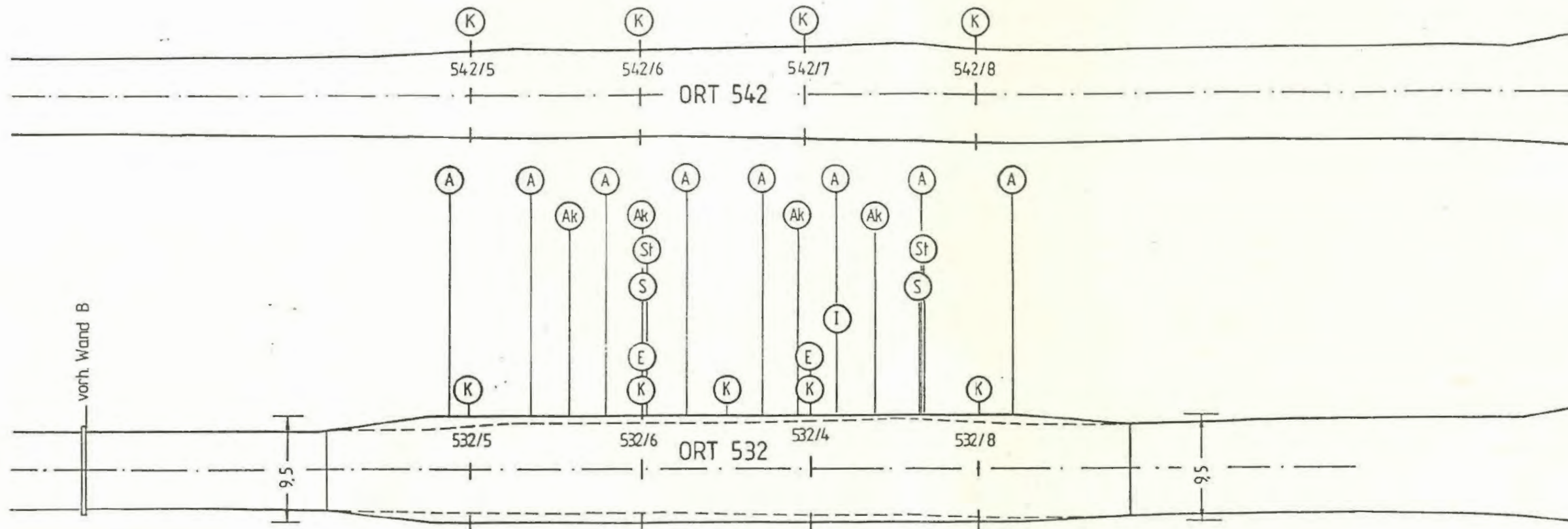
Anteil: 56

Konvergenzen in den Extensometerquerschnitten 402/2 und 502/1

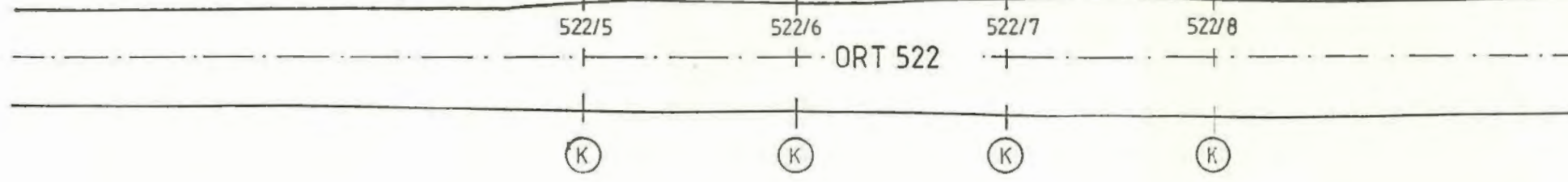
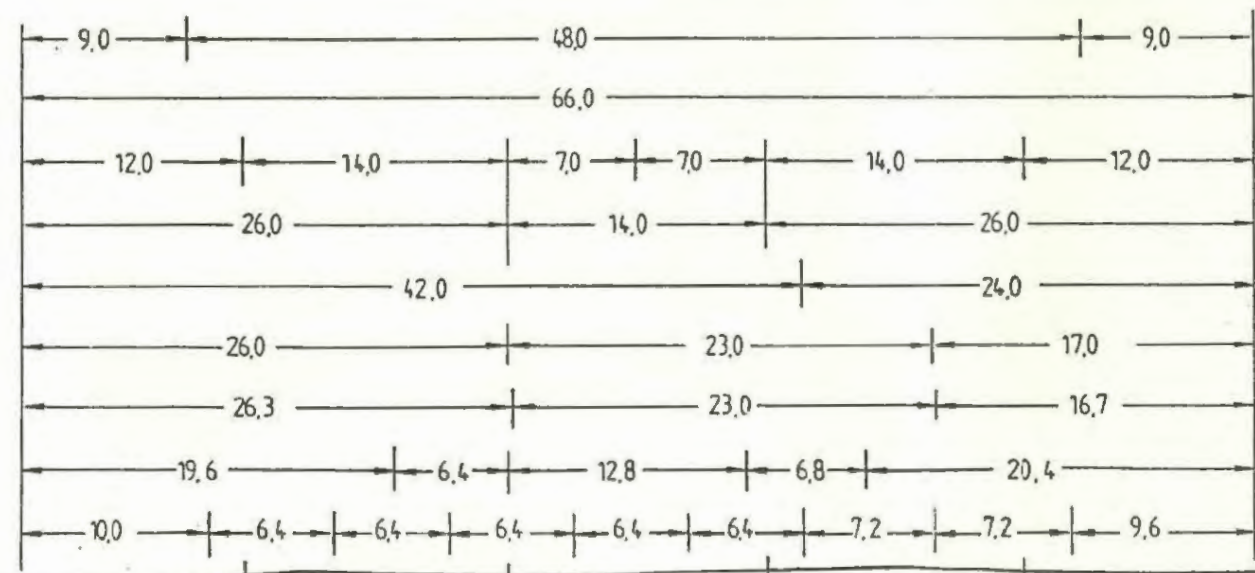
ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD  
Gleisbau Bau-AG

Sechslieben Bergbau GmbH





- (K) Konvergenzmessungen
- (E) Extensometermessungen
- (I) Inklinometermessungen
- (S) Spannungsmessungen zwischen Gebirge und Bauwerk
- (St) Spannungsmessungen Spritzbeton tangential
- (Ak) Ankerkraftmessungen
- (A) Ankermessungen mit Gleitanzeige

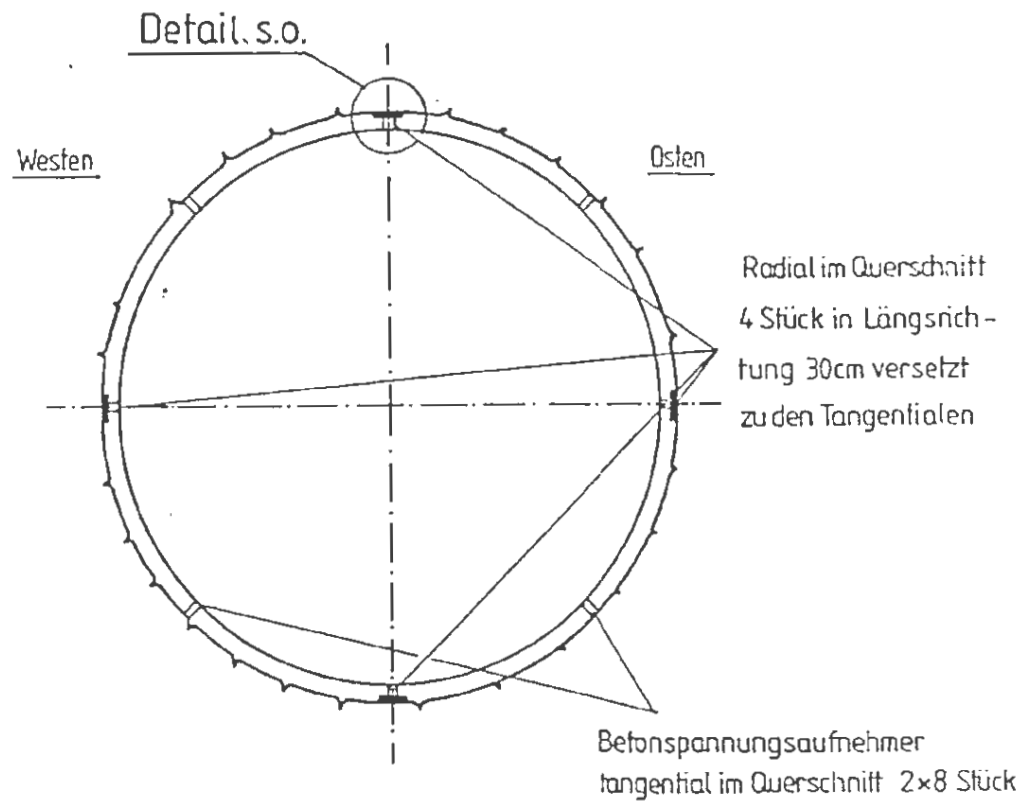
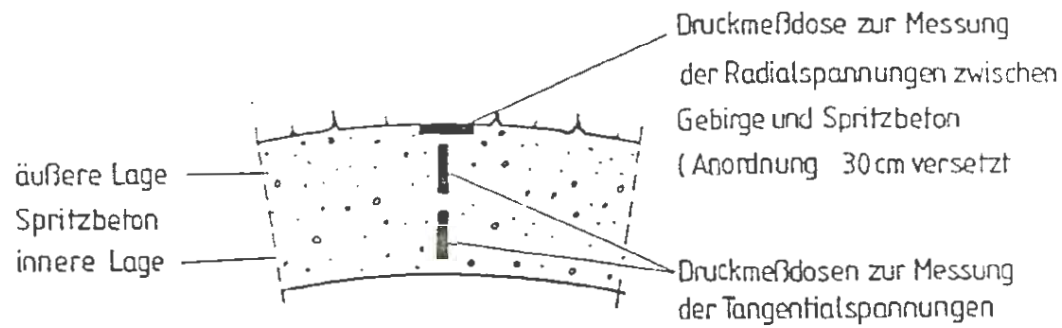


<b>PTB</b> Physikalisch-Technische Bundesanstalt					
Projekt: <b>Endlager Konrad</b>					
gez.	Name/Unterschrift	Ersteller und Zeichnungsnummer	Fremd		
bezb.	4.7.89			Anlage	6.1
gepr.	10.1.89				
Maßstab		immerabschnittsbauwerk		Modell 2	
				Anordnung der Meßquer- schnitte in den Strecken 532, 522 und 542	
MF-Nr.		Blatt von Blatt			
Klassifizierung: Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor					
Projekt	PSP-Element		Objekt-Kennz.		
9 K	33222.37		5500		
Funktion	Komponent	Bagruppe	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.
			GHK		
ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD					
Strabag Bau-AG			Sachtleben Bergbau GmbH		



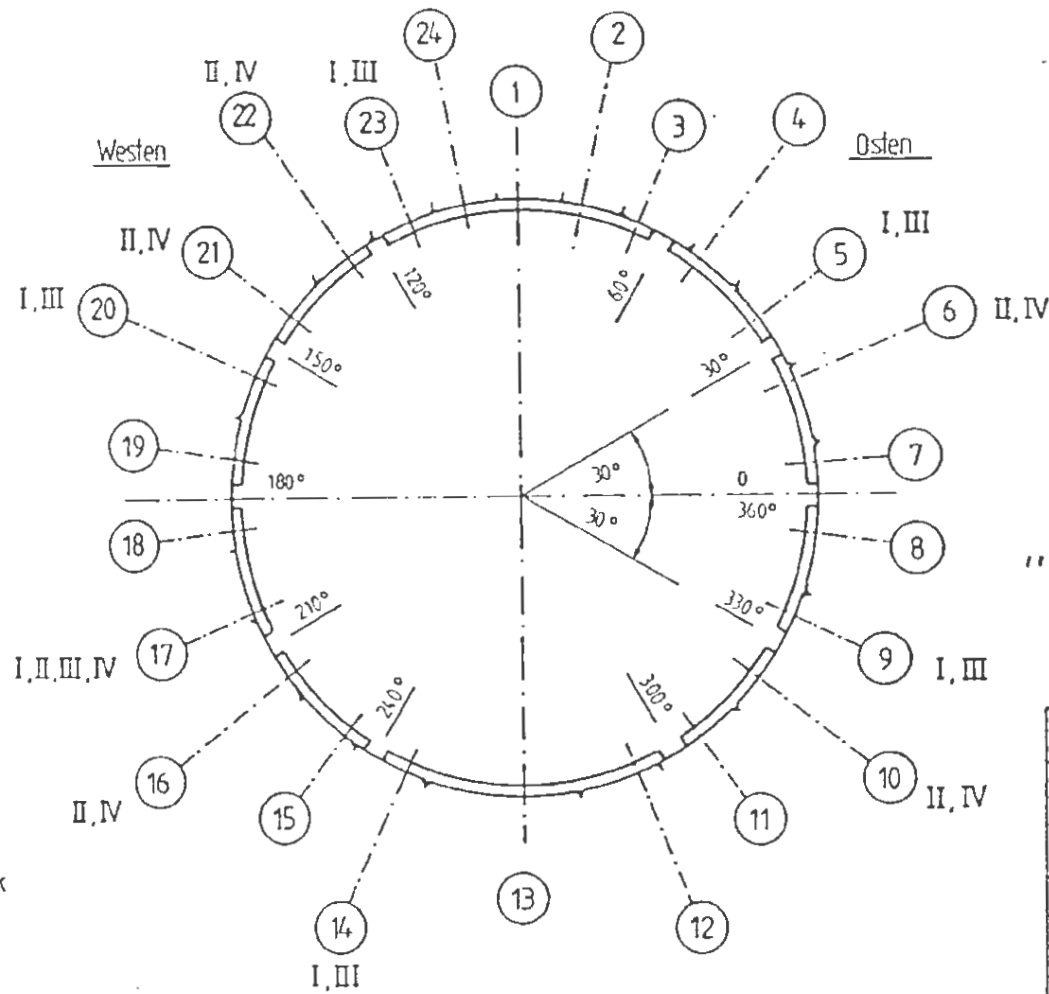




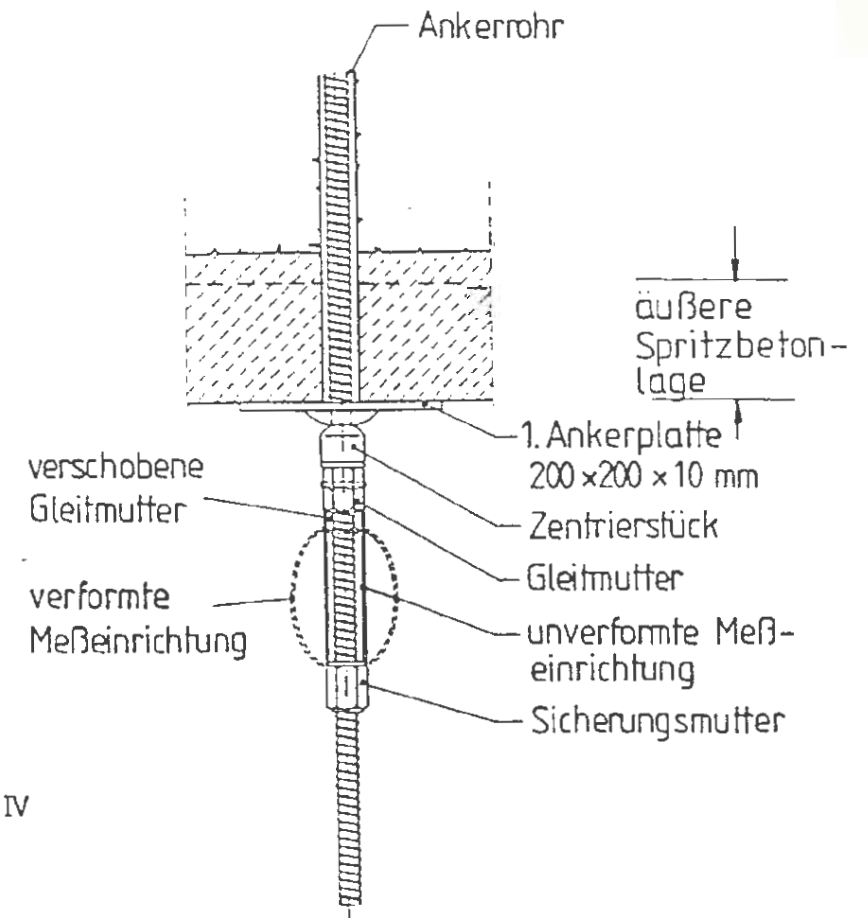


Anordnung der Druckmeßdosen zur Ermittlung der Tangentialspannungen im Spritzbeton und der Radialspannungen zwischen Spritzbeton und Gebirge

I	Meßanker bei Station	20,40
II	"	27,20
III	"	40,00
IV	"	46,40

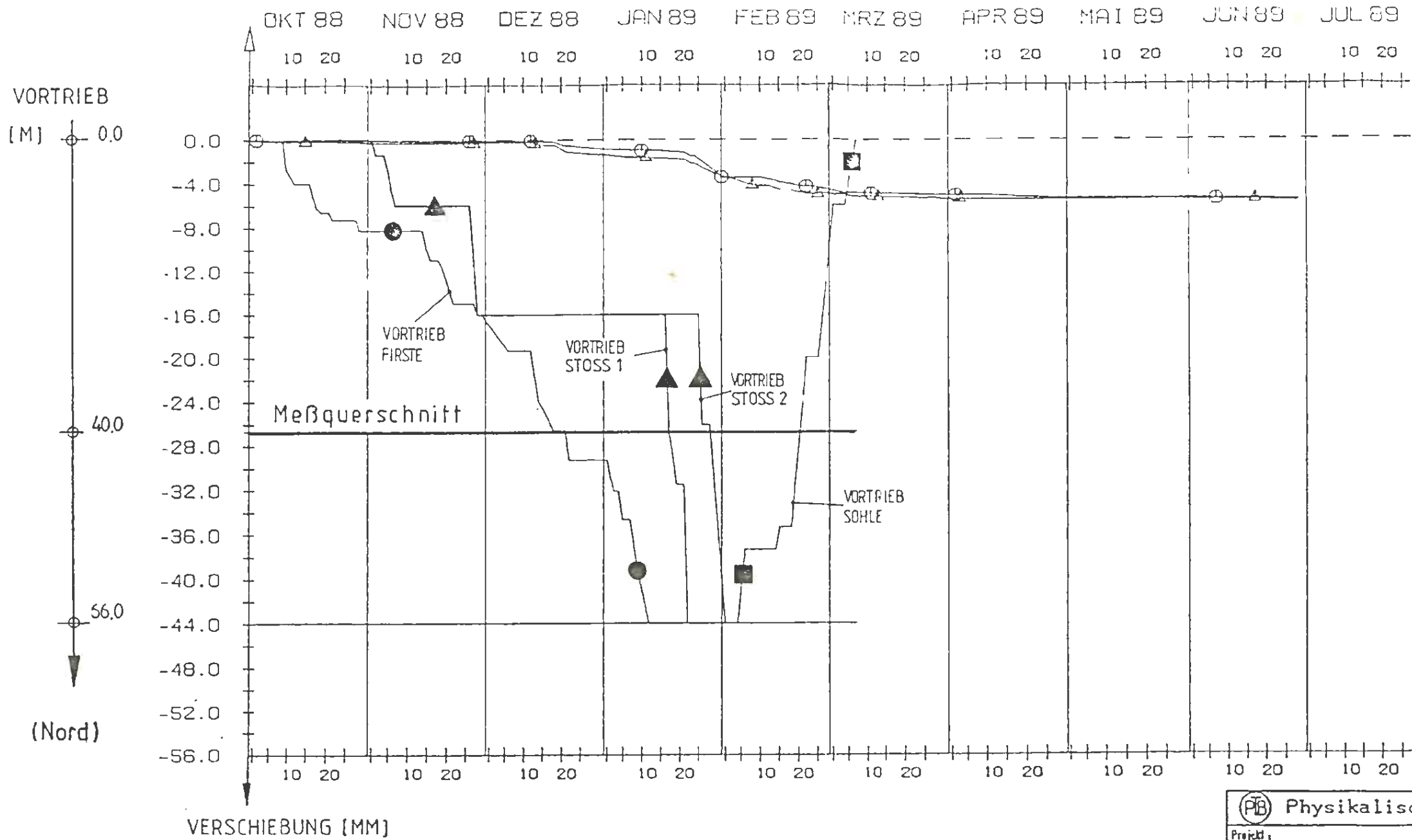


Anordnung der Anker im Querschnitt Projektion aller Anker in einem Schnitt



Darstellung eines Ankerkopfes mit "optischer" Gleitanzeige

Physikalisch-Technische Bundesanstalt			
Projekt: Endlager Konrad			
	Datum	Name/Unterschrift	Ersteller und Zeichnungsnummer Freid
geZ.			
bearb.	4.7.83		
gepr.	10.7.83		
Maßstab			Modell 2
Anlage 6.3		Anordnung der Druckmeßdosen, Ankerkraftmeßdosen und Darstellung der Gleitanzeige	
Blatt	von	Blatt	
Klassifizierung: Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor.			
Projekt	FSV-Element	Objekt-Code	
9 K	33222.37	5500	
Funktion	Temperatur	Bezuggruppe	Artzettel
			GHK
ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD			
Strabag Bau-AG		Sachtleben Bergbau GmbH	

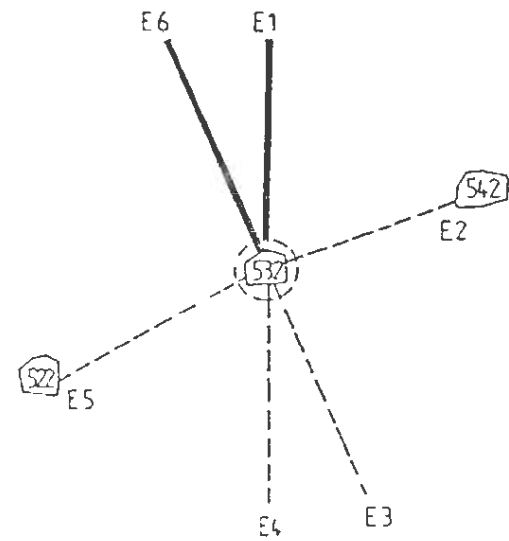


**AUFWEITUNG UND VERFORMUNG ALS FUNKTION DER ZEIT**

MESSQUERSCHNITT 532/6 STAND 30.06.1989

**LEGENDE :**

- ⊙ EXTENSOMETERKOPF E1
- △ EXTENSOMETERKOPF E6
- FIRSTE
- ▲ STOSS
- SOHLE



PTB Physikalisch-Technische Bundesanstalt

Projekt: Endlager Konrad

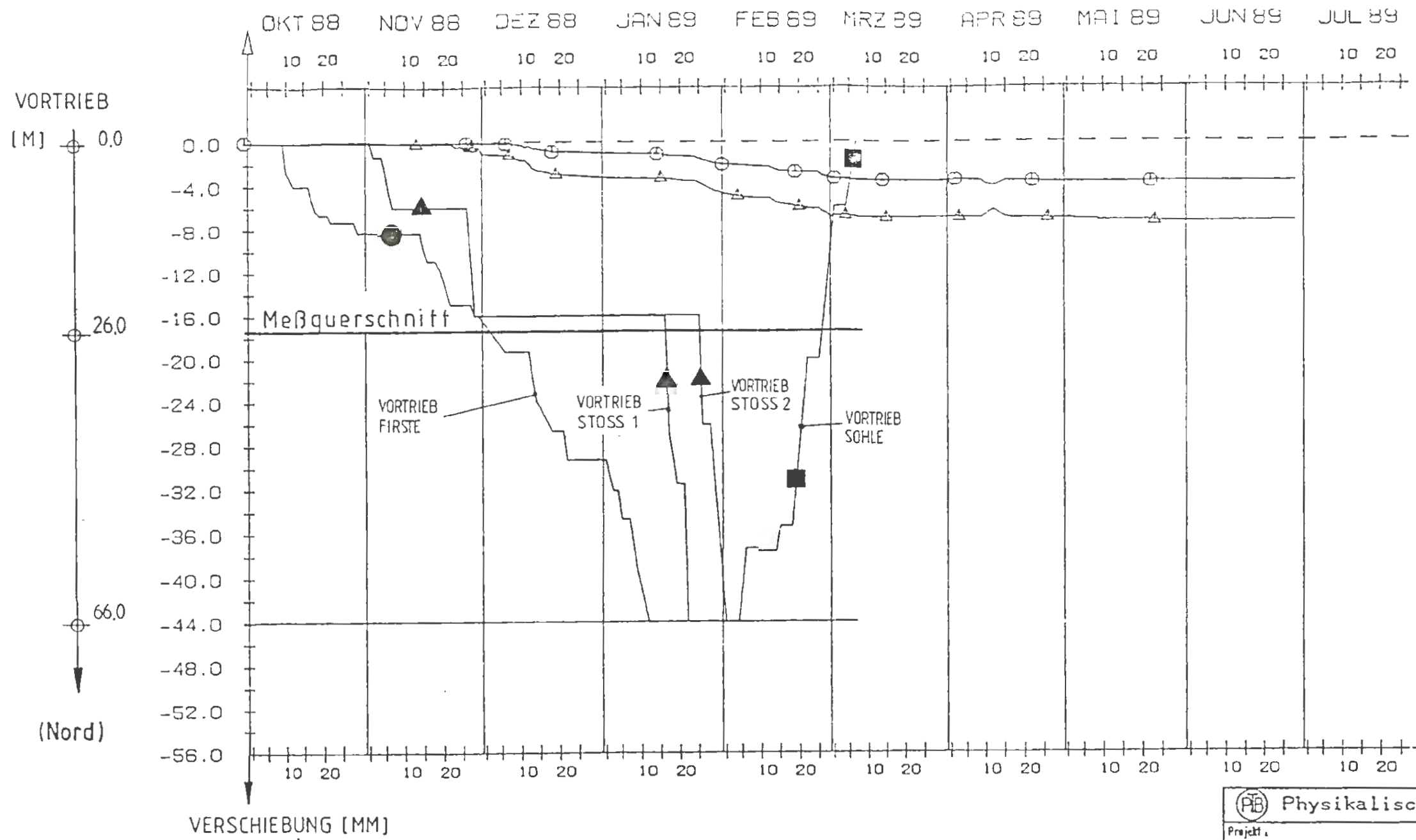
gez.	Name/Unterschrift	Ersteller und Zeichnungsnummer	Anlage 6.4
bearb.	4.7.89		
gepr.	10.7.89		
Maßstab		Modell 2	

Aufweitung und Verschiebung als Funktion der Zeit  
Meßquerschnitt 532/6  
Extensometer E1 und E6

Klassifizierung: Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor

Projekt	PSP-Element	Objekt-Kennz.	
9 K	33222.37	5500	
Funktion	Inspektion	Baugruppe	Aufgabe
			GHK

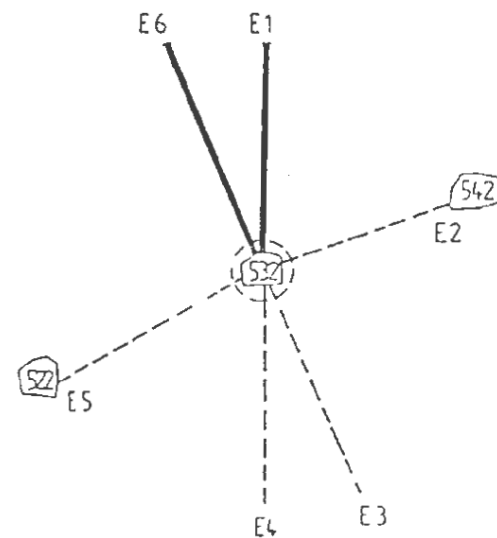
ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD  
Strabag Bau-AG      Sachtleben Bergbau GmbH



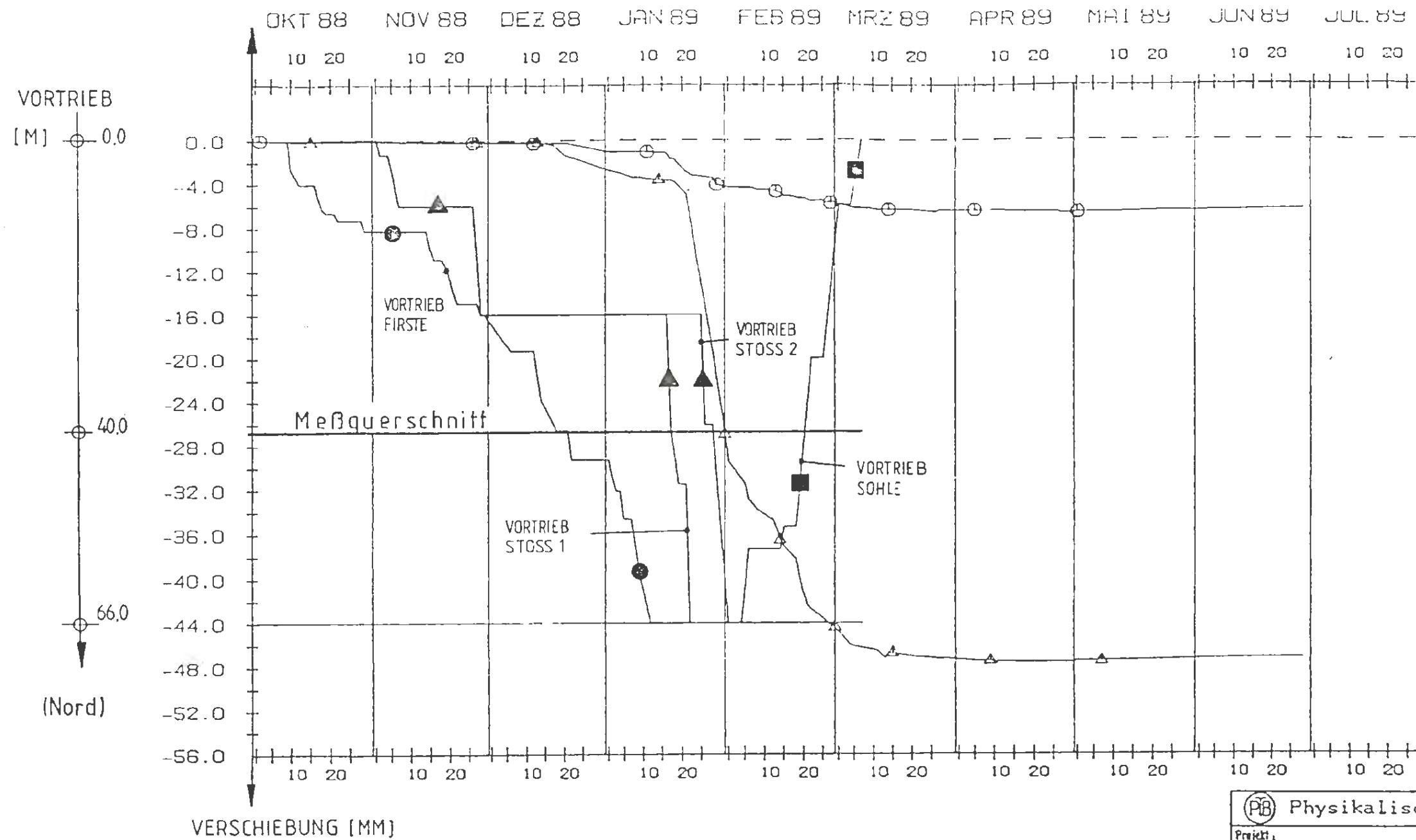
**AUFWEITUNG UND VERFORMUNG ALS FUNKTION DER ZEIT**  
 MESSQUERSCHNITT 532/7      STAND 30.06.1989

**LEGENDE :**

- ⊙ EXTENSOMETERKOPF E 1
- △ EXTENSOMETERKOPF E 6
- FIRSTE
- ▲ STOSS
- SOHLE



(PTB) Physikalisch-Technische Bundesanstalt			
Projekt: <b>Endlager Konrad</b>			
	Datum	Name/Unterschrift	Ersteller und Zeichnungsnummer Fremd
gel.			
bezh.	4.7.89		Anlage 6.5
gepr.	10.7.8		Modell 2
Maßstab			Immerabschlussbauwerk
KF-Nr.			Aufweitung und Verschiebung als Funktion der Zeit
Blatt von Blatt			Meßquerschnitt 532/7
			Extensometer E1 und E6
Klassifizierung: Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor			
Projekt	FSP-Element	Objekt-Keuz.	
9 K	33222.37	5500	
Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe
			GHK
ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD			
Strabag Bau-AG		Sachtleben Bergbau GmbH	

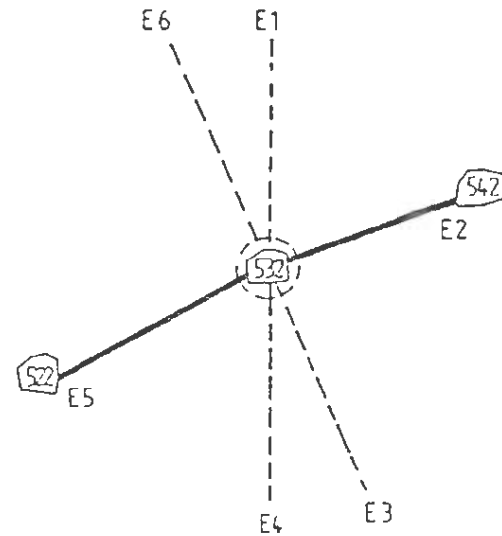


**AUFWEITUNG UND VERFORMUNG ALS FUNKTION DER ZEIT**

MESSQUERSCHNITT 532/6 STAND 30.06.1989

**LEGENDE :**

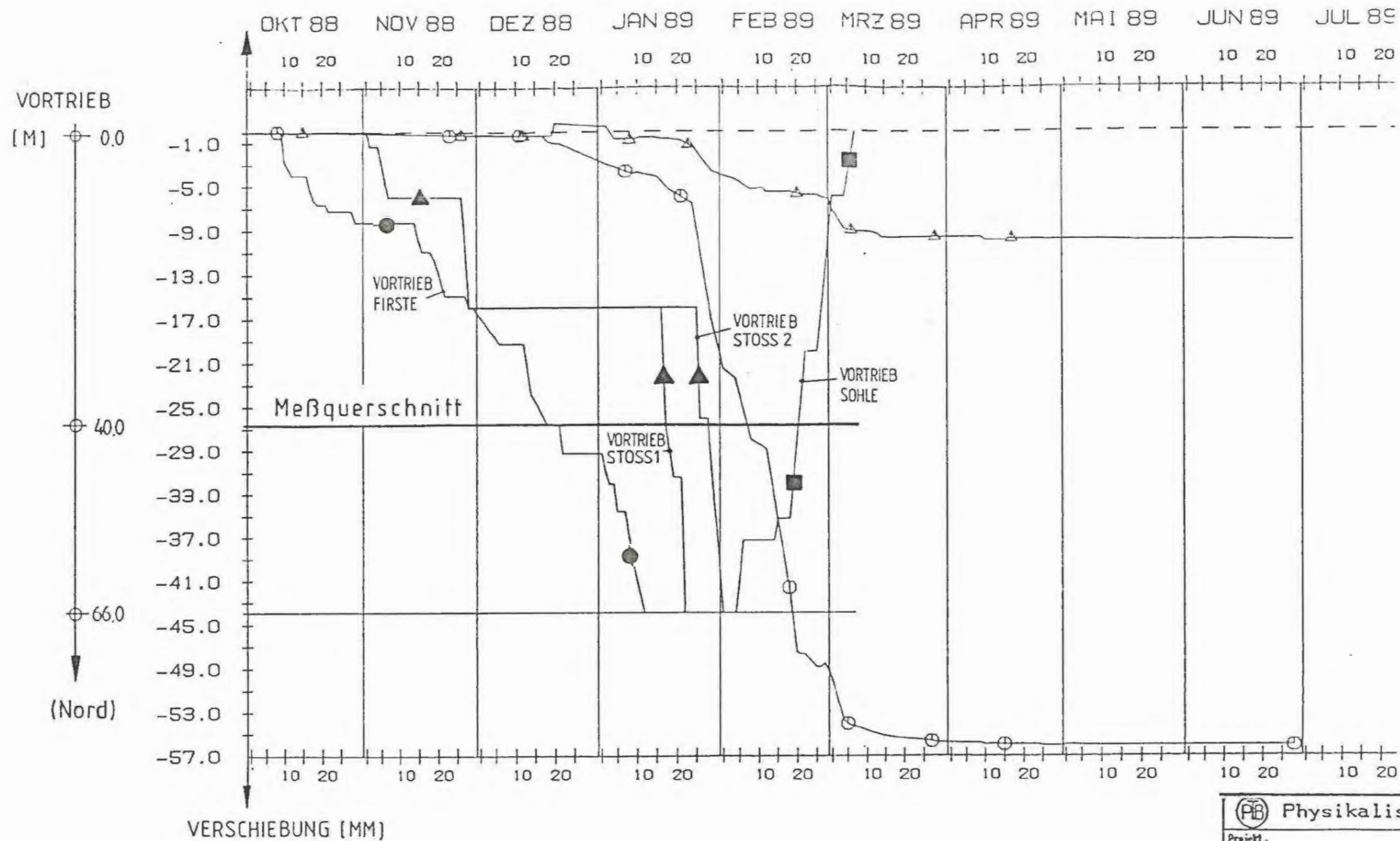
- ⊙ EXTENSOMETERKOPF E2
- △ EXTENSOMETERKOPF E5
- FIRSTE
- ▲ STOSS
- SOHLE



Physikalisch-Technische Bundesanstalt			
Projekt: <b>Endlager Konrad</b>			
sez. bearb. 4.7.89 gepr. 10.7.89 Maßstab	Name/Unterschrift 	Ersteller und Zeichnungsnummer 	Anlage 6.6 Modell 2
Blatt von Blatt		Immerabschlußbauwerk	
Aufweitung und Verschiebung als Funktion der Zeit Meßquerschnitt 532/6 Extensometer E2 und E5		Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor	
Projekt 9 K	PSP-Element 33222.37	Objekt-Nummer 5500	
Familien 	Kennen-ort 	Baugruppe 	Aufgabe GHK
ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD Strabag Bau-AG			
Sachtleben Bergbau GmbH			



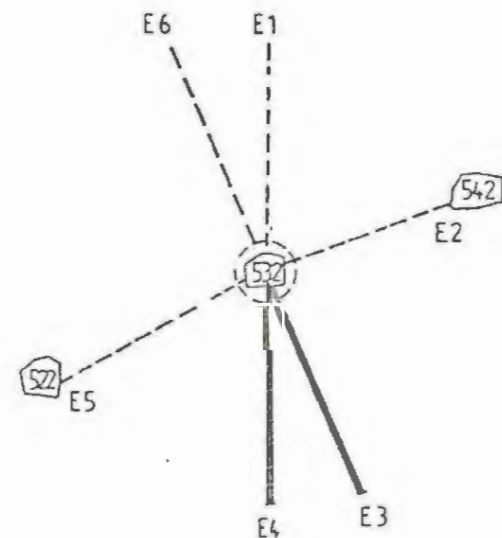




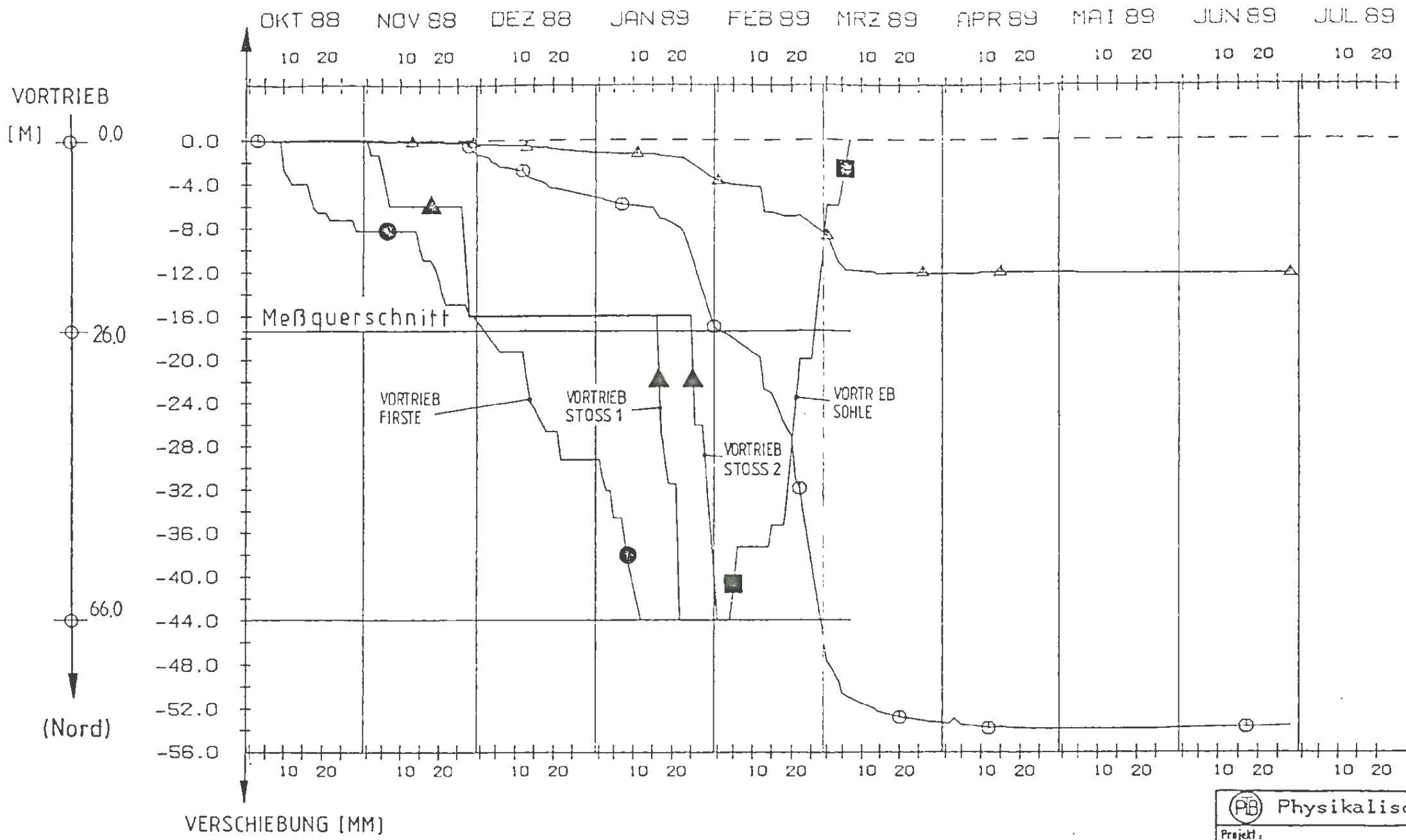
**AUFWEITUNG UND VERFORMUNG ALS FUNKTION DER ZEIT**  
 MESSQUERSCHNITT 532/6 STAND 30.06.1989

**LEGENDE :**

- EXTENSOMETERKOPF E3
- △ EXTENSOMETERKOPF E4
- FIRSTE
- ▲ STOSS
- SOHLE

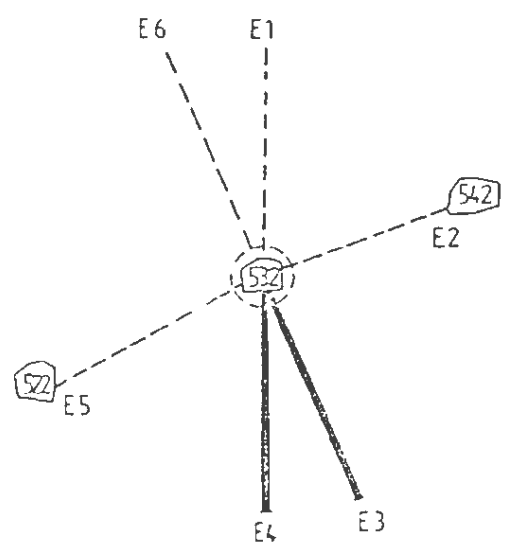


(PB) Physikalisch-Technische Bundesanstalt					
Projekt: <b>Endlager Konrad</b>					
	Datum	Name/Unterschrift	Ersteller und Zeichnungsnummer Fremd		Anlage
gez.					6.8
bezt.	4.7.89				
gepr.	10.7.89				
Maßstab					Modell 2
NF-Nr.			Aufweitung und Verschiebung als Funktion der Zeit		
Blatt von Blatt			Meßquerschnitt 532/6		
			Extensometer E3 und E4		
Klassifizierung: Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor					
Projekt	PSP-Element		Objekt-Kennz.		
9 K	33222.37		5500		
Funktion	Component	Bezugsgruppe	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.
			GHK		
ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD					
Strabag Bau-AG			Sachtleben Bergbau GmbH		



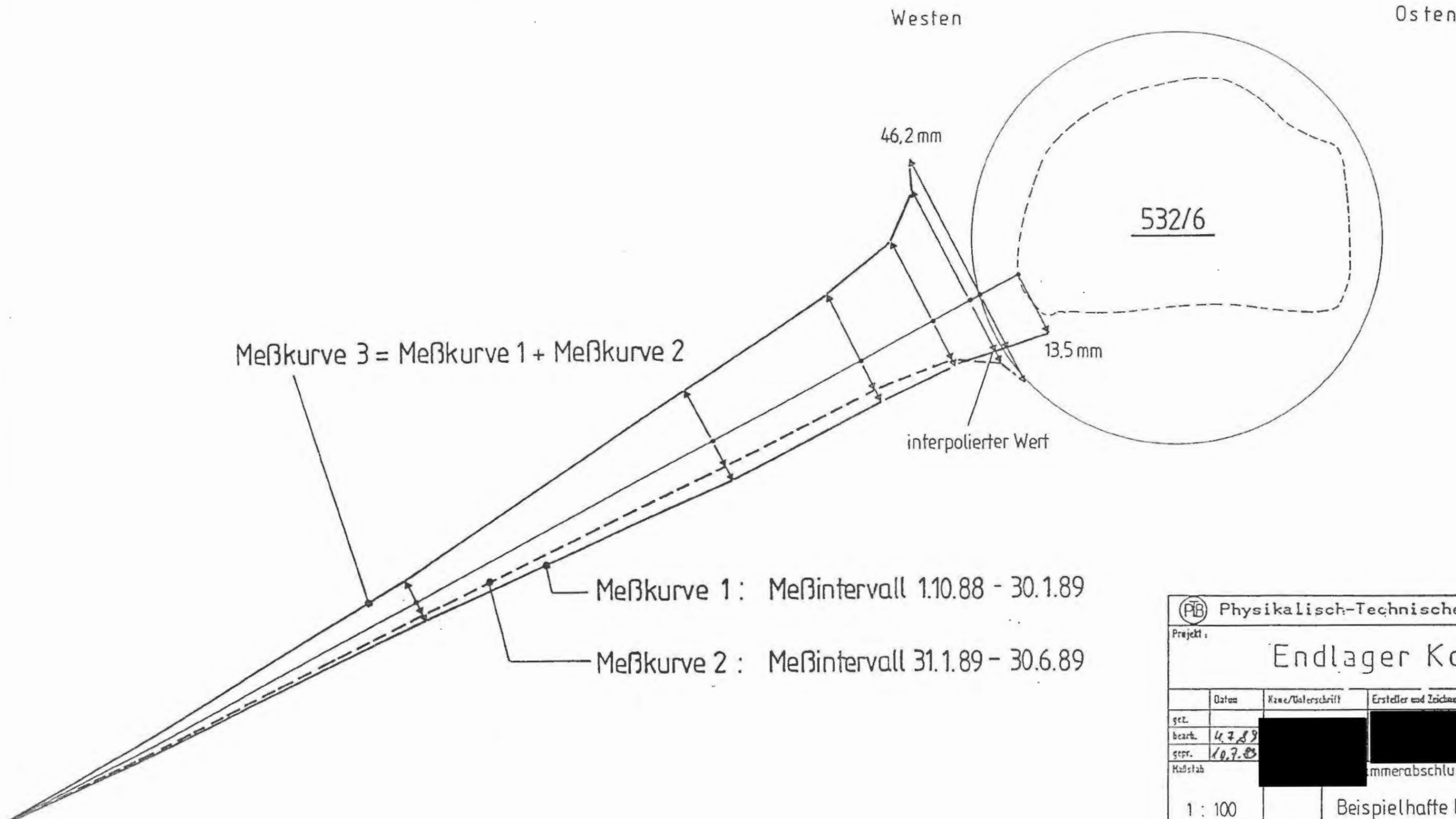
**AUFWEITUNG UND VERFORMUNG ALS FUNKTION DER ZEIT**  
 MESSQUERSCHNITT 532/7 STAND 30.06.1989

- LEGENDE :**
- EXTENSOMETERKOPF E 3
  - △ EXTENSOMETERKOPF E 4
  - FIRSTE
  - ▲ STOSS
  - SOHLE



<b>Physikalisch-Technische Bundesanstalt</b>			
<b>Projekt: Endlager Konrad</b>			
gez.	Name/Unterschrift	Ersteller und Zeichnungsnummer Fremd	
bezb.	4.7.89	[Redacted]	
gepr.	10.9.89		
Maßstab	Kammerabschlußbauwerk Modell 2		
<b>Aufweitung und Verschiebung als Funktion der Zeit</b> <b>Messquerschnitt 532/7</b> <b>Extensometer E3 und E4</b>		<b>Anlage 6.9</b>	
Blatt	von	Blatt	
Klassifizierung: <span style="float: right;">Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor</span>			
Projekt	PSP-Element	Objekt-Code	
9 K	33222.37	5500	
Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe
			GHK
<b>ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD</b> <b>Strabag Bau-AG</b>			
<b>Sachtleben Bergbau GmbH</b>			





Meßkurve 3 = Meßkurve 1 + Meßkurve 2

Meßkurve 1: Meßintervall 1.10.88 - 30.1.89

Meßkurve 2: Meßintervall 31.1.89 - 30.6.89

46,2 mm

13,5 mm

interpolierter Wert

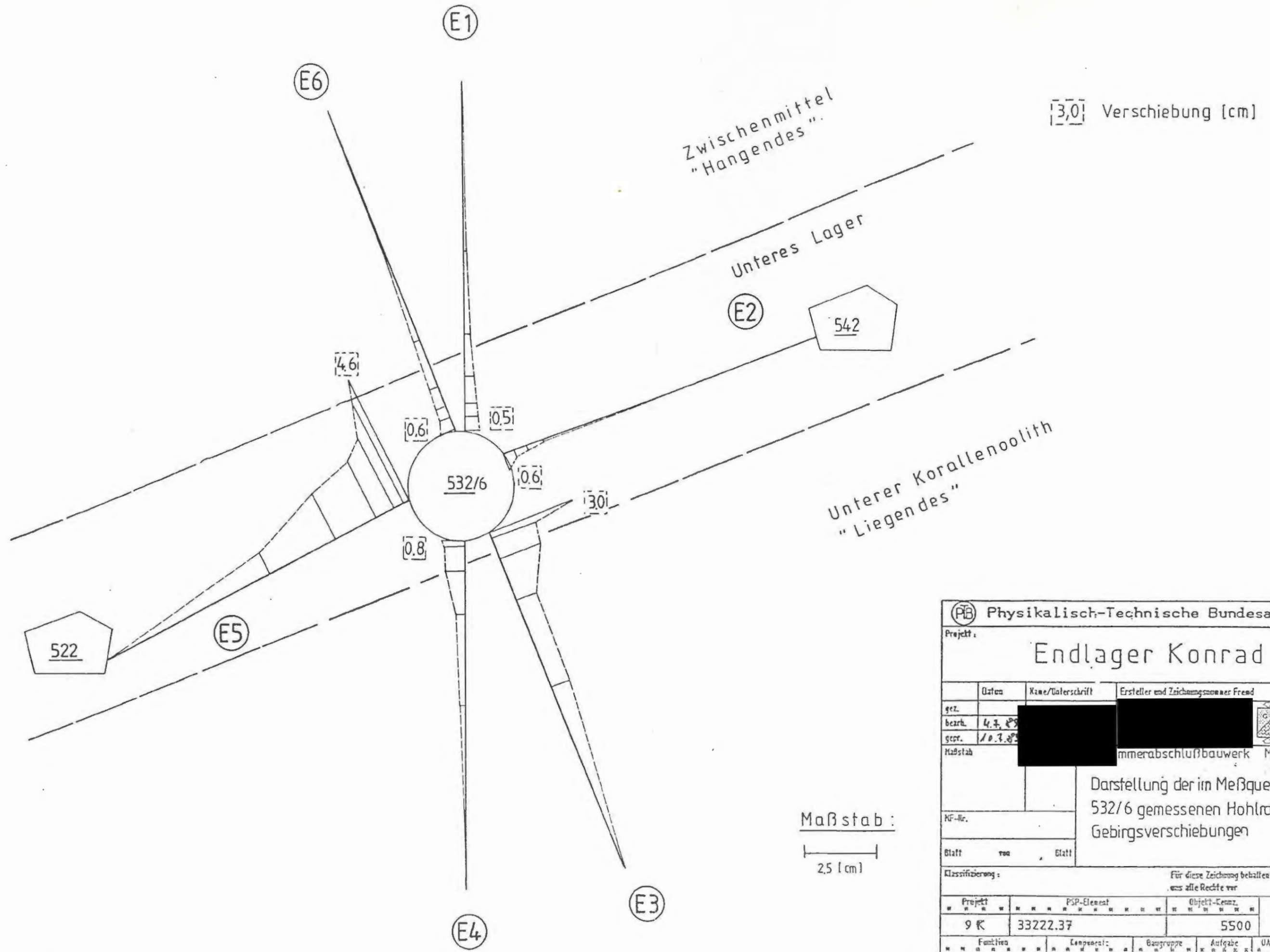
532/6

Westen

Osten

Physikalisch-Technische Bundesanstalt					
Projekt: <b>Endlager Konrad</b>					
Datum		Name/Unterschrift		Ersteller und Zeichnungsnummer Fremd	
gez.					
bearb.	4.7.89				
gepr.	10.7.89				
Maßstab		Kammerabschlußbauwerk		Modell 2	
1 : 100		Beispielhafte Ermittlung der Verschiebungen bei Rückverlegung des Extensometerkopfes			
NF-Nr.					
Blatt	von	Blatt			
Klassifizierung: Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor					
Projekt		PSP-Element		Objekt-Kennz.	
9 K		33222.37		5500	
Funktion		Komponente		Baugruppe	
				Aufgabe	
				UA	
				Lfd.Nr.	
				Per.	
ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD Strabag Bau-AG <span style="float: right;">Sachtleben Bergbau GmbH</span>					





[3,0] Verschiebung [cm]

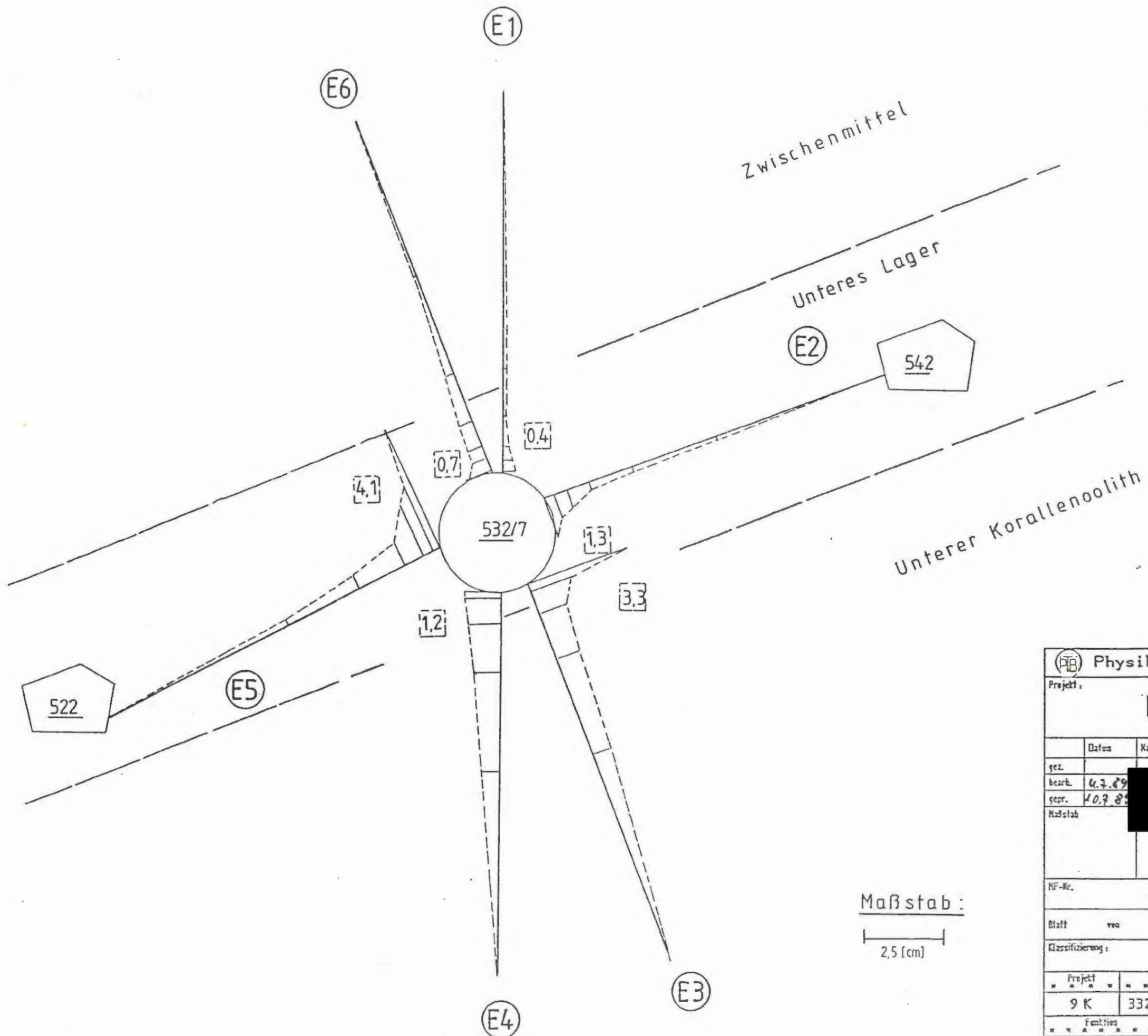
Zwischenmittel  
"Hangendes"

