

**Eignungsprüfung für Tone der
Estheriensichten;
Tongrube Würnsreuth**

Az. GI 9300781

08.02.1994

Auftraggeber: Fa. Zapf KG
Betonwerk
Postfach 101254
W-95440 Bayreuth

Projekt: Eignungsprüfung für Tone der Estheriensichten

Ihre Zeichen: -

Unsere Zeichen: GI TS/dö

Az.: GI 9300781

Sachbearbeiter: Dipl.-Geol. Th.Struller

Telefon Nr.: 0911/6555-530
-580

Nürnberg, den 08.02.1994

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1 Vorgang	1
2 Geotechnische Versuche	1
2.1 Bestimmung der Zustandsgrenzen	1
2.2 Wasseraufnahme nach Enslin - Neff	2
2.3 Kompressionsversuch	2
2.4 Direkter Scherversuch	2
2.5 Einaxialer Druckversuch	3
2.6 Durchlässigkeitsversuche	3
2.1.2 Versuchsaufbau	4
2.7 Prüfung der Durchlässigkeit des Tons mit Prüfflüssigkeiten gemäß GDA-Empfehlung	4
2.7.1 Versuchsdurchführung	5
2.7.2 Ergebnisse der Durchlässigkeitsprüfung mit vier Prüfflüssigkeiten ..	6
3 Tonmineralogie	6
3.1 Mineralogische Zusammensetzung	7
4 Folgerungen	8
4.1 Geotechnik	8
4.2 Tonmineralogie	9
5 Zusammenfassung	9

1 Vorgang

Die Firma Zapf KG beauftragte die Abteilung Ingenieurgeologie der LGA am 22.01.1993, die Eignung des Tonmaterials der Tongrube Würnsreuth als Deponiedichtungsmaterial zu beurteilen. Die Untersuchungen sollten eine schon durchgeführte Eignungsprüfung (AZ: 18915694) so ergänzen, daß alle Punkte der Empfehlung des Arbeitskreises für Deponien und Altlasten (2. Auflage Mai 1993) berücksichtigt sind. Weitere Untersuchungen vor Ort und im Labor sollten klären, ob eine Veränderung der Tonaufbereitung eine Verringerung der Durchlässigkeit ergibt.

2 Geotechnische Versuche

2.1 Bestimmung der Zustandsgrenzen

Die Bestimmung der Zustandsgrenzen umfaßt die Ermittlung der Wassergehalte an den Atterbergschen Zustandsgrenzen, den Wassergehalt an der Fließgrenze (w_l) und den Wassergehalt an der Ausrollgrenze (w_p).

Die Differenz zwischen Wassergehalt an der Fließ- und Ausrollgrenze wird als Plastizitätszahl I_p bezeichnet. Der Vergleich des natürlichen Wassergehalts eines bindigen Bodens mit seiner Ausroll- und Fließgrenze erfolgt durch die Konsistenzzahl I_c .

Konsistenzzahl I_c und Plastizitätszahl I_p kennzeichnen den Tonstein von Würnsreuth als mittelplastischen Ton.

Die Versuchsergebnisse im einzelnen:

$$\begin{array}{ll} w_l = 39,2 \% & I_p = 17,2 \\ w_p = 22,0 \% & I_c = 0,405 \end{array}$$

2.2 Wasseraufnahme nach Enslin - Neff

Der Versuch nach Enslin - Neff soll die Aufnahmefähigkeit für destilliertes Wasser für ein Bodenmaterial in Prozent ermitteln. Dazu wird 1g getrocknetes Bodenmaterial im Enslin - Gerät mit Wasser beaufschlagt. Nach 8 Minuten wird die Menge des verbrauchten Wassers ermittelt und die Aufnahmefähigkeit in % errechnet.

Die Wasseraufnahmefähigkeit des gemahlene Tonsteins beträgt zwischen 68,5 und 70% Das entspricht der Wasseraufnahmefähigkeit mittelplastischer Tone.

2.3 Kompressionsversuch

Der Kompressionsversuch dient der Ermittlung des bodenspezifischen Steifemoduls. Hierzu wird der Ton in ein Kompressionsgerät nach Schultze / Muhs eingebaut und über die Zeit mit mehreren Laststufen bis zur jeweiligen Konsolidation belastet. Die Ergebnisse werden in ein Spannungs / Stauchungs - Diagramm eingetragen und über den jeweiligen Sekantenmodul in ein Spannungs / Steifemodul - Diagramm umgerechnet und eingetragen (Anlage 3). Daraus können die jeweiligen Steifemodule E_s für bestimmte Laststufen σ angegeben werden. Die Steifemodule E_s betragen für:

$$\sigma (50 \text{ kN/m}^2) = 6,6 \text{ MN/m}^2$$

$$\sigma (150 \text{ kN/m}^2) = 11 \text{ MN/m}^2$$

$$\sigma (250 \text{ kN/m}^2) = 13,3 \text{ MN/m}^2$$

Die Steifemodule entsprechen Erfahrungswerten für stark bindige, steifplastische Böden.

2.4 Direkter Scherversuch

Die Scherfestigkeit τ_f ist der größte Widerstand, den ein Boden einer Scherbeanspruchung entgegensetzen vermag. Sie ist abhängig von der wirksamen Normalspannung σ' , von der Beschaffenheit der Bodenteilchen, von der Phasenzusammensetzung und der Struktur des Bodens. Die Scherfestigkeit setzt sich aus einem Reibungs- und einen Kohäsionsanteil zusammen. Aus dem Versuch resultiert ein Normalspannungs / Scherspannungsdiagramm. Daraus ergibt sich für den Tonstein ein Winkel der inneren Reibung von $\varphi' = 33,9$ und eine Kohäsion $c' = 40 \text{ kN/m}^2$.

2.5 Einaxialer Druckversuch

Die einaxiale Druckfestigkeit q_u ist die Druckfestigkeit von Bodenproben bei ungehinderter Seitenausdehnung. Hierzu wird eine zylindrische Probe mit einem Durchmesser von 5 cm und einer Höhe von 9 cm in der Längsachse mit konstantem Vorschub bis zur Bruchlast belastet. Die Bruchlast wurde bei dem vorliegenden Material bei 240 N erreicht (Anlage 3). Daraus errechnet sich die einaxiale Druckfestigkeit q_u von 118 kN/m². Dieser Wert entspricht einem halbfesten Ton.

2.6 Durchlässigkeitsversuche

Die Durchlässigkeit von bindigen Böden wird von zwei Faktoren entscheidend beeinflusst:

1. von der Verdichtungsfähigkeit des Bodenmaterials und
2. von der Höhe des Feinanteils unter 0,002 mm, der Tonfraktion;

Als Tone werden in der Geotechnik Boden- oder Kornaggregate unter 0,002 mm Korndurchmesser verstanden. Die Kornverteilung für geotechnische Fragestellungen wird gemäß DIN 18123 durch Siebung ohne Aufbereitung des Bodens bestimmt. Für den Tonstein der Grube Würnsreuth ergibt sich daraus das als Anlage 1 beiliegende Körnungsband. Der Feinanteil (Tonfraktion) unter 0,002 mm beträgt ca. 8 - 12 %. Tongesteine bestehen aus einem hohen Anteil an Tonmineralen, die in unterschiedlich großen Aggregaten (Grobkornfraktion) gebunden sind. Nur ein geringer Teil der Tonminerale liegt als siebbarer Feinanteil < 0,002 mm vor. Der ermittelte Feinanteil des Körnungsbands gibt somit nicht den wirklichen Tonmineralgehalt des Tonsteins wieder. Zur Bestimmung der Tonminerale ist eine vollständige Lösung der unterschiedlichen Aggregate durch z.B. Monochloressigsäure und H₂O₂ im Ultraschallbad notwendig. Durch die Aufbereitung ergibt sich, daß der Tonmineralgehalt in den Tonsteinen von Würnsreuth bei ca. 90 % liegt und damit der Grenzwert der TA - Abfall (10 % Tonmineralgehalt) um ein Vielfaches übertroffen wird.

