

Bundesamt für Strahlenschutz

Genehmigungsunterlagen

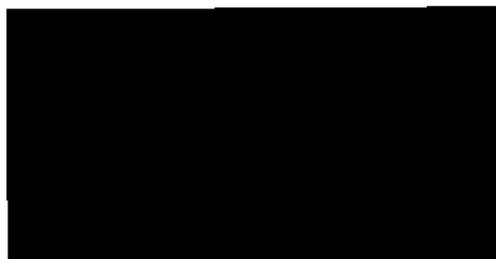
Konrad

EU 299

Gesamte Blattzahl dieser Unterlage: 58 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:
NA A N	NNNNNNNNNN	NNNNNN	X A A X X	AA	NNNN	NN	I
9K	33192		GHS	RB	0002	02	Stand: 21.09.95
EU 299							

Titel der Unterlage:

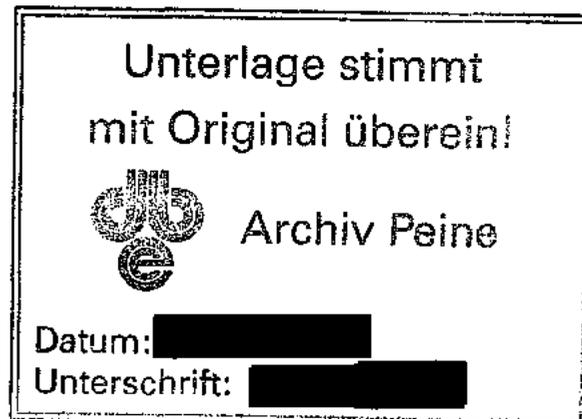
Konzept- und Systembeschreibung Schachtverfüllung

Ersteller:

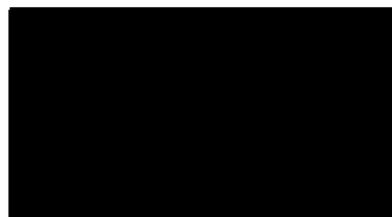
BfS

Textnummer:

Stempelfeld:

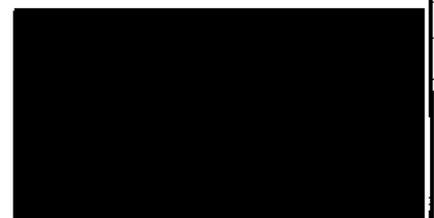


Freigabe für Behörden:



Datum und Unterschrift

Freigabe im Projekt:



Datum und Unterschrift

Diese Unterlage unterliegt samt Inhalt dem Schutz des Urheberrechts sowie der Pflicht zur vertraulichen Behandlung auch bei Belieferung 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.

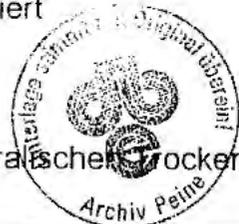
Revisionsblatt

Projekt	PSP-Element	Obj Kenn	Aufgabe	UA	Lfd.Nr	Rev	Seite:
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	XAAAX	AA	NNNN	NN	II
9K	33192		GHS	RB	0002	00	Stand: August 89
EU 299							

Titel der Unterlage:

Konzept- und Systembeschreibung Schachtverfüllung

Rev.	Rev.-Stand Datum	UVST	Prüfer (Kürzel)	rev. Seite	Kat. *)	Erläuterung der Revision
01	13.01.92	ET 2.2	█		R V	Anpassung an EU 438 "Nachweis der Machbarkeit der Schachtverfüllung (Mineralische Abdichtung und Stützbänke" - Abb. 1 u. 2. Teufenangaben und Legende werden korrigiert - Abb. 9 und 10 sind neu - Abb. 9 aus Rev. 00 wird zurückgezogen - Abb. 5 wurde revidiert
02	21.09.95	ET 2.4	█	1 7 7/8 8 10 11 12 14 14 15 25 27 27 37, 38 Tab . 1 38 39 40, 41 Tab . 3 Tab . 4	R R R R R R R R R R R S R R R R R	Änderung der Seitenzahl aufgrund der Revision Ort und Datum werden gestrichen Verweis auf Plan Konrad wird durch Verweis auf Abb. 1 und 2 ersetzt Verweise auf /2/ werden gestrichen Verweis auf /3/ wird gestrichen Verweise auf /4/, /5/ u. /6/ werden gestrichen Sätze mit Verweisen auf /7/ u. /8/ werden gestrichen Verweise auf /7/ u. /10/ werden gestrichen Verweis auf /12/ wird gestrichen Halbsatz mit Verweis auf /13/ wird gestrichen Verweis /5/ u. /14/ werden gestrichen Hinweis auf "Unterlage /15/" wird durch "Tabelle 4" ersetzt Verweis auf /20/ wird gestrichen "Im Zuge des geplanten Schachtumbaus" wird gestrichen DIN-Norm aktualisiert Ergänzung: "Güte- und Prüfbestimmungen Kalksteinmehl für den Straßenbau RAL-RG, 544/4" Technische Lieferbedingungen aktualisiert Literaturverzeichnis aktualisiert Schreibfehler Materialkennwerte zur mineralischen Trockenmischung ergänzt



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

003

Konzept- und Systembeschreibung

Schachtverfüllung

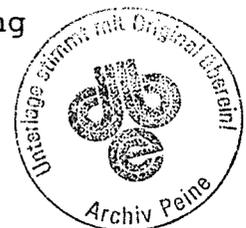
Braunschweig, BfS

| 02

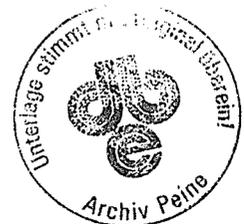


INHALTSVERZEICHNIS

- 1 Aufgabenstellung
- 2 Auslegungsanforderungen
- 3 Konzeptbeschreibung
 - 3.1 Geologie
 - 3.2 Technisches Konzept
- 4 Komponentenbeschreibung
 - 4.1 Hydrostatische Asphaltabdichtung
 - 4.1.1 Vorbemerkungen
 - 4.1.2 Beschreibung der hydrostatischen Asphaltabdichtung
 - 4.1.2.1 Asphalteeigenschaften
 - 4.1.2.2 Aufbau der hydrostatischen Asphaltabdichtung
 - 4.1.2.3 Einbau der hydrostatischen Asphaltabdichtung
 - 4.2 Mineralische Abdichtung
 - 4.2.1 Vorbemerkungen
 - 4.2.2 Wirkungsweise der mineralischen Abdichtung



- 4.2.3 Eigenschaften der mineralischen Abdichtung
- 4.2.4 Aufbau der mineralischen Abdichtung
- 4.2.5 Einbau der mineralischen Abdichtung
- 4.3 Stützsäule unterhalb der mineralischen Abdichtung
 - 4.3.1 Vorbemerkungen
 - 4.3.2 Herstellung der Stützsäule
- 5 Inbetriebnahme (entfällt)
- 6 Betrieb (entfällt)
- 7 Qualitätssicherung
 - 7.1 Qualitätssicherung für die Asphaltdichtung
 - 7.1.1 Überprüfung des Asphalts sowie seiner Ausgangsstoffe
 - 7.1.2 Überprüfungen an der hydrostatischen Säule beim bzw. nach dem Einbau
 - 7.2 Qualitätssicherung für die mineralische Abdichtung und darunter liegende Stützsäule
 - 7.2.1 Mineralische Abdichtung und darüber liegende Stützsäule
 - 7.2.2 Gebirge im Bereich der mineralischen Abdichtung



8 Vorschriften

9 Literaturverzeichnis

Anhang A: Tabellen

Anhang B: Abbildungen



1 Aufgabenstellung

Nach Beendigung der Betriebsphase muß das gesamte Endlager sicher gegen die Biosphäre abgeschlossen werden. Auch nach der Stilllegung dürfen Radionuklide, die als Folge von nicht vollständig ausschließbaren Transportvorgängen aus dem verschlossenen Endlager auch im Bereich der Schächte in die Biosphäre gelangen können, nicht zu unzulässigen Individualdosen führen.

Dies gilt nicht nur für den zu verfüllenden Schachtquerschnitt als potentielle Wegsamkeit, sondern auch für die den Schacht umgebende Auflockerungszone.

Aufgabe der Schachtverfüllung und gleichzeitig auch der Begrenzung der Auflockerungszone ist es, den Zutritt des Transportmediums Wasser aus oberflächennahen wasserführenden Schichten zu den radioaktiven Abfällen zu erschweren, eine mögliche Radionuklidfreisetzung mit dem Transportmedium Wasser aus dem vollgelaufenen Endlager über den Bereich der Schächte auf ein zulässiges Maß zu minimieren sowie zur Stabilisierung der Schächte beizutragen /1/ .

Die Beschreibung soll nachweisen, daß mit dem heutigen Stand der Technik die Schachtverfüllung machbar ist.

2 Auslegungsanforderungen

Der Nachweis für die Wirksamkeit von technischen Abschlüssen erfolgt für einen Zeitraum von 10 000 Jahren. Die Wirksamkeit endet aber nicht nach 10 000 Jahren.

Die Schächte sind entsprechend der Aufgabenstellung mit geeigneten im Sinne der Langzeitsicherheitsanalyse ausreichend dichten Materialien zu verfüllen. Die Materialien müssen über den o.g. Zeitraum von 10 000 Jahren hinaus beständig sein. Die Auswahl der Materialien ist außerdem den unterschiedlichen



Gebirgsverhältnissen und deren Eigenschaften zweckentsprechend anzupassen. Die Materialien sind insbesondere im Hinblick auf eine Verringerung der Wegsamkeiten über die Auflockerungszone, die gegenüber dem umgebenden Gebirge größere Wegsamkeiten haben kann, so auszuwählen, daß die in der Langzeitsicherheitsanalyse geforderte Barrierewirkung erreicht wird.

Ausgehend von der Schichtenfolge und analog zu den Langzeitsicherheitsrechnungen wird die Schachtverfüllung hinsichtlich der zu erfüllenden Anforderungen in drei Bereiche unterteilt, die neben der geforderten Dichtfunktion weitere Anforderungen zu erfüllen haben.

Dies sind die Bereiche:

- A) des Quartärs und der Oberkreide,
- B) der Unterkreide und
- C) des Malm und des Dogger.

Mit den Verfüll- und Abdichtungsmaßnahmen im Bereich A der Schachtverfüllung sollen mögliche Zuflüsse von Tages- und Grundwasser bereits unmittelbar nach Einbringen der Verfüllung reduziert und soweit möglich verhindert werden. Gemäß der Langzeitsicherheitsanalyse sind die Anforderungen an die Wasserdurchlässigkeit des verfüllten Schachtquerschnittes und der Auflockerungszone im Bereich A gering. Mit dem in Kapitel 3 01 und 4 näher beschriebenen Verfüllkonzept können diese Anforderungen ohne weiteres erfüllt werden.

Der Bereich B (Unterhauertive bis Oberalb) ist gemäß der Langzeitsicherheitsanalyse die Hauptbarriere im Hinblick auf eine Ausbreitung von radionuklidbelasteten Wässern aus dem Endlager in die Biosphäre. Der Schachtquerschnitt selbst ist in diesem Bereich mit einem Verfüllmaterial mit sehr geringer 01 Durchlässigkeit abzudichten. Weiterhin muß die Verfüllung einen



ausreichend großen Stützdruck auf die Schachtwandung ausüben, um die Wasserdurchlässigkeit der den Schacht umgebenden Auflockerungszone auf ein zulässiges Maß zu begrenzen. 01

Der Bereich C unterhalb der obengenannten Hauptbarriere muß die Auflasten der darüber liegenden Schachtverfüllung verformungsarm so aufnehmen, daß die darüber liegende Abdichtung ihre Funktion erfüllen kann. Desgleichen muß die Anbindung der Füllsäule an das verfüllte Grubengebäude in der Weise erfolgen, daß ein Abrutschen oder Auslaufen der Füllsäule in mögliche Hohlräume im schachtnahen Grubengebäude nicht möglich ist und dadurch eine Gefährdung der Wirksamkeit der Schachtverfüllung insgesamt ausgeschlossen werden kann. Gemäß der Langzeitsicherheitsanalyse bestehen im Bereich C keine besonderen Anforderungen hinsichtlich der Wasserdurchlässigkeit. 01

Die Funktion der Schachtverfüllung darf durch Abbaueinwirkungen und Erdbeben nicht beeinträchtigt werden.

3 Konzeptbeschreibung

3.1 Geologie

Eine Darstellung der in den Schächten Konrad 1 und Konrad 2 aufgeschlossenen Schichtenfolge findet sich in Abbildung 1 und 2. 02

Unter Lehm und Geschiebemergel des Quartär folgen am Schacht Konrad 2 noch quartäre Kiese und Sande.

Die Oberkreide (Turon und Cenoman) besteht aus einer Abfolge von Kalksteinen, mergeligen Kalksteinen und Mergeln (Plänerkalke), die im Mittelcenoman und stärker noch im Untercenoman zunehmende Sand- und/oder Tonanteile enthalten. Die Plänerkalke sind dünnbankig bis blattig ausgebildet, das entspricht Schichtflächenabständen im dm-Bereich. Die Gesteine



weisen eine hohe Klüftigkeit und einen geringen Durchtrennungsgrad auf. Auch die Kluftabstände liegen im dm-Bereich.

Die höhere Unterkreide (Oberalb bis Basis Apt) besteht aus z.T. mergeligen Ton-Siltsteinen mit Smektit als dominierendem Tonmineral. An der Basis des Unteralb tritt im Schacht Konrad 2 der Hilssandstein auf, ein wasserführender glaukonitischer Feinsandstein. | 02

Die tiefere Unterkreide (Barrême bis Basis Hauterive) besteht aus Tonsteinen und sandigen Tonsteinen, deren Kalkgehalt im Hauterive zum Liegenden hin stetig ansteigt. An Tonmineralen überwiegen Illit sowie Kaolinit und Chlorit, die Smektitgehalte sind gering. | 02

Der Malm im Liegenden der Unterkreidetransgression besteht aus einer Folge von Kalksteinen, Mergelsteinen und mergeligen Tonsteinen, die im Mittleren Korallenoolith Erzlager führen. Vorherrschende Tonminerale sind Illit, Kaolinit und Chlorit.

Der Dogger (nur im Schacht Konrad 2) besteht aus sandigen Tonmergelsteinen und Tonsteinen, an Tonmineralen sind Illit, Chlorit und Kaolinit vorhanden. | 02

3.2 Technisches Konzept

Für die Verfüllung der Schächte Konrad werden entsprechend den Auslegungsanforderungen drei übereinanderliegende Komponenten eingesetzt, und zwar für den Bereich

- A) eine hydrostatische Asphaltdichtung,
- B) eine mineralische Abdichtung und
- C) eine mineralische Stützsäule mit horizontalem Anschluß an das verfüllte Grubengebäude.



Abb. 1 und 2 geben einen Überblick über die Verfüllung der Schächte Konrad. Die Verfüllung besteht bis ca. 229 m Teufe im Schacht Konrad 1 und bis ca. 246 m Teufe im Schacht Konrad 2 01 aus einer hydrostatischen Asphaltichtung und ist in Kapitel 4.1 beschrieben.

Die hydrostatische Asphaltichtung liegt auf der mineralischen Abdichtung.

Die mineralische Abdichtung beginnt in den Schächten bei ca. 229 m bzw. 246 m Teufe und reicht im Schacht Konrad 1 bis in eine Teufe von ca. 855 m bzw. im Schacht Konrad 2 bis in eine Teufe von ca. 700 m.

Damit die mineralische Abdichtung nicht in die Füllörter abläuft, ist sie auf einer verformungsarmen Stützsäule aus gemischtkörnigem, gebrochenem mineralischen Material verlagert. Diese Füllsäule reicht bis in das Schachttiefste bzw. bis in die Strecken hinein. Die Stützsäule ist unter Kapitel 4.3 beschrieben.