Unteres Lager

Unterer Korallenoolith  
"Liegendes"

Maßstab :  
|-----|  
25 [cm]

(PB) Physikalisch-Technische Bundesanstalt					
Projekt: <span style="float: right;">Endlager Konrad</span>					
	Datum	Name/Unterschrift	Ersteller und Zeichnungsnummer Fremd		
gez.					Anlage
bezt.	4.7.89				6.11
gepr.	10.7.89				
Maßstab			Immerabschlußbauwerk Modell 2		
KF-Nr.			Darstellung der im Meßquerschnitt 532/6 gemessenen Hohlraum- und Gebirgsverschiebungen		
Blatt von Blatt					
Klassifizierung:			Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor		
Projekt	PSP-Element	Objekt-Kennz.			
9 K	33222.37	5500			
Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.
			GHK		
ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD					
Strabag Bau-AG			Sachtloben Bergbau GmbH		

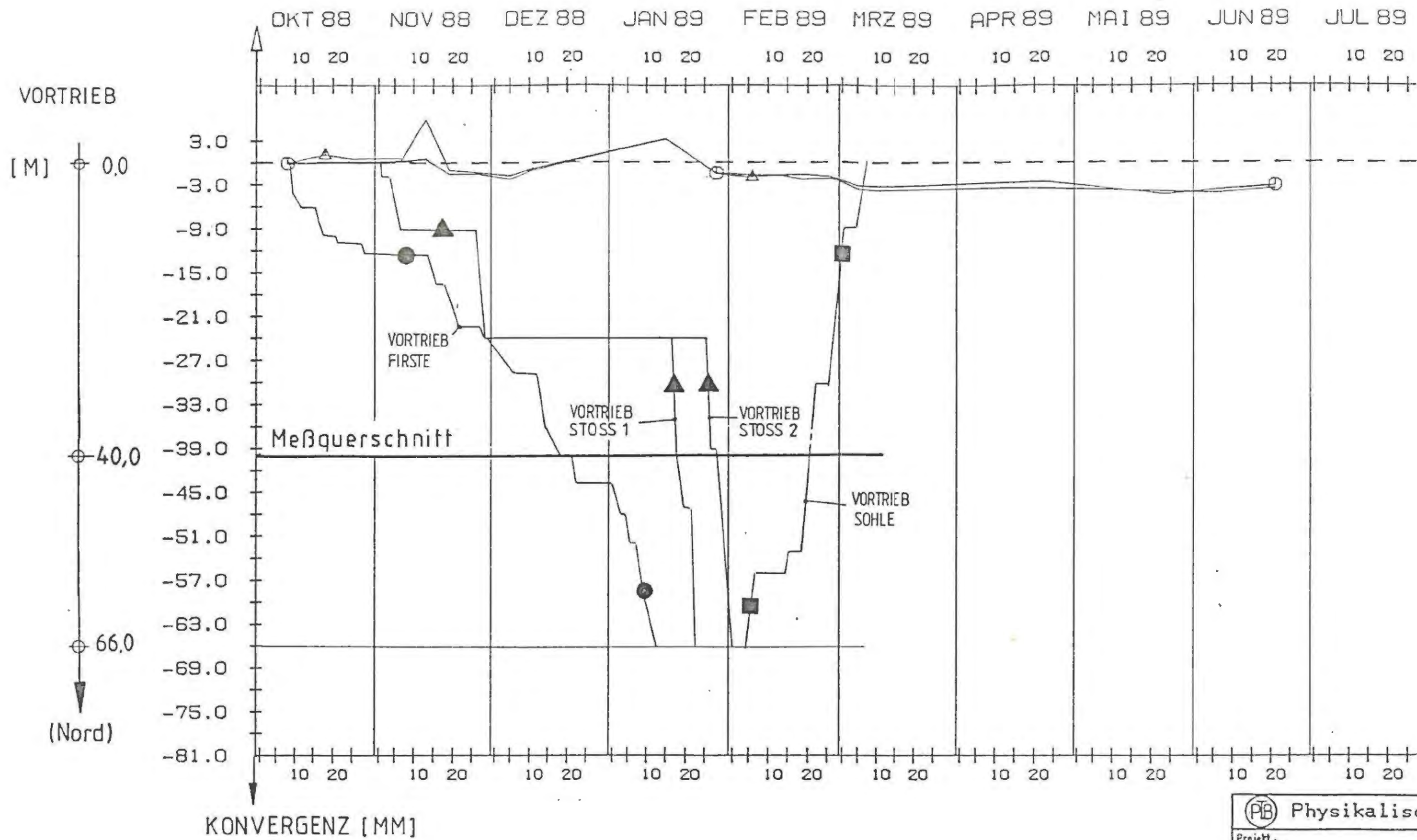


[3,0] Verschiebung [cm]

Maßstab :  
 ┌──────────┐  
 │ 2,5 [cm] │  
 └──────────┘

(PTB) Physikalisch-Technische Bundesanstalt			
Projekt: Endlager Konrad			
	Datum	Name/Unterschrift	Ersteller und Zeichnungsnummer Fremd
gez.			
bezt.	6.7.89		
gepr.	10.7.89		
Maßstab			Kammerabschlußbauwerk Modell 2
NF-Nr.		Darstellung der im Meßquerschnitt 532/7 gemessenen Hohlraum- und Gebirgsverschiebungen	
Blatt von Blatt			
Klassifizierung:		Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor	
Projekt	PSP-Element	Objekt-Kennz.	
9 K	33222.37	5500	
Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe
			GHK
ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD			
Strabag Bau-AG		Sachtleben Bergbau GmbH	



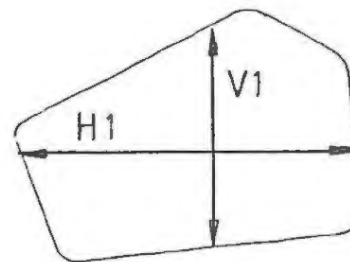


### KONVERGENZ ALS FUNKTION DER ZEIT

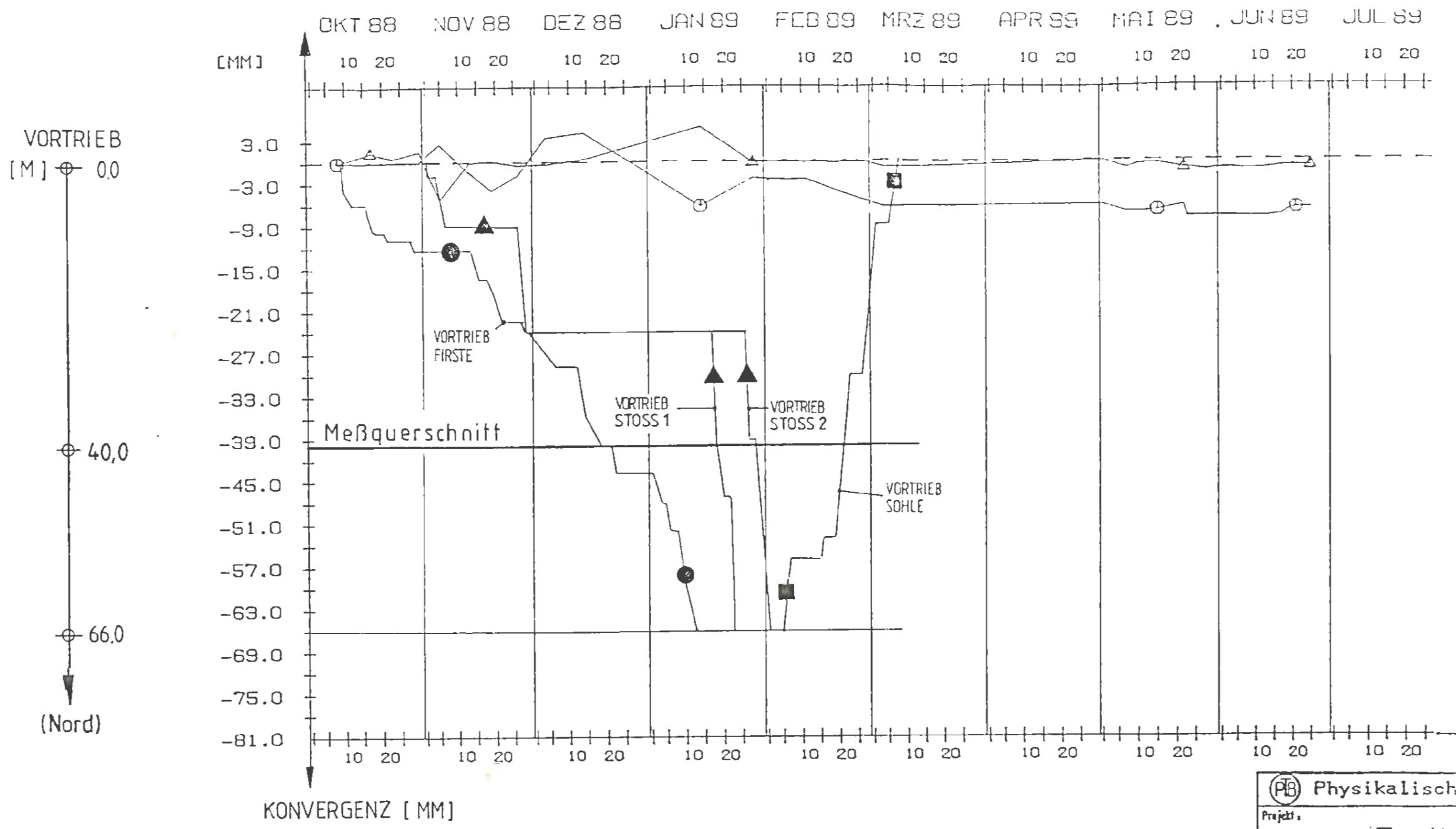
MESSQUERSCHNITT 542/6 STAND 30.06.1989

#### LEGENDE :

- ⊙ VERTIKALE KONVERGENZMESSSTRECKE
- △ HORIZONTALE KONVERGENZMESSSTRECKE
- FIRSTE
- ▲ STOSS
- SOHLE

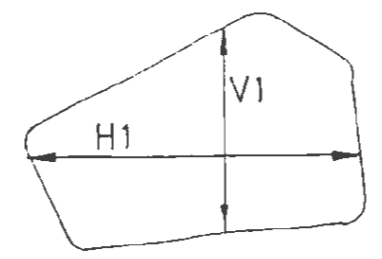


Physikalisch-Technische Bundesanstalt			
Projekt: <b>Endlager Konrad</b>			
gez.	Datum	Name/Unterschrift	Ersteller und Zeichnungsnummer Fremd
bearb. 4.9.89			
gepr. 10.7.89			
Maßstab		Kammerabschlußbauwerk Modell 2	
		Konvergenz als Funktion der Zeit Meßquerschnitt 542/6	
Blatt		von	Blatt
Kl.-Nr.		Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor	
Klassifizierung:			
Projekt	PSP-Element	Objekt-Kennz.	
9 K	33222.37	5500	
Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe
			GHK
ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD Strabag Bau-AG <span style="float: right;">Sachtleben Bergbau GmbH</span>			



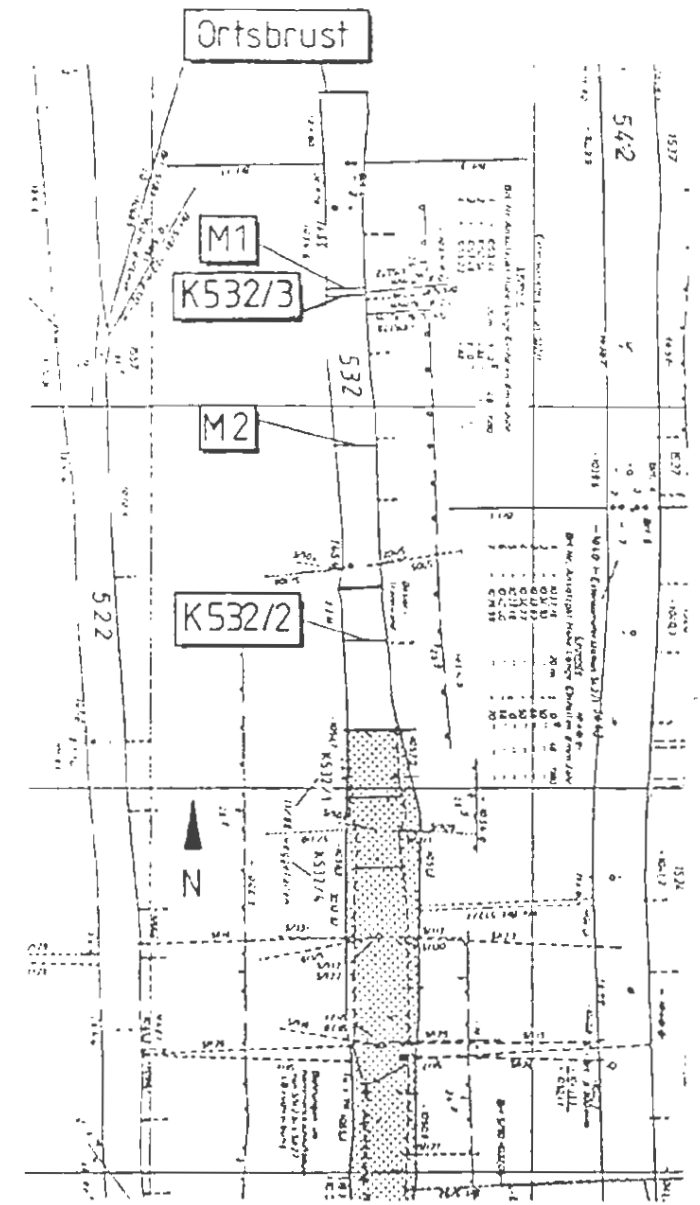
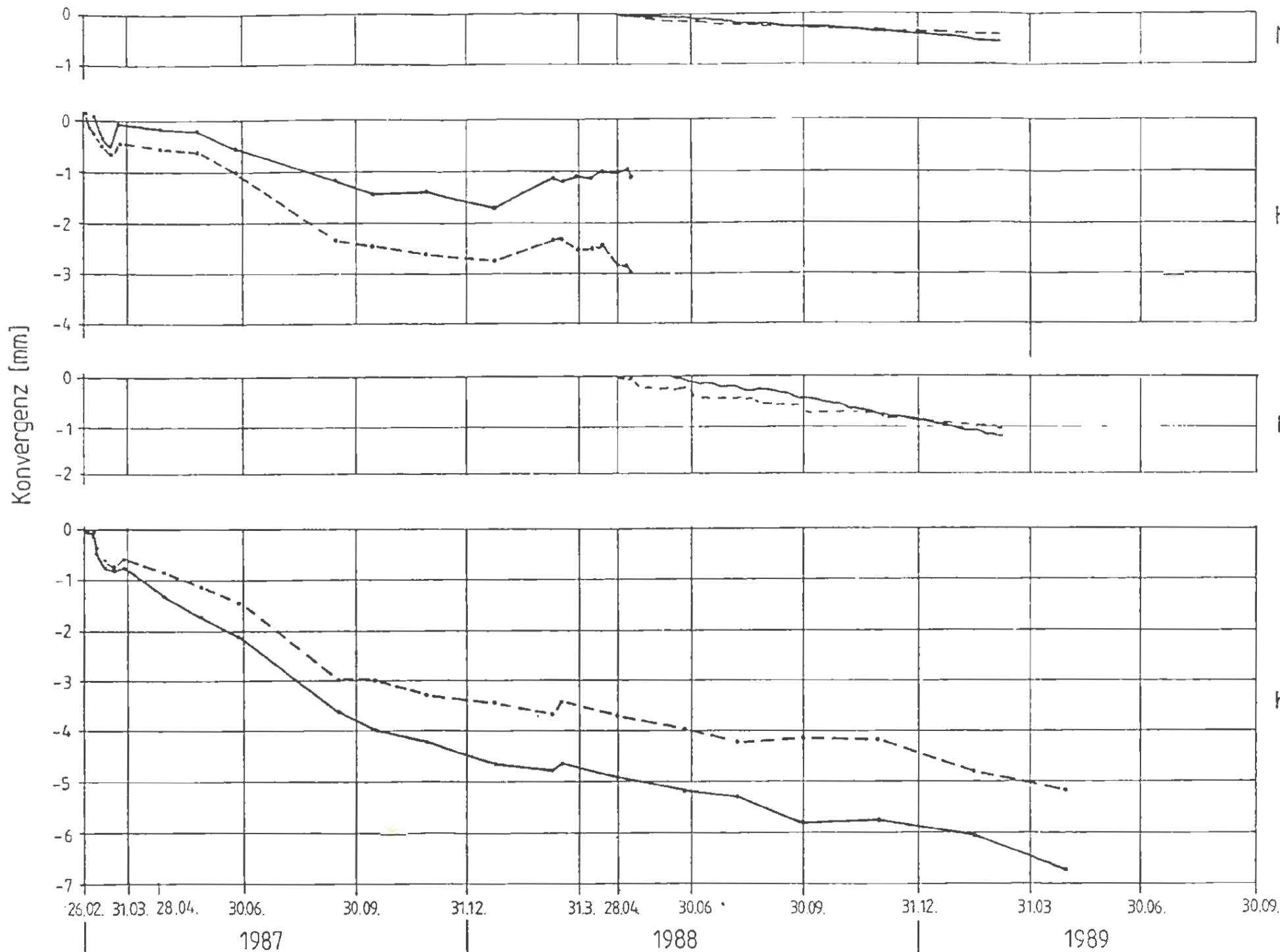
**KONVERGENZ ALS FUNKTION DER ZEIT**  
 MESSQUERSCHNITT 522/6      STAND 30.06.1989

- LEGENDE :**
- ⊙ VERTIKALE KONVERGENZMESSSTRECKE
  - △ HORIZONTALE KONVERGENZMESSSTRECKE
  - FIRSTE
  - ▲ STOSS
  - SOHLE



(PTB) Physikalisch-Technische Bundesanstalt			
Projekt: <b>Endlager Konrad</b>			
gez.	Name/Unterschrift	Ersteller und Zeichner	Anlage
bezb.	4.7.89		6.14
gepr.	10.7.89		
Maßstab	immerabschlußbauwerk		Modell 2
Konvergenz als Funktion der Zeit			
Meßquerschnitt 522/6			
Kf.-Nr.			
Blatt	von	Blatt	
Klassifizierung: <span style="float: right;">Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor</span>			
Projekt	PSP-Element	Objekt-Keuz	
9 K	33222.37	5500	
Funktion	Komponent	Baugruppe	Aufgabe
			GHK
ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD			
Strabag Bau-AG		Sachtloben Bergbau GmbH	





Physikalisch-Technische Bundesanstalt

Projekt: **Endlager Konrad**

gezeichnet	Datum	Name/Unterschrift	Ersteller und Zeichnungsnummer	Anlage <b>6.15</b> Modell 2
bezeichnet	4.9.88	[Redacted]	[Redacted]	
gezeichnet	10.7.88	[Redacted]	[Redacted]	
Konstrukt				

Meßergebnisse von Konvergenz-  
messungen nördlich der  
Aufweitungsstrecke [30]

KF-Nr. \_\_\_\_\_

Blatt von Blatt

Classifizierung: \_\_\_\_\_

Projekt: 9 K 33222.37      Objekt-Konz.: 5500

ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD  
Strabag Bau-AG      Sachtleben Bergbau GmbH

Einbau der manuellen Konvergenz-  
meßstation K532/4

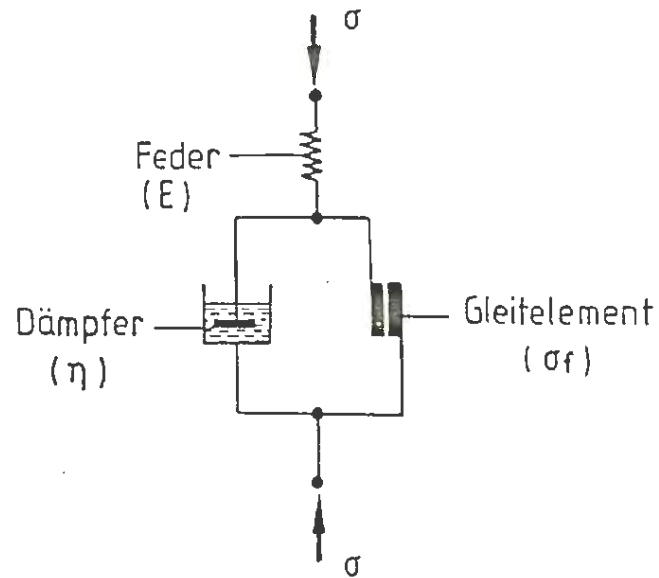
Einbau der manuellen Konvergenz-  
meßstation K532/1 bis K532/3

Einbau der Dosiertrennwand  
Nullmessungen an M1, M2

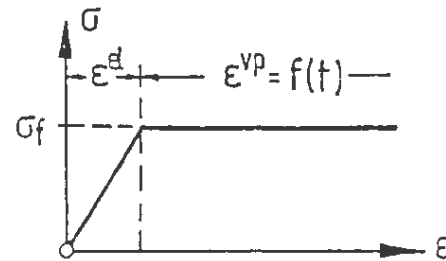
Erweiterung im KAB-Bereich

----- vertikale Konvergenz  
———— horizontale Konvergenz

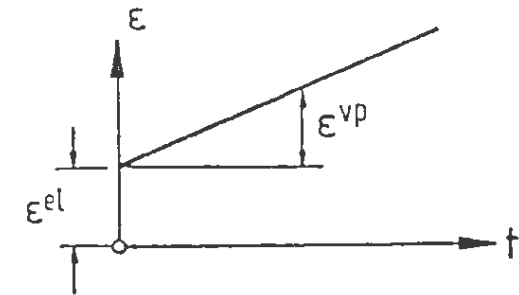
Rheologisches Modell



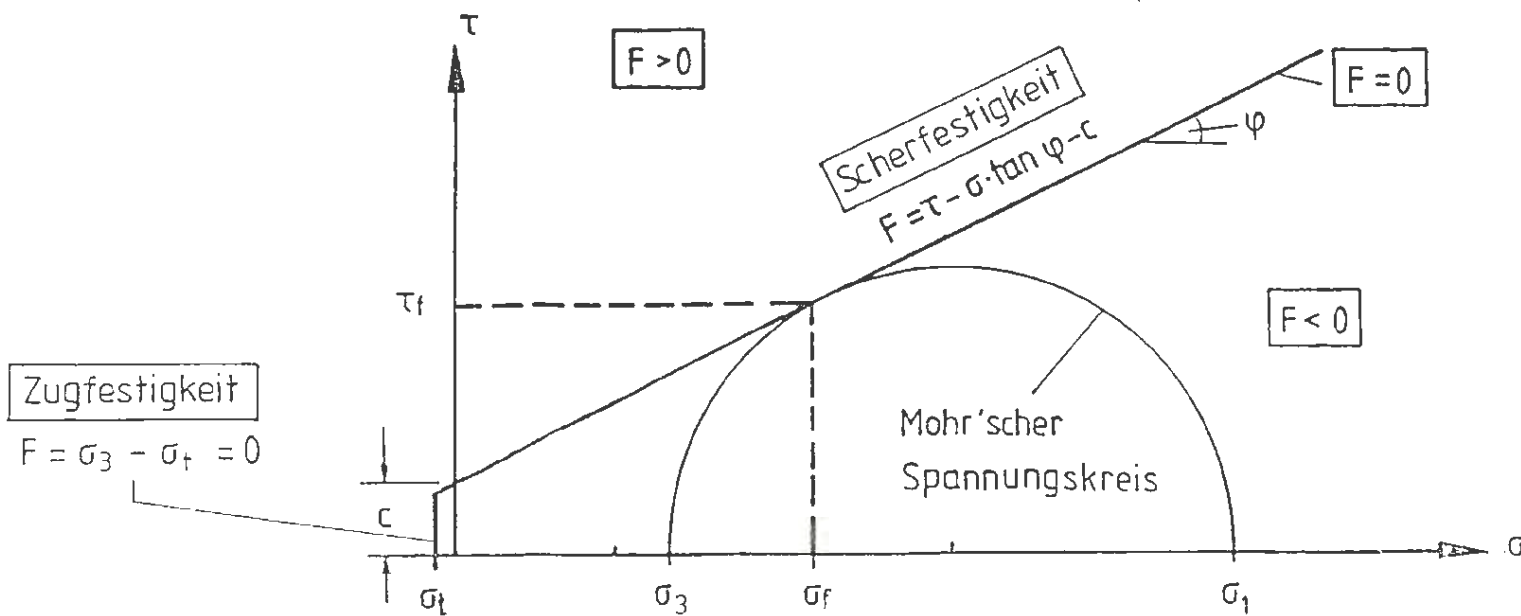
Spannungs-Dehnungs-  
beziehung



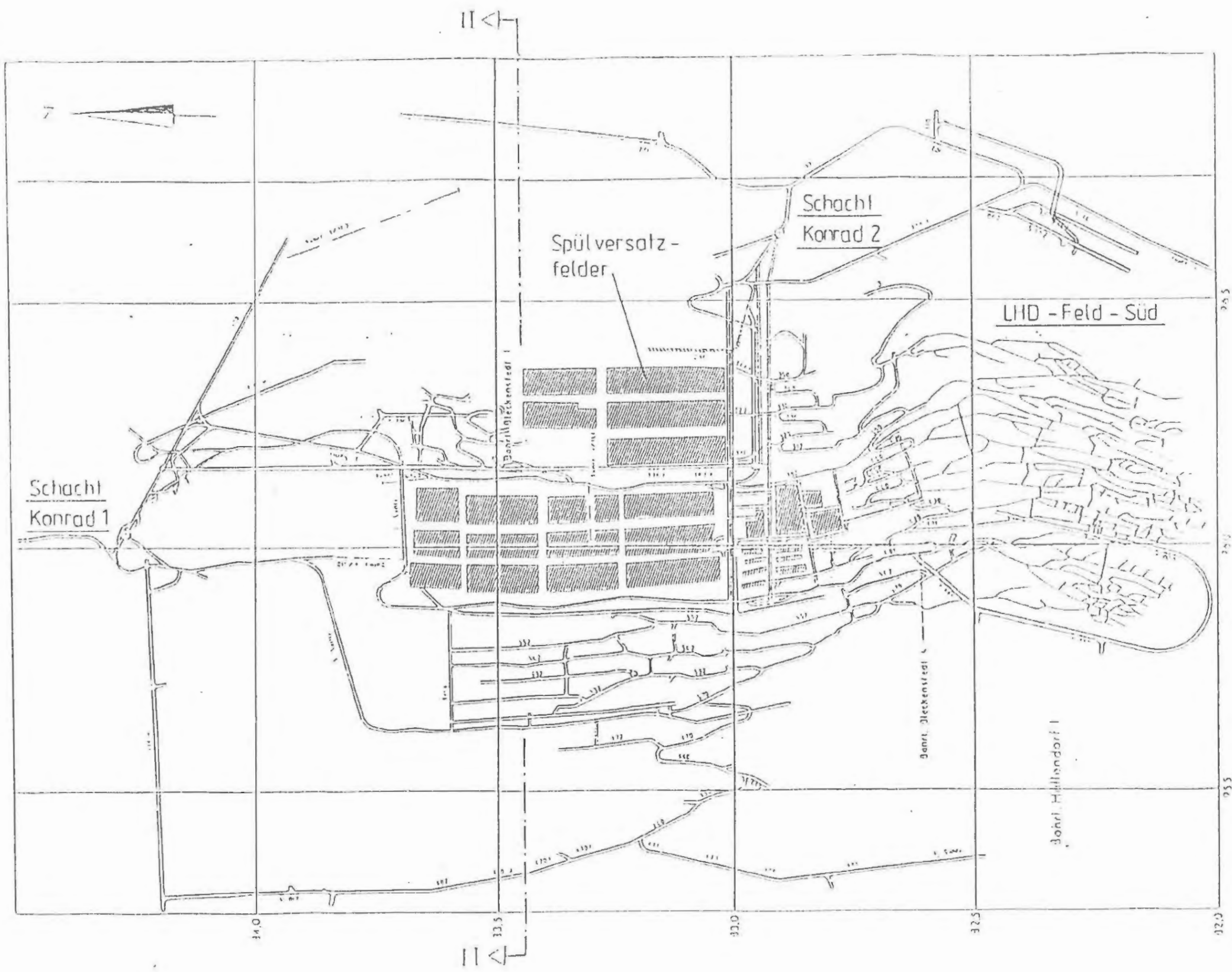
Dehnungs-Zeit-  
beziehung



Bruchkriterium für Schub- / Zugbruch



Physikalisch-Technische Bundesanstalt					
Projekt: <b>Endlager Konrad</b>					
	Datum	Name/Unterschrift	Ersteller und Zeichnungsnummer Freund		
gez.					Anlage
bezh.	7.9.89				7.1
gepr.	11.7.8				
Maßstab	immerabschnittsbauwerk Modell 2				
	Elastisch-viskoplastisches Modell für das Spannungs-dehnungsverhalten des Gebirges				
KF-Nr.					
Blatt	von	Blatt			
Klassifizierung: <span style="float: right;">Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor</span>					
Projekt	PSP-Element		Objekt-Keuz.		
9 K	33222.37		5500		
Festl.	Kategorie	Bezugsgr.	Artg.	UA	Lfd.Nr.
GRK					
ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD Strabag Bau-AG <span style="float: right;">Sachtloben Bergbau GmbH</span>					

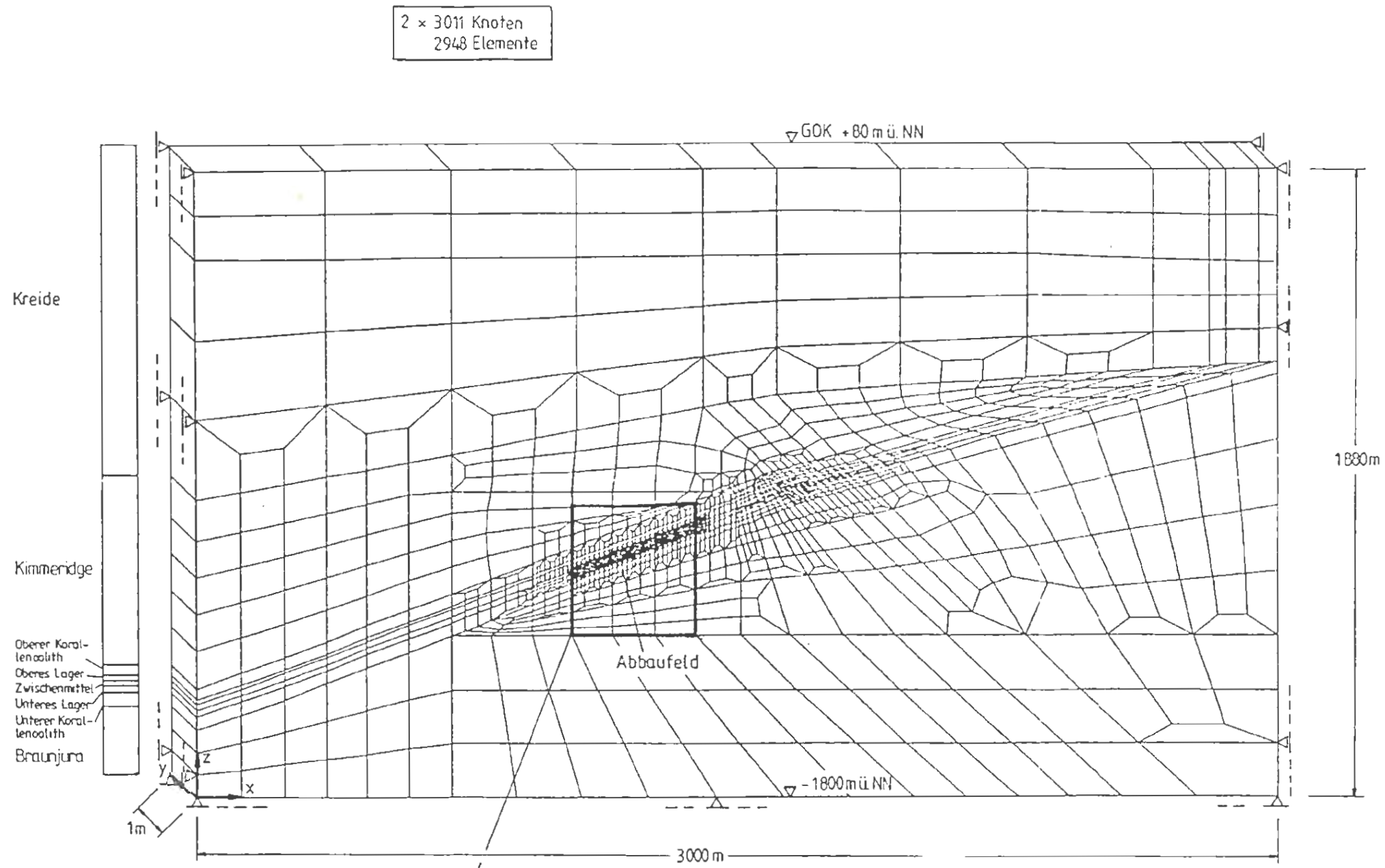


Übersichtsriß der Schachanlage Konrad

nach Grubenbild der Schachanlage Konrad

Physikalisch-Technische Bundesanstalt			
Projekt: <b>Endlager Konrad</b>			
Datum: bearb. 3.7.87 gepr. 14.7.87 Maßstab:	Name/Unterschrift: 	Ersteller und Zeichnungsnummer: 	Anlage <b>7.2</b>
Maßstab: <b>1:1000</b>			
Projekt: <b>Übersichtsriß der Schachanlage Konrad und Lage des Berechnungsschnittes II - II</b>			
ME-Nr.: Blatt: Blatt:			
Klassifizierung: Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor			
Projekt: <b>9 K</b>	PTP-Nr.: <b>33222.37</b>	Objekt-Nr.: <b>5500</b>	
Funktion:	Verantwortl.:	Baugruppe:	Aufgabe: <b>GHK</b>
ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD Strabag Bau-AG <span style="float: right;">Sachtloben Bergbau GmbH</span>			





2 x 3011 Knoten  
2948 Elemente

▽ GOK +80 m ü. NN

1800m

Abbaufeld

▽ -1800 m ü. NN

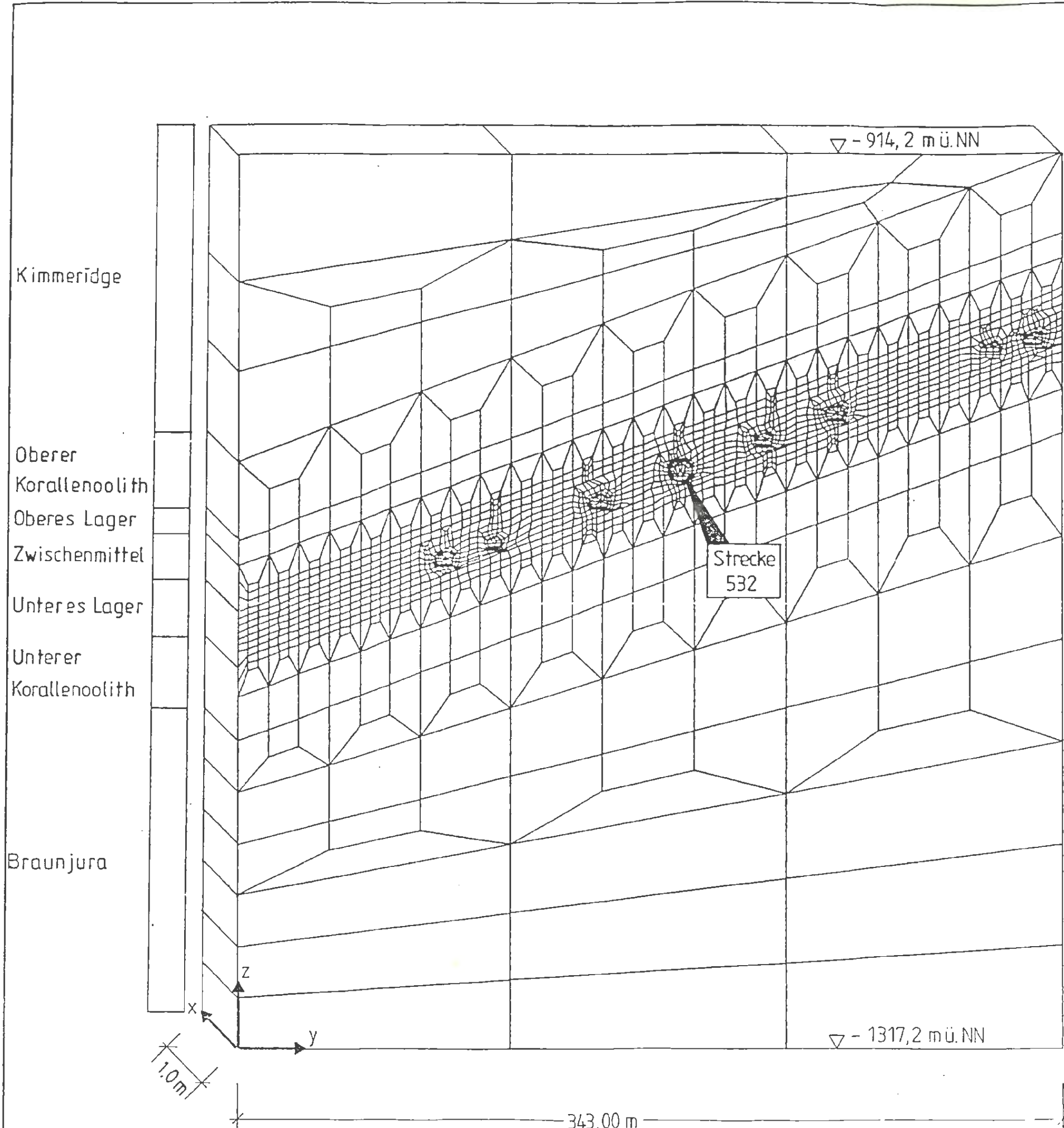
3000 m

1m

Detailausschnitt s. Anlage 7.4

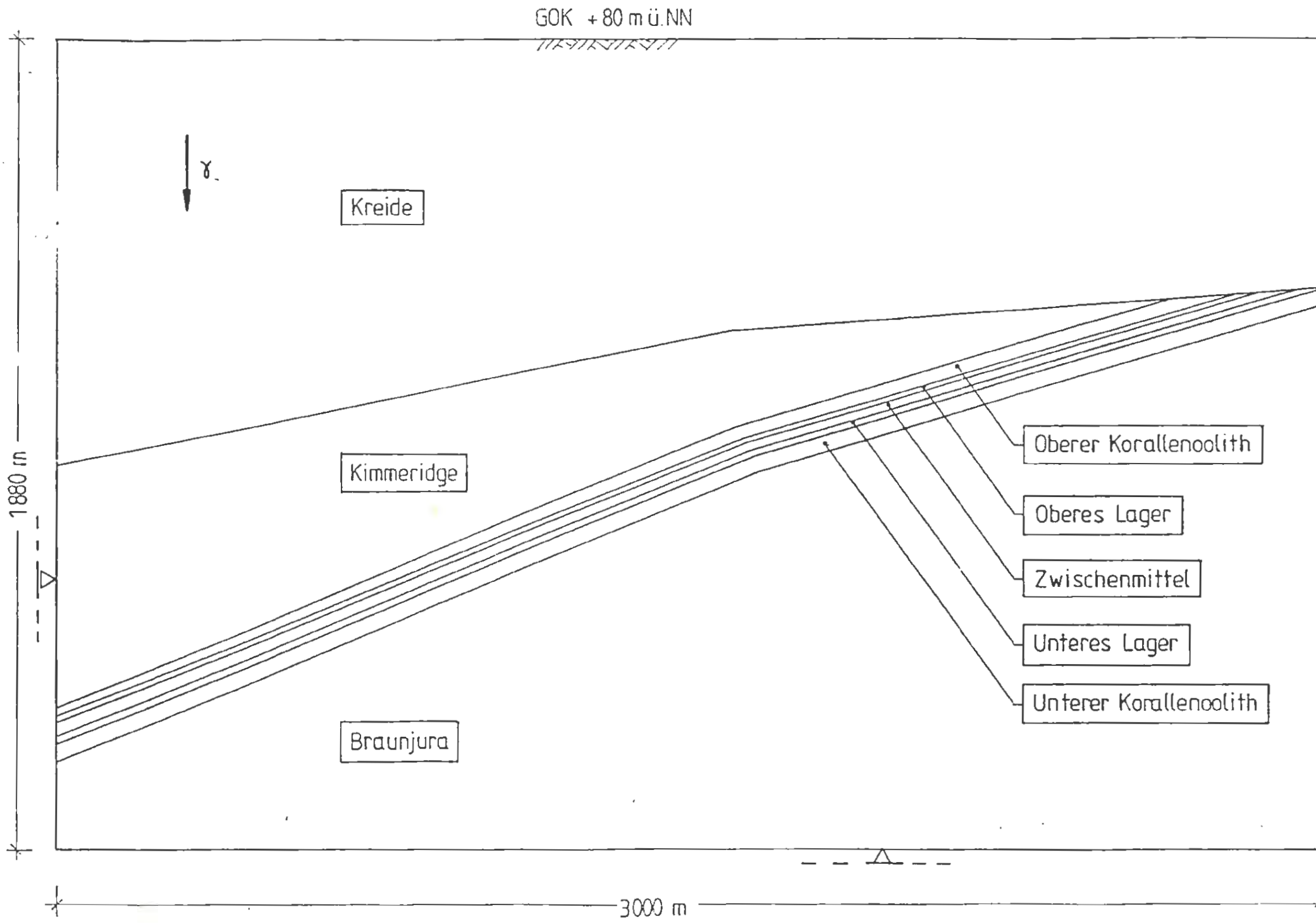
Projekt: <b>Endlager Konrad</b>			
getz. bezt. gepr.	Datum <b>9.7.89</b> <b>11.7.89</b>	Name/Unterschrift 	Ersteller und Zeichnungsnummer 
Maßstab		1:100000	
Blatt		Blatt	
Projekt-Objekt		Anlage 7.3	
Klassifizierung:		Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor	
Projekt	PSP-Element	Objekt-Kennz.	
9 K	33222.37	5500	
Funktion	Kompartite	Baugruppe	Aufgabe
			GHK
ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD			
Strabag Bau-AG		Saichtloben Bergbau GmbH	



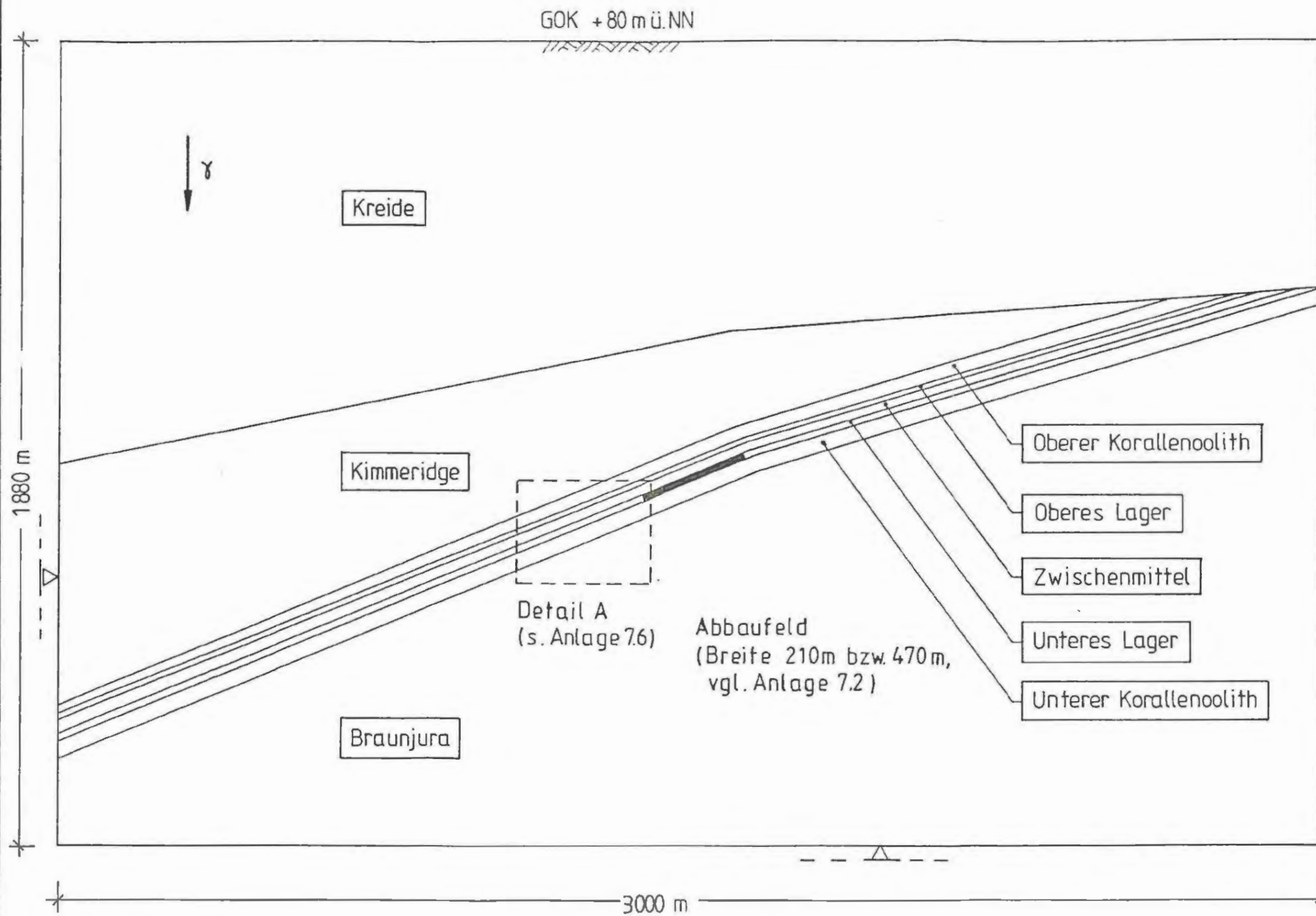


403,00 m

Physikalisch-Technische Bundesanstalt			
Projekt: <b>Endlager Konrad</b>			
Datum	Name/Unterschrift	Ersteller und Zeichnungsnummer	
gez.			Anlage
beark. 9.7.89			7.4
gepr. 11.7.89			
Maßstab		Kammerabschlussbauwerk Modell 2	
		FE - Detailnetz aus dem in Anlage 7.3 dargestellten Berechnungsausschnitt	
KF-Nr.			
Blatt	von	Blatt	
Klassifizierung:		Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor	
Projekt	PSP-Element	Objekt-Kennz.	
9 K	33222.37	5500	
Funktion	Inspizierende	Bezugsgabe	Aufgabe
			GHK
ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD Strabag Bau-AG <span style="float: right;">Sachtloben Bergbau GmbH</span>			

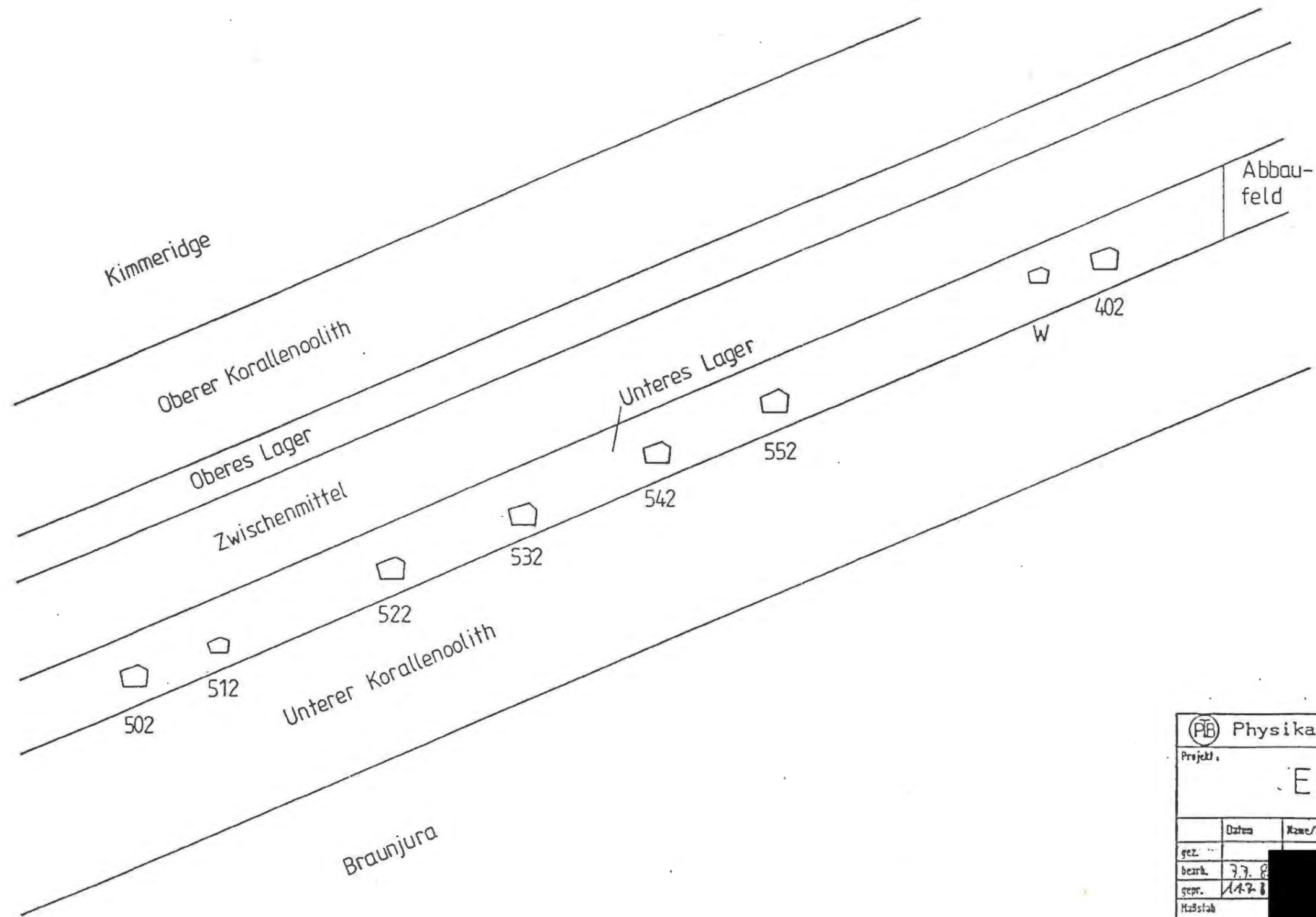


Physikalisch-Technische Bundesanstalt					
Projekt: <span style="font-size: 1.5em;">Endlager Konrad</span>					
	Datum	Name/Unterschrift	Ersteller und Zeichnungsraum oder Fremd		
gez.					Anlage <span style="font-size: 1.5em;">7.5</span>
bezh.	7.9.89				
proj.	14.7.89				
Maßstab: <span style="font-size: 1.2em;">1:1000</span> <span style="float: right;">Kammerabschlussbauwerk Modell 2</span>					
<span style="font-size: 1.2em;">1. Rechenschritt</span> <span style="font-size: 1.2em;">Eigengewicht des Gebirges</span>					
Blatt: <span style="font-size: 1.2em;">von</span> Blatt					
Klassifizierung: <span style="float: right;">Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor.</span>					
Projekt	PSP-Element	Objekt-Keuz.			
9 K	33222.37	5500			
Familie	Kategorie	Gruppe	Anlage	UA	Lizenz
			GHK		
ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD Straßberg Bau-AG <span style="float: right;">Sachtleben Bergbau GmbH</span>					



<b>PTB</b> Physikalisch-Technische Bundesanstalt			
Projekt: <b>Endlager Konrad</b>			
gez.	Name/Unterschrift	Ersteller und Zeichnungsnummer	
bearb.			Anlage <b>7.6</b>
gepr.			
Maßstab		Stimmerboschen/Bauwerk	Modell 2
		2. Rechenschritt Ausbruch und Versatz des Abbaufeldes	
Blatt	von	Blatt	
Klassifizierung: <span style="float: right;">Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor</span>			
Projekt	PSP-Element	Objekt-Kennz.	
9 K	33222.37	5500	
Funktion	Komponente	Bagruppe	Aufgabe
			GHK

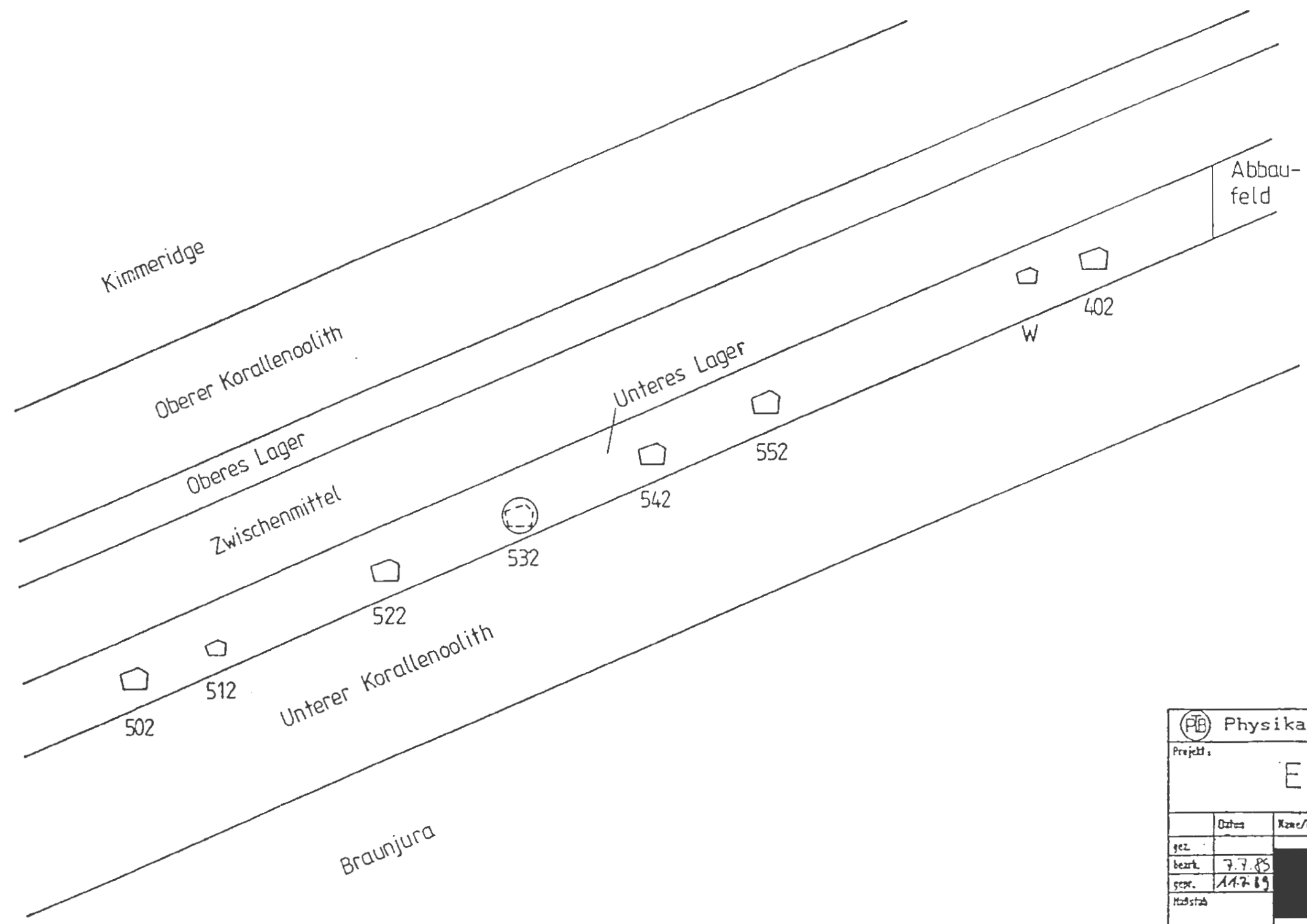




Detail A aus dem Berechnungsausschnitt (s. Anlage 7.5)