In einer Versuchsreihe wurde der Anteil der siebbaren Tonfraktion von 8,9 % (natürlicher Gehalt) auf 22,4 % und 27,4 % der Gesamtmasse eingestellt. Es sollte geklärt werden, ob durch diese Maßnahme die Durchlässigkeit des Tonmaterials entscheidend abnimmt.

2.1.2 Versuchsaufbau

Das natürliche und aufbereitete Tonmaterial wurde mit Proctorenergie in eine Triaxialzelle eingebaut (Anlage 6). Das hydraulische Gefälle lag konstant bei $i = 30$. Die ermittelten Durchlässigkeiten sind in der folgenden Tabelle 1 dargestellt, der zeitliche Verlauf der Durchlässigkeit in Anlage 2.1.

Anteil der Tonfraktion	Durchlässigkeit
8,9 %	$4,5 \times 10^{-11}$
22,4 %	$5,8 \times 10^{-11}$
27,4 %	$3,8 \times 10^{-11}$

Tabelle 1 zeigt, daß die ermittelten Durchlässigkeitsbeiwerte für die stark differierenden Feinanteile bei übereinstimmenden Einbaukriterien nahezu gleich sind. Eine wesentliche Erhöhung des Feinanteils $< 0,002$ mm ergibt keine Erniedrigung der Durchlässigkeit.

2.7 Prüfung der Durchlässigkeit des Tons mit Prüfflüssigkeiten gemäß GDA-Empfehlung

In der Empfehlung des Arbeitskreises für Deponien und Altlasten (GDA 1993) werden vier Prüfflüssigkeiten für Durchlässigkeitsversuche genannt. Eine Durchströmung des Tonmaterials mit diesen Flüssigkeiten beim Durchlässigkeitsversuch soll Bedingungen wie an einer Deponiebasisabdichtung simulieren.

Die folgenden vier Flüssigkeiten wurden gemäß dieser Empfehlung für jeweils eine Tonprobe zur Bestimmung der Durchlässigkeit verwendet:

- 5%-ige anorganische Säure (Salzsäure, Schwefelsäure und Salpetersäure je 33 Vol.%), pH : 1,0; Bei Anwesenheit von Sulfaten und Sulfiden in Tonen können diese bei reduzierenden Bedingungen in Schwefelsäure übergehen.
- 5%-ige organische Säure (Essigsäure und Propionsäure je 50 Vol.%), pH = 2,2; Dieses Gemisch soll die Essigsäurephase im Deponiekörper simulieren.
- Metallsalzlösung (je 1g Nickelchlorid, Kupferchlorid und Zinkchlorid), pH = 2,9; Dies sind die mobilsten Verbindungen im Deponiesickerwasser.
- Synthetisches Sickerwasser (0,15 mol/l Natriumacetat; 0,15 mol/l Essigsäure; 0,005 mol/l Glycin; 0,007 mol/l Salizylsäure), pH etwa 4,5; Simulation von Deponiesickerwasser;

2.7.1 Versuchsdurchführung

Triaxialzellen eignen sich aufgrund ihrer Konstruktion zur Bestimmung der Durchlässigkeit mit aggressiven Medien nicht. Für diese Versuche konnten nur einfache Prüfzylinder verwendet werden, die von unten nach oben von der Prüfliquidität durchströmt werden. Das hydraulische Gefälle betrug $i = 30$. Der Einbau des Tons erfolgte mit Proctorenergie.

Bei der Versuchsdurchführung entwickelte sich sofort nach dem Kontakt der organischen, bzw. der anorganischen Säure mit dem Ton Kohlendioxid. Es bildete sich aus dem im Ton befindlichen Kalk. Das Kohlendioxid staute sich unter dem Ton zu einer Gasglocke und verhinderte einen weiteren Kontakt der Säuren mit dem Ton. Um ein Entweichen des CO_2 zu ermöglichen wurde die Durchströmung der beiden Proben umgekehrt (von oben nach unten).

Die Versuche für die Metallsalzlösung und das synthetische Sickerwasser verliefen ohne Schwierigkeiten.

2.7.2 Ergebnisse der Durchlässigkeitsprüfung mit vier Prüfflüssigkeiten

In Tabelle 2 sind die Ergebnisse der Durchlässigkeitsversuche zusammengestellt. Anlage 2.2 zeigt den zeitlichen Verlauf der Durchlässigkeit.

Prüfflüssigkeit	Durchlässigkeit (Korrigierter Mittelwert)
Metallsalzlösung	$1,2 \times 10^{-10}$
anorganische Säure	$8,7 \times 10^{-11}$
organische Säure	$1,0 \times 10^{-10}$
synthetische Säure	$1,1 \times 10^{-10}$

Trotz der Änderung des Versuchsaufbaus bei der organischen und anorganischen Säure, zeigen die Ergebnisse aller vier Durchlässigkeitsversuche eine sehr enge Korrelation. Die Durchlässigkeit von Bodenmaterial liegt in einfachen Prü fzellen gegenüber Triaxialzellen um ca. eine halbe Zehnerpotenz höher. Vergleicht man die Ergebnisse dieser Durchlässigkeitsprüfung mit den vorhergehenden in Triaxialzellen, ergibt sich keinerlei Veränderung. Die Tone werden nicht durch die Prüfflüssigkeit beeinflusst.

3 Tonmineralogie

Bei der Beurteilung der Eignung eines Tonmaterials als mineralische Barriere in einer Deponie gibt die mineralogische Zusammensetzung wichtige Hinweise auf die geotechnische Eignung des Materials und ist entscheidend für das Retentions- und Akkumulationsvermögen des Dichtungsmaterials. Wichtig für die Beurteilung ist die Kenntnis der

Anteile an quellfähigen (Smectite) und nicht bzw. gering quellfähigen (Illite, Kaolinite) Tonmineralen. Hohe Anteile an quellfähigen Tonmineralen sichern ein hohes Retentionsvermögen, beeinflussen aber die geotechnischen Eigenschaften des gesamten Dichtungsmaterials negativ. Hohe Anteile an Smectiten (Montmorillonit), > 10 %, verringern entscheidend die Bruch- und Restscherfestigkeit, den Reibungswinkel und fördern die Kriechverformung. Dies sind geotechnische Kennwerte die neben dem Retentionsvermögen über die Eignung des Materials als mineralische Barriere entscheiden.

3.1 Mineralogische Zusammensetzung

Im Zuge der ersten geotechnischen Beurteilung der Tonsteine durch die LGA (Az: 18915694) wurde eine tonmineralogische Untersuchung durchgeführt. Dabei ergab sich das in Tabelle 3 (SCH 11 - 8007+) dargestellte Mineralspektrum. Bei der damaligen röntgenographischen Analyse war die Bestimmung der Komponenten der ermittelten Wechsellagerungsminerale nicht möglich. Im Zuge der erneuten Beurteilung wurden 3 Proben von der Abbausohle in die Tiefe entnommen (Probe 2/2 0-0,5 m; Probe 2/4 0,5-1,7; Probe 2/5 1,7-2,9 m). Als Kontrollprobe diente Probe 5/1 vom Top der Tongrube.