Die drei Komponenten stellen sicher, daß die im Kapitel 2 genannten Anforderungen erfüllt werden. Im Rahmen der Nachweisführung ergibt sich, daß die mittlere axiale Transmissivität des verfüllten Schachtquerschnittes und der Auflockerungszone im Bereich der Unterkreideschichten je nach getroffener Annahme den Wert von $T = 2 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. $T = 2 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ nicht überschreitet. 01

Das gewählte System bleibt auch bei den im Bereich des Endlagers Konrad maximal zu erwartenden Einwirkungen von Erdbeben und Bergsenkungen wirksam. Weiterhin ist die zuverlässige Abdichtungswirkung des im Bereich der Hauptbarriere vorgesehenen Mineralgemisches für Zeiträume von mehr als 10 000 Jahren gewährleistet.



4 Komponentenbeschreibung

4.1 Die hydrostatische Asphaltichtung

4.1.1 Vorbemerkung und Ausführungsbeispiele für hydrostatische Asphaltichtungen

Hydrostatische Asphaltichtungen werden im Schachtbau seit etwa drei Jahrzehnten als Regelabdichtung dort verwendet, wo von den Bergbaubetrieben extreme Dichtigkeitsanforderungen an die Ausbausysteme gestellt werden. Dies gilt insbesondere

- für Schächte in nicht standfestem wasserführendem Gebirge, deren Ausbau dauerhaft wasser- bzw. laugedicht sein und bei denen im Schachtbereich ein sicherer Abschluß zwischen wasser- oder laugeführendem Deckgebirge und den darunterliegenden trockenen Gebirgsschichten erreicht werden muß und | 02
- für den Verschuß von Schächten aufgelassener Bergwerke, in denen Gase unter hohem Druck gespeichert werden sollen. | 02

Hydrostatische Asphaltichtungen sind im Schachtbau bewährter Stand der Technik. Sie haben auch bei tiefen Schächten (bis 600 m) und langen Betriebszeiten (mehr als 30 Jahre) Wasser von Grubenräumen abgeriegelt, und zwar auch dort wo anfänglich Wasserzutritte über die abteufbedingte Auflockerungzone um den Schacht herum beobachtet worden waren und Gebirgsbewegungen erfolgten. Da der Asphalt die physikalischen Eigenschaften einer viskosen Flüssigkeit hat, dringt er in die Poren und Risse des Gebirges ein und verstopft sie. Die Dichte des Asphalts wird entsprechend eingestellt.



Was die Dauerhaftigkeit von Asphalten betrifft, so haben sie in der Form des Naturasphalts (Naturasphalte sind natürlich vorkommende Gemische von Bitumen und Mineralstoffen) ihre Beständigkeit über geologische Zeiträume erwiesen. Bekannteste Beispiele sind der Trinidad-Asphalt aus dem Asphaltsee der Insel Trinidad und die meterdicken und viele Kilometer langen Asphaltadern im amerikanischen Bundesstaat Utah. | 02

Auch als Baumaterial hat Asphalt seine Beständigkeit über 5000 Jahre hinweg bewiesen. Sumerer, Babylonier, Assyrer und Ägypter verwandten Naturasphalt für die Abdichtung und Stabilisierung von Abwasserkanälen, Ufermauern, Dämmen und Böschungen. Die Mauern von Ur und Babylon waren mit Asphalt vermörtelt und sind heute teilweise noch erhalten. Uferbefestigungen am Tigris, die 1300 v.Chr. in Asphaltbauweise errichtet wurden, sind heute noch voll funktionsfähig. | 02

4.1.2 Beschreibung der hydrostatischen Asphaltabdichtung

4.1.2.1 Asphalteigenschaften

Asphalt, wie er für hydrostatische Dichtungen in den Schächten Konrad vorgesehen ist, wird durch Mischung von Normenbitumen nach DIN 1995 /9/ - die Anforderungen gibt Tabelle 1 wieder - und einem im Wasser weder löslichen noch quellenden Gesteinsmehlfüller bei hohen Temperaturen hergestellt.

Die abdichtende Wirkung der Asphaltabdichtungen wird bestimmt vom Hohlraumgehalt der Asphaltmasse. Für die Schachtverfüllung des Endlagers Konrad werden Bitumengehalt und Füllergehalt so aufeinander abgestimmt, daß in der fertig gemischten und eingebauten Asphaltmasse keine Hohlräume vorhanden sind, die den Fluß von Flüssigkeiten in und durch die Abdichtung ermöglichen. Derartige hohlraumfreie Asphalte sind wasserundurchlässig und was



serunlöslich sowie bei allen für die Schächte denkbaren Temperaturen beständig gegen die Lösung von Chloriden, Sulfaten und Nitraten. | 02

Das Bitumen der Asphaltmischung ist dadurch gekennzeichnet, daß sein Materialverhalten je nach Temperatur und Belastungsdauer viskos, viskoelastisch oder elastisch sein kann. In dem für die Schächte Konrad in Betracht kommenden Temperaturbereich und bei der hier vorgegebenen langen Belastungsdauer zeigt das Bitumen viskoses Verhalten. Abbildung 3 zeigt die kinematischen Viskositäten verschiedener Normenbitumen nach DIN 1995.

Durch die Zugabe des Gesteinsmehlfüllers zum Bitumen wird die Viskosität erhöht. Diese Viskositätserhöhung kann mit dem in Abbildung 4 dargestellten Diagramm abgeschätzt werden. | 02

In dem Asphalt der hydrostatischen Dichtung beträgt die Volumenkonzentration des Füllers ca. 26 %. In solchen relativ wenig gefüllerten Asphalten herrscht immer ein sehr hoher Bitumenüberschuß. Im Gegensatz zu Asphalten, wie sie im Straßenbau eingesetzt werden, hat Schachtbauasphalt nicht die Form eines mit Bitumen verklebten Korngerüstes. Es handelt sich vielmehr um eine mit Mineralstoffen versteifte Flüssigkeit. Ihre Viskosität ist wohl gegenüber der des verwendeten Bitumens verringert, die Flüssigkeitseigenschaften bleiben jedoch prinzipiell erhalten. | 02



Die Dichte des Asphalts für die hydrostatische Dichtung zum Verschluß der Schächte Konrad wird durch die Zugabe von Gesteinsmehlfüllern so eingestellt, daß sie mit $1,5 \text{ g/cm}^3$ deutlich über der im Gebirge anstehenden Wasser liegt. Dadurch steht der viskose Asphalt unter einem höheren hydrostatischen Druck als die Gebirgswässer. Diese werden durch den allmählich in die im Gebirge vorhandenen Poren und Risse eindringenden Asphalt verdrängt; Poren und Risse werden verstopft. So dichtet der Asphalt den Schachtquerschnitt und die ihn umgebende vom Abteufen des Schachtes herrührende Auflockerungszone ab. Dies gilt auch dann, wenn sich die Verhältnisse in der Umgebung des Schachtes im Laufe der Zeit, z. B. durch Gebirgsbewegungen, ändern: Ein sich neu bildender Riß füllt sich mit Asphalt und wird verschlossen. Dies kennzeichnet Asphalt als ein aktives Dichtungsmittel.

Das Eindringen des Asphalts in Klüfte und Gebirgsporen ist wegen seiner Flüssigkeitseigenschaften zeitlich nicht begrenzt. Die Eindringgeschwindigkeit nimmt jedoch mit zunehmender Eindringtiefe so stark ab, daß der Abfluß nach einer gewissen Zeit praktisch bedeutungslos wird. Nach welcher Zeit dieser Zustand des Beinahe-Stillstandes eintritt, hängt wesentlich von der Spaltbreite der Klüfte und der Viskosität des Asphalt ab.

Das Eindringen von Bitumen bzw. Asphalt in einen Spalt gleichbleibender Breite wird in der Praxis nach einer in /11/ aufgestellten Beziehung ermittelt. Diese Beziehungen wurden in Abb.5 für einen hoch und einen niedrig viskosen Asphalt sowie einen Bitumen ausgewertet. 01

Demnach dringen Asphalte auch in feine Gebirgsklüfte von z. B. 0,1 mm Weite ein.



Angaben über die Durchlässigkeit eines nicht mit Asphalt verfüllten Parallelkluftsystems mit Klüften unterschiedlicher Weite können der Abb. 6 entnommen werden. Ein solches Kluftsystem hat bei einer Kluftweite von 0,1 mm und einer Klufthäufigkeit von einer Kluft pro Meter eine Durchlässigkeit von ca. 10^{-6} m/s. Sind 10 Klüfte pro Meter vorhanden, beträgt die Durchlässigkeit des Kluftsystems ca. 10^{-5} m/s. Kluftsysteme mit Durchlässigkeiten von $\geq 10^{-4}$ m/s können demnach - unter den zuvor genannten Annahmen - mit Asphalt abgedichtet werden. | 02 | 01

Das Eindringverhalten des Asphalts in Gebirgsklüfte kann in Schächten mit einem Stahl-Beton Verbundausbau mit hydrostatischer Asphaltherfüllung am Absinken des Asphaltspiegels in der Ringfuge zwischen Innenausbau und Außenausbau bzw. Gebirge beobachtet werden. Abb. 7 zeigt das Absinken des Asphaltspiegels einiger solcher Gleitschächte. Durch temperaturabhängige Volumenänderungen des Asphalts sowie durch das Schwinden und Kriechen des Ausbaus sind nur etwa 10 % der Nachfüllmengen zu erklären. Da unterhalb des Schachtfundamentes keine Asphaltmengen ausgetreten sind, muß der Asphalt in das Gebirge eingedrungen sein. Es wurde beobachtet, daß anfänglich größere Asphaltmengen in das Gebirge eindringen, nach einer gewissen Zeit aber der Eindringvorgang nahezu zur Ruhe kommt. Dieses relativ große anfängliche Absinken des Asphaltspiegels liegt in den auch rechnerisch zu erwartenden Grenzen und kann durch Nachverfüllung ohne Schwierigkeiten ausgeglichen werden. Dies gilt ganz entsprechend und ohne Einschränkung auch für die hydrostatische Asphaltdichtung für die Schachtverfüllung der Schächte Konrad. | 02



Eine wichtige Voraussetzung für die Wirkung des Asphalts als aktives Dichtungsmittel ist, daß der hydrostatische Druck des Asphalts stets höher ist als der Druck der anstehenden Gebirgs- wässer. Die Dichte des Asphalts muß daher weitgehend erhalten bleiben. Die Füllerteilchen dürfen nur in beschränktem Maße aussedimentieren. Da, wo Füllerteilchen gänzlich aussedimentieren können (im tagesoberflächennahen Schachtabschnitt), kann die Asphalt-dichte bis auf die Dichte des Bitumens (Tab. 1) absinken. Die Errechnung der Sedimentationsgeschwindigkeit erfolgt in der Praxis nach dem Gesetz von Stokes.

02

Die tatsächlichen Sedimentationsgeschwindigkeiten sind, wie Versuche gezeigt haben, deutlich geringer. Dies liegt im wesentlichen daran, daß die Füllersedimentation durch den freien Fall von Einzelkugeln in einer Flüssigkeit (Stokes) nur unzulänglich beschrieben werden kann. Durch die Vielzahl der gleichzeitig sedimentierenden Füllerteilchen sind die Bewegungsmöglichkeiten der Einzelteilchen stark eingeschränkt, die Teilchen bremsen einander ab. Die relativ schnelle Sedimentation der Einzelteilchen geht in eine langsame Zonensedimentation über. Der obere Bereich der Asphaltsäule wird vollständig von Füllerteilchen geklärt (Klarzone). Darunter folgt die Sedimentationszone. Die Dichte dieser Zone ist konstant und gleich der ursprünglichen Asphalt-dichte. Unterhalb der Sedimentationszone befindet sich eine Zone mit erhöhter Dichte.

02

Abbildung 8 zeigt den rechnerisch ermittelten Fallweg eines Füllerteilchenschwarms in Asphalten unterschiedlicher Dichte und bei unterschiedlichen Temperaturen. Aus dem Diagramm wird deutlich, daß mit zunehmender Asphalt-dichte und der deshalb steigenden Viskosität sich der Fallweg des Teilchenschwarms verringert. Die Klarzone ist aus dem Diagramm sofort ablesbar. Für eine Ausgangsdichte des Asphalts von z. B. 1,2 g/cm³ ergibt sich bei einem B 25 und 20 °C eine Klarzone von 1 m. Bei einem niedrig viskoserem Asphalt B 80 und 20 °C liegt die Klarzone bereits bei 60 m. Für die Erfüllung langzeitlicher Aufgaben wurde daher für die hydrostatische Asphalt-dichte ein hochviskoser Asphalt ausgewählt.



4.1.2.2 Aufbau der hydrostatischen Asphaltdeckung

Die hydrostatische Asphaltdeckung für die Schächte Konrad ist auf Abb. 1 und 2 dargestellt. Sie besteht aus einer mehrschichtigen Asphaltssäule mit Asphalten unterschiedlicher Viskosität im Zusammenhang mit Bohrungen, die gezielt einzelne Gebirgspartien mit Asphalt versorgen, und Verpressungen mit Tonsuspension, die ein Abfließen von Asphalt in geklüfteten Gebirgspartien einschränken.

01

In der hydrostatischen Asphaltssäule werden zwei hinsichtlich ihres Eindringverhaltens unterschiedliche Asphalte eingesetzt. Dies sind

- eine schnell wirksame Dichtung aus niedrigviskosem Asphalt (B 200) und
- eine langsam wirkende Dichtung aus hochviskosem Asphalt (B 25).

Der Unterschied im Eindringverhalten geht aus Abb.5 hervor.

Im Teufenbereich von ca. 160 m bis ca. 200 m (Schacht Konrad 1), bzw. 170 m bis ca. 226 m (Schacht Konrad 2) wird niedrigviskoser Asphalt eingebaut. Somit soll sichergestellt werden, daß der Übergangsbereich zur mineralischen Abdichtung schnell und sicher abgedichtet werden kann.

01



Die Spiegelabsenkung der hydrostatischen Säule, die durch das gewollte Ablaufen des Asphalts entsteht, wird durch Nachverfüllungen mit hochviskosem Asphalt ausgeglichen.

Darüber wird bis zum Schachtdeckel hochviskoser Asphalt eingebaut. Er dringt langsam in die Klüfte des Gebirges ein und ersetzt im unteren Bereich die in das Gebirge eingedrungenen Teile der vorher eingebrachten Dichtung aus niedrigviskosem Asphalt.

Um das Eindringen des Asphalts in die Auflockerungszone zu beschleunigen, wird die gesamte Auflockerungszone zusätzlich durch ein dichtes Netz von Vollbohrungen perforiert (Abb. 1,2). Über diese Bohrungen ist sichergestellt, daß auch die hinteren Bereiche der Auflockerungszone schnell mit Asphalt versorgt werden.

Die Viskosität des Asphalts (B 25) ist hoch genug, daß er auch in 10 000 Jahren nicht so weit in das Gebirge, insbesondere in die Klüfte des Turons und Cenomans, eindringt, daß die Wirksamkeit der hydrostatischen Dichtung beeinträchtigt wird. Zusätzlich wird aber dort, wo größere Klüfte zu erwarten sind, der Bereich vom Ende der Auflockerungszone bis ca. 10 m hinter der Schachtwand durch die Verfüllung mit Ton vorgedichtet. Dieser Bereich ist in Abb. 1 und 2 dargestellt. Die Spiegelabsenkung des Asphalts infolge des Eindringens in diese Klüfte wird dadurch weiter eingeschränkt.

Zwischen der Unterkante des Asphalts (B 200) und der Oberkante der mineralischen Abdichtung ist zusätzlich ein spezielles Dichtsystem angeordnet. Dieses verhindert ein Ablaufen des Asphalts aus der hydrostatischen Säule in den Bereich der minera-



lischen Abdichtung, womit eine Trennung der Komponenten erreicht wird:

- Asphalt (B 25, Gesteinsmehlfüller),
- Sandasphalt (B 25, Gesteinsmehlfüller, Feinsand)
- Gußasphalt (B 25, Gesteinsmehlfüller, Feinsand, Edelsplitt)

Die Viskosität der Asphalte nimmt von oben nach unten zu.