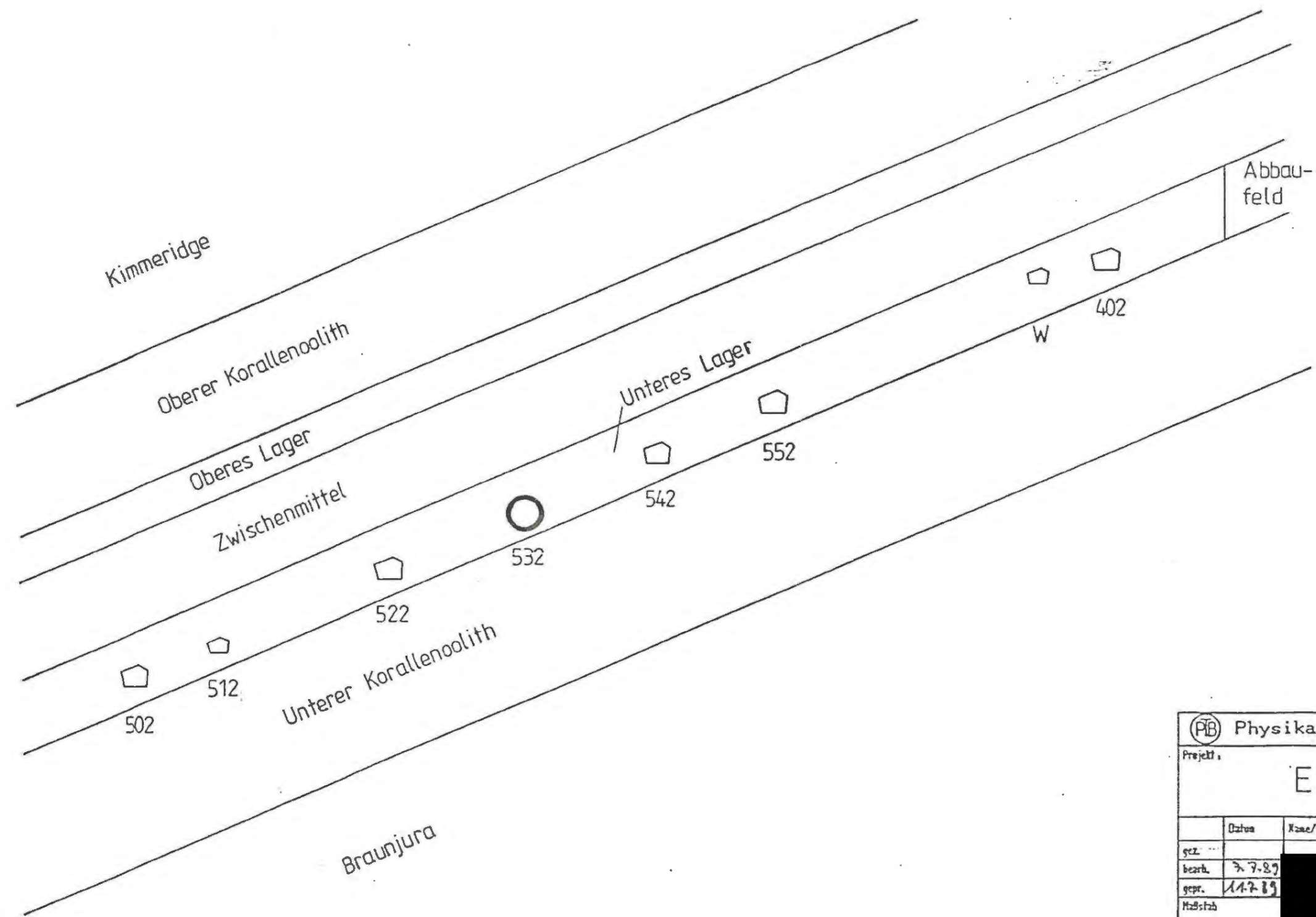
Physikalisch-Technische Bundesanstalt						
Projekt: Endlager Konrad						
	Datum	Name/Unterschrift	Ersteller und Zeichnungsautor Fred			
gez.						Anlage
bezh.	7.7.8					7.7
gepr.	14.7.8					
Maßstab	Kammerabschlußbauwerk Modell 2					
	3. Rechenschritt					
	Ausbruch der Strecken 502 - 402					
	im Konradprofil					
NF-Nr.						
Statt	von					Statt
Klassifizierung: <span style="float: right;">Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor</span>						
Projekt	PSP-Element		Objekt-Kennz.			
9 K	33222.37		5500			
Funktion	Komponente	Bezugsgruppe	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.	Rev.
			GHK			
ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD						
Strabag Bau-AG			Sachtleben Bergbau GmbH			





Detail A aus dem Berechnungsausschnitt (s. Anlage 7.5)


Physikalisch-Technische Bundesanstalt						
Projekt: <b>Endlager Konrad</b>						
	Datum	Name/Unterschrift	Ersteller und Zeichnungsnummer			
gez.			[Redacted]			Anlage
bezt.	7.7.85		[Redacted]			7.8
gepr.	11.7.85		[Redacted]			
Maßstab			Kimmerabschlußbauwerk Modell 2			
			4. Rechenschritt			
			Aufweitung der Strecke 532 auf Kreisquerschnitt ohne Berücksichtigung der Sicherung			
KF-Nr.						
Blatt	von	Blatt				
Klassifizierung:			Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor			
Projekt	PSP-Element	Objekt-Code				
9 K	33222.37	5500				
Funktion	Resonanz	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.	Rev.
			GHK			
ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD Strabeg Bau-AG <span style="float: right;">Sachtleben Bergbau GmbH</span>						

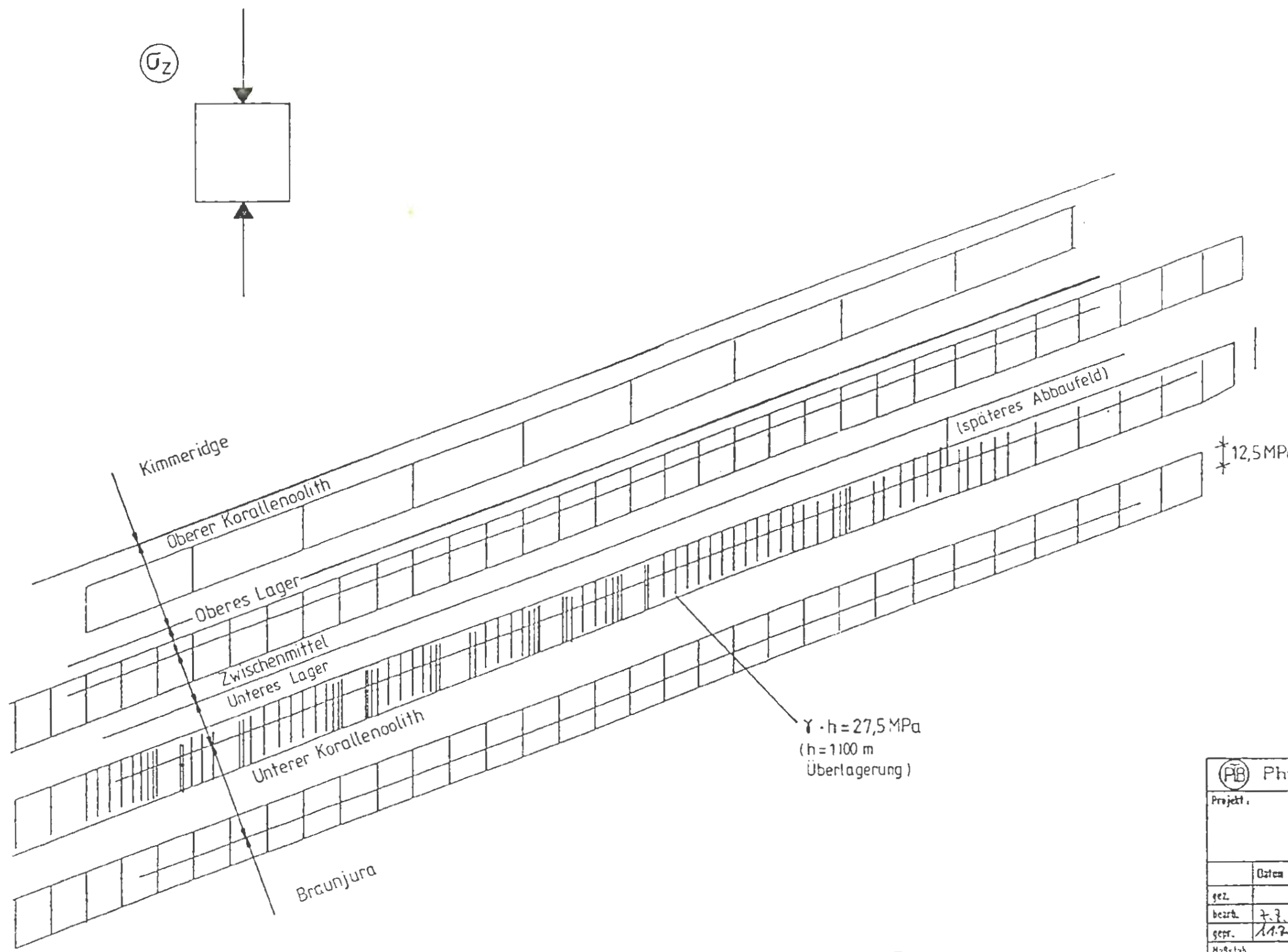


Detail A aus dem Berechnungsausschnitt (s. Anlage 7.5)

Physikalisch-Technische Bundesanstalt			
Projekt: <b>Endlager Konrad</b>			
	Datum	Name/Unterschrift	Ersteller und Zeichnungsnummer
gez.			Anlage
bearb.	7.7.89		7.9
gepr.	11.7.89		
Maßstab			Kimmerabschlußbauwerk Modell 2 5. Rechenschritt Einbau der Spritzbetonschale in Strecke 532
KF-Nr.			
Blatt	von	Blatt	
Klassifizierung:		Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor	
Projekt	PSP-Element	Objekt-Kez.	
9 K	33222.37	5500	
Funktion	Komponente	Gruppe	Angabe
			GHK
ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD Strabag Bau-AG			
Sachtleben Bergbau GmbH			

Schicht	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	E [MPa]	$\nu$ [ - ]	c [MPa]	$\varphi$ [ ° ]	$\sigma_t$ [MPa]
Kreide	25	2000	0,35	- elastisch -		
Kimmeridge	25	6000	0,3	6,0	25	0
Oberer Korallenoolith	25	2000	0,35	3,3	20	0
Oberes Lager	25	6000	0,3	6,0	25	0
Zwischenmittel	25	2000	0,35	3,3	20	0
Unteres Lager	25	6000	0,3	6,0	25	0
Unterer Korallenoolith	25	2000	0,35	3,3	20	0
Braunjura	25	2000	0,35	- elastisch -		
Abbaufeld d (b = 210 m)	20	100	0,33	- elastisch -		

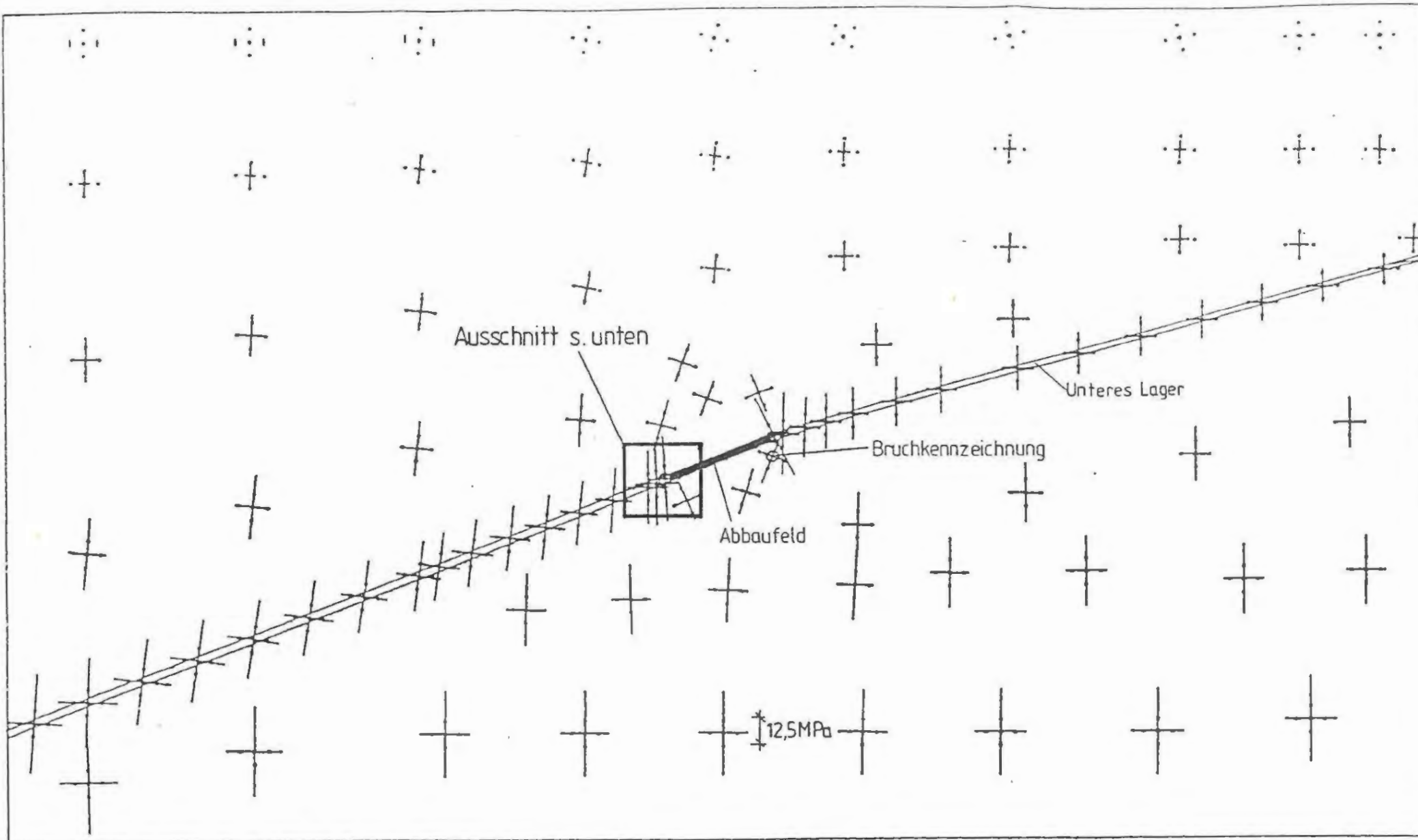
 Physikalisch-Technische Bundesanstalt						
Projekt						
Endlager Konrad						
	Datum	Name/Unterschrift	Ersteller und Zeichnungsnummer Fremd			
gez.						Anlage
bezt.	23.8					7.10
gepr.	14.7.8					
Maßstab			Stimmerbüchsenbauwerk			Modell 2
			Referenzfall G4 Zusammenstellung der felsmechanischen Kennwerte			
Blatt	von	Blatt				
Klassifizierung: <span style="float: right;">Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor</span>						
Projekt	PSP-Element		Objekt-Keuz.			
9 K	33222.37		5500			
Funktion	Komponente	Gruppe	Aufgabe	UA	Licht.	Rev.
			GHK			
ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD						
Strabag Bau-AG			Sachtleben Bergbau GmbH			



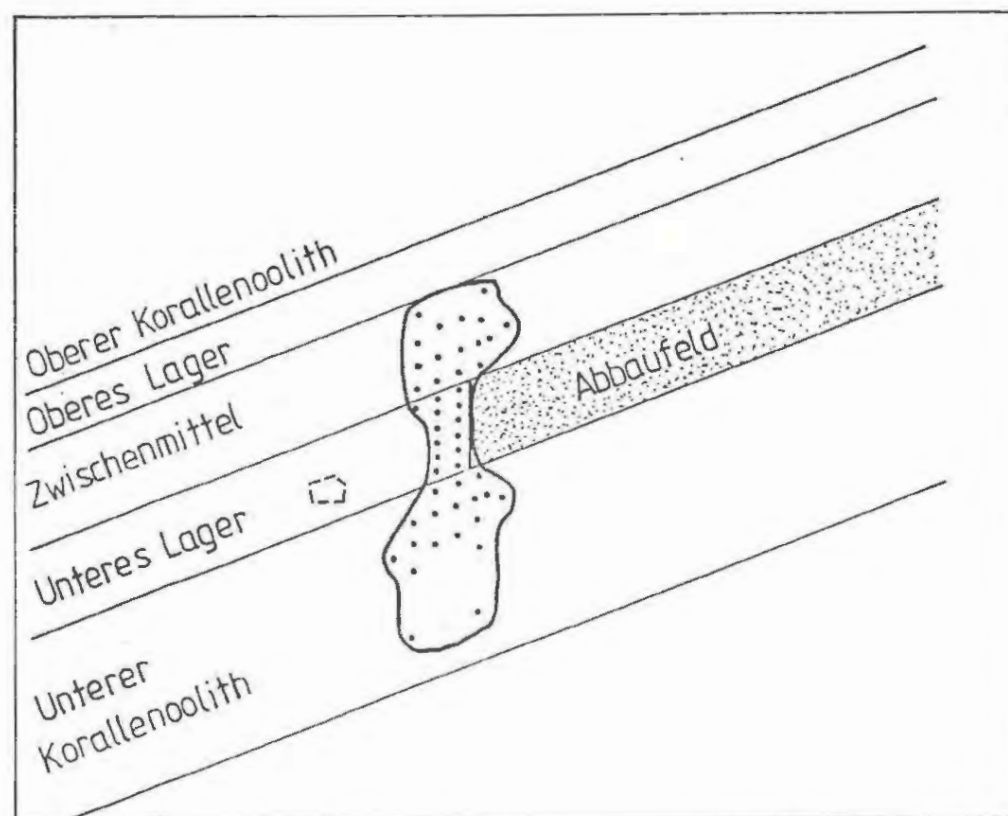
Vertikale Spannungskomponente  $\sigma_z$  in Schnitten parallel zum Einfallen der Schichten

Physikalisch-Technische Bundesanstalt			
Projekt: Endlager Konrad			
gez.		Ersteller und Zeichnungsnummer	Freud
bearb.	7.7.84		Anlage 7.11
gepr.	11.7.84		
Maßstab		Kimmerabschlußbauwerk Modell 2	
KF-Nr.		Fall G4 1. Rechenschritt (Primärfall) Vertikale Spannungskomponente $\sigma_z$	
Blatt	von	Blatt	
Klassifizierung:		Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor	
Projekt	PSP-Element	Objekt-Kezsz	
9 K	33222.37	5500	
Familie	Komponente	Bezeichnung	Aufgabe
			GHK
ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD			
Strobag Bau-AG		Sachtleben Bergbau GmbH	





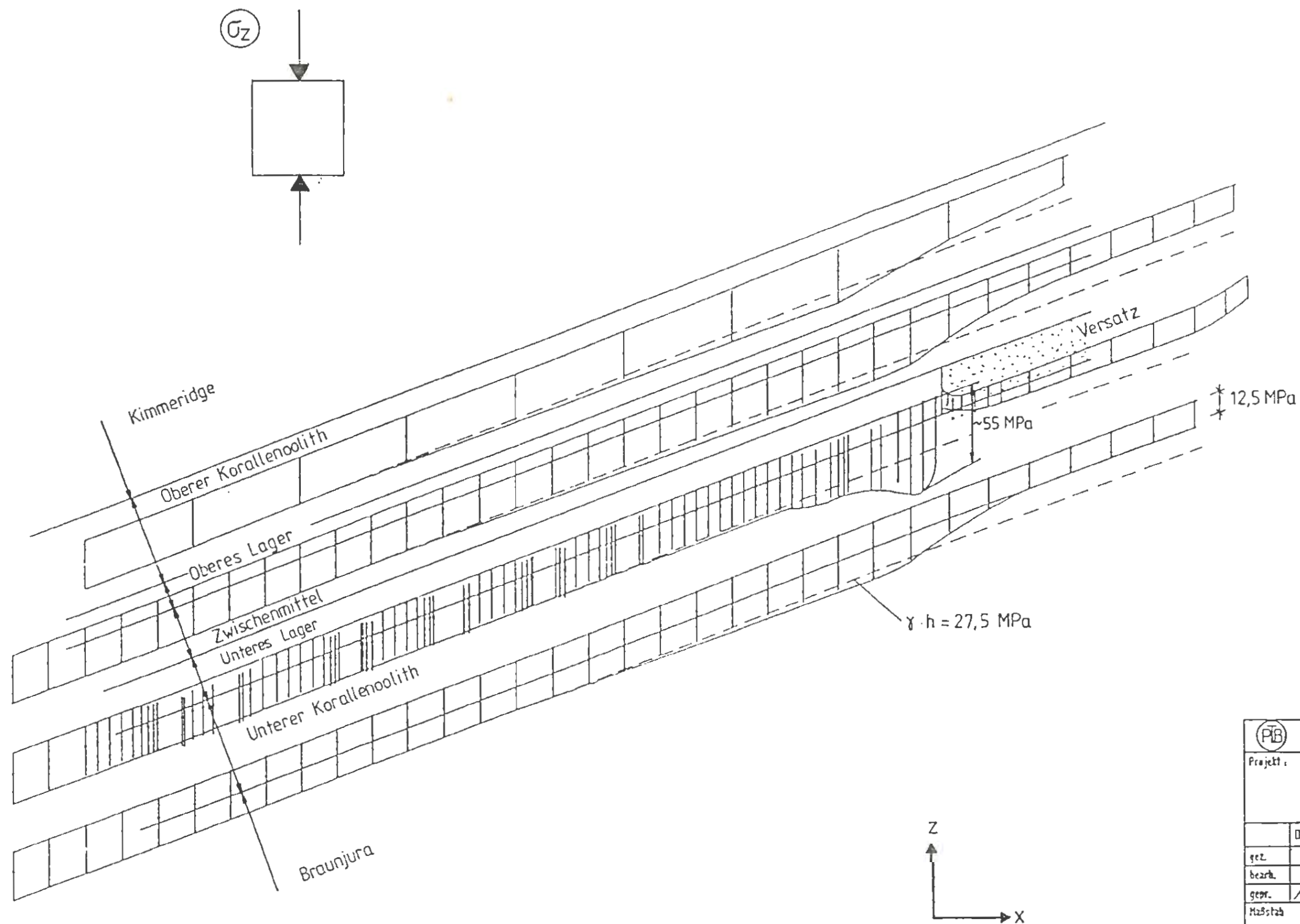
plastische Zone  
am Rande des  
Abbaufeldes



Physikalisch-Technische Bundesanstalt

Projekt: Endlager Konrad

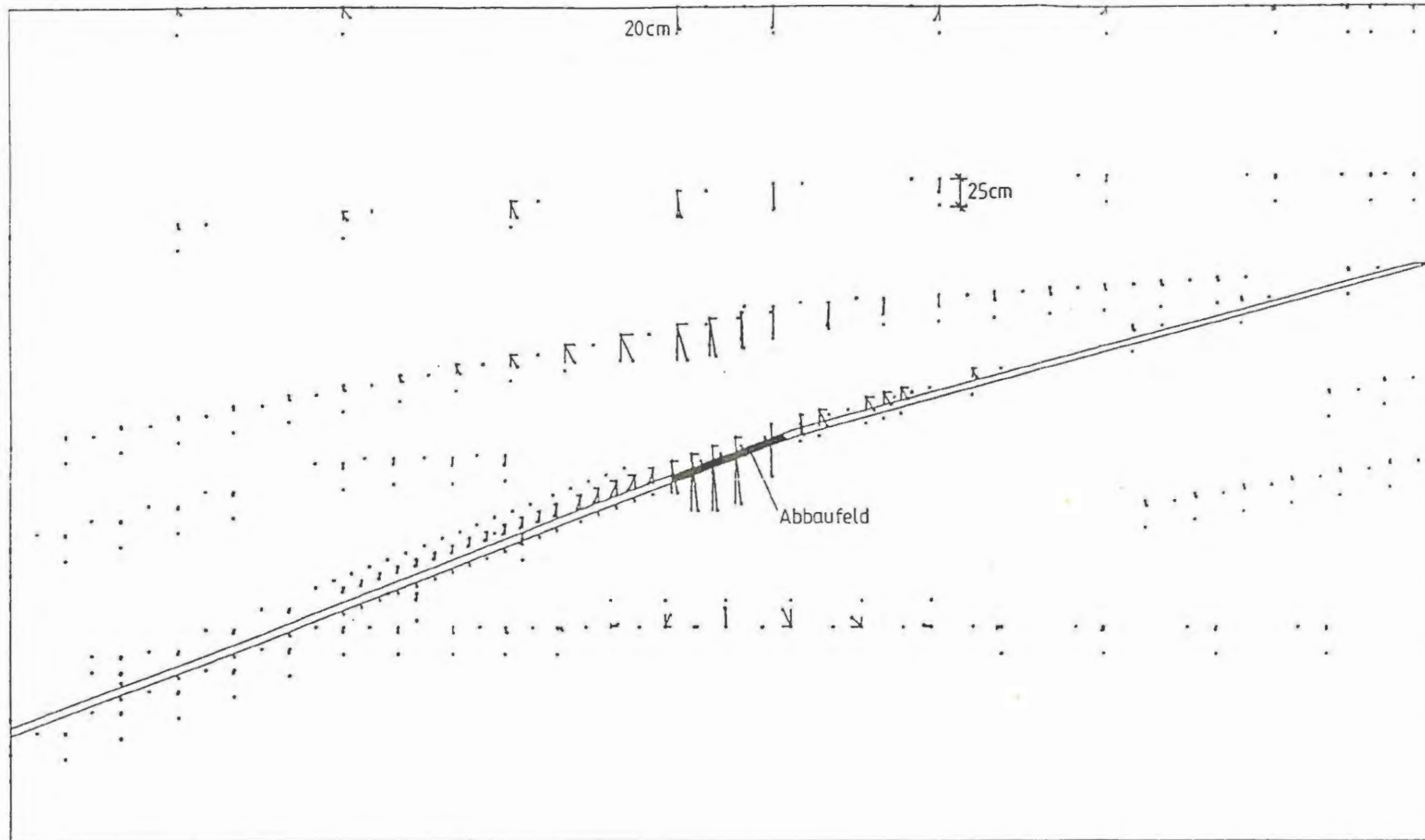
gez.				Anlage
bearh.	7.7.89			7.12
gepr.	11.7.89			
Maßstab			Kammerabschlussbauwerk Modell 2	
NF-Nr.			Fall G4: 2. Rechenschritt (Ausbruch des Abbaufeldes) Hauptnormalspannungen und plastische Zonen im Gebirge	
Blatt	von	Blatt		
Klassifizierung:			Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor	
Projekt	PSP-Element	Objekt-Kennz.		
9 K	33222.37	5500		
Funktion	Komponent	Baugruppe	Aufgabe	UA
			GHK	
ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD				
Strabag Bau-AG				Sachtleben Bergbau GmbH



----- Primärzustand  
 ——— Zustand nach Ausbruch und Versatz des Abbaufeldes

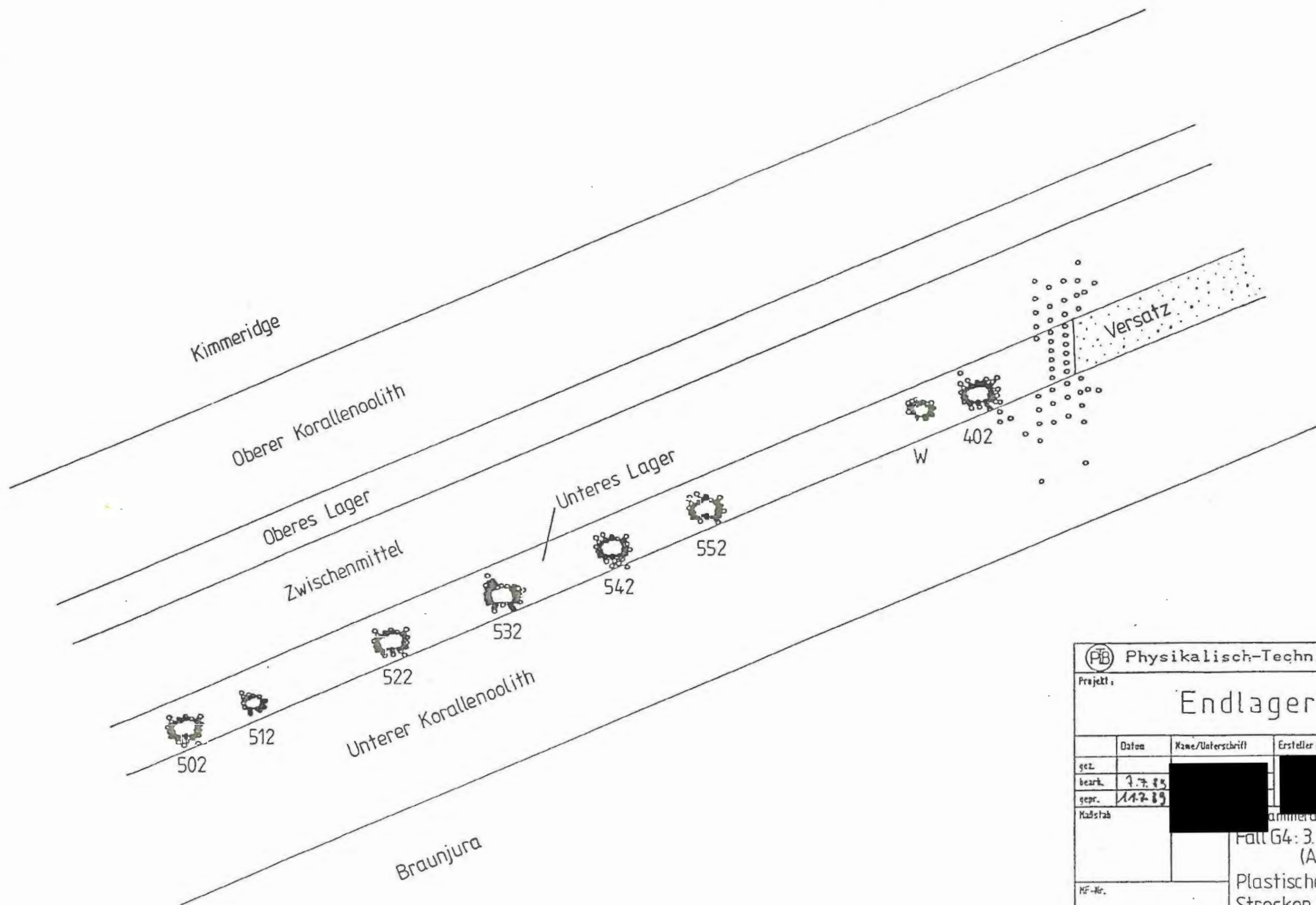
Vertikale Spannungskomponente  $\sigma_z$  in Schnitten parallel zum Einfallen der Schichten

Physikalisch-Technische Bundesanstalt			
Projekt: Endlager Konrad			
geZ.			Anlage 7.13 Fall G4: 2. Rechenschritt (Ausbruch und Versatz des Abbaufeldes) vertikale Spannungskomponente $\sigma_z$
bezt.	7.7.89		
gepr.	11.7.89		
Maßstab		innerabschlußbauwerk Modell 2	
KF-Nr.			
Blatt von		Blatt	
Klassifizierung:		Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor	
Projekt	PSP-Element	Objekt-Kez.	
9 K	33222.37	5500	
Funktion	Komponente	Baugruppe	Angabe
			GHK
ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD Strabag Bau-AG			
Sachtleben Bergbau GmbH			



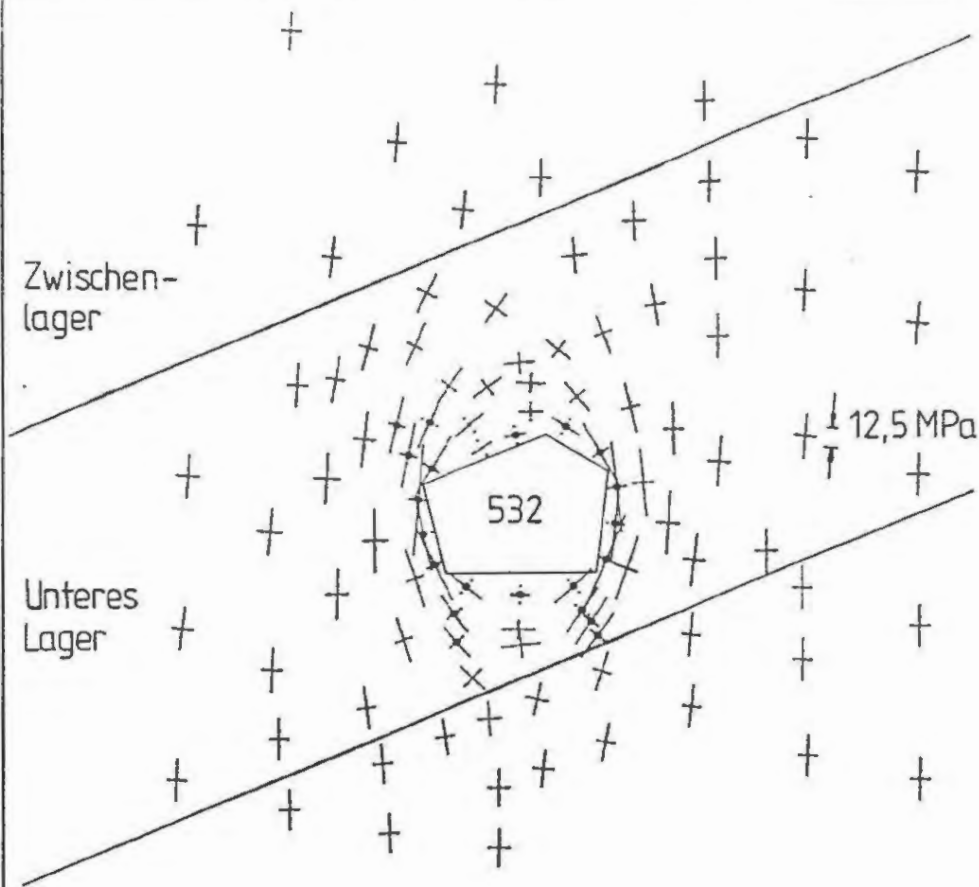
Physikalisch-Technische Bundesanstalt					
Projekt: Endlager Konrad					
	Datum	Name/Unterschrift	Ersteller und Zeichnungsnummer Fremd		
geL					Anlage
bearb.	2.7.8				7.14
gepr.	11.7.8				
Maßstab			Kammerabschlussbauwerk Modell 2		
			Fall G4 Verschiebungen infolge Abbau (2.Rechenschritt - 1.Rechenschritt)		
NF-Nr.					
Blatt	von		Blatt		
Classifizierung:			Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor		
Projekt	PSP-Element		Objekt-Kennz.		
9 K	33222.37		5500		
Fertiger	Komponent	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.Nr. Rev.
			GHK		
ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD					
Strabag Bau-AG			Sachtleben Bergbau GmbH		



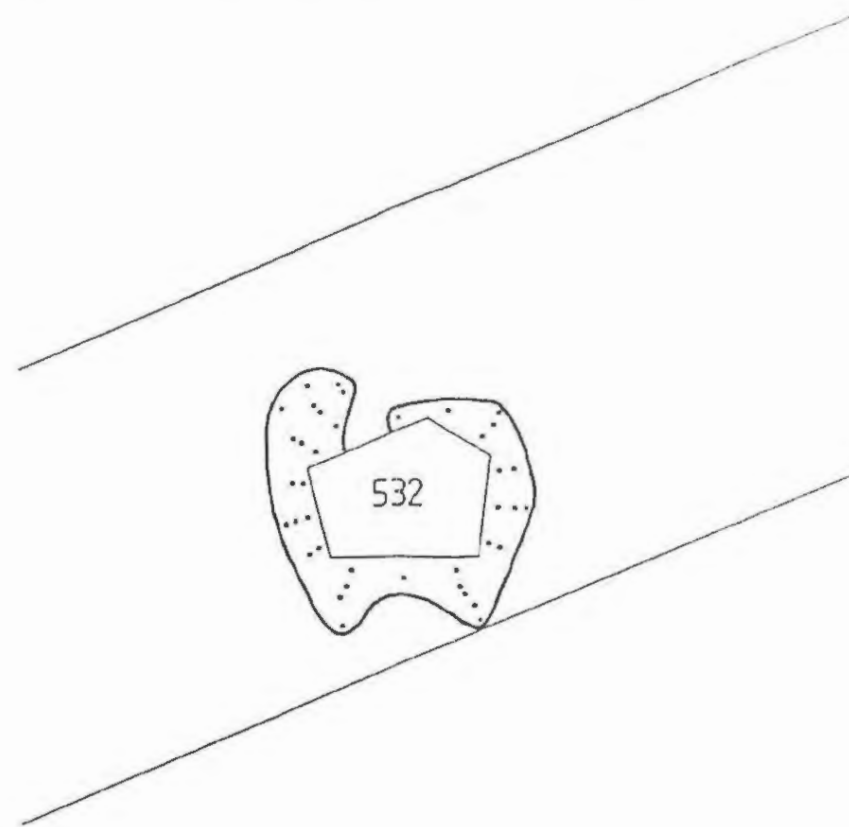


Physikalisch-Technische Bundesanstalt						
Projekt: <b>Endlager Konrad</b>						
	Datum	Name/Unterschrift	Ersteller und Zeichnungsman: Freund			
gez.						Anlage
bearb.	7.7.85					7.15
gepr.	14.7.85					
Maßstab	Kammerabschnittbauwerk Modell 2					
	Fall G4: 3. Rechenschritt (Auffahren der Strecken)					
	Plastische Zonen im Bereich der Strecken und des Abbaufeldes					
KF-Nr.						
Blatt	von				Blatt	
Klassifizierung: Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor						
Projekt	PSP-Element		Objekt-Kennz.			
9 K	33222.37		5500			
Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.	Rev.
			GHK			
ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD Strabag Bau-AG <span style="float: right;">Sachtloben Bergbau GmbH</span>						

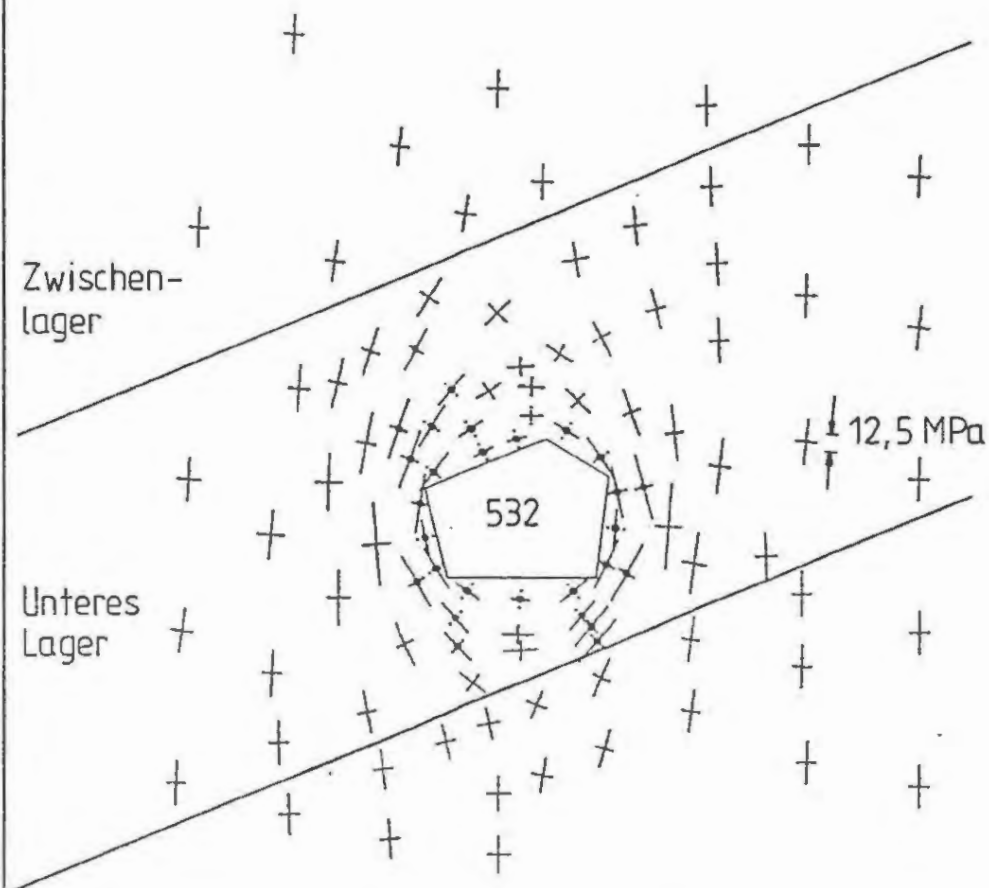




Spannungen im Anfangszustand  $t=0$

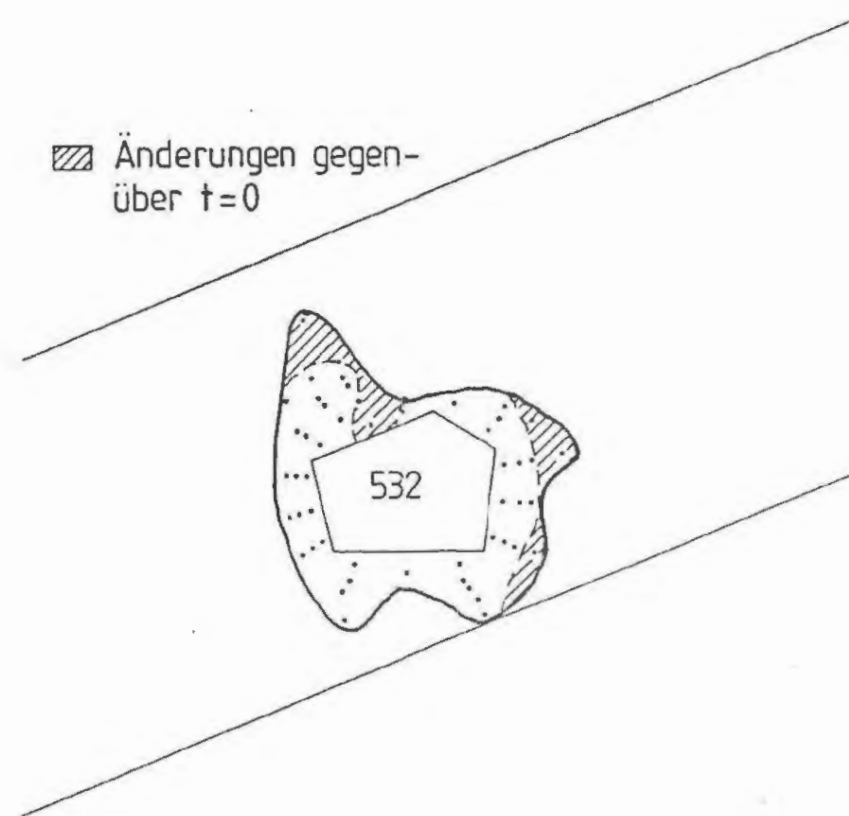


plastische Zone im Anfangszustand  $t=0$



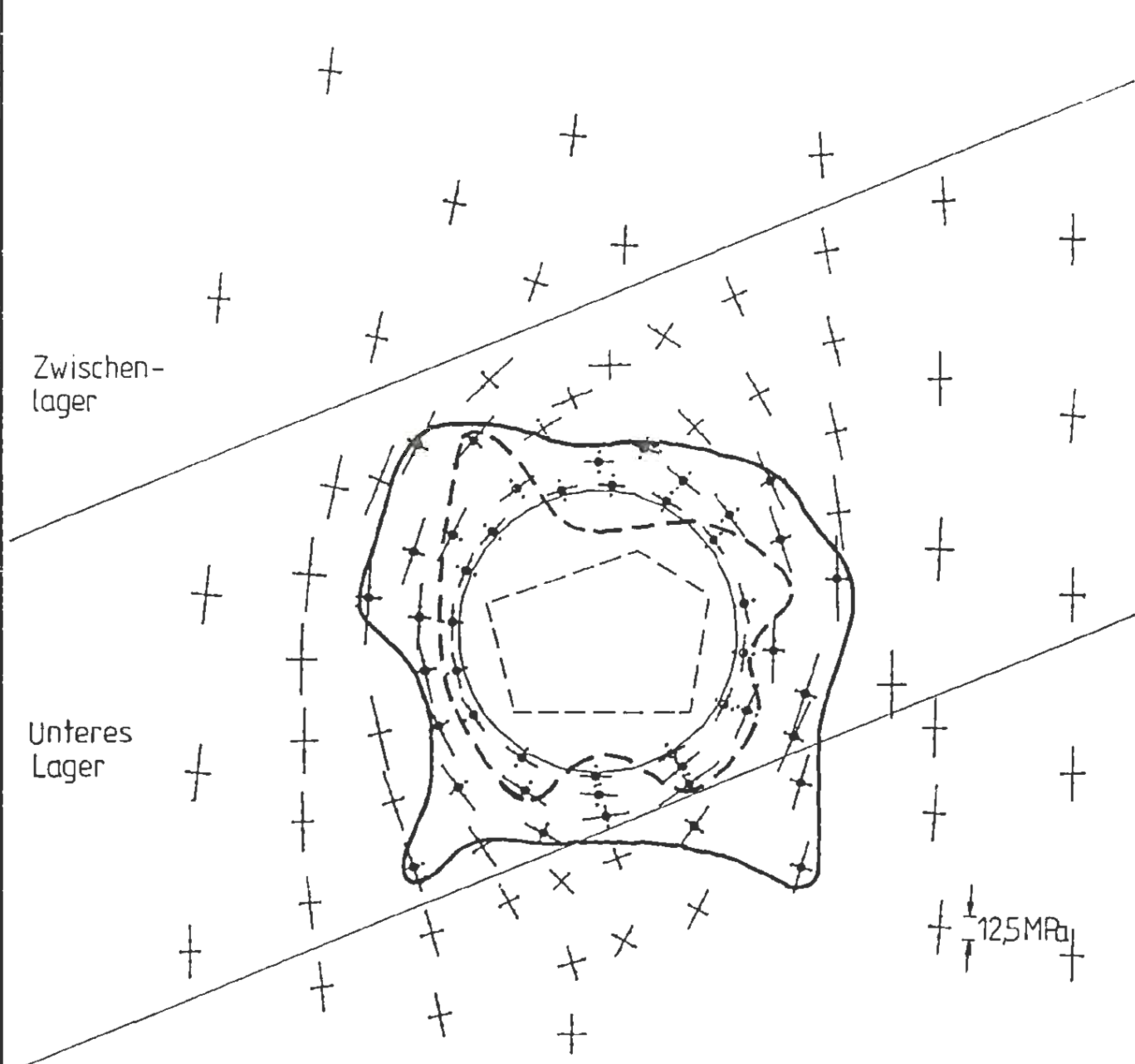
Spannungen im Gleichgewichtszustand  $t \rightarrow \infty$

▨ Änderungen gegenüber  $t=0$



plastische Zone im Gleichgewichtszustand  $t \rightarrow \infty$

Physikalisch-Technische Bundesanstalt					
Projekt: Endlager Konrad					
	Datum	Name/Unterschrift	Ersteller und Zeichnungsnummer Fremd		
gez.					Anlage
bezb.	27.89				7.16
gepr.	17.89				
Maßstab			Zimmerabschnitt/Bauwerk Modell 2		
			Fall G4: 3. Rechenschritt – Zeitliche Veränderung der plastischen Zonen im Bereich der Strecke 532		
NF-Nr.					
Blatt		von	Blatt		
Klassifizierung: Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor					
Projekt	PSP-Element		Objekt-Keuz		
9 K	33222.37		5500		
Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.
			GHK		
ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD					
Strabag Bau-AG			Sachtloben Bergbau GmbH		



Zwischen-  
lager

Unteres  
Lager

Unterer  
Korallenoolith

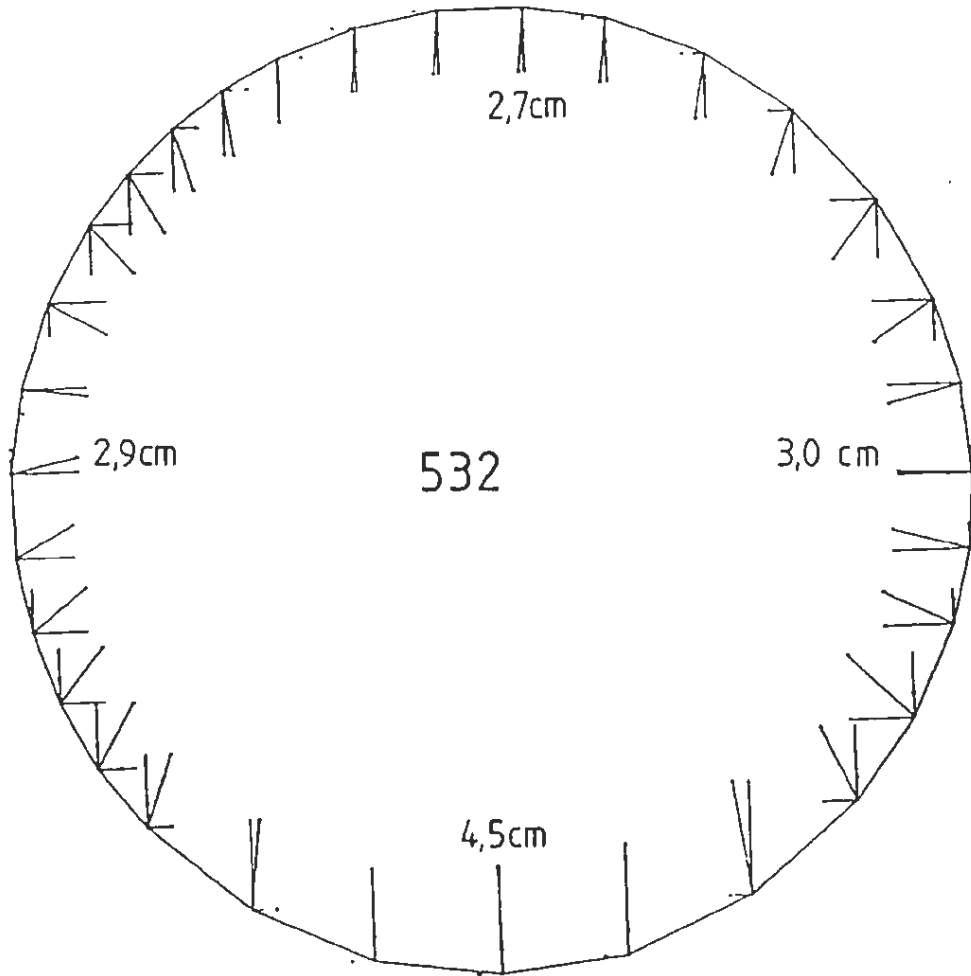
--- plastische Zone nach  
Auffahren der  
Strecke 532 für  
 $t \rightarrow \infty$

— plastische Zone nach  
Aufweiten der  
Strecke 532 für  
 $t \rightarrow \infty$

125 MPa

<b>Physikalisch-Technische Bundesanstalt</b>					
Projekt: <b>Endlager Konrad</b>					
	Datum	Name/Unterschrift	Ersteller und Zeichnungsnummer: Fremd		
gez.					Anlage <b>7.17</b>
bearb.	2.7.8				
gepr.	11.7.8				
Maßstab	Zimmerabstrichbauwerk Modell 2				
	Fall G4: 3. und 4. Rechenschritt - Plastische Zonen im Bereich der Strecke 532				
NF-Nr.					
Blatt	vvo	Blatt			
Klassifizierung:			Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor		
Projekt	PSP-Element		Objekt-Keuz.		
9 K	33222.37		5500		
Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	GA	Lfd.Nr.
			GHK		
<b>ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD</b> Strabag Bau-AG <span style="float: right;">Sachtloben Bergbau GmbH</span>					

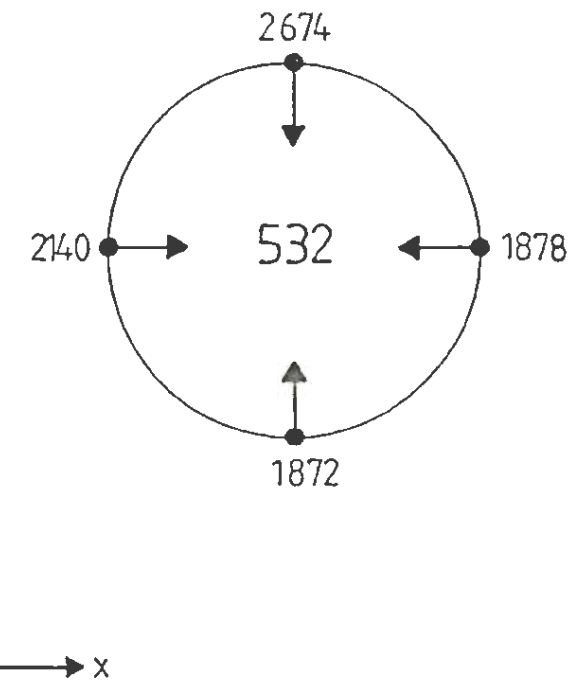
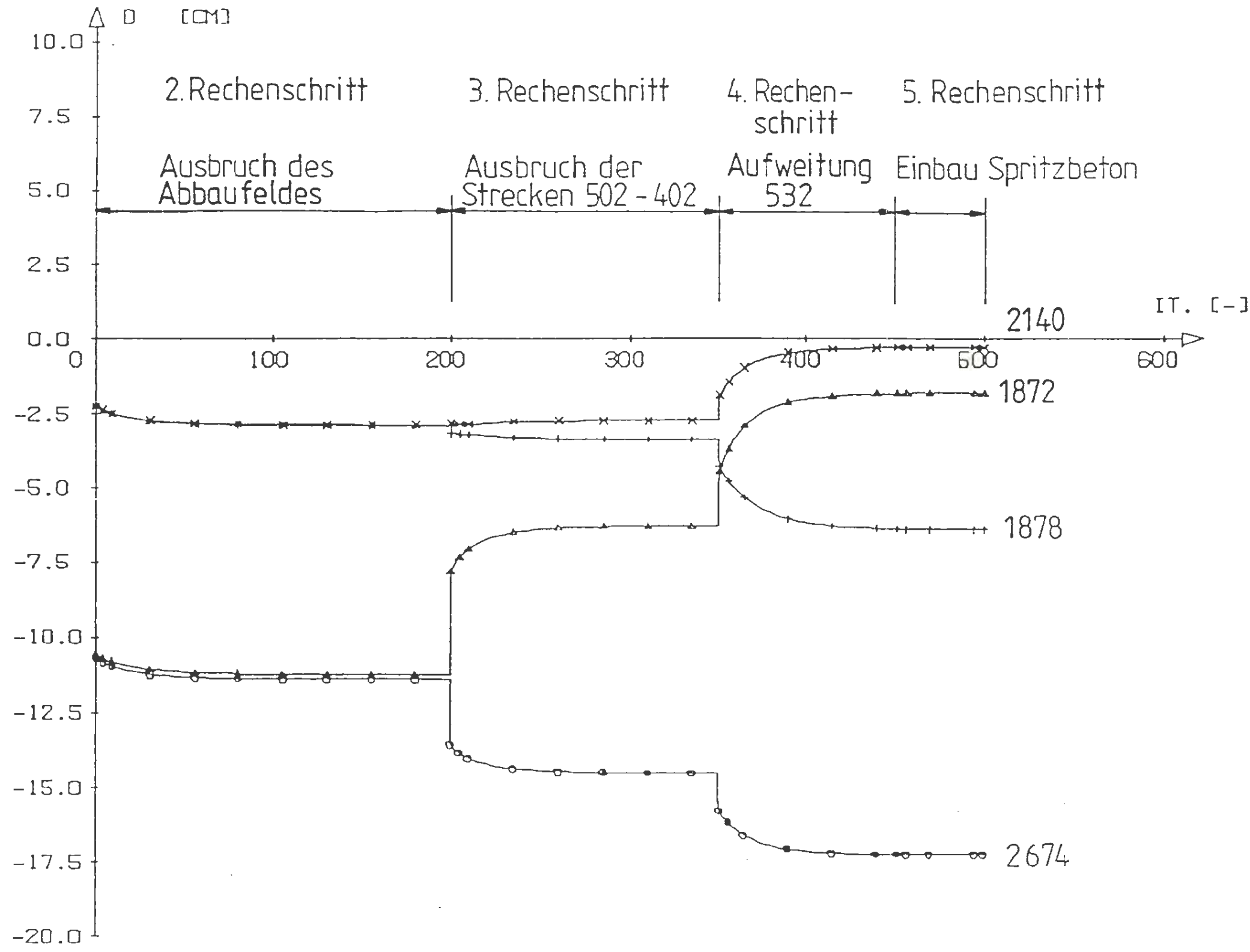




<b>Physikalisch-Technische Bundesanstalt</b>					
Projekt: <b>Endlager Konrad</b>					
	Datum	Name/Unterschrift	Ersteller und Zeichnungsnummer Fremd		
gez.					Anlage <b>7.18</b>
bearb.	7.7.85				
gepr.	11.7.85				
Maßstab			Modell 2		
KF-Nr.			Fall G4 : 4. -3. Rechenschritt - Verschiebung der Ausbruch- laibung infolge Aufweitung der Strecke 532		
Blatt	von	Blatt			
Klassifizierung:			Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor		
Projekt	PSP-Element		Objekt-Kennz.		
9 K	33222.37		5500		
Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.
			GHK		
<b>ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD</b> Strabag Bau-AG <span style="float: right;">Sachtloben Bergbau GmbH</span>					








(PB) Physikalisch-Technische Bundesanstalt					
Projekt: Endlager Konrad					
	Datum	Name/Unterschrift	Ersteller und Zeichnungsnummer Freed		
gez.					Anlage 7.20
bearb.	7.7.83				
gepr.	11.7.83				
Maßstab	Kammerabschlußbauwerk Modell 2				
MF-Nr.	Fall G4				
Blatt von Blatt	2. bis 5. Rechenschritt - Zeitliche Entwicklung der Hohlraumrandverschiebungen (Aufweitung 532)				
Klassifizierung:			Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor		
Projekt	PSP-Element		Objekt-Kennz.		
9 K	33222.37		5500		
Funktion	Komponent	Bezugsgruppe	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.
			GHK		
ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD					
Strabag Bau-AG			Sachtleben Bergbau GmbH		

Fall		G4	G6	G7	G9	G10	K2P	K2E	K3E	K4E	K3P1	K3P4	K4P4	K4P2	K4P5
Verformbarkeit	$E_{\text{Kreide}}$ MPa	2000													
	$E_{\text{Kimmeridge}}$ MPa	6000													
	$E_{\text{Zwischenmittel}}$ MPa	2000					6000	6000	6000	9000	6000	6000	9000	9000	9000
	$E_{\text{Lager}}$ MPa	6000					12000	12000	18000	12000	18000	18000	12000	12000	12000
	$E_{\text{Unterer Korallenoolith}}$ MPa	2000		1000			3000	3000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	5000
Festigkeit	$c/\varphi_{\text{Zwischenmittel}}$ MPa/°	33/20						el.	el.	el.					
	$c/\varphi_{\text{Lager}}$ MPa/°	6/25						el.	el.	el.					
	$c_K/\varphi_K/\psi_K$ Lager MPa/°/°	33/20	-	-	$\nabla 60^\circ$ 0/40/20	$\nabla 60^\circ$ 0/40/20	-	el.	el.	el.	$\nabla 60^\circ$ 0/40/20	$\nabla 60^\circ$ 0/40/40	$\nabla 60^\circ$ 0/40/20	$\nabla 60^\circ$ 0/40/40	$\nabla 60^\circ$ 0/40/40
	$c/\varphi_{\text{Unterer Korallenoolith}}$ MPa/°		1,65/20					el.	el.	el.					

