

# Bundesamt für Strahlenschutz

## Genehmigungsunterlagen

Konrad

EU 292

---

**Gesamte Blattzahl dieser Unterlage: 59 Blatt**

Die Übereinstimmung der ~~vorstehenden~~  
Abschrift ~~- auszugsweisen Abschrift -~~  
~~Fotokopie~~ mit der Urschrift wird beglaubigt.

Hannover, den

15. Jan. 98



**Deckblatt**

Projekt	PSP-Element	Obj Kenn	Aufgabe	UA	Lfd Nr	Rev	Seite:
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	XAAXX	AA	NNNN	NN	1
9K	33222.37		GHK	RB	0005	01	Stand: 21.09.95
						EU 292	

Titel der Unterlage:

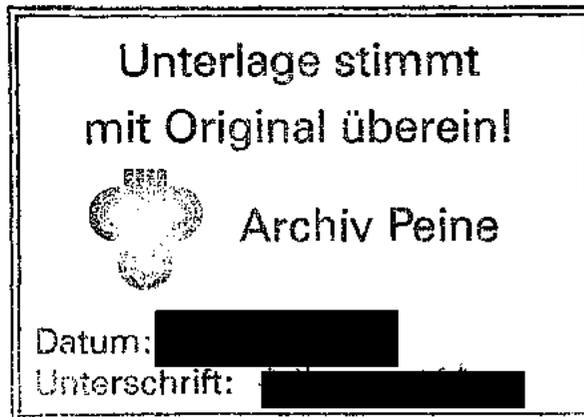
Kammerabschlußbauwerk, Injektionstechnik zur Abdichtung des streckennahen Bereichs

Ersteller:

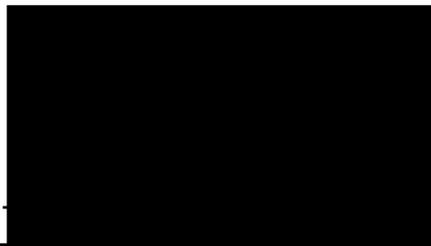
BfS

Textnummer:

Stempelfeld:



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 des BfS

Revisionsblatt

Projekt	PSP Element	Obj Kennr	Aufgabe	UA	UdNr	Rev	Seite
9K	33222 37		GHK	RB	0005	00	II
							Stand
							31 07 89

Titel der Unterlage:

Kammerabschlußbauwerk Modell 2. Injektionstechnik zur Abdichtung des streckennahen Bereichs

Rev	Rev -Stand Datum	UVST	Prüfer (Kürzel)	rev Seite	Kat *)	Erläuterung der Revision
01	21.09.95	ET 2.4			S	Aufgrund der Einführung des Vollversatzes gibt es nur noch einen Typ Kammerabschlußbauwerke. Das Kammerabschlußbauwerk Modell 1 entfällt, da der Vollversatz inclusive Kammerabschluß die Anforderungen abdeckt. Das KAB Modell 2 wird jetzt als KAB weitergeführt (ohne den Zusatz „Modell 2“), Abgleich mit EU 266
					R	Änderung des Titels der Unterlage
				I-IV	R	Korrektur der Seitennummerierung
				I	R	Arge Konrad, Verfasser, Datum gestrichen
				I, II	R	Titel der Unterlage geändert
				II	R	Arge Konrad, Technischer Bericht 3, Verfasser, Datum gestrichen
				III	S	Modell 2 gestrichen, Abgleich mit EU 266
				III	R	das Wort „bestimmte“ gestrichen
				III,	R	Begriffsumstellung „Kammerabschlüssen“ durch
				1		„Kammerabschlußbauwerken“ ersetzt
				1	S	Hinweis auf das Modell 1 gestrichen, Abgleich mit EU 266, Blatt 6. Formulierung angepaßt
				1	S	Anforderungen an Modell 1 gestrichen, Abgleich mit EU 266
				1, 2	R	Modell 2 durch Kammerabschlußbauwerk ersetzt
				2	R	Halbsatz „der im Auftrag der Arge Konrad gearbeitet wurde“ gestrichen
				2,	R	„nach dem Modell 2“ gestrichen
				18,		
				19,		
				20		
				Anl		
				3 1		
				2	R	Hinweis auf /4/ gestrichen
				5	R	Hinweis auf „am Institut für Grundabbau der RWTH Aachen“ und Literatur /2/ gestrichen
				5	R	Halbsatz „wurden ebenfalls am Institut für Grundbau der RWTH Aachen durchgeführt“ und Hinweis auf /3/ gestrichen, Anpassung der Satzformulierung
				12	R	Ergänzung des Wortes „Anlage“ bei Hinweis auf Anlage 4 13

\*) Kategorie R = redaktionelle Korrektur  
 Kategorie V = verdeutlichende Verbesserung  
 Kategorie S = substantielle Revision  
 mindestens bei der Kategorie S müssen Erläuterungen angegeben werden



Revisionsblatt

Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Aufgabe	JA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite
HA 471	NNNNNNNNNNNN	NNNNNN	X A A X Y	AA	NNNN	NN	III
9K	33222 37		GHK	RB	0005	00	EU 292
							Stand 31 07 89

Titel der Unterlage.

Kammerabschlußbauwerk Modell 2. Injektionstechnik zur Abdichtung des streckennahen Bereichs

Rev	Rev -Stand Datum	UVST	Prüfer (Kürzel)	rev Seite	Kat *	Erläuterung der Revision
01	21.09.95	ET 2.4	█	20	R	„Aachen, den 3.7.1989 (█)“ gestrichen
				22	R	Literaturverzeichnis aktualisiert
				Anl. 4 3	R	Text des Anlangenspiegels an Bezeichnung im Anlangensverzeichnis angepaßt

\*) Kategorie R = redaktionelle Korrektur  
 Kategorie V = verdeutlichende Verbesserung  
 Kategorie S = substantielle Revision  
 mindestens bei der Kategorie S müssen Erläuterungen angegeben werden



**Kammerabschlußbauwerk**

| 01

**Injektionstechnik zur Abdichtung  
des streckennahen Bereichs**

| 01

| 01



Schachtanlage Konrad  
Kammerabschlußbauwerk  
Injektionstechnik zur Abdichtung  
des streckennahen Bereichs

01



**Zusammenfassung:**

Im vorliegenden Bericht werden die Ergebnisse der Injektionsversuche für die Abdichtung des streckennahen Bereichs im Bereich der Kammerabschlußbauwerke für Kammern mit erhöhten radiologischen Anforderungen des Endlagers Konrad vorgestellt. Diese Versuche wurden in einer im Konradprofil aufgefahrenen an den Stößen und in der Sohle ungesicherten Strecke durchgeführt. Durch Wasserdruckversuche wurde nachgewiesen, daß sich der streckennahe Bereich bei Verpressung mit einer Suspension aus ultrafein gemahlenem Zement (Mikrodur) oder mit Kunststoff (Wilkit) ausreichend abdichten läßt, wenn man zuvor die extrem hohlraumreichen Auflockerungsbereiche in der Nähe der Hohlraumwandungen mit Zementpaste verpreßt. Nach diesen Ergebnissen ist davon auszugehen, daß mit den o.g. Injektionsmitteln eine Abdichtung der streckennahen Bereiche von Kammerabschlußbauwerken auf das geforderte Maß ausführbar ist, wenn die Vorschriften für die Qualitätssicherung eingehalten wurden. Falls andere Injektionsmittel oder neue Injektionsverfahren für die Abdichtung der streckennahen Bereiche von Kammerabschlußbauwerken eingesetzt werden sollen, sind diese zuvor durch Vorversuche auf ihre Eignung unter den in der Schachtanlage Konrad herrschenden Bedingungen zu untersuchen.

01

01  
01

01



## IV

	Seite
1. Aufgabenstellung	1
2. Anforderung	2
3. Konzept für die Abdichtung des strecken- nahen Bereichs	3
3.1 Verpressung in mehreren Injektionsphasen	3
3.2 Überprüfung des Abdichtungserfolgs	3
4. Nachweis der Machbarkeit	4
4.1 Verwendete Injektionsmittel	4
4.2 Versuchsfelder und Umfang der Versuche	6
4.3 Injektionen der Phase I	8
4.4 Injektionen der Phase II	9
4.5 WD-Versuche nach Abschluß der Phase II	10
4.6 Injektionen der Phase III	13
4.7 WD-Versuche nach Abschluß der Phase III	15
4.8 Schlußfolgerungen	16
5. Qualitätssicherung	19
6. Qualifikation neuer Injektionstechniken	19
7. Vorschriften und Empfehlungen	20
8. Anlagenverzeichnis	20
9. Literaturverzeichnis	22



## 1. Aufgabenstellung

Kammerabschlußbauwerke trennen in der Betriebsphase des Endlagers mit Abfallgebinden 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 Kammerabschlußbauwerke 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. | 01

Für das Endlager Konrad bestehen für Kammerabschlußbauwerke folgende Anforderungen hinsichtlich der Rückhaltung flüchtiger Radionuklide: | 01

- Rückhaltung von Aerosolen,
- Reduzierung der  $^3\text{H}$ -,  $^{14}\text{C}$ - und  $^{222}\text{Rn}$ -Freisetzung durch quasisicheren Abschluß. | 01



Abfälle mit erhöhter Aktivitätsfreisetzung werden in Kammern eingelagert, die mit Kammerabschlußbauwerken quasidicht verschlossen werden.

01

Für die Abdichtung des streckennahen Bereichs gegen Strömung sind Gebirgsinjektionen vorgesehen. Im vorliegenden Bericht wird das Konzept für die Abdichtung des streckennahen Bereichs beschrieben und es werden die Ergebnisse der in der Strecke 522 durchgeführten Injektionsversuche sowie die Versuche zur Überprüfung des Abdichtungserfolgs vorgestellt und erläutert. Darüber hinaus werden auch Empfehlungen für die Vorgehensweise und die Wahl der Injektionsmittel für die Abdichtung des streckennahen Bereichs im Bereich der Kammerabschlußbauwerke gegeben.

01

01

## 2. Anforderungen

Neben betrieblichen und geotechnischen Anforderungen sind für Kammerabschlußbauwerke während der Betriebsphase auch radiologische Bedingungen einzuhalten. Insbesondere wird hinsichtlich der Dichtigkeit gegenüber Strömungsvorgängen sowohl für das Kammerabschlußbauwerk, das neben dem Stahlbetonbauwerk auch den streckennahen Bereich umfaßt, ein Höchstwert für die Permeabilität von

01

$$P_{\max} = 10^{-14} \text{ m}^2$$

gefordert [5]. Die Permeabilität  $P$  ist ein Parameter, durch den die Durchlässigkeit des Gebirges gegenüber der Durchströmung mit einem flüssigen oder gasförmigen Medium definiert wird:

01

$$P = k_M \cdot \frac{\eta_M}{\gamma_M} \quad (1)$$

In (1) ist  $k_M$  der Durchlässigkeitsbeiwert,  $\eta_M$  die dynamische Viskosität und  $\gamma_M$  die Wichte des betreffenden Mediums.



### 3. Konzept für die Abdichtung des streckennahen Bereichs

#### 3.1 Verpressung in mehreren Injektionsphasen

Nach Fertigstellung der mit Spritzbeton und Ankern gesicherten Einlagerungskammer wird nach dem Abklingen der Gebirgsverformungen der streckennahe Bereich des Kammerabschlußbauwerks in mehreren Injektionsphasen verpreßt, bis die geforderte Höchstpermeabilität  $P_{\max} = 10^{-14} \text{m}^2$  in den in Anlage 3.1 skizzierten Injektionszonen erreicht bzw. unterschritten wird.

Die Injektionszonen werden durch Bohrungen nach dem Drehbohrverfahren zugänglich gemacht. Die Injektionen werden über diese Bohrungen abschnittsweise durchgeführt. Dabei werden die einzelnen Verpreßabschnitte jeweils mit Hilfe von Packern, die in die Bohrlöcher eingeführt werden, gegen den Bohrlochkopf abgedichtet.

Die für die geforderte Dichtigkeit erforderlichen Bohrlochtiefen und Abstände richten sich nach den örtlichen geologischen Verhältnissen. Geeignete Injektionsmittel werden in den nachfolgend beschriebenen Versuchen erprobt bzw. festgelegt (s. Abschnitt 4).

#### 3.2 Überprüfung des Abdichtungserfolges

Die durch Injektionen erzielte Gebirgsdichtigkeit wird durch Permeabilitätsuntersuchungen an Bohrkernen und in situ nachgewiesen. Besondere Bedeutung kommt dabei den Wasserdruckversuchen (WD-Versuche) zu, die gemäß der Empfehlung Nr. 9 des Arbeitskreises 19 der Deutschen Gesellschaft für Erd- und Grundbau (s. Abschnitt 7) durchgeführt werden. Mit diesen Versuchen lassen sich Wasserdurchlässigkeitsbeiwerte ermitteln, die sich mit Hilfe der Formel (1) in Permeabilitäten umrechnen lassen (s. Abschnitt 4.5).

Ergänzend zu den WD-Versuchen bietet die Baker Production GmbH, Celle, unter Oberaufsicht der TU Clausthal ein trockenes Verfahren für Durchströmungsmessungen an. Die Durchführung dieser technisch anspruchsvollen Methode setzt jedoch in dichten Gesteinsformationen hohe Gasdrücke voraus. Andererseits sind Umläufigkeiten im



streckennahen Bereich schwierig zu bewerten und erfordern entsprechende Meßhäufigkeiten.

#### 4. Nachweis der Machbarkeit

##### 4.1 Verwendete Injektionsmittel

Bei den nachfolgend beschriebenen Injektionsversuchen wurden vorwiegend Zementpasten sowie wasserreiche Zementsuspensionen als Injektionsmittel eingesetzt.

Die Verpressung von Zementpasten unterscheidet sich grundsätzlich von der Injektion wasserreicher Zementsuspensionen durch den Ablauf der Abdichtung von Hohlräumen und Trennflächen. Während bei wasserreichen Zementsuspensionen eine Verfüllung durch allmähliche Sedimentation der Zementkörner in den Fließwegen erfolgt, wobei anschließend das nicht zum Abbinden des Zements benötigte Wasser ausgepreßt werden muß, wird mit Zementpasten ausgehend vom Bohrloch innerhalb einer bestimmten Reichweite eine vollständige Verfüllung erreicht (Anlage 4.1).

Die Ausbreitungsfähigkeit der Paste wird durch die Stabilität gegen Ausfiltern von Wasser und gegen Sedimentation bei gleichzeitig günstigem Fließverhalten gewährleistet. Um diese Eigenschaften zu erreichen, ist allerdings eine besondere Art der Aufbereitung notwendig, deren Arbeitsgänge in Anlage 4.2 skizziert sind. Als Injektionspumpen werden Kolbenpumpen verwendet. Die Verpressung erfolgt mit dem gleichen Gerät wie bei der Verpressung herkömmlicher Zementsuspensionen.

Die Kriterien für eine geeignete Zusammensetzung der Pasten sind eine ausreichende Stabilität gegen Sedimentation von Zementkörnern und gegen ein Ausfiltern von Wasser an Verengungen sowie Fließ-eigenschaften, die die Druckverluste sowohl in den Zuleitungen als auch während der Ausbreitung im Fels gering halten.



01

Um die Eigenschaften von Pasten im Hinblick auf die Injektionsversuche zu optimieren, wurden Laborversuche unter den auf der Schachtanlage Konrad herrschenden Temperaturen von 40°C durchgeführt. Für die Injektionsversuche wurde eine Paste mit einem Verhältnis des Gewichts des Wassers zum Gewicht des Zements von  $W/Z = 0,5$  mit einem Bentonitanteil von 1 % des Zementgewichts ( $B/Z = 0,01$ ) ausgewählt. Die Laboruntersuchungen wurden mit HOZ 35 L NW/HS/NA der Nordciment und Aktiv-Bentonit Tixoton der Süd-Chemie AG durchgeführt. Diese Materialien wurden auch für die Injektionsversuche verwendet. Die Überwachung der Fließeigenschaften der Zementpasten wurde auf der Baustelle mit dem auch für die Labormessungen verwendeten Rotationsviskosimeter von Mitarbeitern des Ing.-Büros Prof. Wittke vorgenommen.

Für die Zementsuspension wurde der gleiche Zement jedoch ohne Zusatz von Bentonit benutzt. Der  $W/Z$ -Wert wurde mit  $W/Z = 0,8$  festgelegt. Zur Kontrolle der Zusammensetzung der Suspension reicht die Dichtemessung aus da sich Schwankungen im Wassergehalt der Suspension nicht sehr stark auf die Fließeigenschaften auswirken.

Darüber hinaus wurden bei den Injektionsversuchen auch Suspensionen mit ultrafein gemahlenem Zement (Mikrodur S der Fa. Dyckerhoff) erprobt. Untersuchungen der Fließeigenschaften und des Sedimentationsverhaltens dieser Suspensionen haben ergeben, daß Mikrodur-Suspensionen mit einem  $W/Z$ -Wert von 1,5 ähnliche Eigenschaften aufweisen wie die mit HOZ 35 L NW/HS/NA der Nordciment AG hergestellten Suspensionen mit einem  $W/Z$ -Wert von 0,8.

01

Neben Injektionsmitteln auf Zementbasis wurde auch "Wilkit" ein Injektionsmittel der Fa. Willich auf Kunststoffbasis bei den Injektionsversuchen erprobt. "Wilkit" besteht aus zwei flüssigen Komponenten die im volumetrischen Verhältnis 1:1 vermischt werden. Die anorganische Komponente "Wilkit A" besteht i.w. aus Wasserglas die organische Komponente "Wilkit B" aus Isocyanat. Beiden Komponenten sind jeweils noch Additive beigemischt. Die Komponenten werden in getrennten Behältern aufbewahrt, durch getrennte Leitungen gepumpt und erst kurz vor dem Injizieren in der Injektionslanze durchgemischt.



ein statisches Mischelement vermischt (Anlage 4.3). Nach der Vermischung bilden beide Komponenten eine Emulsion.

Bei der Verwendung von "Wilkit" ist die zur Verfügung stehende Injektionszeit relativ kurz, weil die Reaktionszeit ca. 85 s und die Aushärtezeit 10 min bis 15 min. beträgt. Auch die Fließzeit, d.h. die Zeit in der das "Wilkit" fließfähig ist, beträgt nur 60 s bis 75 s.

Um die Injektionswege möglichst kurz zu halten wurde das "Wilkit" von einem perforierten Rohr aus verpreßt, das vor die Injektionslanze und den Packer in den Bohrlochabschnitt gesetzt wurde, der dem Verpreßabschnitt entspricht (Anlage 4.3). Als Verpreßeinheit wurden druckluftbetriebene Zweikolbenpumpen eingesetzt.

#### 4.2 Versuchsfelder und Umfang der Versuche

Die Versuchsfelder 1 bis 4 liegen in der westlich der Strecke 532 gelegenen Strecke 522. Das Feld 1 hat einen Abstand von ca. 25 m zu den die Strecken 522 und 532 verbindenden Querschlag (Anlage 4.4). Die Felder haben untereinander einen Abstand von ca. 5 m. Jedes Feld besteht aus 3 quadratischen Teilfeldern (Sohle, westlicher Stoß, Firste), in denen die Bohransatzpunkte rasterförmig angeordnet sind. Die Länge der Injektionsbohrungen beträgt 9 m.

Außer den Injektionsbohrungen wurden auch Bohrungen für WD-Versuche, mit denen die Dichtigkeit des nicht verpreßten und des verpreßten Gebirges überprüft wurde, hergestellt. Während die Injektionsbohrungen ausschließlich als Vollbohrungen ausgeführt wurden, wurden die Bohrungen für die WD-Versuche z.T. auch als Kernbohrungen hergestellt. In dem im südlich der Versuchsfelder liegenden Feld 0 wurde die Dichtigkeit des nicht injizierten Gebirges durch WD-Versuche untersucht (Anlage 4.4).

Die Lage der Bohransatzpunkte in den Versuchsfeldern 1 bis 4, sowohl für die Injektionsbohrungen als auch für die Bohrungen, in denen WD-Versuche durchgeführt wurden, sind der Anlage 4.5 zu entnehmen.



Die Injektionsarbeiten wurden in drei Phasen durchgeführt, in denen in den einzelnen Versuchsfeldern jeweils bestimmte Bohrungen verpreßt wurden, die verschiedenen Serien zugeordnet sind.

In der Phase I wurden die Bohrungen der Serien A, B und C bis in eine Tiefe von 3 m verpreßt. Die Bohrungen dieser Serien sind in der Firste (F) und der Sohle (S) der Versuchsfelder jeweils in einem 1 m x 1 m Raster angeordnet und werden mit F R.S bzw. S R.S bezeichnet, wobei durch R die Nummer der Reihe (1 bis 5) und durch S die Nummer der Spalte (1 bis 5) gekennzeichnet ist (Anlage 4.5). In den Stößen konnte bei den Bohrungen dieser Serien, die mit U R.S bezeichnet sind, am Übergang zur Firste bzw. zur Sohle der Sollabstand von 1 m nicht ganz eingehalten werden. Die Bohransatzpunkte wurden daher etwas verschoben und die Bohrungen wurden geneigt angeordnet, so daß sie im Bohrlochtiefsten untereinander den Sollabstand haben.

Zweck der Injektionsarbeiten der Phase I war es, den aufgelockerten, streckennahen Bereich mit geringen Drücken vorzuinjizieren um auf diese Weise ein Widerlager für die in größeren Tiefen mit größeren Drücken durchzuführenden Injektionen der Phasen II und III zu erhalten. Da im Auflockerungsbereich mit großen Hohlraumvolumina zu rechnen war, wurden diese "Widerlagerinjektionen" der Phase I mit Zementpasten durchgeführt.

In der Phase II wurden in den Feldern 1, 2 und 3 die Bohrungen der Serien A und B z.T. wieder aufgebohrt, auf 9 m vertieft und mit Suspension bzw. Paste verpreßt. Im Anschluß an die Phase II erfolgte eine erste Überprüfung der Abdichtungserfolge durch WD-Versuche.

In der Phase III wurden in Stoß und Sohle der vier Versuchsfelder sowie auch in der Firste des Feldes 2 die Bohrungen der Serie  $\bar{C}$ , die in 1 m x 1 m Rastern zwischen den Bohrungen der Serien A, B und C angeordnet sind (s. Anlage 4.5), bis in eine Tiefe von 9 m verpreßt. Die Bohrungen der Serie C werden mit F R' . S', U R'.S' bzw. S R'.S' bezeichnet. Hierbei bezeichnen F (= Firste), U



Stoß) und S (= Sohle) wiederum das Teilfeld, R' die Nummer der Reihe (1' bis 4') und S' die Nummer der Spalte (1' bis 4') (Anlage 4.5). In der Phase III wurden neben Zementsuspensionen auch "Wilkit" und Mikrodur-Suspension als Injektionsmittel eingesetzt. Auch im Anschluß an diese Phase wurden die Abdichtungserfolge durch WD-Versuche überprüft.

Für die mit Paste oder Suspension verpreßten Bohrlöcher wurde ein Bohrlochdurchmesser von 76 mm gewählt. Für die Injektionen mit "Wilkit" betrug der Bohrlochdurchmesser 42 mm.

#### 4.3 Injektionen der Phase I

Die Zementpastenverpressungen ( $W/Z = 0,5$ ) der Phase I wurden mit Verpreßdrücken von 5 bar durchgeführt.

Zuerst wurden die Bohrungen der Serie A hergestellt und verpreßt. Dabei wurden oberhalb der Firste nur sehr geringe Aufnahmen erzielt. Die mittleren Aufnahmemengen lagen zwischen 3,8 l/m im Feld 2 und 1,3 l/m im Feld 4 (Anlage 4.6). Bezieht man diese Werte auf das Volumen des verpreßten Gebirgskörpers, so ergibt sich ein Poren- bzw. Kluftvolumen von 0,1 bis 0,2 %. Diese Ergebnisse lassen darauf schließen, daß das Gebirge oberhalb der Firste nicht oder nur wenig aufgelockert ist. Daher wurden die Bohrungen der B- und C-Serie in der Firste nicht mehr ausgeführt bzw. verpreßt.

Bei der Verpressung der vom westlichen Stoß der Felder 1 bis 4 ausgehenden Bohrungen der Serie A traten verstärkt Umläufigkeiten auf, die sich durch Verpreßgutaustritte an Klüften und Ankerlöchern zeigten. Deshalb wurden hier im Rahmen der Phase I auch die Bohrlöcher der B- und C-Serie verpreßt. Außerdem wurden ebenfalls wegen der aufgetretenen Umläufigkeiten, in den Stößen der Felder 3 und 4 die Verpreßabschnitte unterteilt (Anlage 4.7). Die Aufnahmemengen und demzufolge auch die daraus errechneten Poren- bzw. Kluftvolumina waren seitlich der Stöße erheblich größer als oberhalb der Firste, wobei die mittleren Aufnahmen von Feld 1 nach Feld 4 von 11,5 l/m auf 5,0 l/m abnahmen. Dieses Ergebnis deutet auf eine



ringer werdende Auflockerung mit zunehmender Entfernung zur Streckenkreuzung hin.

Dies wird auch durch die Ergebnisse der Sohlverpressung bestätigt (Anlage 4.8). Hier sind die Unterschiede zwischen den einzelnen Feldern noch größer. In den Feldern 1 und 2 liegen die mittleren Aufnahmemengen bei 36,0 l/m bzw. 21,6 l/m. Diese Werte sind noch erheblich größer als die seitlich der Stöße in den Feldern 1 und 2 verpreßten Mengen und entsprechen Poren- bzw. Kluftvolumina von 5,6 % bzw. 3,4 %. Im Feld 3 ist die mittlere Aufnahmemenge unterhalb der Sohle nur geringfügig größer als seitlich des Stoßes, im Feld 4 sogar deutlich geringer (vgl. Anlagen 4.7 und 4.8).

#### 4.4 Injektionen der Phase II

In den Anlagen 4.9, 4.10 und 4.11 sind die Ergebnisse der in den Feldern 1, 2 und 3 im Rahmen der Phase II durchgeführten Injektionen zusammengestellt. In den Feldern 1 und 2 wurden die Bohrlöcher der Serien A und B verpreßt. Als Injektionsmittel wurde dabei zunächst Zementpaste ( $W/Z = 0,5$ ) verwendet. Der maximale Verpreßdruck betrug 10 bar. Wegen der geringen Aufnahmemengen wurde die Pastenverpressung in den Feldern 1 und 2 abgebrochen und die weiteren Injektionen mit Zementsuspension ( $W/Z = 0,8$ ) durchgeführt. Die bei der Verpressung der Zementsuspensionen aufgewendeten Drücke betragen in der Teufenstufe 0,3 m - 3 m 15 bar und in den Stufen 3 m - 9 m 20 bar. Im Feld 3 wurden, wegen der ebenfalls geringen Aufnahmemengen, nur die Bohrlöcher der Serie A mit Suspension injiziert.

Die Ergebnisse der Firstverpressung sind in Anlage 4.9 zusammengestellt. Danach ergeben sich im Verpreßabschnitt 0,3 m bis 3,0 m hinsichtlich der Aufnahmemengen nur geringe Unterschiede zur Phase I. Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, daß die Injektionsdrücke in der Phase II größer waren als in der Phase I. Weiterhin fällt auf, daß in den Feldern 1 und 2 die mittleren Aufnahmemengen im Verpreßabschnitt 6 m bis 9 m größer waren als in den beiden anderen Abschnitten.



Seitlich der Stöße waren die Aufnahmemengen im Verpreßabschnitt 0,3 m bis 3,0 m in der Phase II wesentlich geringer als in der Phase I. In den Feldern 1 und 2 ist kein eindeutiger Zusammenhang zwischen den mittleren Aufnahmemengen und den Verpreßabschnitten festzustellen. Im Feld 3 waren dagegen die Aufnahmen in den Abschnitten 3 m bis 6 m sowie 6 m bis 9 m deutlich geringer als in 0,3 m bis 3 m Tiefe (Anlage 4.10).

In der Phase II wurden erheblich weniger Umläufigkeiten festgestellt als in der Phase I.

Auch die Aufnahmemengen unterhalb der Sohlen waren im Verpreßabschnitt 0,3 m bis 3,0 m in der Phase II deutlich geringer als in der Phase I. Der große Unterschied zwischen den mittleren Aufnahmemengen der Felder 1 und 2 ist allein auf die in den Löchern S 3.5 und S 5.1 im Feld 2 verpreßten Mengen zurückzuführen. Die in den Abschnitten 3 m bis 6 m und 6 m bis 9 m verpreßten Mengen lagen etwa in der gleichen Größenordnung, wobei die mittleren Aufnahmen im Abschnitt 6 m bis 9 m größer waren als im Abschnitt 3 m bis 6 m. Im Feld 3 waren die mittleren Aufnahmemengen unterhalb der Sohle in allen Verpreßabschnitten deutlich geringer als in den Feldern 1 und 2 (Anlage 4.11).

Auch aus den in der Phase II seitlich der Stöße und unterhalb der Sohlen injizierten Verpreßgutmengen läßt sich ableiten, daß die Auflockerung des Gebirges im streckennahen Bereichen des Feldes 3 geringer ist als im Bereich der Felder 1 und 2.

#### 4.5 WD-Versuche nach Abschluß der Phase II

Nach dem Abschluß der Verpreßarbeiten der Phase II wurden im Bereich des nicht injizierten Feldes 0 (s. Anlage 4.4) sowie in den Versuchsfeldern 1 bis 4 WD-Versuche durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Versuche sollten Aufschluß über die Wasserdurchlässigkeit

- des nicht injizierten Gebirges (Feld 0),



- des nur im Auflockerungsbereichs bis 3 m Entfernung zur Hohlraumlaibung injizierten Gebirges (Feld 4),
- des im Bereich bis 9 m Entfernung zur Hohlraumlaibung durch die Löcher der Serie A injizierten Gebirges (Feld 3),
- des im Bereich bis 9 m Entfernung zur Hohlraumlaibung durch die Löcher der Serien A und B injizierten Gebirges (Felder 1 und 2) geben.

