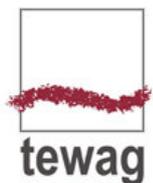




Grundwassermodell Flutpolder Eltheim und Wörthhof Hydrogeologisches Modell, Modellkonzepte

Anlage 7.1.3

Durchlässigkeit der Deckschichten



Arbeitsgemeinschaft Simultec – tewag

Simultec AG, Hardturmstr. 261, CH-8005 Zürich, +41 44 563 86 20, www.simultec.ch

tewag GmbH, Blumenstr. 24, D-93055 Regensburg, +49 941 208633-60, www.tewag.de

Inhalt

1	Einleitung, Ziel	2
2	Verfahren	2
3	Resultate	3
3.1	Standort 28.....	3
3.2	Standort 34.....	4
3.3	Standort 40.....	6
3.4	Standort 45.....	8
4	Folgerungen	9
4.1	Zusammenstellung der Resultate	9
4.2	Überprüfungs des Auswertungsansatzes	9
4.3	Relevanz für gesamte Deckschicht.....	10
4.4	Korngrössenanalyse.....	11
4.5	Folgerungen zur Deckschichtdurchlässigkeit.....	11

Anlage: Kornverteilungen

1 Einleitung, Ziel

Zielsetzung	Kenntnisse über die Durchlässigkeit der Deckschichten sind von grosser Bedeutung für die Beurteilung der geplanten Flutpolder. Die Menge Wasser, welche bei einer Polderfüllung in den Grundwasserleiter eindringen kann, ist davon direkt abhängig. Eine mögliche Methode zur Bestimmung der Durchlässigkeit ist das In-Situ-Messverfahren mit dem Doppelring-Infiltrometer nach DIN 19682.
Ausführung	Die Versuche wurden am 29.03.2017 durch die Firma Baugrund Süd durchgeführt. Ein Mitarbeiter der Firma tewag begleitete die Versuche vor Ort. Die grafische Auswertung wurde durch eine Mitarbeiterin des WWA vorgenommen. Im vorliegenden Dokument wird das Verfahren kurz erläutert und die Resultate dargestellt und kommentiert.

2 Verfahren

Instrument	Der Doppelring-Infiltrometer ist ein Instrument zur Bestimmung der Wasserinfiltration in Böden. Zwei Zylinder mit den Durchmesser 30 cm und 55 cm werden hierbei als Infiltrationsringe ca. 5 cm in den Boden eingebracht. Um den äusseren Ring werden eventuelle Auflockerungen des Bodens wieder verdichtet. Anschließend werden die Ringe ca. 10 cm mit Wasser gefüllt. Durch den Doppelring wird ein seitliches Versickern des infiltrierenden Wassers eingeschränkt.
Messung	Die Infiltrationsrate ist die Wassermenge, die, bezogen auf eine gegebene Fläche und eine gegebene Zeit, senkrecht in den Boden eintritt. Die Infiltrationsrate wird durch das Messen der Veränderung des Wasserspiegels in Millimeter im Innenring ermittelt. Die Messungen werden so lange wiederholt, bis eine annähernd konstante Infiltrationsrate erreicht wird. Mit einer Stoppuhr wird die Versickerungsleistung gemessen. Grundsätzlich wird der Wasserstand im Innen- und Außenring konstant gehalten, um die Pufferwirkung gegen seitliches Versickern aufrecht zu halten.
Lage	Insgesamt wurden 4 Infiltrometer-Versuche durchgeführt. Die Versuche wurden nahe bei den abgeteuften Bohrungen vorgenommen, da dort bereits Kenntnisse über die Art und Mächtigkeit der Deckschichten vorhanden waren. Die Lage der Versuche ist in Abbildung 1 dargestellt. Mit einem Kleinbagger wurde zuerst die Humusschicht entfernt. Beprobte wurden die darunter liegenden Deckschichten. Die Resultate der Doppelring-Infiltrometer wurden über Korngrössenanalysen ergänzt.

