

7. Auswertung und Dokumentation der Untersuchungsergebnisse

7.1. Schichtenverzeichnis

Ergebnis aller visuellen Untersuchungen und Feststellungen in situ ist das vorläufige Schichtenverzeichnis. Die Angaben zu den Schichtmächtigkeiten, den abgelegten Haufwerksproben sowie den sonstigen Beobachtungen beim Bohren erhält der Objektbearbeiter dabei aus den Bohrmeisterdokumentationen, die unbedingt schriftlich vorliegen müssen.

Das vorläufige Schichtenverzeichnis ist entweder im Feldbuch des Objektbearbeiters oder auf Formblatt 2a der TGL 25 011/03 zu dokumentieren. Der Auszug in Tabelle 13 zeigt den Umfang dieses Dokuments.

Tabelle 13. Ausschnitt aus einem vorläufigen Schichtenverzeichnis

Vorläufiges Schichtenverzeichnis - Bohrung 91/76 (aufgenommen: Meier 23. 12. 1976)

- 0,7 m - Schluff, stark tonig, sehr schwach sandig, kalkfrei, hellbraun (Auelehm)
- 2,0 m - Mittelsand - Grobsand, stark fein- bis stark mittelkiesig, feinsandig, schluffig, schwach grobkiesig, intensiv rostbraun
- ·
- ·
- ·
- 13,0 m - Ton, fett, hellgrau (Tertiär)

Endteufe

Laborproben

-
- | | | | |
|------------|----------------|--------------------|---------------|
| Nr. 350050 | - 0,7 bis 2,0 | Wasseranschnitt: | 0,7 m u. Gel. |
| 0051 | - 2,0 bis 3,1 | Bezugswasserstand: | 0,2 m u. Gel. |
| 0052 | - 3,1 bis 5,7 | (2. 12. 1976) | |
| 0053 | - 5,7 bis 9,1 | | |
| 0054 | - 9,1 bis 10,2 | | |
-

Nach Vorliegen der Laboruntersuchungsergebnisse (insbesondere der Korngrößenverteilung) sind für das endgültige Schichtenverzeichnis oft noch Korrekturen bzw. Präzisierungen erforderlich. Zur prozentualen Abstufung von Haupt- und Nebenkornanteilen werden die Siebanalyseergebnisse herangezogen. In der Hydrogeologie gilt folgende Abstufung:

Tabelle 14. Abstufung der Masseprozentanteile

halbquantitative Bezeichnung	Masseprozentanteile in Masse-%	
	<u>Sande und Kiese</u>	<u>Schluff</u>
sehr schwach	2 bis 5	0,1 bis 0,5
schwach	5 bis 10	0,5 bis 2,0
ohne Adjektiv	10 bis 30	2,0 bis 4,0
stark	30 bis 40	4,0 bis 6,0
sehr stark	> 40	> 6,0

Die mit unterschiedlichen Prozentanteilen belegten Quantitätsbegriffe bei nichtbindigen und bindigen Lockergesteinen verdeutlichen den Einfluß des Schluffanteils auf die Wasserdurchlässigkeit der Gesteine. Allerdings ist dadurch die Vergleichbarkeit mit den Ergebnissen anderer gesteinsphysikalischer Labors erschwert. Die Masseprozentanteile als absolute Angaben sind deshalb nach den halbquantitativen Begriffen schwach, stark usw. zu nennen. Eine Grundlage bilden sowohl die visuelle Abschätzung anhand der Haufwerkproben in situ als auch ein EDV-Programmteil. Der Rechner druckt ein auf den Siebanalyseergebnissen beruhendes Schichtenverzeichnis aus, in dem die einzelnen Korngrößenklassen nach abnehmenden Masseprozentanteilen geordnet sind. Diese Angaben werden in das endgültige Schichtenverzeichnis eingearbeitet.

Bild 21 zeigt das Beispiel für ein endgültiges Schichtenverzeichnis.

Objekt: Hy-A-Dorf

Anlage: 2.1.