4.1.2.3 Einbau der hydrostatischen Asphaltabdichtung

Der Einbau der hydrostatischen Asphaltabdichtung erfolgt unter Berücksichtigung der einschlägigen bergbehördlichen Vorschriften und Richtlinien. Er gliedert sich in die vorbereitenden Arbeiten und die Verfüllung des Schachtes mit Asphalt.

Zu Beginn der Arbeiten erfolgt das Rauben der Schachteinbauten, das Perforieren des Schachtausbaus und der Auflockerungszone mit den Asphaltversorgungsbohrlöchern sowie das Vorabdichten der Klüfte im Turon und Cenoman.

Die Ausführung der Bauarbeiten erfolgt mit einer mehretagigen Arbeitsbühne von oben nach unten.

Auszubauende Materialien werden mit einem Spezialgehänge an das Förderseil angeschlagen, von ihren Halterungen gelöst und zutage gefördert. Das Herstellen der Bohrlöcher für die baubegleitenden gebirgsphysikalischen Untersuchungen, der Asphaltversorgungsbohrlöcher für die Auflockerungszone und der Bohrlöcher für die Vorabdichtung der Klüfte erfolgt im nächsten Arbeitsgang von unten nach oben. Die Bohr- und Abdichtungsarbeiten werden mit üblichen Geräten durchgeführt.



Der Einbau der hydrostatischen Asphaltssäule beginnt mit dem Einbau der Gußasphalt- und Sandasphaltpackung.

Gußasphalt als auch Sandasphalt werden in stationären Asphaltmischanlagen bei hohen Temperaturen gemischt. Am Schacht wird der gemischte Asphalt in den Schacht eingefördert.

Die Mischung der Asphalte (B 25, B 200) erfolgt übertage in mobilen Mischeinrichtungen.

Für die Mischung der Asphalte werden Mischtemperaturen zwischen 160° C und 190° C benötigt. Wird Asphalt mit diesen hohen Temperaturen im Schacht eingebaut, kommt es infolge des langsamen Auskühlungsverhaltens der großen Asphaltmengen zu unerwünschten Sedimentationserscheinungen im Asphalt. Um die Sedimentation in Grenzen zu halten, darf der Asphalt nach dem Einbau nur Temperaturen unter 100° C aufweisen.

Es ist daher folgende Verfahrensweise vorgesehen:

In über Tage installierten Mischkesseln wird das Bitumen erhitzt, mit dem Gesteinsmehlfüller gemischt und über Rohrleitungen in den Schacht gefüllt. Ein Teil des heißen Asphaltens wird in Formen abgefüllt und in einem Kältebad abgekühlt. In den über Rohrleitungen in den Schacht eingefüllten mischheißen, flüssigen Asphalt werden dann die kalten Asphaltblöcke gestürzt.

Kalter und heißer Asphalt vermischen sich zu einer einheitlichen Asphaltmasse mit wesentlich geringerer Temperatur als der Anmischtemperatur.



Sedimentationserscheinungen im Asphalt werden dadurch in Grenzen gehalten.

Nach dem Verfüllen des Schachtes mit Asphalt wird sich der Asphaltspiegel senken. Ursache dafür ist im wesentlichen die Schrumpfung des Asphalts infolge seiner Abkühlung, die mögliche Zusammendrückung der mineralischen Abdichtung sowie das Eindringen des Asphalts in die Gebirgsklüfte. Der Volumenverlust an Asphalt wird durch Nachverfüllungen ausgeglichen.

4.2. Mineralische Abdichtung

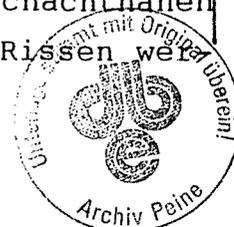
4.2.1 Vorbemerkungen

Die mineralische Abdichtung wird im Bereich der Barrierschichten Unterkreide eingebaut. Nach unten hin soll sie ca. 50-60 m in die im Liegenden der Unterkreide anstehenden Schichten des Malm einbinden. Im Schacht Konrad 1 wird der Teufenbereich von ca. 855 m bis ca. 229 m und im Schacht Konrad 2 der Teufenbereich von ca. 700 m bis ca. 246 m mit mineralischem Abdichtungsmaterial verfüllt (s. Abb. 1 und 2).

4.2.2 Wirkungsweise der mineralischen Abdichtung

Für die Verfüllung ist die Verwendung eines tonhaltigen Mineralgemisches vorgesehen, mit dem die geforderte geringe Wasserdurchlässigkeit im Bereich des Schachtquerschnittes ohne Schwierigkeiten erreicht werden kann.

Infolge von Spannungsumlagerungen beim Abteufen der Schächte und der damit verbundenen Verformungen sind um die Schächte herum Zonen entstanden, in denen die Wasserdurchlässigkeit im Vergleich zum ungestörten Gebirge erhöht ist. Die schachtnahen Zonen mit visuell erkennbaren offenen Klüften oder Rissen wer-



den im Zuge der Schachtverfüllung ebenso wie der vorhandene Schachtausbau entfernt. Die Veränderungen der Wasserdurchlässigkeit in den darüber hinausgehenden gestörten Bereichen sind demgegenüber deutlich kleiner. Die Durchlässigkeit dieser Zone ist gering genug, um die für das Gesamtsystem aus aufgeweitetem, verfülltem Schachtquerschnitt und angrenzender gestörter Gebirgszone aufgestellte Transmissivitätsforderung zu erfüllen. Dies gilt unter der Voraussetzung, daß im Zuge der Herausnahme des Schachtausbaus und der schachtnahen, aufgelockerten Gebirgszone eine nennenswerte Erhöhung der Wasserdurchlässigkeit im angrenzenden Gebirgsbereich vermieden wird. Hieraus ergibt sich die Forderung nach einem möglichst schnell in ausreichender Größe aufzubringenden Stützdruck der Verfüllung.

Die Schachtverfüllung aus mineralischem Abdichtungsmaterial hat demzufolge nicht nur die Anforderung "geringe Wasserdurchlässigkeit" sondern außerdem wesentliche statische Aufgaben zu erfüllen. Es wurde daher ein Konzept für ein mineralisches Abdichtungssystem entwickelt, das neben der geringen Wasserdurchlässigkeit den raschen Aufbau eines ausreichend großen, auf das Gebirge wirkenden Stützdrucks gewährleistet. Die Konzeption und Wirkungsweise dieses als Variante A bezeichneten mineralischen Abdichtungssystems werden im folgenden im einzelnen erläutert.

Das Konzept und die Wirkungsweise der Variante A für die mineralische Abdichtung sind in der Abbildung 9 dargestellt.

Der Kernbereich des Schachtquerschnittes wird mit einem trocken eingebauten Mineralgemisch verfüllt, das aus Kies (8/16 mm), Füller (0,2 mm) und Bentonit besteht. Die Trockenmischung erfüllt die Forderungen nach geringer Wasserdurchlässigkeit, näherungsweise zeitunabhängigem Spannungs-Verformungsverhalten und hohem Steifemodul.



Zwischen dem aus der Trockenmischung bestehenden Kern und der Schachtwand wird eine dünne Gleitschicht aus wassergesättigtem Ton eingebaut. Diese Gleitschicht hat die Aufgabe, ein Aufhängen des Kerns an der Schachtwand infolge Mantelreibung (sog. Siloeffekt) für eine gewisse Zeit zu verhindern. Der Siloeffekt führt zur Begrenzung der Vertikalspannungen in der Füllung und damit auch des daraus resultierenden horizontalen Stützdrucks auf ein Maß, das i.w. vom Schachtdurchmesser und von der wirksamen Wandreibung abhängig ist. Da die Schachtgeometrie vorgegeben ist, muß die Beeinflussung des Siloeffektes über die Wandreibung, d.h. die Scherfestigkeit der Gleitschicht aus Ton erfolgen.

Damit die Gleitschicht die ihr zugewiesene Aufgabe erfüllen kann, müssen die Dicke d und die Wasserdurchlässigkeit der Tonschicht so eingestellt werden, daß die Verfestigung (Konsolidierung) des Tones erst in einer Tiefe eintritt, in der die Vertikalspannungen aus der darüberliegenden Füllung zu einem ausreichend hohen Stützdruck (Radialspannung) auf die Schachtwand geführt haben. Die Zusammenhänge zwischen der Verfestigung des Tones im Verlaufe der Konsolidierung und der Entwicklung der Silowirkung sind in einer Prinzipdarstellung in der Abbildung 9 wiedergegeben.

Bis zur Konsolidierungszeit T soll der Ton etwa die Festigkeit C_u besitzen. Die Silowirkung infolge C_u ist vergleichsweise gering und teufenunabhängig. Die Vertikalspannungen und auch die Radialspannungen nehmen mit fortschreitender Schütthöhe stetig zu. Bei Erreichen der Konsolidierungszeit T soll die Festigkeit des Tones durch den Restreibungswinkel φ'_r gekennzeichnet sein. Der Spannungszuwachs in der Verfüllung folgt nun unterhalb des Punktes "H" (s. Abb.9) den Gesetzmäßigkeiten des Siloeffektes bei Vorliegen eines Wandreibungswinkels $\delta = \varphi'_r$.



Der Spannungszuwachs nimmt mit zunehmender Tiefe unter der temporären Schüttschicht überproportional ab und strebt gegen den Grenzwert Null. Die bis dahin aufgebauten Spannungen werden als Silospannungen bezeichnet.

Die Konsolidierung des Tones ist mit einer Zusammendrückung der Tonschicht verbunden. Diese Zusammendrückung ist durch Verformungen des Gebirges und/oder des Verfüllkernes auszugleichen. Diese Verformungen gehen jedoch mit Veränderungen des Spannungszustandes einher. Der wirksame Stützdruck wird somit nicht nur durch die Konsolidationszeit des Tones sondern auch durch die in der Tonschicht, im Gebirge und im Kern auftretenden Verschiebungen bestimmt. Die Wechselwirkung zwischen diesen drei Bausteinen läßt sich durch sogenannte Kennlinien, die den Zusammenhang zwischen Spannungen und Verschiebungen beschreiben, erfassen. In der Abbildung 9 sind qualitativ die Kennlinien für die Kernverformung (δ_{rK}) und für die Verformung des Gebirges abzüglich der Verformung der Tonschicht ($\delta_{rG}-\delta_{rT}$) dargestellt. Der Schnittpunkt der Kennlinien kennzeichnet einen Zustand, der hinsichtlich der Verschiebungen und der Spannungen verträglich ist. Die zugehörige Spannung σ_r^* entspricht dem auftretenden Stützdruck.

01

Alternativ zur Variante A wurde ein zweites, als Variante B bezeichnetes mineralisches Abdichtungssystem entwickelt, daß ebenfalls die genannten Anforderungen erfüllt. Die Konzeption und die Wirkungsweise der Variante B werden im folgenden näher beschrieben.

Bei der Variante B wird ebenfalls ein Kern aus einer mineralischen Trockenmischung hergestellt. Zwischen der Kernverfüllung und dem Gebirge wird ein Ring aus hochverdichtetem Bentonit eingebaut. Der Bentonit wird durch isostatische Verdichtung mit sehr hohen Drücken in die Form kleiner ziegelähnlicher Stücke gebracht, die im Schacht jeweils vor dem Einbau der Trockenmi-



schung abschnittsweise mauerwerksartig eingebracht werden (Abb. 10) .

Die hochverdichteten Bentonite zeichnen sich bei Wasserzutritt durch extrem hohe Quelldrücke von bis zu ca. $50-60 \text{ MN/m}^2$ aus. Die tatsächlich auftretenden Quelldrücke hängen von der Bentonitart, von der Höhe der Vorverdichtung (effektive Trockendichte), vom Wasserdruck und von der Größe der zugelassenen Quellverformungen ab.

Da bei der Variante B das Eintreten des Siloeffektes nicht durch eine Gleitschicht behindert bzw. verzögert wird, werden mit dem Verfülldruck der Trockenmischung allein nicht die erforderlichen Stützdrücke erreicht. In Abhängigkeit von der Art der Bewässerung des Bentonitrings treten jedoch mehr oder weniger schnell Quelldrücke auf, die auf das Gebirge und den Kern wirken (Abb. 10). Da sich Gebirge und Kern unter der Wirkung des Quelldrucks verformen, tritt eine Beeinflussung des Quelldrucks ein. Der tatsächlich auftretende Quelldruck kann nach dem Kennlinienverfahren bestimmt werden, wenn die Zusammenhänge zwischen den Spannungen und den Verschiebungen (Kennlinien) für das Gebirge, den Kern und den quellenden Bentonitring bekannt sind (s. Abb. 10).

01

Der Größe des Quelldrucks und somit des auf die Schachtwand wirkenden Stützdrucks kann durch die Höhe der Vorverdichtung des Bentonits, die Bentonitart und die Dicke des Bentonitrings in weiten Grenzen gesteuert werden. Die zeitliche Entwicklung des Quelldrucks kann über den Bewässerungszeitpunkt und die Geschwindigkeit der Wassereindringung in den Bentonit, d.h. durch die Formstückgröße beeinflusst werden.

4.2.3 Eigenschaften der mineralischen Abdichtung

Für die mineralische Trockenmischung (Kernverfüllung) ist ein Gemisch aus Kies (8/16 mm), Quarzmehl-Füller (0/2 mm) und einem Bentonit vorgesehen, wie es z.B. von der Dyckerhoff & Wid



mann AG (DYWIDAG) angeboten wird. Die Ergebnisse bodenmechanischer Versuche an derartigen Trockenmischungen sind in der Tabelle 4 wiedergegeben. Der aus Großödometerversuchen abgeleitete Steifemodul ist spannungsabhängig und läßt sich näherungsweise durch die Beziehung $E_s = v_e \cdot \sigma + E_{s0}$ beschreiben.

02

Der Scherfestigkeit es trockenen Mineralgemisches wird i.w. durch den Kiesanteil bestimmt und ist dementsprechend hoch. Der geringe Wasserdurchlässigkeitsbeiwert von $k_f < 10^{-10} \text{ m/s}$ wird durch den Füller- und vor allem durch den Bentonitanteil bewirkt, der zu einem hohlraumarmen Verfüllmaterial führt. Das Quellvermögen des Bentonits wird rechnerisch nicht in Ansatz gebracht. Es gewährleistet jedoch Sicherheitsreserven bei der Wasserdurchlässigkeit und beim aus der Verfüllung resultierenden Stützdruck.

Für die beim Einbau ca. 10 cm dicke Gleitschicht bei der Variante A soll ein ausgeprägt plastischer Ton verwendet werden. Bodenmechanische Kennwerte für derartige Tone finden sich in den Unterlagen [16], [17] und [18]. Auch beim Ton ist der Steifemodul spannungsabhängig und läßt sich durch die o.g. Beziehung beschreiben.

01

Im Hinblick auf die Angaben zur Scherfestigkeit ist noch einmal darauf hinzuweisen, daß die Tonschicht wegen der geforderten Gleitschichtfunktion im wassergesättigten, unkonsolidierten Zustand eingebaut wird. Mit zunehmender Erhöhung des Seitendrucks aus der Kernverfüllung bzw. aus dem Gebirge konsolidiert der Ton im Laufe der Zeit unter den auftretenden Spannungen. Der Ton gibt hierbei Wasser ab und wird zusammengedrückt. Es tritt hierbei eine Verfestigung des Tones ein, die abgeschlossen ist, wenn der aus der schnellen Belastungsaufbringung resultierende Porenwasserüberdruck im Ton abgebaut ist. Die Spannungen werden dann im Ton allein durch das Korngerüst übertragen. Dieser Zustand wird als "konsolidiert" bezeichnet.

Die Scherfestigkeit des Tones im unkonsolidierten Zustand wird durch die sogenannte undränierete Scherfestigkeit C_u beschrieben.



ben. Im konsolidierten Zustand kann die Festigkeit des Tones unter Berücksichtigung möglicher kleiner Scherbewegungen durch die Restscherfestigkeit ψ'_r beschrieben werden.