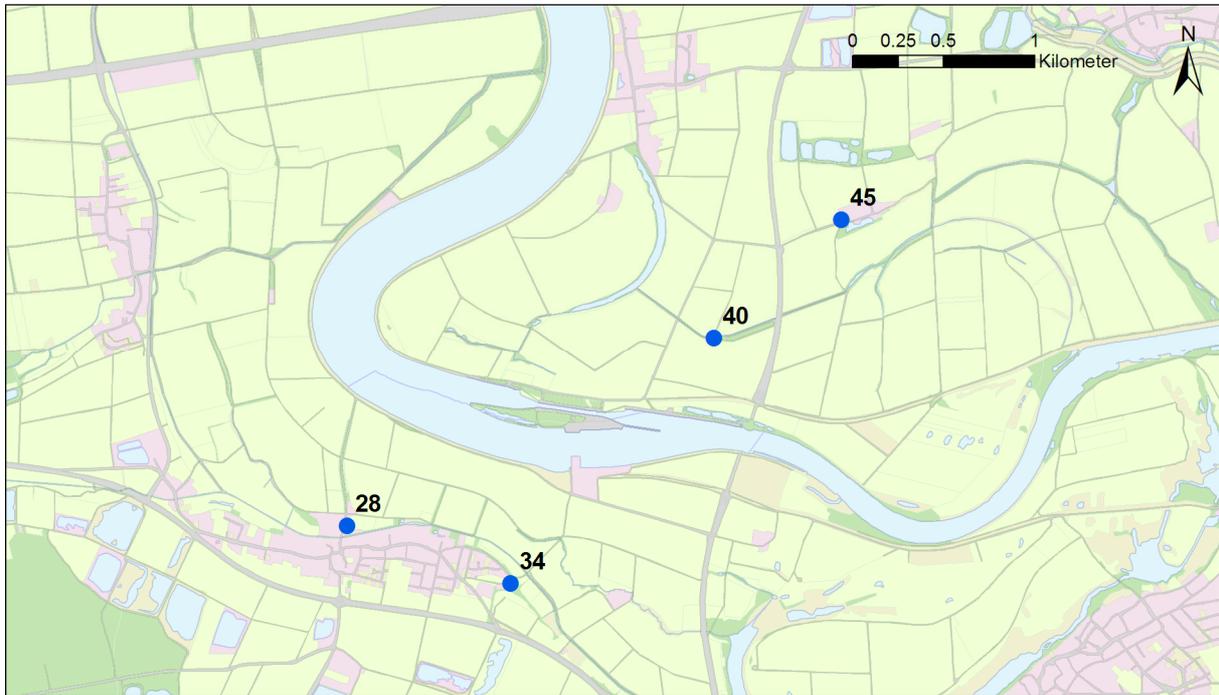


Abbildung 1: Lage der durchgeführten Sickerversuche

3 Resultate

3.1 Standort 28

Versuchstiefe 1.1 m unter Terrain

Material: Schluff, tonig, dunkelbraun



Abbildung 2: Doppelring-Infiltrometer am Standort 28

Tabelle 1:

Versuchsergebnisse Standort 28

Zeitpunkt [s]	Zeitdifferenz dt [s]	Wasserspiegel [mm]	Differenz Wasserspiegel dI [mm]	Infiltrationsrate $i=dI/dt$ [m/s]
0		100	0	
30	30	100	0	
60	30	100	0	
120	60	99	1	8.33E-06
300	180	99	0	
600	300	99	0	
900	300	99	0	
1200	300	98	1	9.26E-07

Auswertung

Tabelle 1 zeigt die Resultate des Infiltrationsversuches am Standort 28. Der Versuch kann nicht ausgewertet werden, weil die Infiltrationsrate so klein ist, dass sie innerhalb des Versuchszeitraums nicht gemessen werden konnte. Die Durchlässigkeit der Deckschicht ist in diesem Bereich jedoch kleiner als 1×10^{-6} m/s.

3.2 Standort 34

Versuchstiefe: 0.15 m unter Gelände

Material: Sand, humos, schwach kiesig, braun



Abbildung 3

Doppelring-Infiltrationsmeter am Standort 34

Tabelle 2:

Versuchsergebnisse Standort 34

Zeitpunkt [s]	Zeitdifferenz dt [s]	Wasserspiegel [mm]	Differenz Wasserspiegel dI [mm]	Infiltrationsrate $i=dI/dt$ [m/s]
0	0	100		
30	30	99	0	
60	30	95	4	1.33E-04
120	60	88	7	1.17E-04
300	180	65	23	1.28E-04
420	120	50	15	1.25E-04
480	60	99		
540	60	94	5	8.33E-05
600	60	84	10	1.67E-04
720	120	67	17	1.42E-04
900	180	52	15	8.33E-05
960	60	98		
1020	60	93	5	8.33E-05
1080	60	75	18	3.00E-04
1200	120	57	18	1.50E-04
1260	60	98		
1320	60	95	3	5.00E-05
1380	60	79	16	2.67E-04
1500	120	60	19	1.58E-04
1560	60	95		
1620	60	81	14	2.33E-04
1740	120	61	20	1.67E-04
1980	240	42	19	7.92E-05
2040	60	95		
2100	60	90	5	8.33E-05
2280	180	70	20	1.11E-04
2400	120	57	13	1.08E-04
2520	120	40	17	1.42E-04
2580	60	69		
2640	60	86	10	1.67E-04
2700	60	77	9	1.50E-04
2820	120	60	17	1.42E-04
3000	180	41	19	1.06E-04
3060	60	92		
3120	60	83	9	1.50E-04
3180	60	74	9	1.50E-04
3300	120	62	12	1.00E-04
3600	300	43	19	6.33E-05

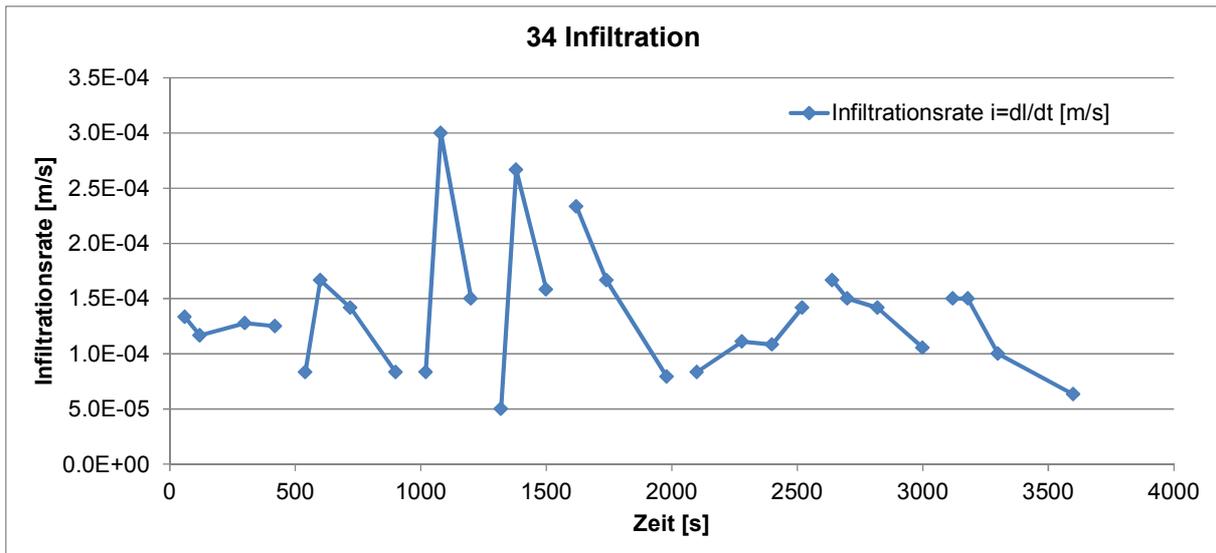


Abbildung 4

Graphische Auswertung des Versuchs am Standort 34

Auswertung

Tabelle 2 zeigt die Resultate des Infiltrometer-Versuches am Standort 34. In Abbildung 4 ist die gemessene Infiltrationsrate graphisch dargestellt. Die Durchlässigkeit der Deckschicht beträgt in diesem Bereich etwa 8×10^{-5} m/s.

3.3 Standort 40

Versuchstiefe: 0.6 m unter Gelände

Material: Schluff, sandig, sehr schwach tonig, schwach humos, dunkelbraun.



Abbildung 5

Doppelring-Infiltrometer am Standort 40

Tabelle 3:

Versuchsergebnisse Standort 40

Zeitpunkt [s]	Zeitdifferenz dt [s]	Wasserspiegel [mm]	Differenz Wasserspiegel dl [mm]	Infiltrationsrate $i=dl/dt$ [m/s]
0	0	99		
30	30	98	1	3.33E-05
60	30	96	2	6.67E-05
120	60	94	2	3.33E-05
300	180	92	2	1.11E-05
600	300	90	2	6.67E-06
900	300	88	2	6.67E-06
1200	300	86	2	6.67E-06
1800	600	85	1	1.67E-06