Die Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit  $k_f$  erfolgte dabei jeweils anhand der Formel:

$$k_f = \frac{q}{2\pi \cdot H_0 \cdot l} \cdot \ln \frac{R}{r_0} \quad (2)$$

In (2) sind  $q$  die je Zeiteinheit die Versuchsapparatur durchfließende Wassermenge (Durchfluß),  $H_0 = p_0 / \gamma_w$  die Druckhöhe des Einpreßdrucks  $p_0$ ,  $l$  die Länge des Verpreßabschnitts,  $R$  die rechnerisch angenommene Reichweite der Verpressung und  $r_0$  der Bohrlochradius. Der Auswertung wurde dabei jeweils der bei der höchsten Druckstufe ( $p_0 = 4$  bar) gemessene Durchfluß zugrunde gelegt.

Die aus den Versuchsergebnissen ermittelten  $k_f$ -Werte lassen sich anhand der Formel (1) in Permeabilitäten umrechnen. Umgekehrt läßt sich damit auch aus der geforderten Permeabilität ein erforderlicher  $k_f$ -Wert bestimmen. In der Strecke kann eine Temperatur von  $+40^\circ\text{C}$  angenommen werden [5]. Die dynamische Viskosität und die Wichte des Wassers betragen bei dieser Temperatur:

$$\eta_w = 6,52 \cdot 10^{-4} \text{ Ns/m}^2$$

$$\gamma_w = 9,73 \text{ kN/m}^3$$

Setzt man diese Werte, sowie die maximal zulässige Permeabilität  $P_{\max} = 10^{-14} \text{ m}^2$  in (1) ein, dann ergibt sich für die maximal zulässige Wasserdurchlässigkeit ein Wert von



$$k_{fmax} = P_{max} \frac{\eta_w}{\gamma_w} = 1,5 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}$$

Im Feld 0 wurden jeweils ein Versuch oberhalb der Firste, seitlich des westlichen Stoßes und unterhalb der Sohle durchgeführt. Die Auswertung dieser Versuche zeigte, daß an diesem Versuchsort oberhalb der Firste die geforderte Dichtigkeit auch ohne Injektionen vorhanden war. Hinter dem Stoß und unterhalb der Sohle wurde die maximal zulässige Wasserdurchlässigkeit bereichsweise überschritten. In der Nähe der Hohlraumwand war hier die Durchlässigkeit so groß, daß, bedingt durch Umläufigkeiten, die zu Wasseraustritten führten, kein Druckaufbau möglich war (Anlage 4.12).

Im Feld 4 wurden seitlich des Stoßes und unterhalb der Sohle jeweils zwei WD-Versuche durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Versuche, die Rückschlüsse auf den Erfolg der Injektionen der Phase I zulassen, zeigen, daß der Auflockerungsbereich nicht ausreichend abgedichtet werden konnte. Dagegen ist an diesem Versuchsort in einer Tiefe von 3 m bis 9 m der Fels auch ohne Injektionen ausreichend dicht (Anlage 4.13).

01

Im Feld 3 wurden oberhalb der Firste drei sowie seitlich des Stoßes und unterhalb der Sohle je ein WD-Versuch durchgeführt. Oberhalb der Firste konnte wie erwartet mit allen drei Versuchen die geforderte Dichtigkeit nachgewiesen werden. Der Stoß und die Sohle konnten dagegen im Auflockerungsbereich nicht ausreichend abgedichtet werden, während in einer Tiefe von 3 m bis 9 m eine ausreichende Dichtigkeit des Felses nachgewiesen werden konnte (Anlage 4.14).

Im Feld 1 wurden drei Versuche oberhalb der Firste, ein Versuch seitlich des Stoßes und zwei Versuche unterhalb der Sohle durchgeführt. Während oberhalb der Firste der Nachweis einer ausreichenden Dichtigkeit erbracht werden konnte, waren die Abdichtung des Stoßes und der Sohle im Auflockerungsbereich auch hier unbefriedigend (Anlage 4.15).



Im Feld 2 wurde oberhalb der Firste, seitlich des Stoßes und unterhalb der Sohle jeweils ein WD-Versuch durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Versuche entsprechen i.w. denen der in den Versuchsfeldern 1, 3 und 4 durchgeführten WD-Versuche (Anlage 4.16).

Insgesamt zeigten die Ergebnisse der nach Abschluß der Phase II durchgeführten WD-Versuche, daß der Fels im Bereich der Versuchsfelder oberhalb der Firste auch ohne Injektionen eine ausreichende Dichtigkeit besitzt. Außerdem hat sich gezeigt, daß weder durch die Injektionen der Phase I noch durch die Injektionen der Phase II der Auflockerungsbereich seitlich des westlichen Stoßes und unterhalb der Sohle, der sich bis ca. 3 m hinter die Hohlraumlaibung erstreckt, ausreichend abgedichtet werden konnte. In einer Tiefe von 3 m bis 9 m konnte dagegen in den Feldern 1 bis 4 bis auf eine Ausnahme die geforderte Dichtigkeit durch die WD-Versuche nachgewiesen werden.

Der Vergleich der Ergebnisse der in den Feldern 1 bis 3 durchgeführten WD-Versuche, mit den im Feld 4 durchgeführten Versuchen zeigt, daß durch die Injektionen der Phase II gegenüber der Phase I keine wesentlichen Verbesserungen der Verpreßergebnisse erzielt werden konnte. Dies ist wahrscheinlich darauf zurückzuführen, daß der Nahbereich um die wiederaufgebohrten Bohrungen der Serien A und B bereits so weit abgedichtet war, daß beim zweiten Verpressen auch mit größeren Drücken keine größere Dichtigkeit zu erreichen war. Das ausgehärtete Injektionsgut aus der Phase I hat hier offensichtlich die Ausbreitung des in der Phase II verpreßten Injektionsguts behindert.

#### 4.6 Injektionen der Phase III

Um die hinter den westlichen Stößen und unterhalb der Sohlen der Versuchsfelder erhaltenen Verpreßergebnisse gegenüber der Phase II zu verbessern, wurden in der Phase III die Bohrungen der Serie C (s. Anlage 4.5) verpreßt. Darüber hinaus wurden mit "Wilkit" und Mikrodur-Suspension (s. Abschnitt 4.1) z.T. auch andere Injektionsmittel eingesetzt.



Im Feld 1 wurde als Verpreßmittel zunächst noch Zementsuspension ( $W/Z = 0,8$ ) verwendet. In den vom Stoß ausgehenden Bohrlöchern der C-Serie wurde der Verpreßabschnitt von 0,3 m bis 3,0 m wegen der vorher aufgetretenen Umläufigkeiten in der Regel in zwei Abschnitte unterteilt. Wie erwartet waren die Aufnahmemengen in diesen Verpreßabschnitten fast immer deutlich größer als in den Abschnitten 3 m bis 6 m und 6 m bis 9 m (Anlage 4.17). Unterhalb der Sohle wurden die Verpressungen in nur drei Abschnitten durchgeführt. Dabei wurden im Verpreßabschnitt 0,3 m bis 3,0 m i.M. noch größere Aufnahmen gemessen als hinter dem Stoß (Anlage 4.18).

Im Feld 2 wurde "Wilkit" als Injektionsmittel eingesetzt. Die Verpreßdrücke betragen in der Teufenstufe 0,3 m - 3 m 20 bar und im Teufenbereich 3 m - 9 m 40 bar. Um mit diesem Injektionsmittel unter den in der Grube Konrad herrschenden Bedingungen Erfahrungen zu sammeln, wurde in diesem Versuchsfeld auch das Gebirge oberhalb der Firste verpreßt, obwohl die Dichtigkeit des Gebirges hier bereits nach den Injektionen der Phase II durch einen WD-Versuch nachgewiesen worden waren (Anlage 4.16). Wie erwartet waren die Aufnahmemengen hier sehr gering (Anlage 4.19).

Seitlich des Stoßes und unterhalb der Sohle des Feldes 2 wurden, besonders im Verpreßabschnitt von 0,5 m bis 3,0 m, erheblich größere Aufnahmemengen gemessen (Anlagen 4.20 und 4.21). Auffällig ist, daß die Aufnahmemengen in den äußeren Löchern der Sohle wesentlich größer waren als die in den inneren Löchern. Dies ist darauf zurückzuführen, daß in der Sohle die äußeren Löcher zuerst verpreßt wurden. Die starke Abnahme der Verpreßmengen bei den inneren Löchern läßt auf eine gute Abdichtung dieses Versuchsfeldes schließen. Die geringen Aufnahmen für die Verpreßabschnitte 3 m bis 6 m sowie 6 m bis 9 m sind nicht überraschend, weil in diesen Bereichen bereits nach den Injektionen der Phase II eine ausreichende Dichtigkeit nachgewiesen werden konnte (s. Anlage 4.16).

Im Feld 3 wurde Mikrodur-Suspension mit einem Wasser-Zementfaktor von  $W/Z = 1,5$  als Injektionsmittel eingesetzt. Die Verpreßdrücke betragen wie bei den o.g. Verpressungen mit Zementsuspensionen ( $W/Z = 0,8$ ) 15 bar in der Teufenstufe 0,3 m - 3 m und 20 bar in der



Tiefe zwischen 3 m und 9 m. Damit wurden seitlich des Stoßes im Verpreßabschnitt 0,3 m bis 3,0 m, der ebenso wie im Feld 1 in zwei Verpreßabschnitte unterteilt wurde, vergleichbare Aufnahmen wie im Feld 2 erzielt. In den tiefer liegenden Abschnitten wurden geringere Aufnahmen gemessen, die jedoch größer als im Feld 2 waren (Anlage 4.22).

Noch größere Mengen als seitlich des Stoßes konnten unterhalb der Sohle des Feldes 3 verpreßt werden. Dies gilt insbesondere für den Verpreßabschnitt 0,3 m bis 3,0 m. Aber auch in den tiefer liegenden Verpreßabschnitten (3 m bis 6 m und 6 m bis 9 m) konnten noch verhältnismäßig große Mengen verpreßt werden, obwohl durch die nach Abschluß der Phase II durchgeführten WD-Versuche in diesen Bereichen eine ausreichende Dichtigkeit nachgewiesen werden konnte (Anlage 4.23).

Im Feld 4 wurde das Gebirge neben dem Stoß mit "Wilkit" und unterhalb der Sohle mit Mikrodur-Suspension injiziert. Um noch bessere Abdichtungserfolge zu erzielen, wurden bei der "Wilkit"-Verpressung die Abschnitte 0,5 m bis 3,0 m sowie 3 m bis 6 m in jeweils zwei kürzere Abschnitte unterteilt (Anlage 4.24). Damit konnten auch die Verpreßzeiten verkürzt werden. Auch bei der Verpressung der Sohle mit Mikrodur-Suspension wurde der Verpreßabschnitt 0,3 m bis 3,0 m in zwei kürzere Abschnitte unterteilt (Anlage 4.25).

Sowohl seitlich des Stoßes als auch unterhalb der Sohle wurden in den Verpreßabschnitten bis 3 m Tiefe bedeutend größere Aufnahmemengen als in den tiefer liegenden Abschnitten (3 m bis 9 m) gemessen (s. Anlage 4.13).



#### 4.7 WD-Versuche nach Abschluß der Phase III

Da die Dichtigkeit der Firste in den Versuchsfeldern bereits durch die nach Abschluß der Phase II durchgeführten WD-Versuche nachgewiesen werden konnte, wurden zur Überprüfung des Abdichtungserfolgs der Injektionen der Phase III nur noch hinter den Stößen und unterhalb der Söhlen WD-Versuche durchgeführt.

In Anlage 4.26 sind die Ergebnisse der im Feld 1 durchgeführten WD-Versuche dargestellt. Danach konnten weder im Auflockerungsbereich noch im Bereich von 3 m bis 9 m hinter der Hohlraumlaibung wesentliche Verbesserungen gegenüber der Phase II erzielt werden (vgl. Anlage 4.15).

Aufgrund der relativ großen im Feld 2 in der Phase III verpreßten Injektionsgutmengen war es überraschend, daß auch in diesem Versuchsfeld gegenüber der Phase II keine wesentlichen Verbesserungen erreicht werden konnten (Anlage 4.27). Dies trifft insbesondere für den Auflockerungsbereich zu. Aber auch im Bereich der tiefer liegenden Verpreßabschnitte sind die nach Phase III ermittelten  $k_f$ -Werte z.T. sogar größer als die nach der Phase II ermittelten Werte (vgl. Anlagen 4.16 und 4.27).

Im Feld 3 wurden je vier WD-Versuche seitlich des Stoßes und unterhalb der Sohle durchgeführt. Durch diese Versuche konnten mit jeweils einer Ausnahme, bei der der maximal zulässige Durchlässigkeitsbeiwert im Auflockerungsbereich geringfügig überschritten wurde, die geforderte Dichtigkeit nachgewiesen werden (Anlage 4.28).

Im Feld 4 wurden seitlich des mit "Wilkit" verpreßten Stoßes vier WD-Versuche durchgeführt mit denen ebenfalls mit zwei Ausnahmen, bei denen der zulässige Höchstwert der Wasserdurchlässigkeit im Auflockerungsbereich geringfügig überschritten wurde, die geforderte Dichtigkeit nachgewiesen werden konnte (Anlage 4.29).

Unterhalb der mit Mikrodur-Suspension verpreßten Sohle des Feldes 4 wurde der Abdichtungserfolg durch drei WD-Versuche überprüft. Auch



hier konnte die geforderte Dichtigkeit des Gebirges in Tiefen von 3 m bis 9 m nachgewiesen werden. Im Auflockerungsbereich wurde die maximal zulässige Wasserdurchlässigkeit allerdings in zwei Fällen geringfügig überschritten (Anlage 4.29).

#### 4.8 Schlußfolgerungen

Anhand der in den Versuchsfeldern gemessenen Aufnahmemengen kann die Erstreckung des durch die Auffahrung der Strecke 522 aufgelockerten, hohlraumreichen Bereichs seitlich des westlichen Stoßes und unterhalb der Sohle mit ca. 3 m angegeben werden. Die Firste ist dagegen im Bereich der Versuchsfelder nicht oder nur wenig aufgelockert. Dieser Befund wird qualitativ auch durch die Ergebnisse der bisher vorliegenden Messungen und deren Interpretation durch FE-Berechnungen bestätigt.

Bei den Injektionsversuchen hat sich gezeigt, daß es nicht möglich war, die Auflockerungsbereiche seitlich des Stoßes und unterhalb der Sohle mit einer Pastenverpressung ausreichend abzudichten. Erst auf der Grundlage einer Nachverpressung mit einer aus einem ultrafein gemahlten Zement hergestellten Suspension (Mikrodur) sowie mit einem Injektionsmittel auf Kunststoffbasis (Wilkit) konnte der geforderte Durchlässigkeitsbeiwert auch in den Auflockerungsbereichen seitlich des westlichen Stoßes und unterhalb der Sohle in den Versuchsfeldern 3 und 4 weitgehend erreicht bzw. unterschritten werden. Mit einer Suspension aus Zement mit normaler Mahlfeinheit konnte dagegen in den Auflockerungsbereichen keine ausreichende Dichtigkeit erzielt werden.

Bei der Injektion mit Suspension ist es wichtig, daß der Druckaufbau langsam und stetig erfolgt damit ein vorzeitiges Ausfiltern des Überschußwassers verhindert wird. Bei der Verpressung von "Wilkit" ist darauf zu achten, daß wegen der kurzen Fließzeiten die Verpreßabschnitte ausreichend kurz gewählt werden.

Die Überprüfung des Abdichtungserfolgs durch WD-Versuche hat ergeben, daß das Gebirge in einer Entfernung von mehr als 6 m von der Ausbruchlaibung z.T. auch ohne Injektionsmaßnahmen, Wasserdurchlässigkeit



sigkeitsbeiwerte aufweist die die Anforderungen erfüllen. Im Auflockerungsbereich wird der geforderte Grenzwert für die Wasserdurchlässigkeit des Gebirges von  $1,5 \cdot 10^{-7}$  m/s jedoch in einigen Versuchen geringfügig überschritten. Da dieser Grenzwert aus der Forderung einer integralen Permeabilität von  $P \leq 10^{-14}$  m<sup>2</sup> resultiert, können zur Bewertung der Dichtigkeit die Mittelwerte der in den WD-Versuchen ermittelten Durchlässigkeitsbeiwerte herangezogen werden. Diese liegen in den Versuchsfeldern 3 und 4 mit einer Ausnahme, unter dem geforderten Grenzwert (s. Anlagen 4.28 und 4.29).

Wenn man aus den Ergebnissen der Injektionsversuche Rückschlüsse für die Abdichtung des streckennahen Bereichs der Kammerabschlußbauwerke ziehen will, ist zu berücksichtigen, daß die Kammern im gebirgsschonenden Fräsvortrieb neu aufgeföhren werden oder aus der Aufweitung vorhandener Strecken resultieren, so daß die Auflockerungen im streckennahen Bereich hier geringer sein dürften als im Bereich der Versuchsfelder. Außerdem werden die Kammern mit einer verankerten Spritzbetonschale ausgebaut, die für die Injektionen als Widerlager herangezogen werden kann. Dadurch läßt sich das Injektionsgut in der Nähe der Hohlraumwandungen mit größeren Injektionsdrücken verpressen, wodurch eine bessere Abdichtung gewährleistet wird.

Man kann deshalb davon ausgehen, daß mit den o.g. Injektionsmitteln eine Abdichtung der streckennahen Bereiche von Kammerabschlußbauwerken auf das geforderte Maß möglich ist. Die Bohrlochabstände und Bohrlochtiefen für die Verpressung des streckennahen Bereichs der Kammerabschlußbauwerke sind nach den örtlichen geologischen Gegebenheiten auszurichten. Durch geotechnische Verformungsmessungen und WD-Versuche, die vor Beginn der Injektionen vorgesehen sind, ist es möglich die Tiefe der Auflockerungsbereiche sowie die erforderliche Tiefe der Injektionszonen im voraus abzuschätzen. Auf dieser Grundlage können die Tiefen und Abstände der Injektionsbohrungen festgelegt werden. Dabei sollte grundsätzlich mit großen Bohrlochabständen von beispielsweise 2 m x 2 m begonnen werden, die, wenn der geforderte Abdichtungserfolg nicht erreicht wird, verringert werden müssen.



## 5. Qualitätssicherung

Die Eigenschaften der verwendeten Injektionsmittel sind vor dem Beginn der Verpreßarbeiten durch Laborversuche nachzuweisen. Die Ausführung der Injektionen erfolgt entsprechend der DIN 4093 (s. Abschnitt 7). Während der Verpreßarbeiten werden die pro Zeiteinheit verpreßten Mengen des Injektionsmittels, die Verpreßdrücke sowie die Verpreßdauer aufgezeichnet. Zusätzlich werden bei vor Ort herzustellenden Injektionsmitteln wie z.B. Zementsuspensionen oder Zementpasten die Wichte und die Fließeigenschaften überprüft.

Der Abdichtungserfolg wird durch WD-Versuche, die vor und nach den einzelnen Injektionsphasen nach der Empfehlung Nr. 9 des Arbeitskreises 19 der DGEG (s. Abschnitt 7) durchgeführt werden, nachgewiesen.

Die Überwachung der Injektionsarbeiten und der Durchführung der WD-Versuche sowie die Versuchsauswertung werden durch einen Prüfsingenieur auf dem Gebiet des Felsbaus vorgenommen.

## 6. Qualifikation neuer Injektionstechniken

Die bei den Injektionsversuchen eingesetzten Injektionsmittel und Injektionsverfahren entsprechen auf dem Gebiet der Felsinjektion dem Stand der Technik. Grundsätzlich ist auch eine Eignung neuer Injektionsmittel und -verfahren für die Abdichtung des streckennahen Bereichs von Kammerabschlußbauwerken nicht auszuschließen.

Für Injektionsmittel auf Kunststoffbasis sind Weiterentwicklungen im Hinblick auf eine Verbesserung der Fließeigenschaften denkbar. Für Injektionsmittel auf Zementbasis bietet das neue Verfahren der Ultraschallverpressung (Supersonic grouting method) vielversprechende Möglichkeiten. Mit diesem Verfahren, bei dem die Packer mit Ultraschallsendern ausgerüstet werden, konnten erst kürzlich bei der Verpressung von Klüften im Granit bessere Ergebnisse als mit dem herkömmlichen Verfahren erzielt werden (6). Diese Erfolge werden darauf zurückgeführt, daß der Scherwiderstand der verwendeten



den darauf zurückgeführt, daß der Scherwiderstand der verwendeten Suspension durch die Ultraschallschwingungen reduziert und dadurch die Fließfähigkeit entscheidend verbessert wird.

Bevor jedoch neue Injektionstechniken bei der Verpressung des streckennahen Bereichs von Kammerabschlußbauwerken zum Einsatz kommen, müssen diese in ähnlicher Weise wie die erprobten Pasten, Suspensionen und Kunststoffe durch Vorversuche auf ihre Eignung unter den in der Schachtanlage Konrad herrschenden Bedingungen untersucht werden.

| 01

## 7. Vorschriften und Empfehlungen

- 7.1 Wasserdruckversuche in Fels. Empfehlung Nr. 9 des Arbeitskreises 19 der Deutschen Gesellschaft für Erd- und Grundbau (DGEG), 1984
- 7.2 DIN 4093: Einpressen in den Untergrund, 1987

## 8. Anlagenverzeichnis

- 3.1 Kammerabschlußbauwerk, Abdichtung des streckennahen Bereichs [5]
- 4.1 Gebirgsabdichtung durch Suspension und Pasten [ 1]
- 4.2 Prinzip der Aufbereitung und Verpressung von Zementpasten [1]
- 4.3 Prinzip der Verpressung von "Wilkit"
- 4.4 Lage der Versuchsfelder
- 4.5 Bohrungen für die Injektionsversuche und die WD-Versuche
- 4.6 Ergebnisse der Injektionsversuche: Phase I, Serie A, Firste
- 4.7 Ergebnisse der Injektionsversuche: Phase I, Serien A, B und C, Stoß
- 4.8 Ergebnisse der Injektionsversuche: Phase I, Serien A, B und C Sohle
- 4.9 Ergebnisse der Injektionsversuche: Phase II, Serien A und B, Firste
- 4.10 Ergebnisse der Injektionsversuche: Phase II, Serien A und B, Stoß
- 4.11 Ergebnisse der Injektionsversuche: Phase II, Serien A und B Sohle

| 01

| 01



- 4.12 Ergebnisse der WD-Versuche: Feld 0 (nicht injiziert)
- 4.13 Ergebnisse der WD-Versuche: Feld 4 (nach Phase I)
- 4.14 Ergebnisse der WD-Versuche: Feld 3 (nach Phase I)
- 4.15 Ergebnisse der WD-Versuche: Feld 1 (nach Phase II)
- 4.16 Ergebnisse der WD-Versuche: Feld 2 (nach Phase II)
- 4.17 Ergebnisse der Injektionsversuche: Phase III, Serie  $\bar{C}$ , Feld 1  
Stoß
- 4.18 Ergebnisse der Injektionsversuche: Phase III, Serie  $\bar{C}$ , Feld 1  
Sohle
- 4.19 Ergebnisse der Injektionsversuche: Phase III, Serie  $\bar{C}$ , Feld 2  
Firste
- 4.20 Ergebnisse der Injektionsversuche: Phase III, Serie  $\bar{C}$ , Feld 2  
Stoß
- 4.21 Ergebnisse der Injektionsversuche: Phase III, Serie  $\bar{C}$ , Feld 2  
Sohle
- 4.22 Ergebnisse der Injektionsversuche: Phase III, Serie  $\bar{C}$ , Feld 3  
Stoß
- 4.23 Ergebnisse der Injektionsversuche: Phase III, Serie  $\bar{C}$ , Feld 3  
Sohle
- 4.24 Ergebnisse der Injektionsversuche: Phase III, Serie  $\bar{C}$ , Feld 4  
Stoß
- 4.25 Ergebnisse der Injektionsversuche: Phase III, Serie  $\bar{C}$ , Feld 4  
Sohle
- 4.26 Ergebnisse der WD-Versuche: Feld 1 (nach Phase III)

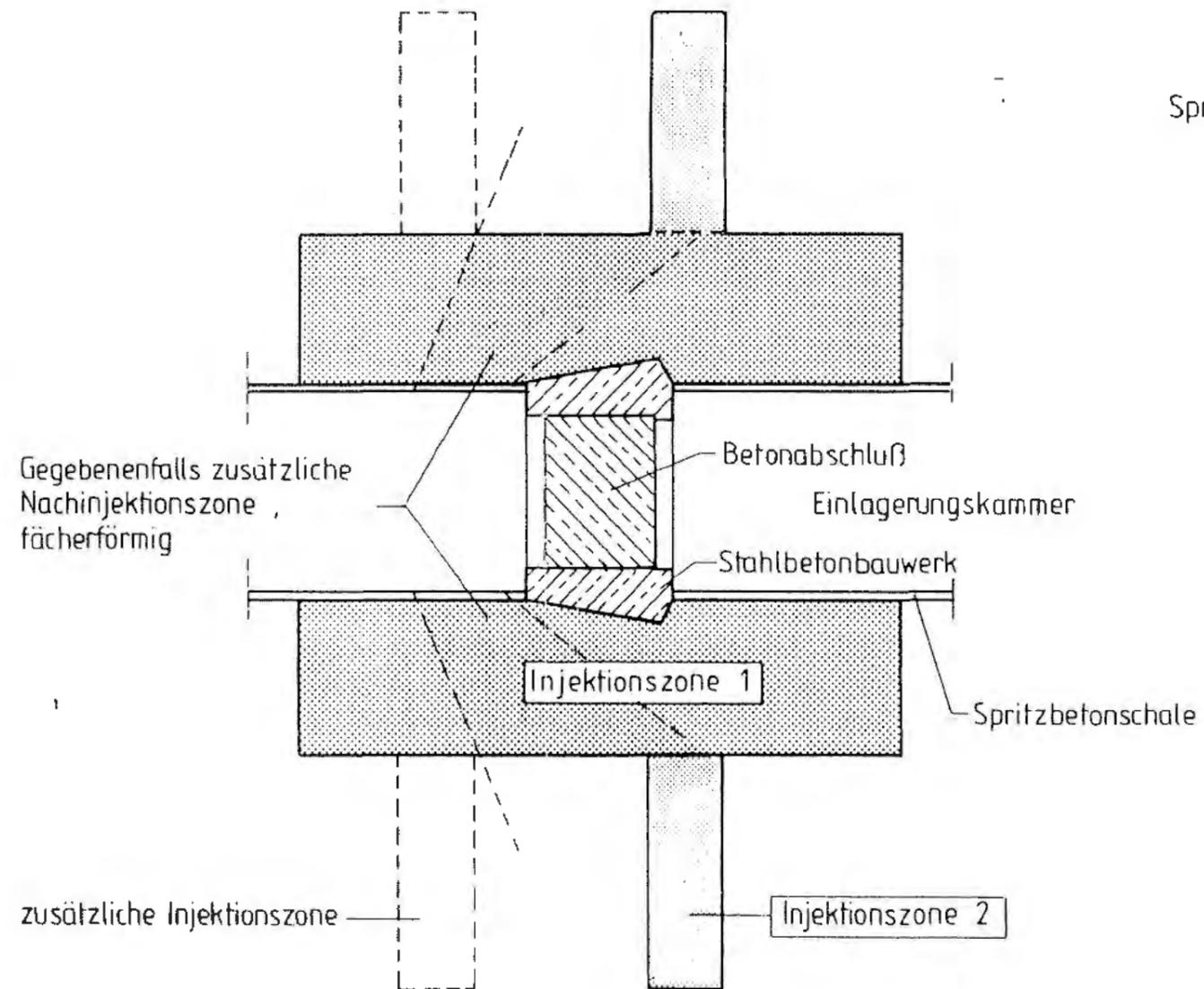


- 4.27 Ergebnisse der WD-Versuche: Feld 2 (nach Phase III)
- 4.28 Ergebnisse der WD-Versuche: Feld 3 (nach Phase III)
- 4.29 Ergebnisse der WD-Versuche: Feld 4 (nach Phase III)