Tabelle 3: Ergebnisse der röntgenographischen Analysen von 1989 und 1993

	Fraktion > 2µ				Fraktion < 2µ			
	Quarz	Feldspäte	Illit		1993	Illit	Kaolinit	
1993				1993				
Probe 5/1	87,00%	12,00%		Pr.5/1	95,00%	0,00%	5,00%	
Probe 2/2	76,00%	18,00%	5,00%	Pr.2/2	90,00%	7,00%	3,00%	
Probe 2/4	69,00%	23,00%	8,00%	Pr.2/4	87,00%	6,00%	5,00%	
Probe 2/5	76,00%	18,00	5,00%	Pr.2/5	90,00%	8,00%	2,00%	
1989				1989				
Schurf 11 Pr.1+3				Sch.11	41,00%	4,00%		55,00%
80010				80010	32,00%	4,00%		64,00%
80007				80007	28,00%	3,00%		69,00%
80009				80009	42,00%	5,00%		53,00%
80008				80008	35,00%	0,00%		65,00%
800010				800010	18,00%	5,00%		77,00%
80007 Stutzen				80007+	34,00%	4,00%		62,00%

In den nun erfolgten Analysen konnten die Bestandteile der Wechsellagerungsminerale bestimmt werden. Es handelt sich um sog. unregelmäßige Illit / Smectit Wechsellagerungen.

Somit besteht der überwiegende Anteil der Tonminerale aus gering quellfähigem Illit. Der quellfähige Smectit, der in der ersten Analyse nicht vorhanden war, ist in geringen Anteilen enthalten und stammt mit Sicherheit aus den Wechsellagerungen. Kaolinit ist ebenfalls nur in geringen Anteilen vorhanden. Der Vergleich mit der Kontrollprobe zeigt ähnlich hohe Illit- und Smectitgehalte. Kaolinit ist nicht in der Kontrollprobe nachweisbar.

4 Folgerungen

4.1 Geotechnik

Die ergänzenden geotechnischen Untersuchungen charakterisieren das untersuchte Material als mittelplastischen Ton. Die Wasseraufnahmefähigkeit ist für einen illitischen Ton mit ca. 70 % normal.

Kompressionsversuch, Rahmenscherversuch und einaxialer Druckversuch charakterisieren die Festigkeit des untersuchten Materials. Die aus den Versuchen ermittelten Werte zeigen eine hohe mögliche Lastaufnahme des Tons sowie einen ungewöhnlich hohen Winkel der inneren Reibung.

In den durchgeführten Durchlässigkeitsversuchen hat sich eindeutig erwiesen, daß eine Erhöhung des siebbaren Feinanteils im natürlichen Material keinerlei Verbesserung der Durchlässigkeit ergibt. Die Versuche mit den vier synthetischen Sickerflüssigkeiten zeigen keinerlei Veränderung der Durchlässigkeit nach 5 Wochen auf.

Aufgrund der geringen Plastizität, der für Ton hohen Festigkeits- und Scherwerte sowie der guten Verdichtbarkeit und der daraus resultierenden geringen Durchlässigkeit ist der Tonstein von Würnsreuth aus geotechnischer Sicht sehr gut als Baumaterial für eine mineralische Barriere geeignet.

4.2 Tonmineralogie

Das Schadstoffrückhaltevermögen von Tonmineralen ist grundsätzlich hoch. Der Tonmineralgehalt des Tonsteins von Würnsreuth beträgt ca. 80 - 90 %. Der Hauptanteil des untersuchten Tonsteins sind die wenig quellfähigen Illite und Kaolinite. Die stark quellfähigen Smectite bilden ca. 3 % des Tonmineralgehalts. Das Schadstoffretentionsvermögen der Tonminerale ist abhängig von der spezifischen Oberfläche der Tonminerale. Kaolinite und Illite haben im Vergleich zu den quellfähigen Smectiten eine geringere spezifische Oberfläche. Durch den hohen Anteil von Tonmineralen in dem Tongestein von Würnsreuth ist jedoch insgesamt für den Einsatz als Deponiedichtungsmaterial ein hohes Schadstoffretentionsvermögen gegeben. Für sehr sensible Anwendungen z.B. Sondermülldeponie, könnte zur Erhöhung des Retentionsvermögens aktivierter Na-Bentonit in Gehalten von max. 3 % der Gesamtmasse zugegeben werden. Der relativ geringe Anteil an Smectiten wirkt sich positiv auf die geotechnische Eignung als mineralische Dichtung des Tonsteins aus.

5 Zusammenfassung

Die Fa. Zapf, Bayreuth beauftragte die Abteilung Ingenieurgeologie der LGA mit einer ergänzenden Untersuchung des Tonsteins der Grube Würnsreuth gemäß der Empfehlung des Arbeitskreises Deponien und Altlasten (1992). Die geotechnischen und mineralogischen Ergebnisse sind:


- Fließgrenze w_L , Ausrollgrenze w_p und Wasseraufnahmevermögen charakterisieren einen mittelplastischen Ton
- Steifemodul E_s , Scherwinkel φ' , Kohäsion c' und einaxiale Druckfestigkeit sind sehr hoch für Tone.
- Die Durchlässigkeit beträgt für unterschiedliche siebbare Feinanteile ($< 0,002$ mm) in der Triaxialzelle $3-5 \times 10^{-11}$ m/s.

- Der Tonstein ist gegenüber den vier Prüfflüssigkeiten der GDA-Empfehlung über 5 Wochen stabil.
- Der Tonstein besteht zu 80 - 90 % der Gesamtmasse aus Tonmineralen und übertrifft den Grenzwert von 10 % der TA-Abfall (TA-Siedlungsabfall) um ein Vielfaches.
- Die Tonminerale setzen sich zu 87 - 95 % aus Illiten zu 0 - 8 % aus Kaoliten und zu 0 - 5 % aus Smectiten zusammen. Die quellfähigen Smectite liegen mit den gering quellfähigen Illiten als Wechsellagerungsmineral vor.

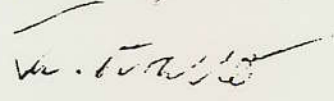
Aufgrund der oben aufgeführten Ergebnisse ist der Tonstein von Würnsreuth sehr gut als mineralische Barriere in Deponien geeignet. Tonsteine bedürfen jedoch beim Einbau besonderer Sorgfalt um die im Labor ermittelten Durchlässigkeitsbeiwerte zu erreichen.