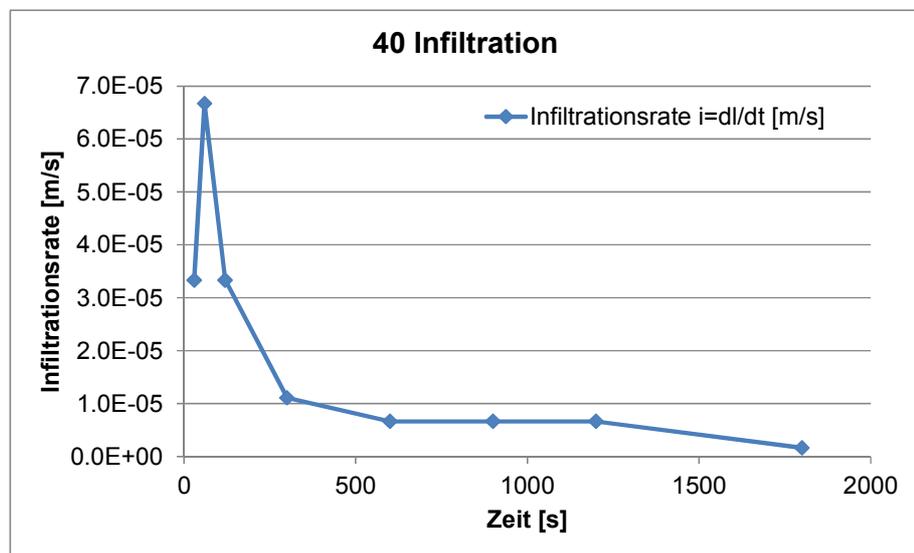


Abbildung 6:

Graphische Auswertung des Versuchs am Standort 40

Auswertung

Tabelle 3 zeigt die Resultate des Infiltrimeter-Versuches am Standort 40. In Abbildung 6 ist die gemessene Infiltrationsrate graphisch dargestellt. Die Durchlässigkeit der Deckschicht beträgt in diesem Bereich etwa 4×10^{-6} m/s.

3.4 Standort 45

Versuchstiefe: 0.3 m unter Gelände

Material: Schluff, stark feinsandig, dunkelbraun



Abbildung 7: Doppelring-Infiltrometer am Standort 45

Tabelle 4: Versuchsergebnisse Standort 45

Messzeitpunkt [s]	Zeitdifferenz dt [s]	Wasserspiegel [mm]	Differenz Wasserspiegel dI [mm]	Infiltrationsrate $i=dI/dt$ [m/s]
0	0	96		
30	30	95	1	3.33E-05
60	30	94	1	3.33E-05
120	60	80	14	2.33E-04
300	180	72	8	4.44E-05
600	300	59	13	4.33E-05
660	60	74		
720	60	72	2	3.33E-05
900	180	69	3	1.67E-05
1200	300	52	17	5.67E-05
1260	60	80		
1320	60	78	2	3.33E-05
1500	180	76	2	1.11E-05
1800	300	72	4	1.33E-05
2400	600	62	10	1.67E-05
3000	600	50	12	2.00E-05
3060	60	82		
3120	60	81	1	1.67E-05
3300	180	79	2	1.11E-05
3600	300	77	2	6.67E-06