Berechnungen am Gebirgsaus -  
ausschnitt nach Anlage 7.3

Berechnungen am Gebirgsausschnitt nach Anlage 7.22

Es sind nur die gegenüber dem Fall G4  
veränderten Kennwerte aufgeführt

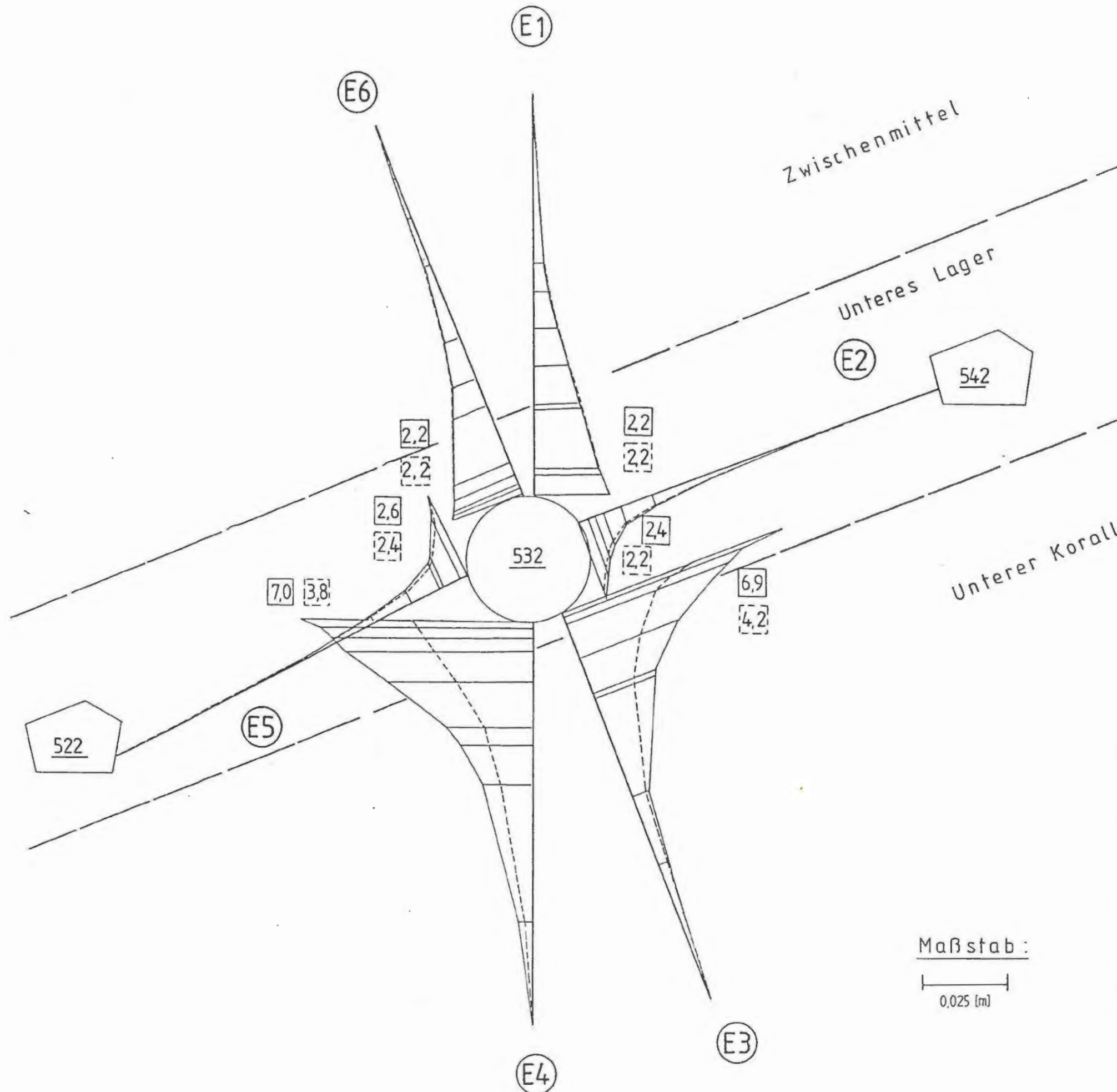
 <b>Physikalisch-Technische Bundesanstalt</b>			
Projekt: <b>Endlager Konrad</b>			
gez.		Ersteller und Zeichnungsnummer	Anlage
bezt.	7.9.83		7.21
gepr.	11.3.83		
Maßstab		Immerabschlußbauwerk Modell 2	
NF-Nr.		Zusammenstellung der variierten Kennwerte	
Blatt	von	Blatt	
Klassifizierung: Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor			
Projekt	PSP-Element	Objekt-Kennz.	
9 K	33222.37	5500	
Funktion	Komponente	Bezugsgruppe	Aufgabe
			GHK
ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD Strabag Bau-AG <span style="float: right;">Sachtleben Bergbau GmbH</span>			











— Fall G7  
 - - - Fall G4

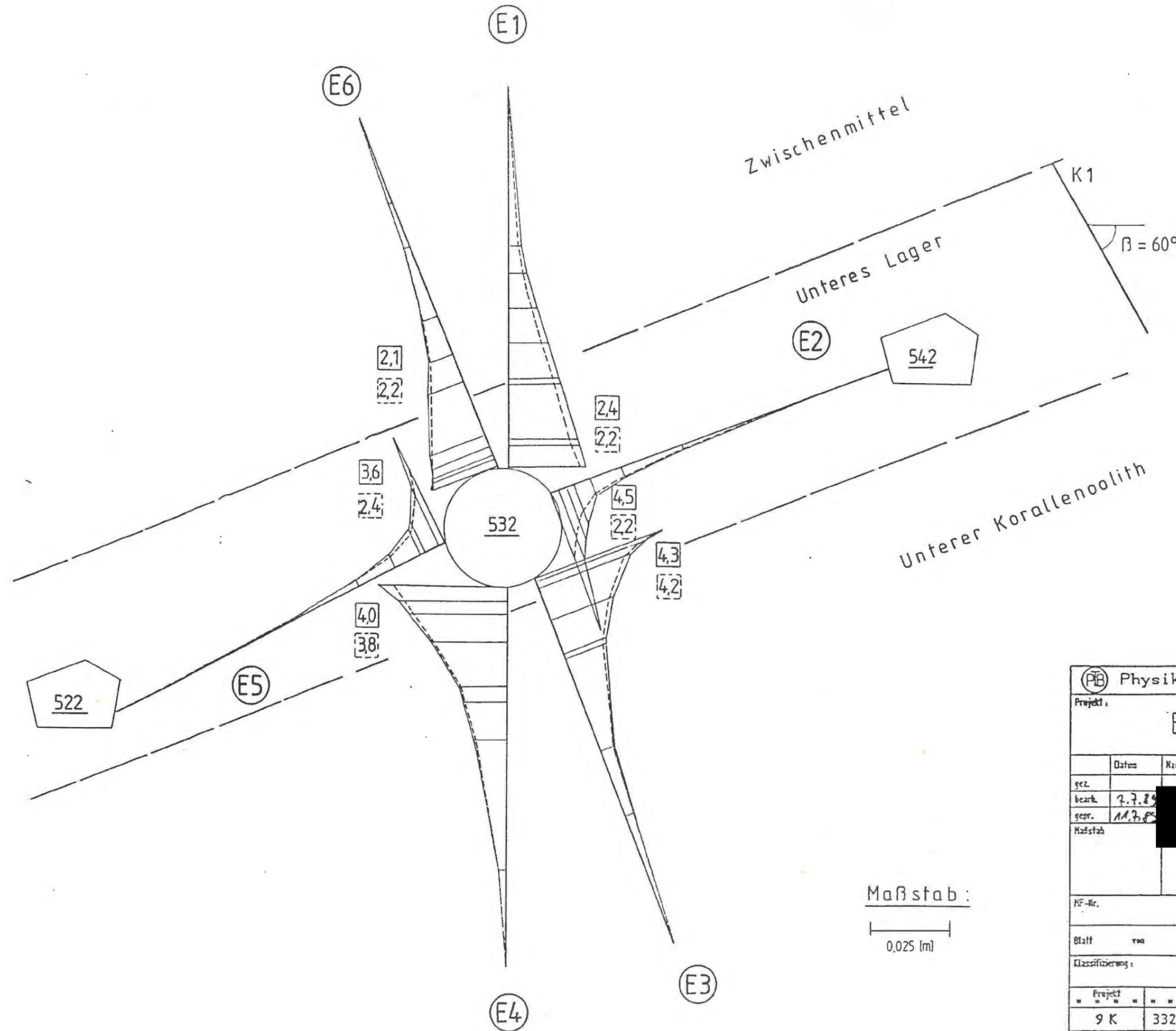
Kennwerte  
 vgl. Tabelle  
 in Anlage 7.20

G4 : E = 1000 MPa  
 G7 : E = 2000 MPa

Maßstab :  
 0,025 (m)

Physikalisch-Technische Bundesanstalt					
Projekt : Endlager Konrad					
	Datum	Name/Unterschrift	Ersteller und Zeichnungsnummer Fremd		
gez.					Anlage 7.24
bearb.	7.7.82				
gepr.	11.7.82				
Maßstab					Modell 2
HF-Nr.			Meßbare Extensometerverschiebungen - Vergleich der Rechnungen G4 und G7		
Blatt	von	Blatt			
Klassifizierung :			Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor		
Projekt	PSP-Element		Objekt-Kennz.		
9 K	33222.37		5500		
Funktion	Komponent	Gruppe	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.
			GHK		
ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD Strabag Bau-AG					
Sachtleben Bergbau GmbH					

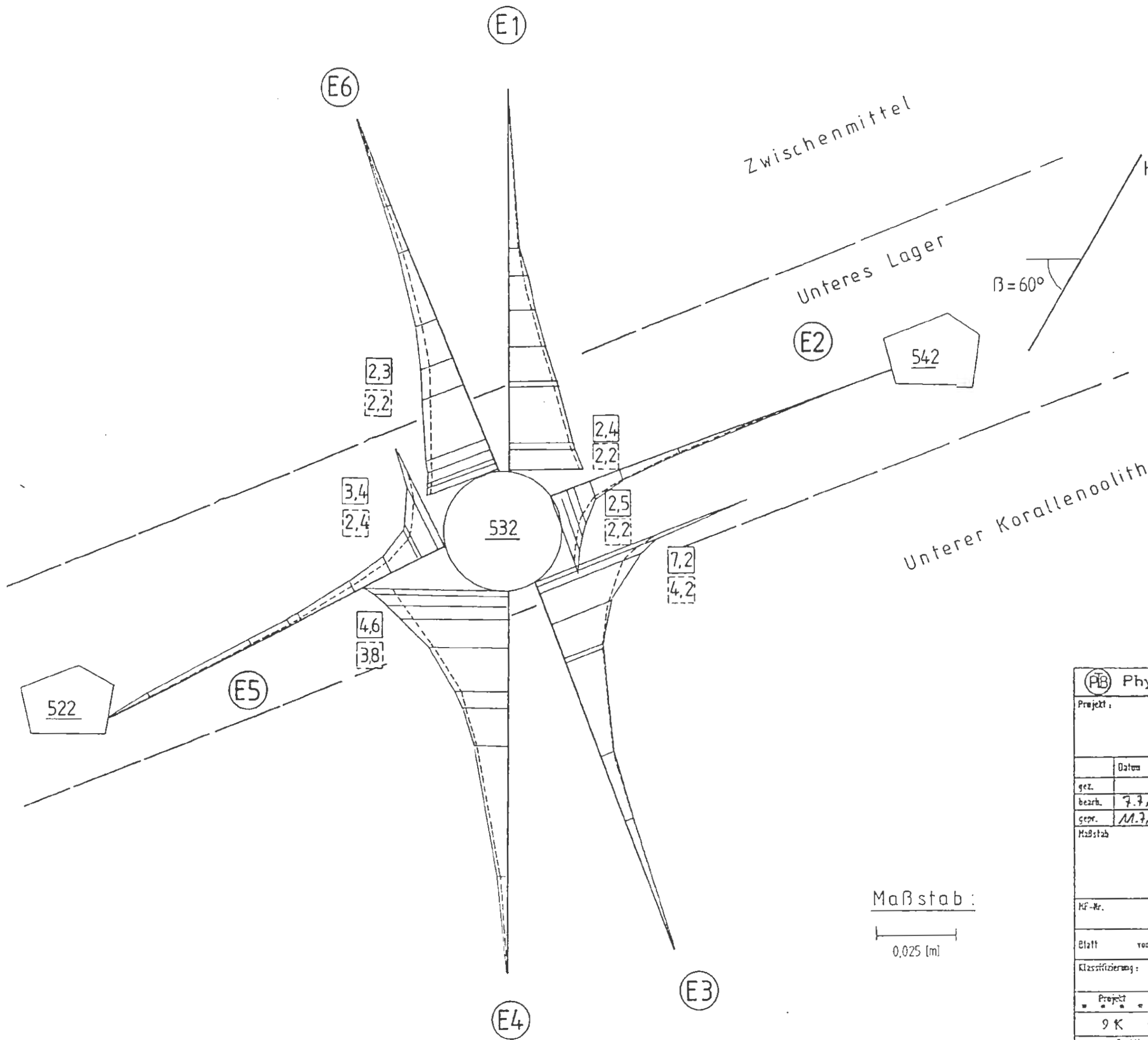
— Fall G9 { Kennwerte  
vgl. Tabelle  
in Anlage 7.20  
- - - Fall G4



$c_K = 0$   
 $\varphi_K = 40^\circ$   
 $\psi_K = 20^\circ$

Maßstab :  
0,025 (m)

Projekt: <b>Endlager Konrad</b>			
Datum:	Name/Unterschrift:	Ersteller und Zeichnungsnummer:	Anlage 7.25
gez.	bearb. 7.7.89	gepr. 11.7.89	Maßstab:
Meßbare Extensometerverschiebungen - Vergleich der Rechnungen Fall G4 und Fall G9			Modell 2
Klassifizierung:			
Projekt: 9 K	PSP-Element: 33222.37	Objekt-Nummer: 5500	Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor.
Funktion:	Komponente:	Baugruppe:	Anträge:
UA:	Lfd.Nr.:	Rev.:	GHK
ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD			
Strabag Bau-AG		Sachtleben Bergbau GmbH	



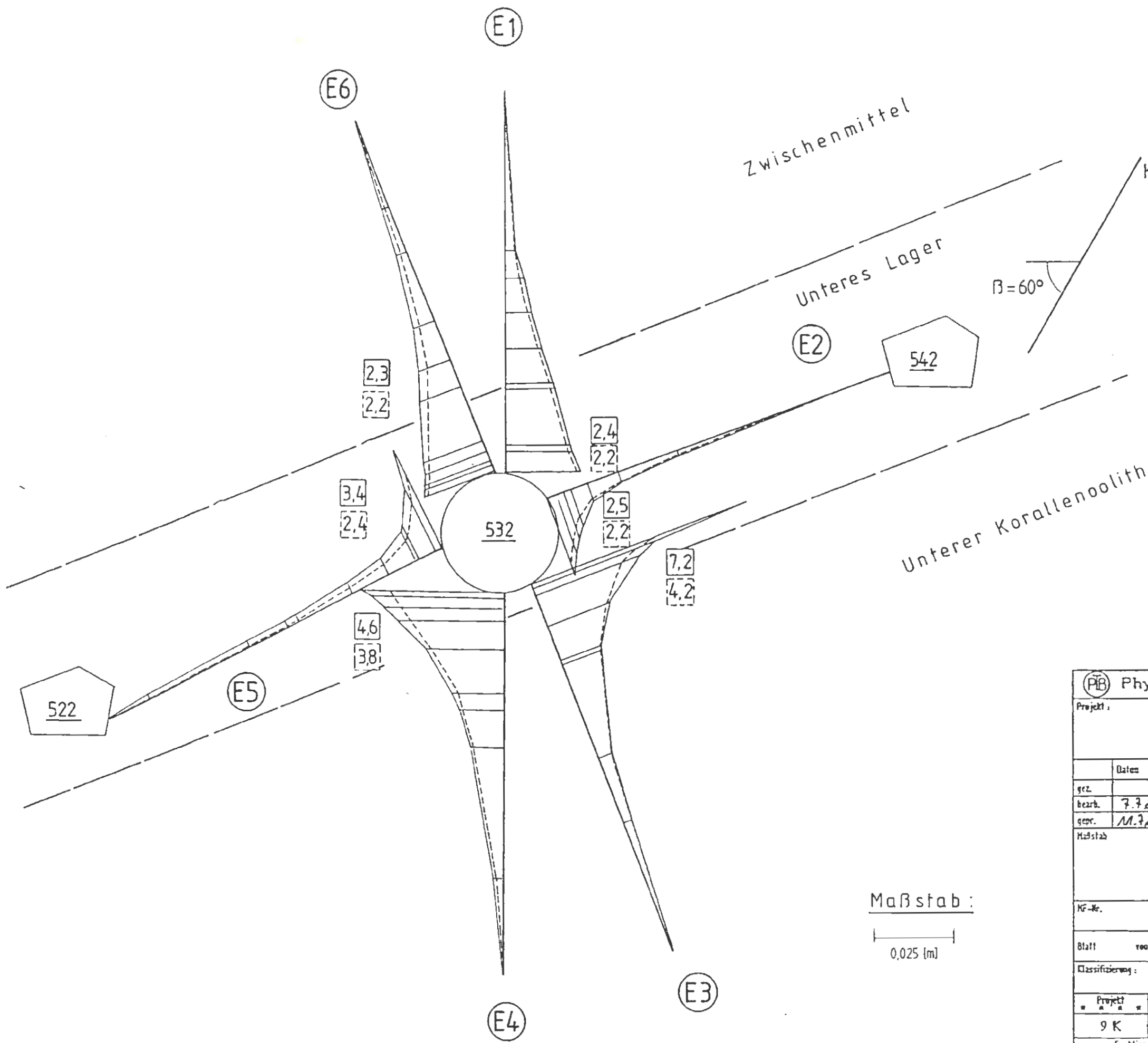
— Fall G10 { Kennwerte  
 vgl. Tabelle  
 in Anlage 7.20  
 - - - - - Fall G4

$c_K = 0$   
 $\varphi_K = 40^\circ$   
 $\psi_K = 20^\circ$

Maßstab:  
 0,025 [m]

<b>Physikalisch-Technische Bundesanstalt</b>						
Projekt: <b>Endlager Konrad</b>						
	Datum	Name/Unterschrift	Ersteller und Zeichnungsmann: Fremd			
gez.						Anlage 7.26
bezh.	7.7.89					
gepr.	11.7.89					
Maßstab	immer abgelesen werden					Modell 2
Meßbare Extensometerverschiebungen - Vergleich der Rechnungen Fall G4 und G10						
Blatt von Blatt						
Klassifizierung: Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor						
Projekt	PSP-Element		Objekt-Kennz.			
9 K	33222.37		5500			
Funktion	Komponente	Bezugsgruppe	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.	Res.
			GHK			
ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD Steinhilber Bau-AG <span style="float: right;">Sachtloben Bergbau GmbH</span>						





— Fall G10  
 - - - - Fall G4

Kennwerte  
 vgl. Tabelle  
 in Anlage 7.20

$c_K = 0$   
 $\varphi_K = 40^\circ$   
 $\psi_K = 20^\circ$

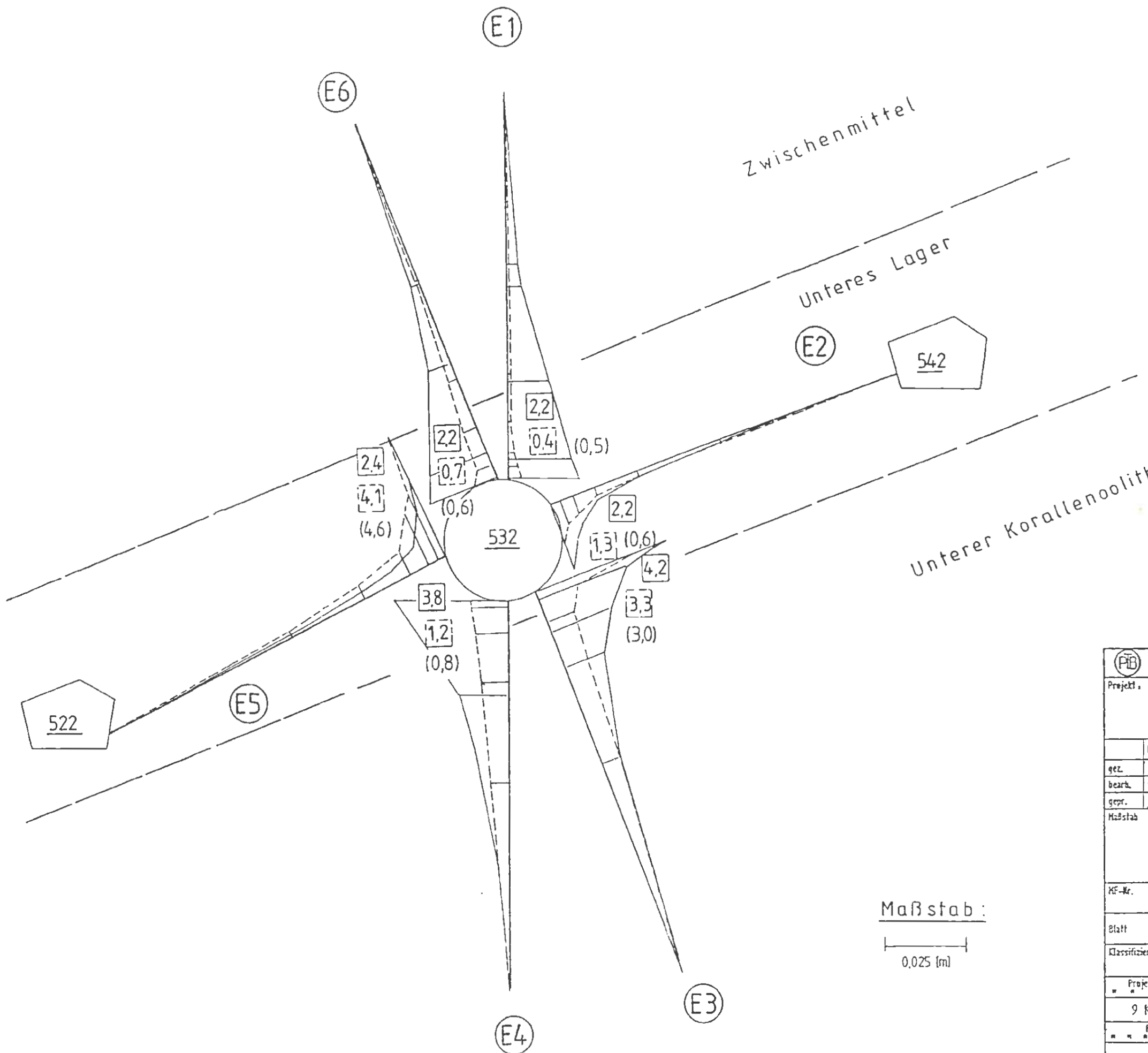
Maßstab:  
 0,025 (m)

Physikalisch-Technische Bundesanstalt						
Projekt: <b>Endlager Konrad</b>						
	Datum	Name/Unterschrift	Ersteller und Zeichnungsnummer Fremd			
gez.						Anlage 7.26
bearb.	7.7.89					
gepr.	11.7.89					
Maßstab	immerabschlußbauwerk Modell 2					
KF-Nr.	Meßbare Extensometerverschiebungen - Vergleich der Rechnungen Fall G4 und G10					
Blatt	von	Blatt				
Klassifizierung:			Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor			
Projekt	PSP-Element		Objekt-Kennz.			
9 K	33222.37		5500			
Funktion	Koordinator	Baugruppe	Angabe	UA	Lfd.Nr.	Rev.
			GHK			
ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD						
Strabag Bau-AG				Sachtloben Bergbau GmbH		



# Kennwerte Fall G4

Schicht	Zwischenlager	Unteres Lager	Unterer Korallenoolith
E [MPa]	2 000	6 000	2 000
C [MPa]	3,3	6	3,3
$\varphi$ [°]	20	25	20
$C_k$ [MPa]	—	—	—
$\varphi_k$ [°]	—	—	—
$\psi_k$ [°]	—	—	—



————— Berechnungsergebnisse  
 Fall G4  
 - - - - - Meßergebnisse 532/7 ( 532/6 )

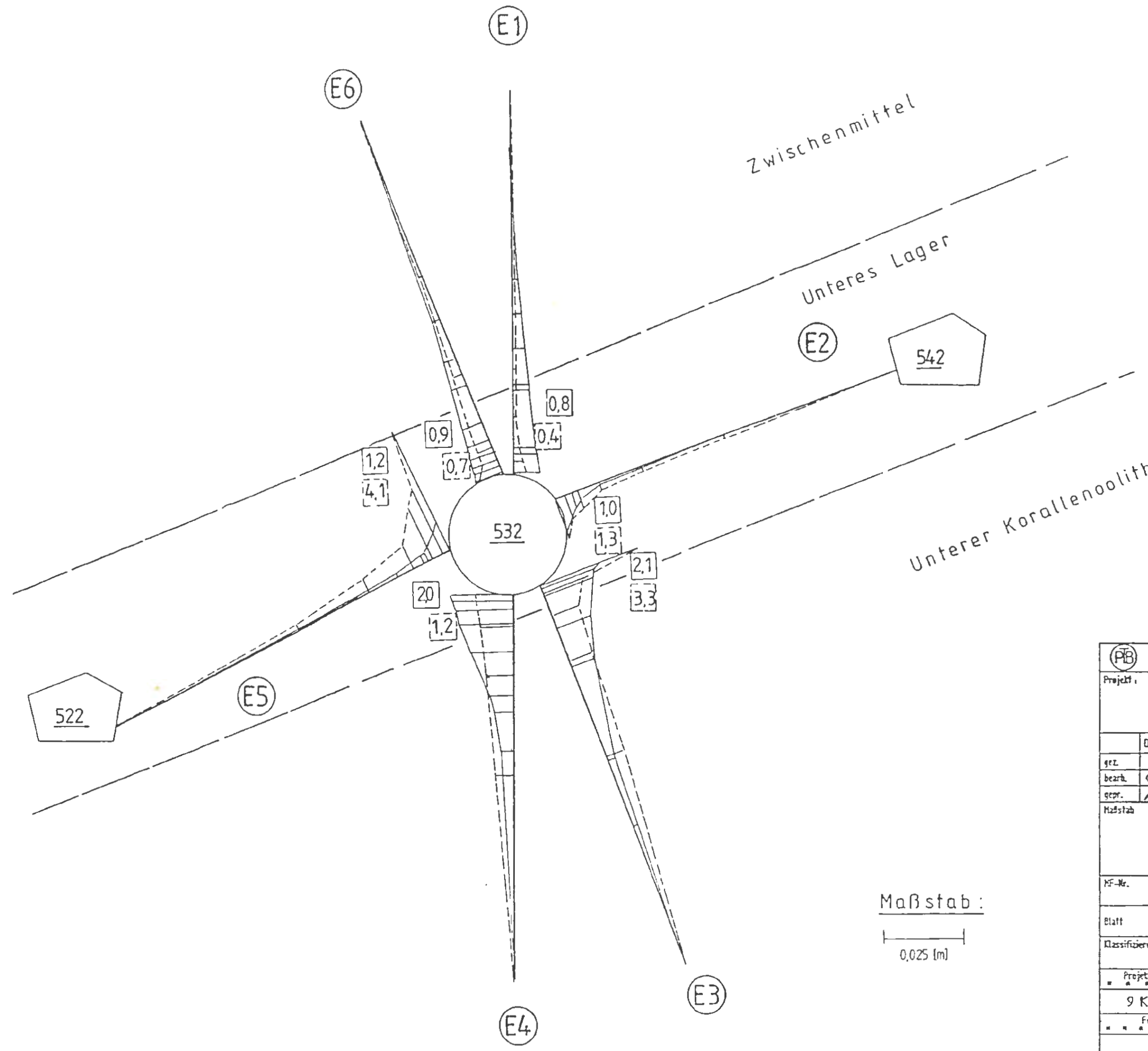
Maßstab :  
 0,025 (m)

(PTB) Physikalisch-Technische Bundesanstalt  
 Projekt: **Endlager Konrad**

gez.		Ersteller und Zeichnungsnummer	Fremd
bearb.	2.7.82		Anlage 7.27
gepr.	11.2.82		
Maßstab		Kammerabschlußbauwerk	Modell 2
Meßbare Extensometerverschiebungen- Vergleich Messung ( MQ 532/7 ) und Rechnung ( Fall G4 )			
KF-Nr.			
Blatt	von	Blatt	
Klassifizierung:		Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor	
Projekt	PSP-Element	Objekt-Kennz.	
9 K	33222.37	5500	
Familie	Kennzahl	Bezugsgruppe	Aufgabe
			GHK
ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD Strabag Bau-AG			
Sachtloben Bergbau GmbH			

# Kennwerte Fall K2P

Schicht	Zwischenlager	Unteres Lager	Unterer Korallenoolith
E [MPa]	6 000	12 000	3 000
C [MPa]	3,3	6	3,3
$\varphi$ [°]	20	25	20
$C_k$ [MPa]	—	—	—
$\varphi_k$ [°]	—	—	—
$\psi_k$ [°]	—	—	—



————— Berechnungsergebnisse  
 Fall K2P  
 - - - - - Meßergebnisse 532/7

**PTB Physikalisch-Technische Bundesanstalt**

Projekt: **Endlager Konrad**



gez.		Ersteller und Zeichnungsnummer	Fremd
bearb.	4.7.89		Anlage 7.28
gepr.	11.3.89		
Maßstab		Innenabschlussbauwerk Modell 2	
MF-Nr.		Meßbare Extensometerschiebungen Vergleich Messung (MQ 532/7) und Rechnung (Fall K2P)	
Blatt	von	Blatt	

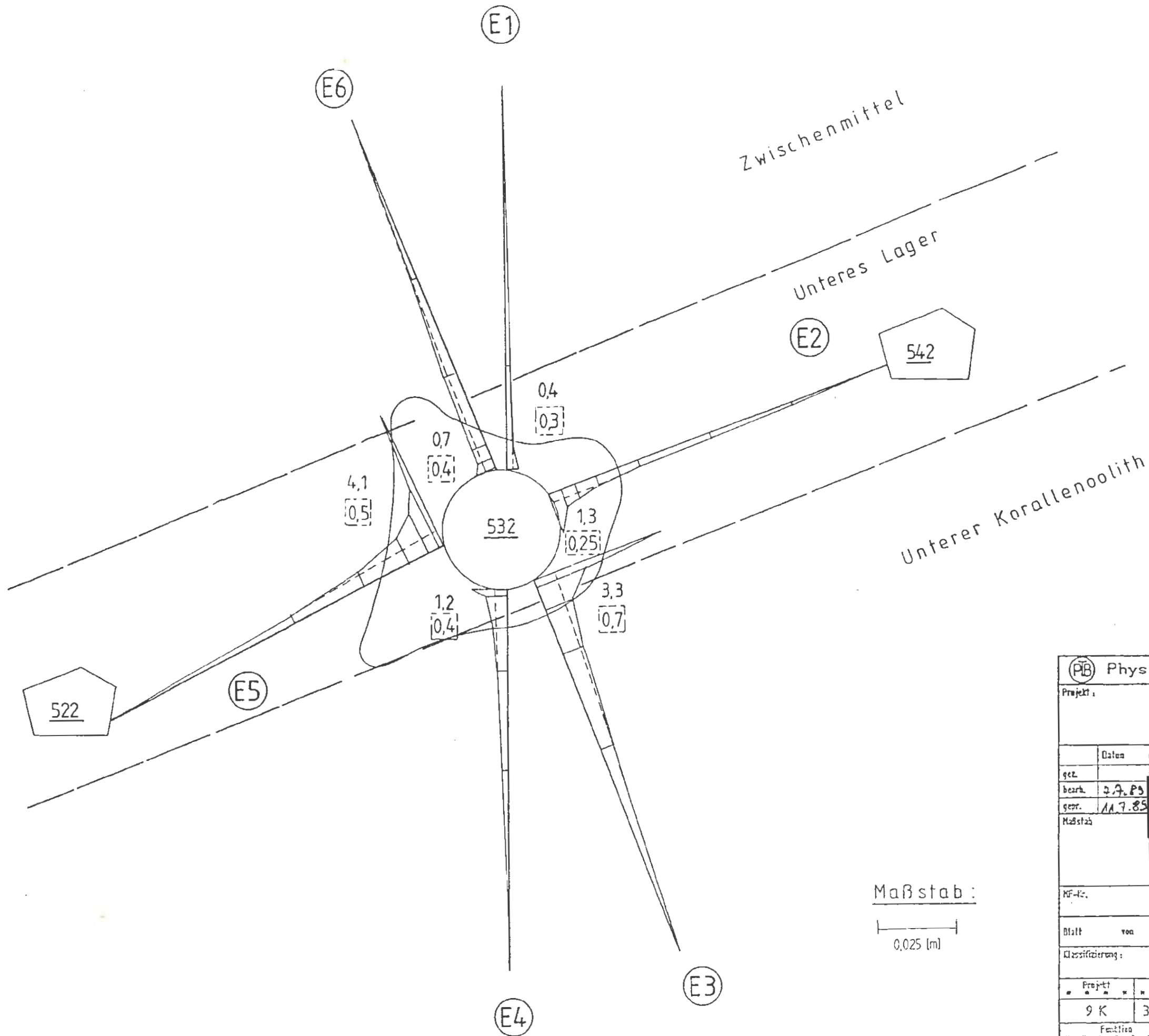
Klassifizierung: Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor


Projekt	PSP-Element	Objekt-Kennz.
9 K	33222.37	5500
Funktion	Empfangs-	Bezugsgruppe
		Aufgabe
		UA
		Lfd.Nr.
		Ver.
		GHK


ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD  
 Strabag Bau-AG Sachtleben Bergbau GmbH

# Meßergebnisse 532/7



-  plastische Zone Fall K2
-  maximale elastische Verschiebungen des Hohlraumrandes

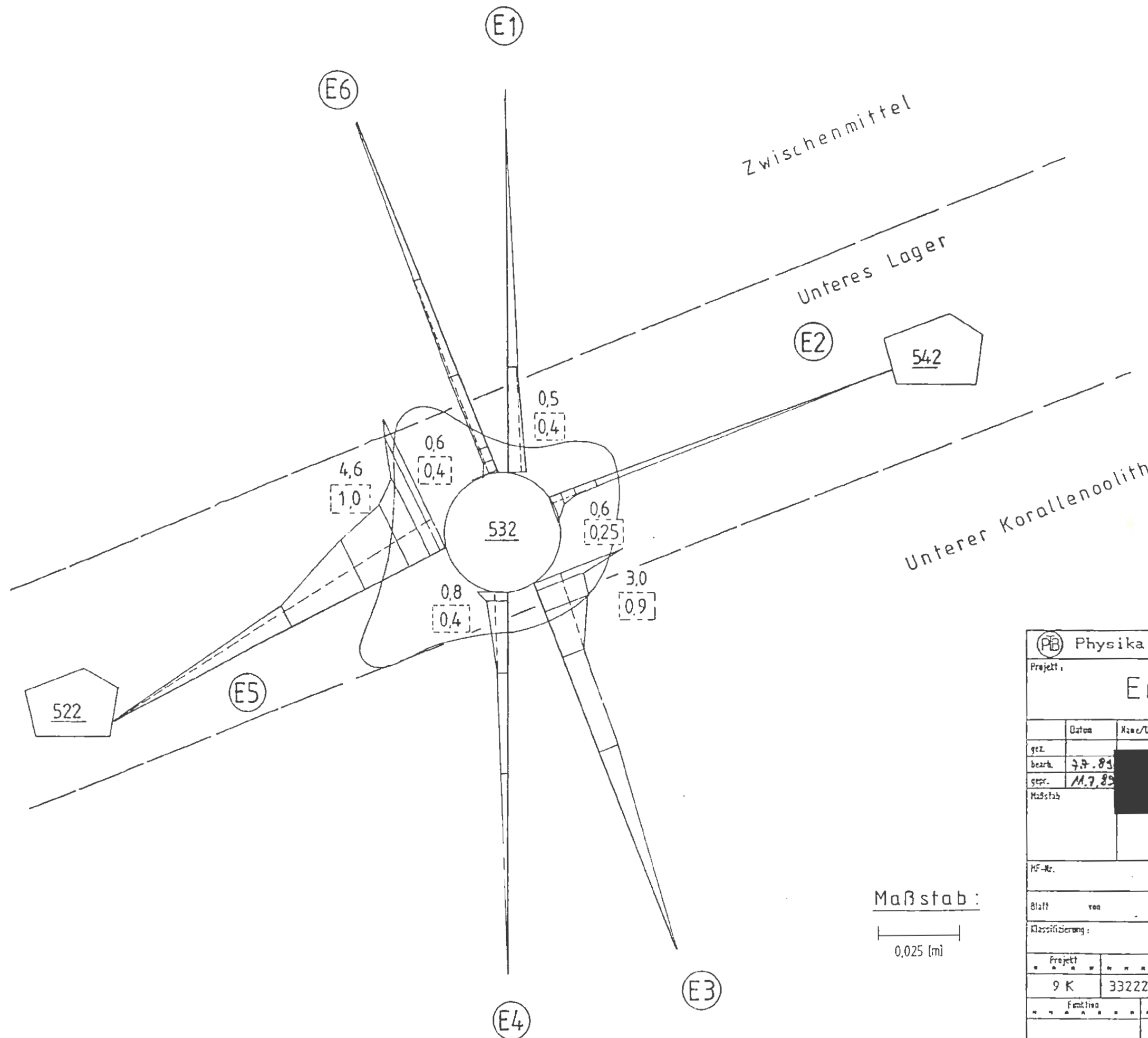


Maßstab:  
  
 0,025 (m)

 Physikalisch-Technische Bundesanstalt			
Projekt: <b>Endlager Konrad</b>			
gez.	Name/Unterschrift	Ersteller und Zeichnungsnummer	Anlage
bezt.	2.9.85	[Redacted]	7.29
gepr.	11.7.85	[Redacted]	
Maßstab	Kammerabschlußbauwerk Modell 2		
Aus der Berechnung ( Fall 2KP ) abgeleitete, in den Meßergebnissen enthaltene elastische Extensometerverschiebungen (MQ 532/7)			
Blatt von Blatt		Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor	
Projekt	PSP-Element	Objekt-Nummer	
9 K	33222.37	5500	
Funktion	Komponente	Baugruppe	Anlage
			GHK
ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD			
Strabag Bau-AG		Sachtleben Bergbau GmbH	

# Meßergebnisse 532 / 6

-  plastische Zone Fall K2
-  maximale elastische Verschiebung des Hohlraumrandes

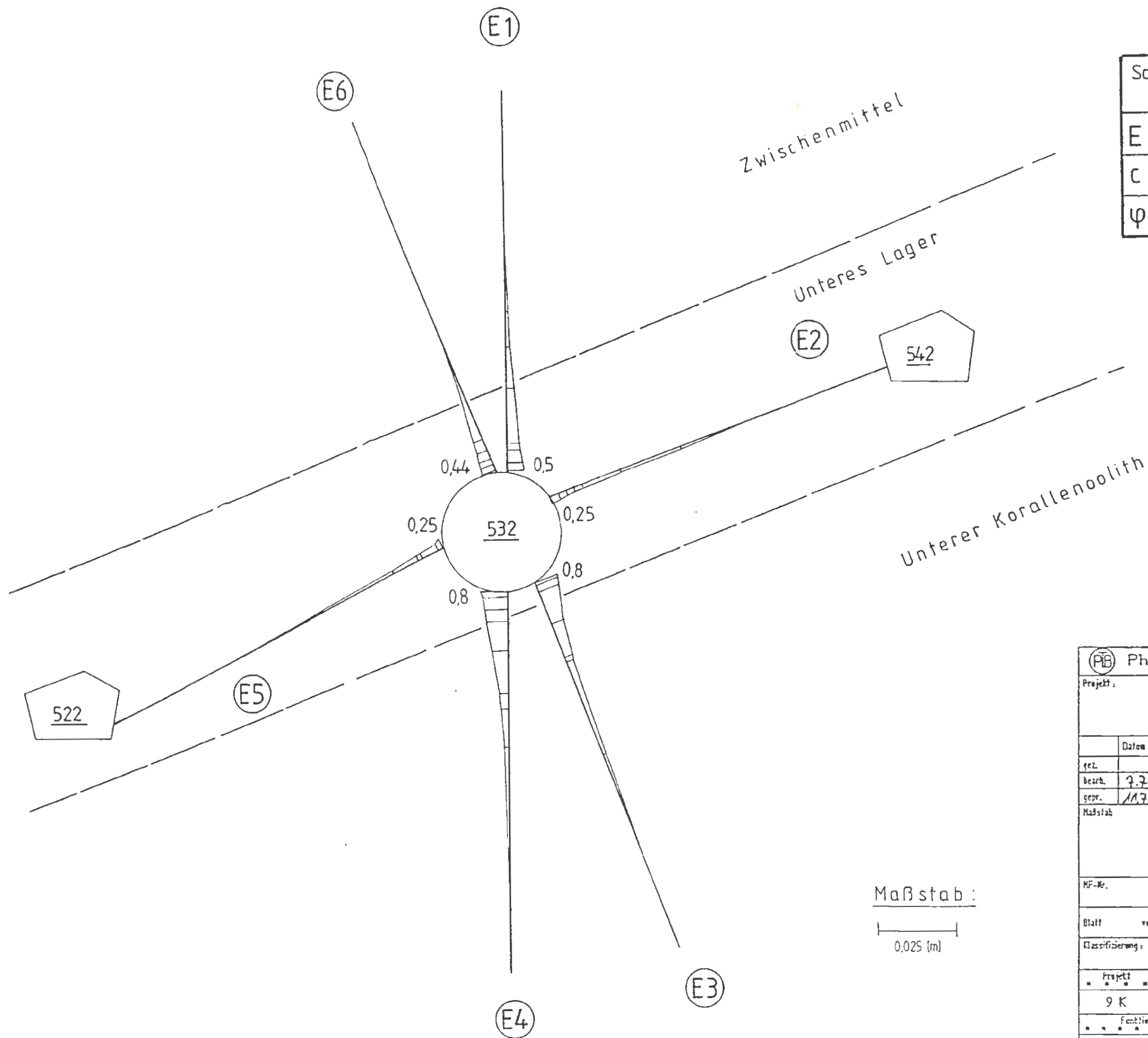


<b>PTB</b> Physikalisch-Technische Bundesanstalt			
Projekt: <b>Endlager Konrad</b>			
gez.	Datum	Name/Unterschrift	Ersteller und Zeichnungsnummer Fremd
bearb.	2.9.89	[Redacted]	[Redacted]
gepr.	11.7.89	[Redacted]	[Redacted]
Maßstab	Kammerabschlussbauwerk Modell 2		
MF-Nr.	Aus der Berechnung ( Fall K2P ) abgeleitete, in den Meßergebnissen enthaltene elastische Extensometerverschiebungen (MQ.532/6)		
Blatt	von	Blatt	
Klassifizierung:		Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor	
Projekt	PSP-Element	Objekt-Genz.	
9 K	33222.37	5500	
Funktion	Komponente	Bezugsgruppe	Aufgabe
			GHK
ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD			
Strabag Bau-AG		Sachtleben Bergbau AG	



### Kennwerte Fall K2E

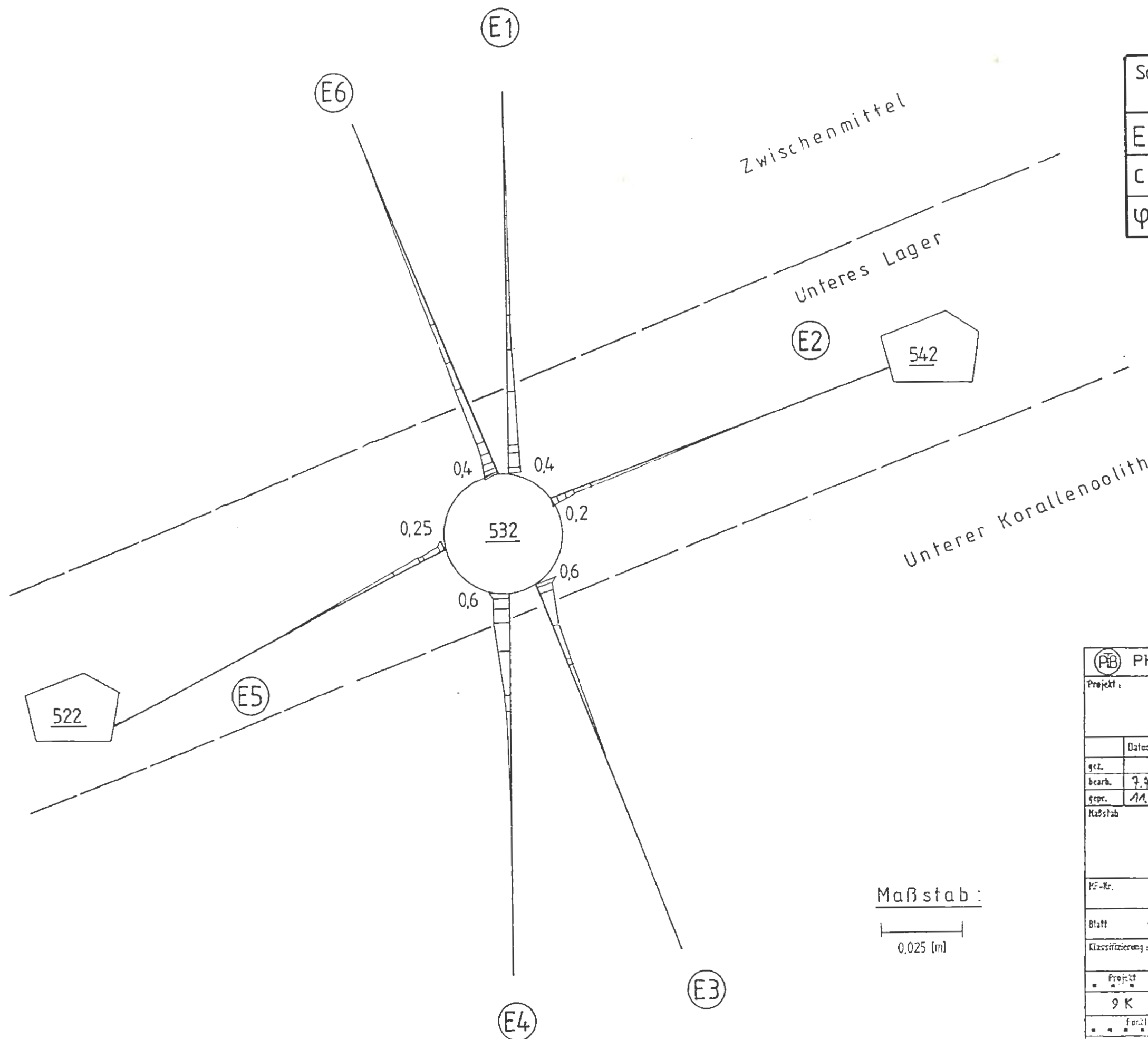
Schicht	Zwischen-lager	Unteres Lager	Unterer Korallenoolith
E [MPa]	6 000	12 000	3 000
C [MPa]	elastisch		
$\psi$ [°]	elastisch		



Physikalisch-Technische Bundesanstalt			
Projekt: <b>Endlager Konrad</b>			
	Datum	Name/Unterschrift	Ersteller und Zeichnungsnummer Fremd
geZ.			
besch.	2.7.83		Anlage 7.31
gepr.	16.7.83		
Maßstab			Kammerabschlußbauwerk Modell 2
Fall K2E 4. - 3. Rechenschritt elastische Extensometerverschiebungen			
KF-Nr.			
Blatt	von	Blatt	
Klassifizierung: <span style="float: right;">Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor</span>			
Projekt	PSP-Element		Objekt-Kennz.
9 K	33222.37		5500
Funktion	Komponent	Basengruppe	Aufgabe
			GHK
ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD Strabag Bau-AG <span style="float: right;">Sachtleben Bergbau GmbH</span>			

### Kennwerte Fall K3E

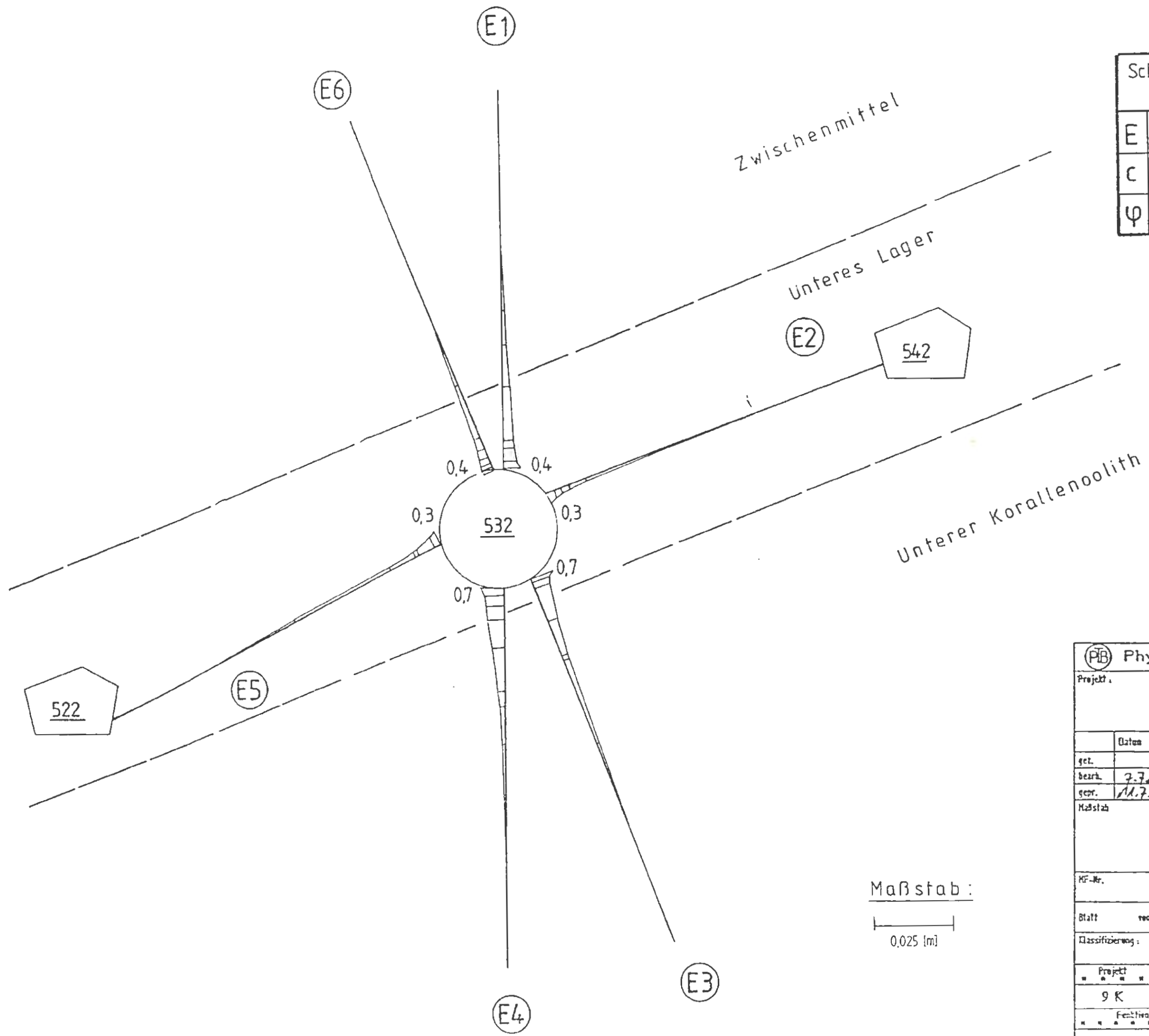
Schicht	Zwischenlager	Unteres Lager	Unterer Korallenoolith
E [MPa]	6000	18000	4000
C [MPa]	elastisch		
$\varphi$ [°]	elastisch		



Physikalisch-Technische Bundesanstalt			
Projekt: <b>Endlager Konrad</b>			
gez.	Datum	Name/Unterschrift	Ersteller und Zeichnungsnummer Fremd
bearb.	7.9.81	[Redacted]	[Redacted] Anlage 7.32
gepr.	11.7.81	[Redacted]	[Redacted]
Maßstab	immerabschlußbauwerk Modell 2 Fall K3E 4.-3. Rechenschritt elastische Extensometersverschiebungen		
MF-Nr.			
Blatt	von	Blatt	
Klassifizierung: Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor			
Projekt	PSP-Gesamt	Objekt-Kennz.	
9 K	33222.37	5500	
Funktion	Kategorie	Bezugsgruppe	Angabe
			GHK
ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD Steubag Bau-AG			
Sachtleben Baubau GmbH			

### Kennwerte Fall K4E

Schicht	Zwischenlager	Unteres Lager	Unterer Korallenoolith
E [MPa]	9000	12000	4000
C [MPa]	elastisch		
$\varphi$ [°]	elastisch		



**PTB** Physikalisch-Technische Bundesanstalt

Projekt: **Endlager Konrad**

get.	Datum	Name/Unterschrift	Ersteller und Zeichnungsnummer	Freigegeben
bezh.	2.7.89			Anlage 7.33
gepr.	11.7.89			
Maßstab	Immerabschlussbauwerk Modell 2			

Fall K 4E  
4.-3. Rechenschritt  
elastische Extensometerverschiebungen

Blatt: 100 Blatt

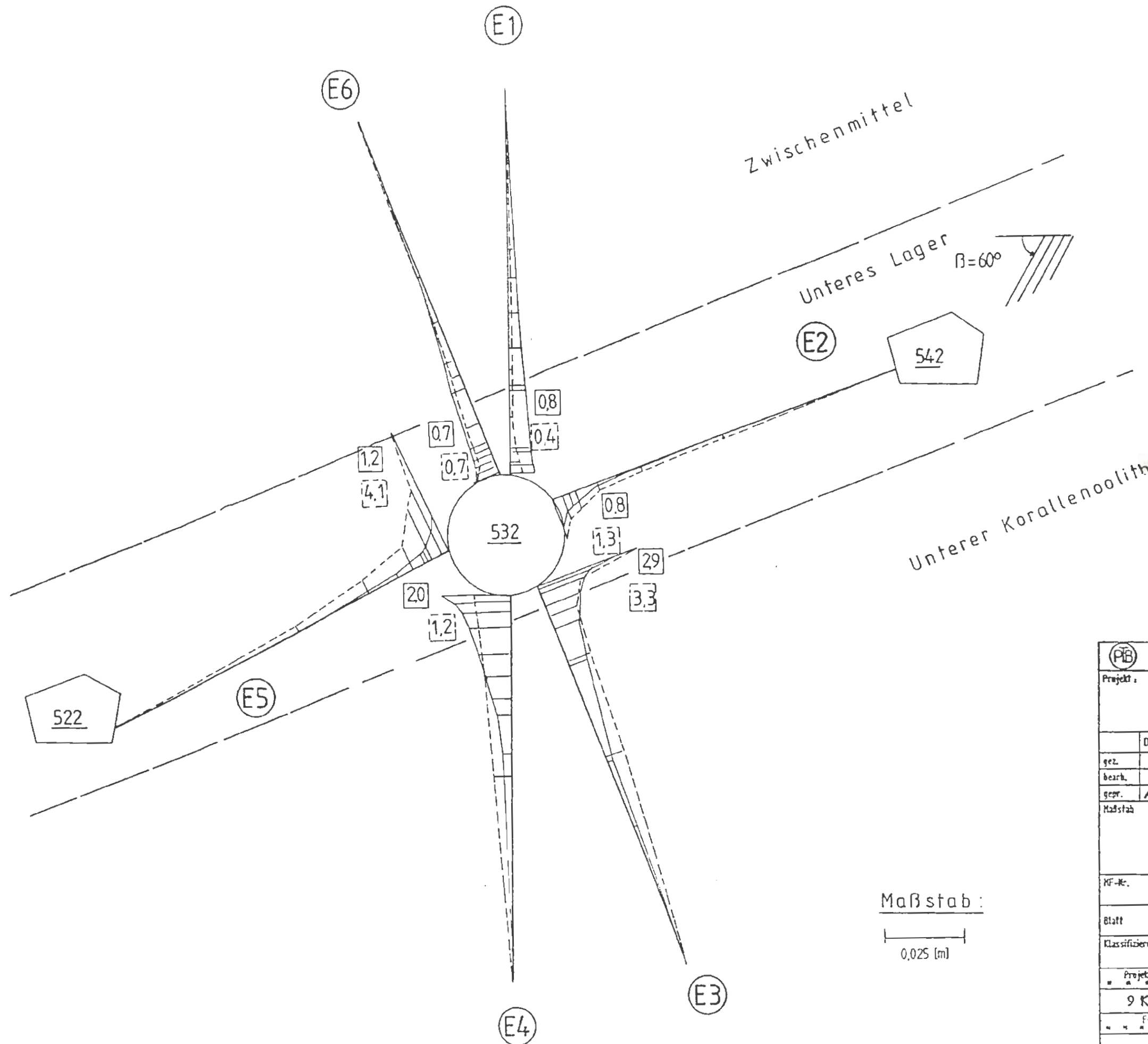
Classifizierung: Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor

Projekt	PSP-Element	Objekt-Ident.
9 K	33222.37	5500
Festlegung	Konzept	Bezuggruppe
		GHK

ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD  
Straßenbau-AG

# Kennwerte Fall K3P1

Schicht	Zwischenlager	Unteres Lager	Unterer Korallenoolith
E [MPa]	6000	18000	4000
C [MPa]	3,3	6	3,3
$\varphi$ [°]	20	25	20
$C_k$ [MPa]	—	0	—
$\varphi_k$ [°]	—	40	—
$\psi_k$ [°]	—	20	—