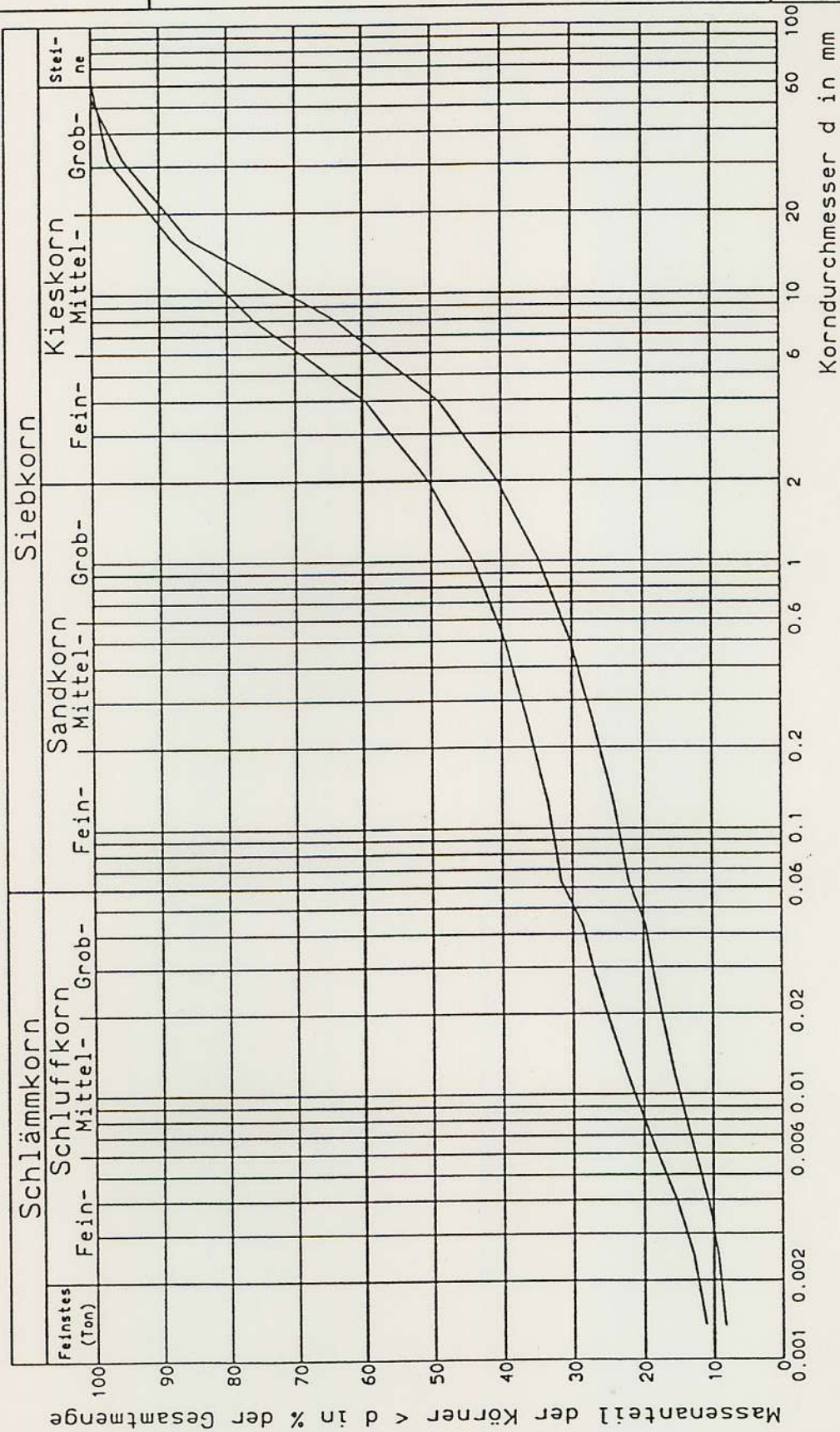
LGA Grundbauinstitut
Abteilung GI

i.V.


C. Schillinger
Diplom-Geologe, Baurat

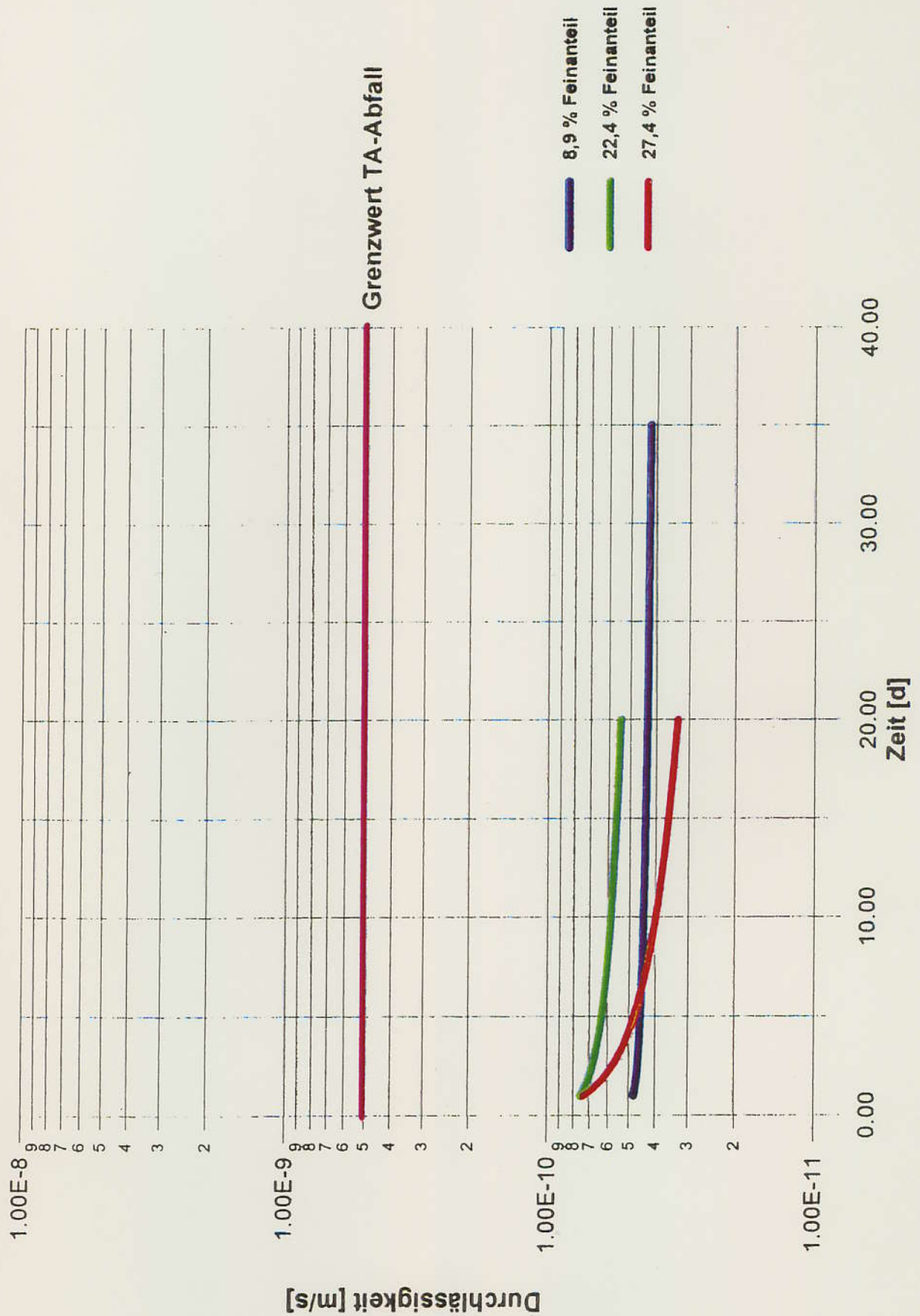
Sachbearbeiter:


Th. Struller
Diplom-Geologe

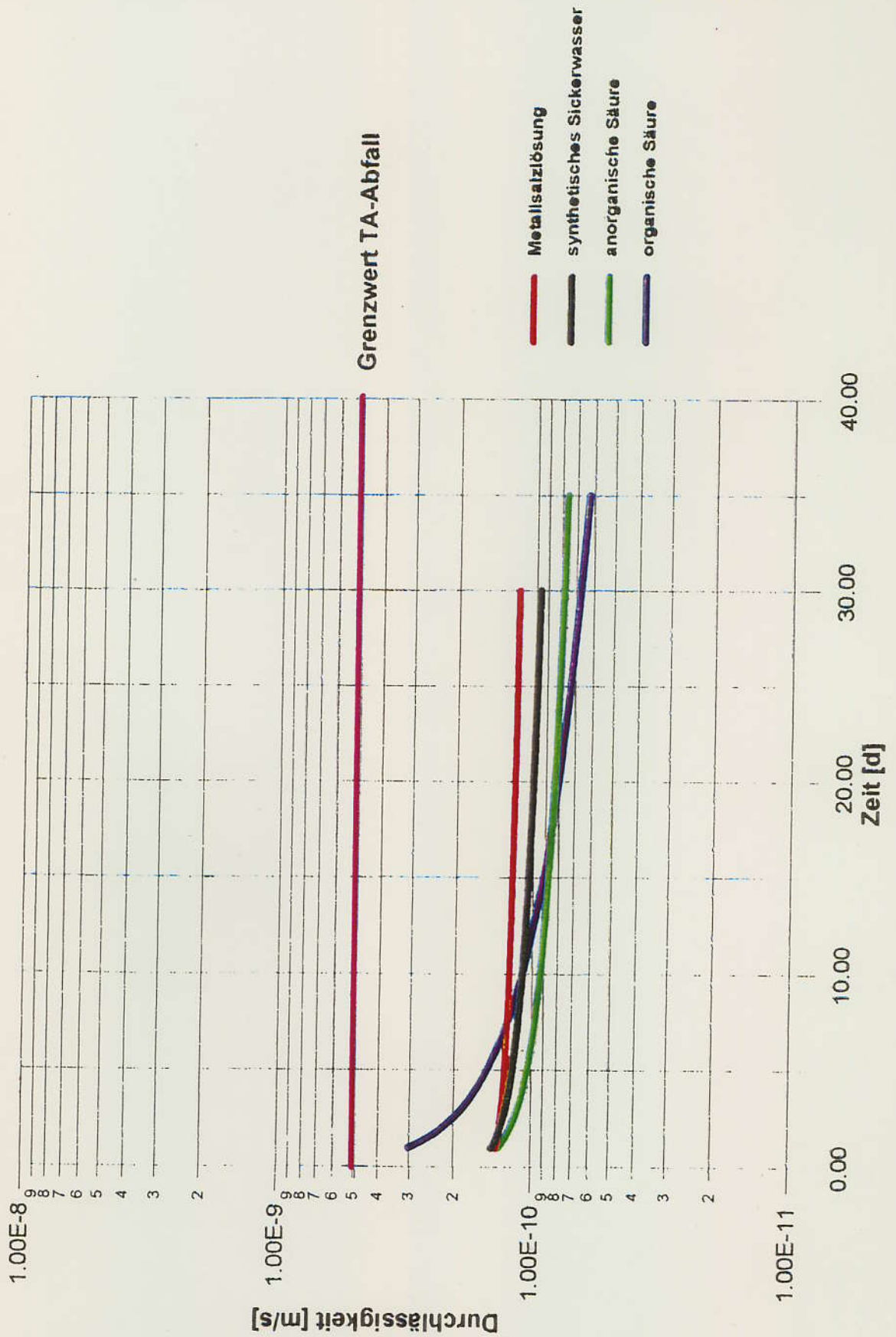


78521
78523

Projekt: Tongrube Würnsreuth

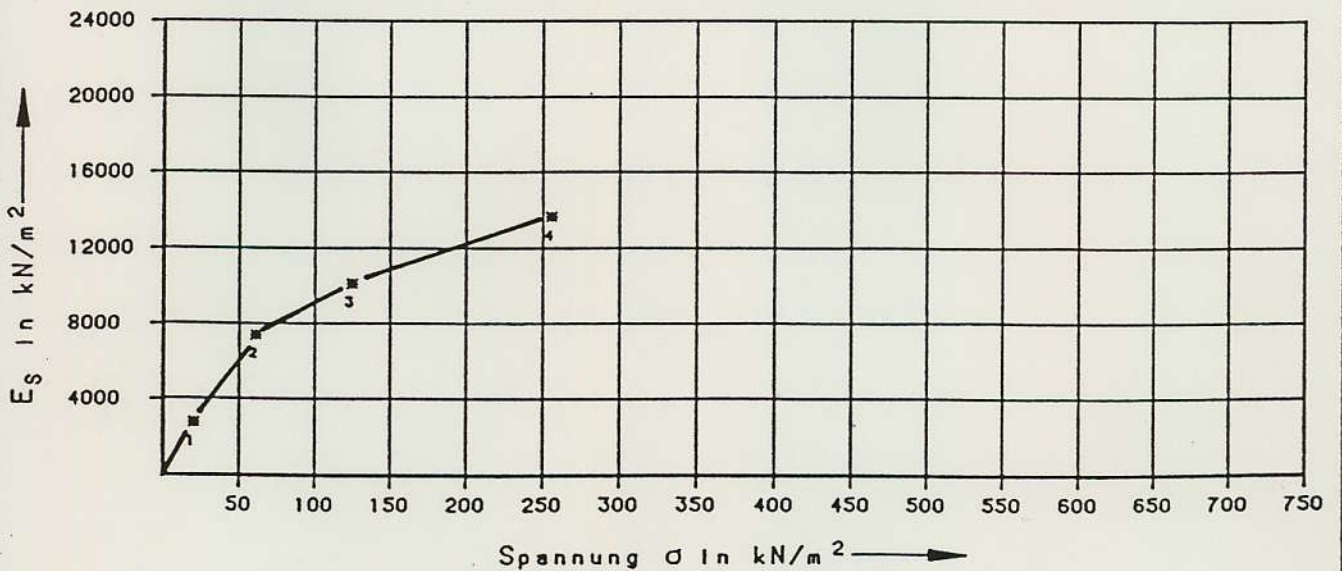
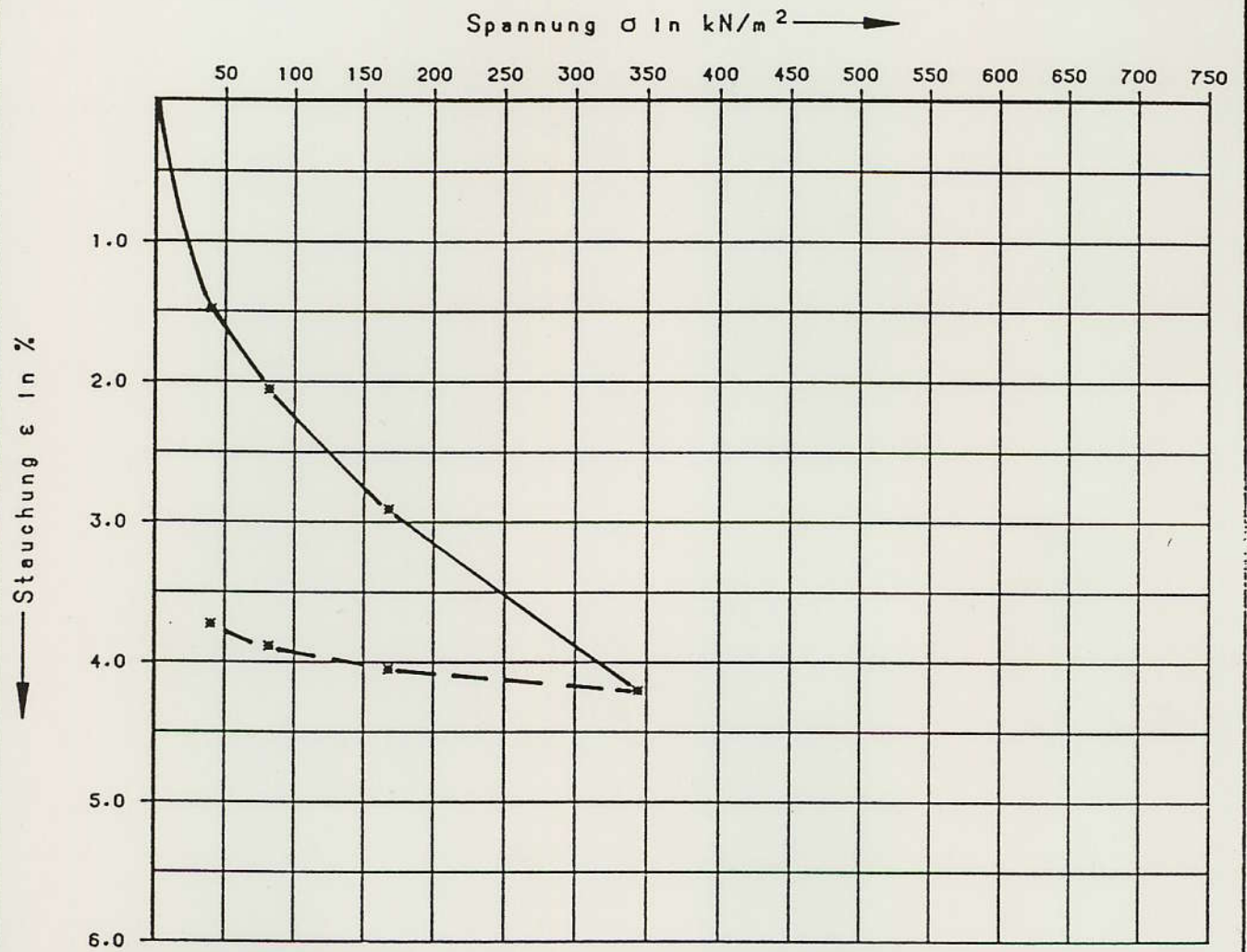