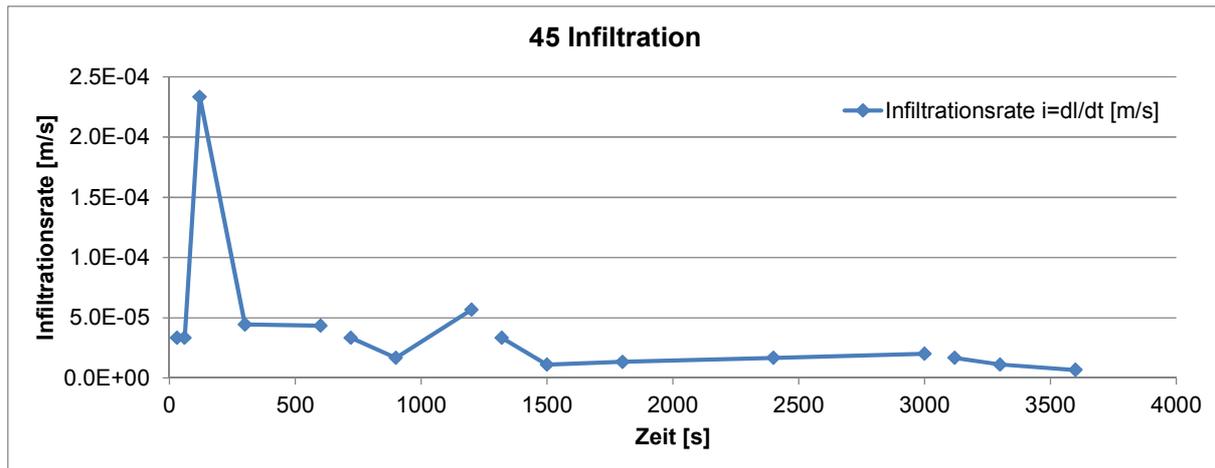


Abbildung 8: Graphische Auswertung des Versuchs am Standort 45

Auswertung

Tabelle 4 zeigt die Resultate des Infiltrometer-Versuches am Standort 45. In Abbildung 8 ist die gemessene Infiltrationsrate graphisch dargestellt. Die Durchlässigkeit der Deckschicht beträgt in diesem Bereich etwa 8×10^{-6} m/s.

4 Folgerungen

4.1 Zusammenstellung der Resultate

In Tabelle 1 sind die Resultate der Doppelring-Infiltrometer-Versuche zusammengefasst.

Tabelle 5

Zusammenstellung der Resultate aus den Infiltrometer-Versuchen

Standort	Material	Tiefe	Durchlässigkeit
28	Schluff, tonig	1.1 m	$< 1 \times 10^{-6}$ m/s
34	Sand, humos, schwach kiesig	0.15 m	8×10^{-5} m/s
40	Schluff, sandig, sehr schwach tonig	0.6 m	4×10^{-6} m/s
45	Schluff, stark feinsandig	0.3 m	8×10^{-6} m/s

4.2 Überprüfungs des Auswertungsansatzes

Modellrechnung

Bei der Auswertung der Doppelring-Infiltrometer-Versuche wird angenommen, dass die Infiltration vertikal erfolgt und nicht durch seitliche Strömungen beeinflusst wird. Diese Annahme wurde durch ein numerisches Modell überprüft. Das Modell besitzt folgende Eigenschaften:

- Durchlässigkeit des Untergrundes 1×10^{-6} m/s
- Isotropes Material
- Porosität 15%

- Anfangssättigung des Untergrundes 90%
- Ansatz für die ungesättigte Strömung: Van Genuchten
- Füllhöhe im Doppelring-Infiltrometer: 10 cm

Modellrechnung

Abbildung 9 zeigt die im Modell resultierende Infiltrationsrate. Nach einer Stunde erreicht diese einen Wert von ca. 1.7×10^{-6} m/s. Die im Modell berechnete Infiltrationsrate ist also um einen Faktor 1.7 höher als die Durchlässigkeit des Untergrundes.

Folgerung

Der Auswertungsansatz für den Doppelring-Infiltrometer-Versuch ergibt also etwas zu hohe Durchlässigkeiten. In der Größenordnung sind sie jedoch korrekt