— Berechnungsergebnisse Fall K3P1  
 - - - - - Meßergebnisse 532/7

**PTB** Physikalisch-Technische Bundesanstalt

Projekt: **Endlager Konrad**

gez.	Datum	Name/Unterschrift	Ersteller und Zeichnungsnummer	Frei
bearb. 2.7.85				Anlage 7.34
gepr. 11.7.89				
Maßstab	mmerabschlußbauwerk			Modell 2
Meßbare Extensometerschiebungen - Vergleich Messung (MQ 532/7) und Rechnung (Fall K3P1)				
KF-Nr.	Blatt von Blatt			
Klassifizierung:			Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor	
Projekt	PSP-Element	Objekt-Kennz.		
9 K	33222.37	5500		
Funktion	Kategorie	Baugruppe	Aufgabe	GA
			GHK	

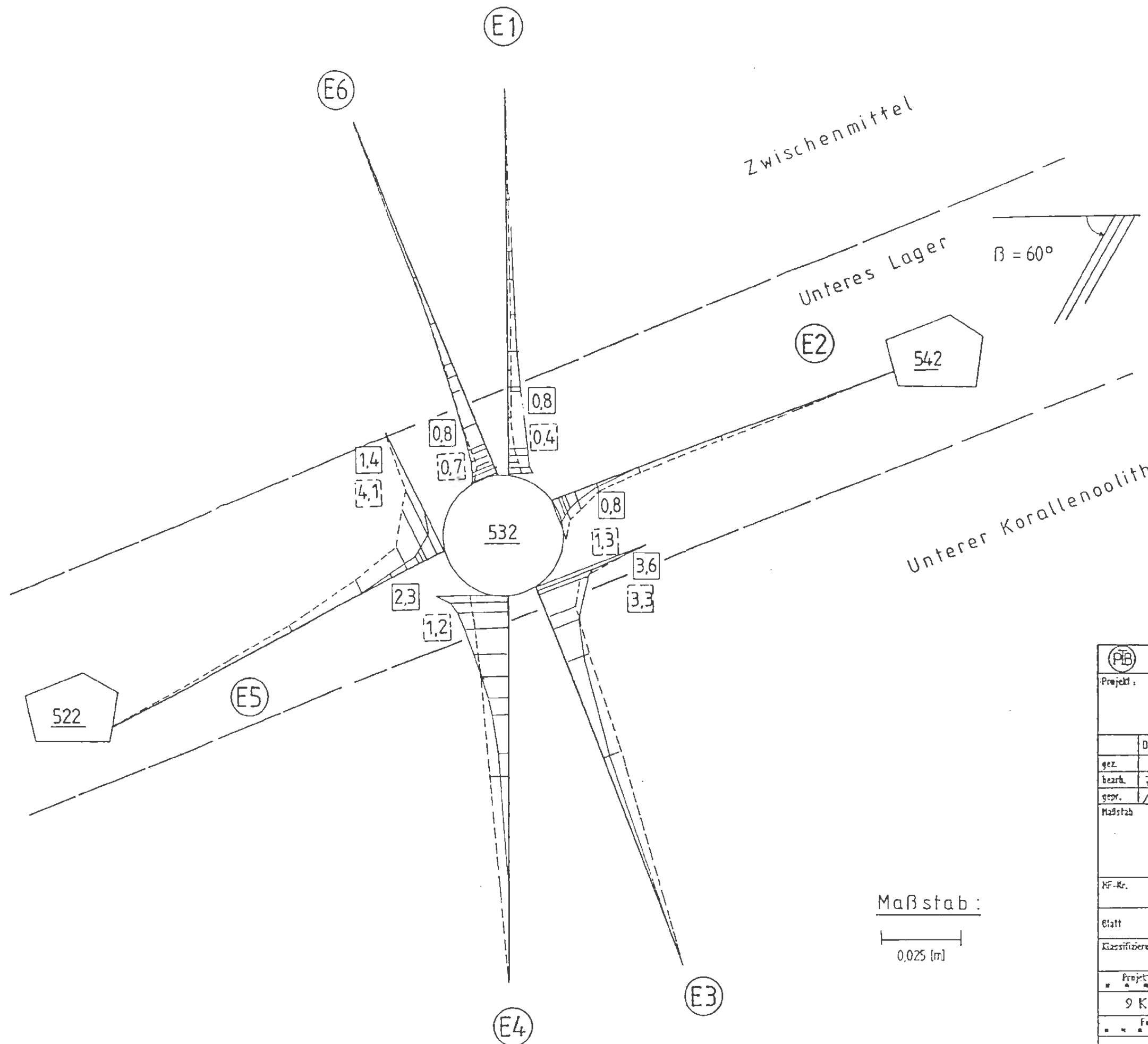
ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD  
 Strabag Bau-AG

Sachloben Betrieb: Gaf



# Kennwerte Fall K3P4

Schicht	Zwischenlager	Unteres Lager	Unterer Korallenoolith
E [MPa]	6000	18000	4000
C [MPa]	3,3	6	3,3
$\varphi$ [°]	20	25	20
$C_k$ [MPa]	—	0	—
$\varphi_k$ [°]	—	40	—
$\psi_k$ [°]	—	40	—



— Berechnungsergebnisse Fall K3P4  
 - - - - - Meßergebnisse 532/7

Maßstab:  
 0,025 [m]

**PTB** Physikalisch-Technische Bundesanstalt

Projekt: **Endlager Konrad**

gez.	Datum	Name/Unterschrift	Ersteller und Zeichnungsnummer	Anlage 7.35
bezt.	7.2.8	[Redacted]	[Redacted]	
gepr.	11.12.8	[Redacted]	[Redacted]	

Maßstab: Mineralabschlußbauwerk Modell 2

Meßbare Extensometerverschiebungen - Vergleich Messung (MQ 532/7) und Rechnung Fall K3P4

Klassifizierung: Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor

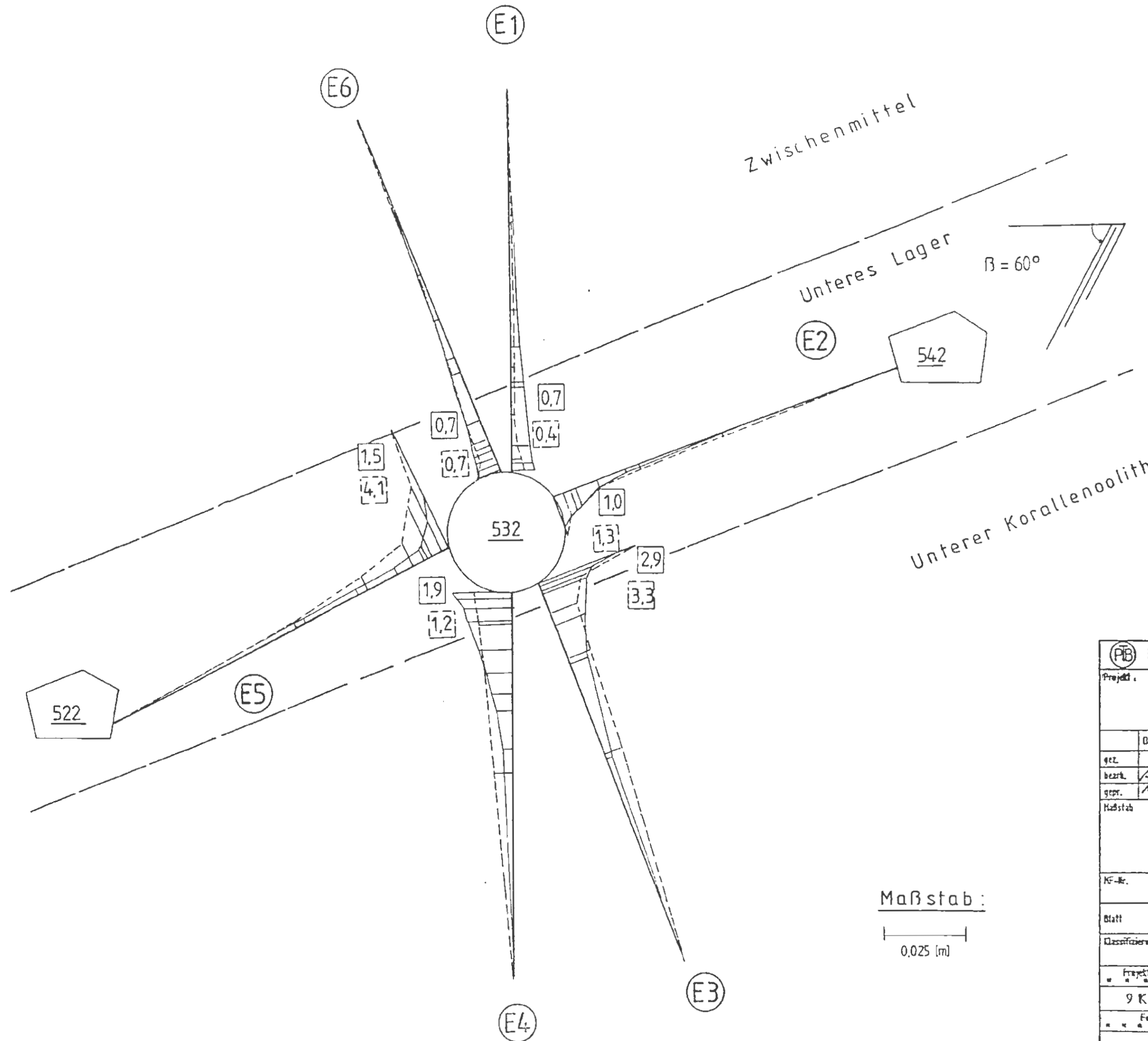
Projekt	PSP-Element	Objekt-Genaz.
9 K	33222.37	5500

Funktion	Komponente	Bagruppe	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.	Rev.
			GHK			

ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD  
 Strabag Bau-AG      Sachtleben Bergbau GmbH

# Kennwerte Fall K4P4

Schicht	Zwischenlager	Unteres Lager	Unterer Korallenoolith
E [MPa]	9000	12000	4000
C [MPa]	3,3	6	3,3
$\varphi$ [°]	20	25	20
$C_k$ [MPa]	—	0	—
$\varphi_k$ [°]	—	40	—
$\psi_k$ [°]	—	20	—



————— Berechnungsergebnisse  
 Fall K4P4  
 - - - - - Meßergebnisse 532/7

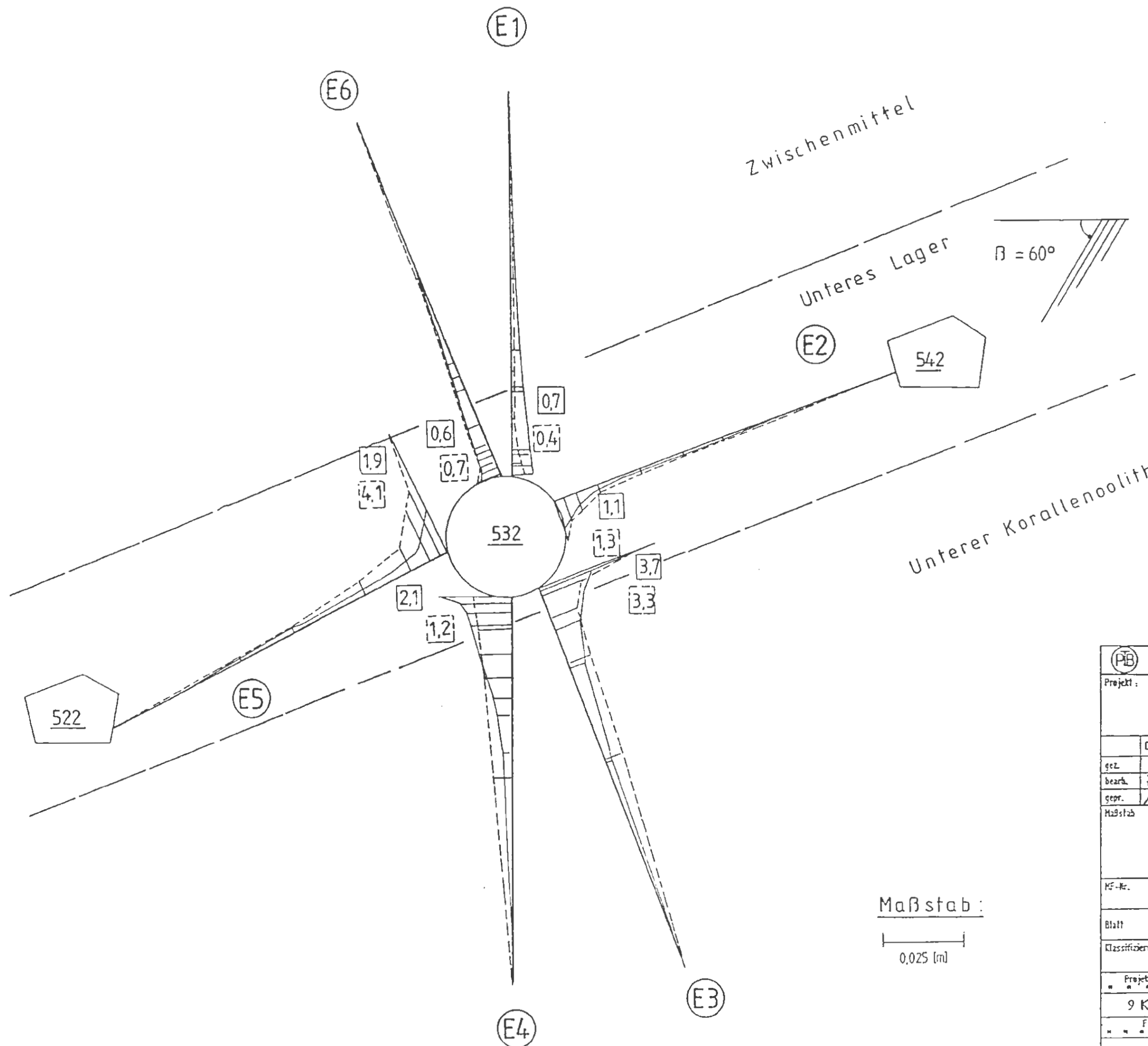
(PB) Physikalisch-Technische Bundesanstalt  
 Projekt: **Endlager Konrad**  
 Anlage 7.36  
 Messbare Extensometerverschiebungen-  
 Vergleich Messung (MQ 532/7)  
 und Rechnung (Fall K4P4)

gez.	bezr.	gepr.	Maßstab	Ersteller und Zeichnungsnummer Fremd
	14.7.89	11.7.89		
Immerabschlußbauwerk Modell 2				
Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor				
Projekt	PSP-Element	Objekt-Element		
9 K	33222.37	5500		
Fachbereich	Kennzeichn.	Basiseinheit	Aufgabe	UA
			GHK	

ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD  
 Standort: Bunsenstr. 10, 3550 Friedrichshagen

# Kennwerte Fall K4P2

Schicht	Zwischenlager	Unteres Lager	Unterer Korallenoolith
E [MPa]	9000	12000	4000
C [MPa]	3,3	6	3,3
$\varphi$ [°]	20	25	20
$C_k$ [MPa]	-	0	-
$\varphi_k$ [°]	-	40	-
$\psi_k$ [°]	-	40	-



————— Berechnungsergebnisse  
 Fall K4P2  
 - - - - - Meßergebnisse 532/7

PTB Physikalisch-Technische Bundesanstalt

Projekt: Endlager Konrad

	Datum	Name/Unterschrift	Ersteller und Zeichnungsnummer	Fremd
gez.				
bearb.	7.9.89			Anlage 7.37
gepr.	14.7.89			
Maßstab			Kammerabschlußbauwerk	Modell 2

Meßbare Extensometerverschiebungen-  
 Vergleich Messung ( MQ 532/7 )  
 und Rechnung ( Fall K4P2 )

Maßstab:  
 0,025 [m]

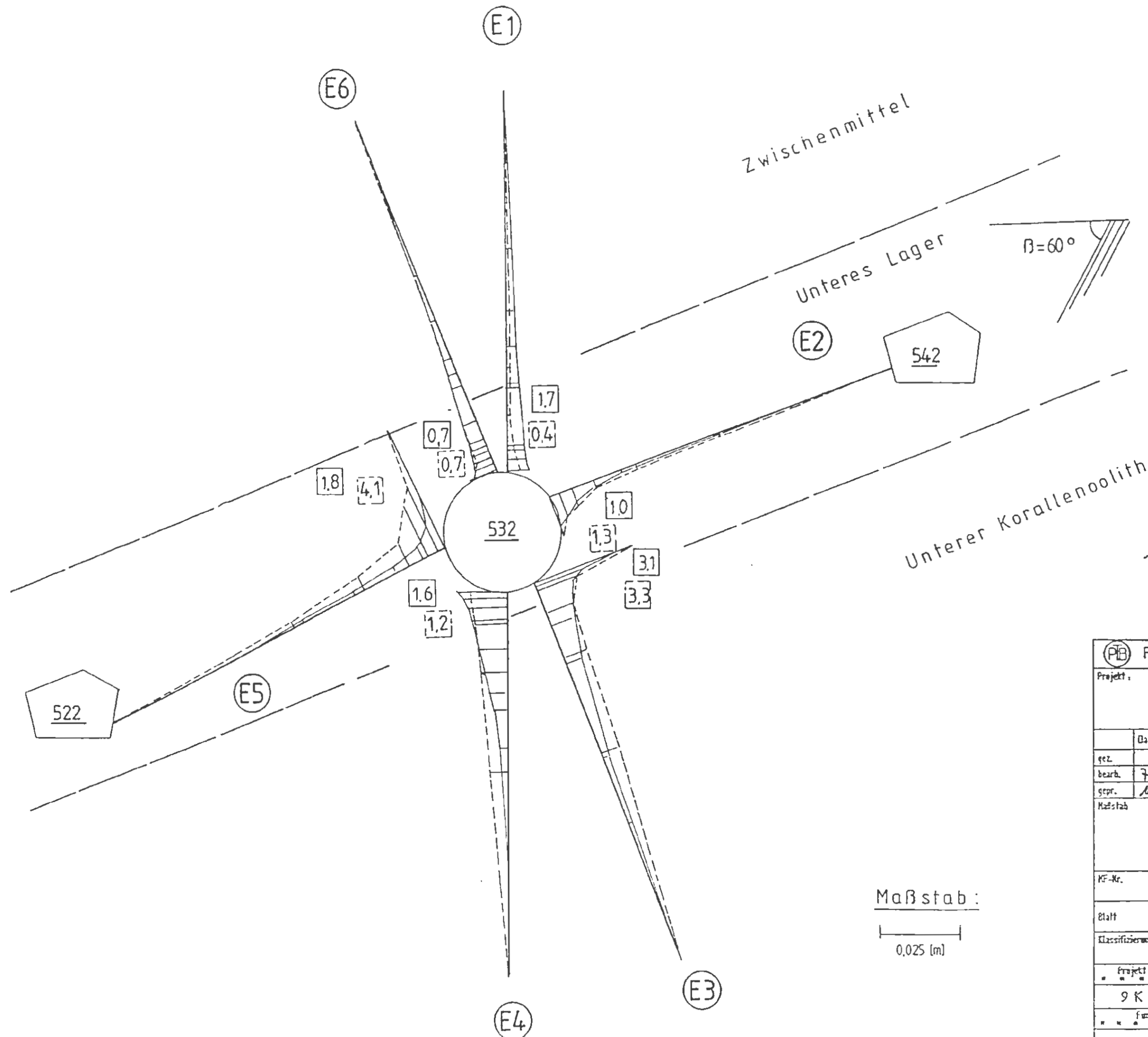
Klassifizierung: Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor

Projekt	PSP-Element	Objekt-Genz.
9 K	33222.37	5500
Funktion	Kategorie	Basengruppe
		GHK

ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD  
 Strabag Bau-AG      Sachtleben Bergbau GmbH

# Kennwerte Fall K4P5

Schicht	Zwischenlager	Unteres Lager	Unterer Korallenoolith
E [MPa]	9 000	12 000	5 000
C [MPa]	3,3	6	3,3
$\varphi$ [°]	20	25	20
$C_k$ [MPa]	—	0	—
$\varphi_k$ [°]	—	40	—
$\psi_k$ [°]	—	40	—



——— Berechnungsergebnisse  
 Fall K4P5  
 - - - - - Meßergebnisse 532/7

**PTB** Physikalisch-Technische Bundesanstalt

Projekt: **Endlager Konrad**

gez.	Name/Unterschrift	Ersteller und Zeichnungsnummer Fremd	Anlage
bearb.	7.7.87		7.38
gepr.	M.F.E.		
Maßstab		Kammerabschlußbauwerk	Modell 2

Meßbare Extensometerverschiebungen - Vergleich Messung (MQ 532/7) und Rechnung ( Fall K4P5 )

Klassifizierung: Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor

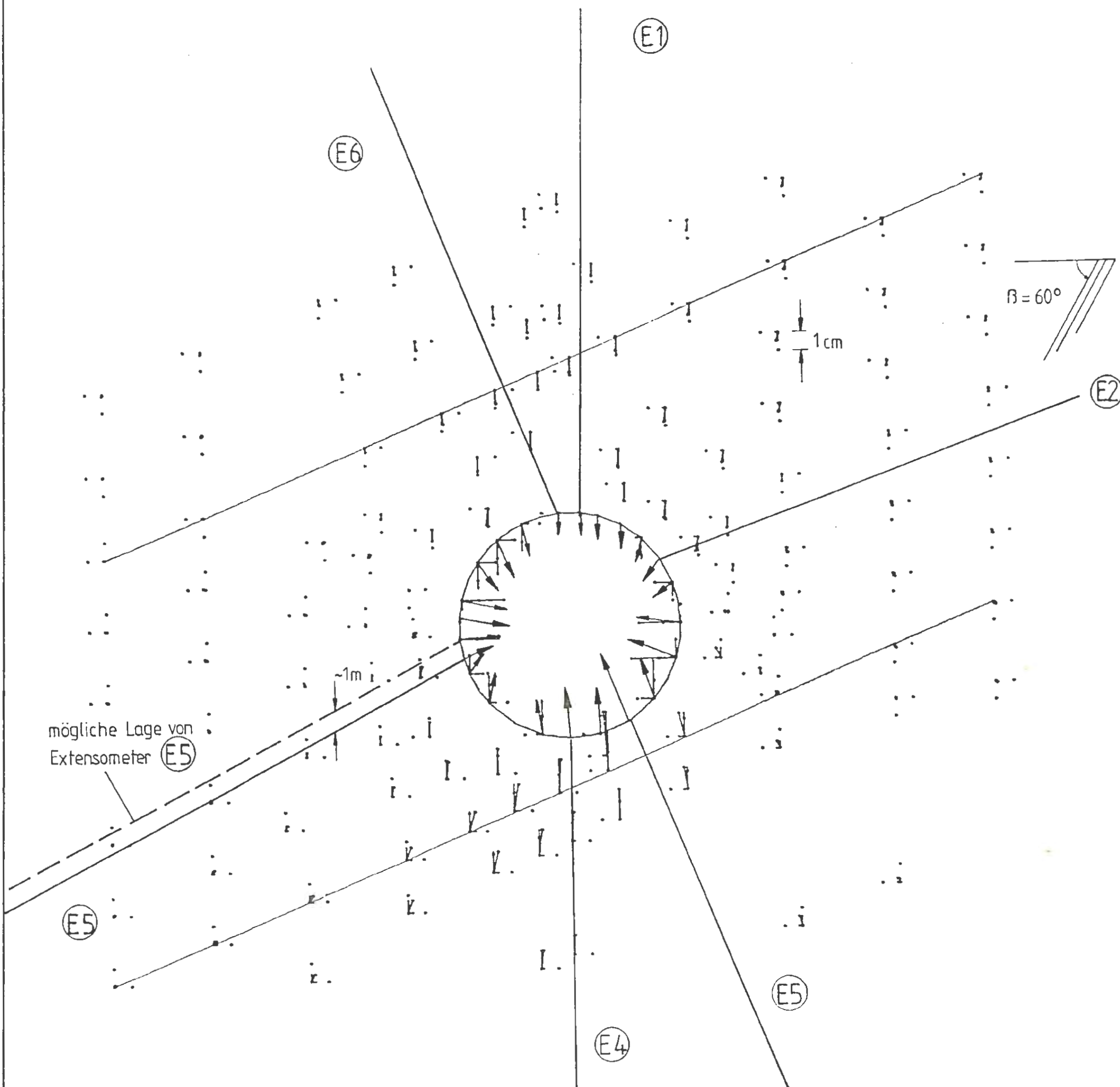
Projekt	PSP-Element	Objekt-Kennz.
9 K	33222.37	5500
Funktion	Komponente	Baugruppe
		Aufgabe
		GHK

ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD  
 Strabag Bau-AG      Sachtleben Bergbau GmbH



# Kennwerte Fall K4P2

Schicht	Zwischenlager	Unteres Lager	Unterer Korallenoolith
E [MPa]	9000	12000	4000
C [MPa]	3,3	6	3,3
$\varphi$ [°]	20	25	20
$C_k$ [MPa]	—	0	—
$\varphi_k$ [°]	—	40	—
$\psi_k$ [°]	—	40	—



**PTB** Physikalisch-Technische Bundesanstalt

Projekt: **Endlager Konrad**

gez.				Anlage
bezh.	7.7.89			7.39
geor.	11.7.89			
Maßstab				Modell 2

Fall K4P2  
4.-3. Rechenschritt  
Verschiebungen im Bereich der  
Aufweitung Strecke 532

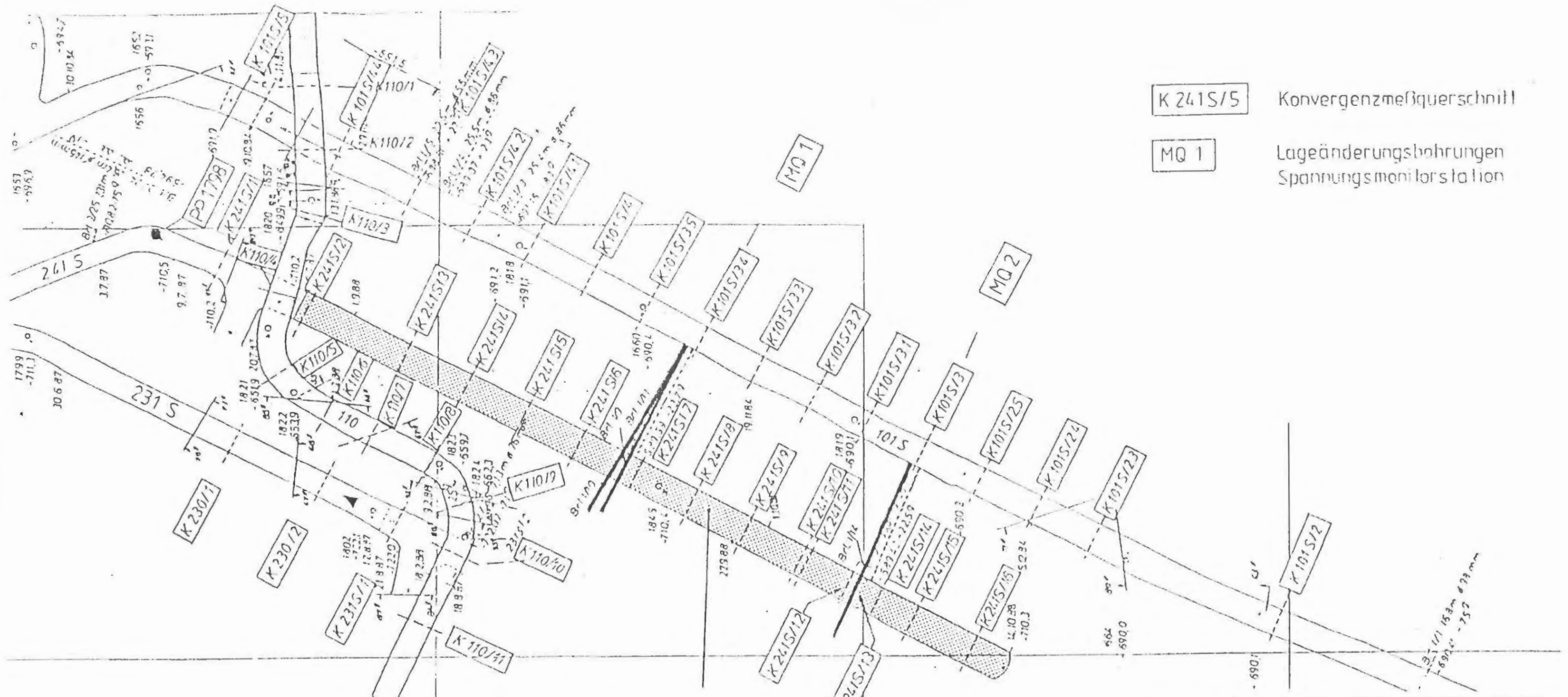
Blatt von Blatt

Classifizierung: Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor

Projekt	PSP-Element	Objekt-Kez.
9 K	33222.37	5500
Funktion	Komponent	Baugruppe
		GHK

ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD  
Strabag Bau-AG

Sachtleben Bergbau GmbH



K 241S/5 Konvergenzmeßquerschnitt  
 MQ 1 Lageänderungsbohrungen Spannungsmonitorstation

vom 30.8. - 14.10.88 aufgefahrener Teil der Strecke 241 S



nach Grubenbild der Schachtanlage Konrad

Physikalisch-Technische Bundesanstalt					
Projekt: Endlager Konrad					
gez.	Datum	Nam./Unterschrift	Ersteller und Zeichnungsnummer Fremd		Anlage
bearb.	5.7.85				8.1
gepr.	10.7.85				
Maßstab	immer geschultes Maßwerk				Modell 2
			Lageplan der Versuchskammer 241 S mit Anordnung der Meßeinrichtungen [31]		
Blatt		von	Blatt		
Klassifizierung: Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor.					
Projekt	PSP-Element		Objekt-Granz		
9 K	33222.37		5500		
Familie	Component	Gruppe	Aufgabe	Dr.	Lfd. Nr.
			GHK		
ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD					
Strabag Bau-AG			Schichtleben Bergbau GmbH		

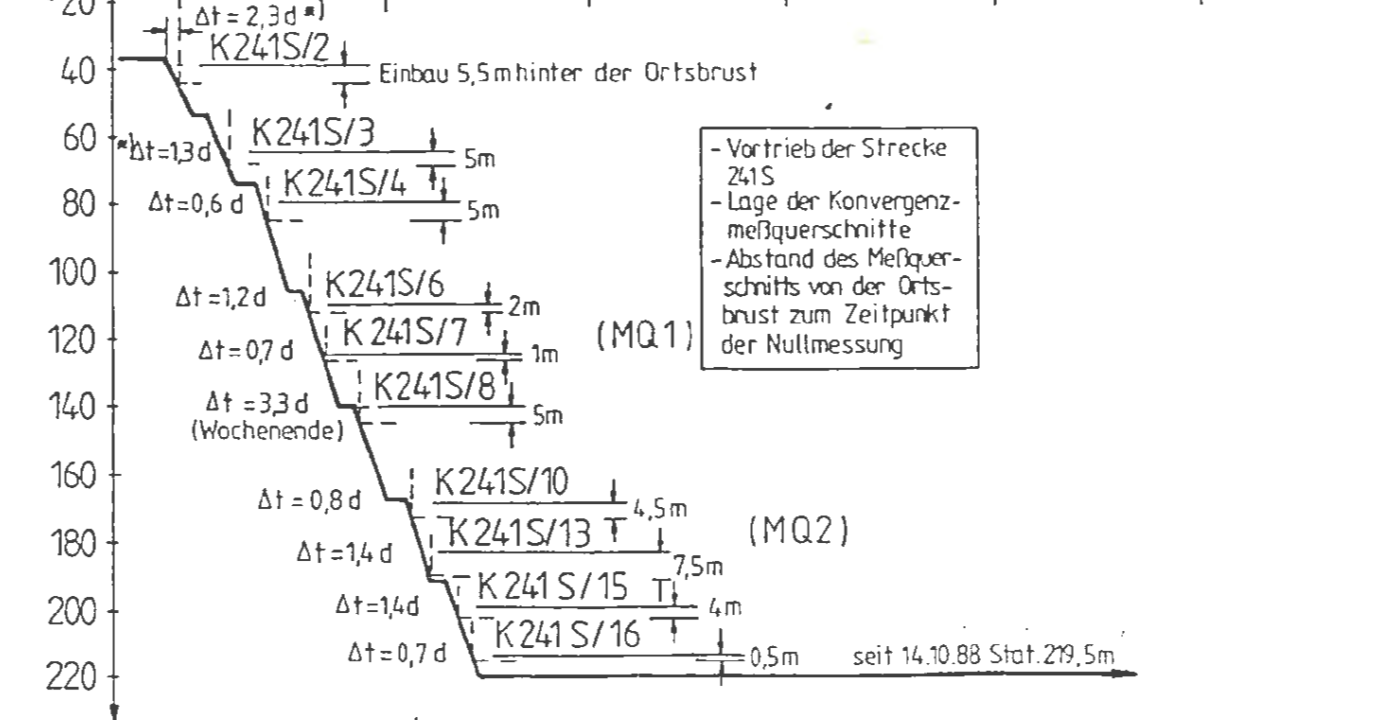
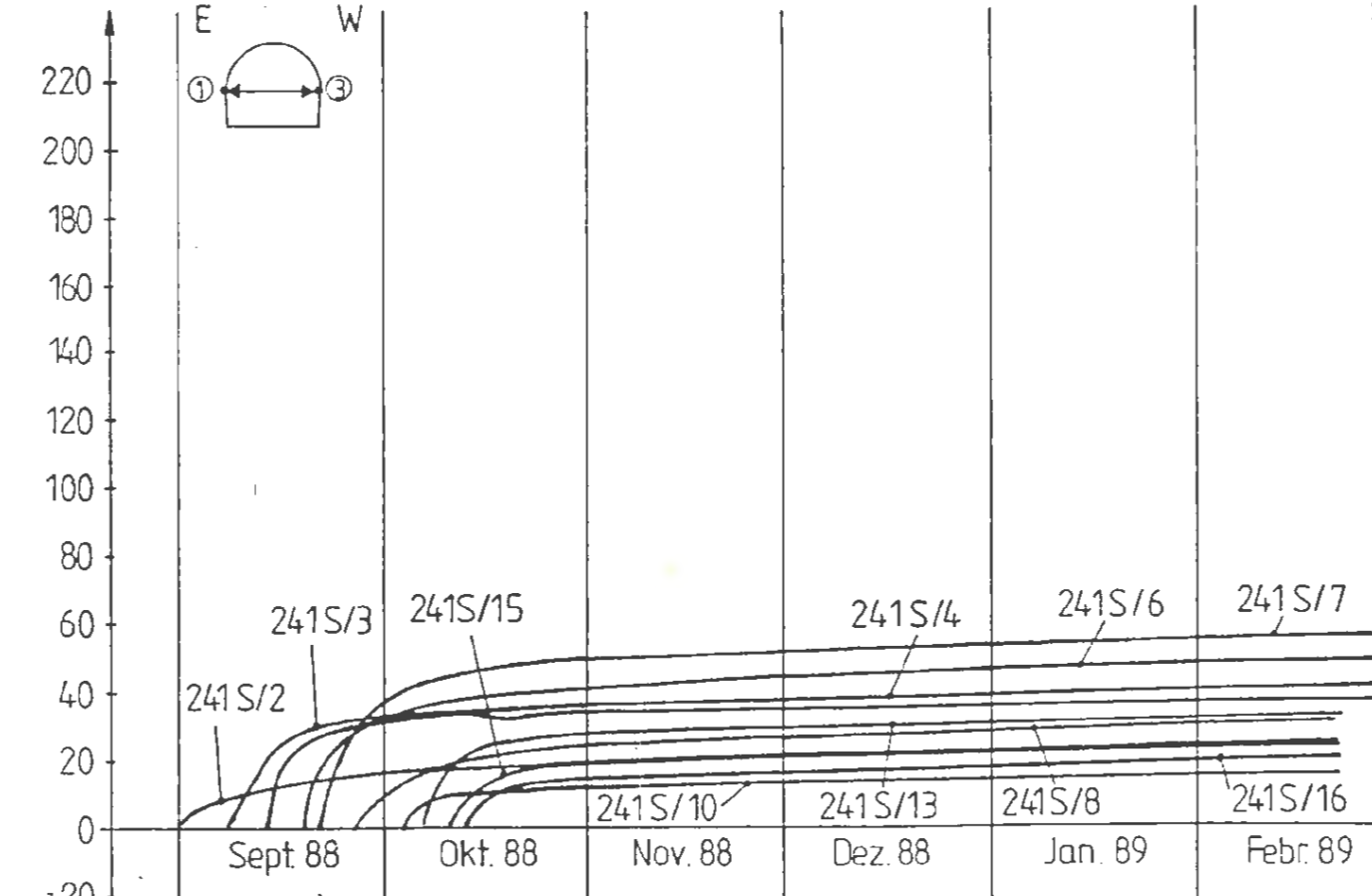








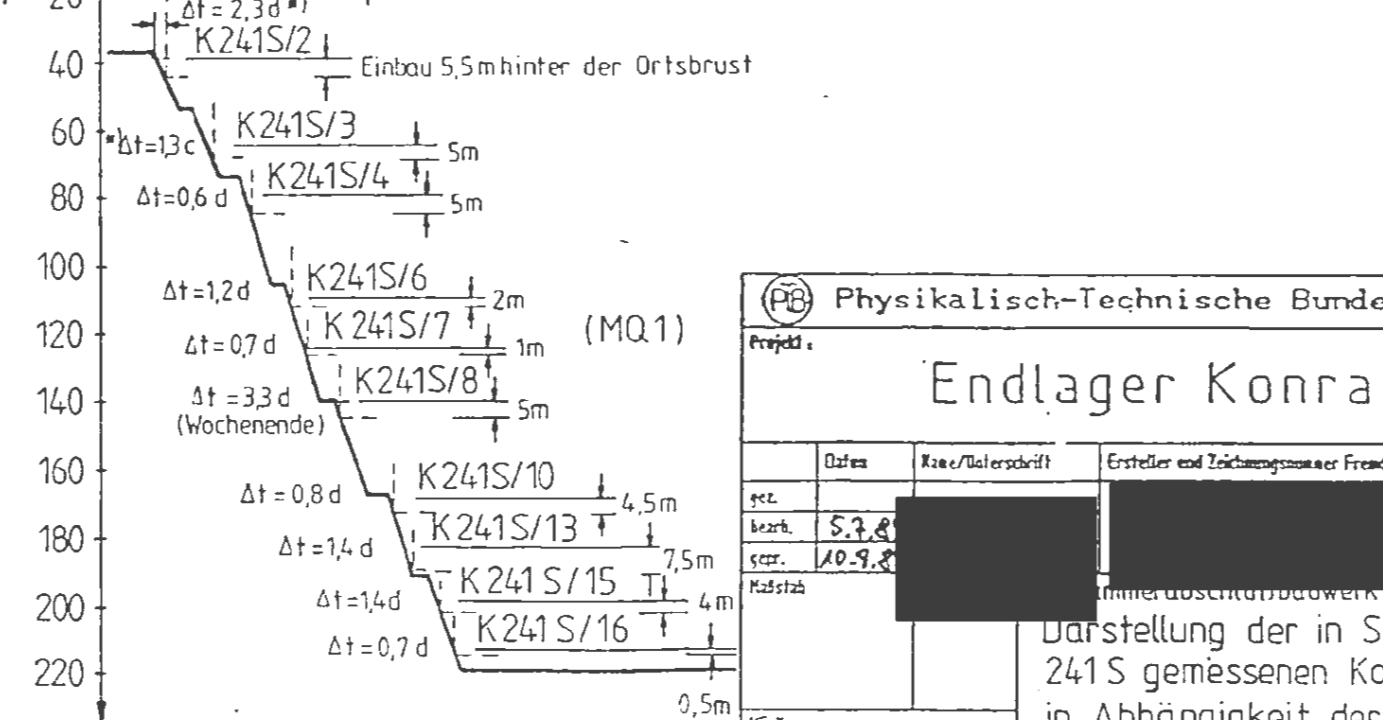
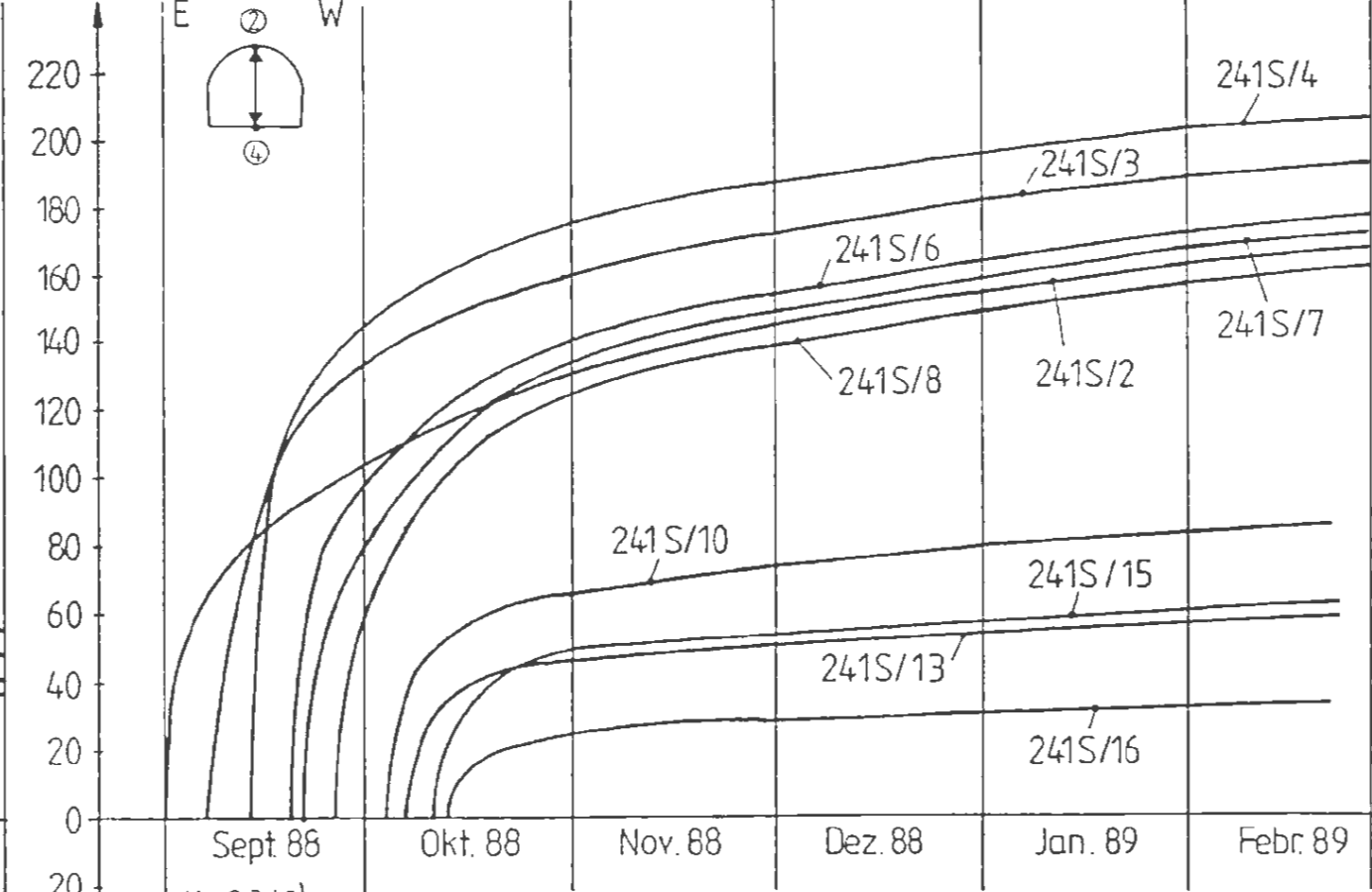
horizontale Konvergenz [mm]



- Vortrieb der Strecke 241S
- Lage der Konvergenzmeßquerschnitte
- Abstand des Meßquerschnitts von der Ortsbrust zum Zeitpunkt der Nullmessung

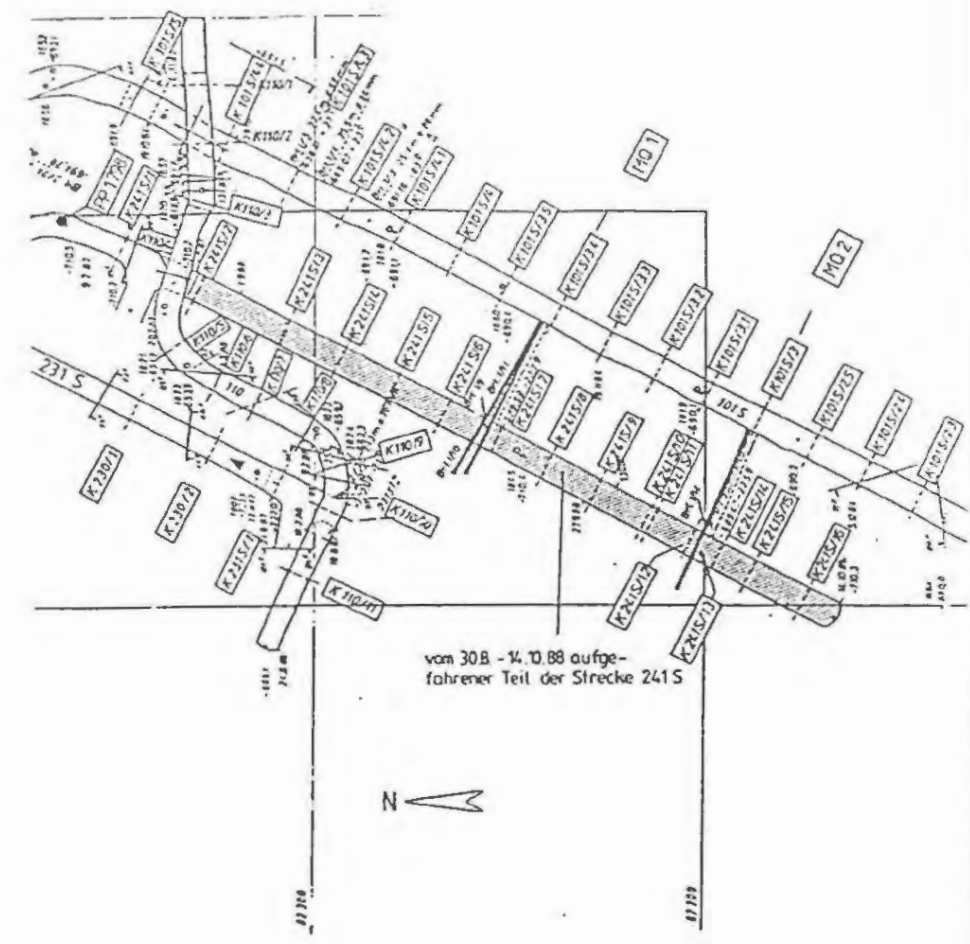
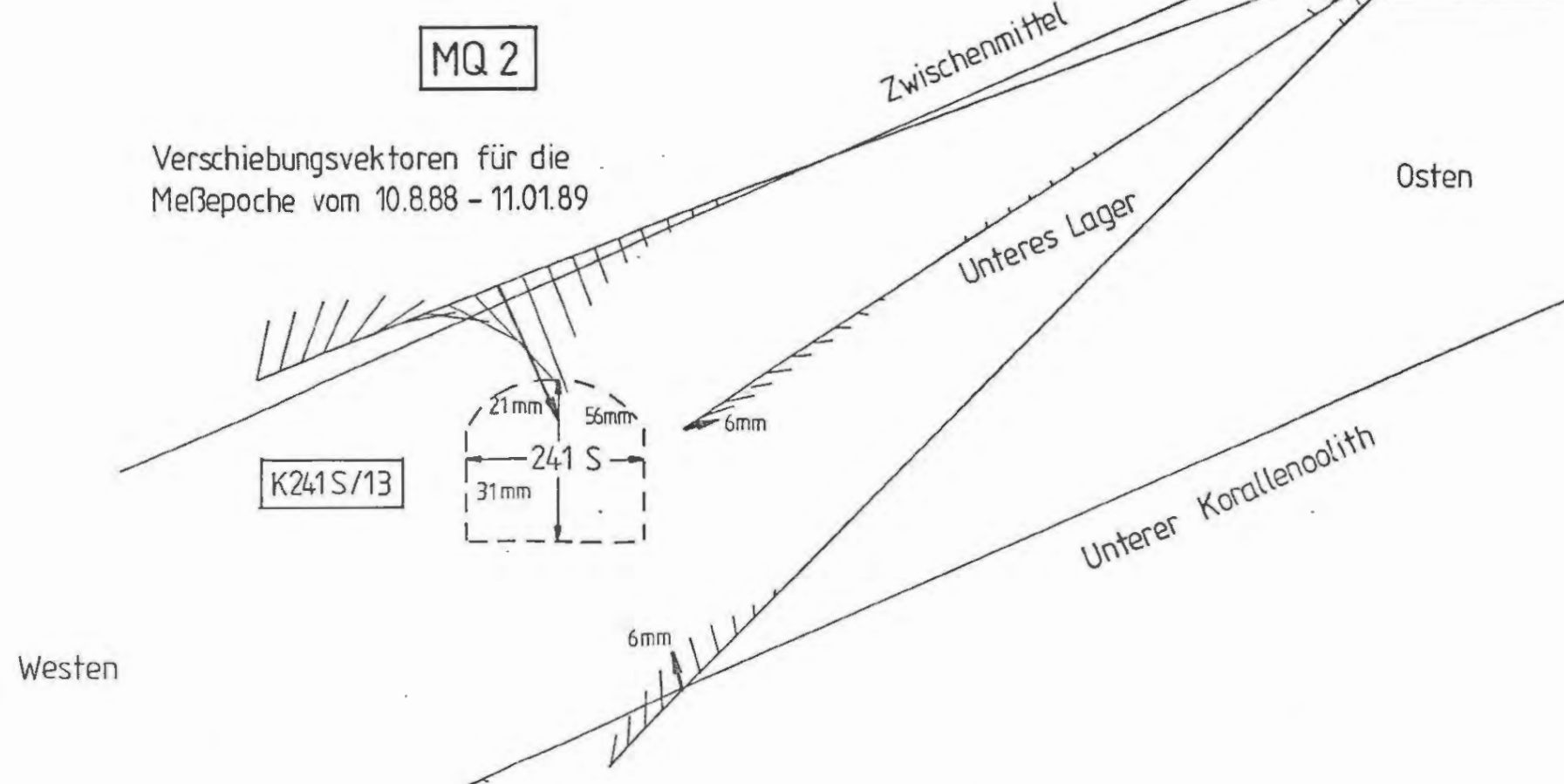
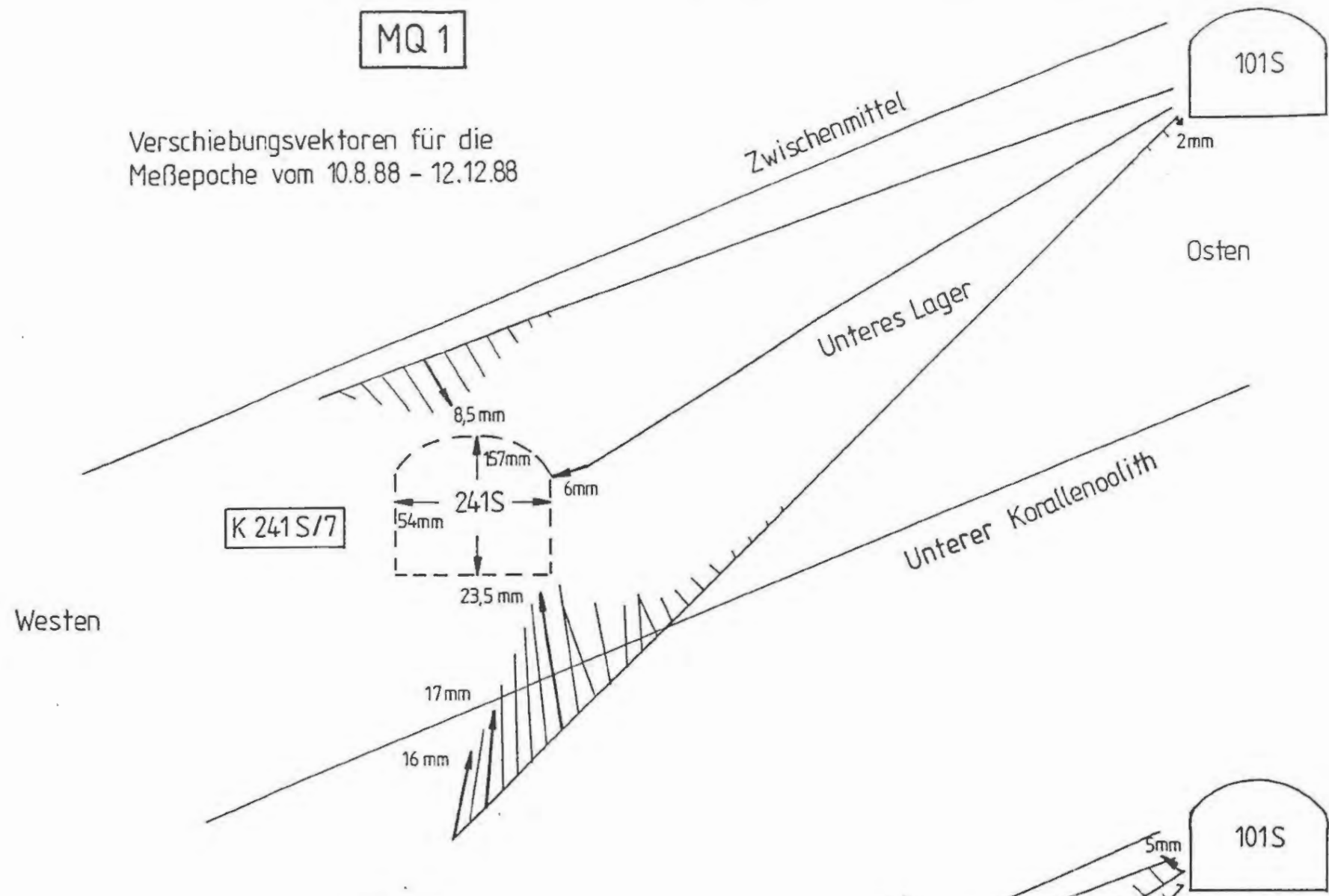
Station [m] bezogen auf PP1798

vertikale Konvergenz [mm]



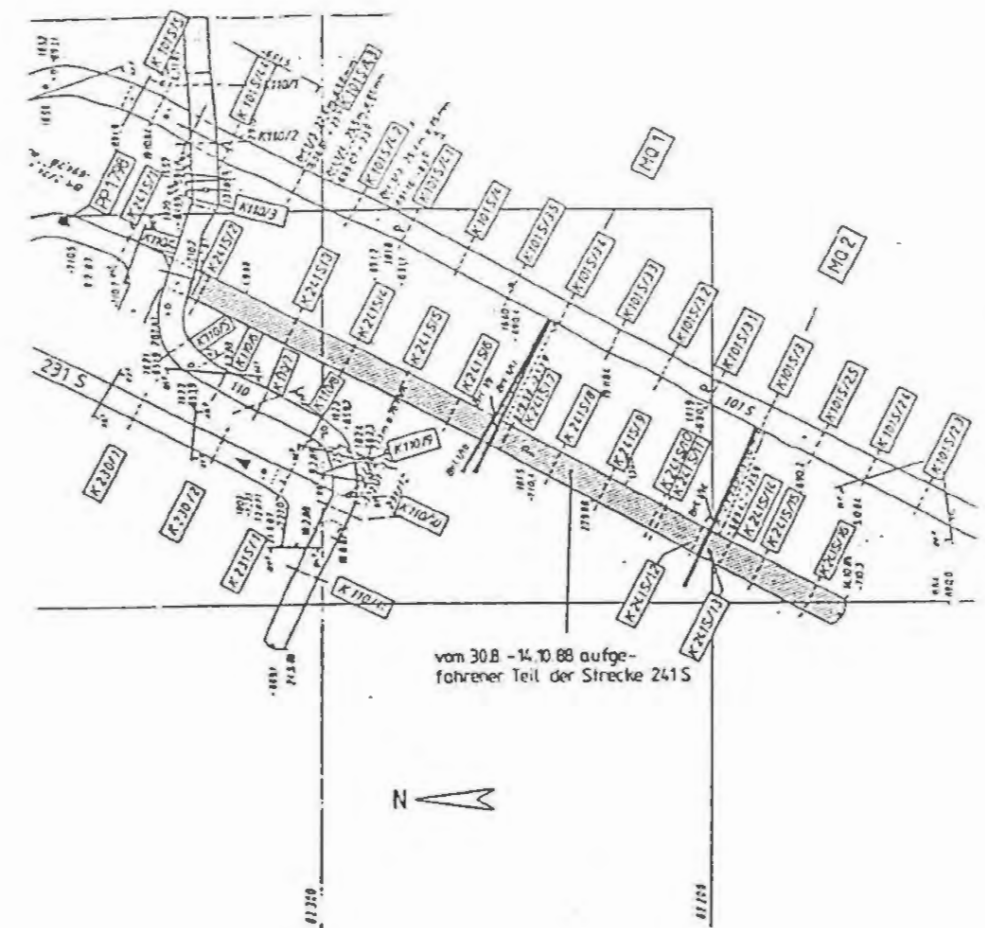
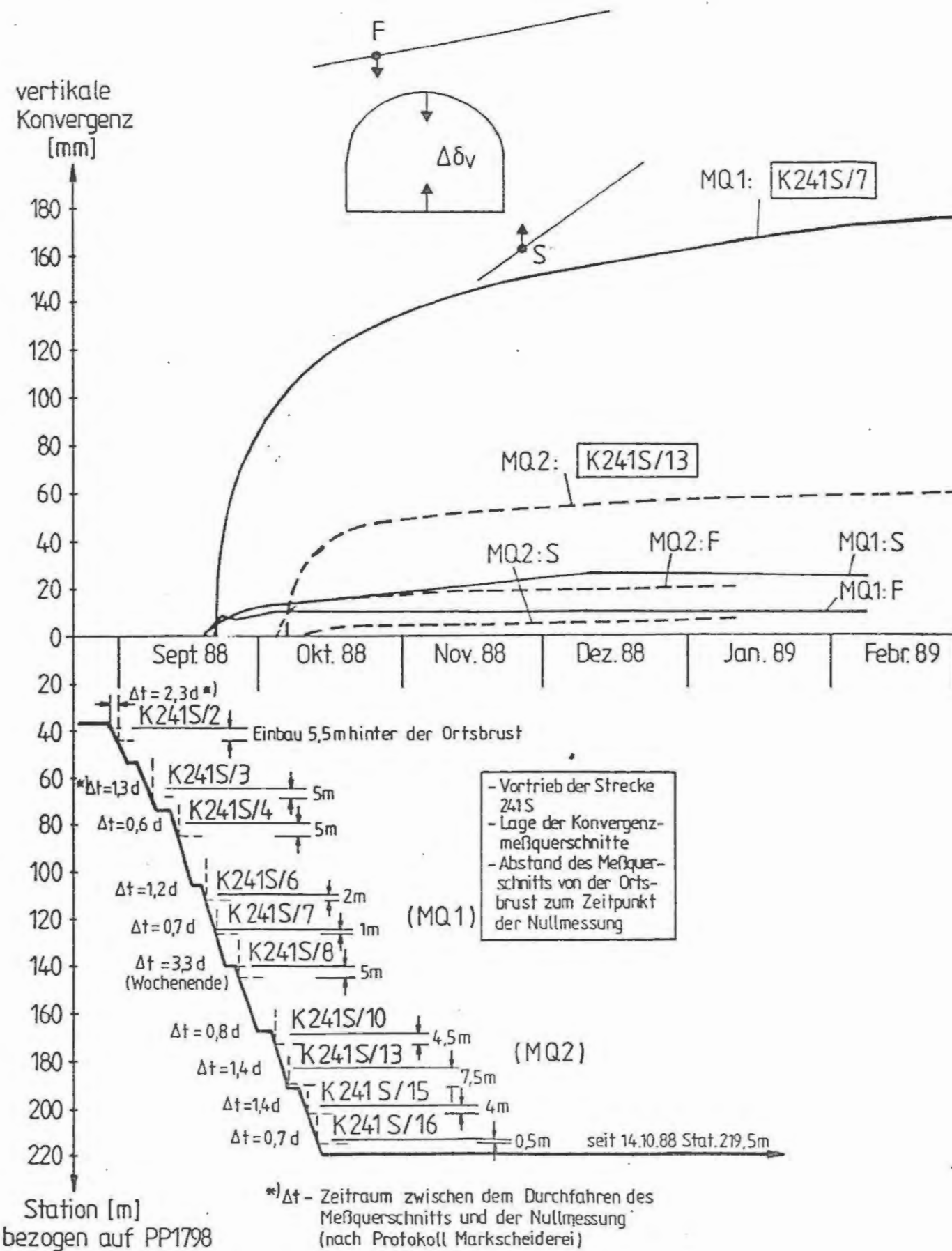
Station [m] bezogen auf PP1798