Grundlage des Konzeptes der mineralischen Abdichtung - Variante B ist das außerordentlich starke Quellvermögen der hochverdichteten Bentonite, das in letzter Zeit insbesondere im Hinblick auf die sichere Endlagerung radioaktiver Abfälle eingehender untersucht wurde. Angaben zu den Quelleigenschaften finden sich in den Unterlagen [19] und [21]. Weiterhin finden sich in [21] Ergebnisse von in situ-Versuchen zur Abdichtung von Hohlräumen mit hochverdichtetem Bentonit.

Hochverdichtete Bentonite können im Labor durch einaxiale Verdichtung in einer speziell konstruierten Mulde hergestellt werden. Größere Formstücke, wie sie bei der Schachtverfüllung oder ähnlichen Verwendungszwecken benötigt werden, können durch isostatische Drücke in der Größenordnung von 500 - 1500 bar verdichtet und anschließend zur gewünschten geometrischen Form bearbeitet werden. Es können so Trockendichten bis ca. 2 g/cm^3 erreicht werden. 01

Die bei hochverdichteten Bentoniten auftretenden großen Quelldrücke sind auf das innerkristalline Quellen (im Gegensatz zum osmotischen) dieser Bentonite zurückzuführen. Das Porenvolumen der hochverdichteten Bentonite ist vernachlässigbar klein. Nahezu das ganze Wasser befindet sich im Zwischenschichttraum des Montmorillonites. Es umgibt als Hydratationswasser die Kationen, wird an den polaren Schichten angelagert und füllt den Raum zwischen den hydratisierten Ionen aus. Freies Porenwasser gibt es im hochverdichteten Bentonit nicht. Die Wasseraufnahme erfolgt durch Diffusion, denn bei der vorhandenen Durchlässigkeit von etwa 10^{-13} m/s ist die hydraulische Konduktivität be-



deutend kleiner als die Diffusivität des Wassers.

|| 01,02

4.2.4 Aufbau der mineralischen Abdichtung

Die Bereiche der mineralischen Abdichtung für die Schächte Konrad sind auf den Abbildungen 1 und 2 dargestellt. Sie besteht im Schacht 1 zwischen ca. 229 m und ca. 855 m Teufe und im Schacht 2 zwischen ca. 246 m und ca. 700 m Teufe aus einem lagenweise eingebrachten, homogenen Mineralgemisch. Alle im Bereich dieser Dichtung liegenden Strecken (Untersuchungs- und Wasserstrecken sowie Sandbunker) werden verfüllt. Da diese Strecken isolierte Hohlräume in einem sonst dichten Gebirge darstellen, werden an das Verfüllmaterial hinsichtlich der Wasserdurchlässigkeit keine besonderen Anforderungen gestellt. Um jedoch die Verformungen des umgebenden Gebirges zu begrenzen, können die Strecken mit einem Mineralgemisch geringer Zusammendrückbarkeit verfüllt werden.

01

02

An den Unterkanten der mineralischen Abdichtung in ca. 855 m bzw. ca. 700 m Teufe werden zweistufige Kies-Sand-Filter angeordnet, um die Gefahr einer Erosion der feinkörnigen Böden der Dichtung in die darunterliegenden statischen Stützsäulen im Grubengebäude zu verhindern.

4.2.5 Einbau der mineralischen Abdichtung

Die Aufweitung des Schachtes und der Einbau der mineralischen Abdichtung erfolgen in mehreren, sich wiederholenden Arbeitsgängen, die sich teilweise überschneiden können:

1. Entfernen der Schachtausmauerung in kurzen Abschnitten unter Sicherung des darüber liegenden Ausbaus und der freigelegten Schachtstöße



2. Ausbruch eines Teils der den Schacht umgebenden Felsauflockerungszone unter Anwendung zusätzlicher Sicherungsmaßnahmen. Die Dicke der herauszunehmenden Auflockerungszone wird auf der Grundlage vorhandener und eventuell weiterer Untersuchungen festgelegt. Wesentliche Aussagen hierzu wurden beim Auffahren der geplanten Untersuchungsstrecken gewonnen. Ergänzende Untersuchungen können noch im Zuge des Schachtausbaus oder unmittelbar vor der Verfüllung der Schächte durchgeführt werden. Da das Maß der Aufweitung aus statischen Gründen über die gesamte Höhe der mineralischen Abdichtung konstant gehalten werden sollte, wird die Dicke der herauszunehmenden Auflockerungszone vor Beginn der Verfüllarbeiten festgelegt.
3. Fassen und Ableiten eventuell anfallender Sickerwässer.
4. Einbringen und Verdichten des über Tage aufbereiteten Mineralgemisches lagenweise einschließlich des Einbaus der Tonschicht bzw. des Rings aus hochverdichtetem Bentonit.

Zu Beginn der Arbeiten sind die im Schacht installierten Einbauten in Abstimmung auf das gewählte Bauverfahren zu entfernen oder umzurüsten. Mit dem Herausnehmen der Schachtausmauerung und gegebenenfalls eines Teils der Auflockerungszone wird etwa 50 m unterhalb der Schichtgrenze Malm/Unterkreide begonnen. Der Übergang der Füllsäule der mineralischen Abdichtung zur darunter liegenden Schachtverfüllung wird konisch ausgebildet (Abbildungen 1 und 2).

Für die Aufweitung der Schächte ist der Einsatz einer nach dem Prinzip der Teilschnittmaschine arbeitenden Schachtfräse vorgesehen. Die Schachtfräse ist an Bühnenwinden mehrfach eingesichert so aufgehängt, daß sie mit eingezogenen Verspannpratzen in das bestehende Lichtraumprofil des Schachtes hochgefahren werden kann. Unter der Maschine ist ein Auffangtrichter befestigt über den das Schrämklein in den Förderkübel rutscht. Zwischen dem Spannrahmen und der Rollenkopfbühne ist im Schacht eine verfahrbare Bühne angeordnet, von der aus vorausseilend



eine verfahrbare Bühne angeordnet, von der aus vorauseilend Glasfaseranker zur Sicherung des Betonformsteinsausbaus gesetzt werden können. Die Ringbauweise der Maschine gewährleistet den freien Zugang zur temporären Schachtsohle.

Nach dem Einrichten der Maschine wird mit dem Aufweiten des Schachtes von unten nach oben begonnen. Dabei eilt das Herausfräsen der Schachtausmauerung und des angrenzenden Felses der Verfüllung des Schachtes um etwa 10 m voraus. Das Fräsen und das Verfüllen des Schachtes erfolgt im Wechselbetrieb in getrennten Arbeitsgängen. Nachdem der Schacht im festgelegten Schachtabschnitt aufgeweitet ist, folgt der Einbau der mineralischen Abdichtung auf der temporären Sohle unterhalb der Maschine lagenweise in Schichtdicken von ca. 40 cm.

Die Einbringung des Tons entlang der Mantelfläche des Schachtes (Variante A) erfolgt parallel zu den Schüttilagen im Schacht. Damit eine gleichbleibende Dicke der Tonschicht gewährleistet ist, wird ein zylindrisch geformtes Ziehblech, das sich durch Führungsrollen gegen den Fels abstützt, mit hochgezogen. Der Ton wird zwischen dem Ziehblech und dem Schachtstoß eingefüllt und durch Stampfen verdichtet. 01

Bei Ausführung der mineralischen Abdichtung als Variante B wird der Ring aus hochverdichtetem Bentonit jeweils vor dem Einbau der Trockenmischung abschnittsweise mauerwerksartig eingebracht.

Die Sicherung des Schachtmauerwerks wird den statischen Erfordernissen entsprechend mit Hilfe von Glasfaserankern vorauseilend durchgeführt. Dazu werden von einer verfahrbaren Bühne aus oberhalb der Schachtfräse radial zum Schachtstoß Löcher gebohrt, in die die Ankerstäbe vollständig eingemörtelt werden. Beim Aufweiten des Schachtes mit der Fräse lassen sich diese Anker ohne Schwierigkeiten mit herausfräsen.

Die in den Schächten im Bereich der Unterkreide anfallenden Sickerwassermengen sind gering und beeinträchtigen die



sein sollten, können diese durch Abschlauchen und Pumpen solange entwässert werden, bis die temporäre Schütthöhe der Verfüllung einige Meter oberhalb der Wasserzutrittsstelle liegt. Dann werden die Abschlauchungen gekappt und verschlossen.

Der Schacht Konrad 2 durchörtert im Teufenbereich ca. 469-470 m die stark wasserführende Hilssandsteinbank. Zur Eindämmung des Wasserzuflusses in den Schacht wurde deshalb in diesem Bereich im Zuge der Teufarbeiten eine Verplombung aus Beton und Mauerwerk hergestellt und dahinter das Gebirge durch Einpressen von Zementsuspensionen abgedichtet. Der im Hilssandstein gemessene Wasserdruck beträgt ca. 47 bar.

Durch die Aufweitung des Schachtes im Zuge der Schachtverfüllung nach Beendigung der Betriebsphase muß im Bereich des Hilssandsteins ein Teil der Verplombung herausgenommen werden. Damit durch diese Schwächung der Abdichtung der Wasserzulauf aus dem Hils nicht ungünstig beeinflusst wird, müssen vorab besondere Abdichtungsmaßnahmen ergriffen werden. Dabei werden die bei den früheren Abdichtungsarbeiten gesammelten Erfahrungen berücksichtigt.

Es ist geplant, den Hilssandstein und die angrenzenden Bereiche der darüber und darunter anstehenden Tonsteine in einer ringförmigen Zone um den Schacht herum vor der Aufweitung weiträumig abzudichten.

Als Injektionsgut kommen Suspensionen unter Verwendung feingemahlener Zemente oder Kunstharze auf PU-Basis in Frage.

Ein kombinierter Einsatz verschiedener Injektionsmittel in den verschiedenen Ebenen bzw. Serien ist u.U. zweckmäßig. Um beim Einpressen des Injektionsgutes eine ausreichend große Reichweite zu erzielen, sollte der Verpreßdruck über dem Wasserdruck im Hils liegen.

Die genaue Festlegung der erforderlichen Bohrlochabstände und -tiefen sowie der Zusammensetzung des Verpreßgutes und der Ver-

01



preßdrücke kann zu einem späteren Zeitpunkt im Rahmen eines Einpreßversuches erfolgen, wie er nach DIN 4093 üblicherweise durchzuführen ist.

01

4.3 Stützsäule unterhalb der mineralischen Abdichtung

4.3.1 Vorbemerkungen

Unterhalb der mineralischen Abdichtung werden die Schächte mit einem nichtwasserlöslichen Füllgut verschlossen. Diese Stützsäulen werden nach den Regeln der Erdbautechnik eingebaut und verdichtet. Damit die Vertikallasten aus der mineralischen Abdichtung und der Asphaltfüllung ohne nennenswerte Setzungen der Stützsäulen aufgenommen werden können, muß das eingebaute Füllgut möglichst verformungsarm sein. Weiterhin ist ein Auslaufen des Füllgutes in die mit den Schächten verbundenen Grubenbaue zu verhindern. Daher müssen die an die Füllörter anschließenden Strecken auf eine bestimmte Länge kraftschlüssig verfüllt werden. Diese Abdämmungen werden auf der Grundlage statischer Berechnungen dimensioniert.

Damit beim Füllen des Grubengebäudes mit Wasser keine Erosion auftreten kann, werden in den Strecken zwischen dem im Grubengebäude verwendeten Versatz und der unter statischen Gesichtspunkten einzubringenden Verfüllung geeignete Kies-Sand-Filter angeordnet (Abbildungen 1 und 2).



4.3.2 Herstellung der Stützsäulen

Als Füllgut ist ein nichtbindiges Mineralgemisch vorgesehen. Die Korngrößenverteilung wird so gewählt, daß eine möglichst dichte Lagerung und hohe Scherfestigkeit erreicht wird. | 01

Die an die Verformbarkeit, Scherfestigkeit und Wasserdurchlässigkeit des Füllgutes zu stellenden Anforderungen werden durch gesonderte Untersuchungen festgelegt.

Der Einbau der Stützsäulen in den Schächten erfolgt lagenweise mit geeigneten Verdichtungsgeräten nach den Regeln der Erdbautechnik. Um die Setzungen aus den Auflasten der mineralischen Abdichtung und der Asphaltabdichtung auf ein Minimum zu begrenzen und Sackungen beim Anstieg des Wasserspiegels im Grubengebäude zu vermeiden, ist eine gute Verdichtung der Verfüllung erforderlich.

Die Verfüllung der Strecken im Bereich der Füllörter erfolgt auf den statisch erforderlichen Längen. Soweit möglich wird ein im Bergbau erprobtes Verfahren angewandt. Nachdem der reguläre Streckenversatz in den an die Füllörter anschließenden Strecken eingebracht ist, wird zunächst als Schutz gegen Erosion ein zweistufiger Kies-Sand-Filter eingebracht (Abb. 1 und 2). Die Verfüllung der Reststrecke bis zum Schacht erfolgt danach bis zu einer Höhe von ca. 2 m unter Streckenfirste nach den Regeln der Erdbautechnik. Das Schüttmaterial wird lagenweise eingebaut und verdichtet. Der obere Teil des Streckenquerschnitts kann am Streckenende beginnend abschnittsweise im Schleuderverfahren verfüllt werden. Um einen kraftschlüssigen Verbund mit dem Gebirge herzustellen, können die einzelnen Einbringabschnitte z. B. durch Horizontalstampfen nachverdichtet werden.



5 Inbetriebnahme

(entfällt)

6 Betrieb

(entfällt)

7 Qualitätssicherung

7.1 Qualitätssicherung für die Asphaltdichtung

7.1.1 Überprüfung des Asphalts sowie seiner Ausgangsstoffe

Die Überwachung des Asphalts und seiner Ausgangsstoffe geschieht durch die Qualitätsprüfungen, Eigenüberwachungsmaßnahmen sowie die Fremdüberwachungsmaßnahmen.

Qualitätsprüfungen sind Prüfungen zum Nachweis der Qualität der Baustoffe (Bitumen und Gesteinsmehlfüller) bzw. der Baustoffgemische (Asphalt) für den vorgesehenen Verwendungszweck. Die Zusammensetzung der Asphaltmischung wird festgelegt, zulässige Toleranzen werden ermittelt. Die Mischanweisung wird erstellt.

Der Nachweis der Qualität des Bitumens erfolgt durch Überprüfung der in Tabelle 1 genannten Eigenschaft (DIN 1995) und nach den in der Tabelle 1 genannten Prüfvorschriften.

Der Gesteinsmehlfüller erfüllt die Anforderungen der Güte- und Prüfbestimmungen "Kalksteinmehl für den Straßenbau RAL - RG 544/4". Die Qualitätsüberwachung des Füllers wird nach RG Min



Stb Anlage 2.1 (Tab. 2) genannten Prüfverfahren durchgeführt.

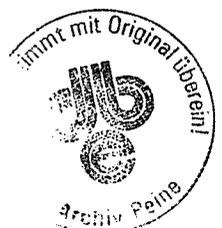
In der Qualitätsprüfung der Asphaltmischung werden in Anlehnung an die "Empfehlungen für die Ausführung von Asphaltarbeiten im Wasserbau" des Arbeitskreises 8b "Asphaltbauweisen" der Deutschen Gesellschaft für Erd- und Grundbau e.V. die in Tab. 3 genannten Prüfungen durchgeführt.

Durch Eigen- und Fremdüberwachungsaßnahmen werden Voraussetzungen geschaffen, die die Herstellung und Verarbeitung eines Asphaltes mit den von der Qualitätsprüfung geforderten Eigenschaften in gleichmäßiger Qualität sicherstellen. Auf der Basis der Prüfungen kann, falls erforderlich, bei Qualitätsabweichungen steuernd in den Herstellungs-bzw. Verarbeitungsprozeß des Asphalts eingegriffen werden.

In der Eigenüberwachung werden an jedem Produktionstag an drei verschiedene Asphaltmischungen die folgenden Untersuchungen durchgeführt:

- Kornverteilung Mineralstoffmischung nach DIN 1996 Teil 14
- Bindemittelgehalt nach DIN 1996 Teil 6
- Rohdichte nach DIN 1996 Teil 7
- Ermittlung der Viskosität mit dem Höppler-Konsistometer.