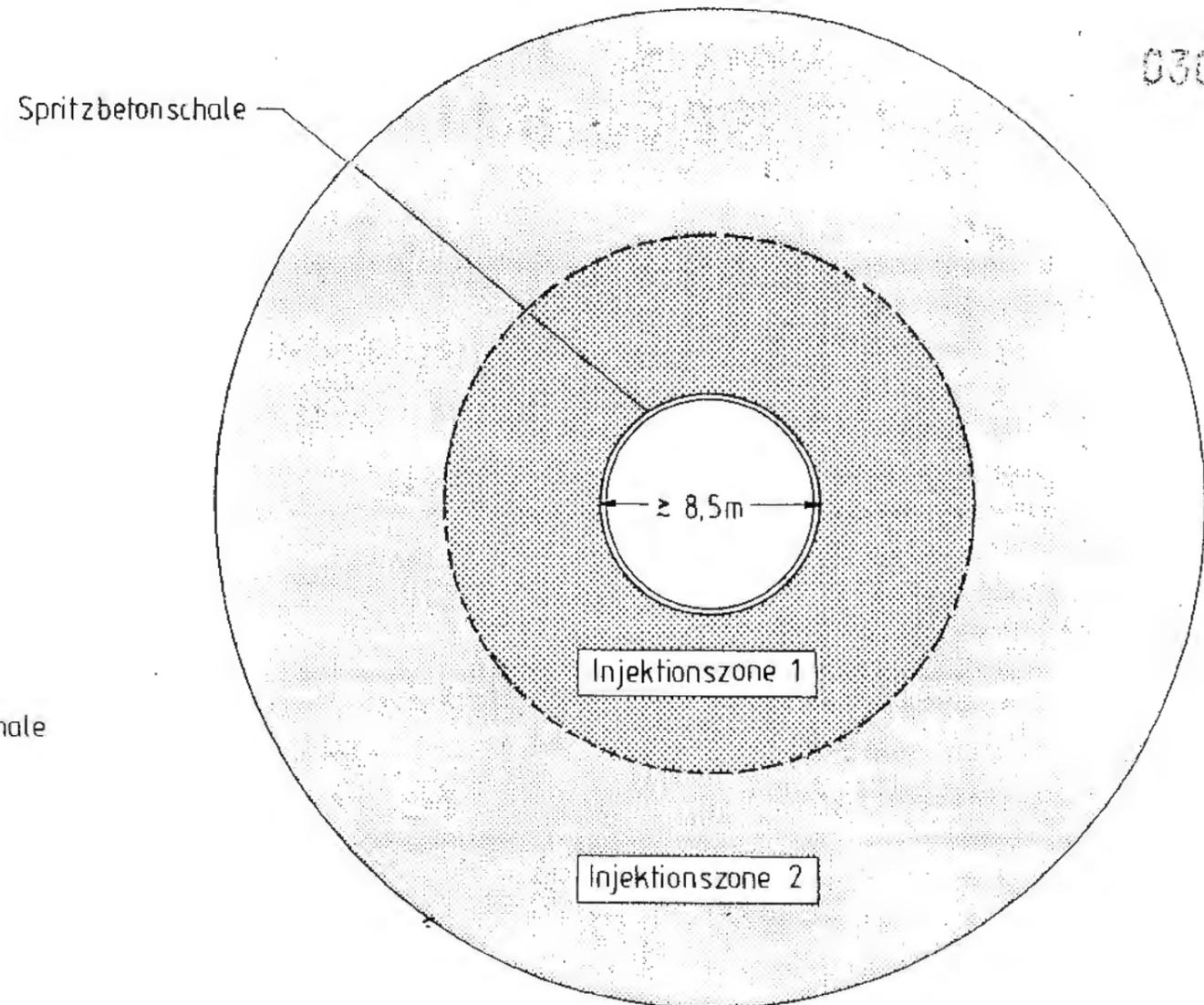
## 9. Literaturverzeichnis

- [1] Wittke, W. und Breder, R.: Injektionsverfahren zur Abdichtung von Fels- und Lockergestein unter Verwendung von Zementpasten, Tunnelbau 1985, Glückauf Essen
- [2] entfällt
- [3] entfällt
- [4] entfällt
- [5] Kammerabschlußbauwerk- Konzept und Systembeschreibung. EU 266, BfS KZL: 9K/33222.37/GHK/RB/0004
- [6] Sugihara, K. and Yamakawa, M.: PNC's Research and Development of Sealing Technology and the Field Grouting Test of Single Fractures in Granite. Workshop on Sealing of Radioactive Waste Repositories, Braunschweig 1989





**Horizontalschnitt**  
Prinzipdarstellung

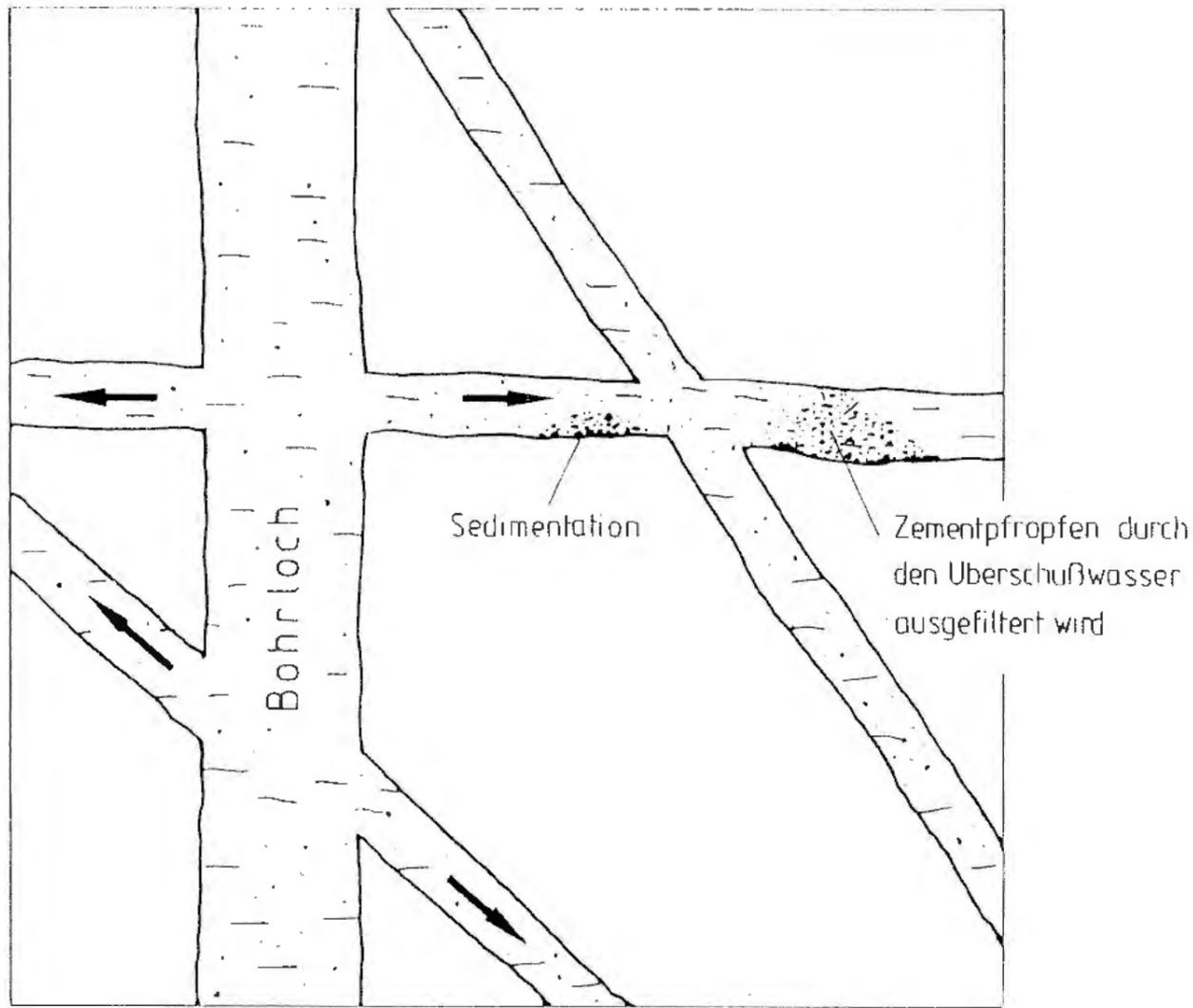


**Querschnitt**  
Prinzipdarstellung

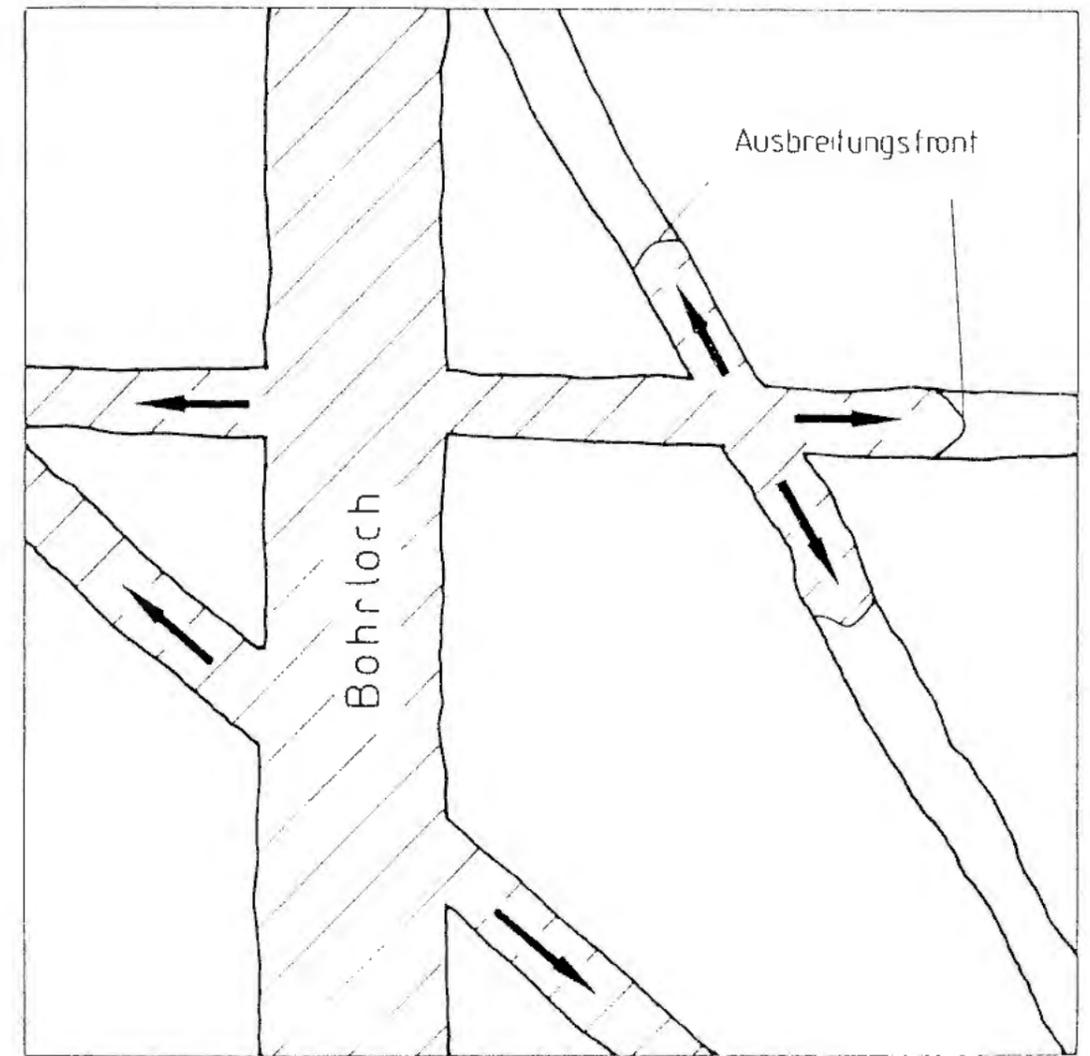
01

Physikalisch-Technische Bundesanstalt			
Projekt: <b>Endlager Konrad</b>			
Datum	Name/Unterschrift	Ersteller und Zeichnungsnummer	
gezeichnet			Antlage 3.1
bearbeitet			
geprüft			
Maßstab	CAD-Nr.	Titel	
		<b>Kammerabschlußbauwerk</b> Abdichtung des streckennahen Bereichs (5)	
PS-Nr.			
Blatt	von	Blatt	
Classification: Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor.			
Projekt	PSP-Element	Detail-Code	
9 K	33222.37		
Funktion	Komponente	Gruppe	Ver.
ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD Strabag Bau-AG			
Sachtleben Bergbau GmbH			





a) Wasserreiche, instabile Zementsuspension

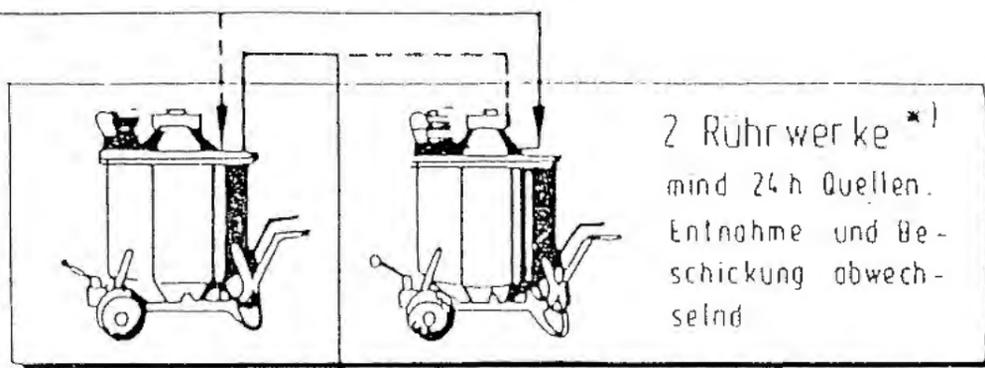


b) Wasserarme, sedimentationsstabile Zement - suspension ( Paste )

Physikalisch-Technische Bundesanstalt			
Projekt: <b>Endlager Konrad</b>			
Datum:	Name/Unterschrift:	Ersteller und Zeichnungsnummer:	Anlage:
ges:	bearb:		4 1
Maßstab:	CAD-Nr.:	Titel:	
		<b>Gebirgsabdichtung, durch Suspensionen und Pasten [1]</b>	
MF-Nr.:			
Blatt:	von:	Blatt:	
Klassifizierung:			
Projekt:	PSP-Bezeichnung:	Objekt-Code:	Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor.
9 K	33222.37		
Funktion:	Lagerort:	Baugruppe:	
ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD Strabag Bau-AG			
Sachtleben Ditzbau GmbH			

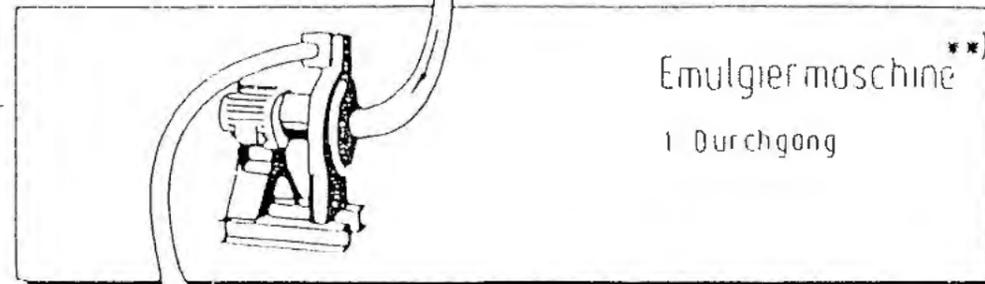
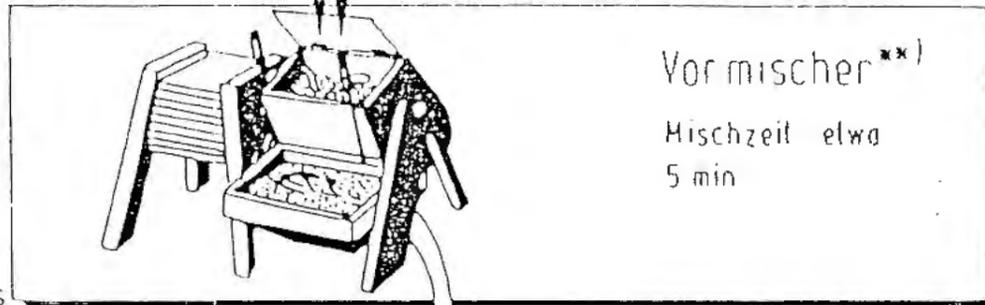
Bentonit und Wasser

\* ) Alternativ kann auch eine Supratonanlage mit Vorratsbehälter verwendet werden

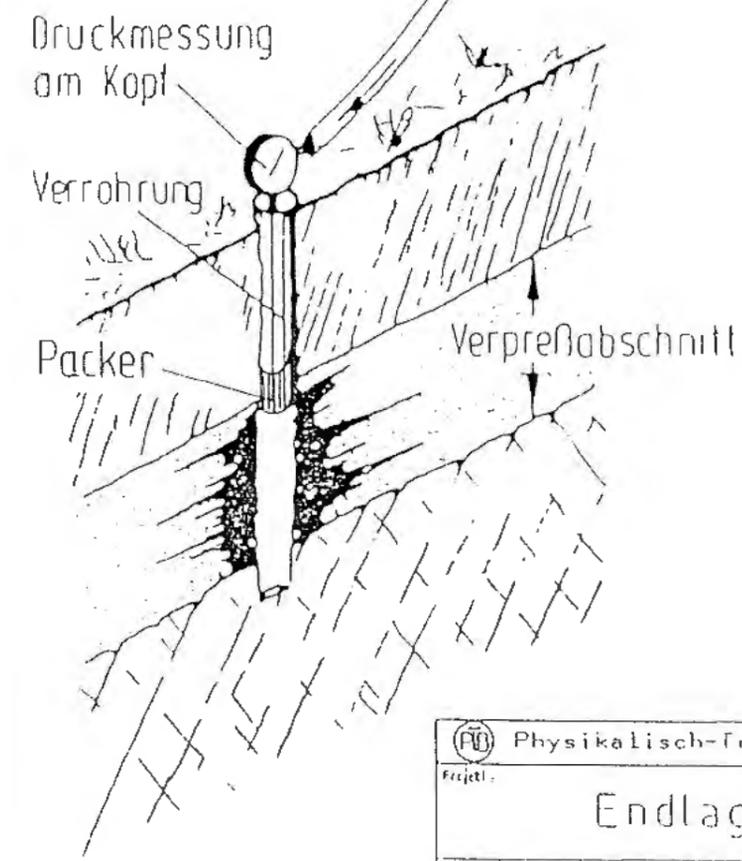
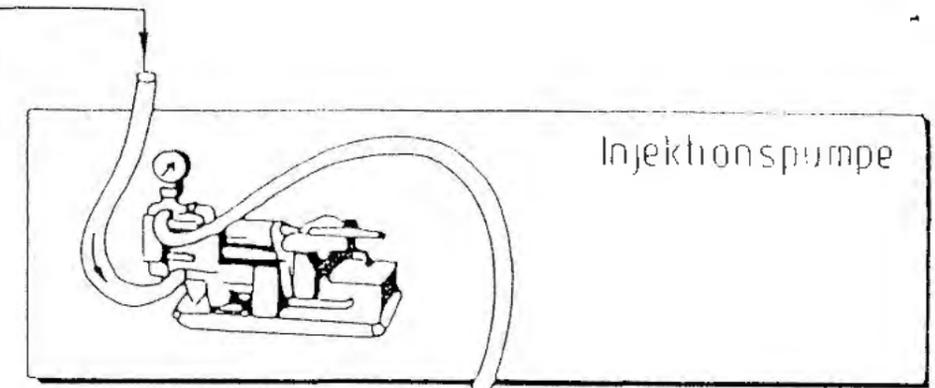
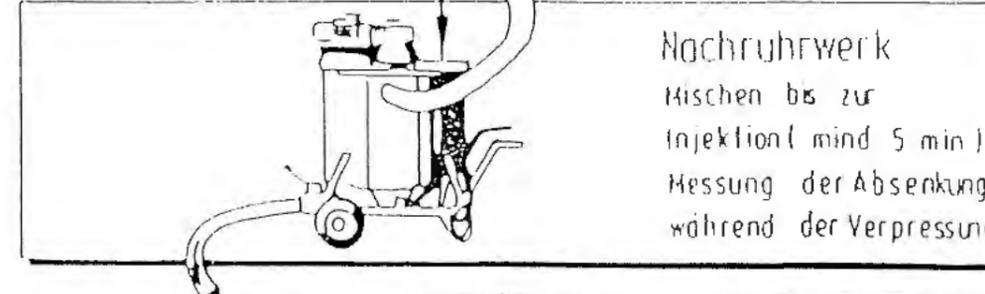


Zement, Füller und Wasser

\*\* ) Bei Verwendung eines Turbo-Umpumpmischers anstelle des Vormischers kann die Emulgiermaschine entfallen



Verflüssiger



PTB Physikalisch-Technische Bundesanstalt

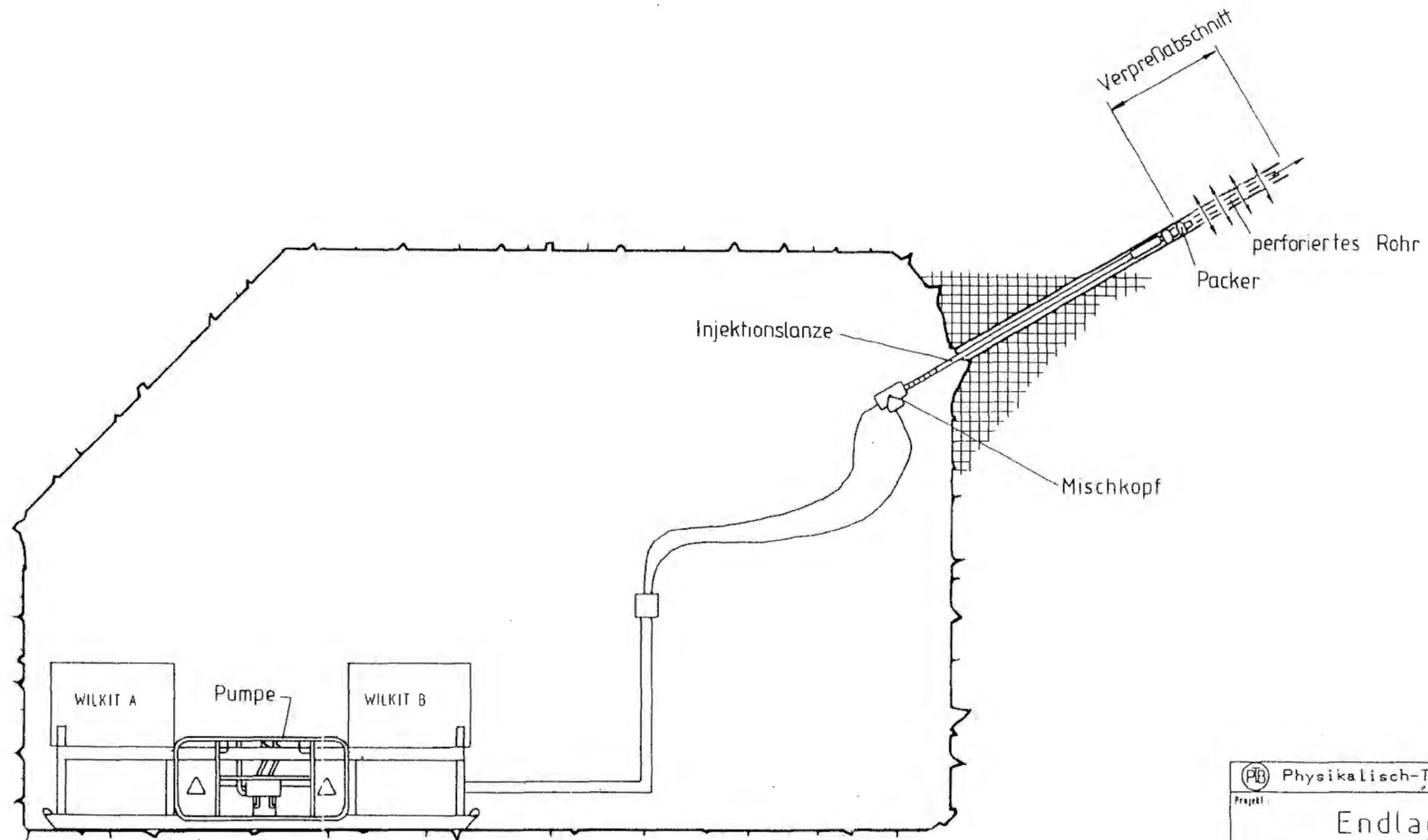
Projekt: Endlager Konrad

Datum	Kurz-/Unterschrift	Ersteller und Zeichnungsnummer	Anlage
gezeichnet			4.2
geprüft			
Modell-Nr.	Gez.-Nr.	Titel	
		Prinzip der Aufbereitung und Verpressung von Zementpasten (1)	
Blatt	von	Blatt	
Classifizierung			
Projekt	PSP-Eltracol		
9 K	33222.37		
Funktion	Fachbereich	Abgruppe	U.A.

ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD  
Strabag Bau-AG

Sachleben Bergbau GmbH

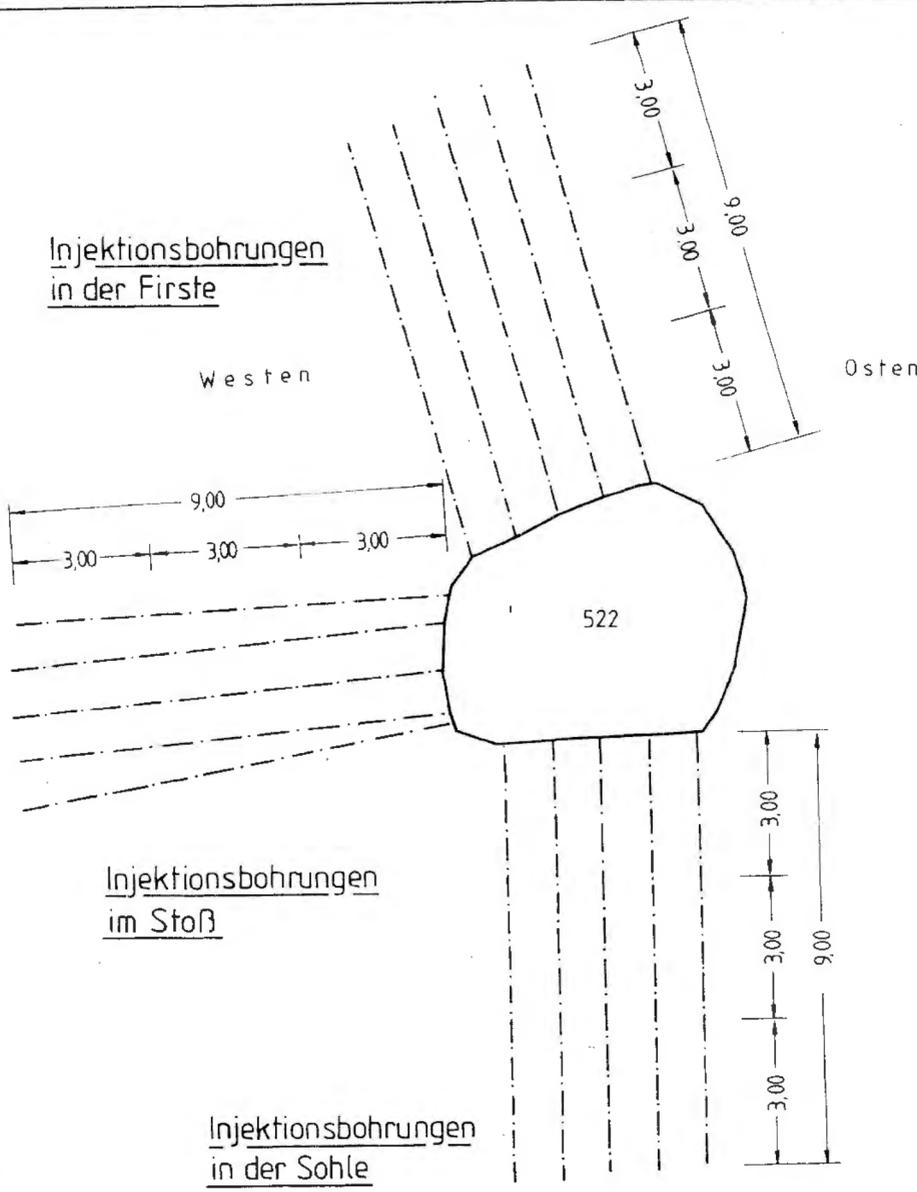
Stempel: dlb, Originalüberprüfung, Gültigkeit bis...