Physikalisch-Technische Bundesanstalt					
Projekt: Endlager Konrad					
Datum	Nr./Unterschrift	Ersteller und Zeichnungsnummer Fremd			
gez.		Anlage			
bezt.	5.7.88	8.4			
scr.	10.9.88				
Maßstab		Modell 2			
Darstellung der in Strecke 241S gemessenen Konvergenzen in Abhängigkeit der Zeit					
Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor					
Projekt	PSP-Element	Objekt-Kennz.			
9 K	33222.37	5500			
Funktion	Komponente	Bezugsgruppe	Austrage	GA	Lfd.Nr.
			GHK		
ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD					
Strabag Bau-AG			Sachtleben Bergbau GmbH		



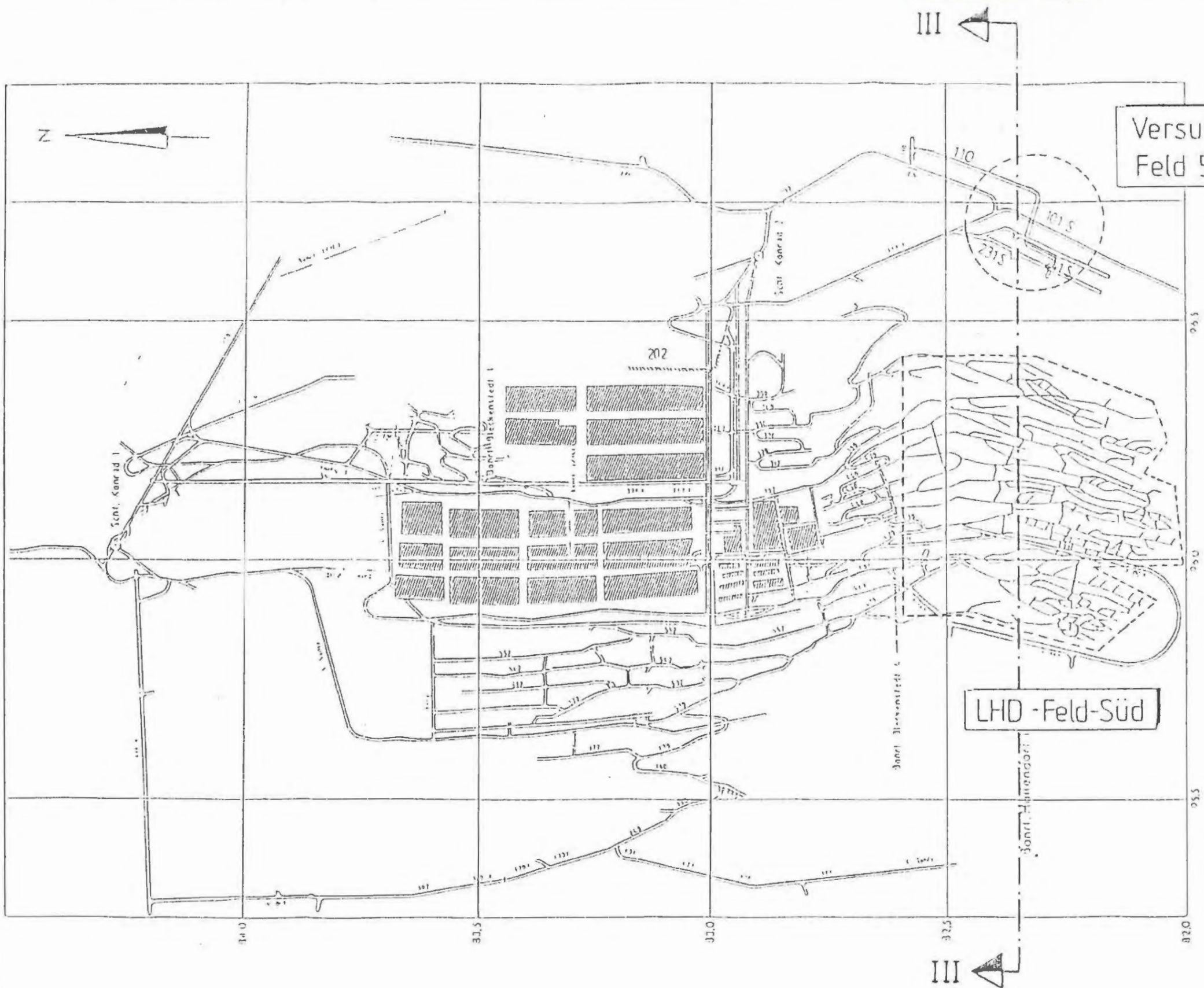
<b>PTB</b> Physikalisch-Technische Bundesanstalt					
Projekt: <b>Endlager Konrad</b>					
	Datum	Name/Unterschrift	Ersteller und Zeichnungsnummer Fremd		
gez.					Anlage
bearb.	5.7.89				8.5
gepr.	10.7.89				
Maßstab			Innenabstrichbauwerk Modell 2		
Darstellung der in den Lageänderungsbohrungen gemessenen Verformungen [35]					
Nr.-Nr.					
Blatt	von	Blatt			
Classifizierung:			Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor		
Projekt	PSP-Element		Objekt-Kennz.		
9 K	33222.37		5500		
Funktion	Komponente	Bezugsgruppe	Aufgabe	QA	Lfd.Nr.
			GHK		
ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD					
Strabag Bau-AG			Sachtleben Bergbau GmbH		





Physikalisch-Technische Bundesanstalt					
Projekt: Endlager Konrad					
Datum	Name/Unterschrift	Ersteller und Zeichnungsnummer Fremd			
gez.		Anlage			
bearb.	5.7.89	8.6			
gepr.	10.7.89	Merabschlußbauwerk Modell 2			
Kaßzahl		Vertikale Konvergenzen und Vertikalverschiebungen in den Lageänderungsbohrungen in Abhängigkeit von der Zeit			
Nr.-Nr.					
Blatt	von	Blatt			
Klassifizierung: Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor					
Projekt	PSP-Element	Objekt-Kennz.			
9 K	33222.37	5500			
Funktion	Empfang:	Bezugsgruppe	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.
			GHK		
ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD					
Strabag Bau-AG			Sachtleben Bergbau GmbH		



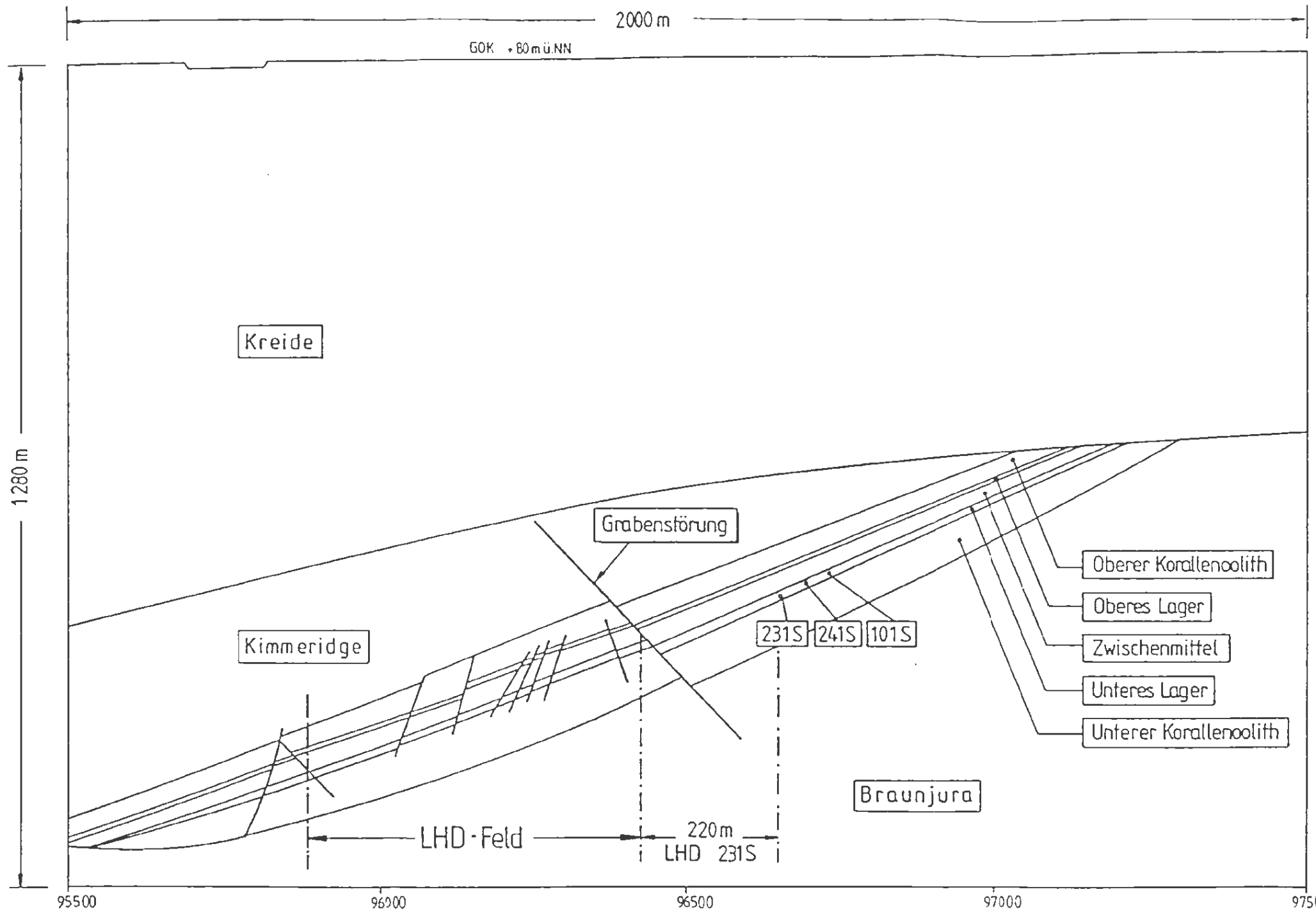


# Übersichtsriß der Schachtanlage Konrad

nach Grubenbild der Schachtanlage Konrad

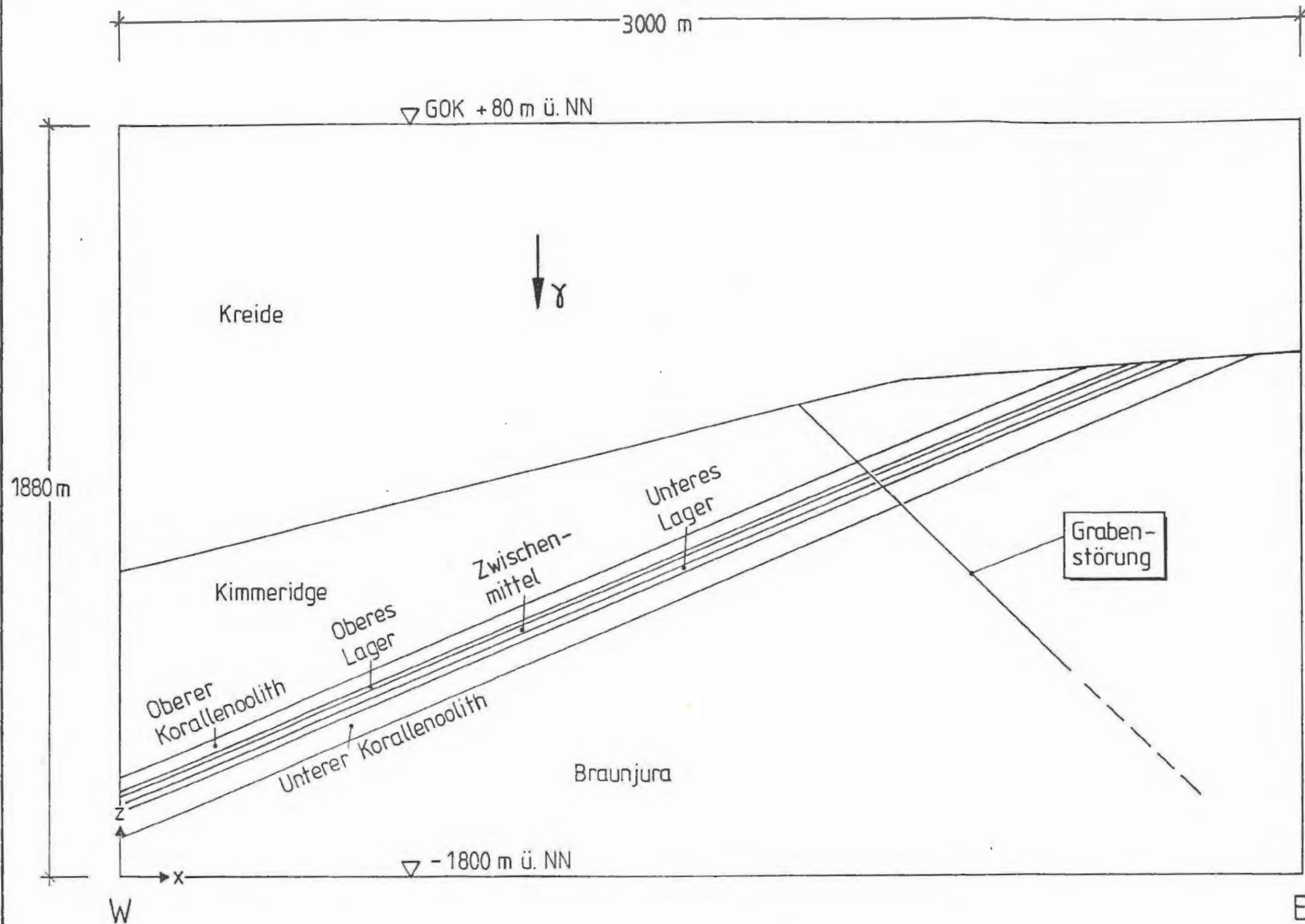
Physikalisch-Technische Bundesanstalt					
Projekt: <b>Endlager Konrad</b>					
	Datum	Name/Unterschrift	Ersteller und Zeichnungsnummer		
gezeichnet	6.7.85	[Redacted]	[Redacted]	Anlage	9.1
bearbeitet	14.7.85	[Redacted]	[Redacted]		
geprüft					
Maßstab			Kammerabschlußbauwerk Modell 2		
Nr. Nr.			Grundriß der Schachtanlage Konrad		
Blatt 100 Blatt			Betrachteter Schnitt III - III im Bereich des LHD-Feldes-Süd		
Klassifizierung:			Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor		
Projekt	PSP-Element	Dhrit-Lernnr.			
9 K	33222.37	5500			
Funktion	Komponente	Bezeichnung	Aufgabe	MA	Ud Nr.
			Gilt		
ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD					
Steinag Bau-OG			Sachtleben Bergbau GmbH		



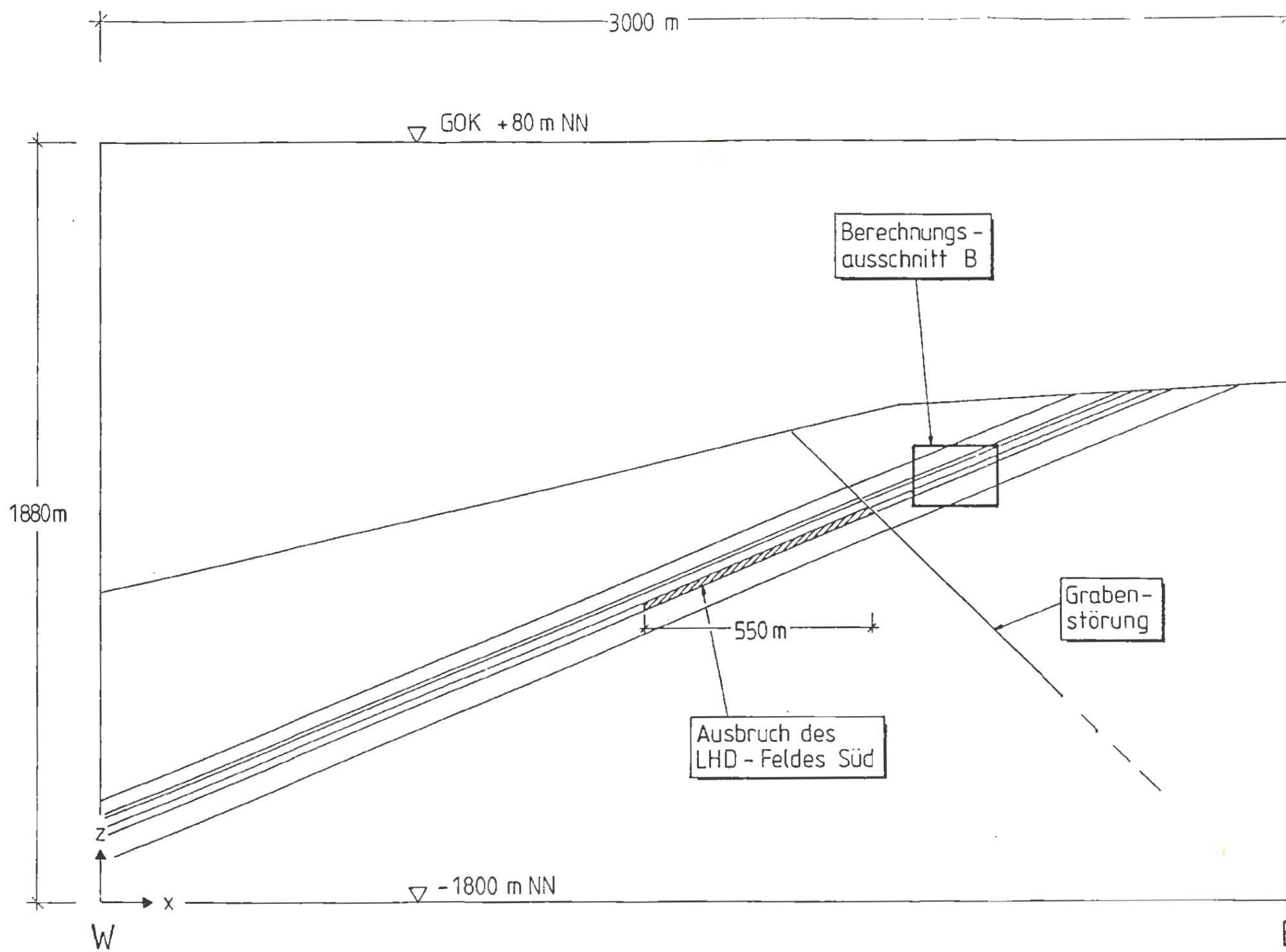


Vertikalschnitt III-III (vgl. Anlage 9.1)

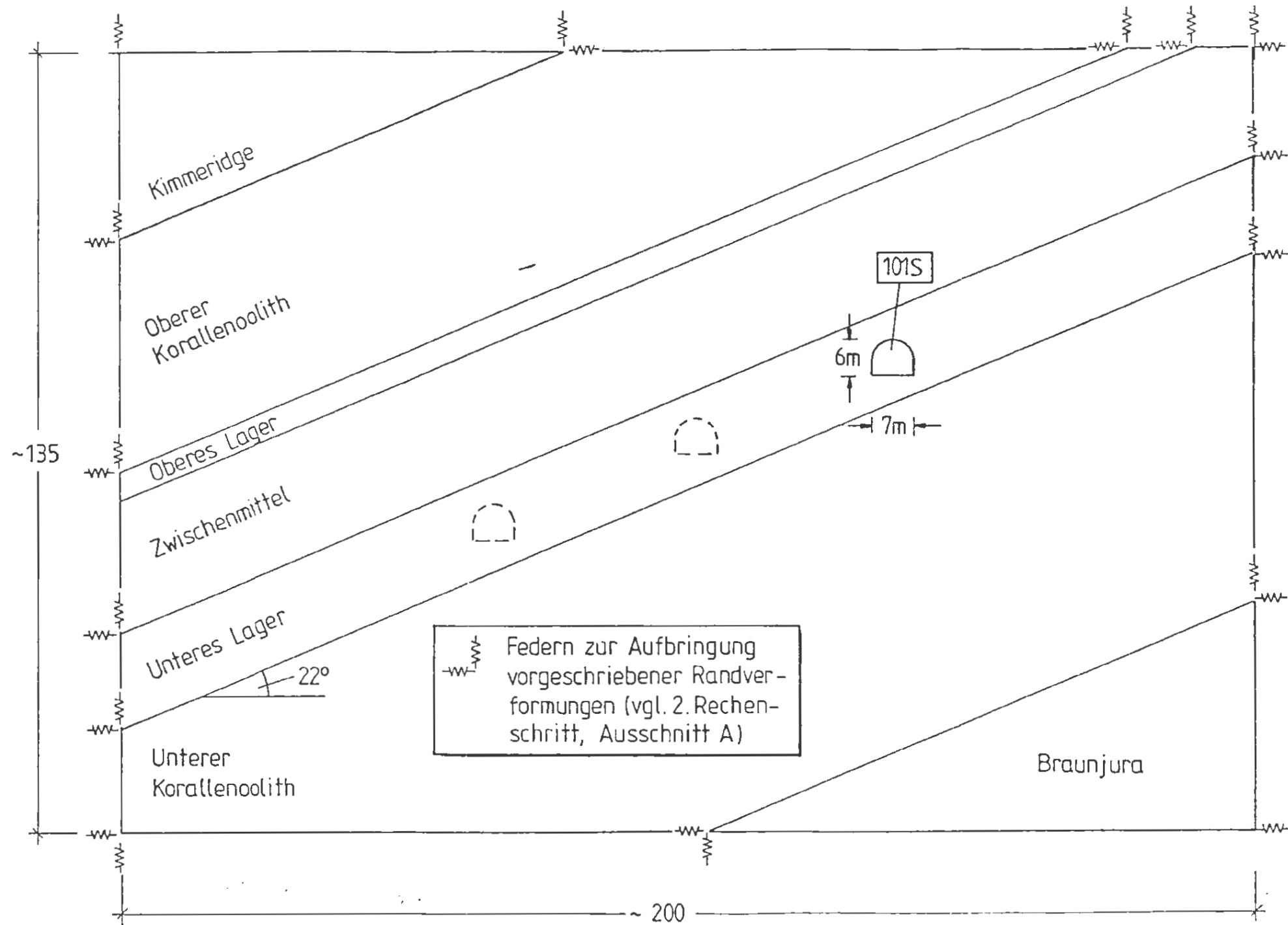
Physikalisch-Technische Bundesanstalt			
Projekt: <b>Endlager Konrad</b>			
gez.	Datei	Name/Unterschrift	Ersteller und Zeichnungsnummer
bezk.	6-7-89	[Redacted]	[Redacted]
gepr.	11-7-89	[Redacted]	[Redacted]
Maßstab	1:10000 (immerduschnittdauerwerk Modell 2)		
Blatt von Blatt		Vertikalschnitt III - III Profil W - E auf H82350	
KF-Nr.		Anlage 9.2	
Klassifizierung: Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor			
Projekt	P.P.-Element	Objekt-Kennz.	
9 K	33222.37	5500	
Funktion	Komponente	Gruppe	Aufgabe
			GHK



Physikalisch-Technische Bundesanstalt										
Projekt: <b>Endlager Konrad</b>										
gez.										Anlage
bearb.	6.2.89									9.3
gepr.	11.7.89									
Maßstab	1:1000000									Modell 2
Berechnungsausschnitt A:										
1. Rechenschritt - Primärzustand										
Nr.-Nr.										
Blatt	von								Blatt	
Klassifizierung: <span style="float: right;">Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor</span>										
Projekt	PSP-Element			Objekt-Kennz.						
9 K	33222.37			5500						
Funktion	Komponente	Gruppe	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.	Rev.				
			GHK							
ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD										
Strabag Bau-AG					Sachtleben Bergbau GmbH					

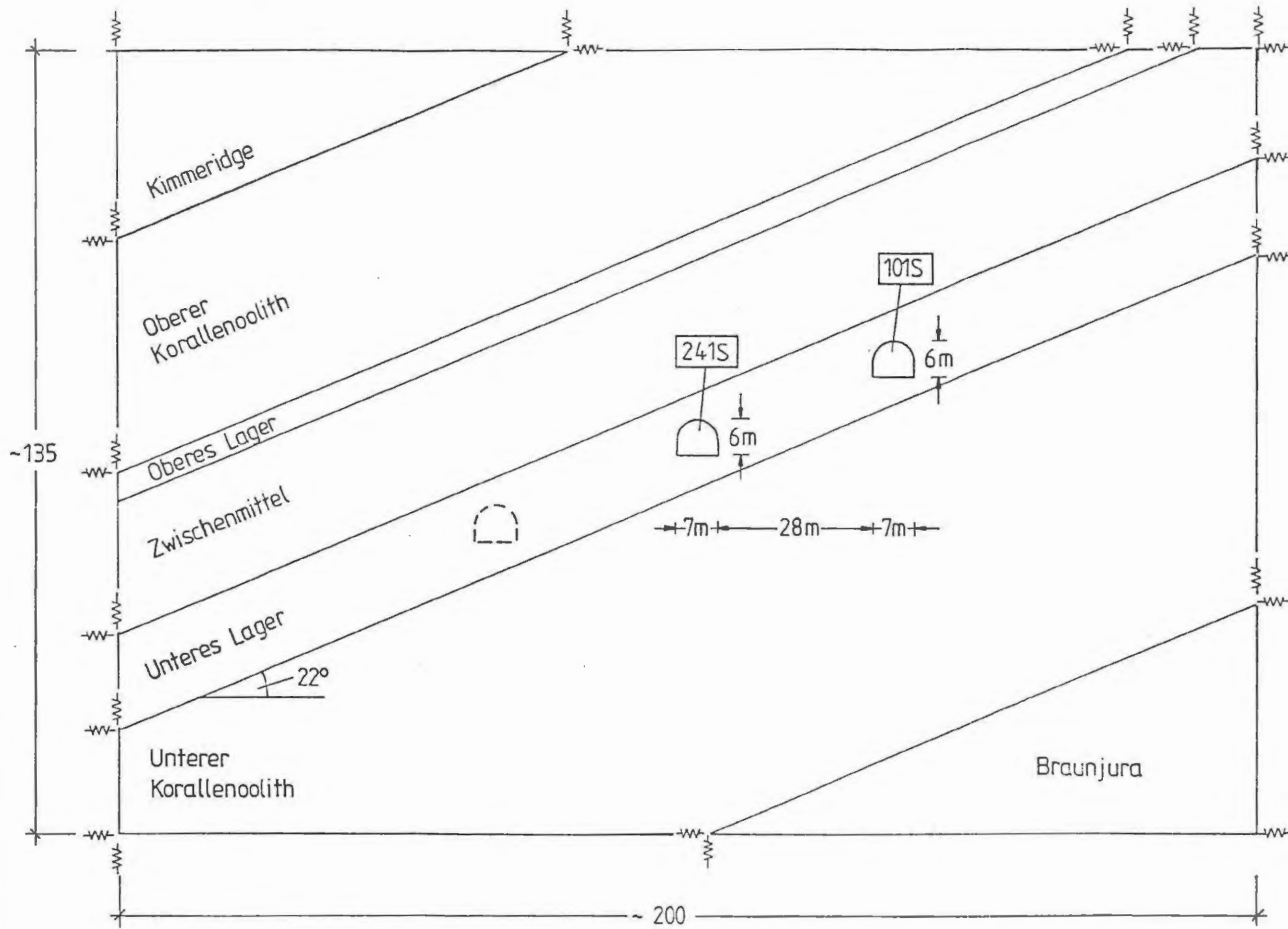


Physikalisch-Technische Bundesanstalt						
Projekt: <b>Endlager Konrad</b>						
	Datum	Name/Unterschrift	Ersteller und Zeichnungsnummer Fremd			
gez.						Anlage
bezh.	6.7.89					9.4
gepr.	11.7.89					
Maßstab			Kammerabschlussbauwerk Modell 2 Berechnungsausschnitt A: 2. Rechenschritt - Ausbruch LHD - Feld - Süd			
KF-Nr.						
Blatt	von	Blatt				
Klassifizierung:			Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor			
Projekt	PSP-Element		Objekt-Kez.			
9 K	33222.37		5500			
Funktion	Komponente	Basgruppe	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.	Rev.
			GHK			
ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD Strabag Bau-AG <span style="float: right;">Sachtleben Bergbau GmbH</span>						

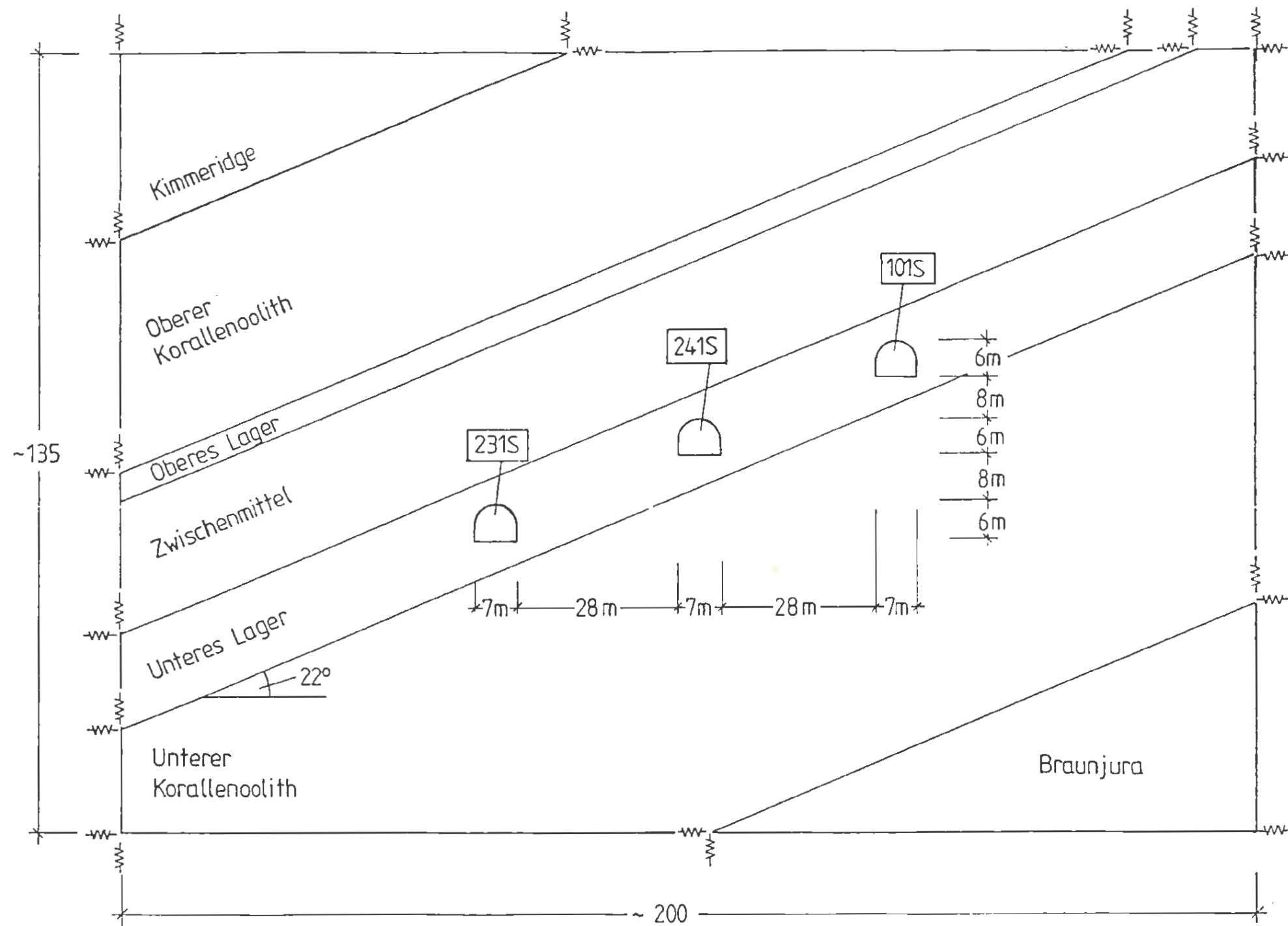


Physikalisch-Technische Bundesanstalt					
Projekt: <b>Endlager Konrad</b>					
	Datum	Name/Unterschrift	Ersteller und Zeichnungsnummer Freund		
gez.					Anlage
bezt.	6.7.89				9.5
gepr.	11.7.89				
Maßstab			Immerabschlußbauwerk Modell 2		
			Berechnungsausschnitt B: 3. Rechenschritt - Ausbruch Strecke 101S		
NF-Nr.					
Blatt		von Blatt			
Klassifizierung: Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor					
Projekt	PSP-Element		Objekt-Kennz.		
9 K	33222.37		5500		
Familie	Komponente	Gruppe	Aufgabe	DA	Lfd.Nr.
			GHK		
ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD Strabag Bau-AG <span style="float: right;">Sachtloben Bergbau GmbH</span>					

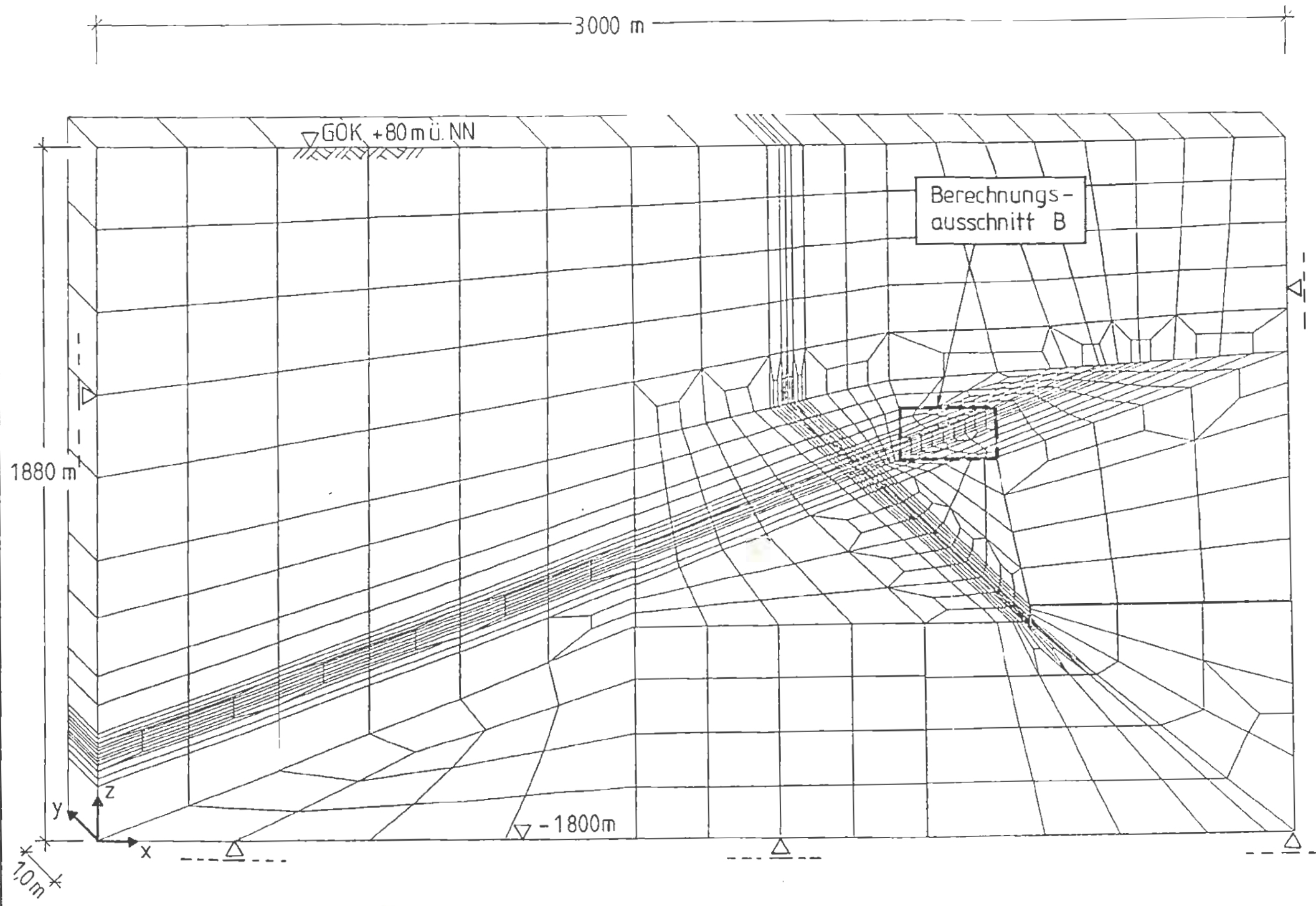




Physikalisch-Technische Bundesanstalt						
Projekt: <b>Endlager Konrad</b>						
	Datum	Name/Unterschrift	Ersteller und Zeichnungsnummer			
erz.			[Redacted]			Anlage
bearb.	6.9.89		[Redacted]			9.6
repr.	11.7.89		[Redacted]			
Kadenz			[Redacted]			Modell 2
Kf-Nr.		Berechnungsausschnitt B: 4. Rechenschritt - Ausbruch Strecke 241S				
Blatt	von	Blatt				
Klassifizierung:			Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor			
Projekt	PSP-Element		Objekt-Code			
9 K	33222.37		5500			
Funktion		Komponente	Gruppe	Aufgabe	DA	Rev.
				GHK		
ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD Streiberg Bau-AG <span style="float: right;">Sachtleben Bergbau GmbH</span>						



Projekt: <b>Endlager Konrad</b>			
gez.	Datum	Name/Unterschrift	Ersteller und Zeichnungsnummer
beark.	6.7.89		
gepr.	11.7.89		
Maßstab			Modell 2
Anlage <b>9.7</b>		Berechnungsausschnitt B: 5. Rechenschritt - Ausbruch Strecke 231S	
KF-Nr.			
Blatt	von	Blatt	
Klassifizierung: Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor.			
Projekt	PSP-Element	Objekt-Kennz.	
9 K	33222.37	5500	
Funktion	Laufkarte	Gruppe	Aufgabe
			GHK
ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD Steinhag Bau-AG			
Sachtleben Bergbau GmbH			

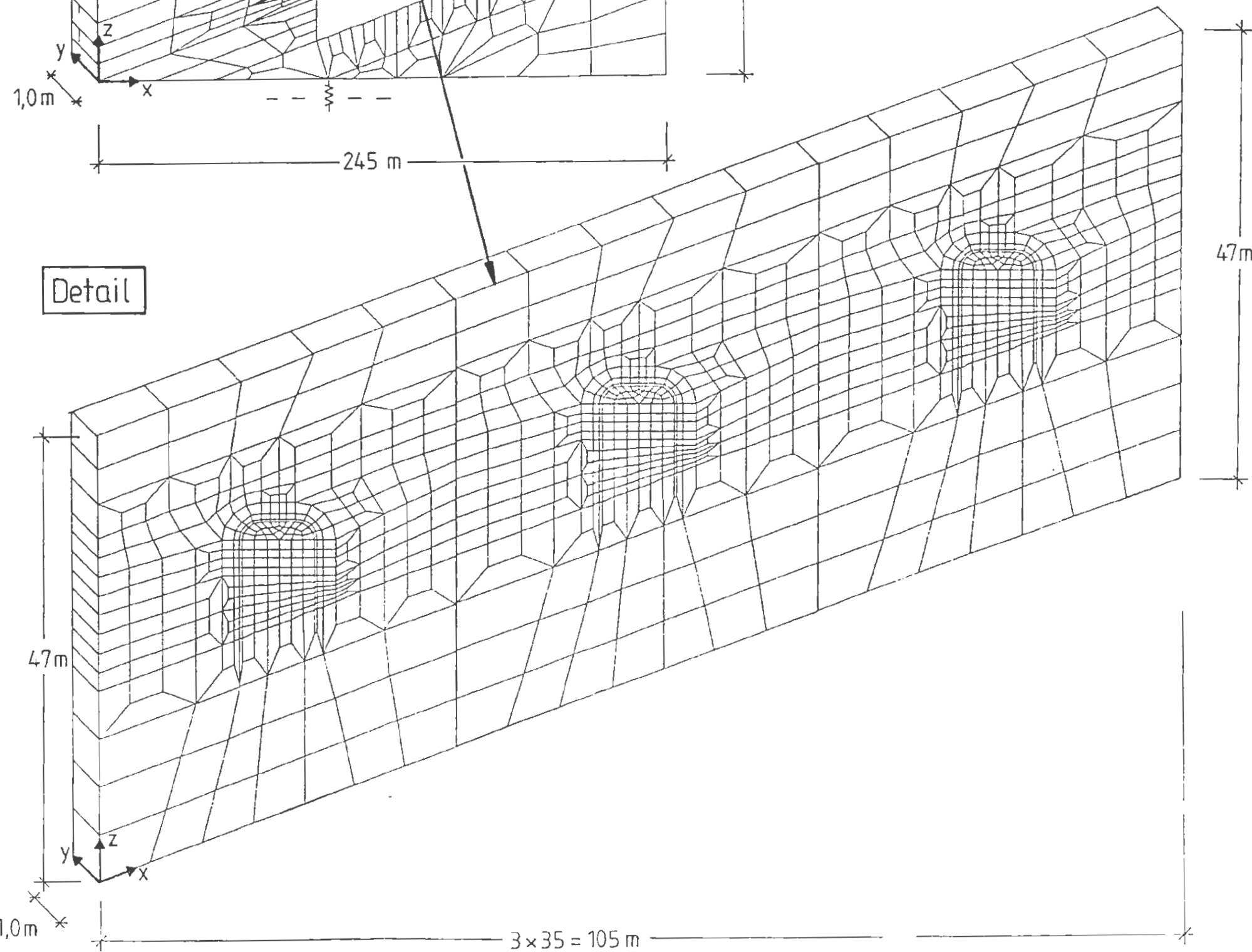
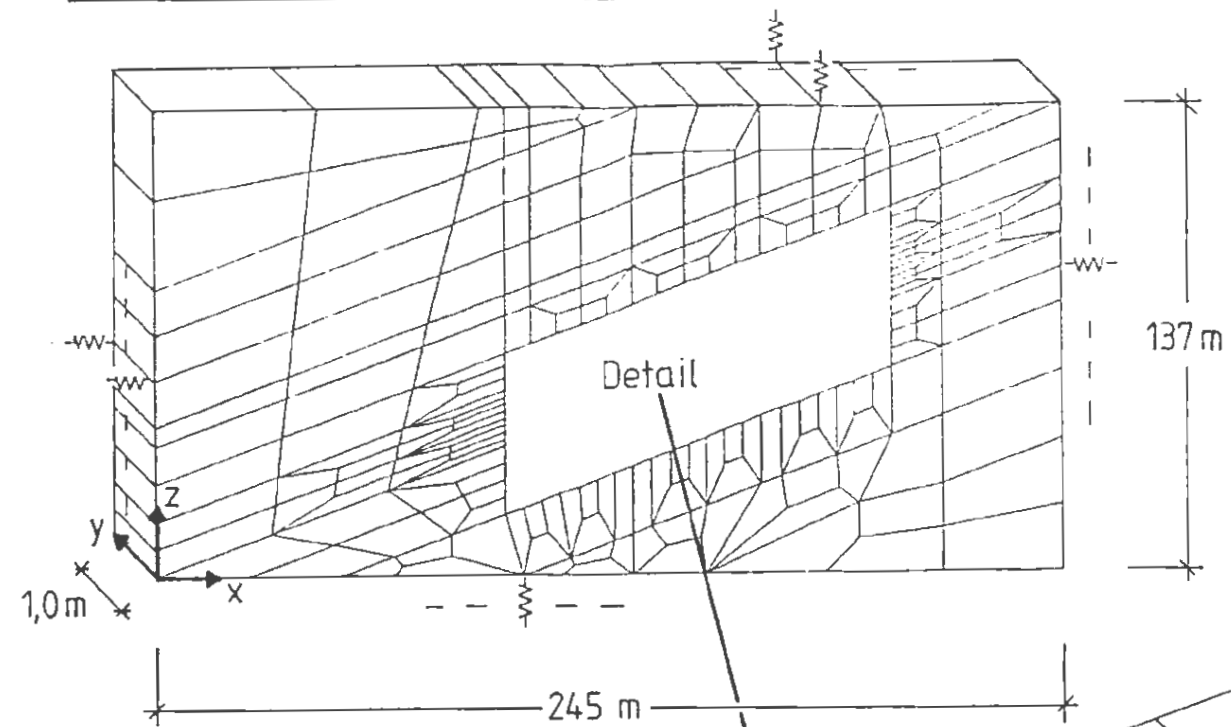


2 x 1134 Knoten  
1097 Elemente

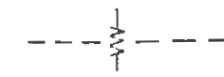
Physikalisch-Technische Bundesanstalt					
Projekt: <b>Endlager Konrad</b>					
get.	Datum	Name/Unterschrift	Ersteller und Zeichnungsname: Fremd		
bezr.	6.7.89			Anlage	9.8
gew.	11.7.89			Modell 2	
Maßstab			Elementnetz - Berechnungsausschnitt A		
KF-Nr.					
Blatt	von	Blatt			
Klassifizierung:			Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor		
Projekt	PSP-Element	Objekt-Kennz.			
9 K	33222.37	5500			
Funktion	Komponente	Blattgruppe	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.
			GHK		
ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD Strabag Bau-AG <span style="float: right;">Sachtleben Bergbau GmbH</span>					



# Berechnungsausschnitt B



## Legende

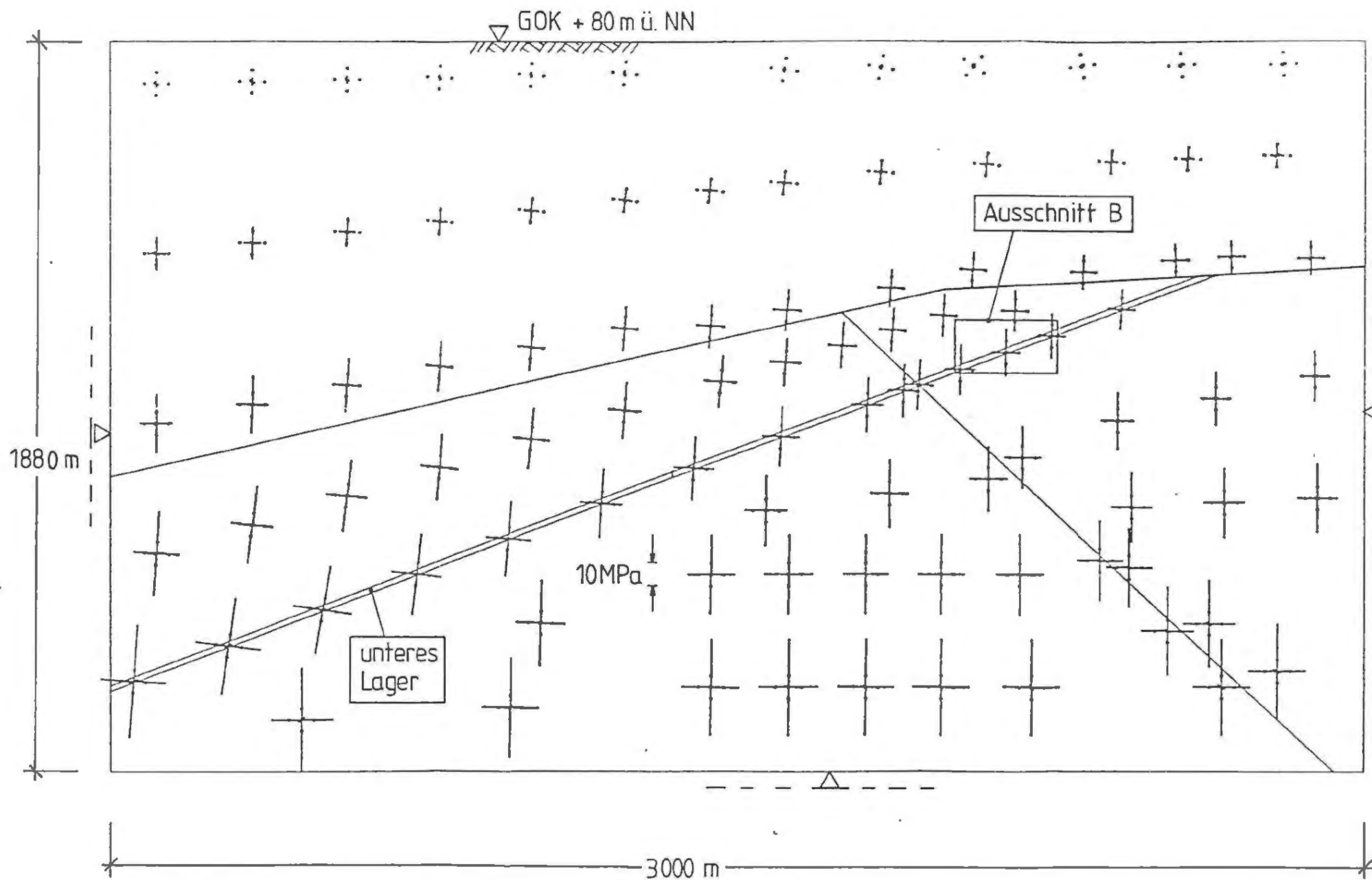


Federn zur Aufbringung vorgeschriebener Randverformungen (vgl. 2. Rechenschritt, Ausschnitt A in Anlage 9.8)

2 x 1338 Knoten  
1315 Elemente

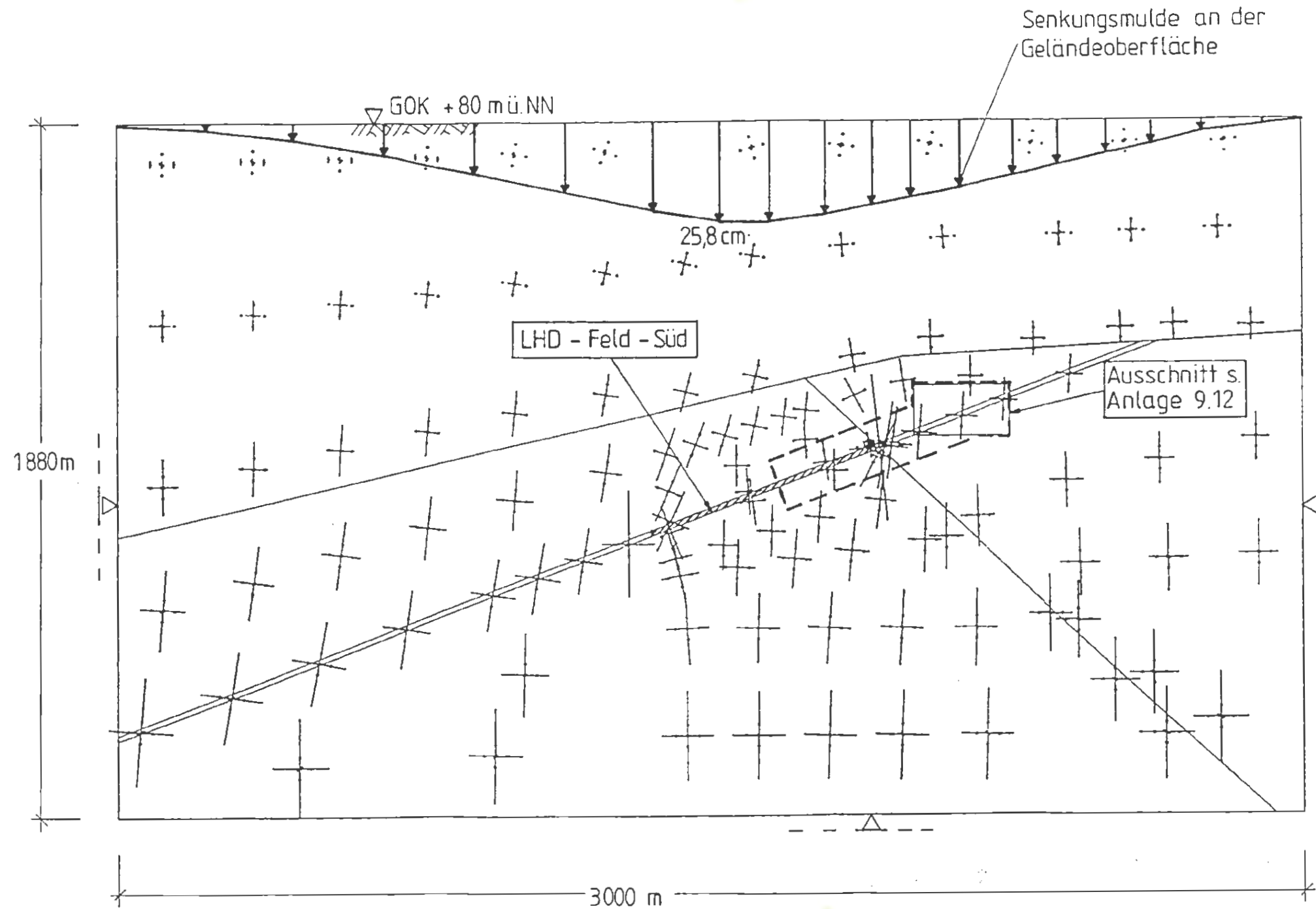
Physikalisch-Technische Bundesanstalt					
Projekt: Endlager Konrad					
	Datum	Name/Unterschrift	Ersteller und Zeichnungsnummer Freund		
gez.					Anlage
bearb.	6.7.89				9.9
gepr.	11.7.89				
Maßstab			Immerabschnittbauwerk Modell 2		
			Elementnetz -		
			Berechnungsausschnitt B		
Blatt	von	Blatt			
Klassifizierung:			Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor		
Projekt	PSP-Element		Objekt-Kennz.		
9 K	33222.37		5500		
Funktions	Lebensphase	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.
			GHK		
ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD					
Strabag Bau-AG			Sachtloben Bergbau GmbH		





Physikalisch-Technische Bundesanstalt			
Projekt: <b>Endlager Konrad</b>			
	Datum	Name/Unterschrift	Ersteller und Zeichnungsnummer Fremd
gez.			
bezt.	6.8.89		Anlage 9.10
gepr.	14.7.89		
Maßstab			Immerabschnittbauwerk Modell 2
NF-Nr.		Fall 51B: 1. Rechenschritt (Primärzustand)- Hauptnormalspannungen im Untergrund	
Blatt	von	Blatt	
Klassifizierung: <span style="float: right;">Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor</span>			
Projekt	PSP-Element	Objekt-Num.	
9 K	33222.37	5500	
Funktion	Komponente	Baugruppe	Artikelnr. OA Lfd.Nr. Ser.
			GHK

ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD  
 Strabag Bau-AG Sachtleben Bergbau GmbH



Physikalisch-Technische Bundesanstalt					
Projekt: Endlager Konrad					
	Datum	Name/Unterschrift	Ersteller und Zeichnungsnummer		
gez.					Anlage
bezt.	6.7.89				9.11
gepr.	11.7.89				
Maßstab			Kammerabschlußbauwerk Modell 2		
			Fall 51B: 2. Rechenschritt (Ausbruch des LHD - Feldes - Süd) - Hauptnormalspannungen im Untergrund		
KF-Nr.					
Blatt	100	Blatt			
Klassifizierung:			Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor		
Projekt	PSP-Element		Objekt-Kennz.		
9 K	33222.37		5500		
Funktion	Komponente	Bezugsgruppe	Angabe	UA	Lfd.Nr.
			GHK		
ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD					
Strabag Bau-AG			Sachtloben Bergbau GmbH		