Die Prüfergebnisse der Eigenüberwachung müssen innerhalb der in der Qualitätsprüfung festgelegten Bandbreite liegen. Die Ergebnisse der Eigenüberwachung werden in einem Bautagebuch festge-



halten. Von jeder Tagesproduktion des Asphalts ist eine Rückstellprobe in der Menge zu entnehmen, so daß an ihr gegebenenfalls eine vollständige Eigenüberwachungsprüfung durchgeführt werden kann. Die Probe ist bei dem mit der Fremdüberwachung der Baustelle beauftragten Institut aufzubewahren.

Die Fremdüberwachung dient der Kontrolle der zur Sicherung der Asphaltqualität vorgesehenen Maßnahmen. Die Fremdüberwachung wird von einer unabhängigen mit der Überwachung von Asphaltarbeiten vertrauten Institution durchgeführt. Die Fremdüberwachung überprüft stichprobenartig die

- Aufzeichnungen des Bautagebuchs,
- Mischanweisung,
- Lieferscheine der Ausgangsstoffe,
- Beschaffenheit und Lagerung der Ausgangsstoffe,
- Beherrschung der Verfahren zur Probenahme und Prüfung durch das mit der Eigenüberwachung betraute Personal,
- Asphalteeigenschaften entsprechend den Eigenüberwachungsprüfungen.

Bei negativen Ergebnissen, die eine nicht ordnungsgemäße Beschaffenheit des Asphalts erwarten lassen, unterrichtet die Fremdüberwachung die Baustelle sowie die zuständige Aufsichtsbehörde und stimmt mit ihr weitere Maßnahmen ab.





7.1.3 Überprüfungen an der hydrostatischen Säule beim bzw. nach dem Einbau

Der Einbau der hydrostatischen Asphaltabdichtung in die Schächte erfolgt in Anlehnung an die Richtlinien des Landesoberbergamtes Nordrhein-Westfalen für das Verfüllen und Abdecken von Tageschächten. Die dort genannte Maßnahme hinsichtlich der vorbereitenden Arbeiten, Einbau, Überwachung, Sicherung der Tagesoberfläche werden beachtet.

Zusätzlich zu den in den Richtlinien genannten Überwachungen wird beim Einbau die Temperatur der Asphaltsäule mit verlorenen Temperaturmeßfühlern überwacht. Die Einbautemperatur der Asphaltsäule darf 100° C nicht überschreiten.

7.2 Qualitätssicherung für die mineralische Abdichtung und die darunter liegende Stützsäule

7.2.1 Mineralische Abdichtung und darunter liegende Stützsäule

Die Herstellung der anforderungsgerechten Materialien wird durch regelmäßige Probenahme und bodenmechanische Untersuchungen sowie Probeverdichtungen geprüft. Dazu werden sowohl über Tage als auch aus den im Schacht eingebauten Füllsäulen Proben entnommen, an denen geeignete Laborversuche zur Kontrolle der Materialzusammensetzung und -eigenschaften durchgeführt werden.

Die sachgerechte Ausführung wird überwacht und das Ergebnis wird überprüft. Dazu dienen Felduntersuchungen wie Sondierungen, Wassergehaltsbestimmungen, Ermittlung der Lagerungsdichte und Probenahmen etc.



7.2.2 Gebirge im Bereich der mineralischen Abdichtung

Die freigelegten Schachtwände werden fortlaufend mit der Aufweitung des Schachtes nach geotechnischen Gesichtspunkten kartiert. Dabei werden alle sichtbaren Trennflächen (Schicht- und Kluftflächen) maßstäblich abgezeichnet, ihre Raumstellungen eingemessen und ihre Beschaffenheit (z. B. Öffnungsweite, Rauhigkeit, Belege) erfaßt.

01

8 Vorschriften und Richtlinien

Bei der Planung und Ausführung kommen u.a. folgende Normen, Vorschriften und Empfehlungen in der jeweils gültigen Fassung zur Anwendung:

- DIN 1995 Bitumen und Steinkohlenteerpech, Anforderungen an die Bindemittel
- DIN 1996 Prüfung bituminöser Massen für den Straßenbau und verwandte Gebiete und Prüfung von Asphalt
- DIN 52004 Prüfung bituminöser Bindemittel; Bestimmung der Dichte und des Dichteverhältnisses
- DIN 52005 Prüfung bituminöser Bindemittel; Bestimmung der Asche
- DIN 52010 Prüfung bituminöser Bindemittel; Bestimmung der Nadelpenetration
- DIN 52011 Prüfung bituminöser Bindemittel; Bestimmung des Erweichungspunktes Ring und Kugel
- DIN 52012 Prüfung bituminöser Bindemittel; Bestimmung des Brechpunktes nach Fraaß
- DIN 52013 Prüfung bituminöser Bindemittel; Bestimmung der Duktilität

02



- DIN 52014 Prüfung bituminöser Bindemittel; Bestimmung des Gehaltes an unlöslichen Anteilen
- DIN 52015 Prüfung bituminöser Bindemittel; Bestimmung des Gehaltes an Paraffinen
- DIN 52016 Prüfung bituminöser Bindemittel; Thermische Beanspruchung im rotierenden Kolben und Bestimmung der Gewichtsänderung durch thermische Beanspruchung
- DIN 52025 Prüfung bituminöser Bindemittel; Bestimmung des Erweichungspunktes nach Kraemer-Sarnow
- DIN 18121 Bestimmung des Wassergehaltes
- DIN 18122 Bestimmung der Zustandsgrenzen
- DIN 18123 Bestimmung der Korngrößenverteilung
- DIN 18125 Bestimmung der Dichte von Böden
- DIN 18127 Proctorversuch
- DIN 18130 Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit von Bodenproben
- DIN 18134 Plattendruckversuch
- DIN 18137 Bestimmung der Scherfestigkeit von Bodenproben
- DIN 18551 Spritzbeton
- DIN 4125 Verpreßanker
- DIN 4093 Einpressen in den Untergrund
- Richtlinien für die Güteüberwachung von Mineralstoffen im Straßenbau, RG Min-StB 83
- Güte- und Prüfbestimmungen "Kalksteinmehl für den Straßenbau RAL-RG 544/4"

102

102



- "Empfehlungen für die Ausführung von Asphaltarbeiten im Wasserbau" des Arbeitskreises 8b Asphaltbauweise der Deutschen Gesellschaft für Erd- und Grundbau e.V.
- ZTVE Zusätzliche technische Vorschriften und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau
- Technische Lieferbedingungen für Gleisschotter, Deutsche Bundesbahn, TS 918 61, November 1993 | 02
- Empfehlungen des Arbeitskreises 19 - Versuchstechnik Fels - der Deutschen Gesellschaft für Erd- und Grundbau
- Suggested Methodes for Laboratory Testing of Argillaceous Swelling Rocks, International Society of Rock Mechanics
- Richtlinien für das Verfüllen und Abdecken von Tagesschächten des Landesoberbergamtes Nordrhein-Westfalen



9 Literaturverzeichnis

/1/ Sicherheitskriterien für die Endlagerung radioaktiver Abfälle in einem Bergwerk. - Bundesanzeiger, Jahrgang 35, Nr. 2; 05.01.1983.

/2/ entfällt

/3/ entfällt

/4/ entfällt

/5/ entfällt

/6/ entfällt

/7/ entfällt

/8/ entfällt

/9/ DIN 1925: Bituminöse Bindemittel für den Straßenbau; Probenahme und Beschaffenheit

/10/ entfällt

/11/ [REDACTED] Bitumen - Möglichkeiten für Berechnungen in der Praxis - Deutsche Shell AG; Hamburg.

/12/ entfällt

/13/ entfällt

/14/ entfällt

/15/ entfällt

/16/ Müller-Vonmoos, M. und Loken, T.: Das Scherverhalten der Tonne; in: Mitteilungen des IGB der ETH-Zürich, Nr. 133, 1988.

02

02

02

01



- /17/ Grundbau-Taschenbuch, Teil 1, 4. Auflage, Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften, Berlin 1990.
- /18/ Empfehlungen des Arbeitsausschusses "Ufereinfassungen", Häfen und Wasserstraßen, EAU 1990, Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften, Berlin, 1990.
- /19/ Bucher, F. und Spiegel, U.: Quelldruck von hochverdichteten Bentoniten, Technischer Bericht 84-18 der Nagra, IGB der ETH Zürich, Dezember 1984.
- /20/ entfällt
- /21/ Pusch, R. et al.: Final Report of the Borehole, Shaft and Tunnel Sealing Test - Vol. II: Shaft plugging, Technical Report 87-26 Nagra, Jan. 1987.

01

02



ANEANG A

044



Lfd. Nr.	Anforderungen an Straßenbaubitumen								Prüfung nach DIN	
		9300	B200	980	B65	B45	B25	915		
1	Nadelpenetration (100 g, 5 s, 25 °C)	250 bis 320	160 bis 210	70 bis 100	50 bis 70	35 bis 50	20 bis 30	10 bis 20	52010	
2	Erweichungspunkt ¹⁾ Ring und Kugel	27 bis 37	37 bis 44	44 bis 49	49 bis 54	54 bis 59	59 bis 67	67 bis 72	52011	
3	Brechpunkt nach Fraaß	höchstens	27	37	44	49	54	59	67	52012
4	Asche	höchstens	-20	-15	-10	-8	-6	-2	+3	52005
5	Trichlorethen- oder Tetrachlorkohlenstoff-Unlösliches abzüglich Asche	höchstens	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	52014, 52005
6	Cyclonexan-Unlösliches abzüglich Asche	höchstens	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	52014, 52005
7	Duktilität bei 15 °C	mindestens	100	-	-	-	-	-	-	52013
	bei 25 °C	mindestens	-	100	100	100	40	15	5	
8	Paraffin	höchstens	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	52015
9	Dichte bei 25 °C	mindestens	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	52004
10	Gewichtsänderung durch thermische Beanspruchung: relative Gewichtsabnahme	höchstens	2,5	2,0	1,5	1,0	1,0	1,0	1,0	52016
11	Anstieg des Erweichungspunktes Ring und Kugel nach thermischer Beanspruchung	höchstens	10	10	10	10	10	8	8	52016, 52011
12	Brechpunkt nach thermischer Beanspruchung	höchstens	-15	-10	-8	-6	-5	±0	+5	52016, 52012
13	Verminderung der Nadelpenetration nach thermischer Beanspruchung	höchstens	60	60	80	60	60	50	40	52016, 52010
14	Duktilität nach thermischer Beanspruchung bei 15 °C	mindestens	50	-	-	-	-	-	-	52016
	bei 25 °C	mindestens	-	50	50	50	15	5	2	52013
1)	Hinweis: Entsprechend Erweichungspunkt nach Kraemer-Sarnow	27 bis 24	37 bis 30	44 bis 35	49 bis 40	54 bis 45	59 bis 53	67 bis 58	72 bis 58	52025
2)	Hinweis: Bitumen, deren Aschegehalt höher ist, dürfen mit besonderem Hinweis angeboten werden.									

02

Tab. 1: Anforderungen an Normenbitumen (DIN 1995)



Lfd. Nr.	Prüfgegenstand	Prüfverfahren	FREMDFÜLLER			EIGENFÜLLER ¹⁾		
			Eignungsnachweis	Güteüberwachung E F		Eignungsnachweis	Güteüberwachung E F	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Herkunft bzw. Gewinnungsstätte und Aufbereitung	TP Min-StB Teil 2.1	+	-	●	+	-	●
2	Äußere Beschaffenheit	TP Min-StB Teil 3.1.3 ohne Prüfmittel Mikrosk. Betrachtung	+	****	●	+	****	●
			+	-	●	+	-	●
3	Überprüfung der Eigenüberwachung		+	-	●	+	-	●
4	Korngrößenverteilung	TP Min-StB Teil 6.3.1/2/3.1 und 6.3.3.2 Überkorn > 0,09 mm Sieblinie Anteil < 0,09 mm	+	***	●	-	-	-
			+	-	●	+	-	●
			-	-	-	+	***	●
5	Rohdichte	TP Min-StB Teil 3.2.3	+	-	●	+	-	●
6	Rigden-Hohlraum	TP Min-StB Teil 3.8.3	+	** ²⁾	●	+	** ²⁾	●
7	Versteifende Eigenschaften	TP Min-StB Teil 3.7.3 Stabilisierungsindex Erweichungspunkterhöhung 65/35	+	-	○	+	-	○
			+ ¹⁾	-	●	+ ¹⁾	-	●
8	Organische Bestandteile	TP Min-StB Teil 6.6.3	+	**	○	-	-	-
9	Wasserlösliche Anteile	TP Min-StB Teil 4.6.3.1	+	-	○ ³⁾	+	-	○ ³⁾
10	Wasserempfindlichkeit	TP Min-StB Teil 4.6.3.2	+	-	●	+	-	●

E = Eigenüberwachung: ●●● täglich
●●● wöchentlich
●● monatlich

F = Fremdüberwachung: ● zweimal im Jahre
● bei wesentlichen Veränderungen
○ alle zwei Jahre

¹⁾ aus graphischer Auftragung gemäß Abschnitt 6.1
²⁾ nötigenfalls mit der Rohdichte der letzten Fremdüberwachung

³⁾ bei Füllern aus Naturgestein, sonst u. U. häufiger
⁴⁾ die Güteüberwachung des Eigenfüllers erfolgt im Rahmen der Sandüberwachung (s. auch Ziffer 3 der TL-Füller

+ Prüfung erforderlich
- keine Prüfung erforderlich

Tab. 2: Prüfungen für die Güteüberwachung von Gesteinsmehlfüllern (Richtlinien für die Güteüberwachung von Mineralstoffen im Straßenbau RG Min-StB)



Kornverteilung der Mineralstoffmischung	DIN 1996 Teil 14
Bindemittelgehalt	DIN 1996 Teil 6
Dichte der Probekörper	DIN 1996 Teil 7
berechneter Hohlraumgehalt	DIN 1996 Teil 7
Quellversuch	DIN 1996 Teil 9
Viskosität	Höppler-Konsistometer

02

Tab. 3: Qualitätsprüfung der Asphaltmischung



Materialkennwerte

Wert	Einheit	trocken	gesättigt
Rho _s	g/cm ³	2.65	
Rho	g/cm ³	2.17	
Rho _d	g/cm ³	>2.15	
w	%	<1	8
n	%	<18	
k	m/s		<5*10 ⁻¹¹ m/s
c _u	KN/m ²	0	50
Phi	Grad	42	36
E _s	KN/m ²	40000	40000
CBR	%	108	100