Projekt: Tongrube Würnsreuth

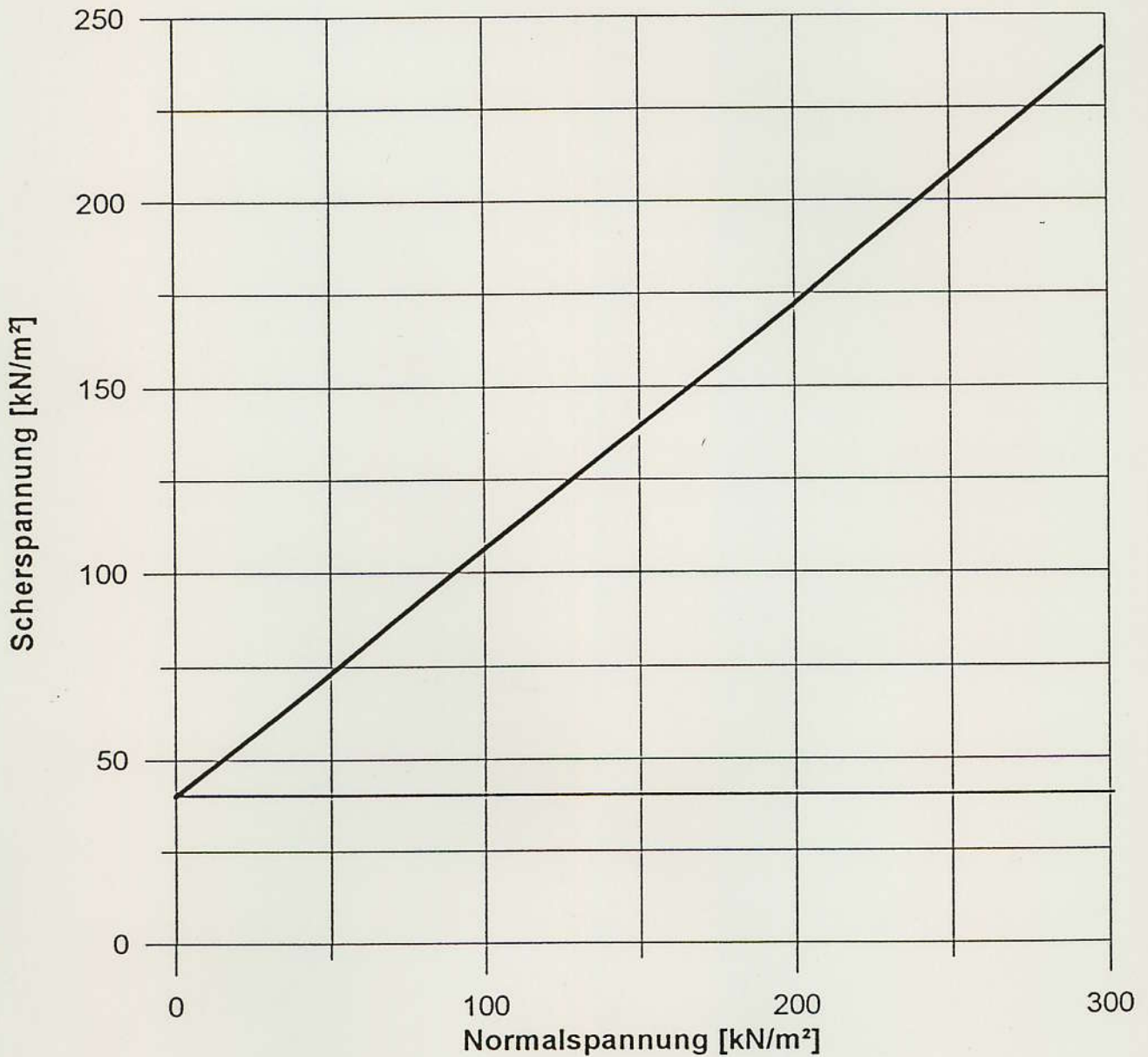


Bauvorhaben: Tongrube Wuernsreuth

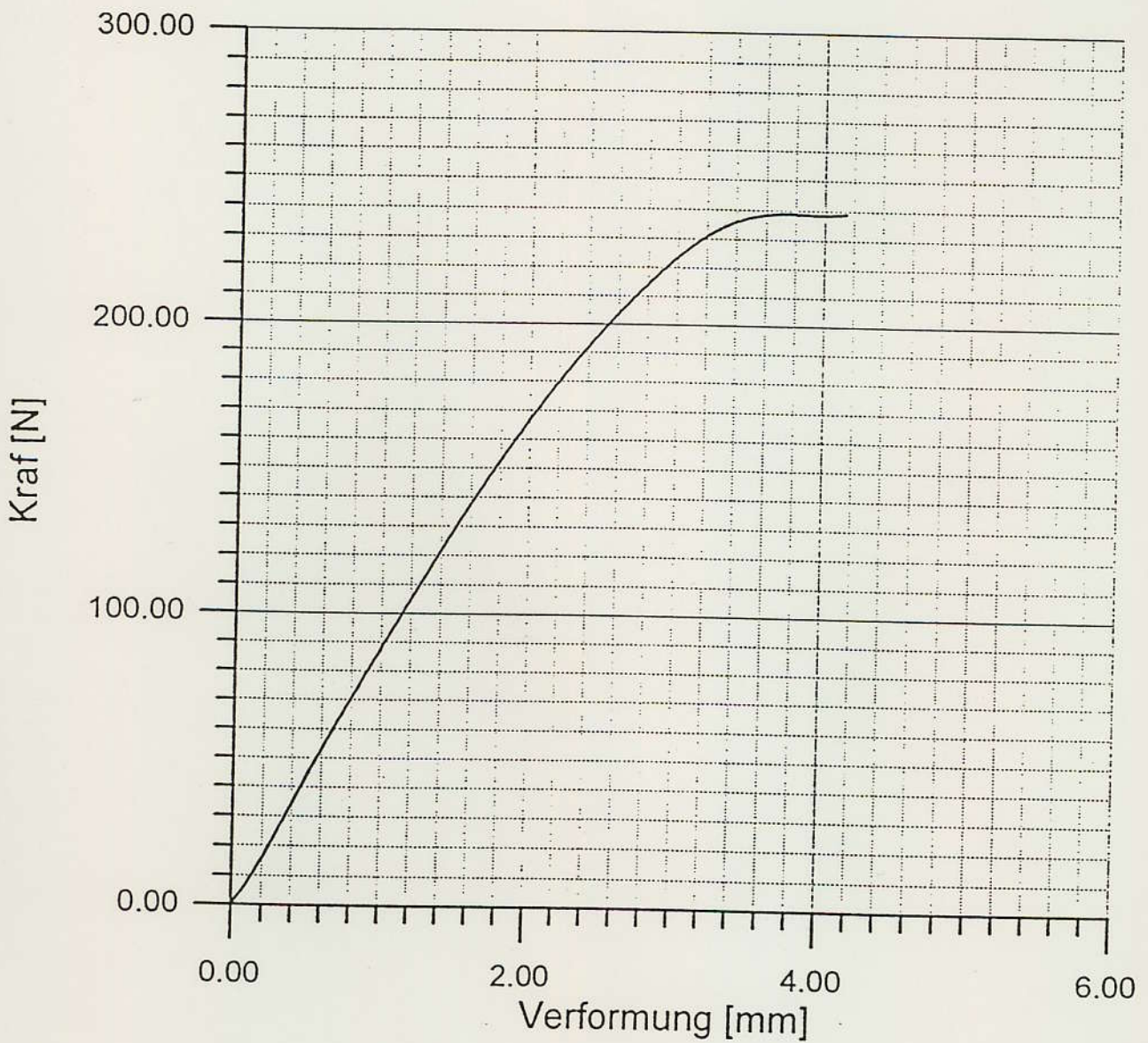
Labor-Nr.: 96030 Bohrung Nr.: 5 Proben-Nr.: 1	Bodenart: Ton Entnahmetiefe:	d0 = 10.00 cm h0 = 4.97 cm V0 = 390.34 cm ³
---	---------------------------------	--