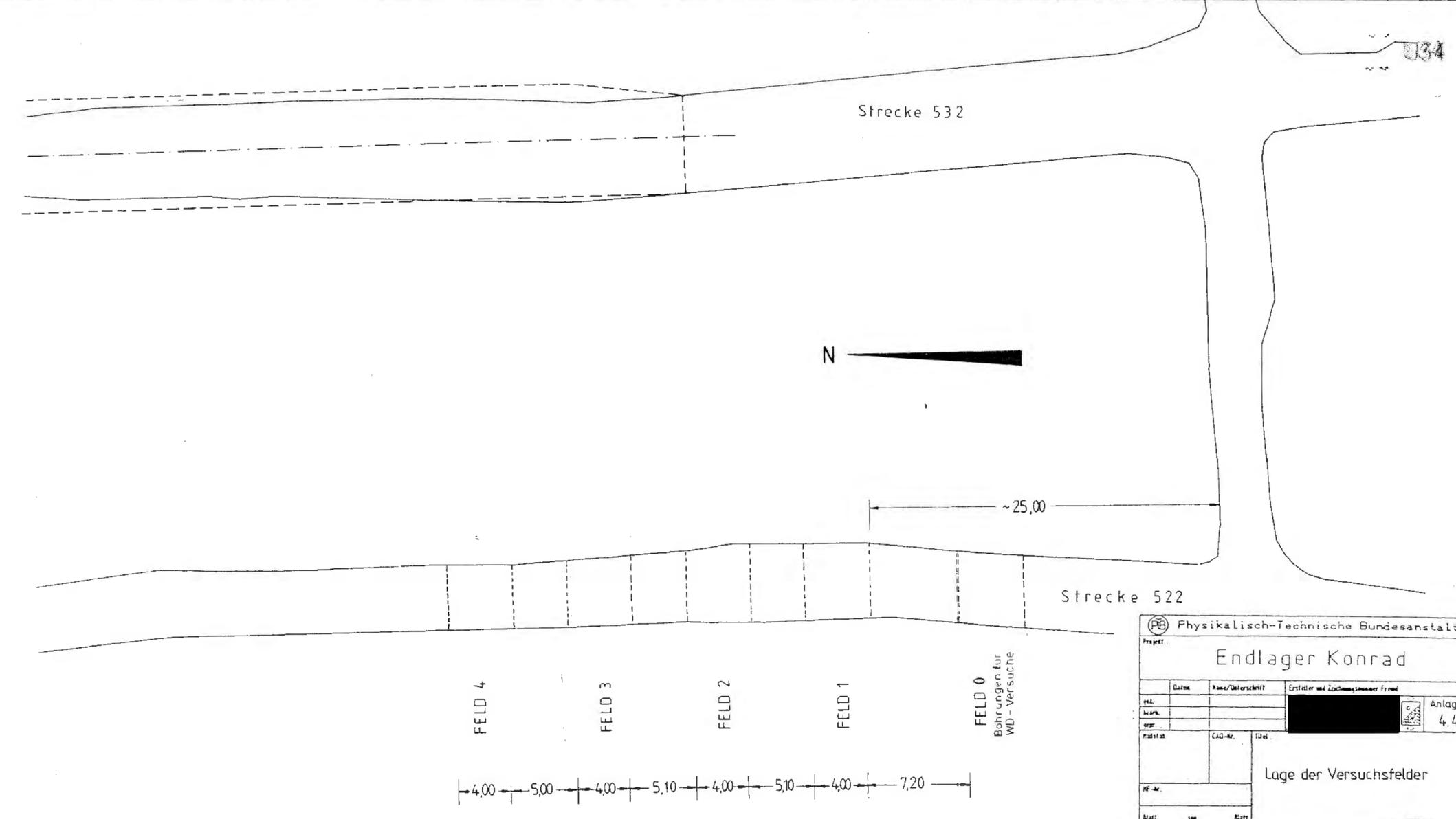
WILKIT A = Wasserglas + Additiv ( anorganische Komponente )  
 WILKIT B = Isocyanat + Additiv ( organische Komponente )

01

Physikalisch-Technische Bundesanstalt			
Projekt: Endlager Konrad			
Datum:	Name/Unterschrift:	Ersteller und Zeichnungsnummer Freund:	
gezeichnet:	bearbeitet:		Anlage 43
gezeichnet:	CAD-Nr.:	Titel: Prinzip der Verpressung von „ WILKIT “	
Maßstab:	Blatt:	von:	Blatt:
Klassifizierung:			
Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vor.			
Projekt:	PSP-Element:	Objekt-Nr.:	Blatt-Nr.:
9 K	33222.37	5500	
Funktion:	Komponente:	Gruppe:	Anlage:
			GHK
ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD			
Strabag Bau-AG		Sachtleben Bergbau GmbH	



Querschnitt M. 1 : 100



Lageplan M. 1 : 250

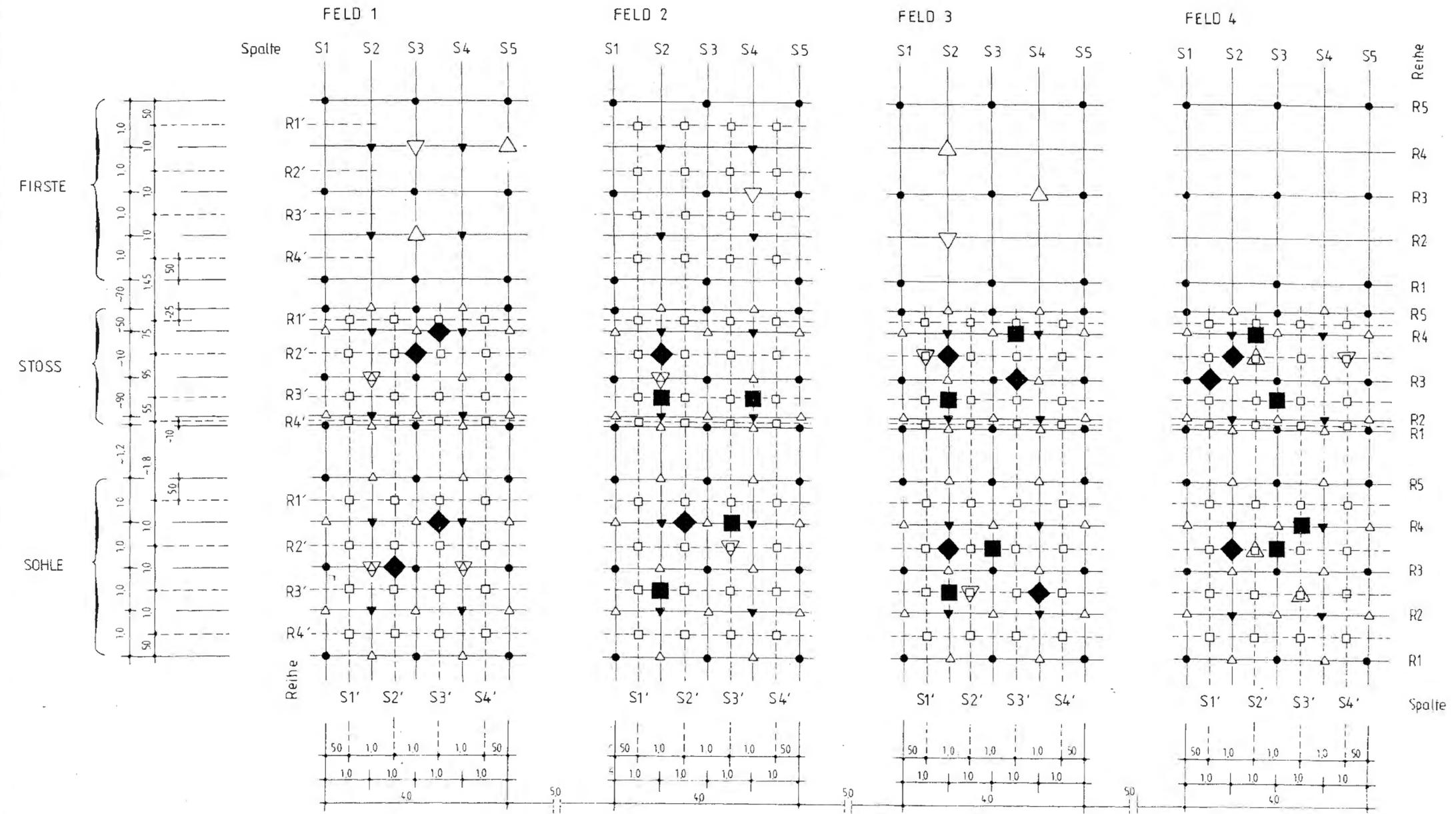
Physikalisch-Technische Bundesanstalt

Projekt: **Endlager Konrad**

Titel	Name/Datenschritt	Ersteller und Zeichnungsnummer Freund	
Blatt			Anlage 4.4
Prüfung	CAO-Nr.	Titel	
Lage der Versuchsfelder			
Für diese Zeichnung ist die Originalzeichnung zu verwenden. Alle Rechte vorbehalten.			
Projekt	FSZ-Element	Blatt	
9 K	33222.37	5500	
Funktion	Geometrie	Gezeichnet	Geprüft
GHR			

ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD  
Strabag Bau-AG

Sachtleben Bergbau GmbH



**Bohrungen für die Injektionsversuche**

Ansatzpunkt	Fläche	Feld	Phase	Tiefe [m]
● Serie A	Firste/Stoß	1/2/3/4	I	3
	Sohle	1/2/3	II	9
▼ Serie B	Firste	1/2	II	9
	Stoß/Sohle	1/2/3/4	I	3
△ Serie C	Stoß/Sohle	1/2/3/4	I	3
	Firste	2	III	9
□ Serie C̄	Stoß/Sohle	1/2/3/4	III	9

**Bohrungen für die WD-Versuche**

△ Vollbohrung	} nach Phase II (Serien A und B)
▽ Kernbohrung	
■ Vollbohrung	} nach Phase III (Serie C̄)
◆ Kernbohrung	

Physikalisch-Technische Bundesanstalt

Projekt: **Endlager Konrad**

Datum: \_\_\_\_\_ Name/Datumschrift: \_\_\_\_\_ Ersteller und Zeichnungsnummer: \_\_\_\_\_

Blatt: \_\_\_\_\_ von \_\_\_\_\_ Blatt: \_\_\_\_\_ Anlage: **4.5**

Titel: **Bohrungen für die Injektionsversuche und WD-Versuche**

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

Projekt: **9 K 33222.37**

ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD  
Steinberg Bau-AG      Sachtleben Bergbau GmbH

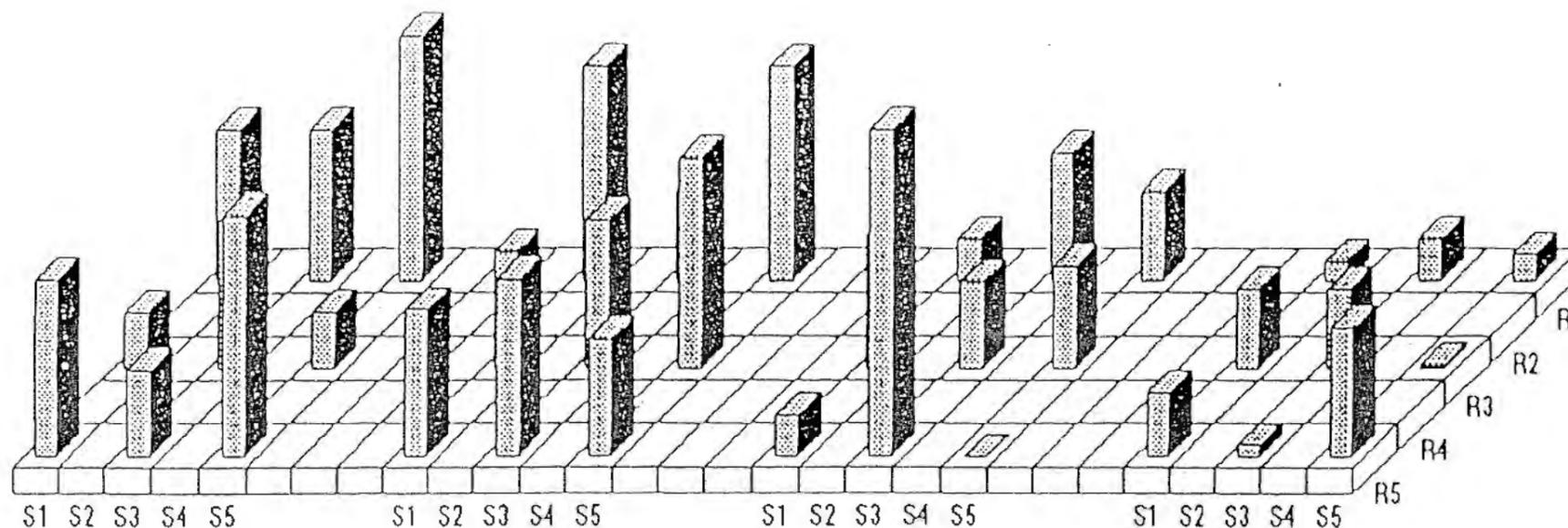
# Nettoaufnahme [ Liter/m ]

## Versuchsbedingungen :

Injektionsmittel : Paste (W/Z = 0,5)

Verpreßabschnitt : 0,3 ÷ 3,0m

Injektionsdruck : 5,0 bar



Feld 1

	S1	S2	S3	S4	S5
R1	36		36		59
R2					
R3	14		36		14
R4					
R5	44		21		59
Mittelwert	36				
Poren-/Kluftvolumen	0,2%				

Feld 2

	S1	S2	S3	S4	S5
R1	51		21		51
R2					
R3	29		36		51
R4					
R5	36		44		29
Mittelwert	39				
Poren-/Kluftvolumen	0,2%				

Feld 3

	S1	S2	S3	S4	S5
R1	10		31		21
R2					
R3	32		21		25
R4					
R5	10		79		00
Mittelwert	26				
Poren-/Kluftvolumen	0,1%				

Feld 4

	S1	S2	S3	S4	S5
R1	05		10		06
R2					
R3	19		19		02
R4					
R5	16		03		32
Mittelwert	13				
Poren-/Kluftvolumen	0,1%				

Physikalisch-Technische Bundesanstalt			
Projekt: Endlager Konrad			
Date:	Kenn-/Unterschrift:	Ersteller und Zeichnungsnummer Freund	
gezeichnet:			Anlage 46
geprüft:			
Maßstab:	CAD-Nr.:	Titel:	
		Ergebnisse der Injektionsversuche Phase I, Serie A, Erste	
HC-Nr.:			
Blatt:	von:	Blatt:	
Classifizierung: <span style="float: right;">Für Gesteinsuntersuchung Original übergeben</span>			
Projekt:	FSP-Element:		
PK:	33222.37		
Familie:	Geoprotekt:	Blattgruppe:	Aufgabe:
ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD		Sachtleben Bergbau GmbH	
Strabag Bau-AG			

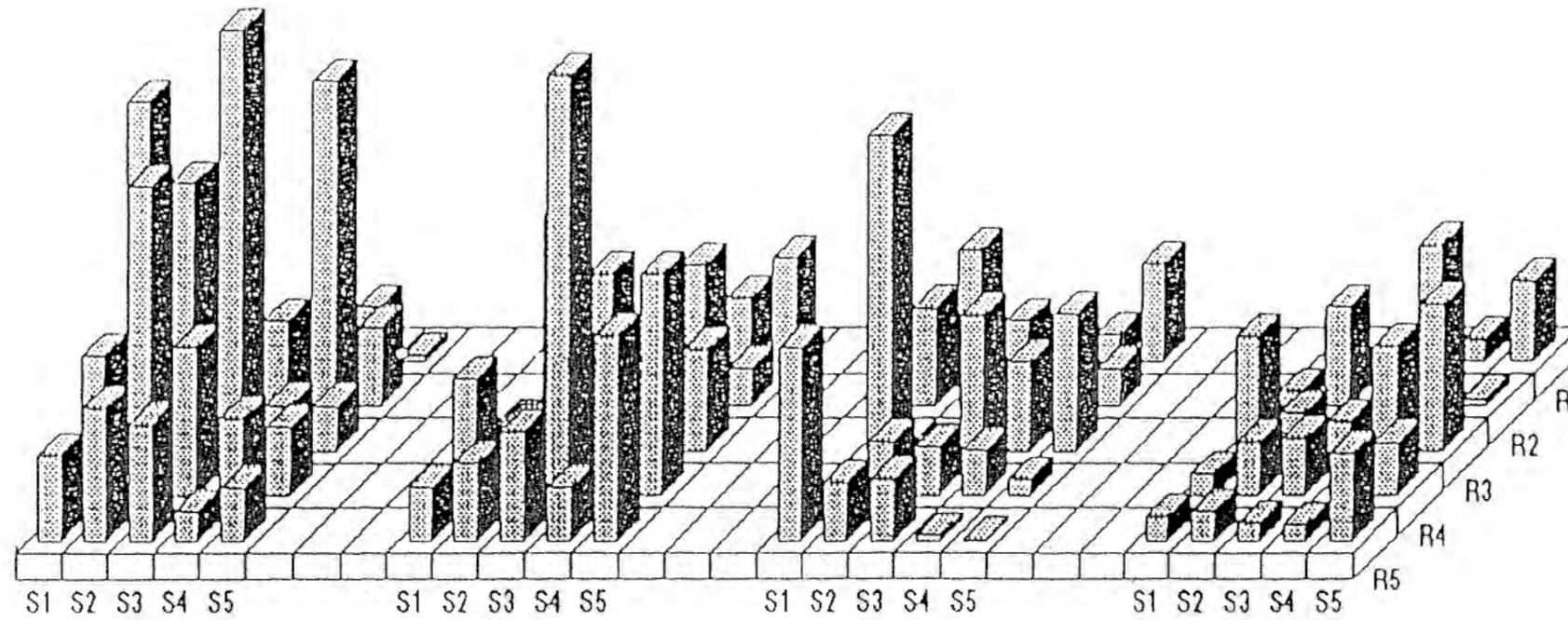
# Nettoaufnahme [ Liter/m ]

## Versuchsbedingungen :

Injektionsmittel : Paste (W/Z = 0,5)

Verpreßabschnitt : 0,3 ÷ 3,0m

Injektionsdruck : 5,0 bar



Feld 1

	S1	S2	S3	S4	S5
R1	8,8*	29	21	51	07
R2	207*	77	81*	30,3*	73
R3	325	36	392*	44	44
R4	133	288*	140	73*	66
R5	81*	125*	110	29	51*
Mittelwert	11,5				
Poren-/Kluftvolumen	24 %				

\* Umläufigkeit

Feld 2

	S1	S2	S3	S4	S5
R1	392	36	88*	59	95
R2	177*	59	51	44	36
R3	29*	221	21*	44	96*
R4	110	66*	392*	140*	207*
R5	51	73	103*	51	173*
Mittelwert	101				
Poren-/Kluftvolumen	21%				

\*) Unterteilung der Injektionsstrecke 1,03 ÷ 1,8m / 1,8 ÷ 3,0m wegen erhöhter Umläufigkeit

Feld 3 \*)

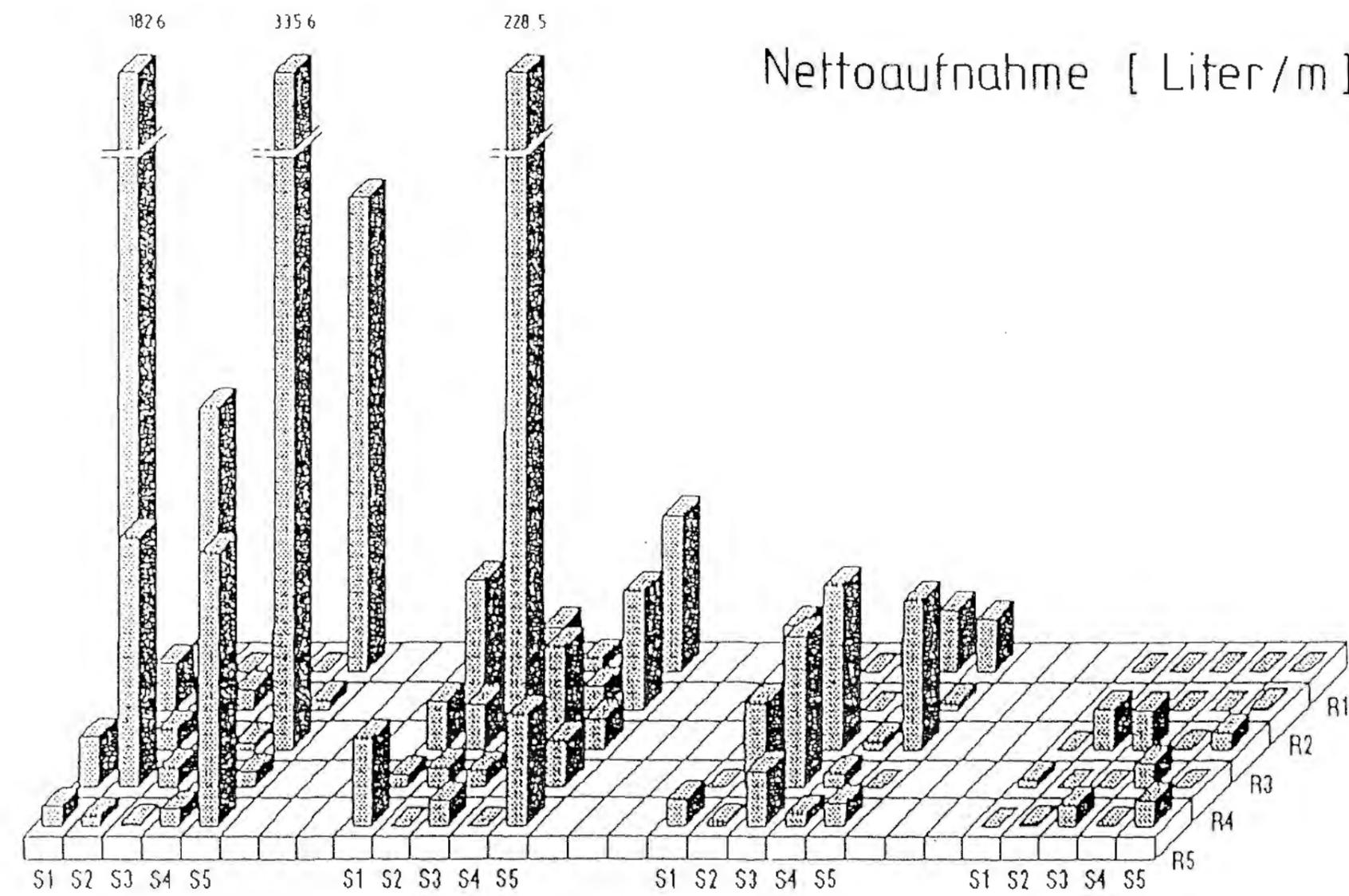
	S1	S2	S3	S4	S5
R1	10,3	0,4	20	25	90
R2	92*	20	81*	53	36*
R3	29*	07	127	84*	129*
R4	0,3	51	47	44	17
R5	18,0	55	59*	07	0,3
Mittelwert	6,5				
Poren-/Kluftvolumen	14%				

Feld 4 \*)

	S1	S2	S3	S4	S5
R1	42	10	16	21*	75
R2	16	94	40	14,9*	08
R3	109*	36	29	99	136*
R4	21	51*	55	14*	51
R5	23	29	18	16	83
Mittelwert	50				
Poren-/Kluftvolumen	1,0%				

PTB Physikalisch-Technische Bundesanstalt			
Projekt: Endlager Konrad			
Datei	Klassifizierung	Ersteller und Zeichnungsnummer: Fried	
gr.:	beinh.	Anlage 47	
gep.:			
Masstab:	(1:10-M)	Titel:	
Ergebnisse der Injektionsversuche : Phase I, Serien A, B und C, Stoß			
<div style="text-align: right;">  </div>			
Projekt	PTB-Nummer	Objekt	
9 K	33222.37	550	
Festleg.	Laufzeit	Bezugsgr.	Verf.
		GHK	Peine
ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD			
Strabag Bau-AG		Sachtleben Bergbau GmbH	

# Nettoaufnahme [ Liter/m ]



## Versuchsbedingungen :

Injektionsmittel : Paste (W/Z = 0,5)

Verpreßabschnitt : 0,3 ÷ 3,0m

Injektionsdruck : 5,0 bar

Feld 1

	S1	S2	S3	S4	S5
R1	63	0	89	0	1033
R2	104	70	45	30	23
R3	1826	45	19	15	3356
R4	112	541	45	826	38
R5	44	28	07	38	593
Mittelwert :					360
Poren-/Kluftvolumen					5,6 %

▪ Umläufigkeit

Feld 2

	S1	S2	S3	S4	S5
R1	522	97	30	75	337
R2	282	149	90	52	260
R3	104	98	2285	223	67
R4	30	45	40	0	104
R5	193	0	56	0	244
Mittelwert					216
Poren-/Kluftvolumen :					3,4%

Feld 3

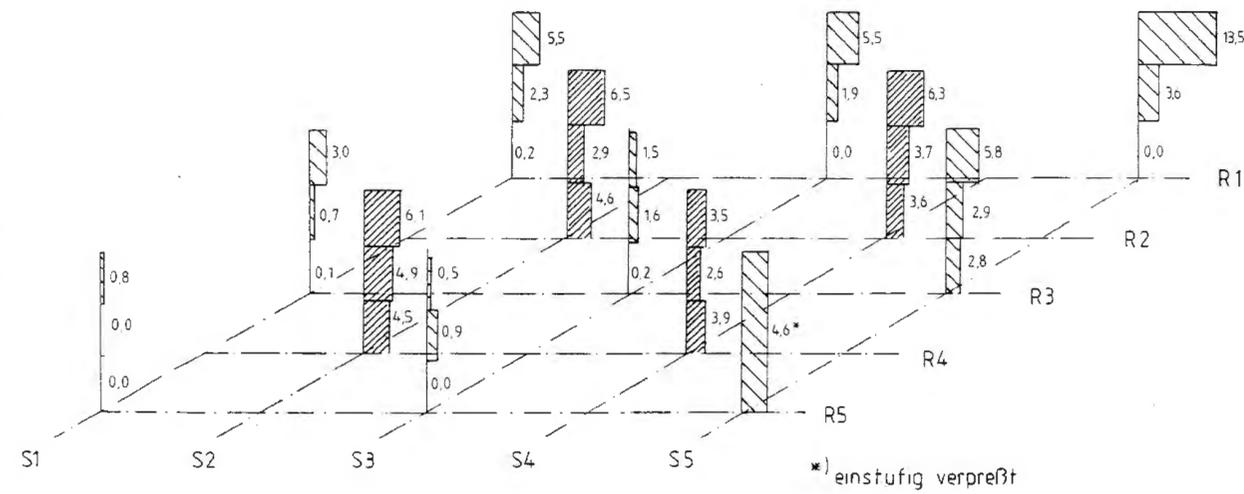
	S1	S2	S3	S4	S5
R1	35	0	94	144	115
R2	199	217	156	91	20
R3	78	0	384	20	350
R4	0	202	356	32	0
R5	60	12	122	32	55
Mittelwert					98
Poren-/Kluftvolumen					1,5%

Feld 4

	S1	S2	S3	S4	S5
R1	02	0	0	0	02
R2	0	0	0	0	08
R3	0	96	92	04	42
R4	24	0	0	54	0
R5	02	08	51	05	62
Mittelwert :					17
Poren-/Kluftvolumen					0,3%

Physikalisch-Technische Bundesanstalt			
Projekt : <b>Endlager Konrad</b>			
Datee bearb. gepr. Maßstab	Name/Unterschrift 	Ersteller und Zeichnungsnummer Freund 	
Blatt 1 von 1 Blatt		Anlage 48	
Ergebnisse der Injektionsversuche : Phase I Serien A, Bund C			
Projekt : 9 K		PSP-Element : 33222.37	
ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD Strabag Bau-AG      Sachtleben Bergbau GmbH			

Nettoaufnahme [ Liter/m ]

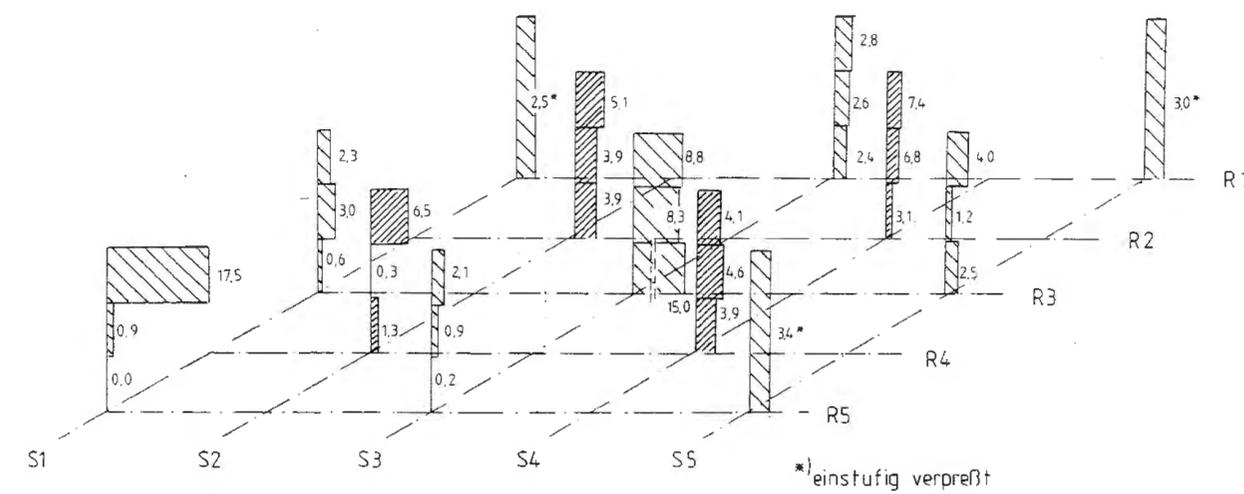


Feld 1, Firste

Verpreßabschnitt	Serie	Mittelwert	Injektionsdruck
0,3 ÷ 3,0 m	A	0,9 l/m	15 (10) bar
	B	4,2 l/m	15 bar
3,0 ÷ 6,0 m	A	2,1 l/m	20 (10) bar
	B	3,5 l/m	20 bar
6,0 ÷ 9,0 m	A	4,5 l/m	20 (10) bar
	B	5,6 l/m	20 bar

( ) Paste

Nettoaufnahme [ Liter/m ]

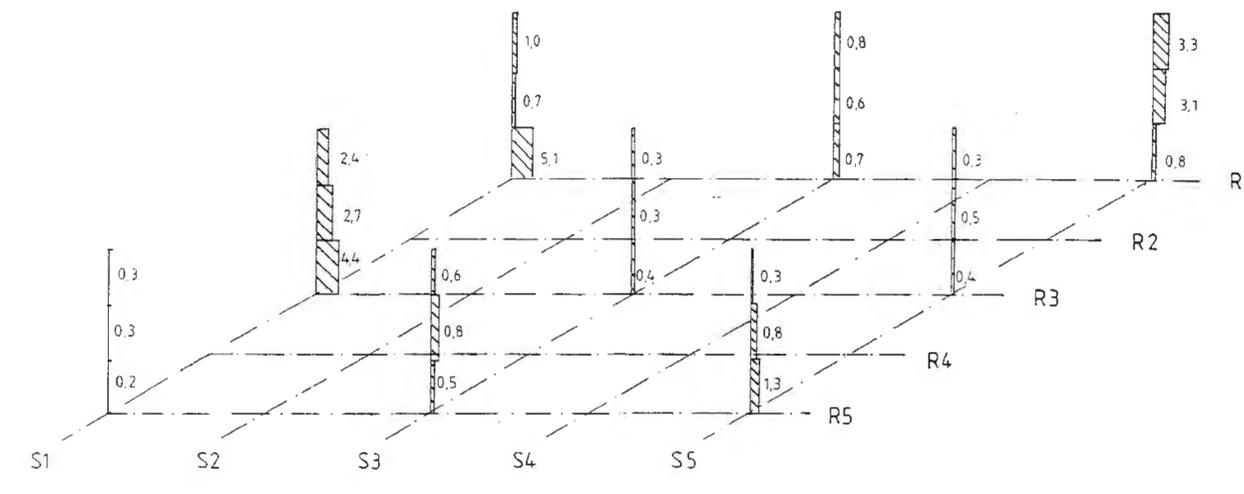


Feld 2, Firste

Verpreßabschnitt	Serie	Mittelwert	Injektionsdruck
0,3 ÷ 3,0 m	A	3,4 l/m	15 (10) bar
	B	2,6 l/m	15 bar
3,0 ÷ 6,0 m	A	2,9 l/m	20 (10) bar
	B	2,8 l/m	20 bar
6,0 ÷ 9,0 m	A	5,2 l/m	20 (10) bar
	B	4,6 l/m	20 bar