Bohrung: 91/76

Blatt:

Teufe bis m u. Gel.	Mächtigkeit [m]	Gesteinsansprache	Stratigraphie Bemerkungen
0,7	0,7	<u>Schluff</u> , stark tonig, sehr schwach sandig, kiesig, hellbraun (Tallehm)	Holozän
2,0	1,3	<u>Mittelsand (60)</u> , sehr stark schluffig (10), grobsandig (20), feinsandig (10), stark durchsetzt mit Schluff, tonig, feinsandig gebündert, stark glimmerführend, kalkfrei, grau	Würmglaziale Terrassen- ablagerungen
3,1	1,1	<u>Mittelkies (40) und Grobkies (30)</u> , feinkiesig (15), schwach mittelsandig (6), schwach grobsandig (6), sehr schwach feinsandig (3), schluffig durchsetzt, braun	
5,7	2,6	<u>Mittelsand (90)</u> , schwach grobsandig (6), sehr schwach feinsandig, sehr schwach feinkiesig, sehr schwach mittelkiesig (4), sehr schwach schluffig, hellgelbbraun	
9,1	3,4	<u>Feinkies (60)</u> , mittelkiesig (20), grobsandig (20), schwach grobkiesig, schwach mittelsandig (8), sehr schwach feinsandig (2), schwach schluffig, feuersteinführend, graubraun	
10,2	1,1	<u>Grobsand (40) und Mittelsand (40)</u> , feinkiesig (10), schwach feinsandig (5), sehr schwach mittelkiesig (3), schluffig (2) durchsetzt, hellbraun	
12,2	2,0	Grobkies und Steine bis 25 cm Ø (gut gerundete Gerölle von Granodiorit, Basalt, Quarz, Quarzit, Kieselschiefer) in grobsandiger bis mittelkiesiger Grundmasse, grau	
13,0	0,8	Ton, fett, hellgrau	Tertiär
Endteufe			gez. Meier 5.12. 1976

Bild 21. Endgültiges Schichtenverzeichnis

7.2. Auswertung und Dokumentation der Siebanalyse

Das Siebanalysenergebnis besteht in der Erfassung der Masseanteile der einzelnen Korngrößenklassen. Aus den Siebrückständen R_i der einzelnen Maschenweiten des Standard-Sieb-satzes werden die Siebdurchgänge (in Gewichts-%) kumulativ berechnet. Diese Werte bilden die Grundlage für die graphische Darstellung von Korngrößenklassen in Form der Kornverteilungskurve (siehe Bild 23).

Bild 22 zeigt die Ergebnisdokumentation der mit einem EDV-Programm ausgewerteten Siebanalysen. Dieses Formblatt nach TGL 25 011/03 enthält neben identifizierenden Angaben zur Bohrung die im Labor ermittelten Primärdaten (Einwaage in g und Rückstände R_i in g) sowie die durch das EDV-Programm berechneten Kornkennwerte (vgl. Tabelle 15). Die wichtigste daraus abgeleitete Größe ist der nach einer Vielzahl von Methoden berechenbare Durchlässigkeitsbeiwert k . Dieser geht nach dem DARCY-Gesetz $v = k I$ direkt in den mengenmäßigen Grundwasservorratsnachweis ein.

Der Durchlässigkeitsbeiwert k in m s^{-1} gibt an, welche Wassermenge Q in $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ durch eine Fläche A von 1 m^2 des Grundwasserleiters strömt, wenn das Standrohrspiegelgefälle senkrecht zu dieser Fläche gleich 1 ist und die Wassertemperatur $10 \text{ }^\circ\text{C}$ beträgt.

Der zwischen der Kornzusammensetzung des Gesteins (Größe und Form der Porenräume in Abhängigkeit von der Größe, Form und Anordnung der einzelnen Gesteinskörner) und seiner Durchlässigkeit k bestehende Zusammenhang läßt sich durch die Beziehung

$$k = C d_w^2$$

d_w wirksame Korngröße

C Proportionalitätsfaktor

ausdrücken.

Für den Lockergesteinsbereich der DDR kann im allgemeinen die Berechnung nach BEYER /2/ erfolgen:

Objekt: A-Dorf Bohrung: 91/76 Programm Nr.: 111 111 Blatt Nr.:

	R ₁ [g] D ₁ [%]	R ₂ [g] D ₂ [%]	R ₃ [g] D ₃ [%]	R ₄ [g] D ₄ [%]	R ₅ [g] D ₅ [%]	R ₆ [g] D ₆ [%]	R ₇ [g] D ₇ [%]	R ₈ [g] D ₈ [%]	R ₉ [g] D ₉ [%]	R ₁₀ [g]
0	Probe-Nr.	Teufe [m] von...bis...	Eihwaage[g]		d ₈₅ [mm]	d ₆₀ [mm]	d ₅₀ [mm]	d ₁₇ [mm]	d ₁₀ [mm]	u.
	k n. Beyer	k n. Zieschang	Gemittelte Werte		Teufe [m] von... bis...		Mächtigkeit [m]	Proben- anzahl	k n. Beyer	k n. Zieschang
1	5,0 98,57	0,0 98,57	32,9 89,17	29,0 80,89	39,0 69,74	55,0 54,03	118,0 20,31	32,0 11,17	11,0 8,03	28,1
	1	0,70	2,00	350,0	1,34	0,47	0,38	0,16	0,09	5,43
	0,623	0,766								
2	348,0 51,63	0,0 51,63	201,5 23,63	29,0 19,60	19,0 16,96	17,5 14,52	46,5 8,06	26,0 4,45	8,0 3,34	24,0
	2	2,00	3,10	719,5	35,04	8,32	6,00	0,64	0,26	32,29
	3,551	5,887								
3	1,0 99,68	0,0 99,68	2,0 99,04	5,0 97,43	13,0 93,25	56,0 75,24	218,0 5,14	14,5 0,48	0,5 0,32	1,0
	3	3,10	5,70	311,0	0,48	0,36	0,34	0,26	0,23	1,53
	6,053	6,646								
4	129,0 83,26	0,0 83,26	441,5 25,96	90,0 14,28	35,0 9,73	26,0 6,36	30,0 2,47	11,0 1,04	2,1 0,77	5,9
	4	5,70	9,10	770,5	6,77	3,56	3,07	1,22	0,65	5,47
	35,950	47,026								
5	8,5 98,30	0,0 98,30	50,9 88,15	98,5 68,50	106,9 47,17	107,8 25,66	90,1 7,68	25,8 2,53	2,7 2,00	10,0
	5	9,10	10,20	501,2	1,69	0,81	0,66	0,32	0,23	3,48
	5,047	6,122								

Angabe der k-Werte in 10^{-4} ms^{-1}

Bild 22. Kornverteilung mit Auswertung und k-Werten (gemäß Formblatt 13 TGL 25011 Blatt 3)

$$k = C(U) d_{10}^2 \quad \text{in m s}^{-1}$$

In dieser Formel drückt sich der Zusammenhang zwischen dem Proportionalitätsfaktor C (abhängig von U) und d_{10} (Korngröße bei 10% Siebdurchgang) aus. Ähnlich berechnet sich der k-Wert nach ZIESCHANG. Tabelle 16 gibt einen Überblick über Richtwerte der Durchlässigkeit von Lockergesteinen.

Sofern die Kennwertermittlung nicht maschinell erfolgt bzw. eine vollständige Charakterisierung eines Korngemisches erforderlich ist, wird eine graphische Auswertung der Siebergebnisse mit Hilfe der Kornverteilungskurve durchgeführt. Die Darstellung erfolgt dabei vorwiegend als Rückstands- bzw. Durchgangssummenkurve in einem einfach logarithmisch geteilten Koordinatensystem (linear geteilte Ordinate, logarithmisch geteilte Abszisse).