Legende

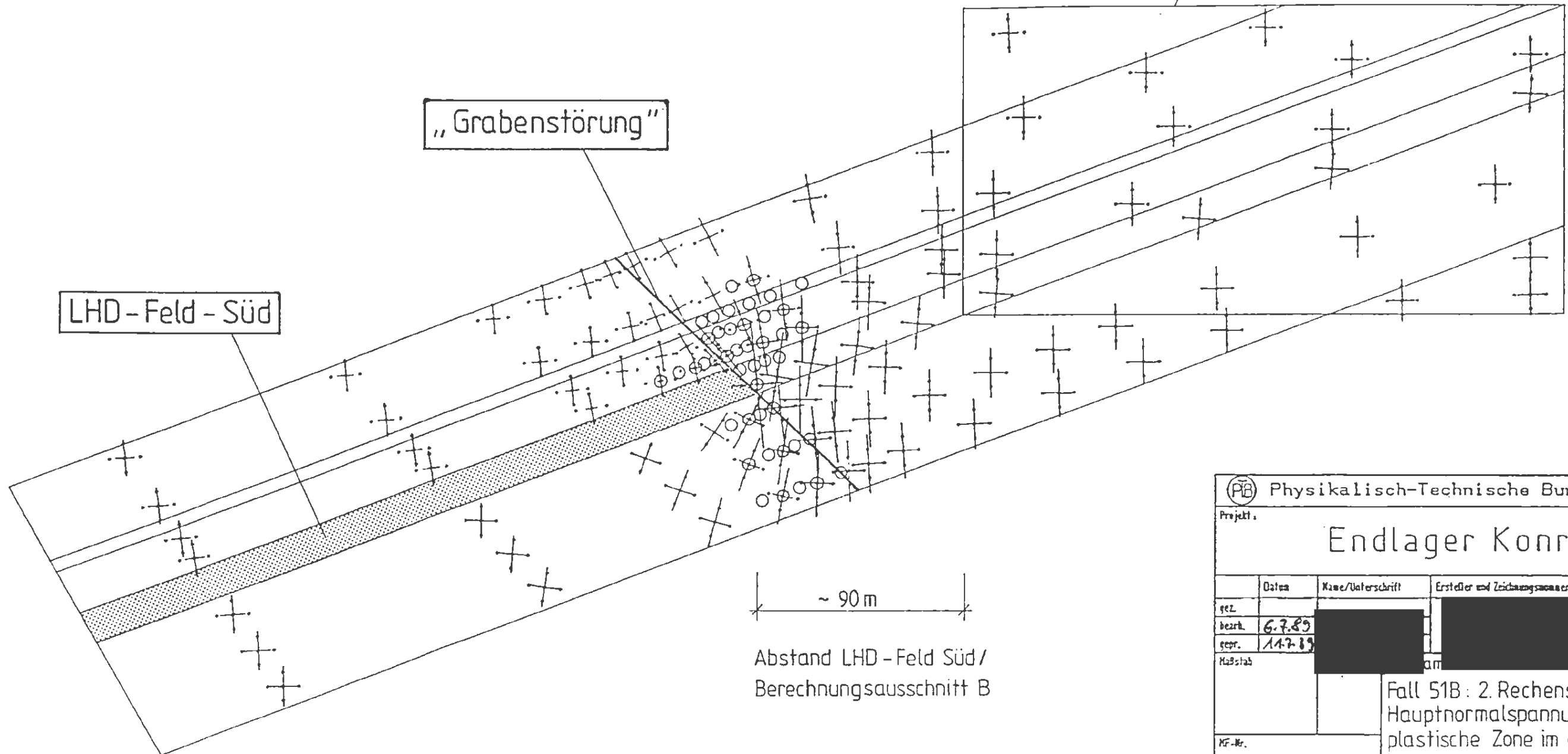
- Element mit Festigkeitsüberschreitungen
- ⇒ plastischer Gebirgsbereich

Maßstab:  15 MPa

Berechnungsausschnitt B


„Grabenstörung“

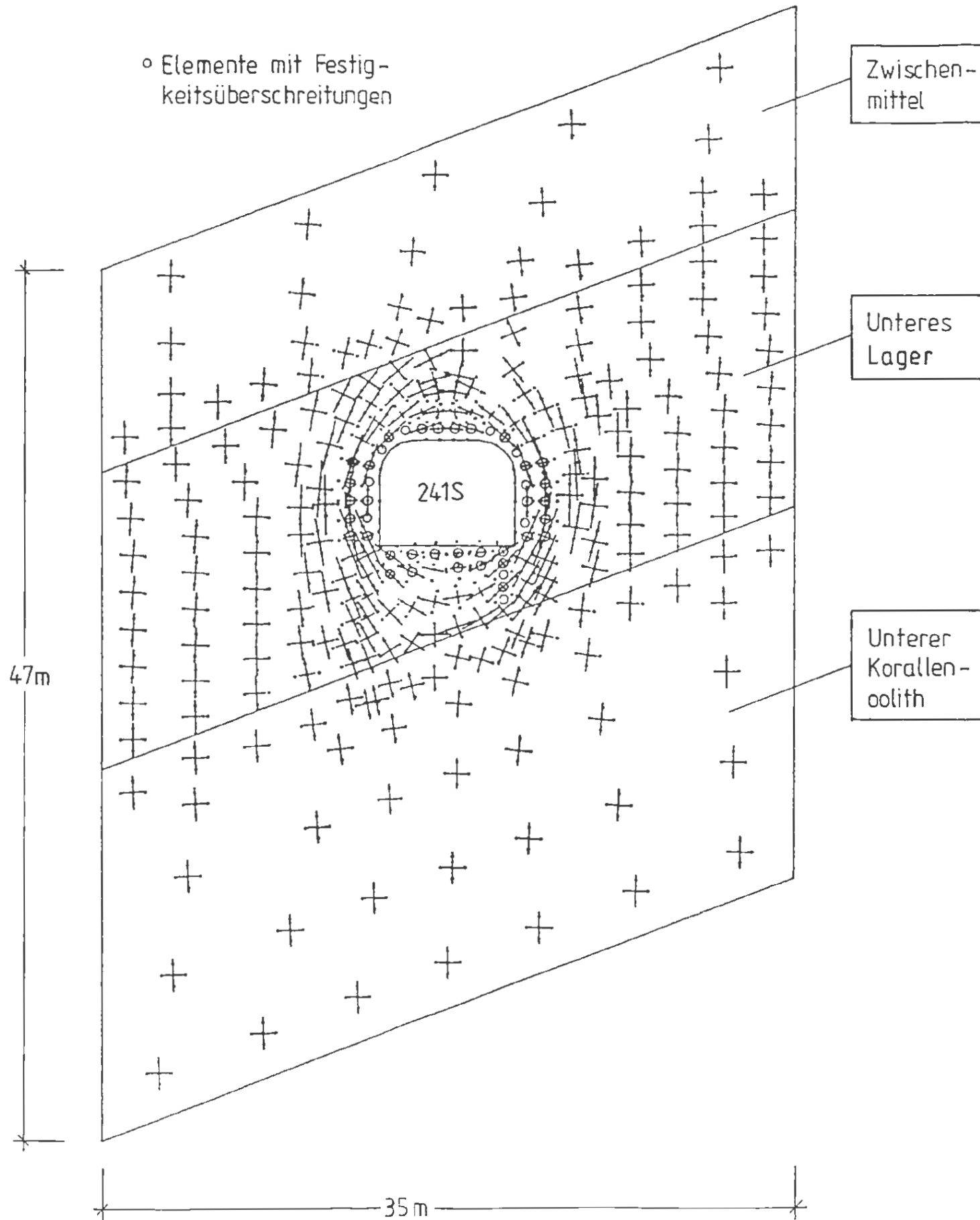
LHD - Feld - Süd



~ 90 m

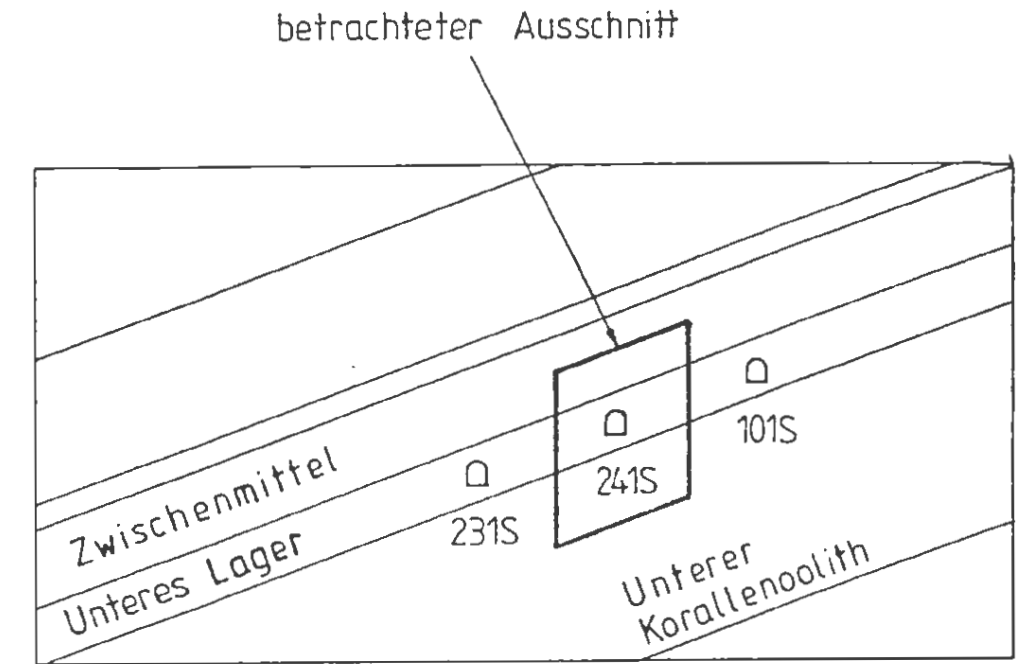
Abstand LHD - Feld Süd /  
Berechnungsausschnitt B

 Physikalisch-Technische Bundesanstalt					
Projekt: Endlager Konrad					
	Datum	Name/Unterschrift	Ersteller und Zeichnungsnummer Fremd		
gez.					Anlage
bezt.	6.7.89				9.12
gepr.	14.7.89				Modell 2
Maßstab					
MF-Nr.			Fall 51B: 2. Rechenschritt - Hauptnormalspannungen und plastische Zone im östlichen Rand des LHD - Feldes Süd		
Blatt	von	Blatt			
Klassifizierung:			Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor		
Projekt	PSP-Element		Objekt-Kennz.		
9 K	33222.37		5500		
Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.
			GHK		
ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD					
Strabag Bau-AG			Sachtleben Bergbau GmbH		



Maßstab der Hauptspannungen

15 MPa



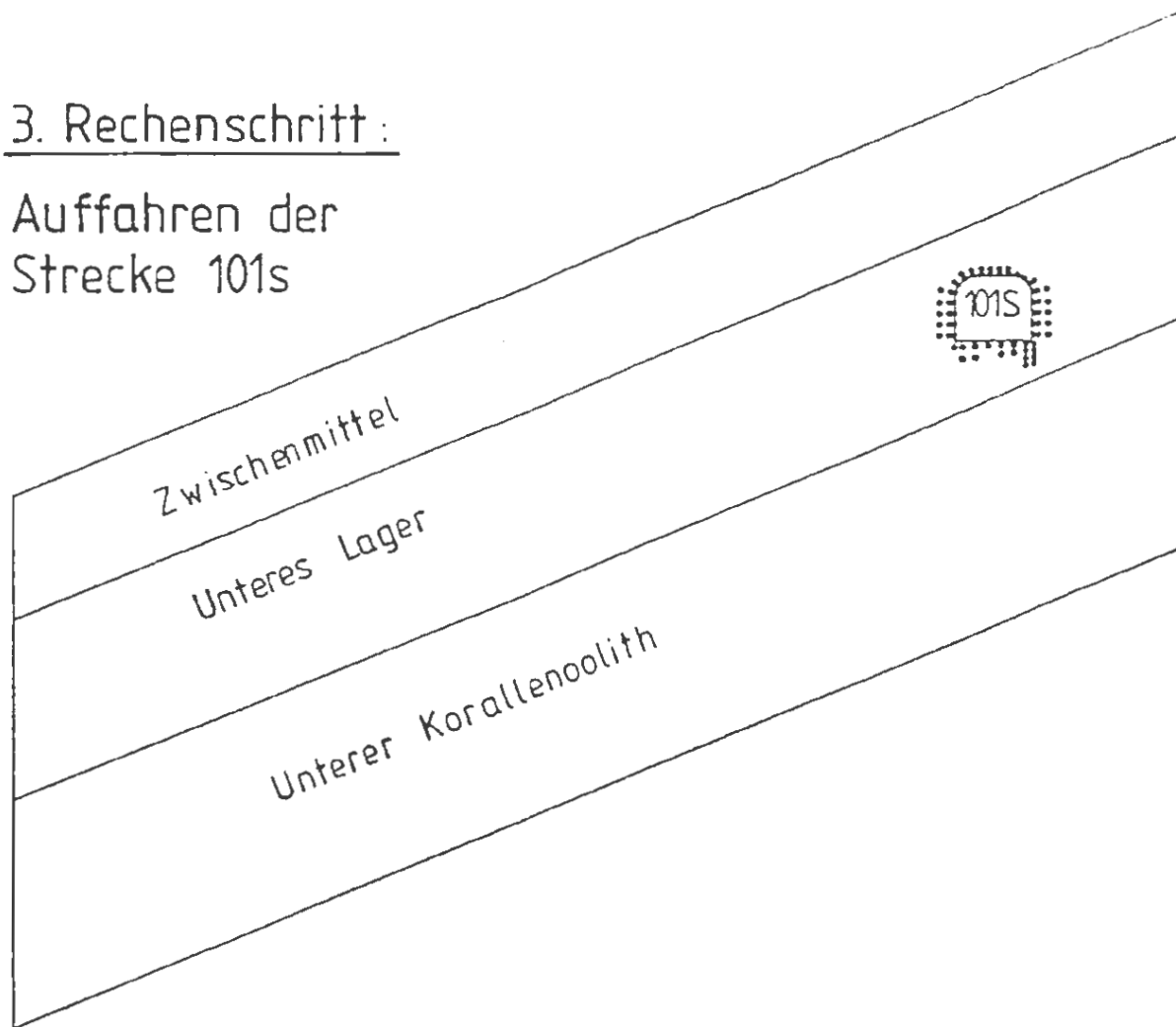
Berechnungsausschnitt B

Physikalisch-Technische Bundesanstalt					
Projekt: Endlager Konrad					
	Datum	Name/Unterschrift	Ersteller und Zeichnungsnummer Fremd		
gez.					Anlage
bezt.	6.9.8				9.13
gepr.	11.7.8				
Hauptstab			Kammerabschlussbauwerk Modell 2		
Fall B51B:			4. Rechenschritt - Hauptnormalspannungen im Gebirge im Bereich der Strecke 241S		
Blatt		von	Blatt		
Klassifizierung: Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor					
Projekt	PSP-Element		Objekt-Kez.		
9 K	33222.37		5500		
Funktion	Komponente	Baugruppe	Angabe	UA	Lfd.Nr.
			GHK		
ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD					
Strabag Bau-AG			Sachtleben Bergbau GmbH		



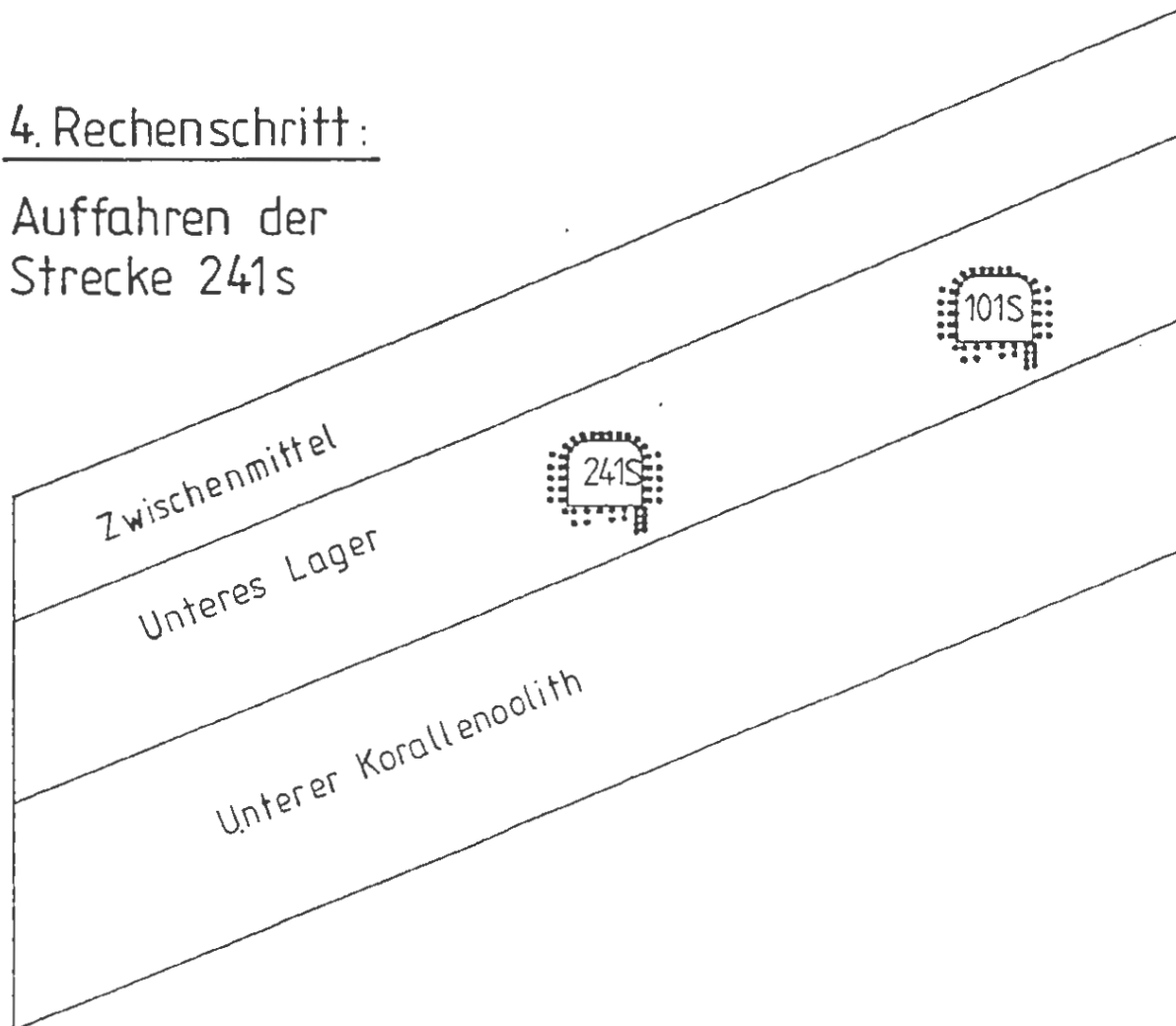
3. Rechenschritt:

Auffahren der Strecke 101s



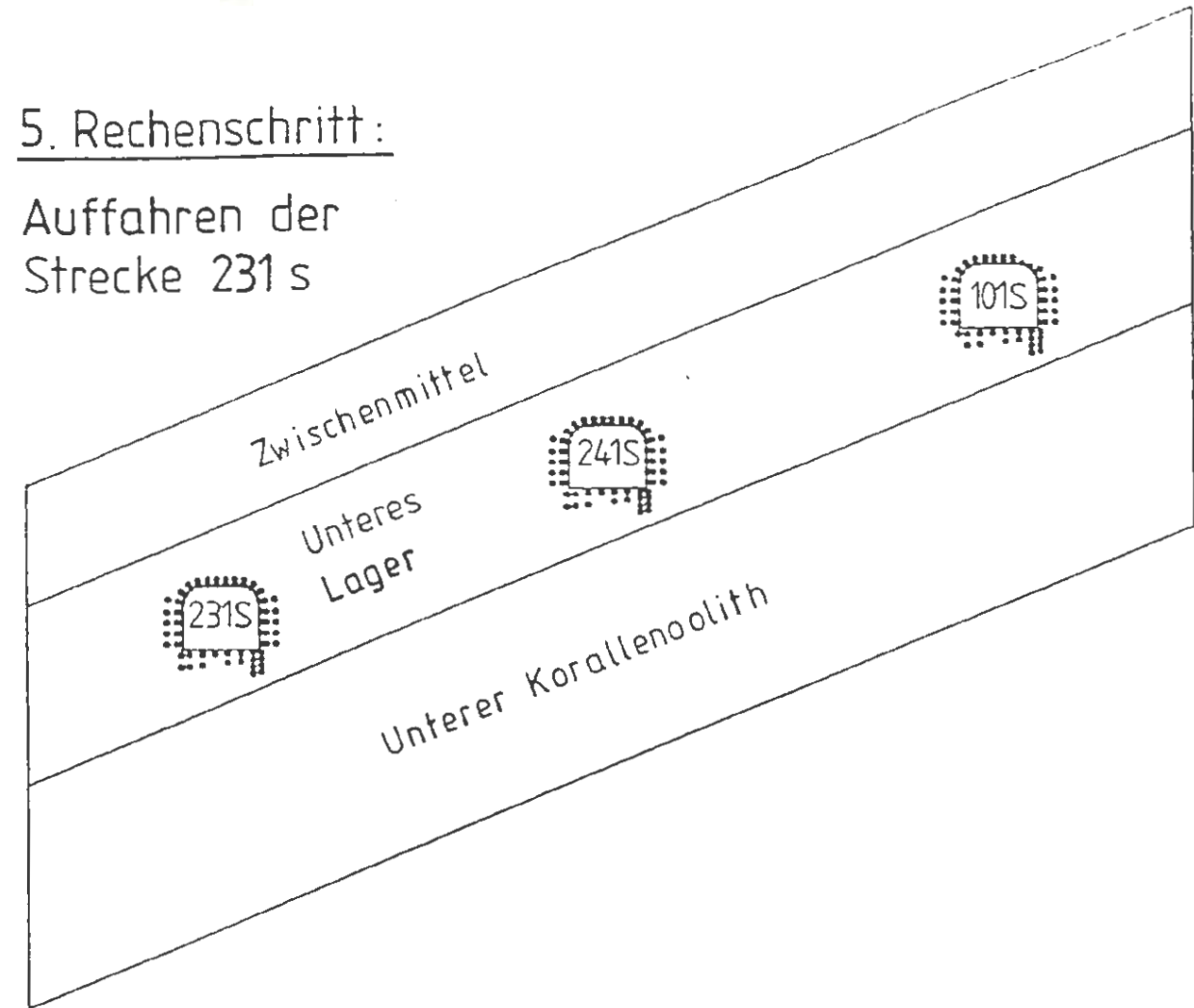
4. Rechenschritt:

Auffahren der Strecke 241s



5. Rechenschritt:

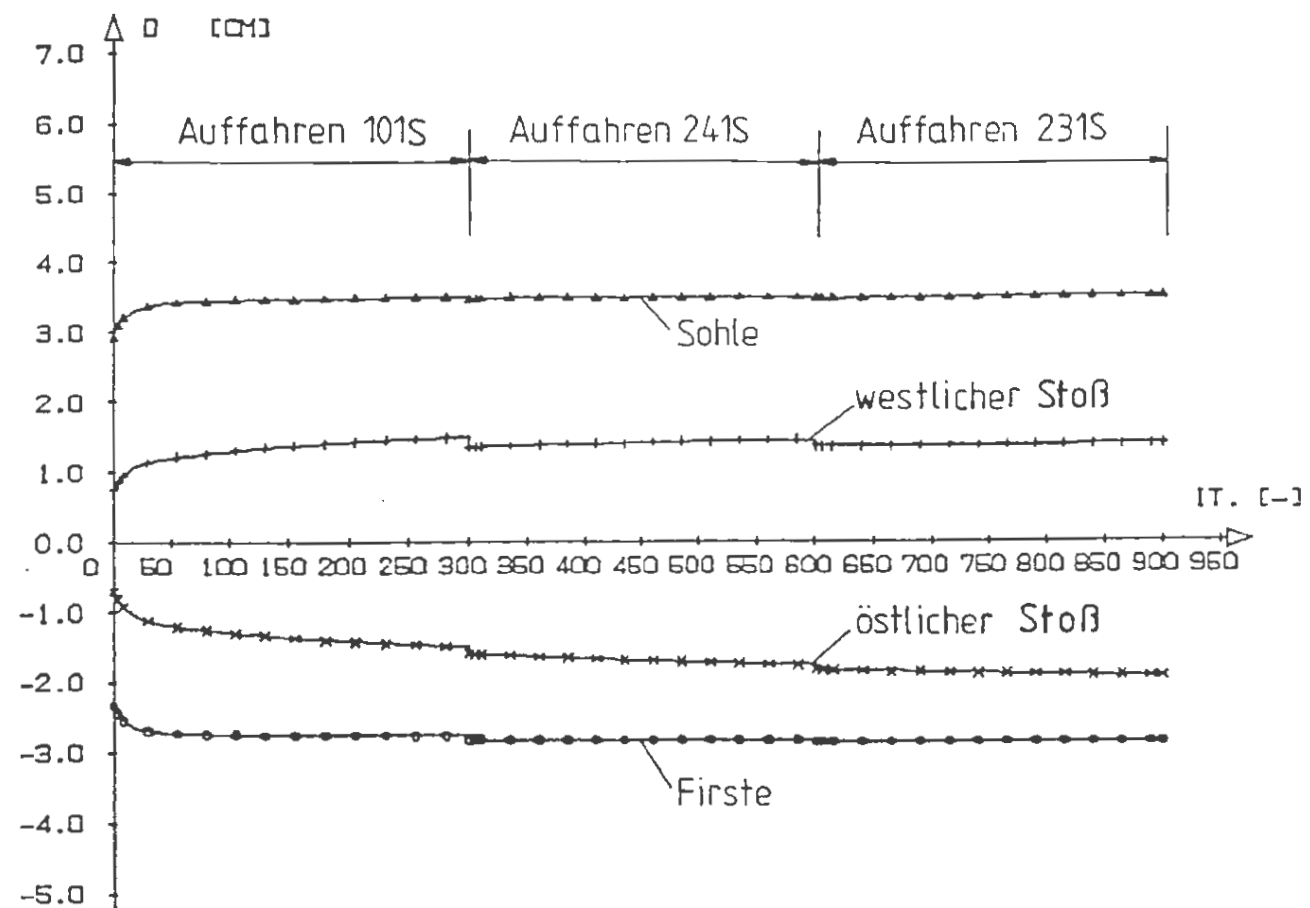
Auffahren der Strecke 231s



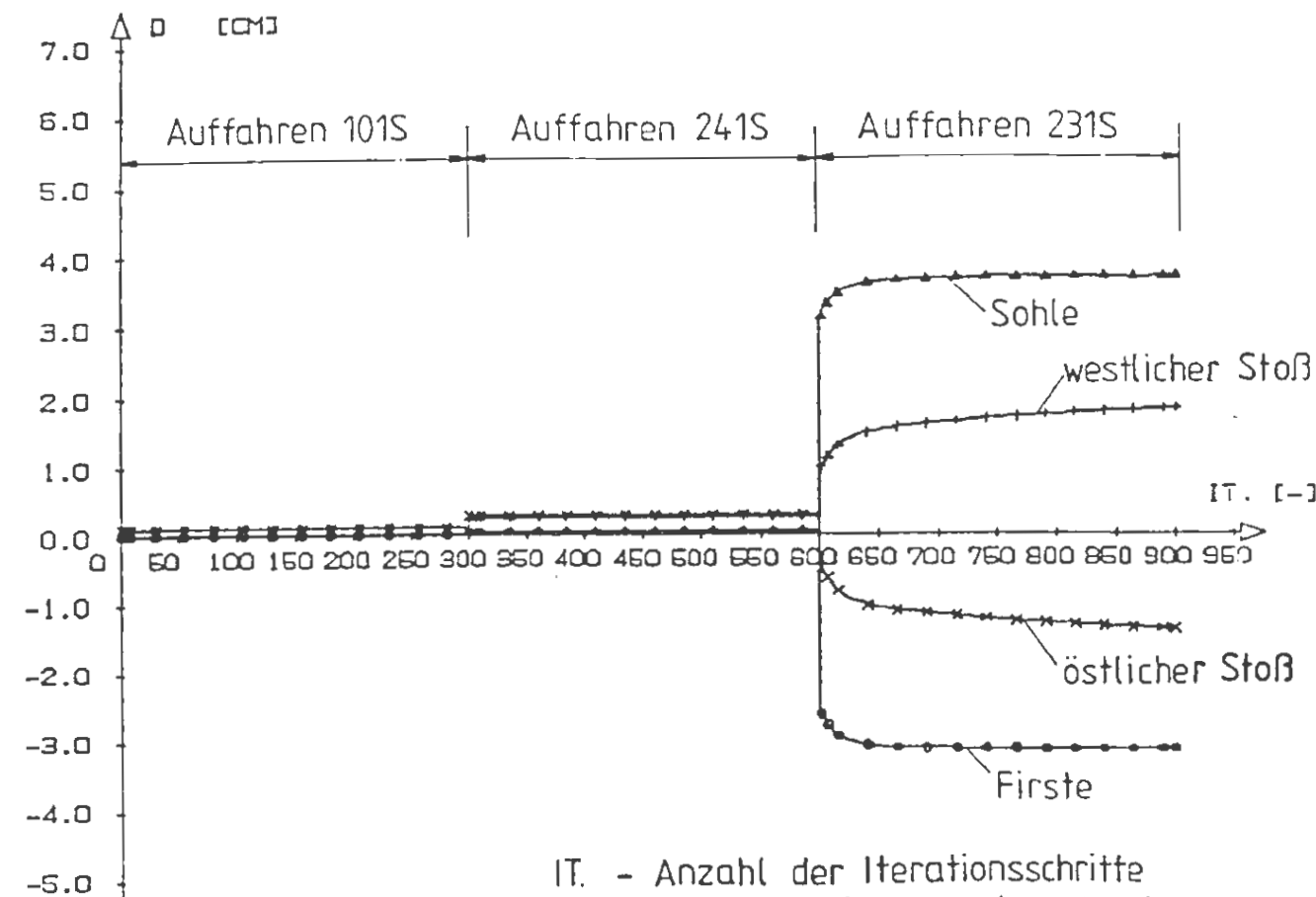
❖ Elemente mit Festigkeits-  
überschreitungen →  
plastische Zonen

Physikalisch-Technische Bundesanstalt						
Projekt: Endlager Konrad						
	Datum	Name/Unterschrift	Ersteller und Zeichnungsnummer Fremd			
gez.						Anlage
bezt.	6.7.89					9.14
gepr.	11.7.89					
Maßstab			Immerabstufbauwerk Modell 2			
KF-Nr.			Fall B51B: 3. - 5. Rechenschritt - Plastische Zonen in der Umge- bung der Strecken 101S, 241S, 231S			
Blatt	von	Blatt				
Klassifizierung:			Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor			
Projekt	PSP-Element		Objekt-Keuz.			
9 K	33222.37		5500			
Funktion	Kategorie	Baugruppe	Aufgabe	GA	Lfd.Nr.	Ver.
			GHK			
ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD						
Strabag Bau-AG			Sachtleben Bergbau GmbH			

### Strecke 101S

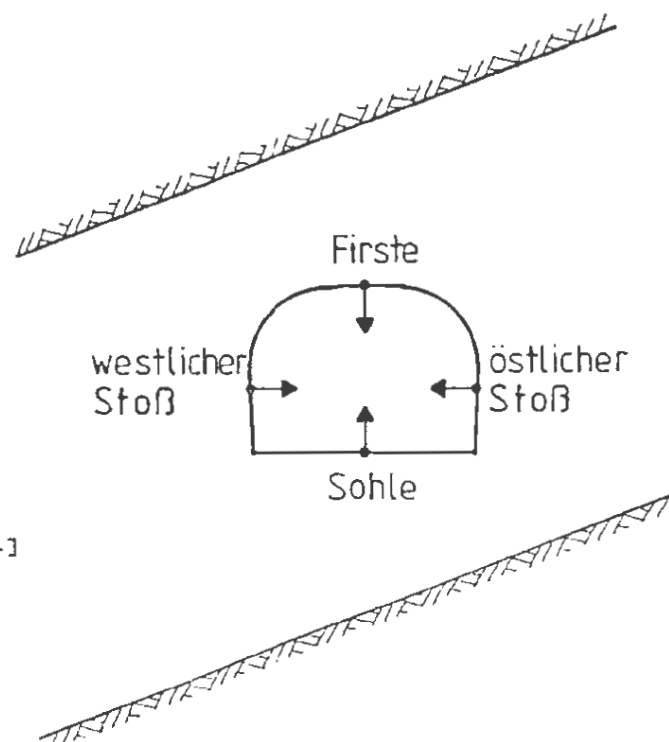
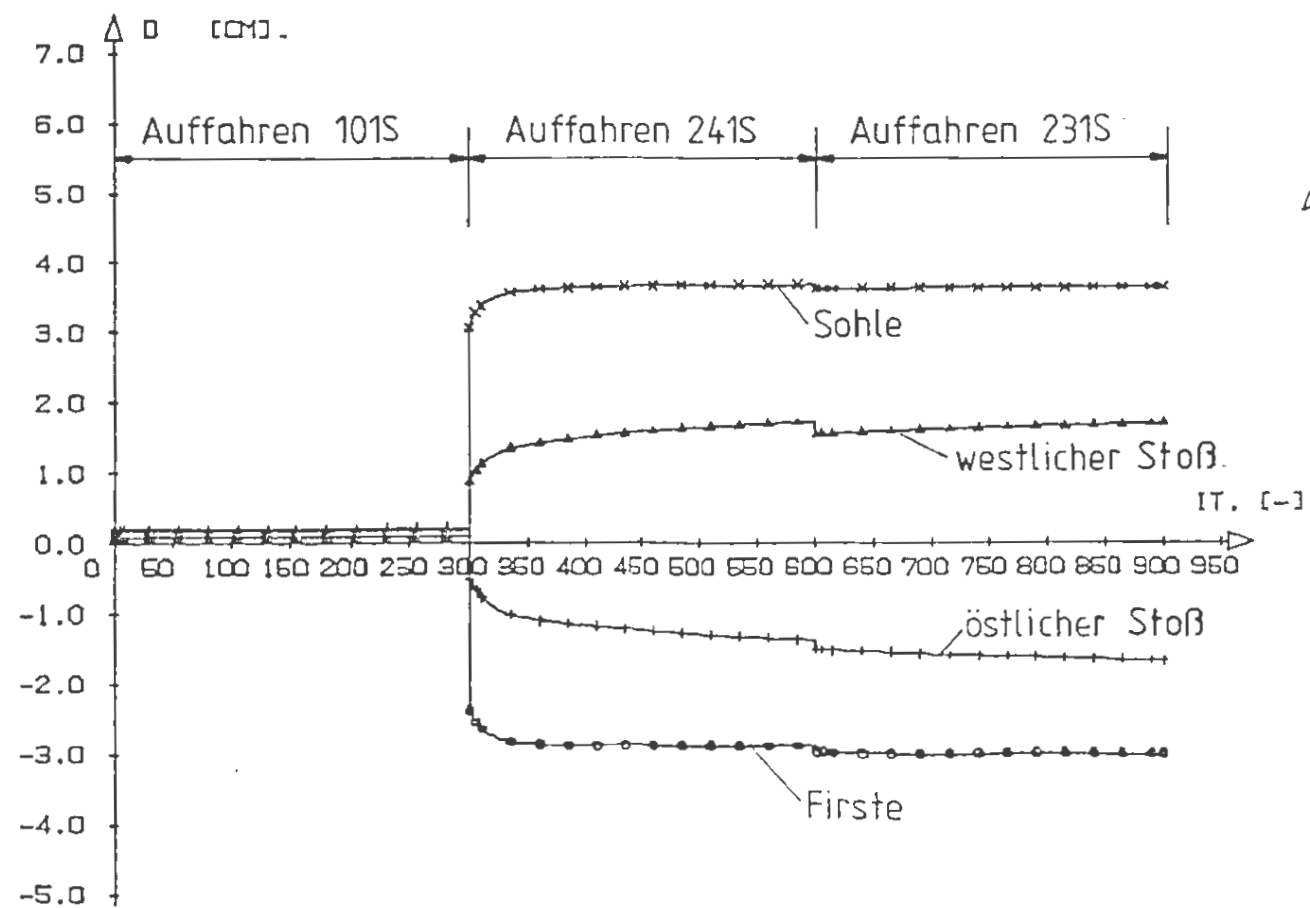


### Strecke 231S



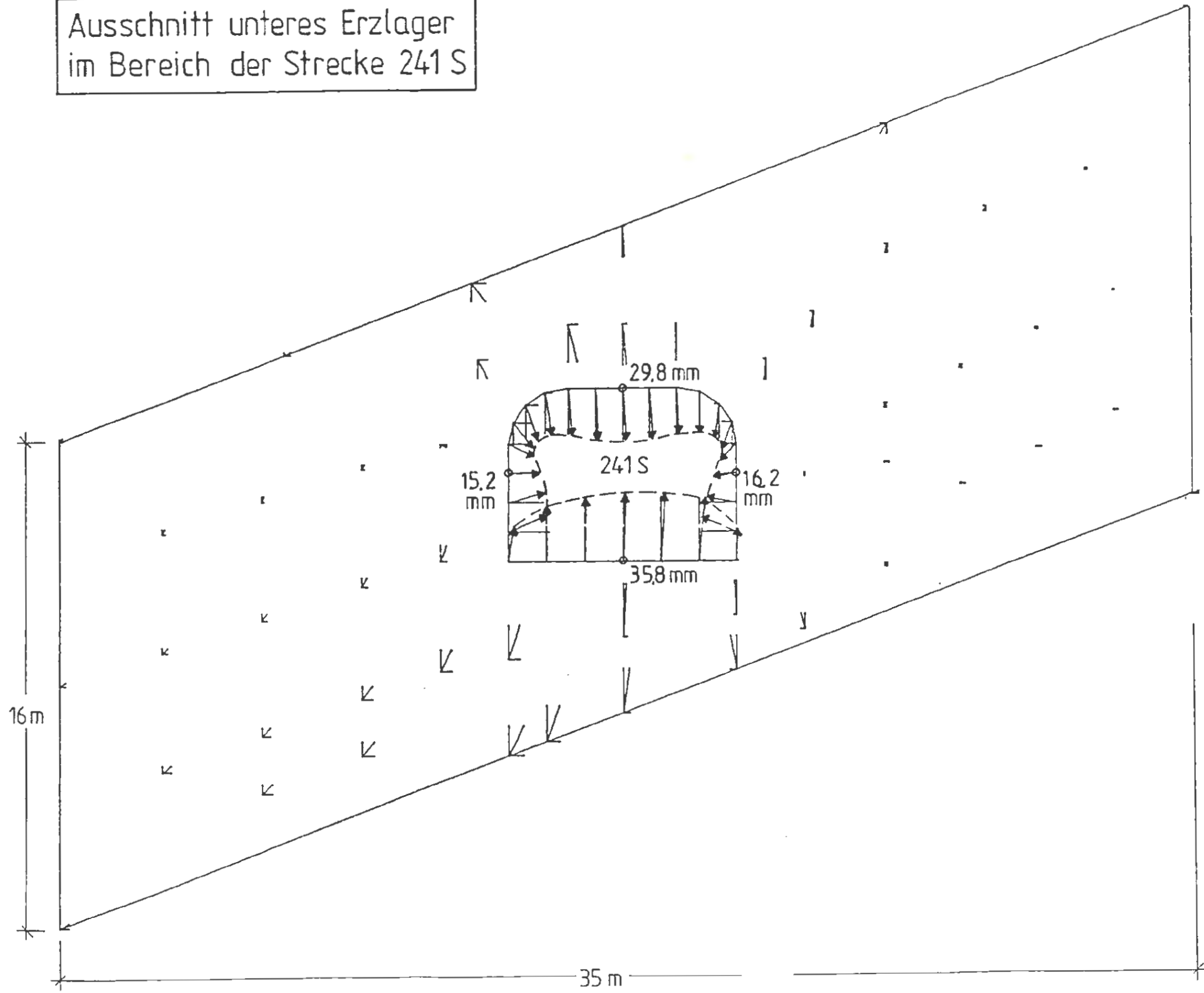
IT. - Anzahl der Iterationsschritte zur Simulation des viskoplastischen Verhaltens des Untergrundes (vgl. Anlage 7.1)

### Strecke 241S



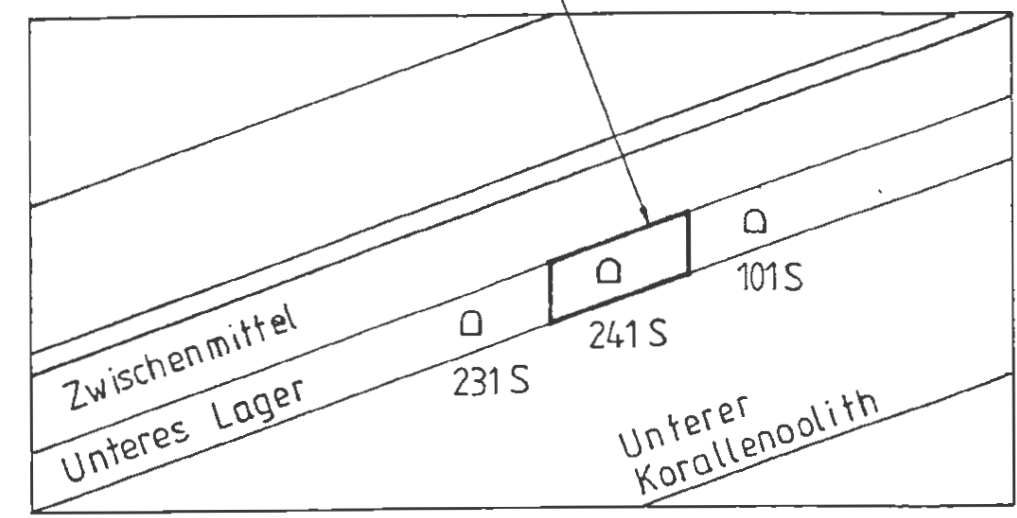
Physikalisch-Technische Bundesanstalt					
Projekt: Endlager Konrad					
	Datum	Name/Unterschrift	Ersteller und Zeichnungsnummer: Freud		
gez.					Anlage 9.15
bearb.	6.7.89				
gepr.	11.7.89				
Maßstab			Kammerabschlußbauwerk Modell 2		
MF-Nr.			Fall B51B: 3.-5. Rechenschritt - Zeitliche Entwicklung der Hohlraumrandverschiebungen in den Strecken 101S, 241S und 231S		
Blatt von		Blatt			
Klassifizierung: Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor					
Projekt	PSP-Element		Objekt-Kezsz.		
9 K	33222.37		5500		
Funktio	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.
			GHK		
ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD					
Strabag Bau-AG			Sachtloben Bergbau GmbH		

Ausschnitt unteres Erzlager  
im Bereich der Strecke 241 S



Horizontale Konvergenz:  $15,9 + 16,2 = 32,1$  mm  
 Vertikale Konvergenz :  $29,8 + 35,8 = 65,6$  mm

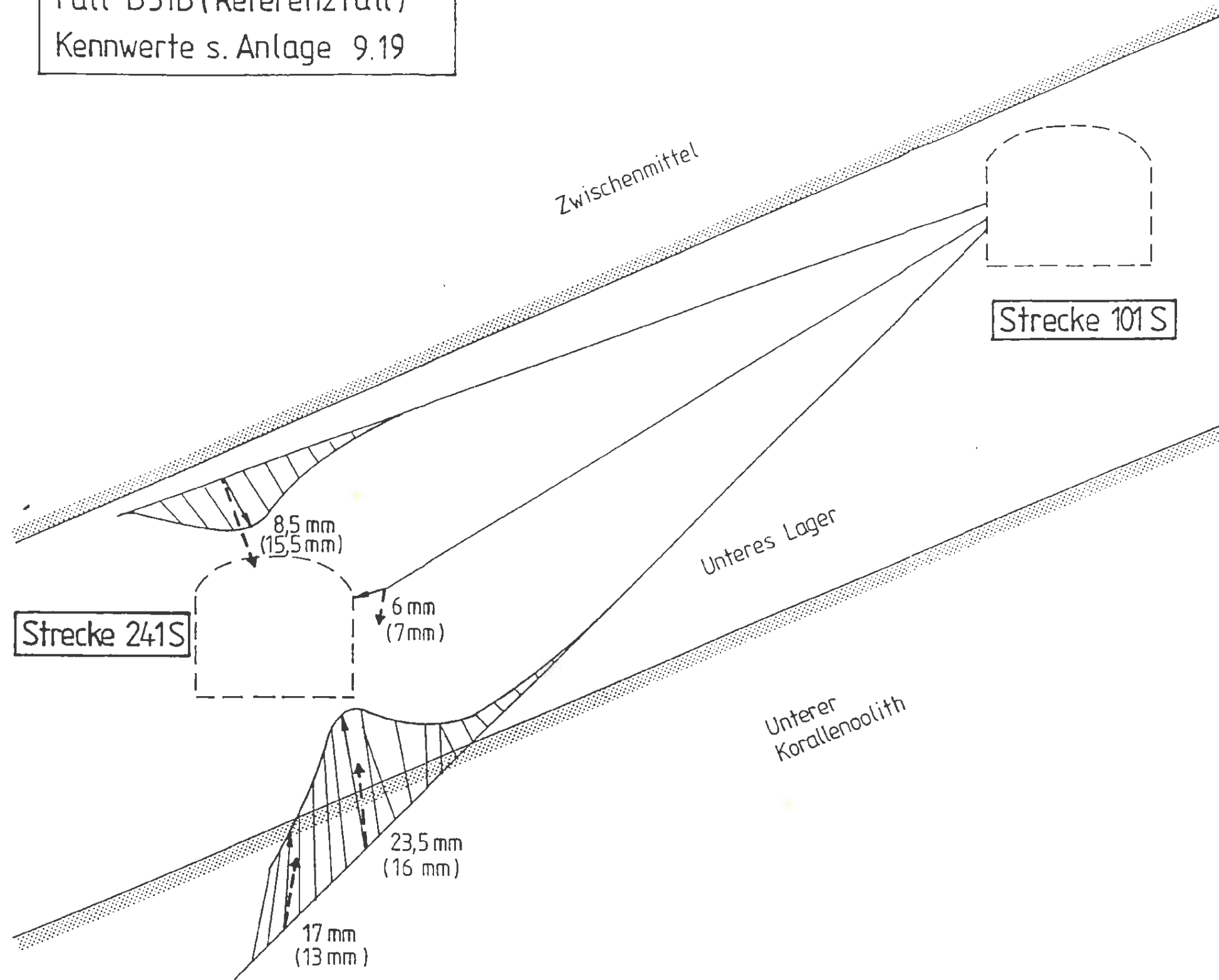
betrachteter Ausschnitt




Berechnungsausschnitt B

Physikalisch-Technische Bundesanstalt						
Projekt: Endlager Konrad						
	Datum	Name/Unterschrift	Ersteller und Zeichnungsnummer Fremd			
gez.						Antage
bezt.	6.7.85					9.16
gepr.	11.7.85					
Maßstab			Kammerabschlußbauwerk Modell 2			
KF-Nr.			Fall B51B: 4. Rechenschritt - Gebirgsverschiebungen im Bereich der Strecke 241 S			
Blatt		von	Blatt			
Klassifizierung: Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor						
Projekt	PSP-Element		Objekt-Kennz.			
9 K	33222.37		5500			
Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.	Rev.
			GHK			
ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD						
Strabag Bau-AG			Sachtleben Bergbau GmbH			

Fall B51B (Referenzfall)  
Kennwerte s. Anlage 9.19



Legende:

 aus Inkrementalextensometer- und Inklinometermessungen abgeleitete Verschiebungen nach Unterlage [35]

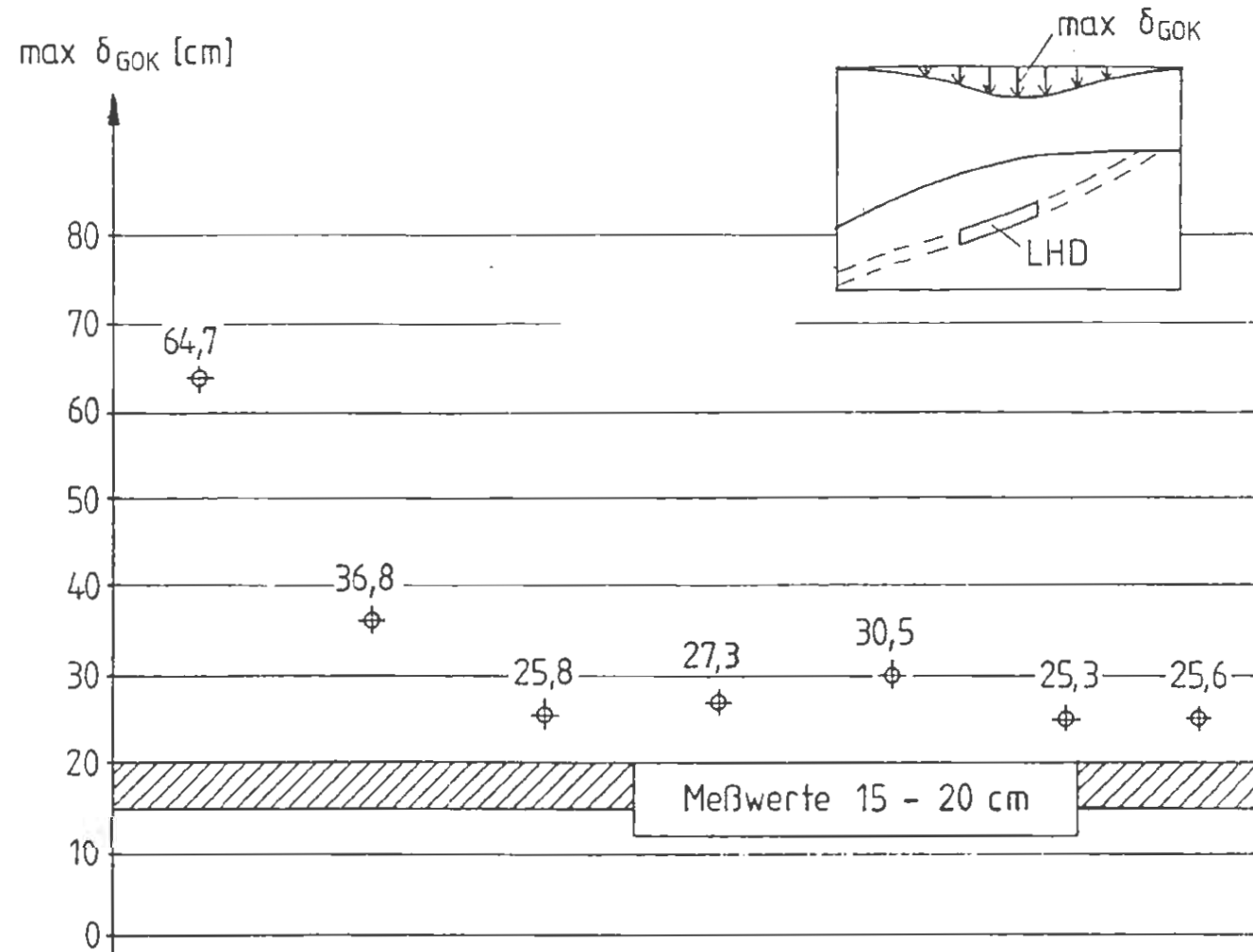
- Stand 12.12.1988 -

 Berechnungsergebnisse (16mm)

 Physikalisch-Technische Bundesanstalt					
Projekt: Endlager Konrad					
	Datum	Name/Unterschrift	Ersteller und Zeichnungsnummer		Fremd
gez.					Anlage
bezeichnet	6.7.88				9.17
gepr.	11.7.88				
Maßstab			Kammerabschlußbauwerk Modell 2		
KV-Nr.			Referenzfall B51B: Gebirgsverschiebungen im Bereich der Lageänderungs- bohrungen (MQ 1) - Vergleich Messung / Rechnung		
Blatt	von	Blatt	Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor		
Projekt		PSP-Element		Objekt-Element	
9 K		33222.37		5500	
Festlegung		Komponent		Baugruppe	
				Aufgabe	
				GHK	
ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD					
Strabag Bau-AG			Sachtleben Bergbau GmbH		



## Den Berechnungen zugrunde gelegte Festigkeitskennwerte



Fall	51	51A	Referenzfall 51B *	51C	51D	51E	51G
$E_{Kreide}$	2000	2000	2000	2000	1000	2000	2000
$E_{Kimmeridge}$	6000	6000	6000	2000	1000	6000	6000
$E_{Zwischenmittel}$	2000	2000	2000	2000	2000	6000	2000
$E_{LHD}$	100	200	300	300	300	300	300
$E_{\text{unterer Korallenoolith}}$	2000	2000	2000	2000	2000	2000	1000

gegenüber dem Referenzfall variierte Parameter

\* Fallbezeichnung für die Rechenschritte 1 und 2, entspricht in den Rechenschritten 3-5 dem Fall B 51B (s. Anlage 9.19)

Schicht	Scherfestigkeit		Zugfestigkeit
	c [MPa]	$\varphi$ [°]	$\sigma_t$ [MPa]
-	- elastisch -		
Kreide	- elastisch -		
Kimmeridge	6,0	25	0
Oberer Korallenoolith	3,3	20	0
Oberes Lager	6,0	25	0
Zwischenmittel	3,3	20	0
Unteres Lager	6,0	25	0
Unterer Korallenoolith	3,3	20	0
Braunjura	- elastisch -		

## 2. Rechenschritt, vgl. Anlage 9.4

Physikalisch-Technische Bundesanstalt			
Projekt: Endlager Konrad			
gez.	Datum	Name/Unterschrift	Ersteller und Zeichnungsnummer Fremd
bearb.	6.2.8		Anlage 9.18
gepr.	11.2.8		
Maßstab	Kammerabschlussbauwerk Modell 2		
FE-Berechnungen am Ausschnitt A: Rechnerische Geländesenkungen infolge Ausbruch des LHD-Feldes-Süd (Parameterstudie)			
NF-Nr.		Blatt von Blatt	
Klassifizierung: Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor			
Projekt	PSP-Element	Objekt-Kennz.	
9 K	33222.37	5500	
Familie	Komponente	Baugruppe	Aufgabe
			GHK
ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD Strabag Bau-AG			
Sachtleben Bergbau GmbH			

Fall	B51B	B51A1	B51A2	B51A4	B51E	B51G	B51J	B51 KM	B51 LM	B51 MM	B51 NM	B51 OM	B51 PM	
Verformbarkeit	Zwischenmittel $E_z$ [MPa]	2000		6000	6000	6000		6000	12000	12000	12000	12000	12000	
	Unteres Lager $E_L$ [MPa]	6000							18000	18000	18000	12000	12000	
	Unterer Korallenoolith $E_K$ [MPa]	2000			500			1000	1000	4000	4000	2000	4000	2000
Scherfestigkeit	<u>Gestein</u> Zwischenmittel $c_z/\varphi_z$ [MPa/°]	3,3/20	-elastisch-											
	Unteres Lager $c_L/\varphi_L$ [MPa/°]	6/25	-elastisch-											
	Unterer Korallenoolith $c_K/\varphi_K$ [MPa/°]	3,3/20	-elastisch-											
Schichtung	<u>Schichtung</u> im Lager $c_{SL}/\varphi_{SL}$ [MPa/°]	-							0/20	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20
	im Unteren Korallenoolith $c_{SK}/\varphi_{SK}$ [MPa/°]	-								0/20				0/20

Referenzfall (\*)

→ Für diese Fälle sind in der Tabelle nur die gegenüber dem Referenzfall B 51B geänderten Kennwerte angegeben

\*) Kennwerte des Referenzfalles B 51B entsprechen den Kennwerten des Referenzfalles G4 (Strecke 532, vgl. Anlage 7.10), bzw. dem Fall 51B für die Rechenschritte 1 und 2 (Anlage 9.18)