( ) Paste

Nettoaufnahme [ Liter/m ]



Feld 3, Firste

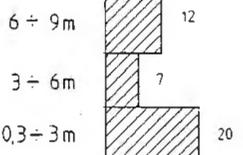
Verpreßabschnitt	Serie	Mittelwert	Injektionsdruck
0,3 ÷ 3,0 m	A	1,5 l/m	15 bar
3,0 ÷ 6,0 m	A	1,1 l/m	20 bar
6,0 ÷ 9,0 m	A	1,0 l/m	20 bar

Legende :

Injektionsmittel :

- Serie A Suspension (W/Z = 0,8)
- Serie B Suspension (W/Z = 0,8)
- Serie A Suspension (W/Z = 0,5)

Verpreßabschnitt



Nettoaufnahme [ l/m ]

Physikalisch-Technische Bundesanstalt

Projekt: Endlager Konrad

Anlage 49

Ergebnisse der Injektionsversuche

Phase II, Serie A und B

Firste

Umfeld

5500

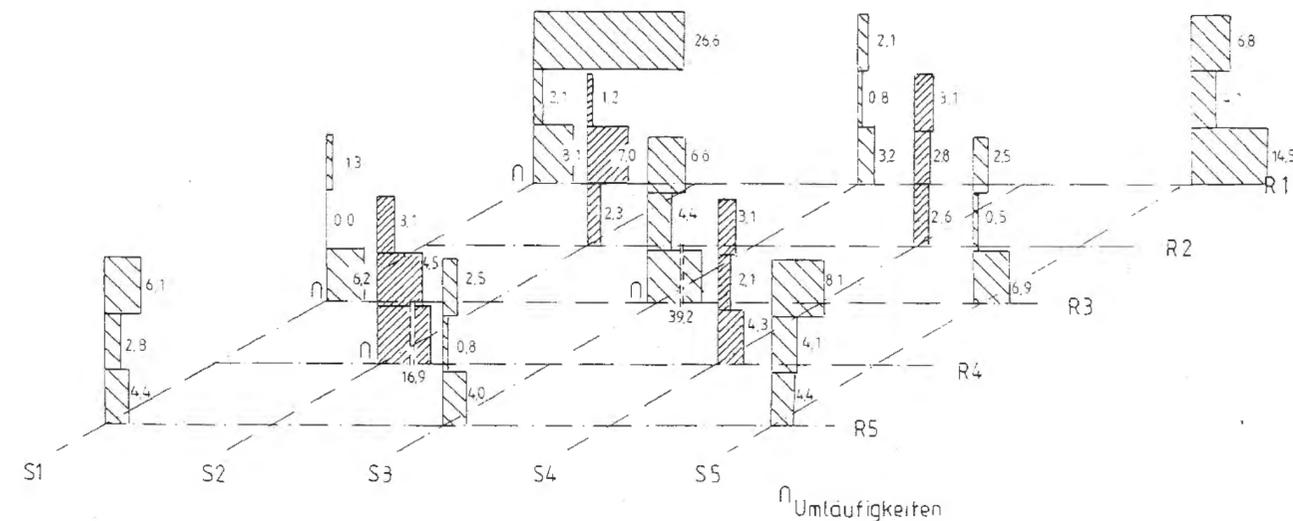
GHK

ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD

Strabag Bau-AG

Sechtleben Bergbau GmbH

### Nettoaufnahme [ Liter/m ]

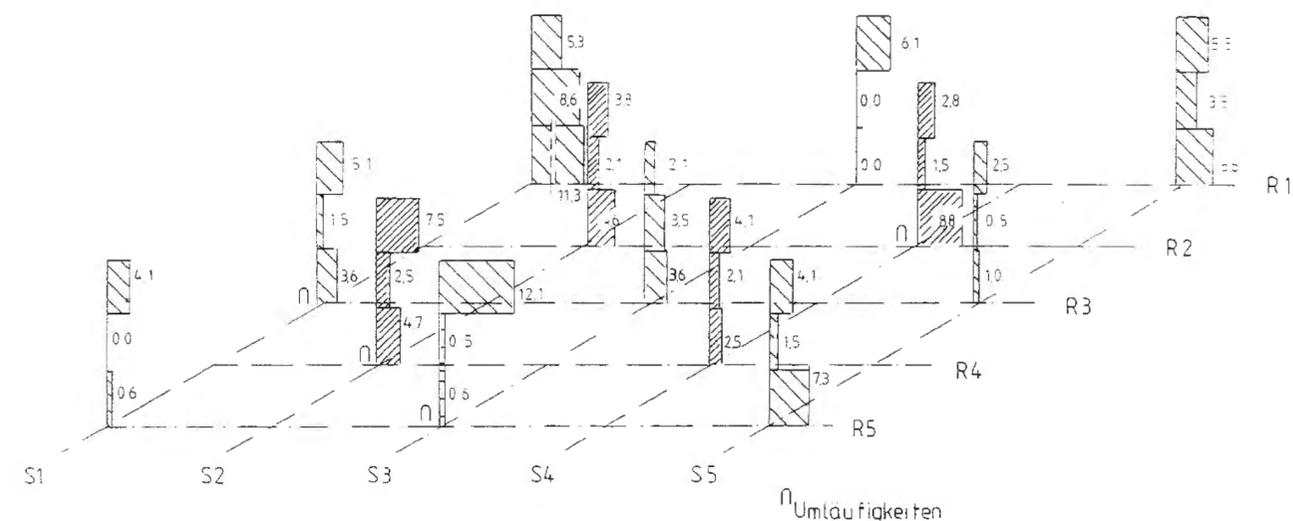


Feld 1, Stoß

Verpreßabschnitt	Serie	Mittelwert	Injektionsdruck
0,3 ÷ 3,0 m	A B	6,2 l/m 6,5 l/m	15(10) bar 15 bar
3,0 ÷ 6,0 m	A B	2,2 l/m 4,1 l/m	20(10) bar 20 bar
6,0 ÷ 9,0 m	A B	7,0 l/m 2,6 l/m	20(10) bar 20 bar

( ) Paste

### Nettoaufnahme [ Liter/m ]

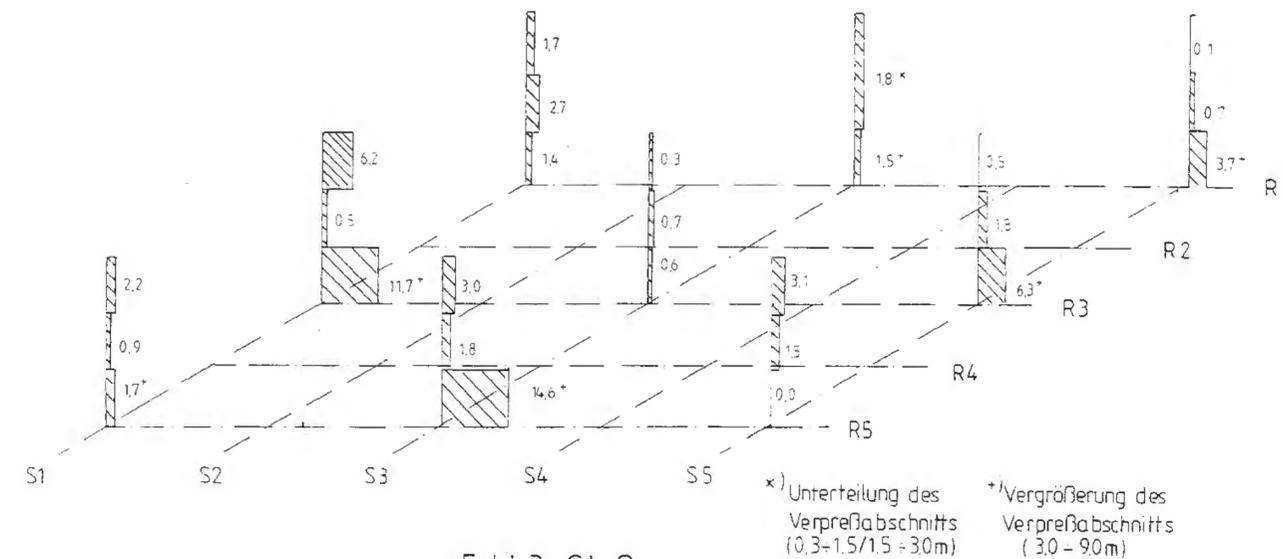


Feld 2, Stoß

Verpreßabschnitt	Serie	Mittelwert	Injektionsdruck
0,3 ÷ 3,0 m	A B	3,9 l/m 5,2 l/m	15 (10) bar 15 bar
3,0 ÷ 6,0 m	A B	2,2 l/m 2,6 l/m	20 (10) bar 20 bar
6,0 ÷ 9,0 m	A B	5,2 l/m 4,6 l/m	20 (10) bar 20 bar

( ) Paste

### Nettoaufnahme [ Liter/m ]



Feld 3, Stoß

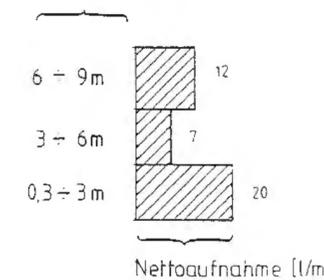
Verpreßabschnitt	Serie	Mittelwert	Injektionsdruck
0,3 ÷ 3,0 m	A	4,6 l/m	15 bar
3,0 ÷ 6,0 m	A	1,4 l/m	20 bar
6,0 ÷ 9,0 m	A	2,1 l/m	20 bar

### Legende :

Injektionsmittel :

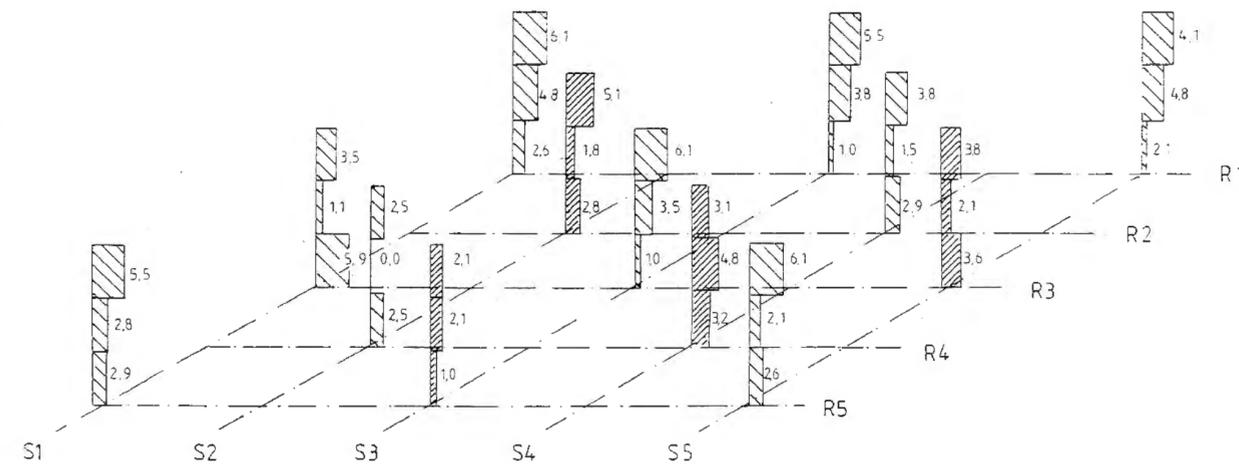
- Serie A Suspension ( W/Z = 0,8 )
- Serie B Suspension ( W/Z = 0,8 )
- Serie A Suspension ( W/Z = 0,5 )

Verpreßabschnitt



Physikalisch-Technische Bundesanstalt  
Projekt  
Endlager Konrad  
Ordnung Nr. / Name/Unterschrift / Ersteller und Zeichnungsnummer / Freigegeben  
Blatt 4.10  
Anlage 4.10  
Ergebnisse der Injektionsversuche  
Phase II  
Stoß  
Unterlage Konrad B  
ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD  
Strabag Bau-AG  
Sachtleben Bergbau GmbH

Nettoaufnahme [ Liter/m ]

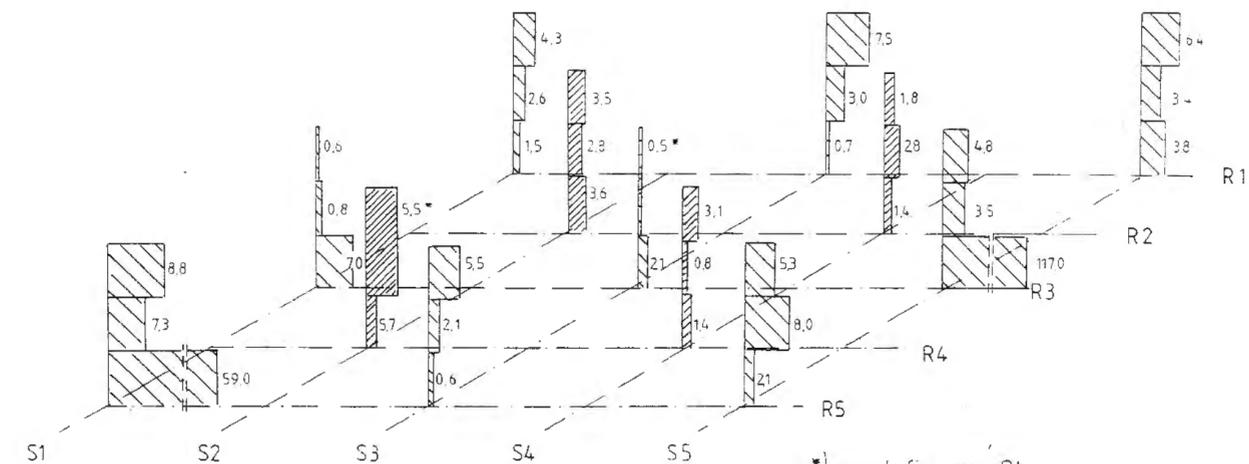


Feld 1, Sohle

Verpreßabschnitt	Serie	Mittelwert	Injektionsdruck
0,3 ÷ 3,0 m	A	2,5 l/m	15(10) bar
	B	2,9 l/m	15 bar
3,0 ÷ 6,0 m	A	3,0 l/m	20(10) bar
	B	2,0 l/m	20 bar
6,0 ÷ 9,0 m	A	4,8 l/m	20(10) bar
	B	3,6 l/m	20 bar

( ) Paste

Nettoaufnahme [ Liter/m ]

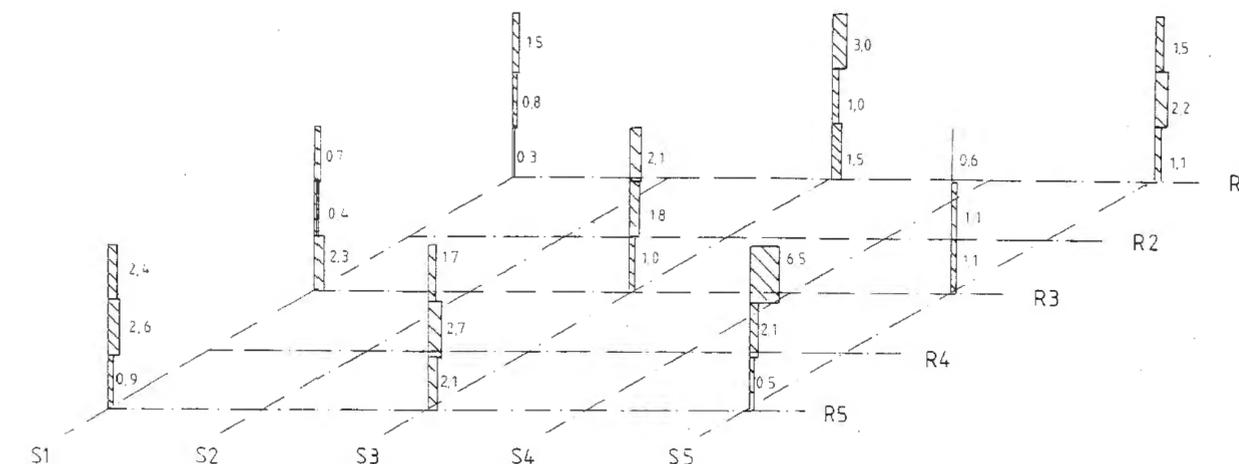


Feld 2, Sohle

Verpreßabschnitt	Serie	Mittelwert	Injektionsdruck
0,3 ÷ 3,0 m	A	21,5 l/m	15(10) bar
	B	2,1 l/m	15 bar
3,0 ÷ 6,0 m	A	3,5 l/m	20(10) bar
	B	3,0 l/m	20 bar
6,0 ÷ 9,0 m	A	4,9 l/m	20 (10) bar
	B	3,5 l/m	20 bar

( ) Paste

Nettoaufnahme [ Liter/m ]



Feld 3, Sohle

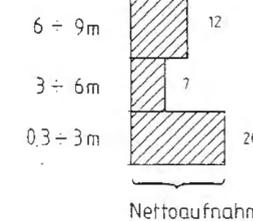
Verpreßabschnitt	Serie	Mittelwert	Injektionsdruck
0,3 ÷ 3,0 m	A	1,2 l/m	15 bar
3,0 ÷ 6,0 m	A	1,6 l/m	20 bar
6,0 ÷ 9,0 m	A	2,2 l/m	20 bar

Legende :

Injektionsmittel :

- Serie A Suspension (W/Z = 0,8)
- Serie B Suspension (W/Z = 0,8)
- Serie A Suspension (W/Z = 0,5)

Verpreßabschnitt



Physikalisch-Technische Bundesanstalt

Projekt: Endlager Konrad

Ersteller und Zeichner: [Redacted]

Anlage 4.11

Ergebnisse der Injektionsversuche

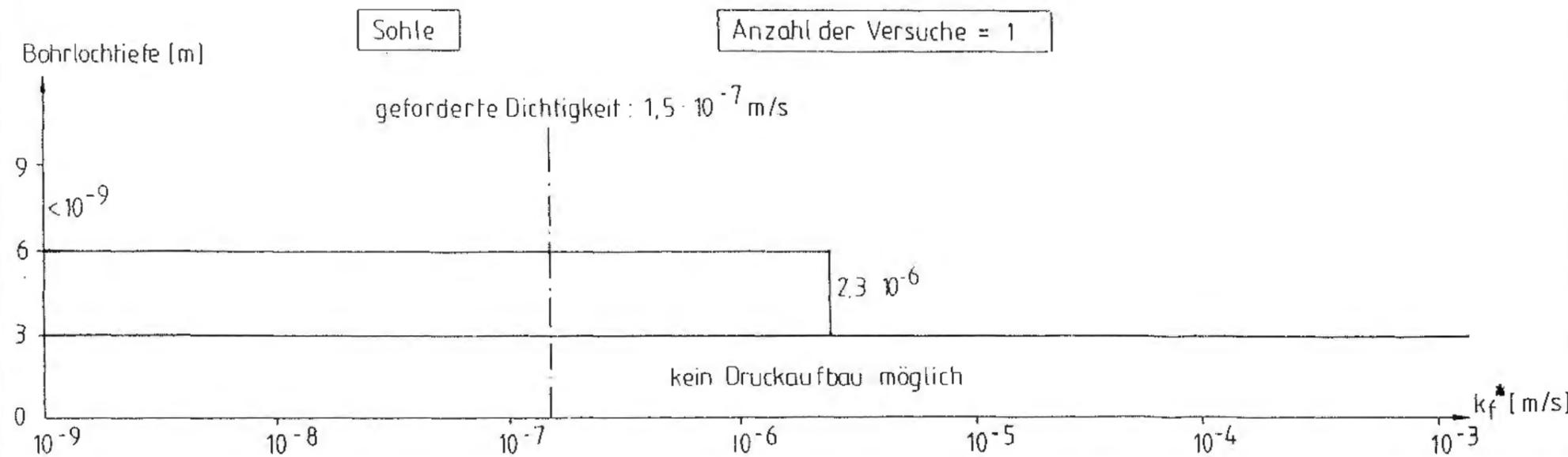
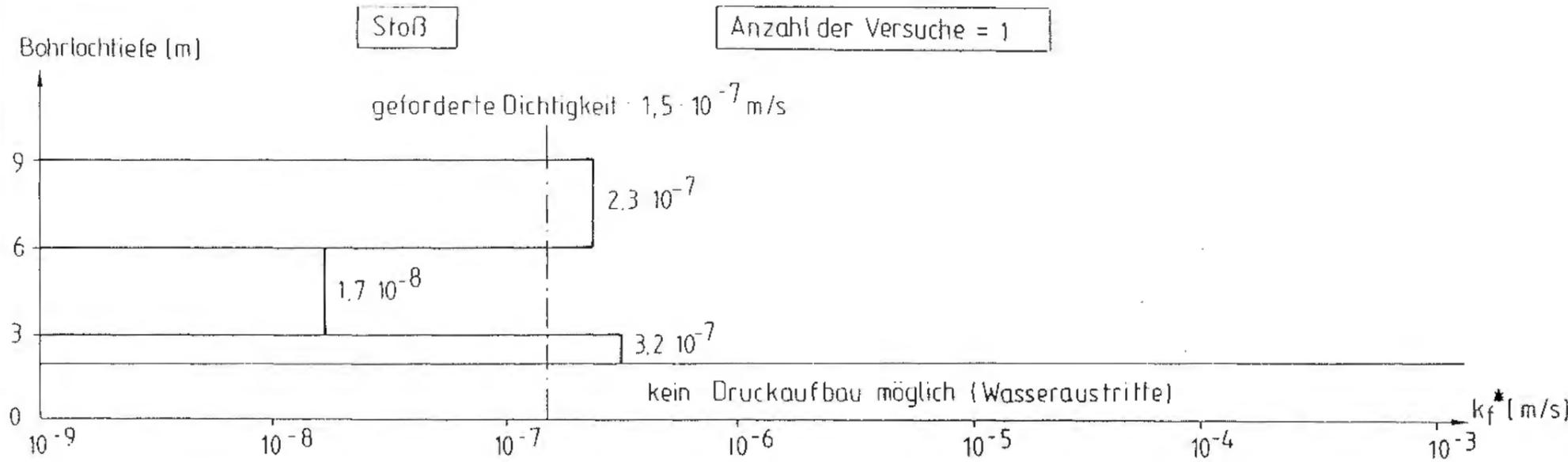
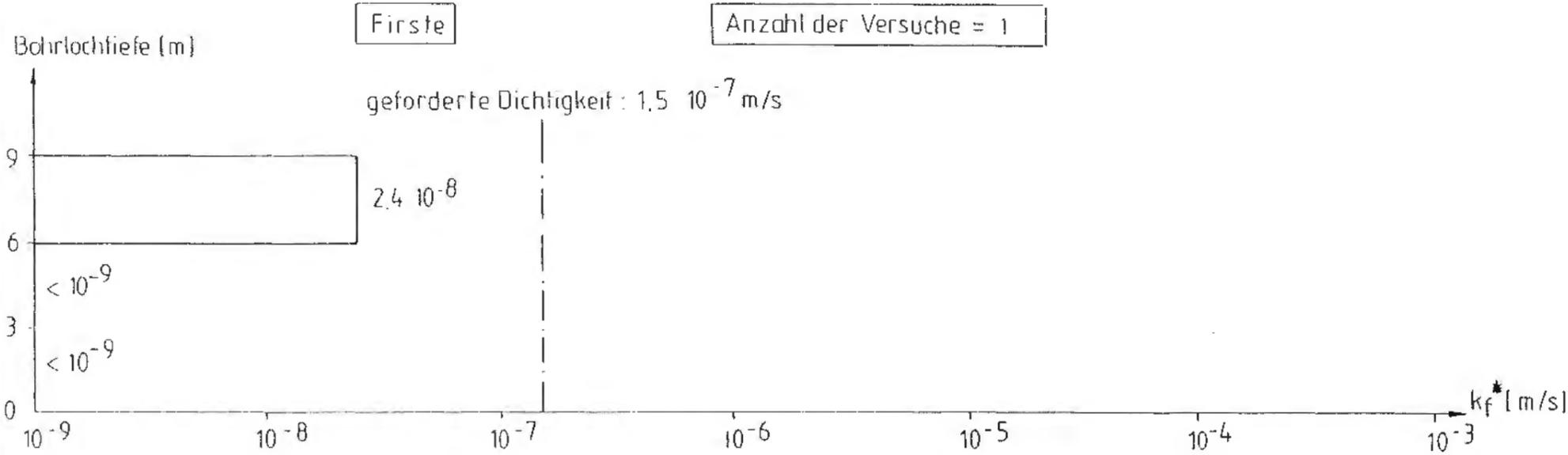
Phase II, Serie A und B

Sohle

Umschlagstempel: Umverteilung

ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD  
Strobel Bau-AG

Secht-Loeben Bergbau GmbH



- \* Die Bestimmung der  $k_f$  - Werte erfolgte anhand der Formel:
- $$k_f = \frac{q}{2\pi \cdot H_0 \cdot l} \cdot \ln \frac{R}{r_0}$$
- $q \text{ [m}^3/\text{s]}$  : je Zeiteinheit die Versuchsanordnung durchfließende Wassermenge
- $H_0 \text{ [m]}$  : Druckhöhe des Verpreßdrucks  $p_0$
- $l \text{ [m]}$  : Länge des Verpreßabschnitts
- $R \text{ [m]}$  : Der Auswertung zugrundegelegte Reichweite (0,5m)
- $r_0 \text{ [m]}$  : Bohrlochradius
- Der Auswertung wurde die höchste Druckstufe ( $p_0 = 4 \text{ bar}$ ) zugrunde gelegt

(PTB) Physikalisch-Technische Bundesanstalt			
Projekt: <b>Endlager Konrad</b>			
Datum:	Name/Unterschrift:	Ersteller und Zeichnungsnummer/Freeid:	
sch.			Anlage 412
tearb.			
gepr.			
Maßstab:	CAO-Nr.:	Titel:	
		Ergebnisse der (PTB) Versuche Feld 0 (nicht in Art. 10)	
PK-Nr.:			
Class:	rec	B:11	
Classifizierung: <span style="float: right;">Für Gebrauchszwecke behalten wir uns alle Rechte vor.</span>			
Projekt:	PSF-Nr.:	Projekt-Nr.:	
9 K	33222.37	5500	
Funktion:	Eintragsnr.:	Gruppe:	Aufgabe:
			GHK
ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD			
Strabag Bau-AG		Sachtleben Bergbau GmbH	

\* Die Bestimmung der  $k_f$ -Werte erfolgte anhand der Formel:

$$k_f = \frac{q}{2\pi \cdot H_0 \cdot l} \ln \frac{R}{r_0}$$

043

$q$  ( $m^3/s$ ): je Zeiteinheit die Versuchsanordnung durchfließende Wassermenge