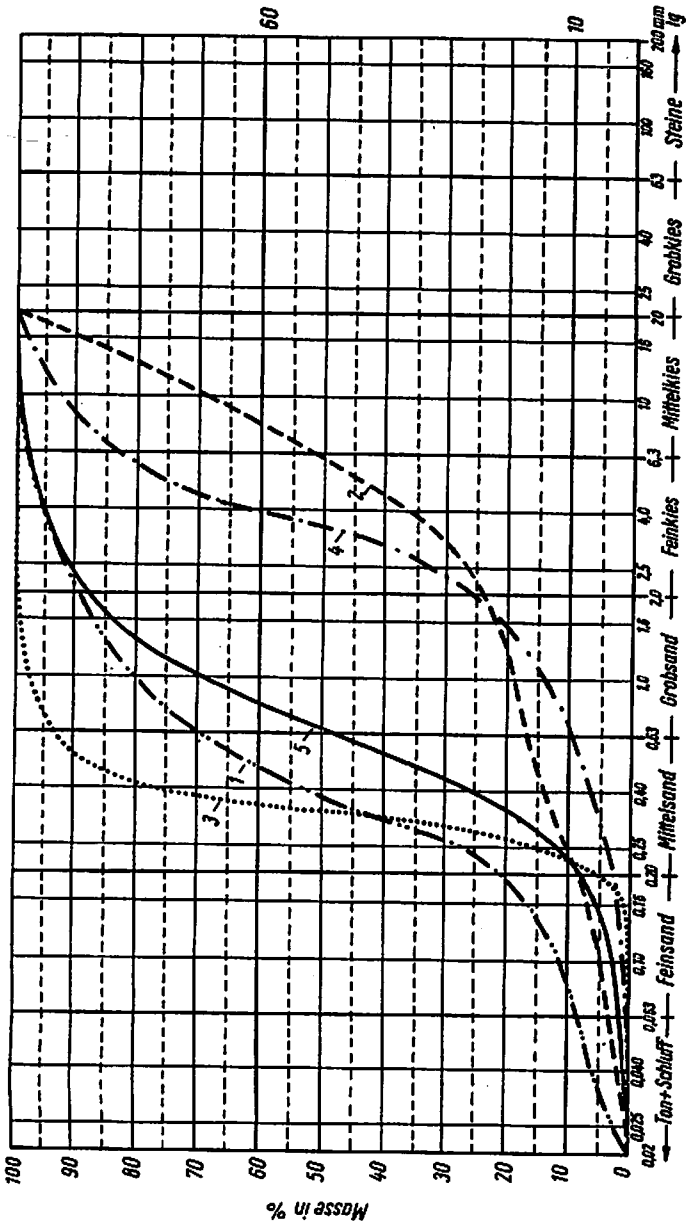
Bild 23 zeigt dafür ein Beispiel auf dem verbindlichen Formblatt 7 der TGL 25 011/03. Die zur Konstruktion verwendeten Siebdurchgangswerte als Anteile in Prozent der Gesamtmasse sind aus Bild 22 ersichtlich. Der Kurvenverlauf ergibt sich als Interpolation zwischen den einzelnen Punkten.

Weitere Darstellungsmöglichkeiten sind

- Rückstands- oder Durchgangssummenlinien in Diagrammen mit linearer Koordinatenteilung und
- Häufigkeitsverteilungskurven

In Tabelle 15 ist eine Auswahl von Kennwerten zusammengestellt, die direkt oder indirekt aus der Kornverteilungskurve abgeleitet werden können.

Die Bezeichnung der Gesteine, damit auch die Korrektur des Feldschichtenverzeichnisses, erfolgt entweder anhand der Kornverteilungskurve bzw. nach dem mittels EDV errechneten Schichtenverzeichnis, wie in 7.1. beschrieben wurde.



Bohrung: 91/76

Probe-Nr.	1	2	3	4	5
d_{10}	0,05	0,16	0,23	0,65	0,23
d_{20}	0,15	0,64	0,76	1,72	0,32
d_{30}	0,38	0,80	1,34	3,07	0,68
d_{40}	0,67	0,82	0,86	3,59	0,87
$U = \frac{d_{60}}{d_{10}}$	8,4	32,0	1,6	5,5	3,5
HOCH	0,01	0,38	0,61	3,8	0,51
(BEWEIS)					

Normmassenbestimmung
 durch VEB HS, Labor Torgau
 nach FGL 206AS, Datum: 12.6.1977
 Bearbeiter: Lehmann

Durchgangssummenkurven der Kornverteilung	
Objekt: H4-Dorf 89 91/76	
Betrieb: VEB Hydrogeologie	
Bereich: FE Erkundung - Dresden	
Spez. 592	Spez. 592
Beurh. 592	Beurh. 592
spez. 592	spez. 592
Arb.-S.	Arb.-S.

Bild 23. Durchgangssummenkurven der Kornverteilung

Tabelle 15. Kennwerte aus der Kornverteilungskurve

Kennwert	Ablesung bei	Aussage
d_{10}	10% feiner 90% gröber	zur Berechnung des k-Wertes nach BEYER und ZIESCHANG; d_{10} liegt in der Nähe von d_w , der sogenannten wirksamen Korngröße
d_{17}	17% feiner 83% gröber	zur Berechnung der Filterkieskörnung beim Brunnenausbau
d_{50}	Medianwert (= Halbwertskorngröße)	mittlerer Korndurchmesser Rückschluß auf Ablagerungsmilieu, Länge des Transportweges und der Strömungsgeschwindigkeit bei der Sedimentation
d_{60}	60% feiner 40% gröber	zur k-Wert-Berechnung
d_{85}	85% feiner 15% gröber	zur Berechnung der Filterkieskörnung
U	Ungleichförmigkeitsgrad $U = \frac{d_{60}}{d_{10}}$	zur Berechnung des k-Wertes nach BEYER und ZIESCHANG; die Ungleichförmigkeit hat bedeutenden Einfluß auf Lagerungsdichte und Porenanteil und damit auch auf den Durchlässigkeitsbeiwert eines Gesteins