Tab. 4: Materialkennwerte der mineralischen Trockenmischung

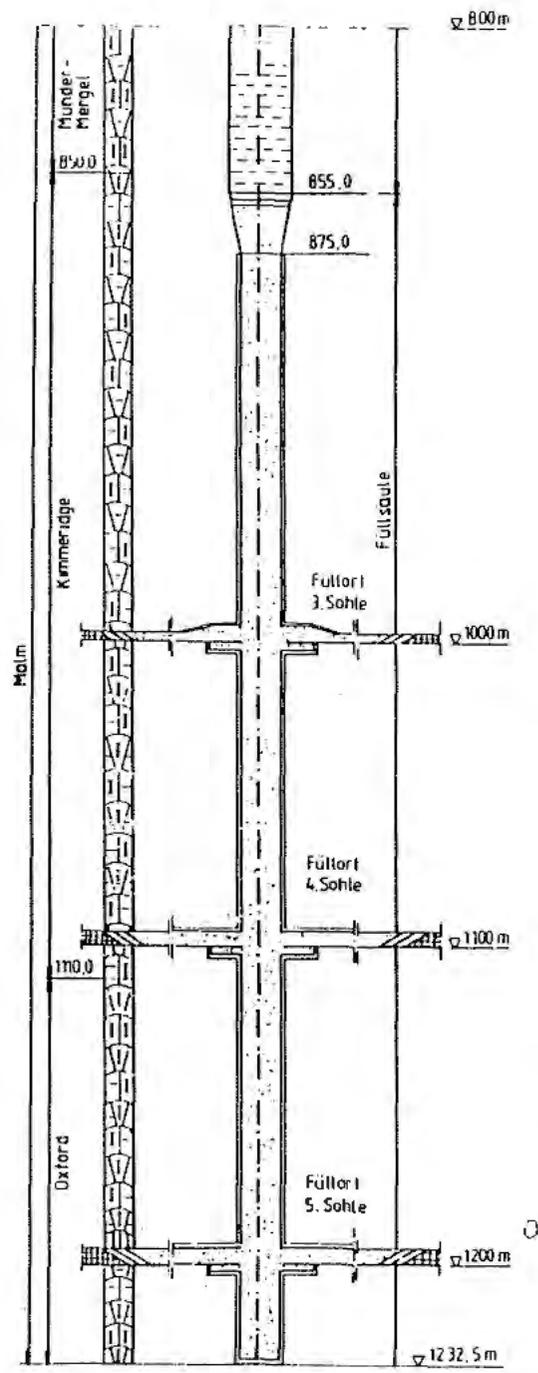
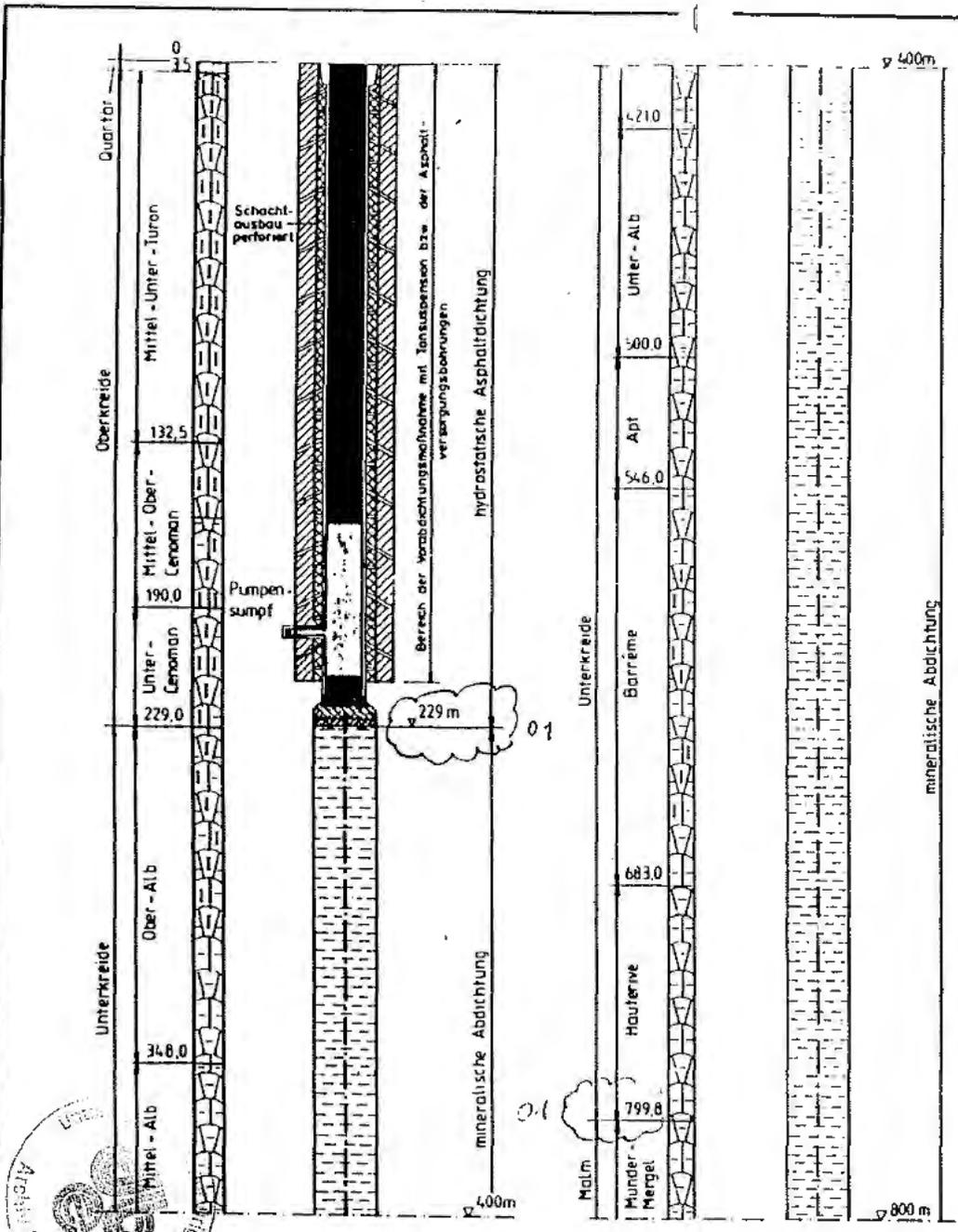
02



049

ANEANG B





- LEGENDE**
- Kies und Sande
 - Kalkstein
 - Mergelstein
 - Tonstein, feinsandig
 - Tonstein
 - hochviskoser Asphalt
 - niedrigviskoser Asphalt
 - Sandasphalt
 - Gußasphalt
 - mineralische Abdichtung
 - Füllsäule
 - Streckenversatz
 - 2-schichtiger Filter

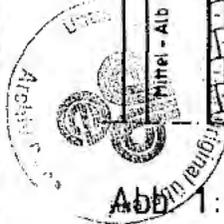


Abb. 1: Verfüllschema Schacht Konrad 1

LEGENDE

-  Kies und Sande
-  Kalkstein
-  Mergelstein
-  Tonstein, feinsandig
-  Tonstein
-  hochviskoser Asphalt
-  niedrigviskoser Asphalt
-  Sandasphalt
-  Gußasphalt
-  mineralische Abdichtung
-  Füllsaule
-  Streckenversatz
-  2-schichtiger Filter

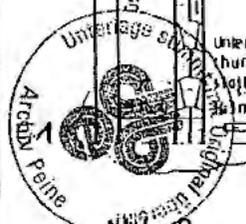
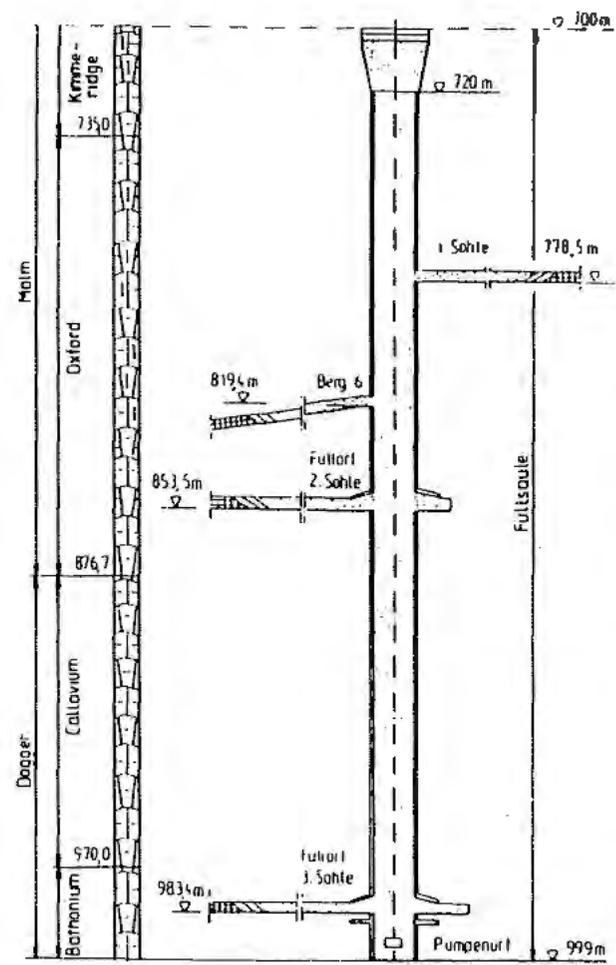
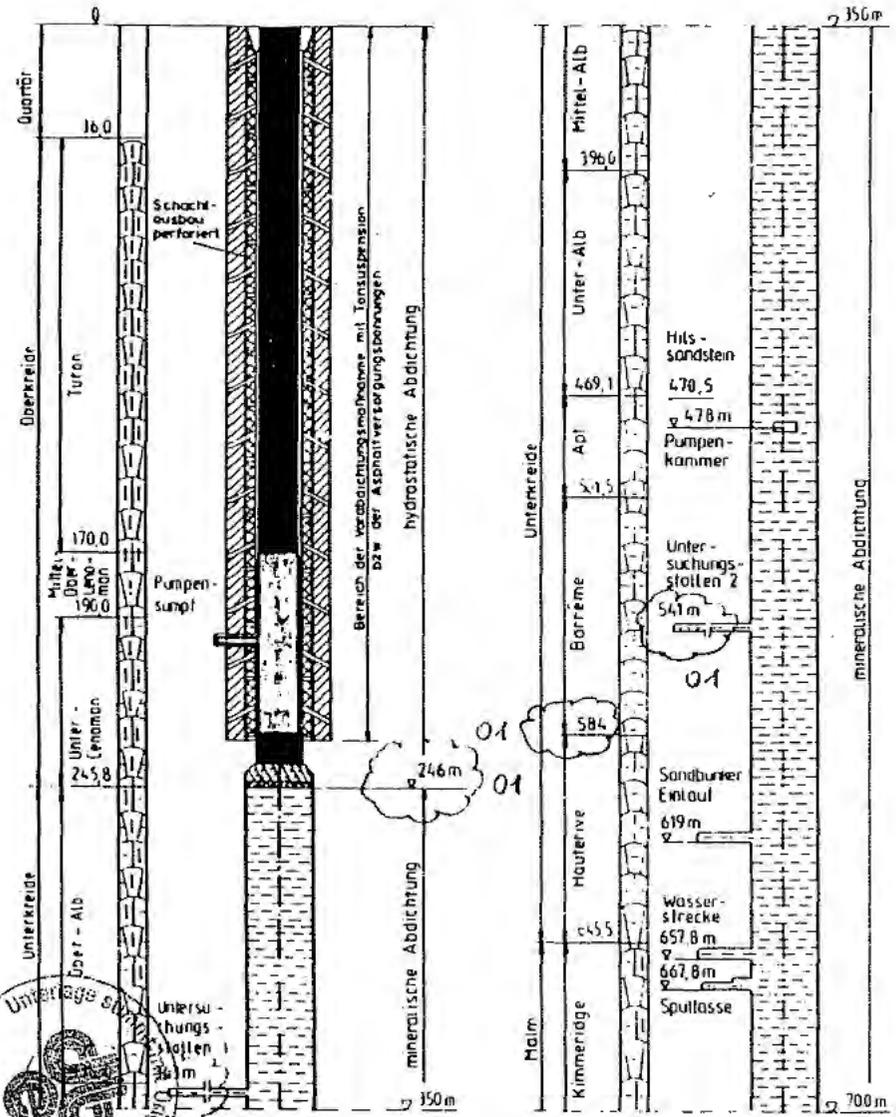


Abb. 2: Verfüllschema Schacht Konrad 2

151

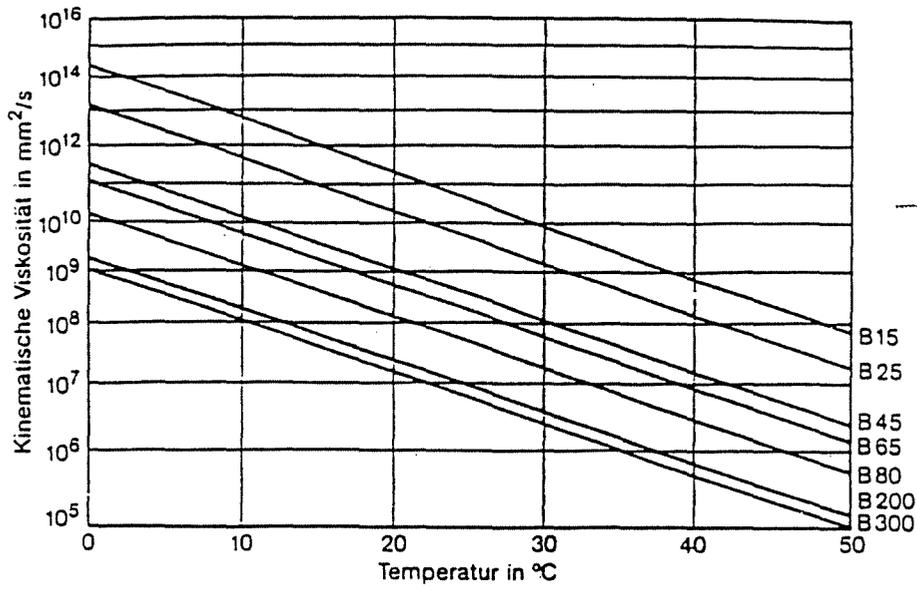


Abb. 3: Die kinematische Viskosität von Normenbitumen nach DIN 1995 in Abhängigkeit von der Temperatur / 5/.

02

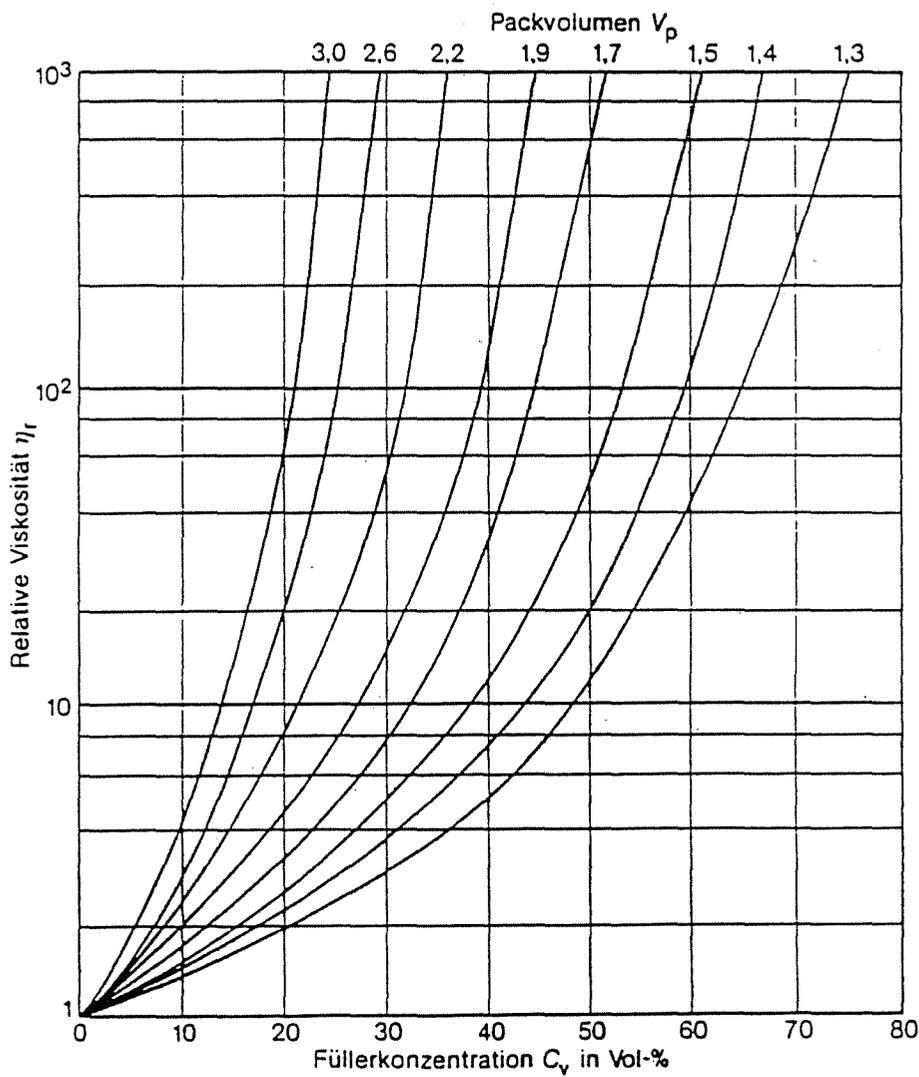


Abb. 4: Die relative Viskosität η_r von gefüllterem Bitumen bei bekanntem Packvolumen V_p und Füllerkonzentration C_v .