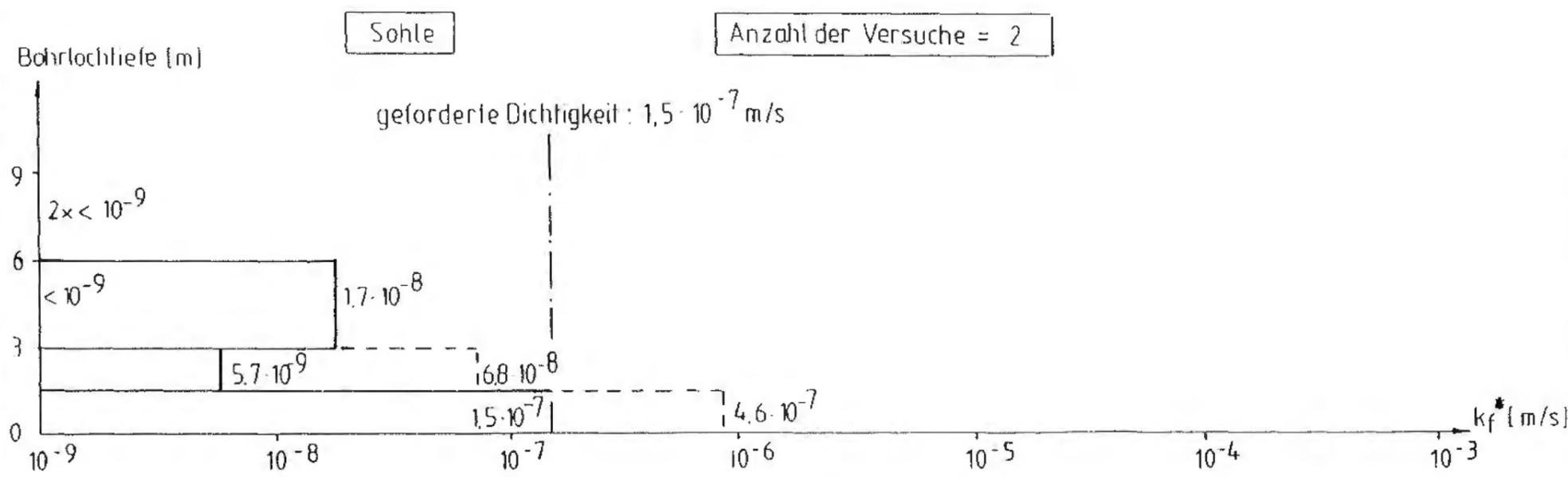
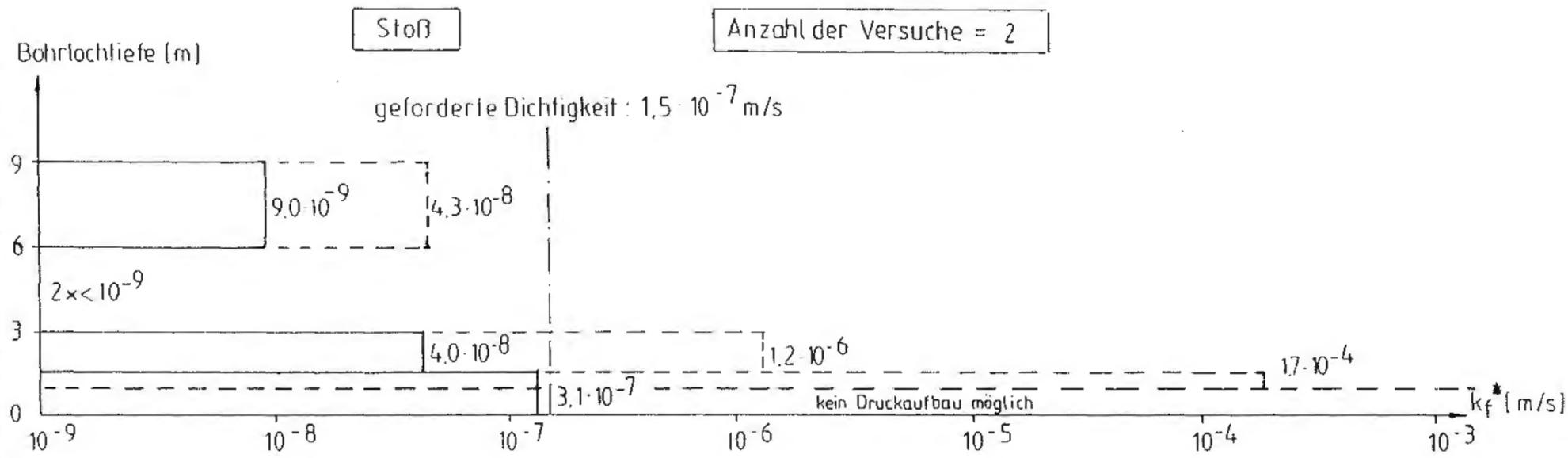
$H_0$  (m): Druckhöhe des Verpreßdrucks  $p_0$

$l$  (m): Länge des Verpreßabschnitts

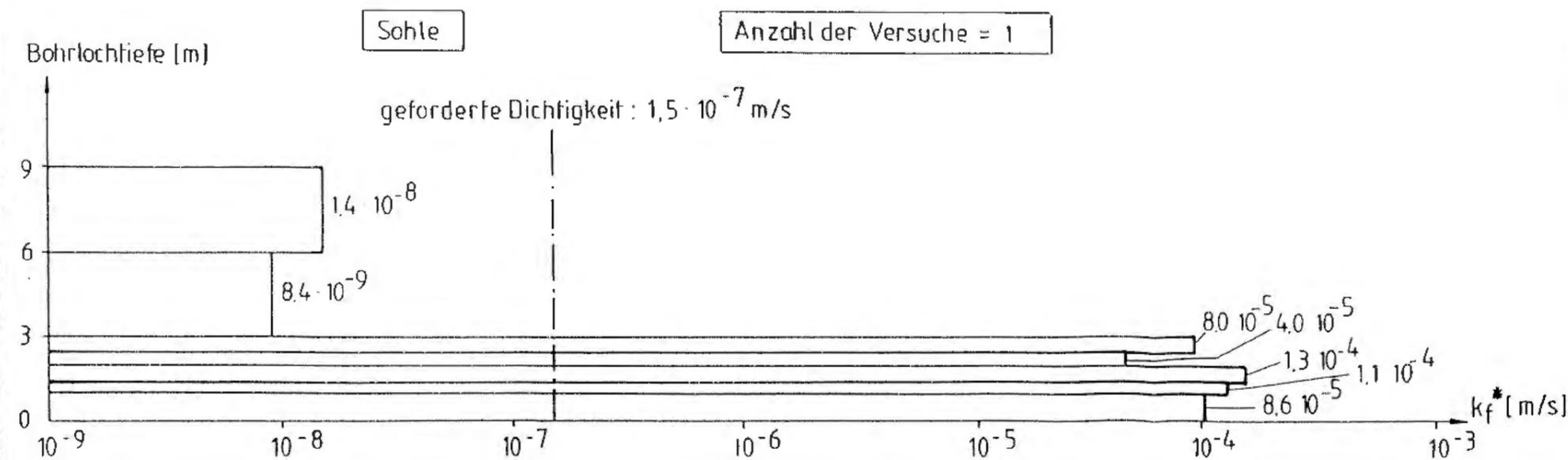
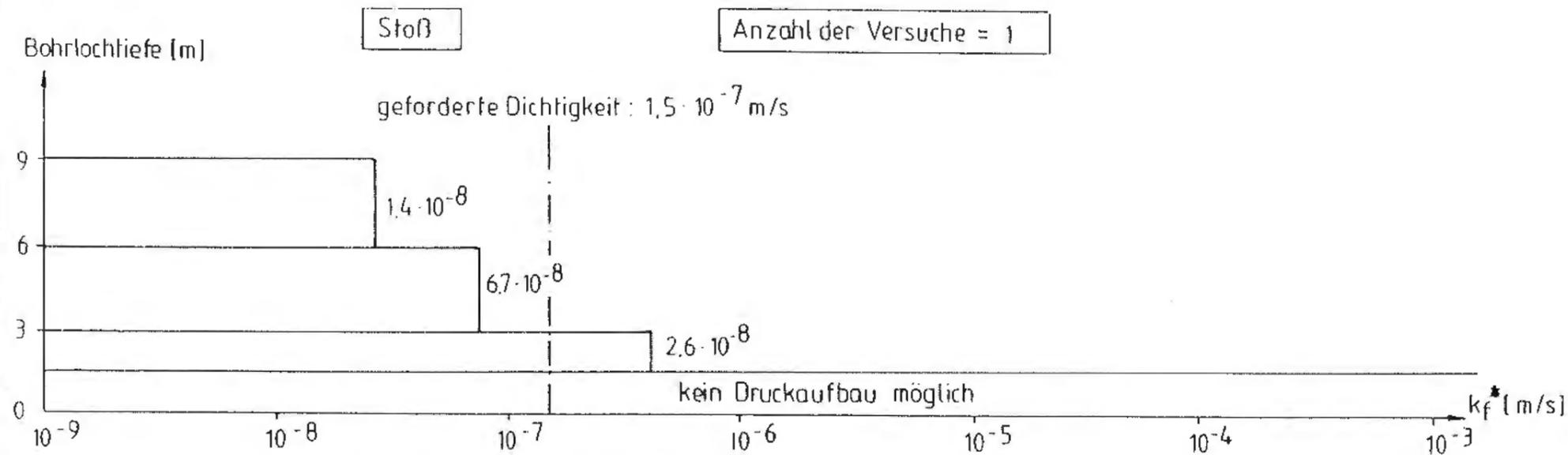
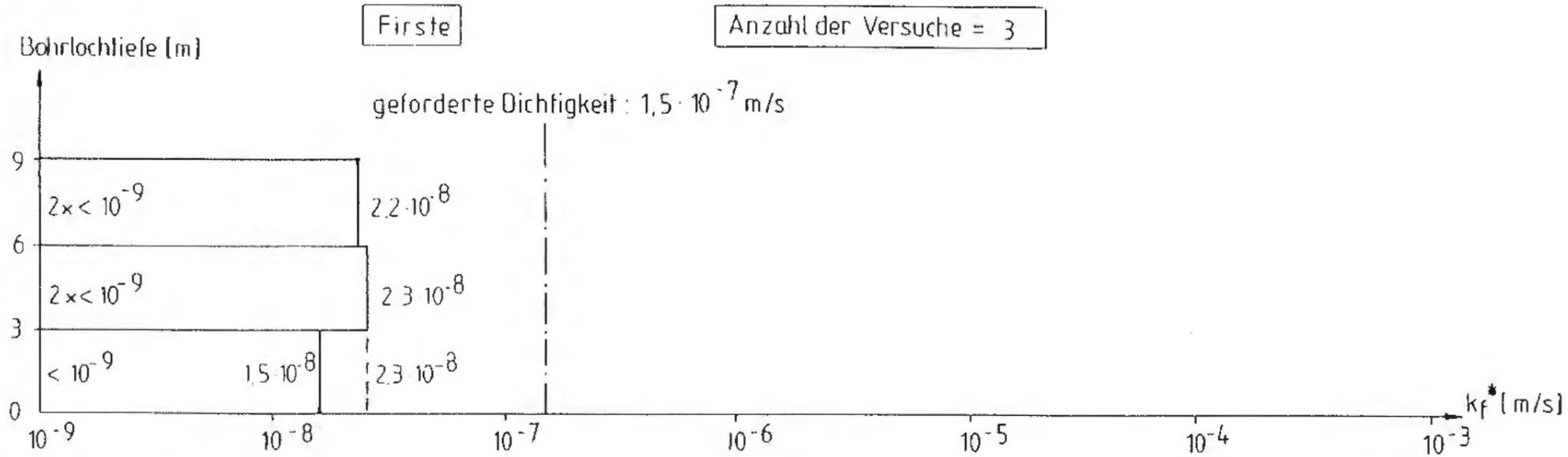
$R$  (m): Der Auswertung zugrundegelegte Reichweite (0,5m)

$r_0$  (m): Bohrlochradius

Der Auswertung wurde die höchste Druckstufe ( $p_0 = 4 \text{ bar}$ ) zugrunde gelegt.



(PTB) Physikalisch-Technische Bundesanstalt			
Projekt: Endlager Konrad			
Datum	Kurz-/Titel	Ersteller und Zeichnungsnummer	
gel. befr.		Anlage 4.13	
gepr.			
Material	CAD-Nr.	Bild	
Ergebnisse der WD-Versuche Feld 4 (nach Phase I)			
Projekt	PSF-Eleasel	Blatt	
9 K	33222.37	5500	
Facilitä	Experiment	Endgruppe	Anlage
			GhK
ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD			
Strabag Bau-AG		SachtLeben Bergbau GmbH	



\*) Die Bestimmung der  $k_f$  - Werte erfolgte anhand der Formel : 044

$$k_f = \frac{q}{2\pi \cdot H_0 \cdot l} \cdot \ln \frac{R}{r_0}$$

$q$  [m<sup>3</sup>/s] : je Zeiteinheit die Versuchsapparatur durchfließende Wassermenge

$H_0$  [m] : Druckhöhe des Verpreßdrucks  $p_0$

$l$  [m] : Länge des Verpreßabschnitts

$R$  [m] : Der Auswertung zugrundegelegte Reichweite (0,5m)

$r_0$  [m] : Bohrlochradius

Der Auswertung wurde die höchste Druckstufe ( $p_0 = 4 \text{ bar}$ ) zugrunde gelegt.

(PTB) Physikalisch-Technische Bundesanstalt			
Projekt : <b>Endlager Konrad</b>			
Datum	Name/Bezeichnung	Ersteller und Zeichnungsnummer freigegeben	
gezeichnet			Anlage 4.14
bearbeitet			
geprüft			
Maßstab	(A0-A4)	Titel : <b>Ergebnisse der WD-Versuche Feld 3 (nach Phase II)</b>	
KF-Nr.			
Etat	neu	Stoff	
Klassifizierung : <span style="float: right;">Für diese Zeichnung gelten die Bestimmungen der DIN EN ISO 15926-1:2005-06</span>			
Projekt	PSP-Steuer	DIN EN ISO 15926-1:2005-06	
9 K	33222.37	500	
Festlegung	Ergebnisse	Bsp. Nr.	
ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD Strabag Bau-AG <span style="float: right;">Sachtleben Bergbau GmbH</span>			

\* Die Bestimmung der  $k_f$  - Werte erfolgte anhand der Formel :

$$k_f = \frac{q}{2\pi \cdot H_0 \cdot l} \cdot \ln \frac{R}{r_0}$$

$q$  [ $m^3/s$ ] : je Zeiteinheit die Versuchsanlage durchfließende Wassermenge

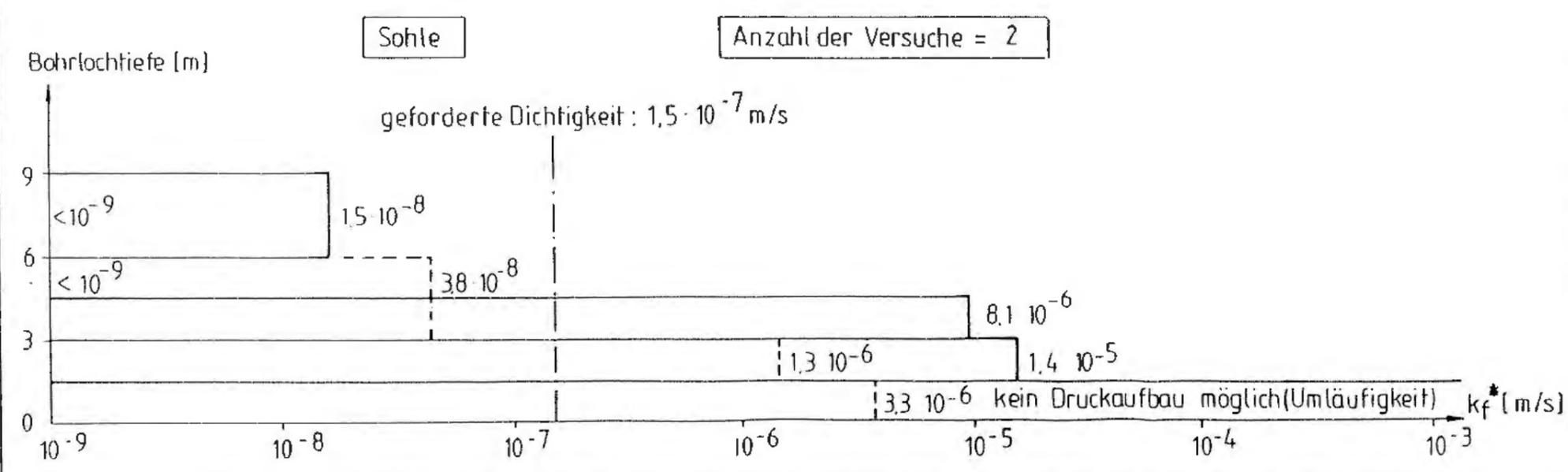
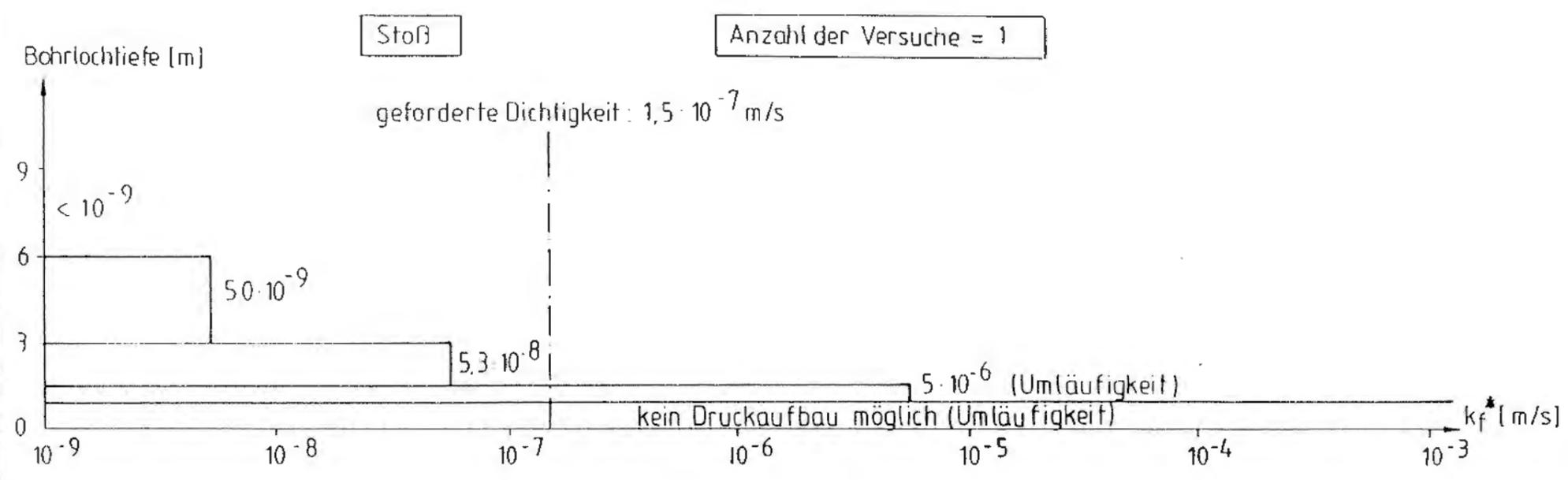
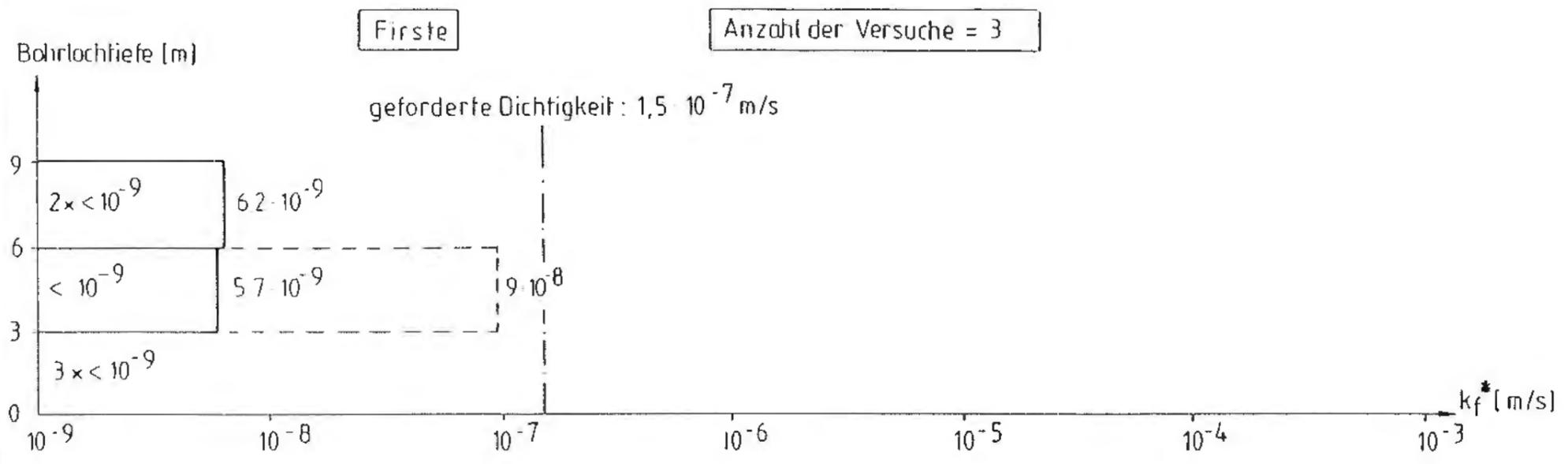
$H_0$  [m] : Druckhöhe des Verpreßdrucks  $p_0$

$l$  [m] : Länge des Verpreßabschnitts

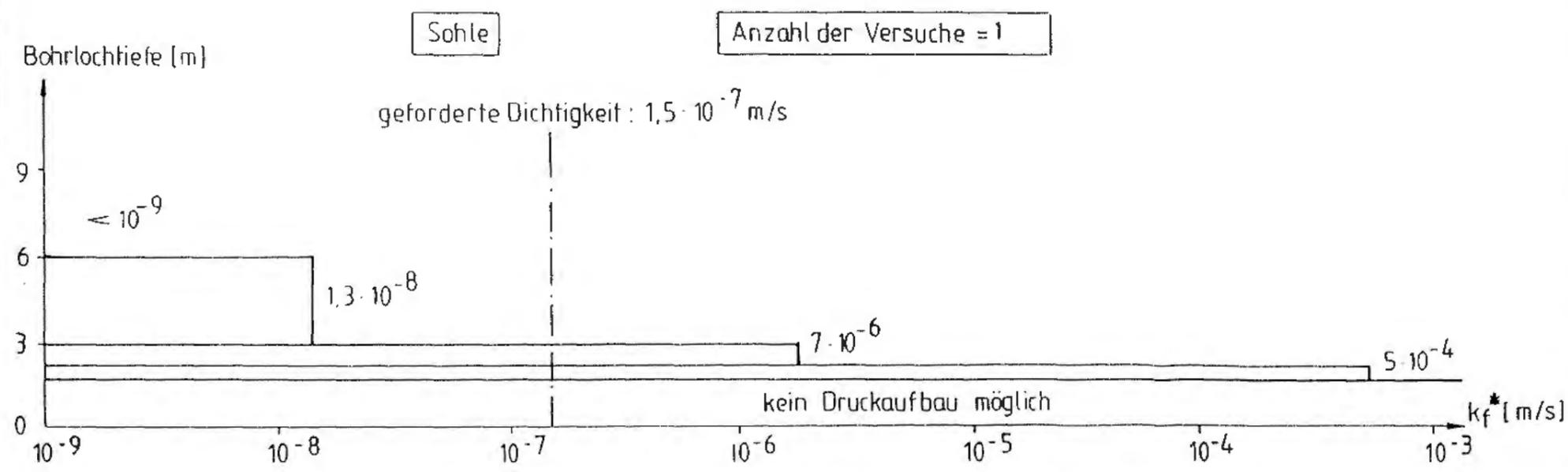
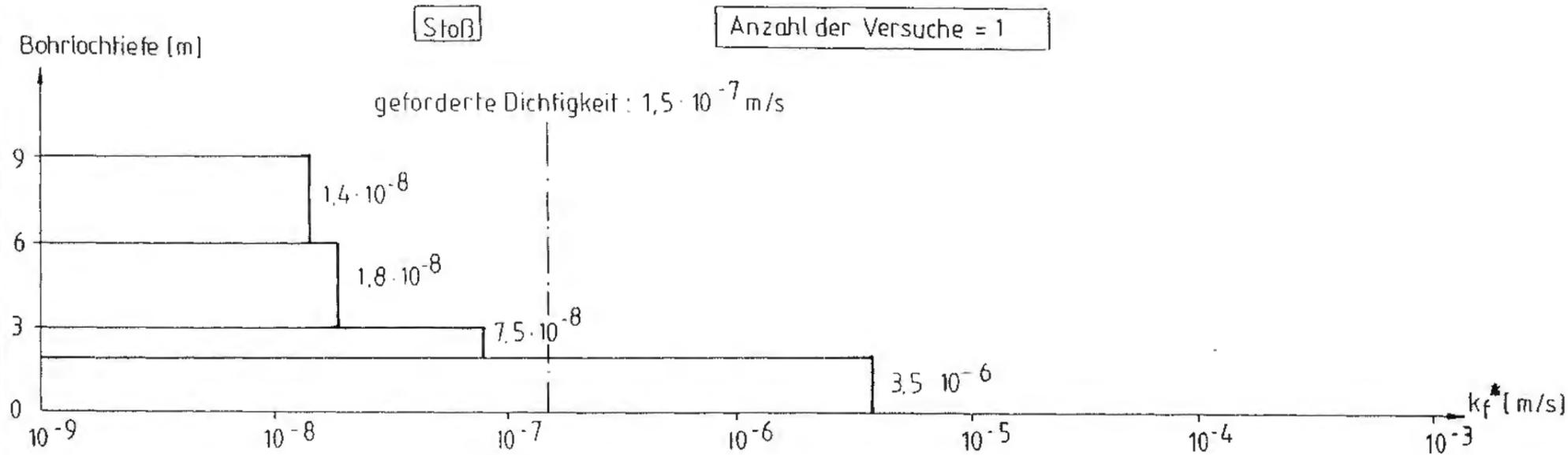
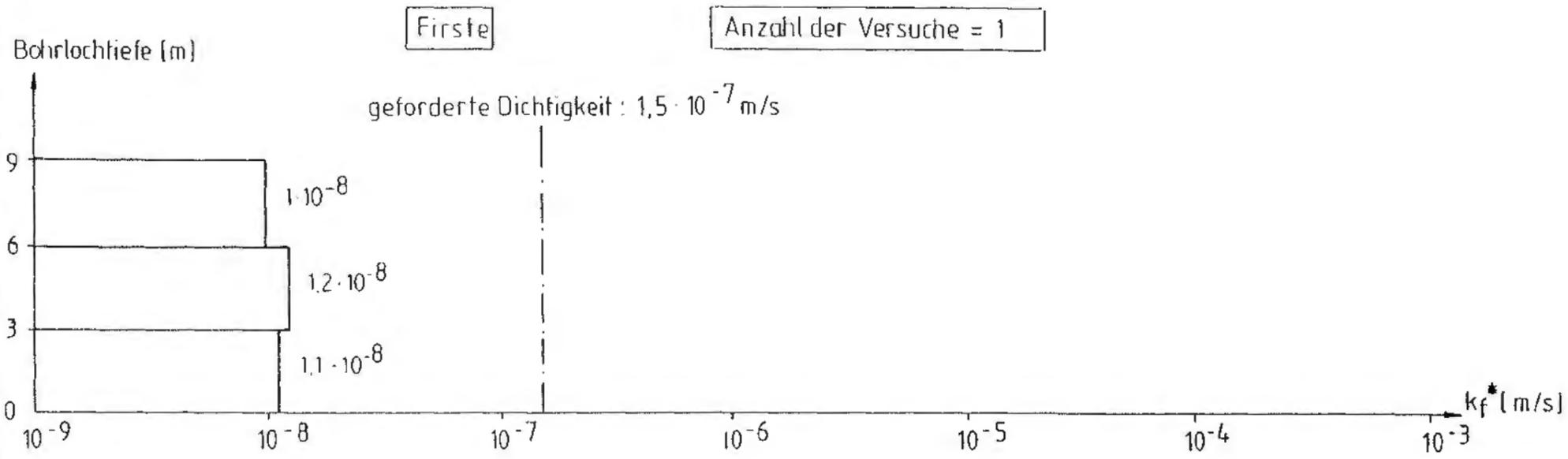
$R$  [m] : Der Auswertung zugrundegelegte Reichweite (0,5m)

$r_0$  [m] : Bohrlochradius

Der Auswertung wurde die höchste Druckstufe ( $p_0 = 4 \text{ bar}$ ) zugrunde gelegt.



(PTB) Physikalisch-Technische Bundesanstalt			
Projekt: <b>Endlager Konrad</b>			
gel.	Datum	Name/Abkürzung	Ersteller und Zeichnungsnummer/Projekt
beart.			Anlage 4.15
gepr.			
Material	CAO-Nr.	Titel: <b>Ergebnisse der WD-Versuche Feld 1 (nach Phase II)</b>	
PK-Nr.			
Etat			
Klassifizierung: <span style="float: right;">Für den Gebrauch in der Anlage bestimmt</span>			
Projekt	PSP-Element		
9 K	33222.37		
Festl.	Expensic	Bezug	Urk.
ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD Strabag Bau-AG <span style="float: right;">Sachtleben Bergbau GmbH</span>			



\* Die Bestimmung der  $k_f$  - Werte erfolgte anhand der Formel :

$$k_f = \frac{q}{2\pi \cdot H_0 \cdot l} \ln \frac{R}{r_0}$$

$q$  [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] : je Zeiteinheit die Versuchsanlage durchfließende Wassermenge

$H_0$  [m] : Druckhöhe des Verpreßdrucks  $p_0$

$l$  [m] : Länge des Verpreßabschnitts

$R$  [m] : Der Auswertung zugrundegelegte Reichweite (0,5m)

$r_0$  [m] : Bohrlochradius

Der Auswertung wurde die höchste Druckstufe ( $p_0 = 4 \text{ bar}$ ) zugrunde gelegt.