Projekt: Tongrube Würnsreuth



Projekt: Tongrube Würmsreuth



Projekt: Tongrube Würnsreuth

Änderung des Feinanteils:

	Dimension	Feinanteil 8,9%	Feinanteil 22,4 %	Feinanteil 27,4 %
Wassergehalt	%	16,8	22,4	21
Feuchtdichte	t/m ³	2,02	2,02	2,05
Trockendichte	t/m ³	1,73	1,65	1,7
Porenanteil	1	0,34	0,38	0,37
Porenzahl	1	0,55	0,62	0,58

Prüfflüssigkeiten:

	Dimension	organische Säure	anorganische Säure	Metallsalzlösung	synthetisches Sickerwasser
Wassergehalt	%	19,4	18,1	19,8	20,3
Feuchtdichte	t/m ³	2,17	2,13	2,19	2,09
Trockendichte	t/m ³	1,81	1,8	1,77	1,74
Porenanteil	1	0,33	0,33	0,34	0,36
Porenzahl	1	0,49	0,5	0,52	0,55

Geotechnische Eignungsprüfung für die Tone der Estheriensichten, Würnsreuth

(in Anlehnung an die Empfehlungen des Arbeitskreises Geotechnik der Deponien und Altlasten 1993)

1 Bodenphysikalische Klassifizierung

	DIN	Ergebnis	Dimension
Fließgrenze w_L	18122/1	39,2	%
Ausrollgrenze w_P	18122/1	22,0	%
Plastizitätszahl I_P	18122/1	17,2	-
Konsistenzzahl I_C	18122/1	0,405	-
Gehalt an organischen Bestandteilen	Na ₂ Oxidation mit H ₂ O ₂	2 - 4	%
Korndichte	18124	2,7	t/m ³
Kalkgehalt	18129	2,7 - 8	%
Wasseraufnahme	18132	70	%
Wassergehalt	18121	18,04	%
Trockendichte	18125	1,7	t/m ³

2 Quantitative Mineralogische Untersuchung

	Fraktion über 0,002 mm	Fraktion unter 0,002 mm
Kornverteilung	15 - 33 %	78 - 85 %
Quarz	69 - 87 %	
Feldspat	12 - 23 %	
Illit	0 - 8 %	
Illit		87 - 95 %
Kaolinit		0 - 8 %
Smectit		0 - 5 %

3 Zulässige Einbaukriterien

	Werte	Dimension
Proctordichte	1,75 - 1,85	t/m ³
Proctorwassergehalt	18 - 22	%
resultierende Durchlässigkeit k_f im Feld	$\ll 5 \cdot 10^{-10}$	m/s

4 Spannungs - Verformungs - Verhalten

	DIN	Ergebnis	Dimension
Kompressionsversuch :	18135		
E_s 50 kN/m ²		6,6	MN/m ²
E_s 150 kN/m ²		11	MN/m ²
E_s 250 kN/m ²		13,3	MN/m ²
Quellversuch	DGEG,AK 19	2,85	%
Rahmenscherversuch:	18137		
Kohäsion c' (drainiert)		40	kN/m ²
Reibungswinkel φ' (drainiert)		33,9	Grad
Einaxialer Druckversuch	18136	118	kN/m ²

5 Prüfung der Durchlässigkeit

	Ergebnis	Dimension
Laborversuche/Triaxialzelle	$5 \cdot 10^{-11}$	m/s
Feldversuche	$1 \cdot 10^{-10}$	m/s
Prüfflüssigkeiten:		
5% - anorganische Säure, pH = 1,0	$1,0 \cdot 10^{-10}$	m/s
5 % - organische Säure, pH = 2,2	$8,7 \cdot 10^{-11}$	m/s
Metallsalzlösung, pH = 2,9	$1,2 \cdot 10^{-10}$	m/s
Synthetisches Sickerwasser pH = 4,5	$1,1 \cdot 10^{-10}$	m/s

Tongrube Würnsreuth

Ergänzende Stellungnahme

Az. CU 9443516

Nürnberg, den 27.04.1994

Auftraggeber: Fa. Zapf KG
Betonwerk
Postfach 101254
95440 Bayreuth

Projekt: Tongrube Würnsreuth

Auftrag: Eignungsprüfung
Ergänzende Stellungnahme

Ihre Zeichen:

Unsere Zeichen: CU TS

Az.: CU 9443516

Sachbearbeiter: Dipl.-Geol. Th. Struller

Telefon Nr.: 0911/6555-530
-580

Nürnberg, den 27.04.1994

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1 Vorgang	4
2 Weitere Untersuchungen	4
2.1 Hydraulische Stabilität	4
2.1.1 Erosionsstabilität	4
2.1.2 Suffosionsstabilität	5
2.2 Ersatzreibungswinkel	5
2.3 Erforderlicher Verdichtungsgrad zum Erreichen des Durchlässigkeitsbeiwerts $k_f \leq 5 \cdot 10^{-10}$	6
2.4 Zeichnerische Gegenüberstellung der Proctorkurve zu Durchlässigkeitsbeiwerten	7

1 Vorgang

Die Fa. Zapf beauftragte am 18.04.1994 das Institut für Umweltgeologie und Altlasten damit, die Eignungsprüfung für die Tone der Estheriensichten Tongrube Würnsreuth, unser Gutachten, AZ.: GI 9300781 vom 02.02.1994, in folgenden Punkten zu ergänzen:

- Hydraulische Stabilität
 - a) Erosionsstabilität
 - b) Suffosionssicherheit
- Ersatzreibungswinkel
- Erforderlicher Verdichtungsgrad zum Erreichen des Durchlässigkeitsbeiwerts
$$k_f \leq 5 \cdot 10^{-10} \text{ m/s}$$
- Zeichnerische Gegenüberstellung der Proctorkurve zu Durchlässigkeitsbeiwerten, ermittelt an den Einzelversuchen des Proctorversuches.