7.3. Auswertung der Schlämmanalyse

Bei dem in 6.2.1.4. beschriebenen Aräometerverfahren werden die Korndurchmesser mit einem Nomogramm (graphische Realisierung des STOKESschen Gesetzes) bestimmt. Dabei werden die Durchmesser noch schwebender Teilchen - vergleichbar dem "Siebdurchgang" - ermittelt.

Zu beachten ist weiterhin, daß bei der kombinierten Sieb- und Schlämmanalyse der Feststoffgehalt der Suspension auf

die Gesamtanalyse umgerechnet werden muß, bevor man die vollständige Kornverteilung, wie in 7.2. beschrieben, auftragen kann.

7.4. Auswertung der Porenanteilsbestimmung

Der Porenanteil n wird ermittelt nach

$$n = 1 - \frac{m_{tr}}{V \rho_s} 100 \quad \text{in \%}$$

m_{tr} Trockenmasse der Probe

V Volumen der Probe

ρ_s Dichte der Probe (als Standarddichte gilt $2,65 \text{ g cm}^{-3}$)

Der Wasserhaltewert w_a berechnet sich aus

$$w_a = \frac{m_f - m_{tr}}{V} 100 \quad \text{in \%}$$

m_f Feuchtmasse der Probe

m_{tr} Trockenmasse der Probe

V Volumen der Probe

Daraus ergibt sich der entwässerbare Porenanteil n_e

$$n_e = n - w_a$$

Die Ergebnisdokumentation erfolgt in der Hydrogeologie mit einer Tabelle, die neben dem Teufenbereich für die einzelnen untersuchten Proben deren Porenanteil n und den entwässerbaren Porenanteil n_e darstellt.

Aus Tabelle 16 wird deutlich, daß mit abnehmender Korngröße des Gesteins (Zunahme des bindigen Anteils) zwar der Porenanteil n wächst, jedoch der entwässerbare Porenanteil n_e , der allein interessant ist für eine spätere Nutzung des Grundwasserleiters, sehr stark abnimmt. Gleiches gilt für den Durchlässigkeitsbeiwert.

Nach Untersuchungen von BEYER und SCHWEIGER /3/ besteht zwischen dem entwässerbaren Porenanteil (ausgedrückt als relativer entwässerbarer Porenanteil n_e/n) und dem k -Wert eine

funktionelle Abhängigkeit. Dadurch ist neben dem k-Wert auch der entwässerbare Porenanteil n_e für mittlere Verhältnisse der pleistozänen Grundwasserleiter aus der Kornverteilungskurve bestimmbar.

Tabelle 16. Richtwerte für Porenanteil, entwässerbaren Porenanteil und Durchlässigkeitsbeiwert für verschiedene Lockergesteine (nach /4/)

Gestein	Porenanteil n	entwässerbarer Porenanteil n_e	Durchlässigkeits- beiwert k in $m \cdot s^{-1}$
sandiger Kies	0,25 ... 0,35	0,20 ... 0,25	$3 \cdot 10^{-3}$... $5 \cdot 10^{-4}$
kiesiger Sand	0,28 ... 0,35	0,15 ... 0,20	$1 \cdot 10^{-3}$... $2 \cdot 10^{-4}$
mittlerer Sand	0,30 ... 0,38	0,10 ... 0,15	$4 \cdot 10^{-4}$... $1 \cdot 10^{-4}$
schluffiger Sand	0,33 ... 0,40	0,08 ... 0,12	$2 \cdot 10^{-4}$... $1 \cdot 10^{-5}$
sandiger Schluff	0,35 ... 0,45	0,05 ... 0,10	$5 \cdot 10^{-5}$... $1 \cdot 10^{-6}$
toniger Schluff	0,40 ... 0,55	0,03 ... 0,08	$5 \cdot 10^{-6}$... $1 \cdot 10^{-8}$
schluffiger Ton	0,45 ... 0,65	0,02 ... 0,05	$\approx 10^{-8}$