SPALTSTRÖMUNG BITUMEN / ASPHALT

Kluftweite 0,1 mm, Tiefe 209 m bis 226 m

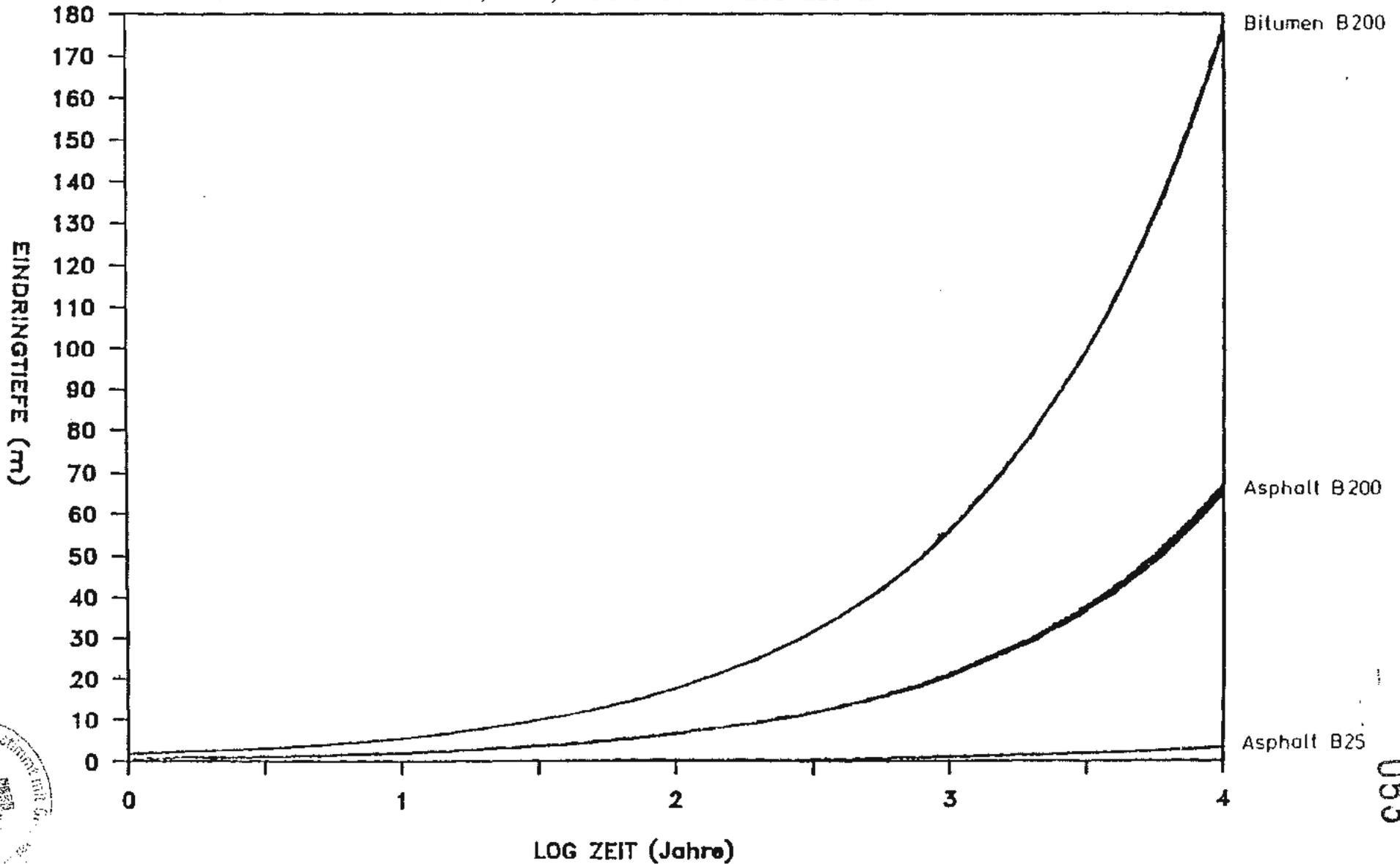
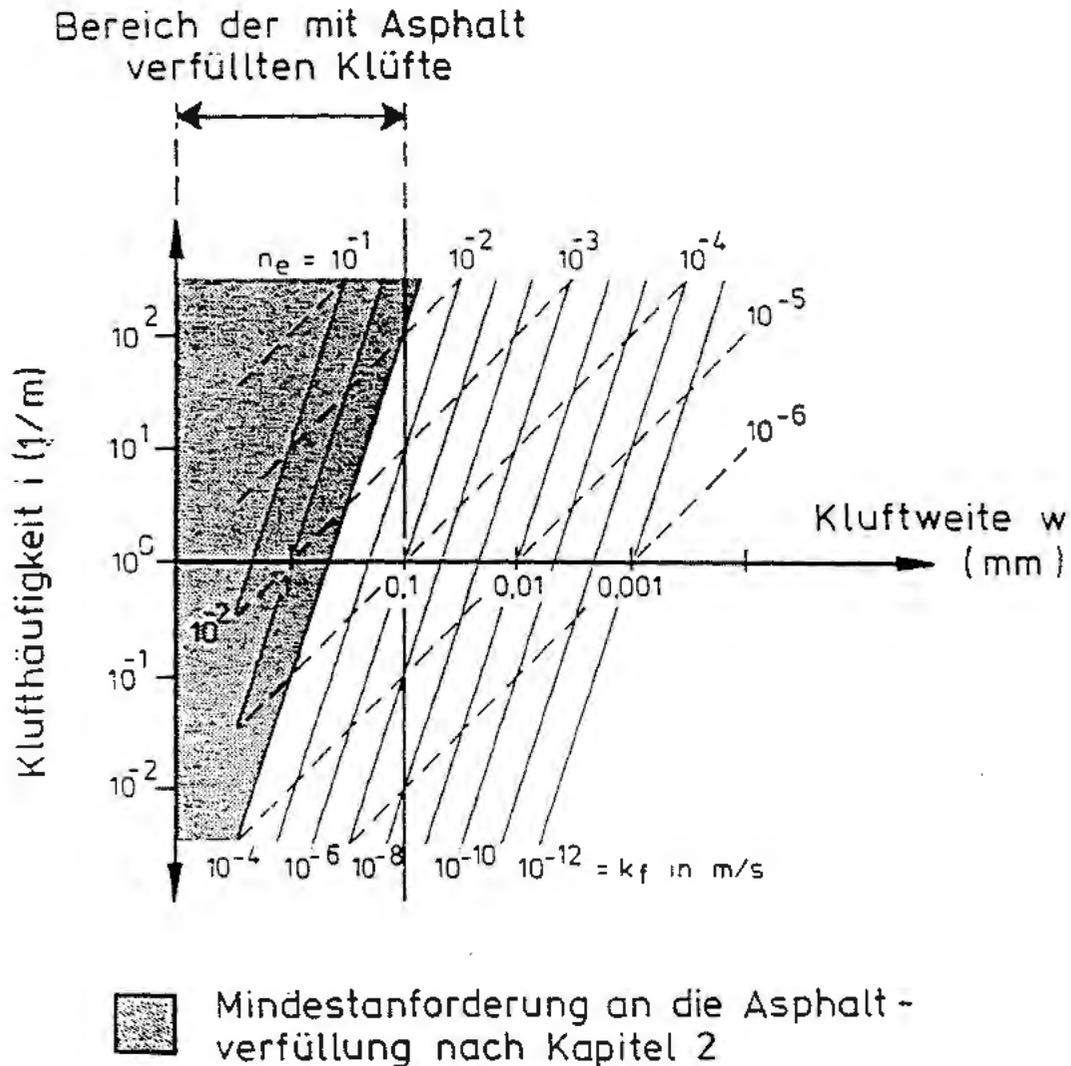


Abb. 5: Spaltströmung Bitumen / Asphalt
Kluftweite 0,1 mm, Tiefe ca. 209 m bis 226 m



053



Porosität n_e und Durchlässigkeit k_f eines Gesteins mit parallelen Feinklüften der Klufthäufigkeit i (1/m) und Kluftweite w (m)

Abb. 6 : Parallelklufsystem und hydraulisch äquivalenter homogener Porenwasserleiter: Zuordnung von Kluftweite, Klufthäufigkeit zu Porosität, Durchlässigkeit

$\text{m}^3 \text{ Asphalt} / 1000 \text{ m}^2 \text{ Schachtwand}$

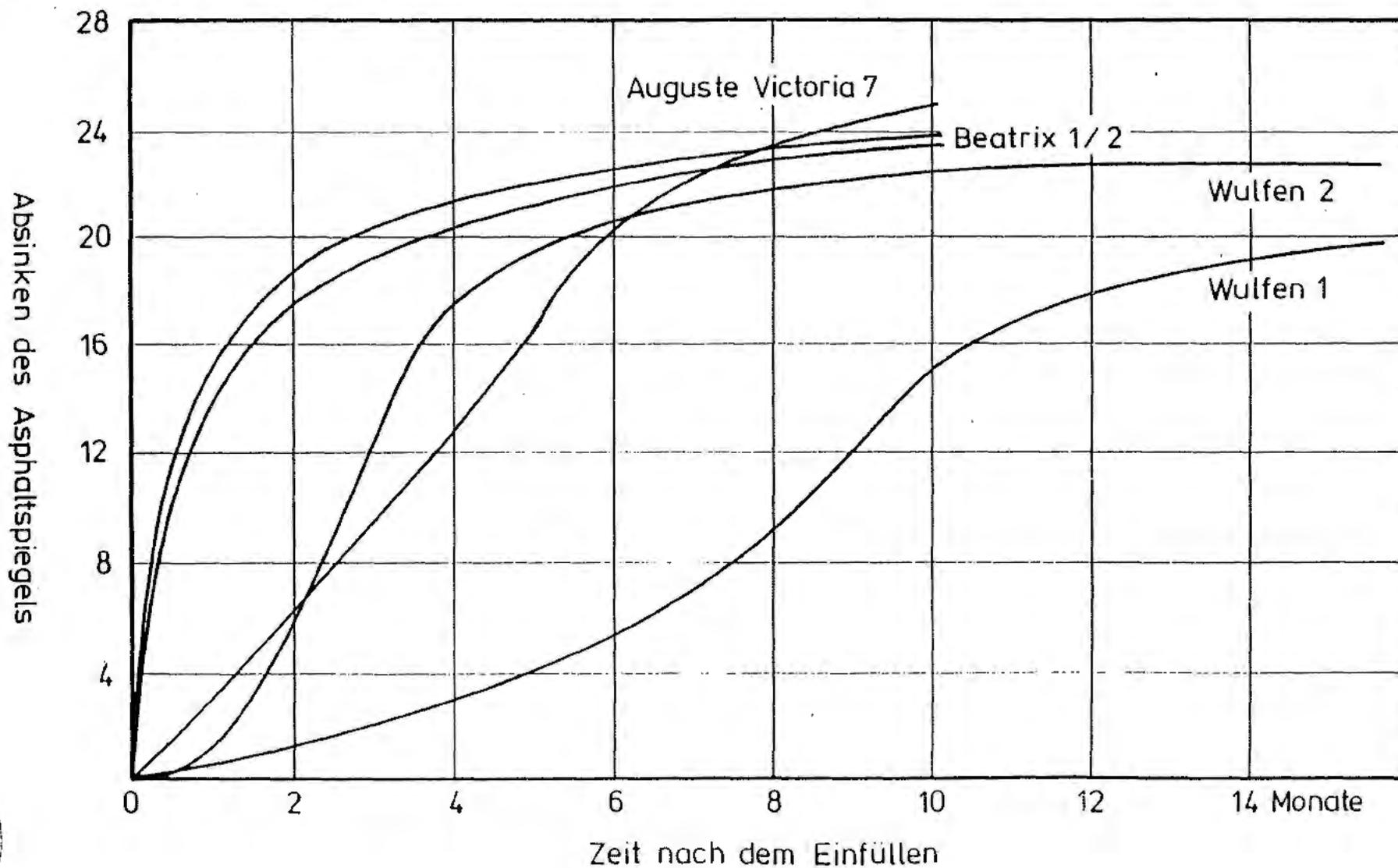
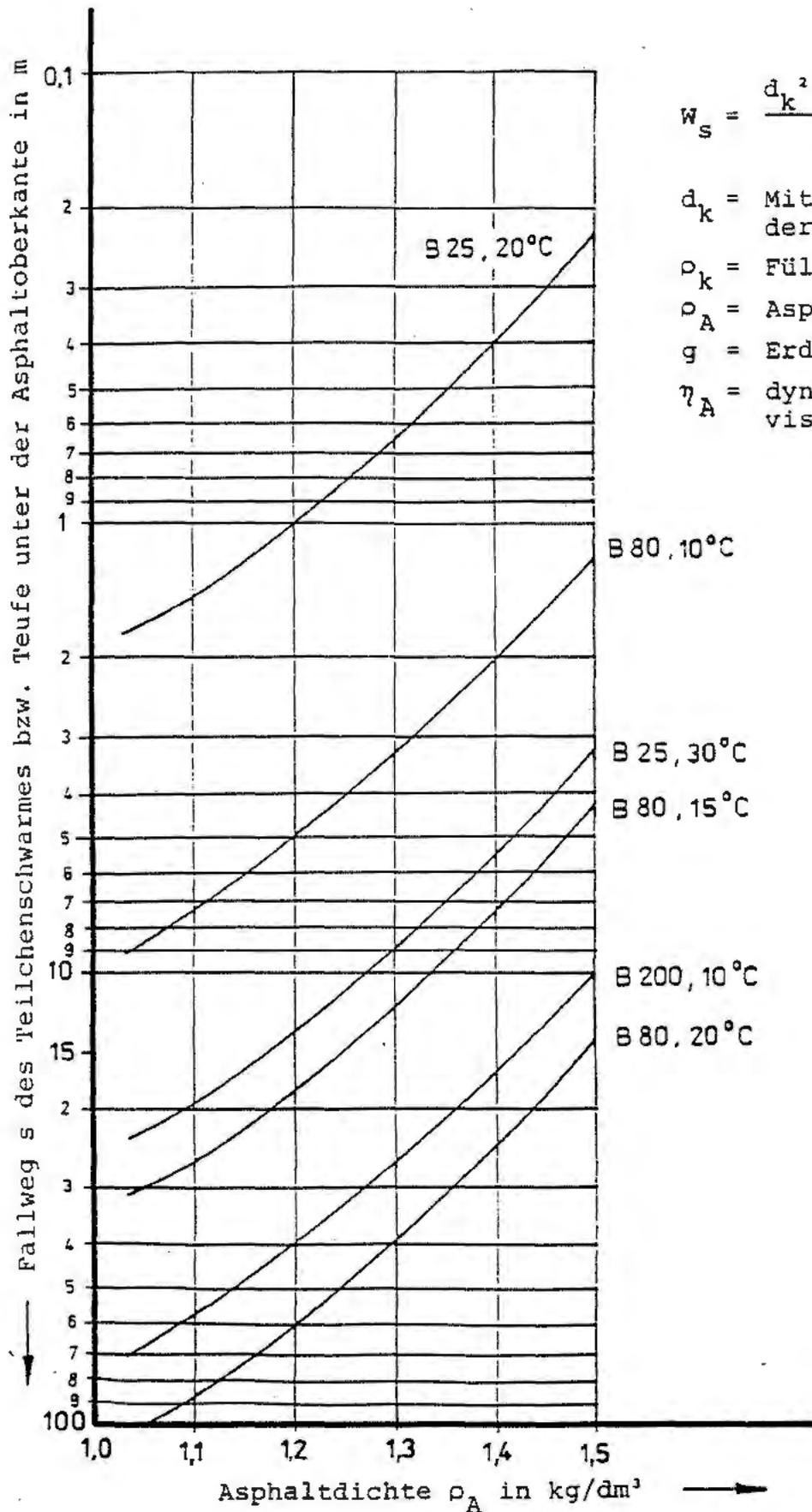