2 Weitere Untersuchungen

2.1 Hydraulische Stabilität

2.1.1 Erosionsstabilität

Unter Erosion versteht man die Umlagerung und den Transport von Teilchen eines Erdstoffs durch hydraulische aber auch an der Oberfläche durch äolische Einflüsse, wobei die Bodenstruktur zerstört wird. Bei Tonen können im Inneren und an der Oberfläche nur Erosionsvorgänge durch hydraulische Einflüsse nachgewiesen werden, wenn sehr hohe Fließgeschwindigkeiten ($> 0,5 \text{ m/s}$) vorliegen. Diese Fließgeschwindigkeit würde bei einem hydraulischen Gefälle $i = 30$ einen k_f - Wert von $1 \cdot 10^{-2} \text{ m/s}$ erfordern. Dieser Wert ist bei Tonen völlig unrealistisch. Hier liegen die Durchlässigkeitsbeiwerte bei $1 \cdot 10^{-9}$ bis 10^{-10} m/s .

Daraus errechnen sich Filtergeschwindigkeiten von $3 \cdot 10^{-8}$ bis $3 \cdot 10^{-9}$ m/s. Eine Erosionsgefahr für Tone durch hydraulischen Einfluß besteht also in einem Deponiedichtungssystem nicht. Tone, die für Deponiedichtungssysteme verwendet werden, werden bei sachgerechtem Einbau, sofort durch das folgende Dichtungsglied, bei Basisabdichtungen nach TA - Siedlungsabfall einer Kunststoffdichtungsbahn, überdeckt. Eine Gefahr des Abtrags des Tons durch den Wind ist durch die Einbaumethoden (steif-plastische Konsistenz, hoher Wassergehalt, sofortige Überdeckung) ausgeschlossen. Die Erosionsanfälligkeit im Kontakt zu anderen Erdstoffen kann durch die Formel von Davidenkoff ermittelt werden. Dafür muß jedoch die Kornsummenkurve des anderen Erdstoffs bekannt sein.

2.1.2 Suffosionsstabilität

Suffosion bedeutet Umlagerung von Feinkorn im Porenraum des Erdstoffs unter Erhaltung der Bodenstruktur. Man unterscheidet innere, äußere und Kontaktsuffosion. Weit gestufte Böden sind aufgrund ihres Kornaufbaus gegen alle Arten der Suffosion beständig. Der Tonstein der Tongrube Würnsreuth ist deshalb suffosionssicher.

2.2 Ersatzreibungswinkel

Der Ersatzreibungswinkel bezieht sich auf einen definierten Spannungszustand σ . Er kommt zur Anwendung wenn ein Kohäsionseinfluß c' nicht berücksichtigt werden kann.

Für die folgenden Spannungszustände σ betragen die Ersatzreibungswinkel φ_1 :

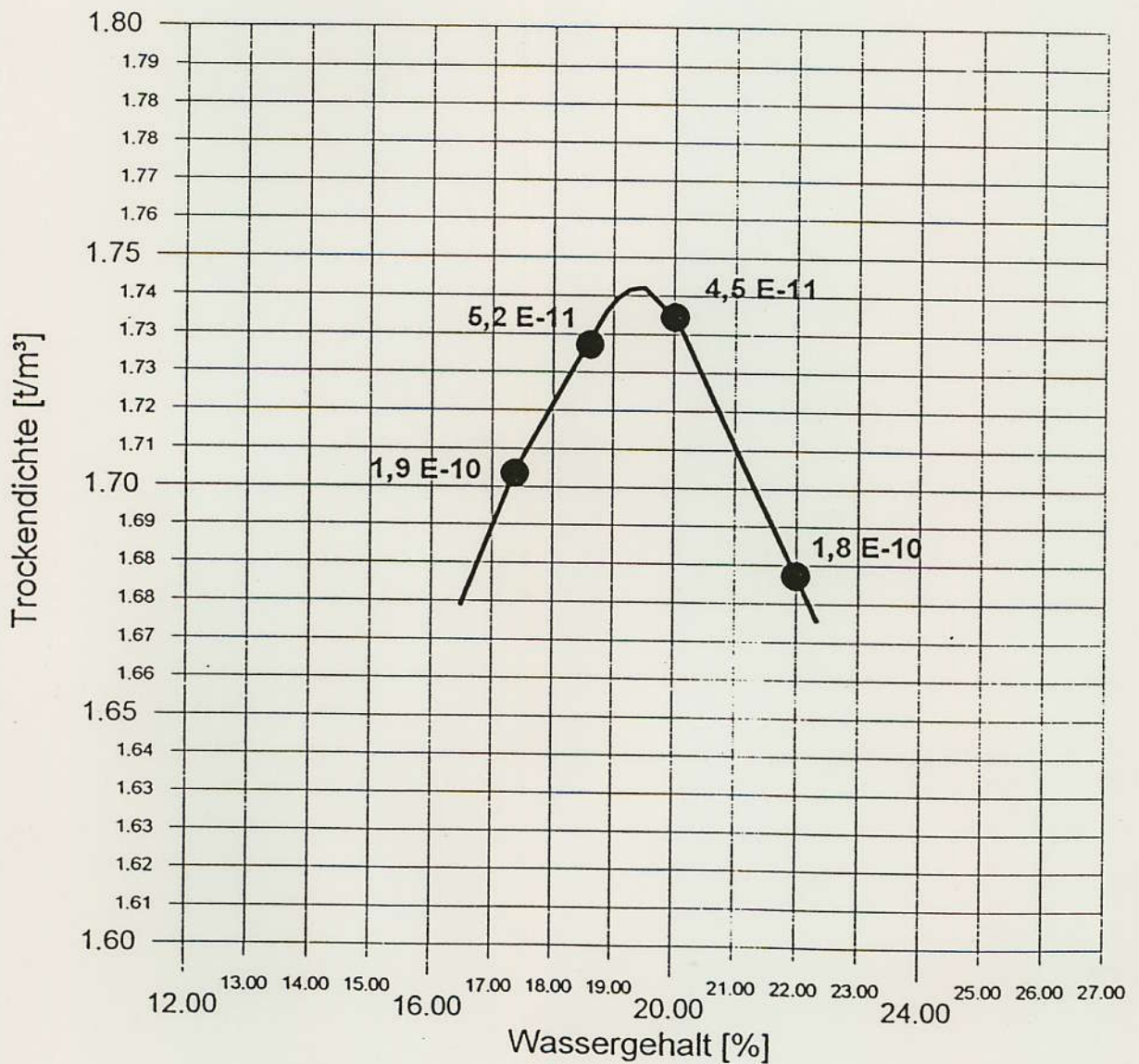
kN/m ²	Grad
50	74°
150	47°
250	44°

2.3 Erforderlicher Verdichtungsgrad zum Erreichen des Durchlässigkeitsbeiwerts $k_f \leq 5 \cdot 10^{-10}$

Zum Erreichen des geforderten Durchlässigkeitsbeiwerts ist ein Verdichtungsgrad von $\geq 95\%$ D_{Pr} zu gewährleisten.

2.4 Zeichnerische Gegenüberstellung der Proctorkurve zu Durchlässigkeitsbeiwerten

Proctorwassergehalt $w_{pr} = 19,7\%$ Trockendichte $1,74 \text{ [t/m}^3\text{]}$



Die oben dargestellten k_r - Werte an einer für den Tonstein von Würnsreuth typischen Proctorkurve zeigen ein deutliches Sinken des k_r - Wertes im Bereich des Proctoroptimums. Beim Einbau des Tonsteins ist deshalb auf eine genaue Einhaltung der Wassergehalte und der Verdichtung zu achten.

Für weitere Beratung stehen wir Ihnen jederzeit gerne zur Verfügung

Bereich Umweltschutz

Institut für Umweltgeologie und Altlasten

Sachbearbeiter:



Th. Struller

Diplom-Geologe



C. Schillinger

Diplom-Geologe