(PB) Physikalisch-Technische Bundesanstalt

Projekt: Endlager Konrad

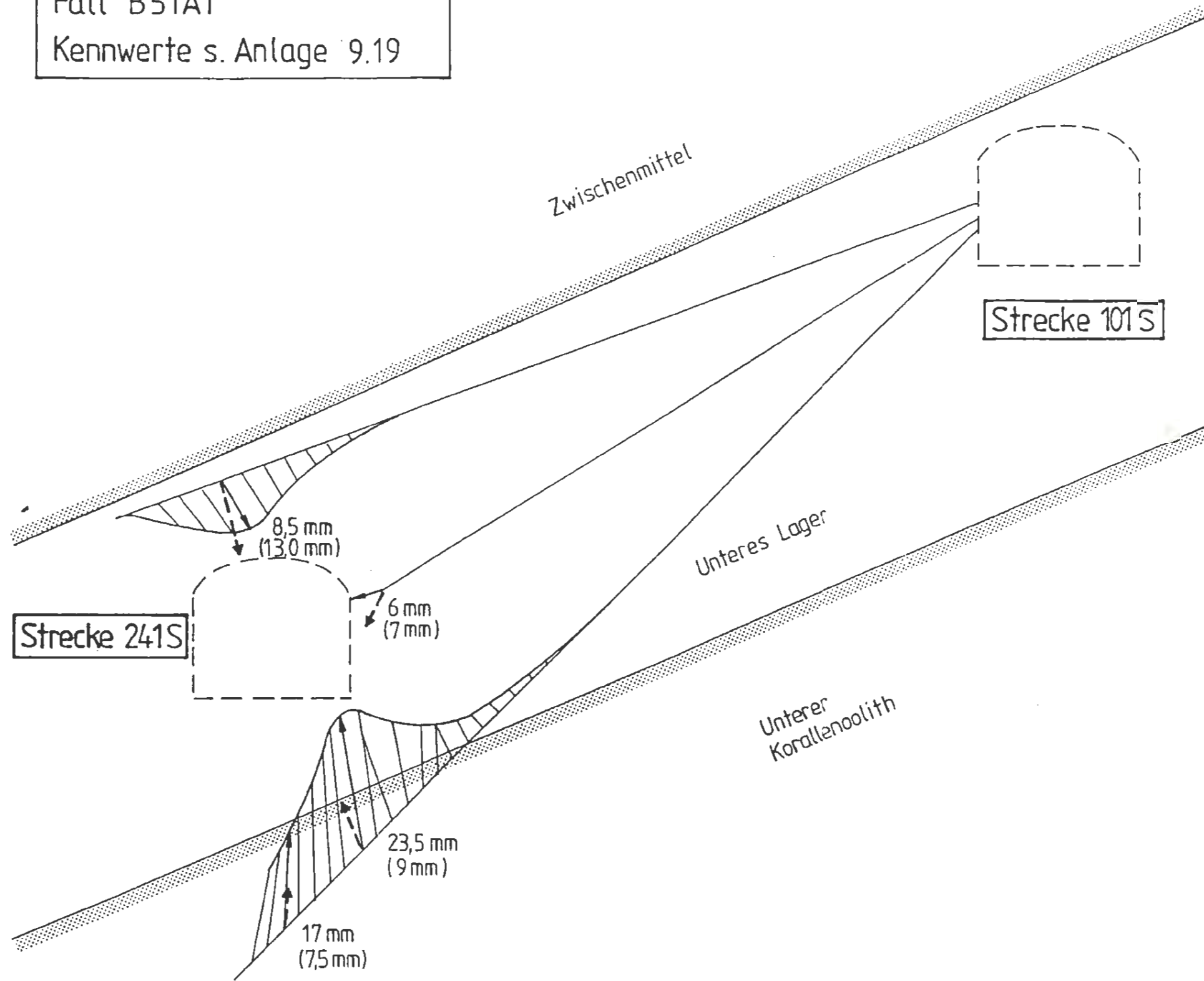
Datum	Name/Unterschrift	Ersteller und Zeichnungsnummer	Freib.
gez.			Anlage
bezt.	6.7.89		9.19
gepr.	11.7.89		
Maßstab		immerabschlußbauwerk Modell 2	
PK-Nr.		FE-Berechnungen am Ausschnitt B-	
Blatt	von	Zusammenstellung der	
	Blatt	variieren Kennwerte	

Classifizierung: Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor

Projekt	PSP-Element	Objekt-Code
9 K	33222.37	5500
Festiva	Kategorie	Gruppe
		GHK

ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD  
Strabeg Bau-AG      Sachtleben Bergbau GmbH

Fall B51A1  
Kennwerte s. Anlage 9.19



MQ 1 : Querschnitt bei Station ~ 125 m  
(bezogen auf PP1798 in Strecke 241 S)

Legende :

↑ 17mm aus Inkrementalextensometer- und Inklinometermessungen abgeleitete Verschiebungen nach Unterlage [35]

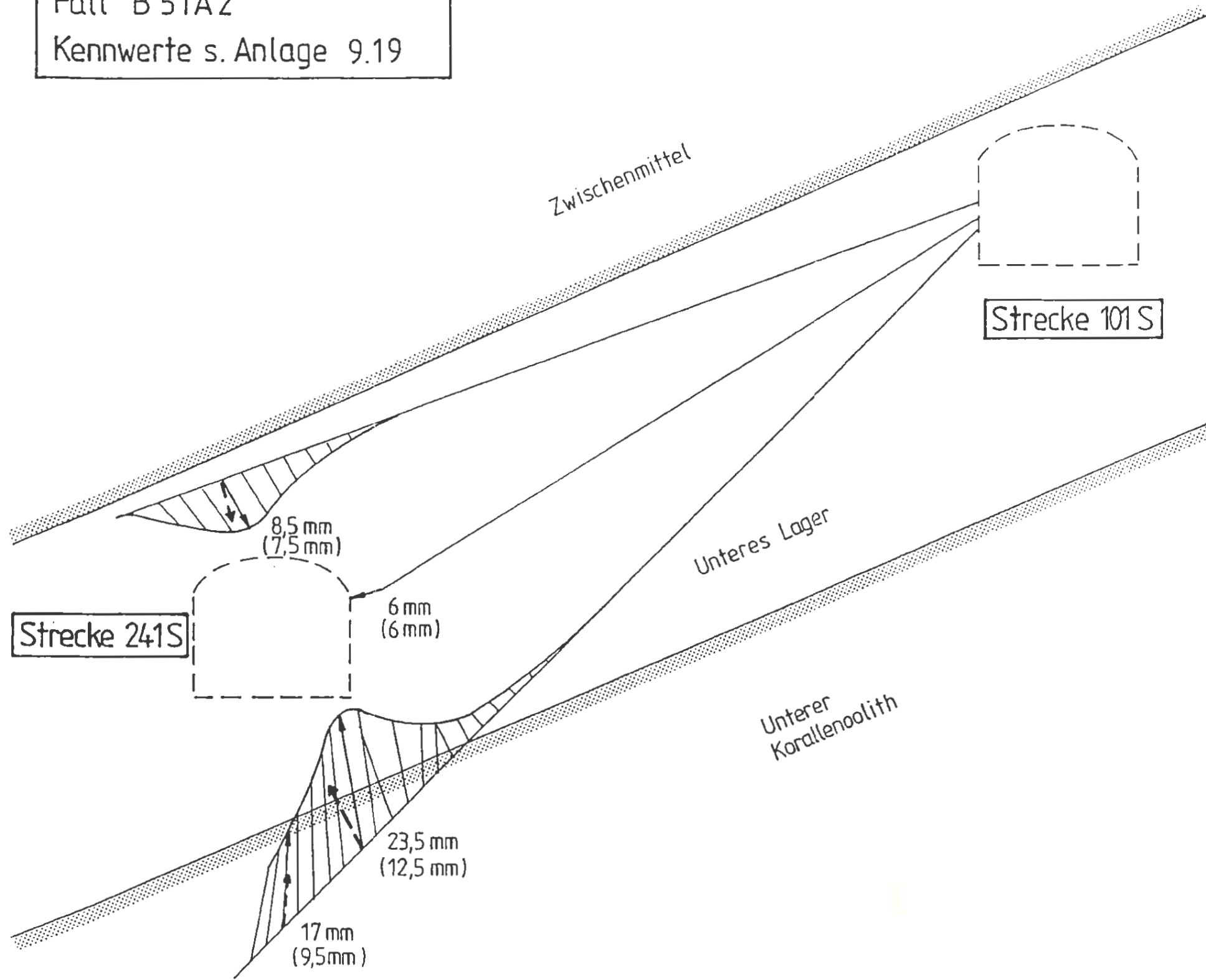
- Stand 12.12.1988 -

↗ Berechnungsergebnisse (16mm)

Physikalisch-Technische Bundesanstalt					
Projekt: Endlager Konrad					
	Datum	Name/Unterschrift	Ersteller und Zeichnungsnummer Fremd		
gel.					Anlage 9.20
beark.	7.7.89				
gepr.	17.7.89				
Maßstab			Kammerabschlußbauwerk Modell 2		
			Fall B51A1:		
			Gebirgsverschiebungen im Bereich der Lageänderungsbohrungen (MQ 1) -		
NF-Nr.			Vergleich Messung / Rechnung		
Blatt	von	Blatt			
Classifizierung:			Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor		
Projekt	PSP-Element	Objekt-Code			
9 K	33222.37	5500			
Funktion	Komponente	Bezugsgruppe	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.
			GHK		
ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD					
Strabag Bau-AG			Sachtleben Bergbau GmbH		



Fall B 51A2  
Kennwerte s. Anlage 9.19



MQ 1: Querschnitt bei Station ~ 125 m  
(bezogen auf PP1798 in Strecke 241 S)

Legende:

aus Inkrementalextensometer- und Inklinometermessungen abgeleitete Verschiebungen nach Unterlage [35]

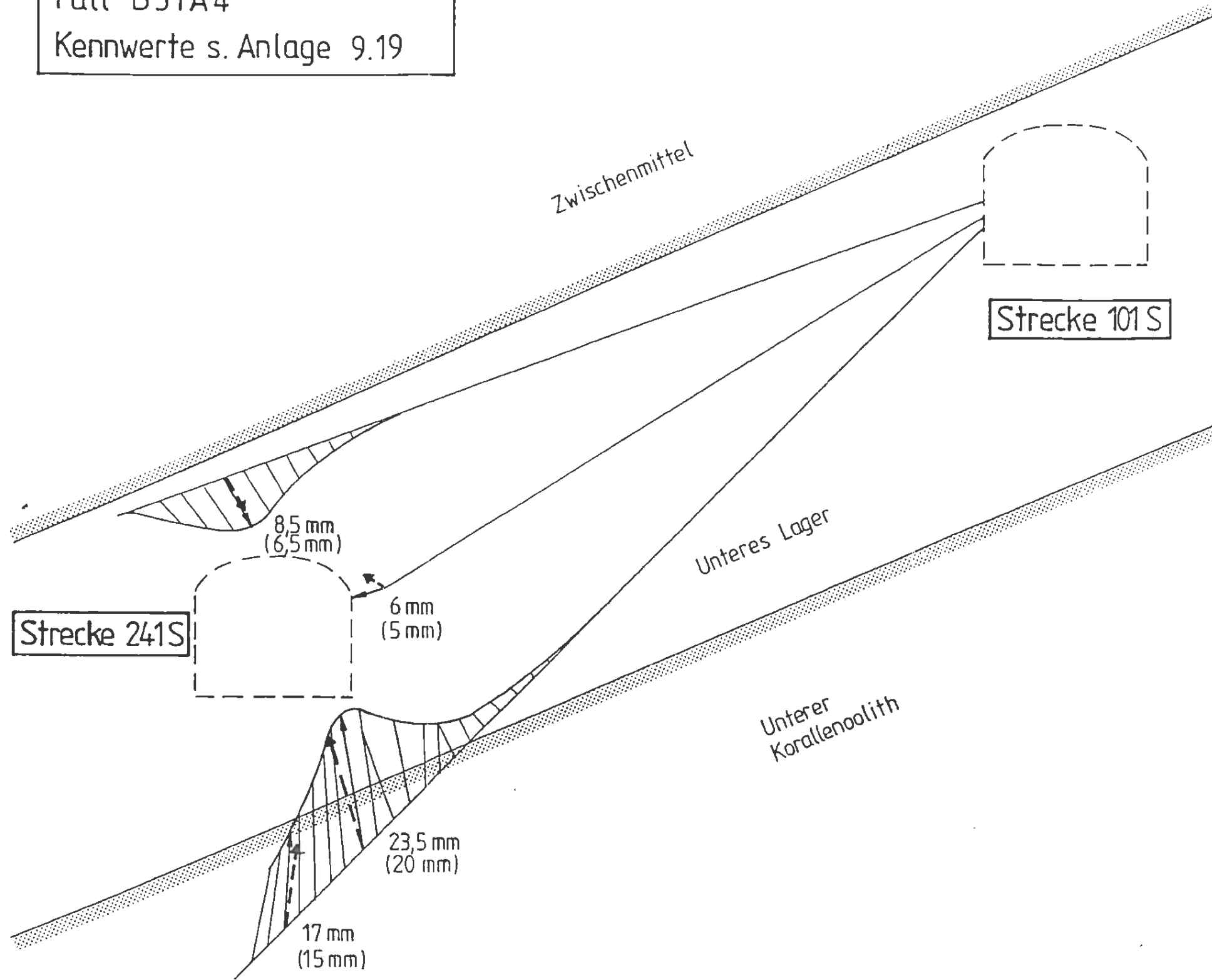
- Stand 12.12.1988 -

Berechnungsergebnisse  
(16mm)

Physikalisch-Technische Bundesanstalt						
Projekt: Endlager Konrad						
	Datum	Name/Unterschrift	Ersteller und Zeichnungsnummer		Anlage	
gez.						9.21
bearb.	2.3.88					
gepr.	12.9.88					
Maßstab			Kammerabschlußbauwerk Modell 2			
			Fall B51A2: Gebirgsverschiebungen im Bereich der Lageänderungsbohrungen (MQ 1) - Vergleich Messung / Rechnung			
PF-Nr.						
Blatt	von	Blatt				
Klassifizierung:			Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor			
Projekt	PSP-Element		Objekt-Numm.			
9 K	33222.37		5500			
Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.	Rev.
			GHK			
ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD						
Strabag Bau-AG			Sachtleben Bergbau GmbH			

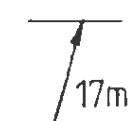


Fall B51A4  
Kennwerte s. Anlage 9.19



MQ 1 : Querschnitt bei Station ~ 125 m  
(bezogen auf PP1798 in Strecke 241 S)

Legende :

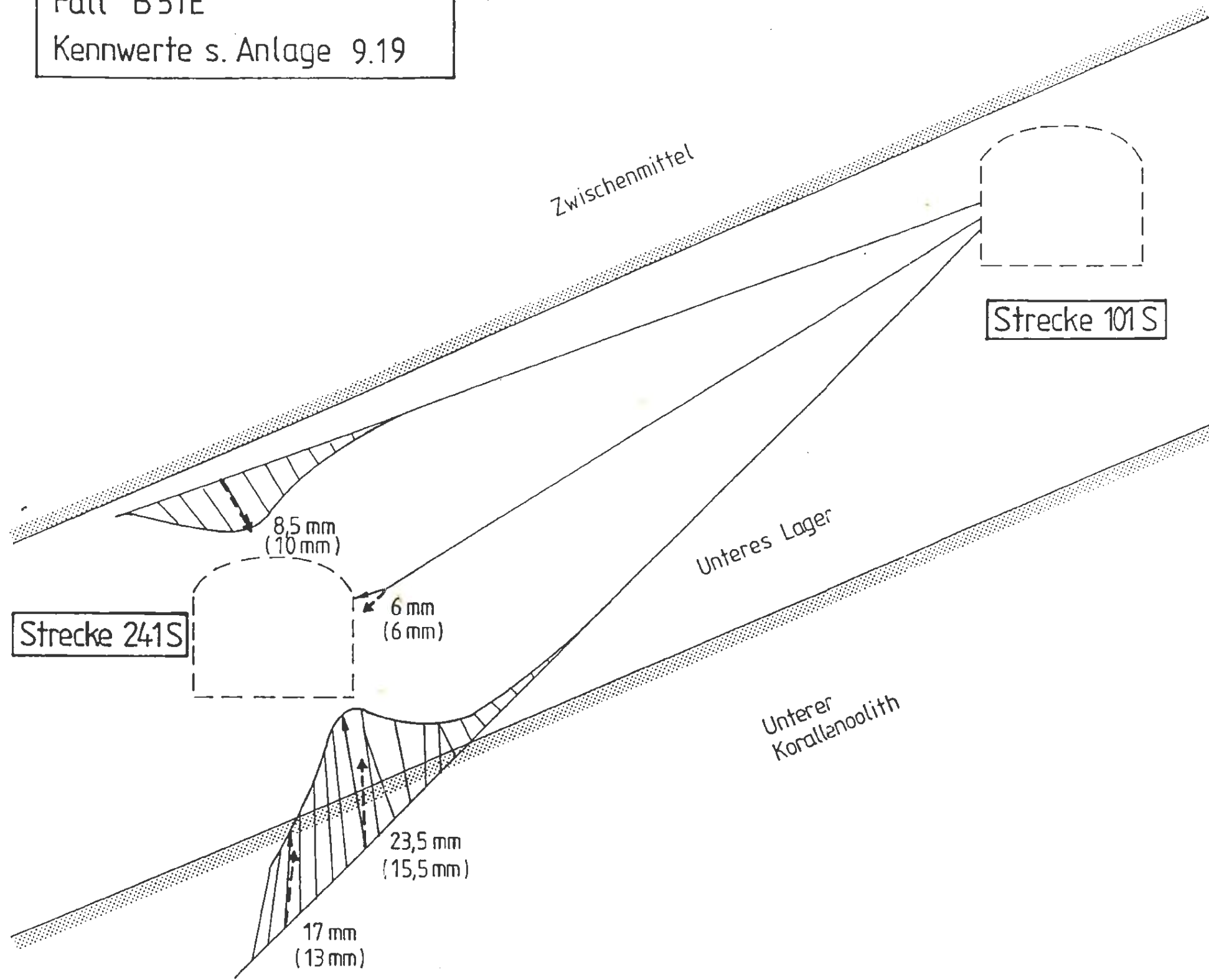
 aus Inkrementalextensometer- und Inclinometermessungen abgeleitete Verschiebungen nach Unterlage [35]

- Stand 12.12.1988 -

 Berechnungsergebnisse (16mm)

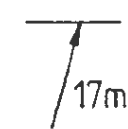
 Physikalisch-Technische Bundesanstalt						
Projekt: Endlager Konrad						
	Datum	Name/Unterschrift	Ersteller und Zeichnungsnummer Freund			
gez.						Anlage 9.22
bezt.	7.7.89					
gepr.	12.7.85					
Kadst.			Kammerabschlußbauwerk Modell 2			
			Fall B51A4			
			Gebirgsverschiebungen im Bereich der Lageänderungsbohrungen (MQ 1) -			
			Vergleich Messung / Rechnung			
Klassifizierung: <span style="float: right;">Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor</span>						
Projekt	PSP-Element		Objekt-Element			
9 K	33222.37		5500			
Funktion	Komponente	Baugruppe	Anzeige	GA	Lfd.Nr.	Rev.
			GHK			
ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD						
Strabag Bau-AG			Sachtleben Bergbau GmbH			

Fall B51E  
Kennwerte s. Anlage 9.19



MQ 1 : Querschnitt bei Station ~ 125 m  
(bezogen auf PP1798 in Strecke 241 S)

Legende :

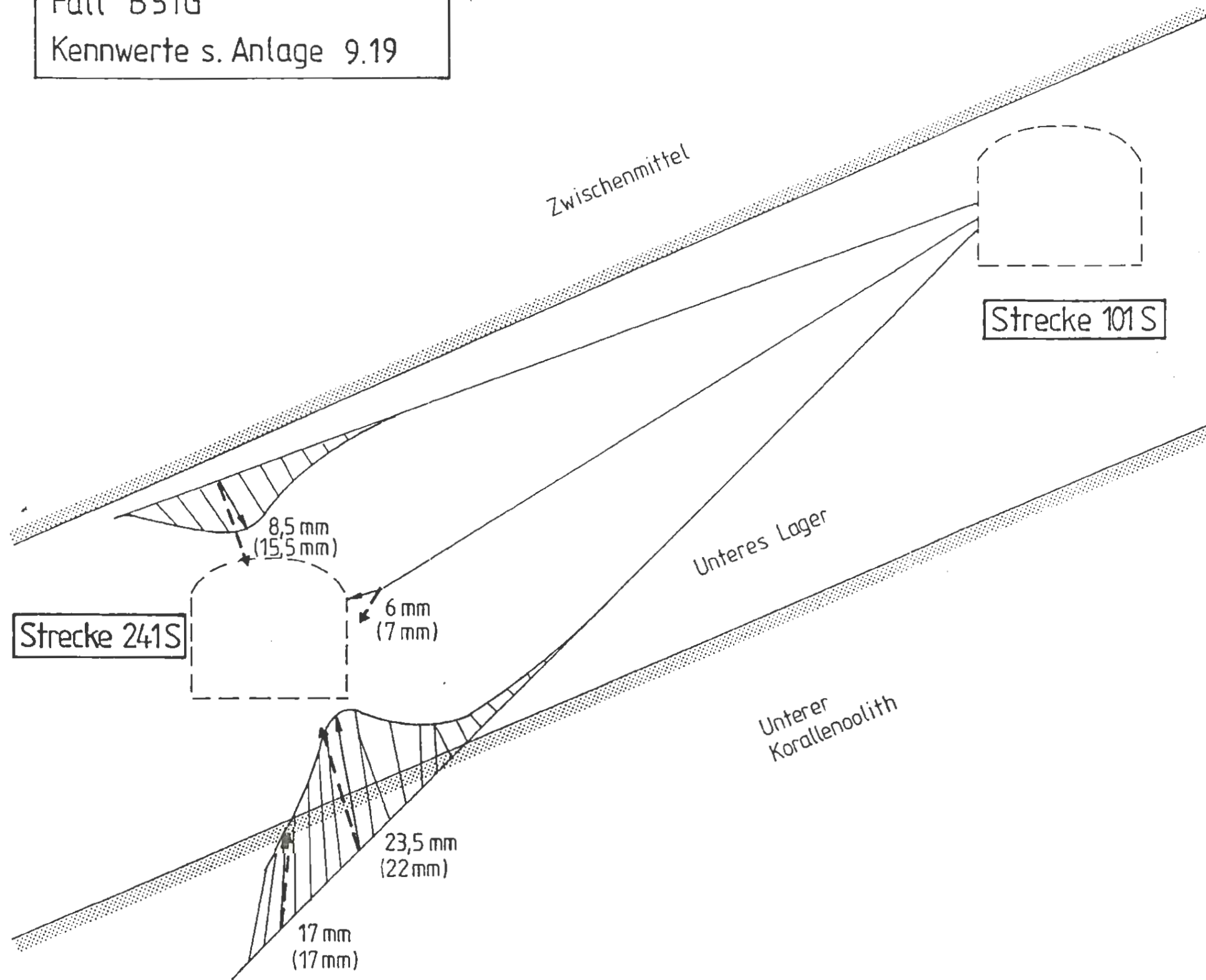
 aus Inkrementalextensometer- und Inklinometermessungen abgeleitete Verschiebungen nach Unterlage [35]

- Stand 12.12.1988 -

 Berechnungsergebnisse  
(16mm)

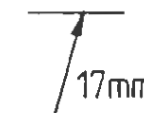
 Physikalisch-Technische Bundesanstalt					
Projekt : Endlager Konrad					
	Datum	Name/Unterschrift	Ersteller und Zeichnungsnummer Fremd		
geL.				Anlage	
bezt.	7.9.88			9.23	
gepr.	12.9.88				
Maßstab			Kammerabschlussbauwerk Modell 2		
			Fall B51E : Gebirgsverschiebungen im Bereich der Lageänderungs- bohrungen (MQ 1) - Vergleich Messung / Rechnung		
Nr.-Nr.					
Blatt	von	Blatt			
Klassifizierung : <span style="float: right;">Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor</span>					
Projekt	PSP-Element		Objekt-Kennz.		
9 K	33222.37		5500		
Funktion	Komponent	Bezugsgruppe	Angabe	UA	Lfd.Nr.
			GHK		
ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD					
Strabag Bau-AG			Sachtleben Bergbau GmbH		

Fall B51G  
Kennwerte s. Anlage 9.19

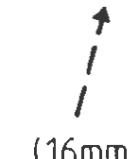


MQ 1 : Querschnitt bei Station ~ 125 m  
(bezogen auf PP1798 in Strecke 241 S)

Legende :

 aus Inkrementalextensometer- und Inklinometermessungen abgeleitete Verschiebungen nach Unterlage [35]

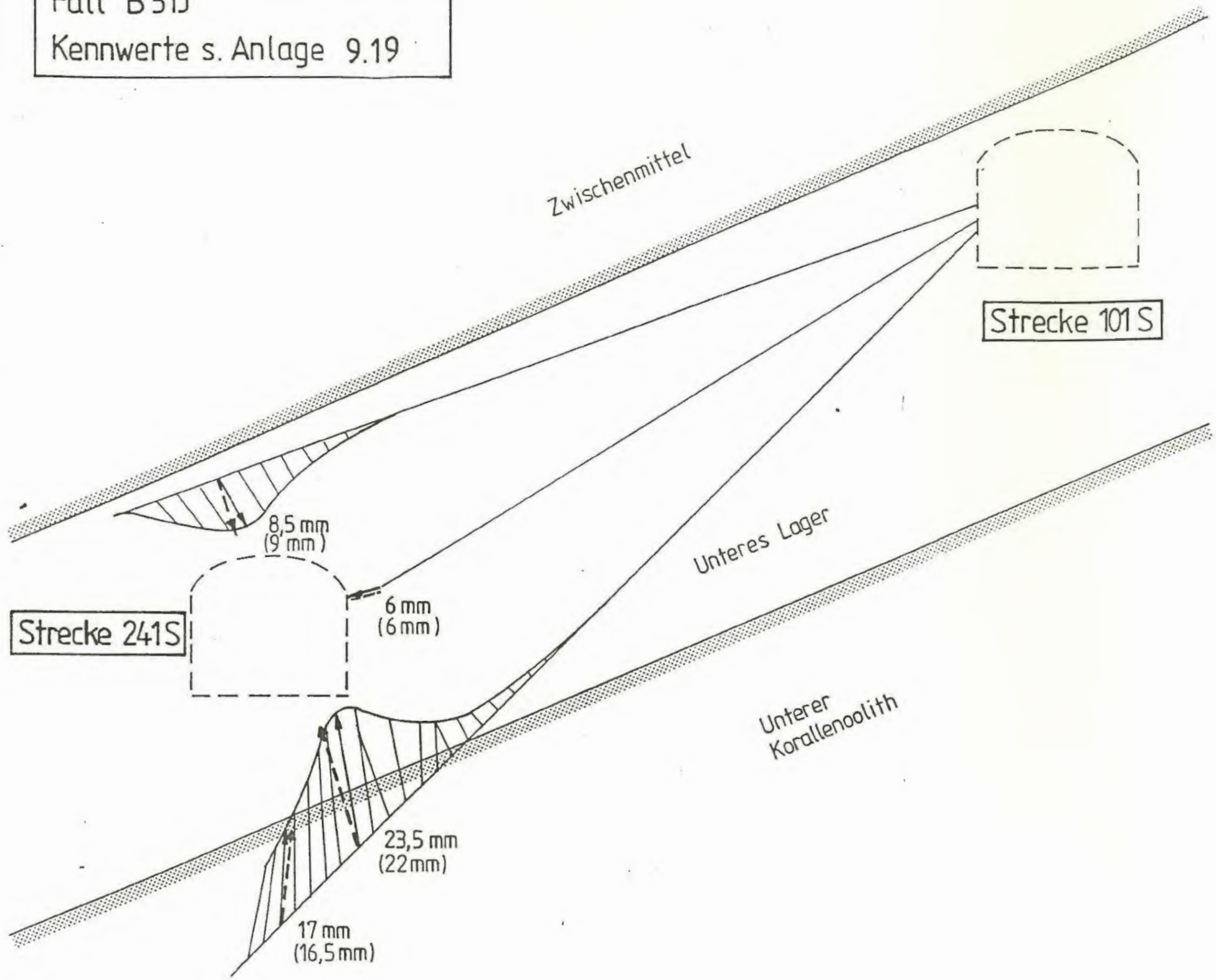
- Stand 12.12.1988 -

 Berechnungsergebnisse (16mm)

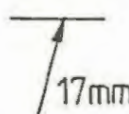
 Physikalisch-Technische Bundesanstalt					
Projekt: Endlager Konrad					
	Datum	Name/Unterschrift	Ersteller und Zeichnungsnummer Freund		
gez.					Anlage 9.24
bearb.	7.7.85				
gepr.	12.7.85				
Maßstab			Kammerabschlußbauwerk Modell 2		
Nr.-Nr.			Fall B51G: Gebirgsverschiebungen im Bereich der Lageänderungsbohrungen (MQ 1) - Vergleich Messung / Rechnung		
Blatt	von	Blatt	Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor		
Klassifizierung:			Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor		
Projekt	PSP-Element	Objekt-Kennz.			
9 K	33222.37	5500			
Funktion	Leopental	Baugruppe	Anzeige	UA	Lfd.Nr.
			GHK		
ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD					
Strabag Bau-AG			Sachtleben Bergbau GmbH		



Fall B51J  
Kennwerte s. Anlage 9.19



Legende:

 aus Inkrementalextensometer- und Inklinometermessungen abgeleitete Verschiebungen nach Unterlage [35]

- Stand 12.12.1988 -

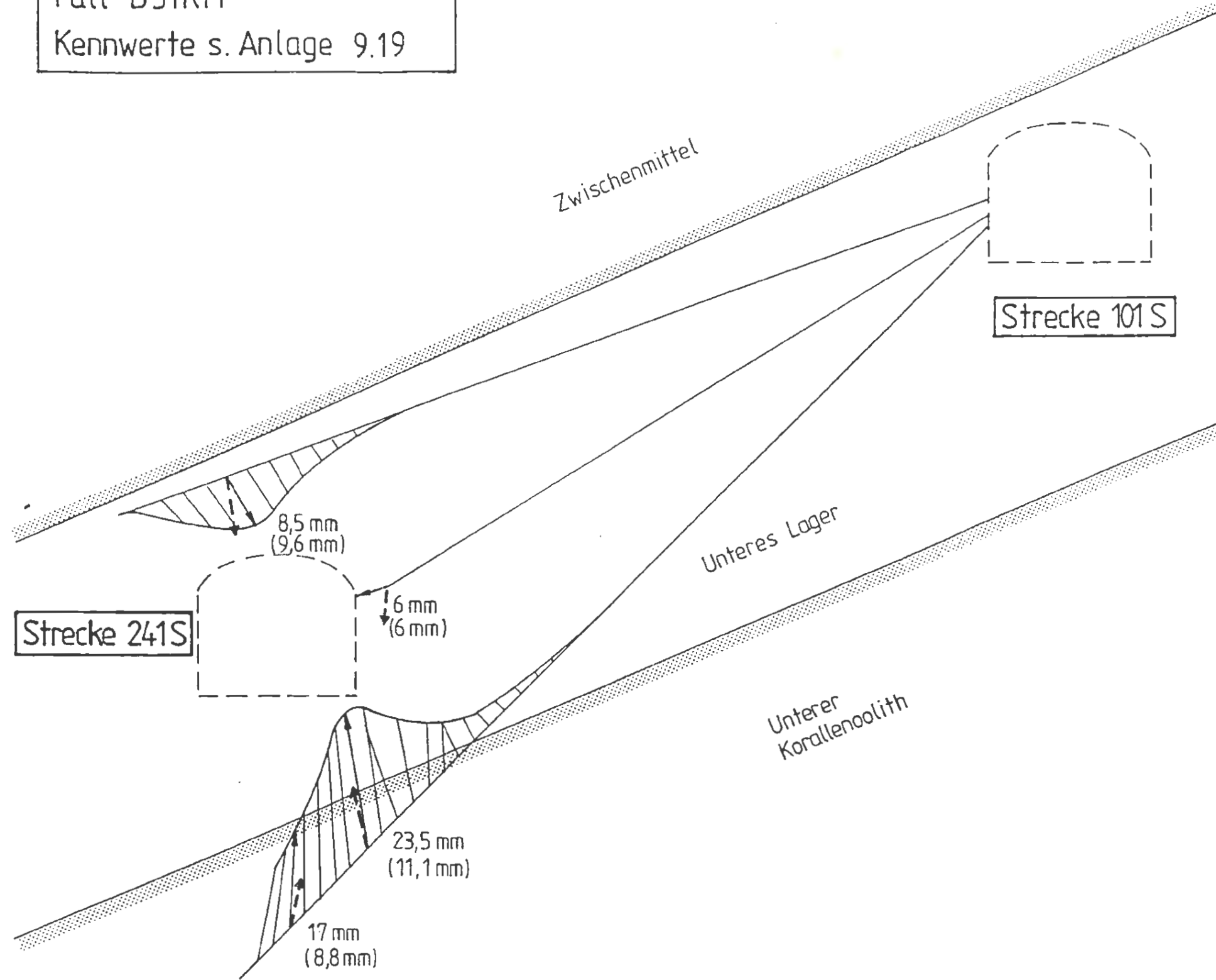
 Berechnungsergebnisse (16mm)

MQ 1 : Querschnitt bei Station ~ 125 m  
(bezogen auf PP1798 in Strecke 241 S)

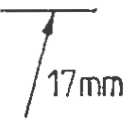
 Physikalisch-Technische Bundesanstalt			
Projekt: Endlager Konrad			
gez.	Datum	Name/Unterschrift	Ersteller und Zeichnungsnummer Fremd
bezt.	7.2.85		 Anlage 9.25
gepr.	12.7.85		
Maßstab	Kammerabschlußbauwerk Modell 2 Fall B51J: Gebirgsverschiebungen im Bereich der Lageänderungsbohrungen (MQ 1) - Vergleich Messung / Rechnung		
MF-Nr.			
Blatt	von	Blatt	
Klassifizierung: Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor			
Projekt	PSP-Element		Objekt-Kennz.
9 K	33222.37		5500
Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe
			GHK
ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD			
Strabag Bau-AG		Sachtleben Bergbau GmbH	




Fall B51KM  
Kennwerte s. Anlage 9.19



Legende:

 aus Inkrementalextensometer- und Inklinometermessungen abgeleitete Verschiebungen nach Unterlage [35]

- Stand 12.12.1988 -

 Berechnungsergebnisse (16mm)

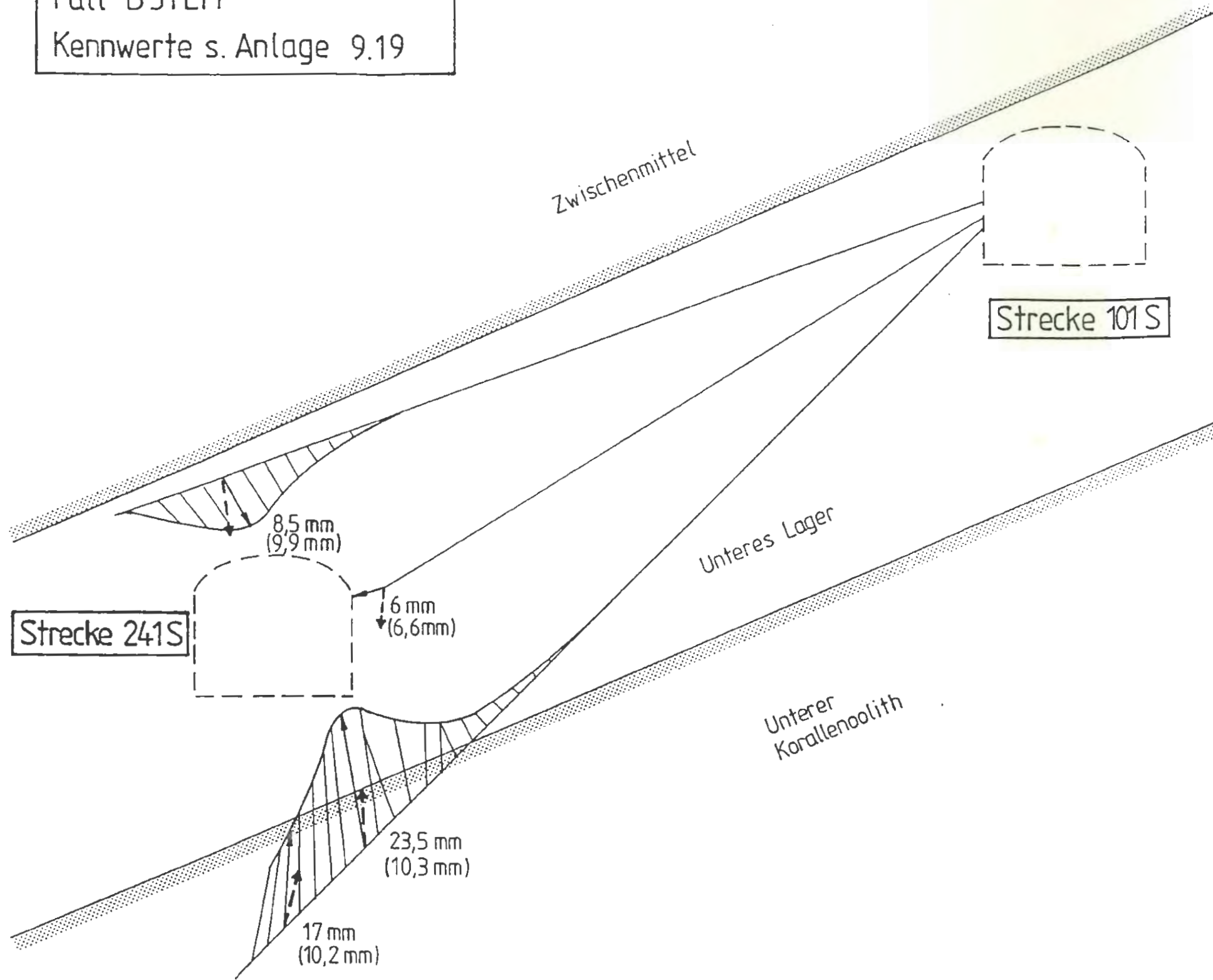
Strecke 241 S

Strecke 101 S

MQ 1: Querschnitt bei Station ~ 125 m  
(bezogen auf PP1798 in Strecke 241 S)

(P) Physikalisch-Technische Bundesanstalt			
Projekt: Endlager Konrad			
	Datum	Name/Unterschrift	Ersteller und Zeichnungsnummer Fremd
gez.			
bearb.	7.7.89		
gepr.	12.7.89		
Maßstab			Modell 2
MF-Nr.			Fall B51KM: Gebirgsverschiebungen im Bereich der Lageänderungs- bohrungen (MQ 1) - Vergleich Messung / Rechnung
Blatt	von	Blatt	
Klassifizierung:		Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor	
Projekt	PSP-Element	Objekt-Kennz.	
9 K	33222.37	5500	
Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe
			GHK
ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD			
Strabag Bau-AG		Sachtloben Bergbau GmbH	

Fall B51LM  
Kennwerte s. Anlage 9.19



MQ 1 : Querschnitt bei Station ~ 125 m  
(bezogen auf PP1798 in Strecke 241 S)

Legende :

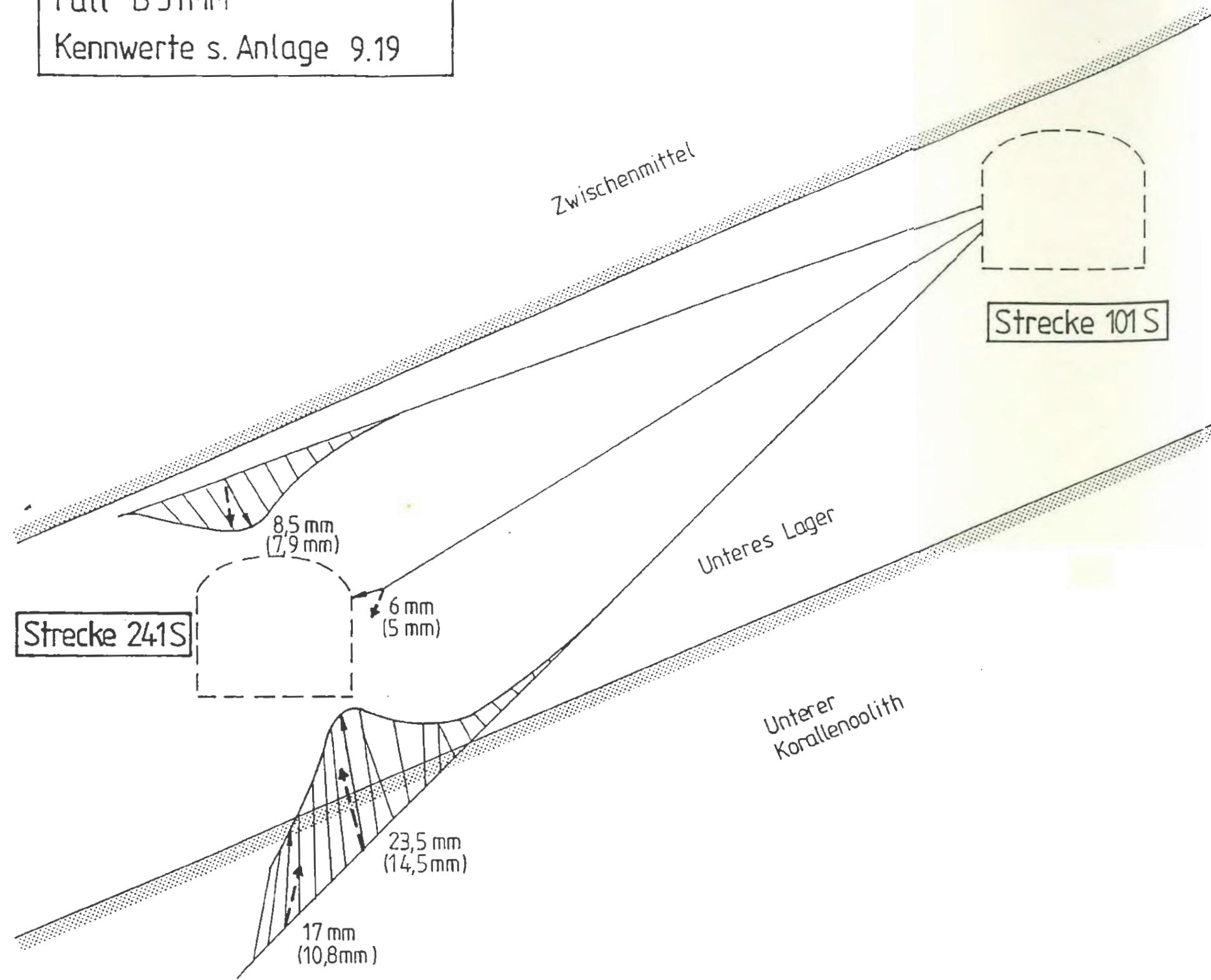
aus Inkrementalextensometer- und Inklinometermessungen abgeleitete Verschiebungen nach Unterlage [35]

- Stand 12.12.1988 -

Berechnungsergebnisse  
(16mm)

Physikalisch-Technische Bundesanstalt			
Projekt: Endlager Konrad			
	Datum	Name/Unterschrift	Ersteller und Zeichnungsnummer Freid
gez.			
bezt.	7.9.85		Anlage 9.27
gepr.	12.9.87		
Kadenz			ammerabschlußbauwerk Modell 2
KF-Nr.			Fall B51LM: Gebirgsverschiebungen im Bereich der Lageänderungsbohrungen (MQ 1) - Vergleich Messung / Rechnung
Blatt	von	Blatt	
Classifizierung:		Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor	
Projekt	PSP-Element	Objekt-Nummer	
9 K	33222.37	5500	
Funktion	Leopold	Bruggen	Aufgabe
			GHK
ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD			
Strabeg Bau-AG		Sachtleben Bergbau GmbH	

Fall B 51MM  
Kennwerte s. Anlage 9.19



Legende:

aus Inkrementalextensometer- und Inklinometermessungen abgeleitete Verschiebungen nach Unterlage [35]

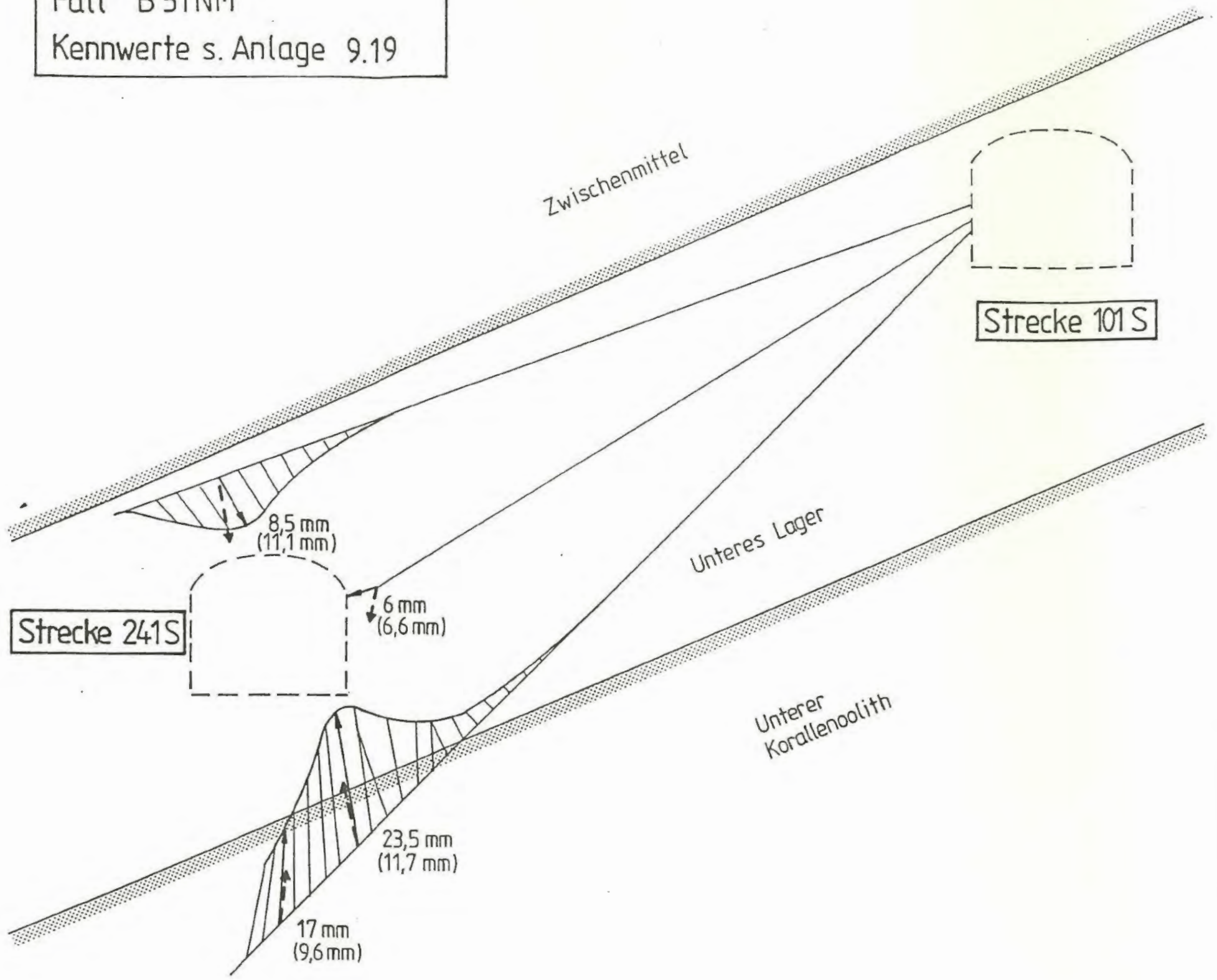
- Stand 12.12.1988 -

Berechnungsergebnisse  
(16mm)

Physikalisch-Technische Bundesanstalt			
Projekt: Endlager Konrad			
Datum	Name/Unterschrift	Ersteller und Zeichnungsnummer Freund	
gez.			Anlage 9.28
beark.	9.7.88		
gepr.	12.7.88		
Kurzsch.		Stimmerabschlußbauwerk Modell 2	
KF-Nr.		Fall B 51MM: Gebirgsverschiebungen im Bereich der Lageänderungsbohrungen (MQ 1) - Vergleich Messung / Rechnung	
Blatt	von	Blatt	
Klassifizierung:		Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor	
Projekt	PSP-Element	Objekt-Nummer	
9 K	33222.37	5500	
Funktion	Komponente	Gruppe	Angabe
			GHK
ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD			
Strebeg Bau-AG		Sachtloben Bergbau GmbH	



Fall B 51NM  
Kennwerte s. Anlage 9.19

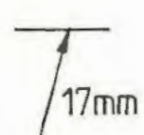


Strecke 241S

Strecke 101S

MQ 1: Querschnitt bei Station ~ 125 m  
(bezogen auf PP1798 in Strecke 241 S)

Legende:

 aus Inkrementalextensometer- und Inclinometermessungen abgeleitete Verschiebungen nach Unterlage [35]

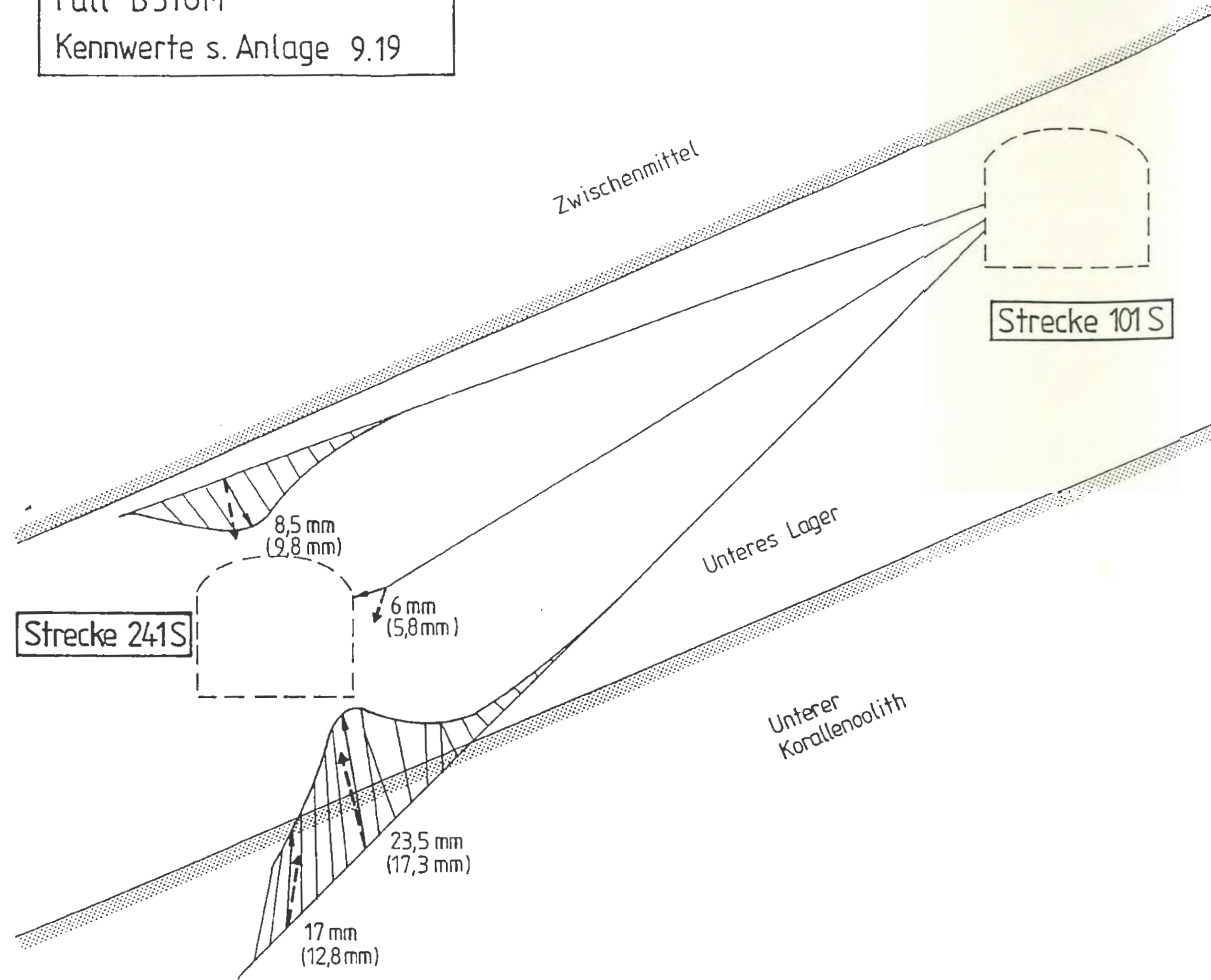
- Stand 12.12.1988 -

 Berechnungsergebnisse (16mm)


 Physikalisch-Technische Bundesanstalt					
Projekt: Endlager Konrad					
	Datum	Name/Unterschrift	Ersteller und Zeichnungsman: Freund		
gez.					Anlage 9.29
bearb.	7.7.89				
gepr.	12.7.89				
Kadenz			Innenausschnittsbauwerk Modell 2		
KF-Nr.			Fall B 51NM: Gebirgsverschiebungen im Bereich der Lageänderungsbohrungen (MQ 1) - Vergleich Messung / Rechnung		
Blatt	von	Blatt			
Classifizierung:			Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor		
Projekt	PSP-Element		Objekt-Nummer		
9 K	33222.37		5500		
Funktion	Leopold	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.
			GHK		
ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD					
Strabag Bau-AG			Sachtleben Bergbau GmbH		



Fall B510M  
Kennwerte s. Anlage 9.19



Legende:

 aus Inkrementalextensometer- und Inklinometermessungen abgeleitete Verschiebungen nach Unterlage [35]


- Stand 12.12.1988 -

 Berechnungsergebnisse (16mm)

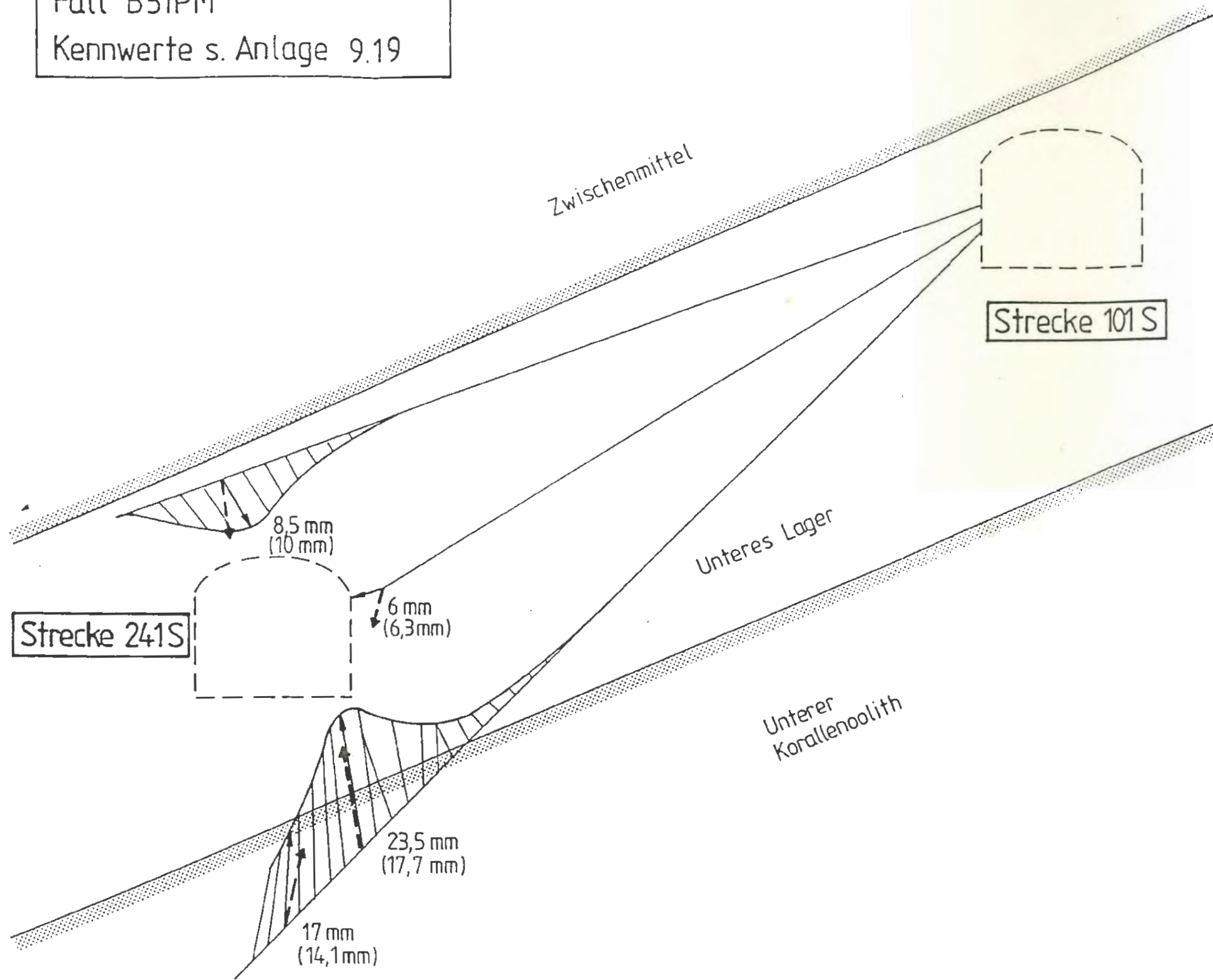
Strecke 241 S

Strecke 101 S


MQ 1: Querschnitt bei Station ~ 125 m  
(bezogen auf PP1798 in Strecke 241 S)

 Physikalisch-Technische Bundesanstalt					
Projekt: Endlager Konrad					
	Datum	Name/Unterschrift	Ersteller und Zeichnungsnummer Freund		
gez.					Anlage 9.30
bearb.	29.8.88				
gepr.	12.7.88				
Kadenz			Kammerabschlussbauwerk Modell 2		
			B510M:		
			Gebirgsverschiebungen im Bereich der Lageänderungsbohrungen (MQ 1) - Vergleich Messung / Rechnung		
NF-Nr.					
Blatt	von	Blatt			
Klassifizierung: <span style="float: right;">Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor</span>					
Projekt	PSP-Element		Objekt-Kennz.		
9 K	33222.37		5500		
Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.
			GHK		
ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD					
Strabag Bau-AG			Sachtleben Bergbau GmbH		


Fall B51PM  
Kennwerte s. Anlage 9.19



Legende:

 aus Inkrementalextensometer- und Inklinometermessungen abgeleitete Verschiebungen nach Unterlage [35]


- Stand 12.12.1988 -

 Berechnungsergebnisse (16mm)

Strecke 241S

Strecke 101 S

MQ 1 : Querschnitt bei Station ~ 125 m  
(bezogen auf PP1798 in Strecke 241 S)

 Physikalisch-Technische Bundesanstalt					
Projekt: Endlager Konrad					
	Datum	Name/Unterschrift	Ersteller und Zeichnungsnummer		
gez.					Anlage
beurh.	7.9.88				9.31
gepr.	12.9.88				
Kadst.			Kammerabschlußbauwerk Modell 2		
KF-Nr.			Fall B51PM : Gebirgsverschiebungen im Bereich der Lageänderungs- bohrungen (MQ 1) - Vergleich Messung / Rechnung		
Blatt	von	Blatt	Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor		
Classifizierung:			Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor		
Projekt	PSP-Element		Objekt-Code		
9 K	33222.37		5500		
Funktion	Komponente	Bezugsgruppe	Aufgabe	GA	Lfd.Nr.
			GHK		
ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD					
Strabag Bau-AG			Sachtleben Bergbau GmbH		