PTB Physikalisch-Technische Bundesanstalt

Projekt: **Endlager Konrad**

Blaue	Name/Unterschrift	Ersteller und Zeichnungsnummer
gezeichnet		Anlage 4.16
bearbeitet		
geprüft		

Maßstab: CAD-Nr.: Titel: **Ergebnisse der WD-Versuche Feld 2 (nach Phase II)**

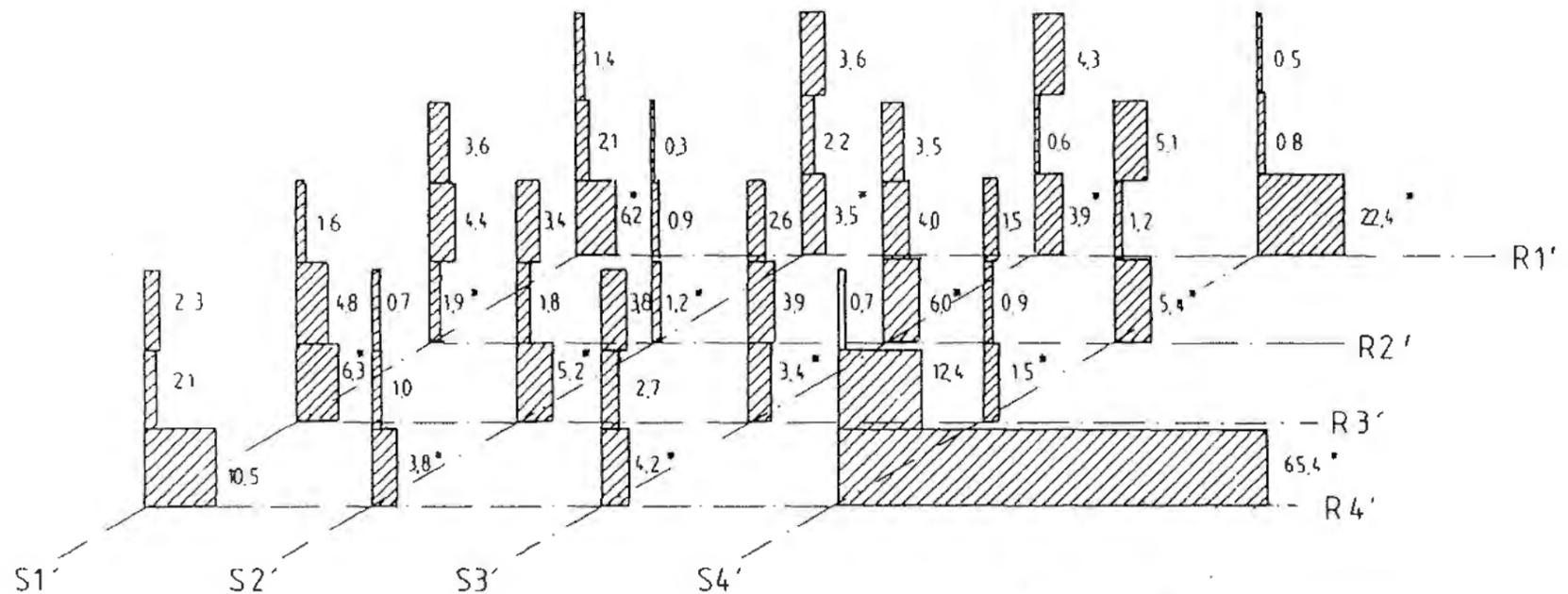
KF-Nr.: Blatt: von Blatt

Classifizierung: Für diese Zeichnung sind alle Rechte vorbehalten.

Projekt	FSF-Eigenart	Di
9 K	33222.37	

ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD  
Strabag Bau-AG Sachtleben Bergbau GmbH

# Nettoaufnahme [ Liter/m ]

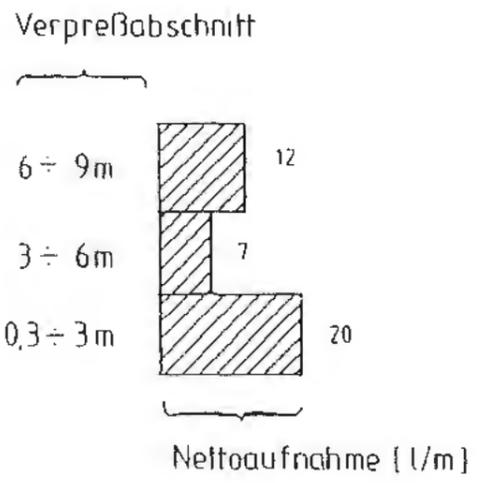


\* Unterteilung der Verpreßabschnitte ( 0,3 ÷ 1,5m / 1,5 ÷ 3,0m )

## Feld 1, Stoß

Injektionsmittel  
Suspension ( W/Z = 0,8 )

### Legende



Verpreßabschnitt	Serie	Mittelwert	Injektionsdruck
0,5 ÷ 3,0 m	C̄	9,4 l/m	15 bar
3,0 ÷ 6,0 m	C̄	2,9 l/m	20 bar
6,0 ÷ 9,0 m	C̄	2,4 l/m	20 bar

PTB Physikalisch-Technische Bundesanstalt

Projekt: Endlager Konrad

Objekt: Anlage 4.17

Ersteller und Zeichnungsname: Freund

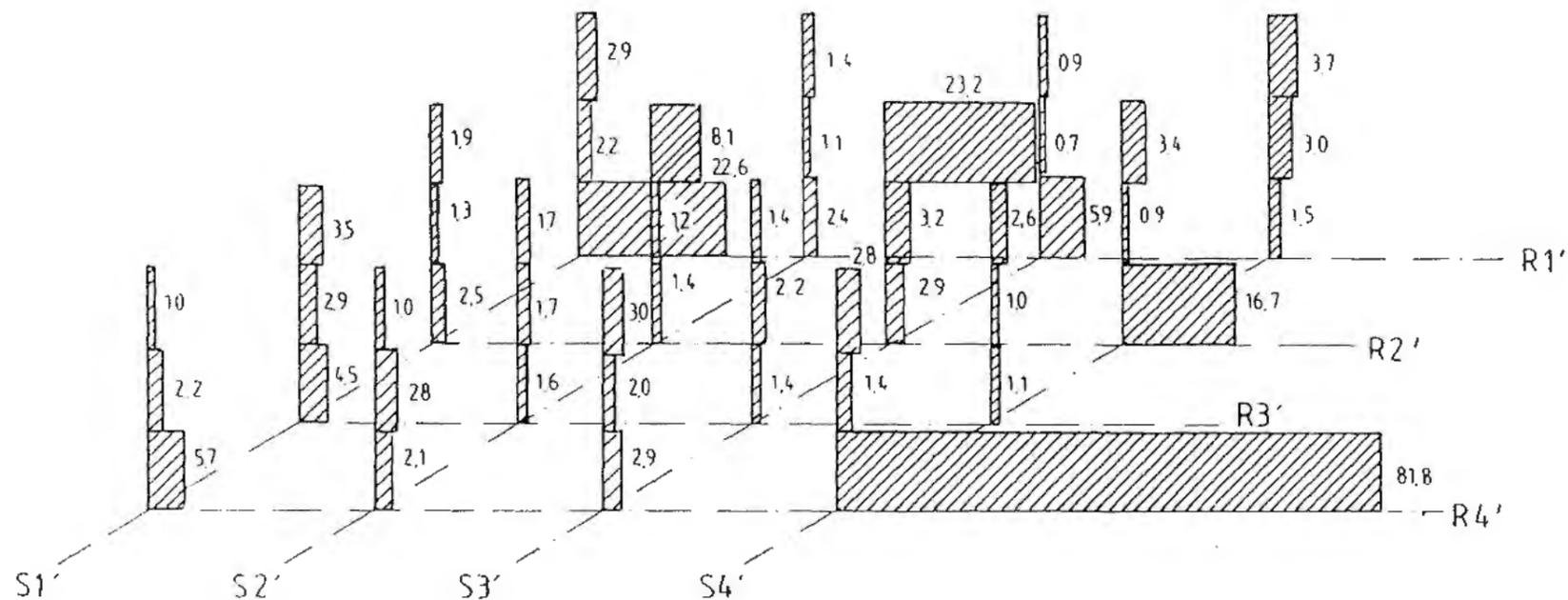
Ergebnisse der Injektionsversuche  
Phase III, Serie C̄  
Feld 1, Stoß

Projekt-Nr.: 9 K 33222.37

ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD  
Strabag Bau-AG

Sachtieben Bergbau GmbH

# Nettoaufnahme [ Liter/m ]

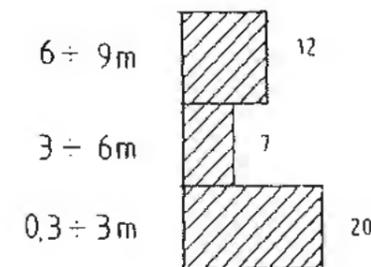


Feld 1, Sohle

Injektionsmittel  
Suspension (W/Z = 0,8)

## Legende

Verpreßabschnitt



Nettoaufnahme [ l/m ]

Verpreßabschnitt	Serie	Mittelwert	Injektionsdruck
0,5 ÷ 3,0 m	C̄	14,6 l/m	15 bar
3,0 ÷ 6,0 m	C̄	1,9 l/m	20 bar
6,0 ÷ 9,0 m	C̄	2,4 l/m	20 bar

PTB Physikalisch-Technische Bundesanstalt

Projekt: Endlager Konrad

Datum	Name/Datumschrift	Ersteller und Zeichnungsnummer	Freigegeben
gezeichnet			Anlage 4,18
geprüft			

Material CAD-Nr. Titel: Ergebnisse der Injektionsversuche Phase III, Serie C̄, Feld I, Sohle

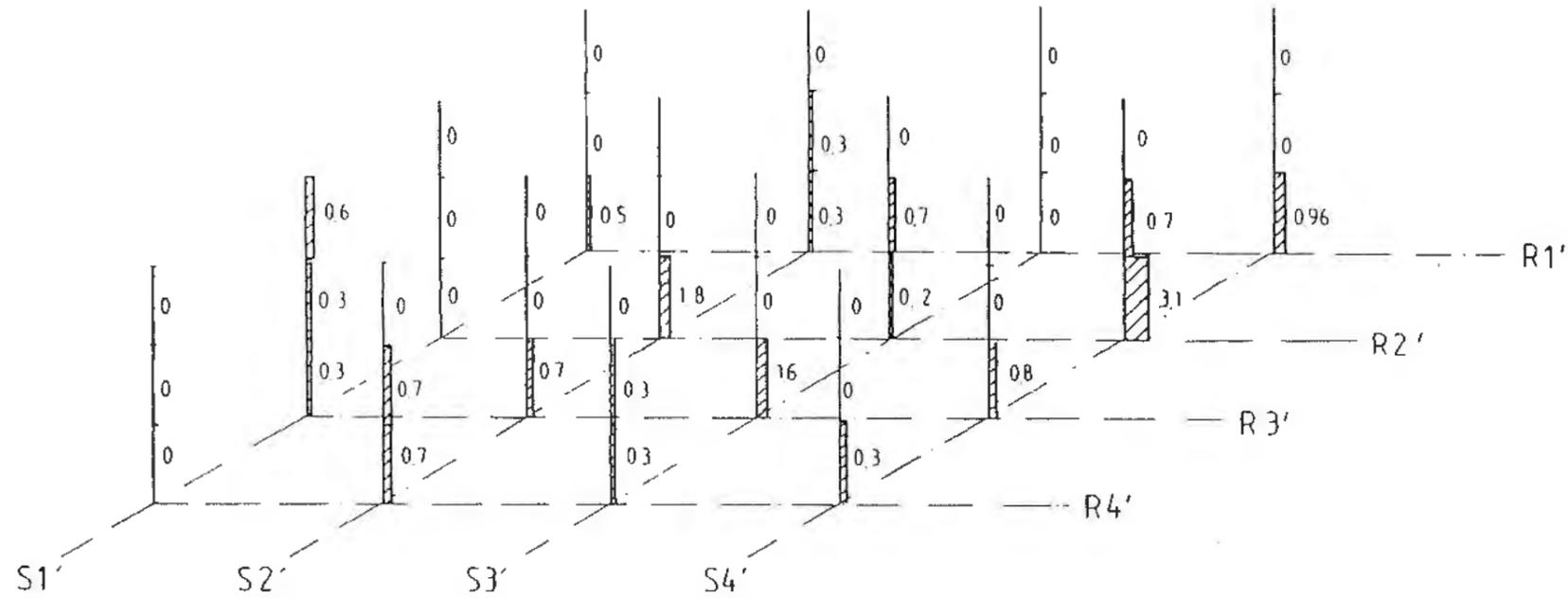
Proj.-Nr. Blatt: rec Blatt

Classifizierung: Für diese Zeichnung bestätigend mit alle Rechte vorbehalten

Projekt	PSP-Stempel	Datum	Blatt
9 K	33222.37		

ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD  
Strabag Bau-AG Sachtleben Bergbau GmbH

# Nettoaufnahme [ Liter/m ]

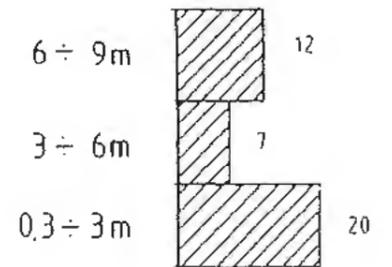


Feld 2, Firste

Injektionsmittel „WILKIT“

## Legende

Verpreßabschnitt



Nettoaufnahme [l/m]

Verpreßabschnitt	Serie	Mittelwert	Injektionsdruck
0,5 ÷ 3,0 m	C̄	0,75 l/m	20 bar
3,0 ÷ 6,0 m	C̄	0,20 l/m	40 bar
6,0 ÷ 9,0 m	C̄	0,04 l/m	40 bar

PTB Physikalisch-Technische Bundesanstalt

Projekt: Endlager Konrad

Datum	Name/Datumschrift	Ersteller und Zeichnungsnummer Freund
gel.		
bearb.		
gepr.		

Objekt: Anlage 4,19

Material CAD-Nr. Bild: Ergebnisse der Injektionsversuche Phase III, Serie C̄, Feld 2, Firste

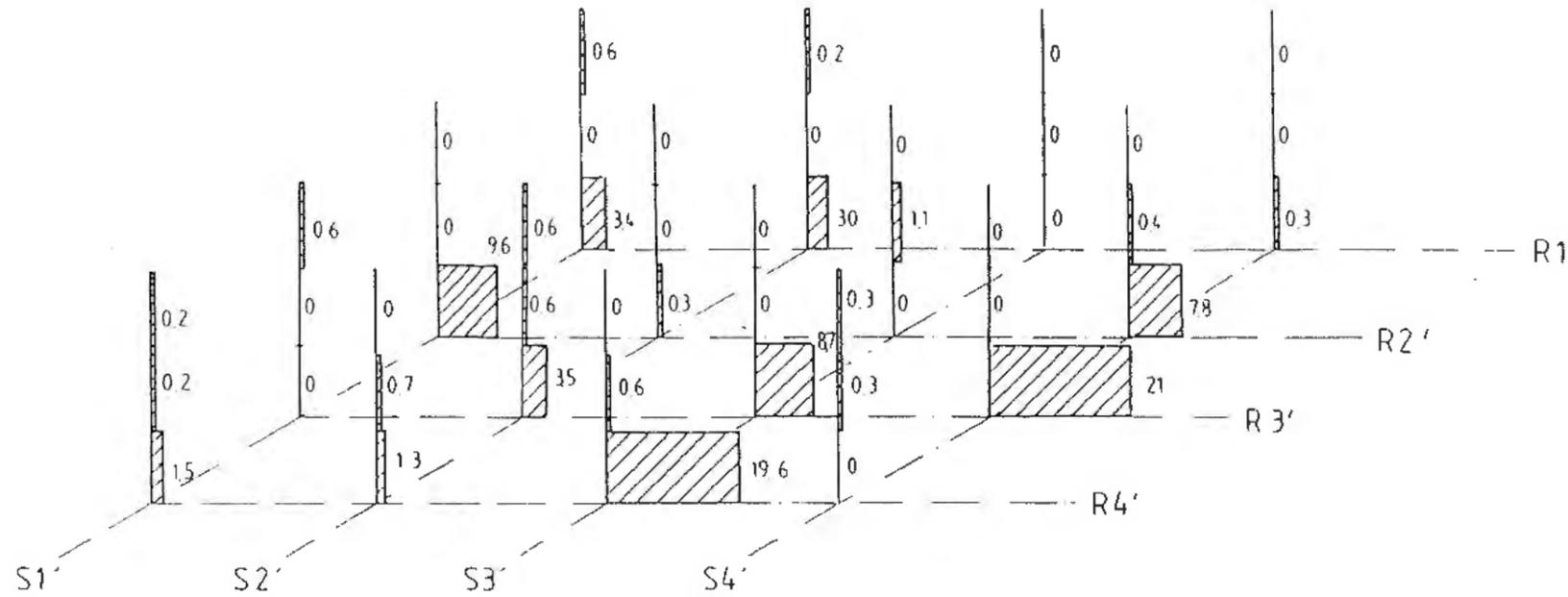
Classifizierung: Für diese Zeichnung besteht die Unterlage stumm aus alle Rechte vorbehalten

Projekt	PSP-Element	Objekt
9 K	33222 37	

ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD  
Strabag Bau-AG

Sachtleben Bergbau GmbH

# Nettoaufnahme [ Liter / m ]

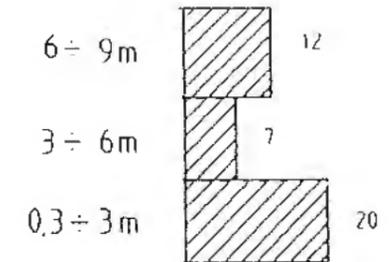


Feld 2, Stoß

Injektionsmittel „WILKIT“

## Legende :

Verpreßabschnitt

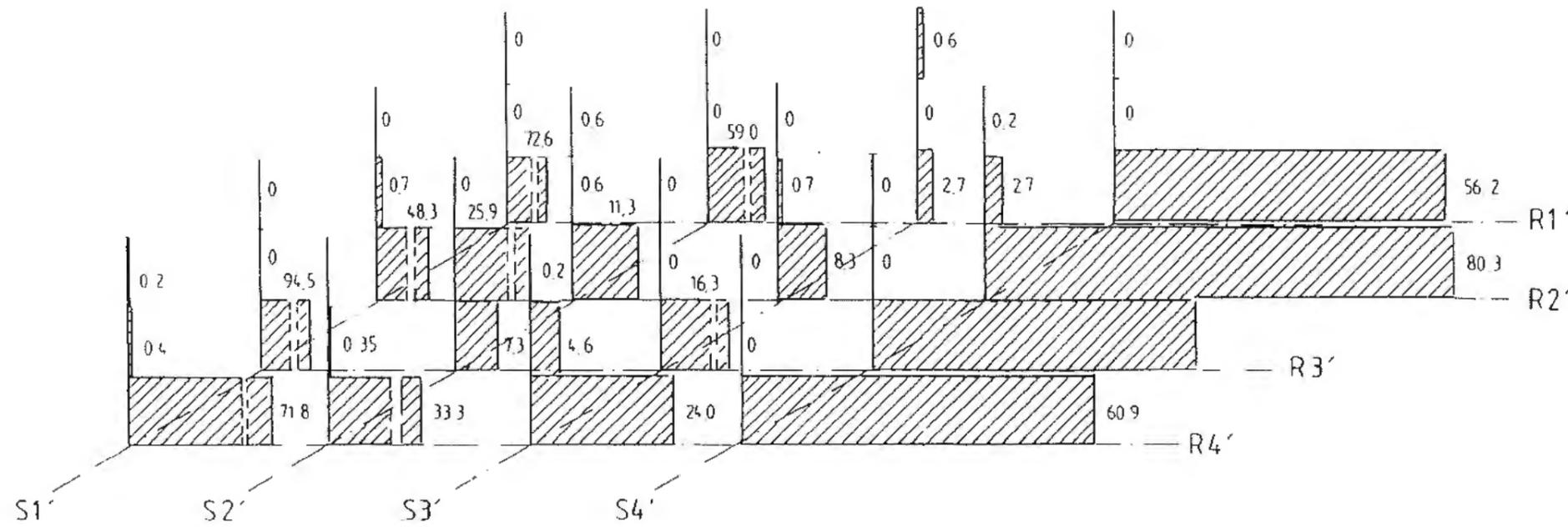


Nettoaufnahme [l/m]

Verpreßabschnitt	Serie	Mittelwert	Injektionsdruck
0,5 ÷ 3,0 m	C̄	5,0 l/m	20 bar
3,0 ÷ 6,0 m	C̄	0,3 l/m	40 bar
6,0 ÷ 9,0 m	C̄	0,2 l/m	40 bar

PTB Physikalisch-Technische Bundesanstalt			
Projekt: Endlager Konrad			
Datum	Name/Unterschrift	Ersteller und Zeichnungsnummer	
get.		Anlage 4.20	
besch.			
gepr.			
Maßstab	ClO-Nr.	Titel:	
		Ergebnisse der Injektionsversuche	
		Phase III, Serie C̄	
		Feld 2, Stoß	
Klassifizierung:			
Projekt	FSZ-Symbol		
9 K	33222.37		
Festlie	Lagezeich	Exp.gruppe	Aufgabe
ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD			
Strabag Bau-AG		Sachtloben Bergbau GmbH	

# Nettoaufnahme [ Liter/m ]

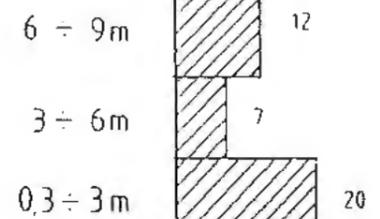


Feld 2, Sohle

Injektionsmittel "Wilkit"

## Legende

Verpreßabschnitt



Nettoaufnahme [l/m]

Verpreßabschnitt	Serie	Mittelwert	Injektionsdruck
0,5 ÷ 3,0 m	Ā	43,9 l/m	20 bar
3,0 ÷ 6,0 m	Ā	2,6 l/m	40 bar
6,0 ÷ 9,0 m	Ā	0,1 l/m	40 bar

(PTB) Physikalisch-Technische Bundesanstalt

Projekt: **Endlager Konrad**

get.	Datum:	Kont./Unterstrich:	Ersteller und Zeichnungsnummer:
bearb.			
gepr.			

Anlage 4.21

Ergebnisse der Injektionsversuche  
Phase III, Serie Ā  
Feld 2, Sohle

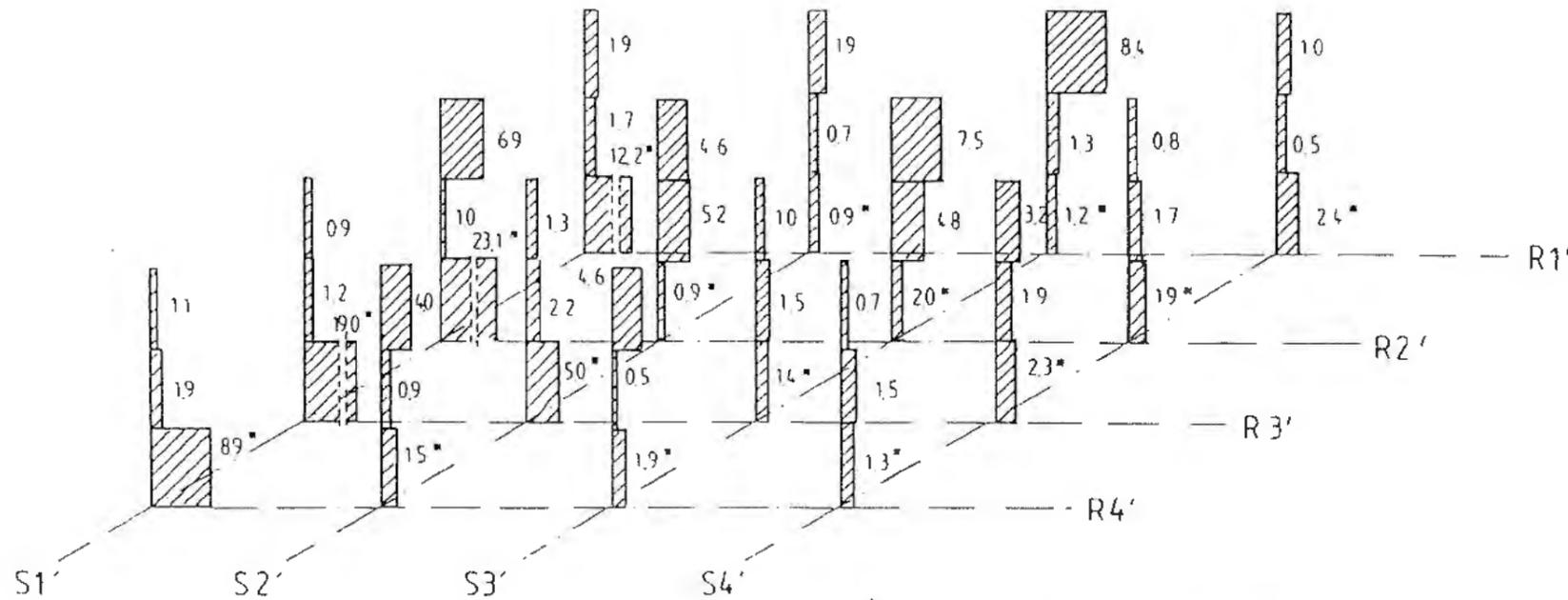
Classifizierung: *Für diese Zeichnung gelten die Regeln des DIN 50074*

Projekt	PSP-Element	Projekt-Nr.
9 K	33222.37	

ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD  
Strabag Bau-AG

Sachtloben Bergbau GmbH

# Nettoaufnahme [ Liter / m ]



Feld 3, Stoß

\*) Unterteilung des Verpreßbereichs  
( 0,3 ÷ 1,5m / 1,5 ÷ 3,0m )

Injektionsmittel

Mikrodur - Suspension ( W / Z = 1,5 )

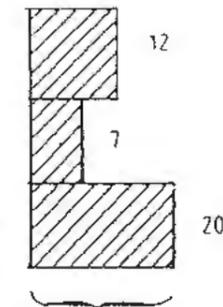
## Legende

Verpreßabschnitt

6 ÷ 9m

3 ÷ 6m

0,3 ÷ 3m



Nettoaufnahme [ l / m ]

Verpreßabschnitt	Serie	Mittelwert	Injektionsdruck
0,5 ÷ 3,0 m	Ā	5,4 l/m	15bar
3,0 ÷ 6,0 m	Ā	1,8 l/m	20bar
6,0 ÷ 9,0 m	Ā	3,1 l/m	20bar

PTB Physikalisch-Technische Bundesanstalt

Projekt: Endlager Konrad

gepl.	Datum	Name/Unterschrift	Ersteller und Zeichnungsnummer
bearb.			Anlage 4 22
gepr.			

Maßstab: CAD-Nr.: Bild:

Ergebnisse der Injektionsversuche  
Phase III, Serie Ā  
Feld 3, Stoß

Blatt: ... Blatt:

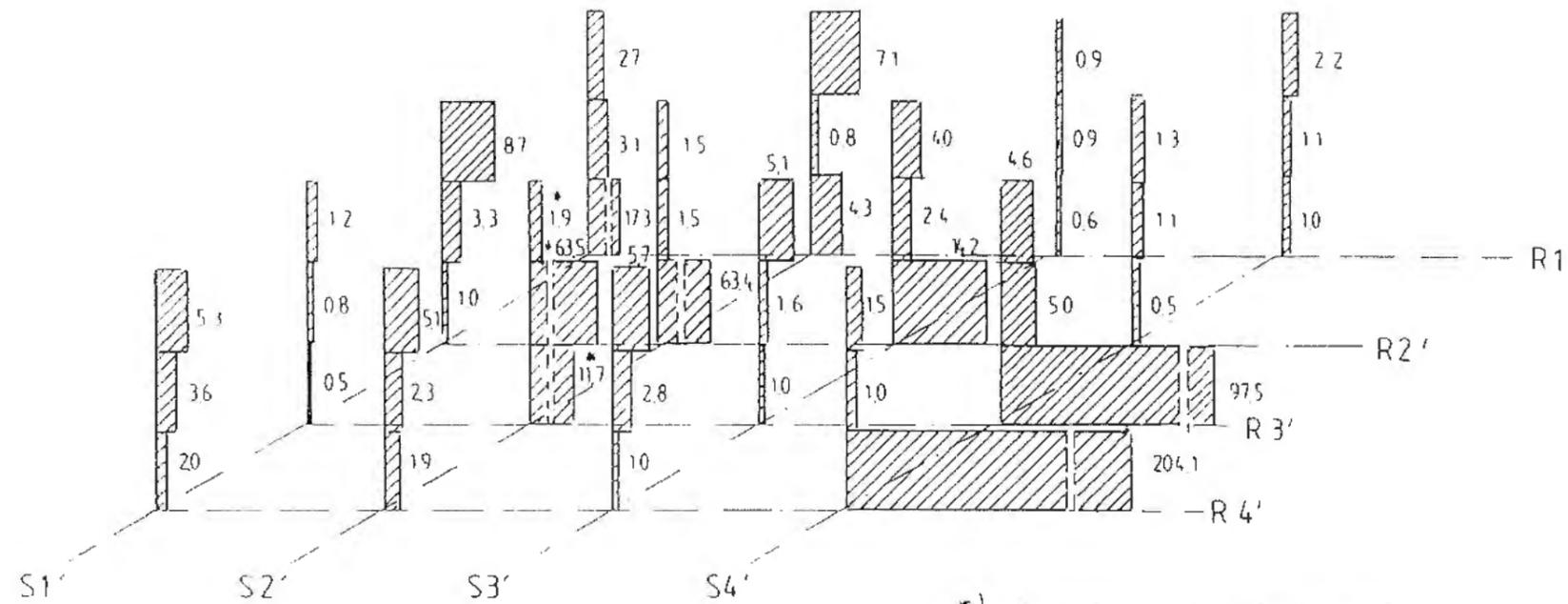
Classifizierung: Für diese Zeichnung behalten wir uns alle Rechte vorbehalten.

Projekt	PSZ-Element			
9 K	33222.37			
Festline	Lagepunkte	Abstände	UfK-Nr.	Rev.

ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD  
Strabag Bau-AG

Sachtleben Bergbau GmbH

# Nettoaufnahme [ Liter/m ]



Feld 3, Sohle

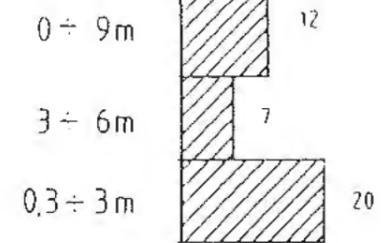
\* Kernbohrung für WD-Versuch verpreßt mit Suspension ( W/Z = 0,8 )

Injektionsmittel

Mikrodur - Suspension ( W/Z = 1,5 )

## Legende :

Verpreßabschnitt



Nettoaufnahme [ l/m ]

Verpreßabschnitt	Serie	Mittelwert	Injektionsdruck
0,5 ÷ 3,0 m	Ī	30,2 l/m	15 bar
3,0 ÷ 6,0 m	Ī	9,6 l/m	20 bar
6,0 ÷ 9,0 m	Ī	3,3 l/m	20 bar

PTB Physikalisch-Technische Bundesanstalt

Projekt: Endlager Konrad

Ersteller und Zeichnungsname: Fried

Anlage 4.23

Ergebnisse der Injektionsversuche Phase III, Serie Ī, Feld 3, Sohle

Projekt: 9 K, PZ-Element: 33222.37

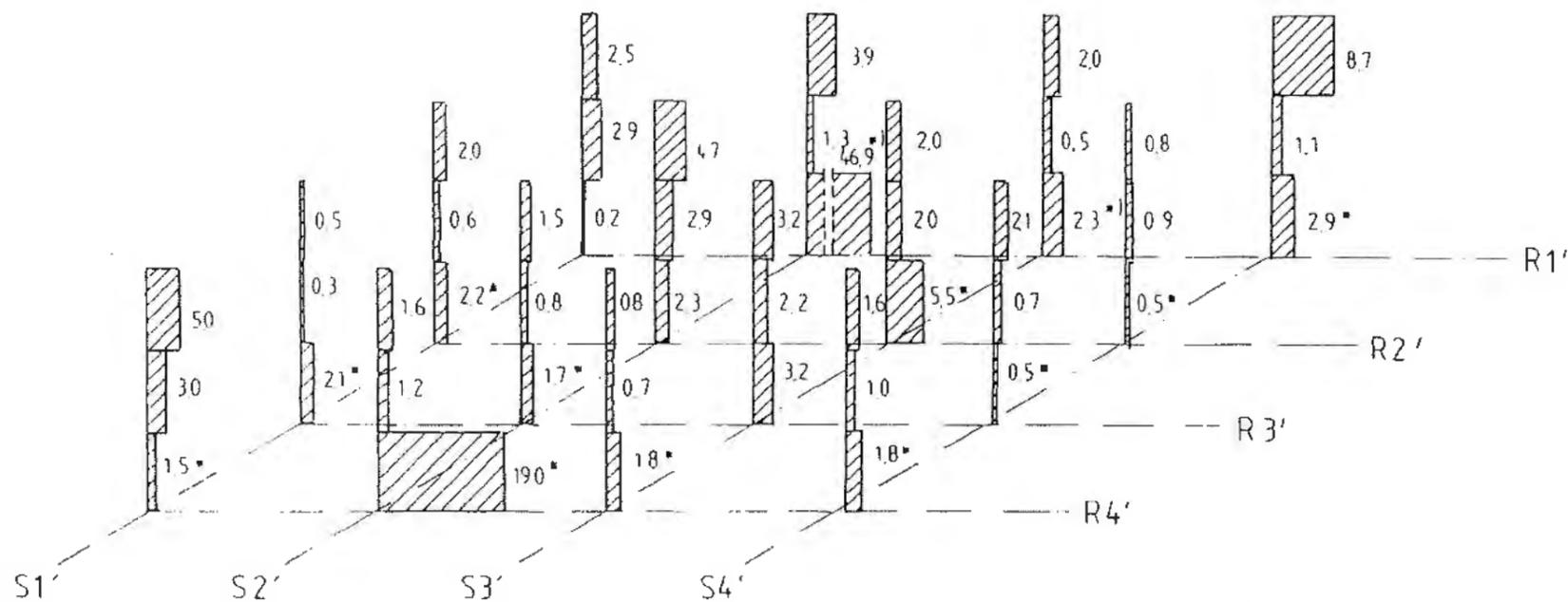
Archiv Peine

ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD  
Straßburg Bau-AG

Sachtleben Bergbau GmbH



# Nettoaufnahme [ Liter / m ]



\* Unterteilung des Verpreßbereichs  
( 0,3 ÷ 1,5m / 1,5 ÷ 3,0m )

## Feld 4, Sohle

Verpreßabschnitt	Serie	Mittelwert	Injektionsdruck
0,5 ÷ 3,0 m	C̄	5,9 l/m	15 bar
3,0 ÷ 6,0 m	C̄	1,4 l/m	20 bar
6,0 ÷ 9,0 m	C̄	2,7 l/m	20 bar

Injektionsmittel

Mikrodur - Suspension ( W / Z = 1,5 )

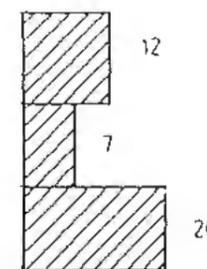
### Legende :

Verpreßabschnitt

6 ÷ 9m

3 ÷ 6m

0,3 ÷ 3m



Nettoaufnahme [ l / m ]

PTB Physikalisch-Technische Bundesanstalt			
Projekt: Endlager Konrad			
Datum:	Name/Unterschrift:	Ersteller und Zeichnungsnummer Freund:	
gezeichnet:			Anlage 4.25
geprüft:			
Maßstab:	CAD-Nr.:	Titel: Ergebnisse der Injektionsversuche Phase III, Serie C̄, Feld 4, Sohle	
Klassifizierung: <span style="float: right;">Für diese Zeichnung befreit von</span> alle Rechte vorbehalten mit Original übergeben			
Projekt:	PSP-Stempel		
9 K	33222.37		
Festlieger:	Exemplare:	Empfänger:	Ret.
ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD		Sachtloben Bergbau GmbH	
Strabag Bau-AG		Archiv Peine	

\* Die Bestimmung der  $k_f$ -Werte erfolgte anhand der Formel:

$$k_f = \frac{q}{2\pi \cdot H_0 \cdot l} \cdot \ln \frac{R}{r_0}$$

$q$  [ $m^3/s$ ]: je Zeiteinheit die Versuchsanordnung durchfließende Wassermenge

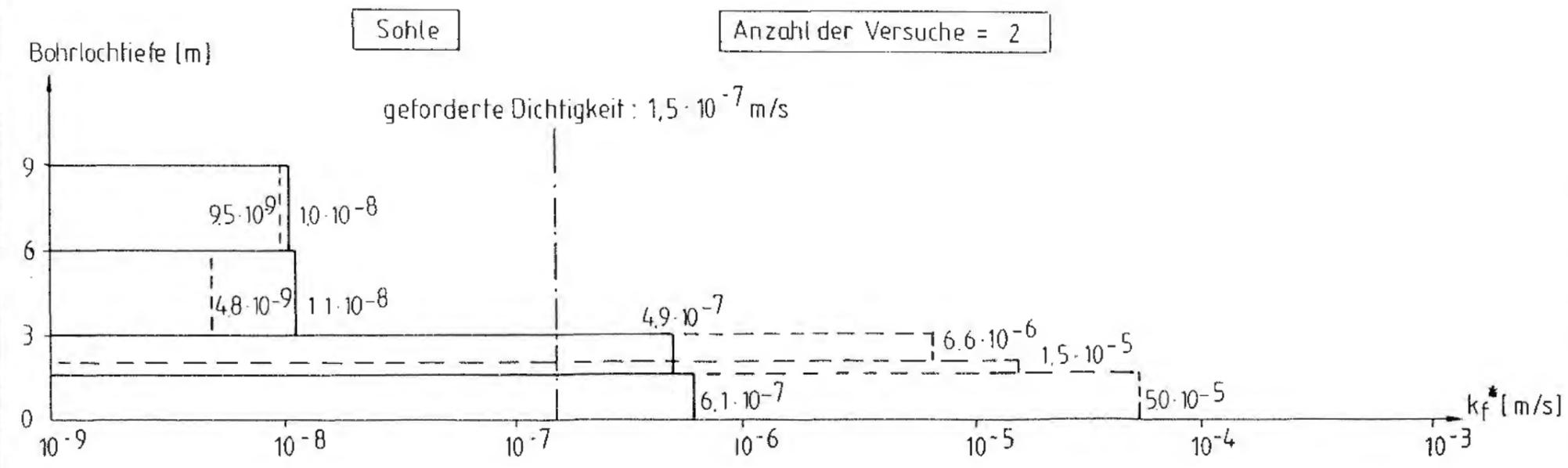
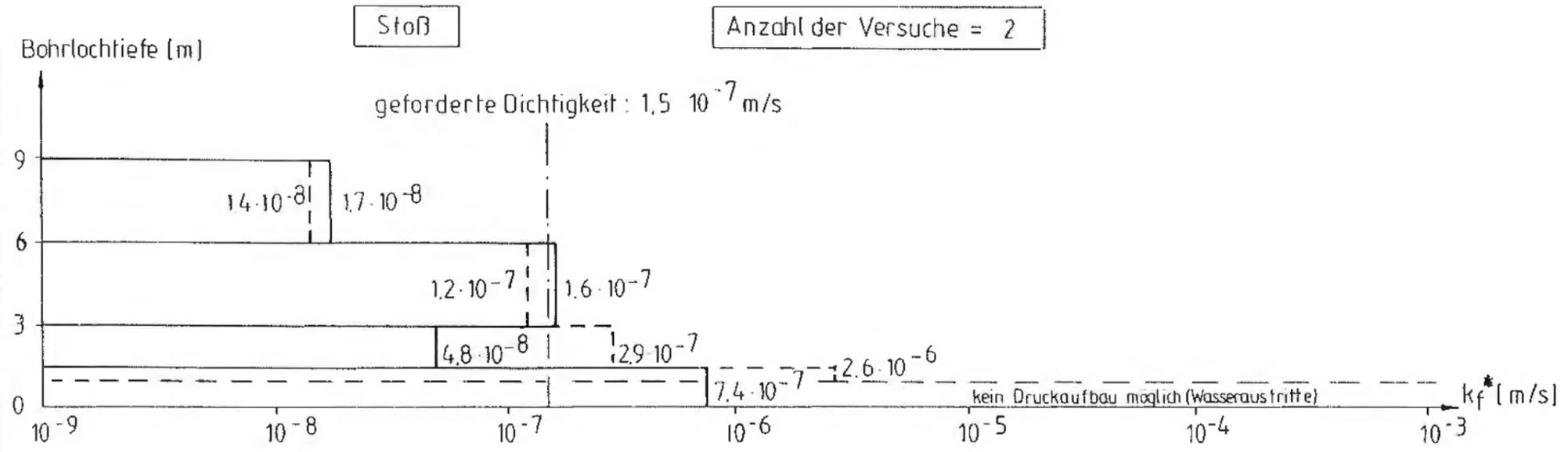
$H_0$  [m]: Druckhöhe des Verpreßdrucks  $p_0$

$l$  [m]: Länge des Verpreßabschnitts

$R$  [m]: Der Auswertung zugrundegelegte Reichweite (0,5m)

$r_0$  [m]: Bohrlochradius

Der Auswertung wurde die höchste Druckstufe ( $p_0 = 4 \text{ bar}$ ) zugrunde gelegt



<b>PTB Physikalisch-Technische Bundesanstalt</b>			
Projekt: <b>Endlager Konrad</b>			
Date	Name/Datenschritt	Ersteller und Zeichnungsnummer/FreeCAD	
gel.		Anlage 4,26	
bearb.			
gepr.			
Maßstab	CAD-Nr.	Titel:	
		<b>Ergebnisse der WD-Versuche Feld 1 (nach Phase III)</b>	
PE-Nr.			
Blatt	von	Blatt	
Klassifizierung:			
Projekt	PSP-Element		
9 K	33222.37		
Festl.	Entwurf	Endproj.	Rev.
ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD			
Strabag Bau-AG		Sachtleben Bergbau GmbH	

\* Die Bestimmung der  $k_f$  - Werte erfolgte anhand der Formel :

$$k_f = \frac{q}{2\pi \cdot H_0 \cdot l} \cdot \ln \frac{R}{r_0}$$

$q$  [m<sup>3</sup>/s] : je Zeiteinheit die Versuchsapparatur durchfließende Wassermenge

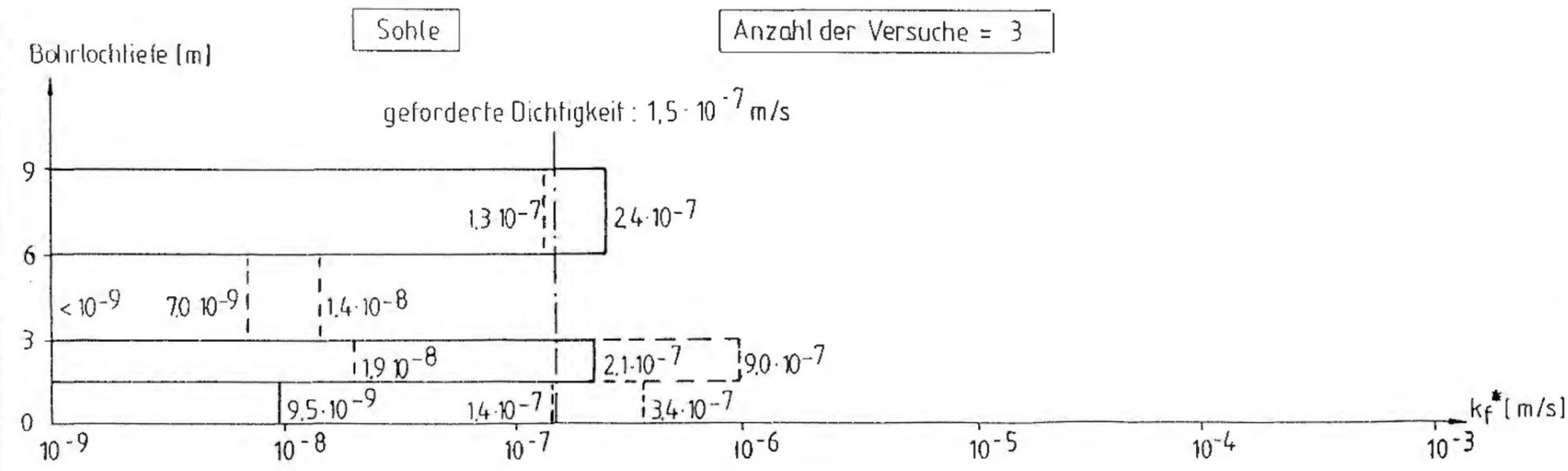
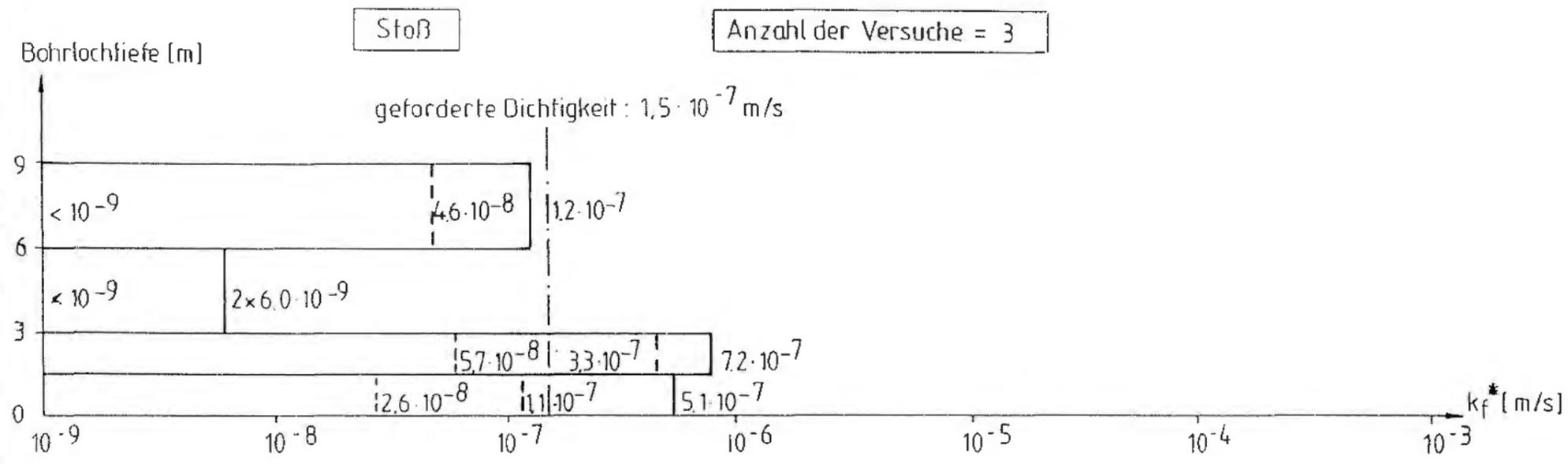
$H_0$  [m] : Druckhöhe des Verpreßdrucks  $p_0$

$l$  [m] : Länge des Verpreßabschnitts

$R$  [m] : Der Auswertung zugrundegelegte Reichweite (0,5m)

$r_0$  [m] : Bohrlochradius

Der Auswertung wurde die höchste Druckstufe ( $p_0 = 4 \text{ bar}$ ) zugrunde gelegt.



<b>PTB Physikalisch-Technische Bundesanstalt</b>			
Projekt: <b>Endlager Konrad</b>			
Date	Name/Dateisymbol	Ersteller und Zeichnungsnummer frei	
SSL		 Anlage 4.27	
beurk.			
gepr.			
Kadenz	CAD-Nr.	Titel:	
		Ergebnisse der WD-Versuche Feld 2 (nach Phase III)	
KE-Nr.			
Zeit	von	Bis	
Klassifizierung: <span style="float: right;">Für die Verteilung ist die                  Freigabe durch die                  PTB erforderlich</span>			
Projekt	PSP-Element		
9 K	33222.37		
Festl.	Langformel	Endgruppe	5500 GHK
ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD Strabag Bau-AG <span style="float: right;">Sachtleben Bergbau GmbH</span>			

\* Die Bestimmung der  $k_f$  - Werte erfolgte anhand der Formel :

$$k_f = \frac{q}{2\pi \cdot H_0 \cdot l} \cdot \ln \frac{R}{r_0}$$

$q$  ( $m^3/s$ ) : je Zeiteinheit die Versuchsanordnung durchfließende Wassermenge

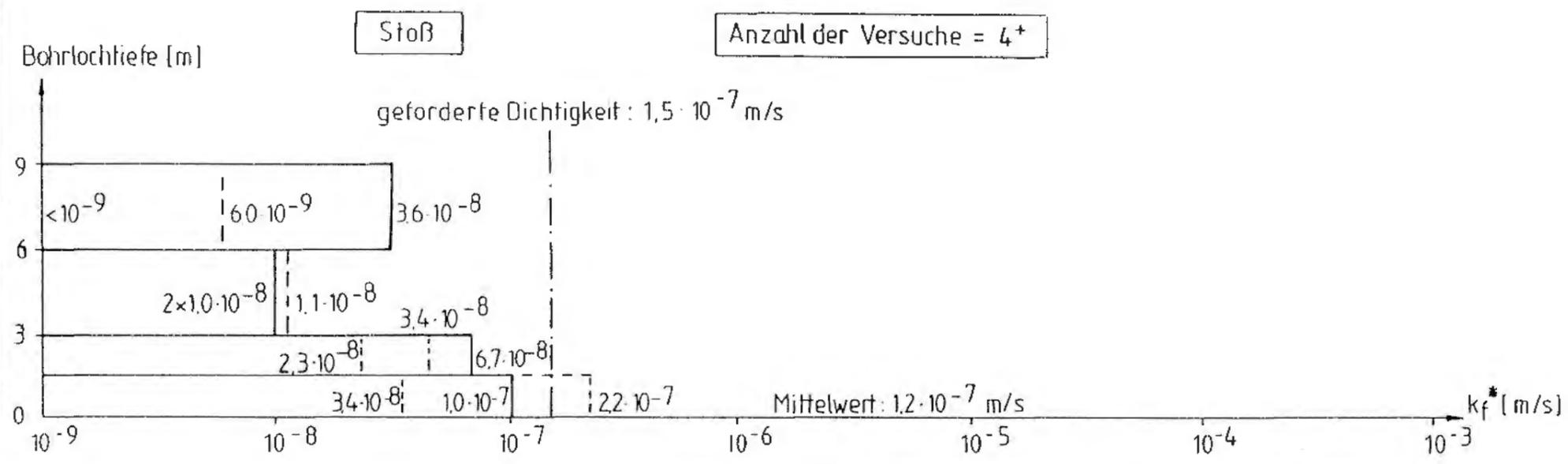
$H_0$  (m) : Druckhöhe des Verpreßdrucks  $p_0$

$l$  (m) : Länge des Verpreßabschnitts

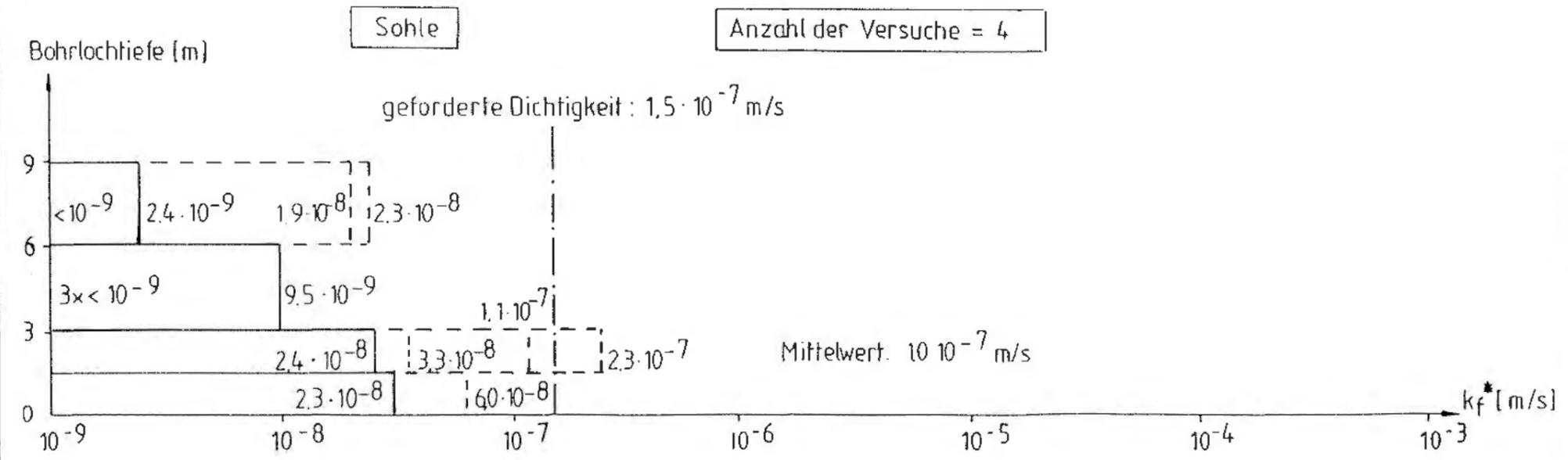
$R$  (m) : Der Auswertung zugrundegelegte Reichweite (0,5m)

$r_0$  (m) : Bohrlochradius

Der Auswertung wurde die höchste Druckstufe ( $p_0 = 4 \text{ bar}$ ) zugrunde gelegt.



+ ein Versuchsergebnis ist nicht dargestellt, weil die betreffende Versuchsbohrung nicht vollständig im injizierten Bereich liegt



(PTB) Physikalisch-Technische Bundesanstalt			
Projekt: <b>Endlager Konrad</b>			
Datum:	Name/Datumschrift:	Ersteller und Zeichnungsnummer Freid:	
gez.		Anlage 4.28	
bezeichnet		4.28	
gepr.			
Material:	CAD-Nr.:	Titel:	
Ergebnisse der WD-Versuche Feld 3 (nach Phase III)			
KF-Nr.:			
Entf.:	von:	Bis:	
Klassifizierung:			
Projekt:	PSF-Signum:		
9 K	33222.37		
Festl.	Legende:	Bezeichnung:	Uf.Nr.:
ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD			
Strabag Bau-AG		Sachtleben Bergbau GmbH	

\* Die Bestimmung der  $k_f$  - Werte erfolgte anhand der Formel :

$$k_f = \frac{q}{2\pi \cdot H_0 \cdot l} \cdot \ln \frac{R}{r_0}$$

$q$  (m<sup>3</sup>/s) : je Zeiteinheit die Versuchsapparatur durchfließende Wassermenge

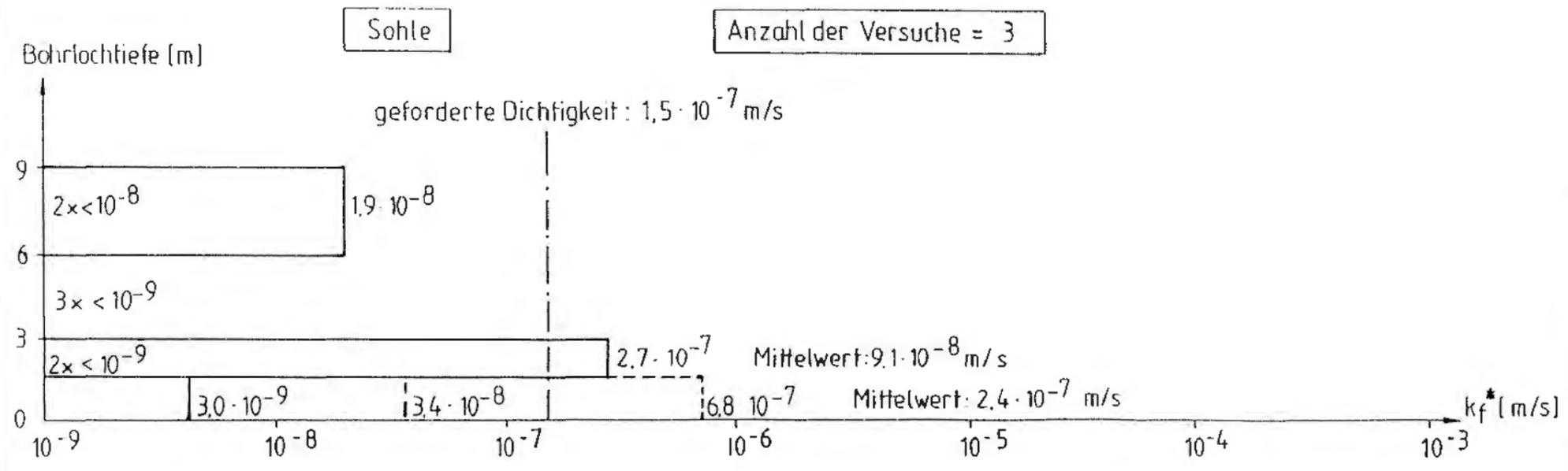
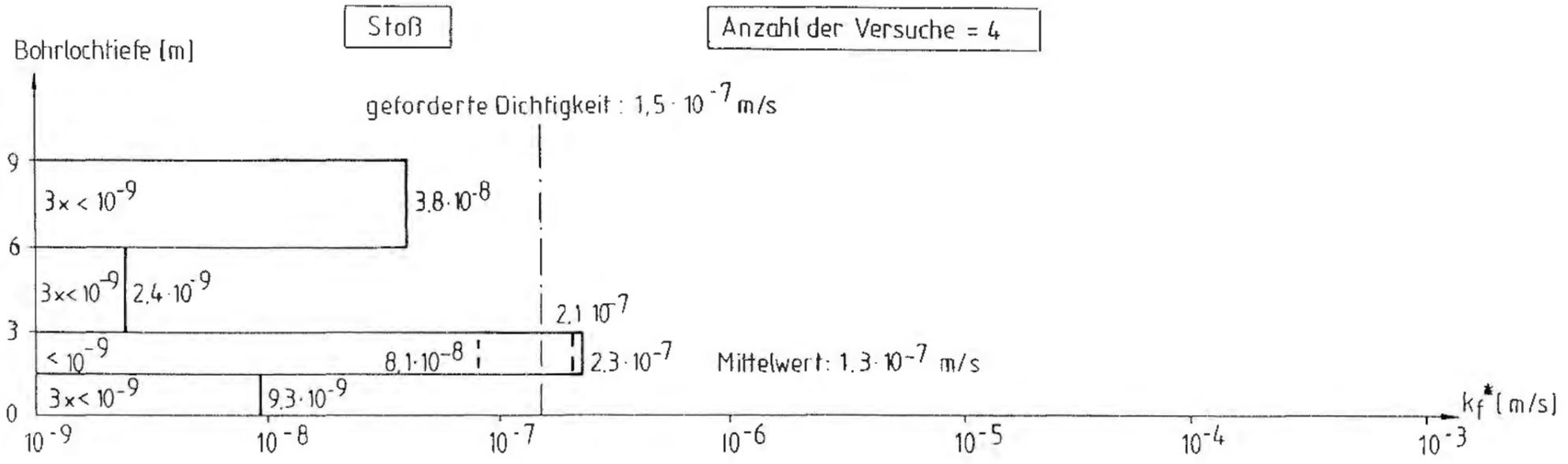
$H_0$  (m) : Druckhöhe des Verpreßdrucks  $p_0$

$l$  (m) : Länge des Verpreßabschnitts

$R$  (m) : Der Auswertung zugrundegelegte Reichweite (0,5m)

$r_0$  (m) : Bohrlochradius

Der Auswertung wurde die höchste Druckstufe ( $p_0 = 4 \text{ bar}$ ) zugrunde gelegt.



<b>PTB</b> Physikalisch-Technische Bundesanstalt			
Projekt: <b>Endlager Konrad</b>			
Date	Name/Adresschrift	Ersteller und Zeichnungsname der Freid	
gel.			
bearb.			
gepr.			
Kaufstz	CAD-Nr.	Titel:	
		<b>Ergebnisse der WB-Versuche Feld 4</b>	
KE-Nr.			
Einl.	von	Blatt	
Klassifizierung: <span style="float: right;">Für diese Zeichnung bestehen keine weiteren Rechte</span>			
Projekt	PSF-Element	Projekt-Code	
9 K	33222.37	5500	
Festl.	Lebenszeit	Endgruppe	Aufgabe
			GhK
ARBEITSGEMEINSCHAFT KONRAD			
Strabag Bau-AG		Sachtleben Bergbau GmbH	