Abb. 7: Absinken des Asphaltspiegels in Gleitschächten / 11/.



$$W_s = \frac{d_k^2 (\rho_k - \rho_A) \cdot g}{18 \cdot \eta_A}$$

d_k = Mittlerer Durchmesser der Füllerteilchen

ρ_k = Füllerdichte

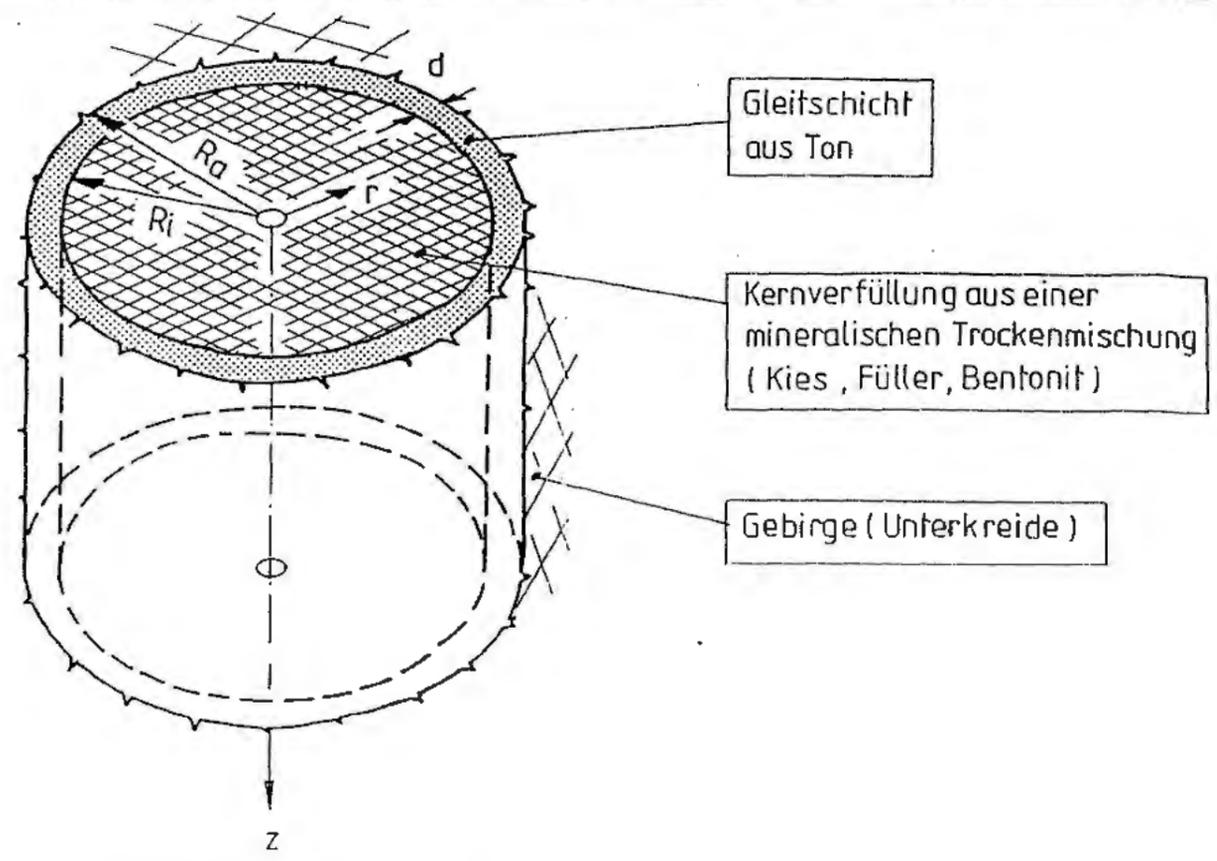
ρ_A = Asphaltdichte

g = Erdbeschleunigung

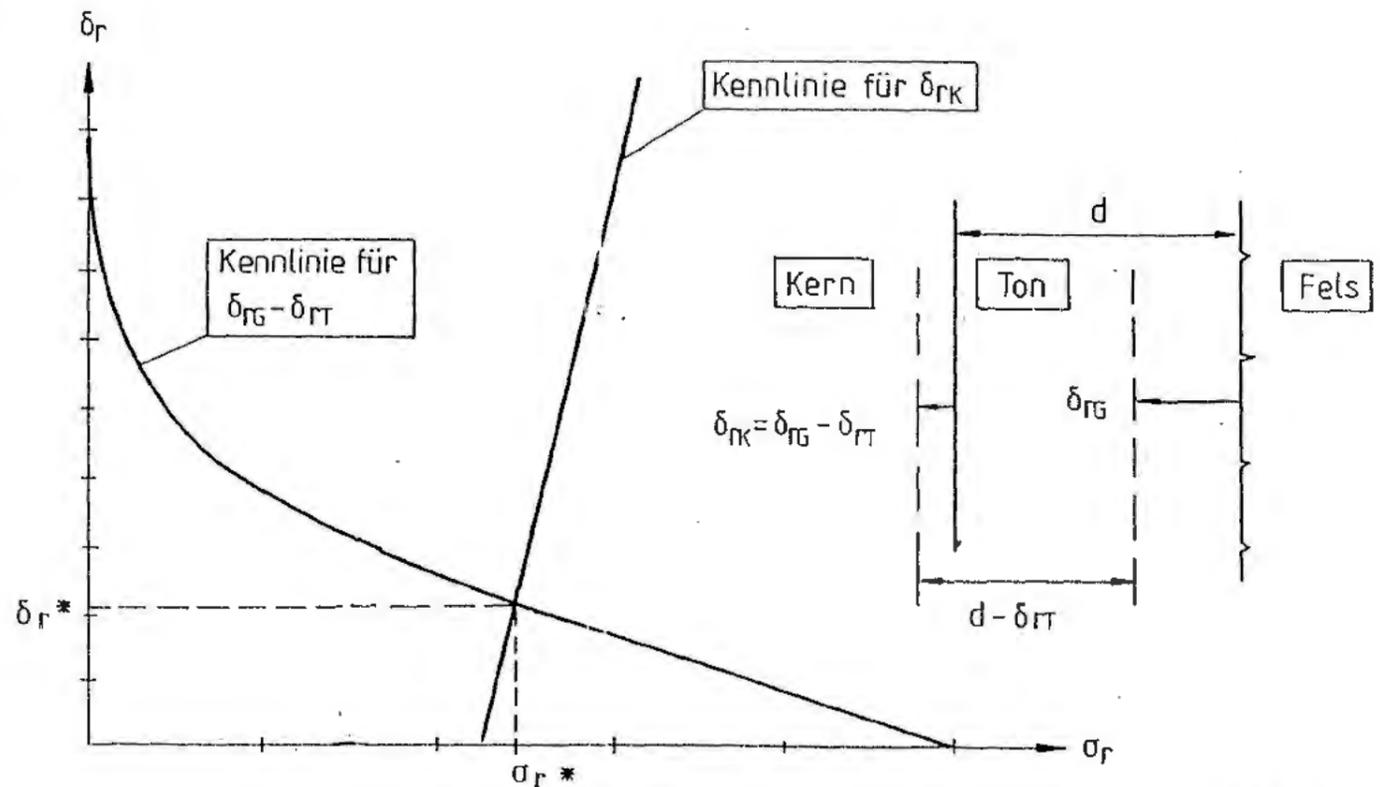
η_A = dynamische Asphaltviskosität

Abb. 8 : Sedimentation von Kalksteinmehl in verschiedenen Bitumensorten bei Lagerungszeiten von 100 000 Jahren

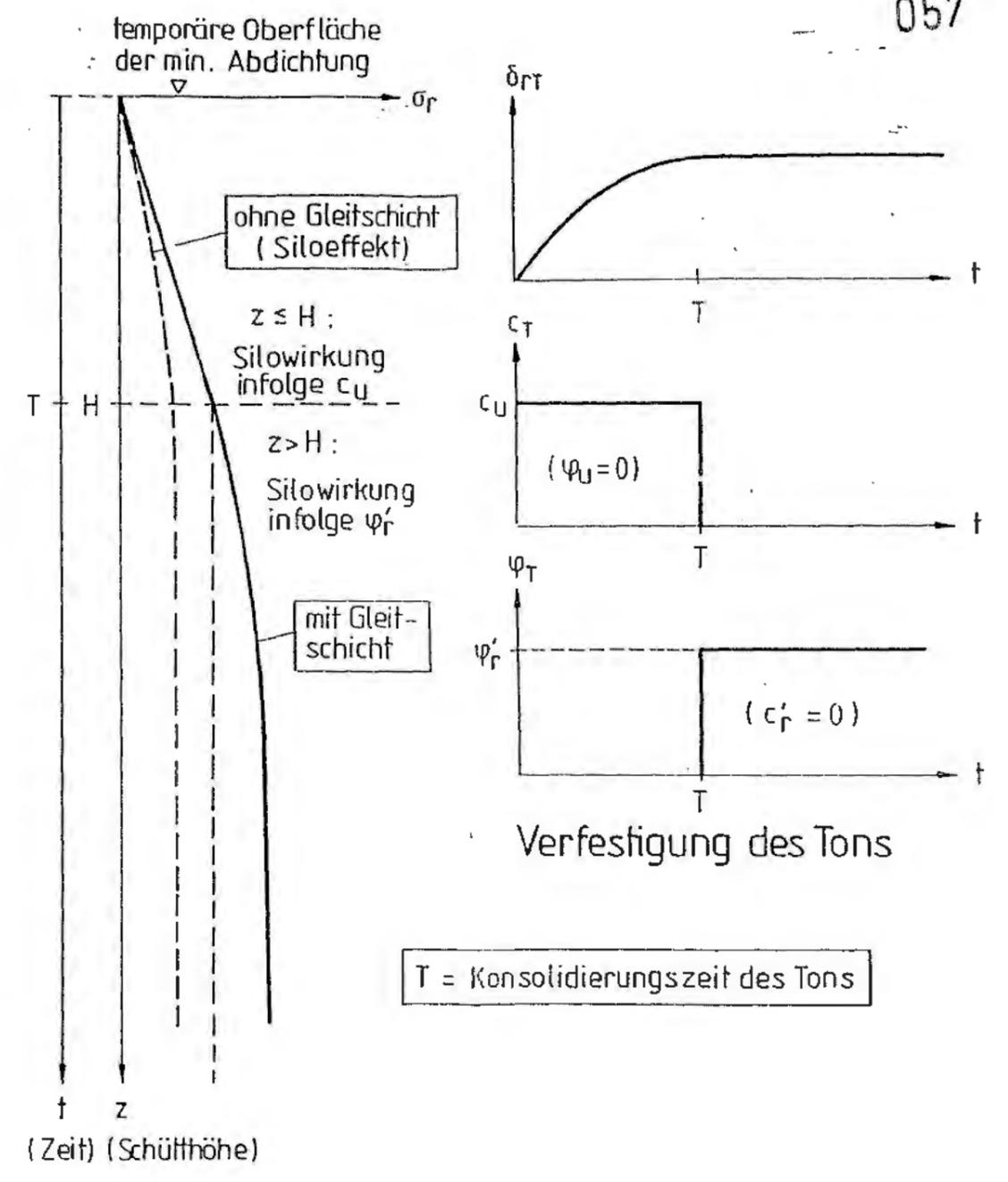




Verfüllter Schacht



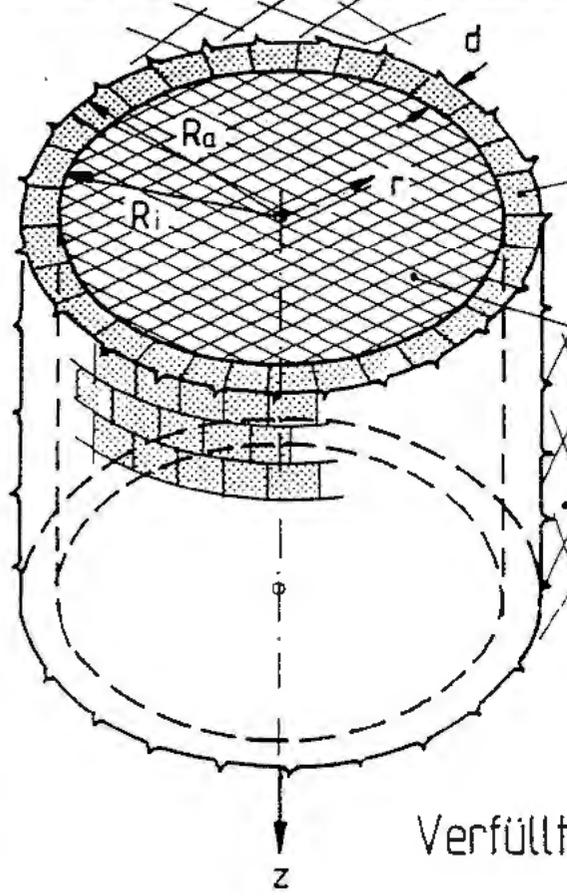
Wechselwirkung zwischen Kernverfüllung, Gleitschicht und Gebirge



Wirkungsweise der Gleitschicht aus Ton

Abb. 9 : Mineralische Abdichtung - Variante A - Konzept und Wirkungsweise



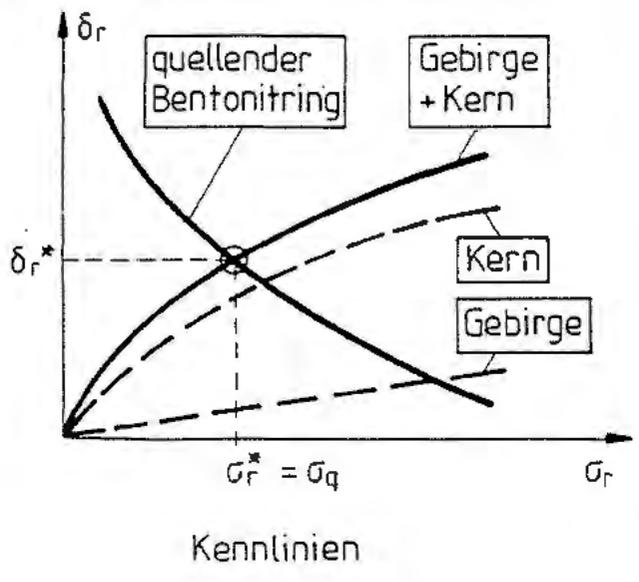
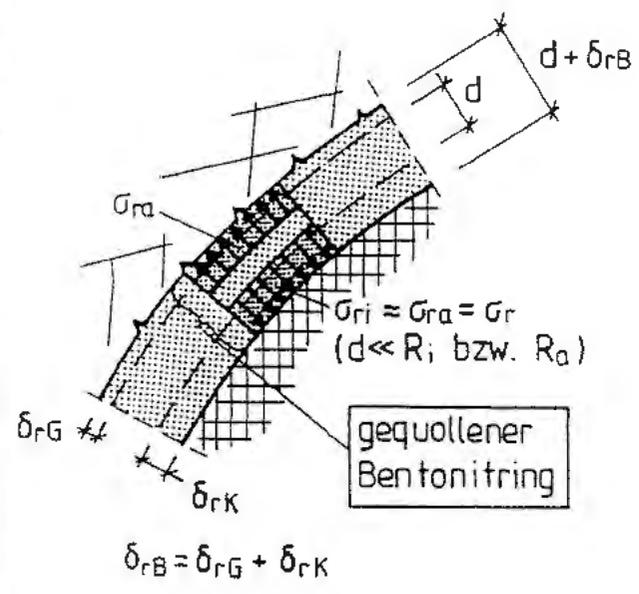


Ring aus hochverdichtetem Bentonit

Kernverfüllung aus einer mineralischen Trockenmischung (Kies, Füller, Bentonit)

Gebirge (Unterkreide)

Verfüllter Schacht



Wechselwirkung zwischen quellendem Bentonitring, Gebirge und Kernverfüllung

Abb. 10 : Mineralische Abdichtung - Variante B - Konzept und Wirkungsweise