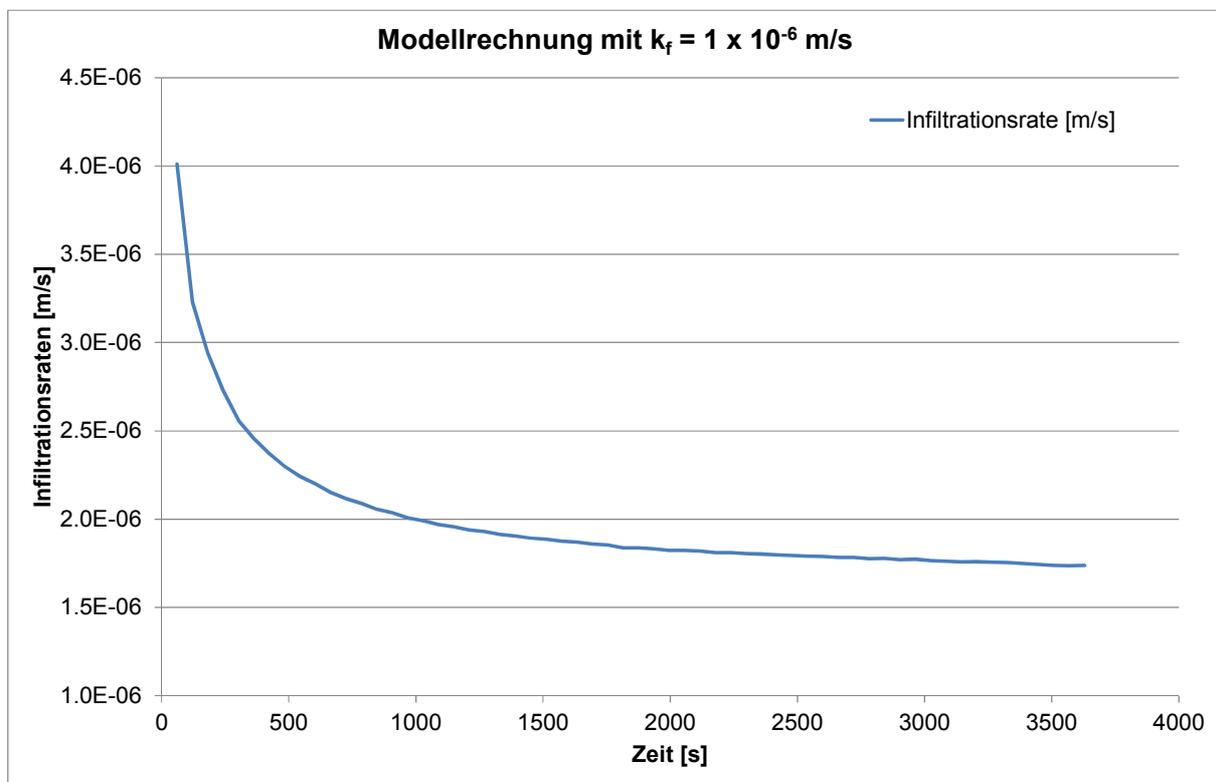


Abbildung 9: Simulierter Doppelring-Infiltrometer-Versuch

4.3 Relevanz für gesamte Deckschicht

Tiefenabhängigkeit

Durch den Abtrag der Humusschicht wurde sichergestellt, dass der Infiltrationsversuch auf der maßgebenden Deckschicht stattfindet. Allerdings ist zu erwarten, dass die Deckschicht im obersten Bereich die höchste Durchlässigkeit aufweist. Die beiden Versuche, die in etwas tieferer Lage ausgeführt werden, ergaben denn auch deutlich tiefere Versickerungsraten. Die ermittelten Durchlässigkeitswerte sollten deshalb als obere Grenze der Durchlässigkeit betrachtet werden.

4.4 Korngrössenanalyse

An Material aus den Bohrungen 28, 40 und 45 führte Baugrund Süd Sieb- und Schlämmanalysen durch und ermittelte damit die Kornverteilungen. Aus den Kornverteilungen wurden ebenfalls Durchlässigkeiten geschätzt. Sie sind in Tabelle 6 zusammengestellt.

Bei der Auswahl der Proben wurde gezielt das Material mit der feinsten Körnung aus den Bohrkernen herausgesucht, da dieses für die vertikale Durchströmung massgebend ist. Die ermittelten Durchlässigkeitswerte bewegen sich in der Grössenordnung von 10^{-8} m/s.

Tabelle 6

Zusammenstellung der Resultate aus der Korngrössen-Analyse

Standort	Material	Tiefe	Durchlässigkeit
28	Schluff, tonig	2.3 m	$> 1 \times 10^{-8}$ m/s
40	Schluff, sandig, sehr schwach tonig	3.5 m	1.7×10^{-8} m/s
45	Schluff, tonig, schwach feinsandig	1.5 m	$> 1 \times 10^{-8}$ m/s

4.5 Folgerungen zur Deckschichtdurchlässigkeit

Ortsabhängigkeit

Die Infiltrations-Versuche haben gezeigt, dass die Durchlässigkeit der Deckschicht ortsabhängig große Unterschiede aufweisen kann. Dies ist insbesondere auf das unterschiedliche beprobte Material zurückzuführen, untergeordnet auf die unterschiedlichen Versuchstiefen.

Werden die in den Kapiteln 4.2 und 4.3 aufgeführten Überlegungen und die Korngrössenanalysen berücksichtigt, so können Deckschichtdurchlässigkeiten von 1×10^{-8} m/s bis zu 1×10^{-5} m/s erwartet werden. Bei sandigem Untergrund kann die Durchlässigkeit einen Wert von 1×10^{-4} erreichen.

BauGrund Süd
 Gesellschaft für Bohr-und Geotechnik mbH
 Maybachstraße 5
 88410 Bad Wurzach

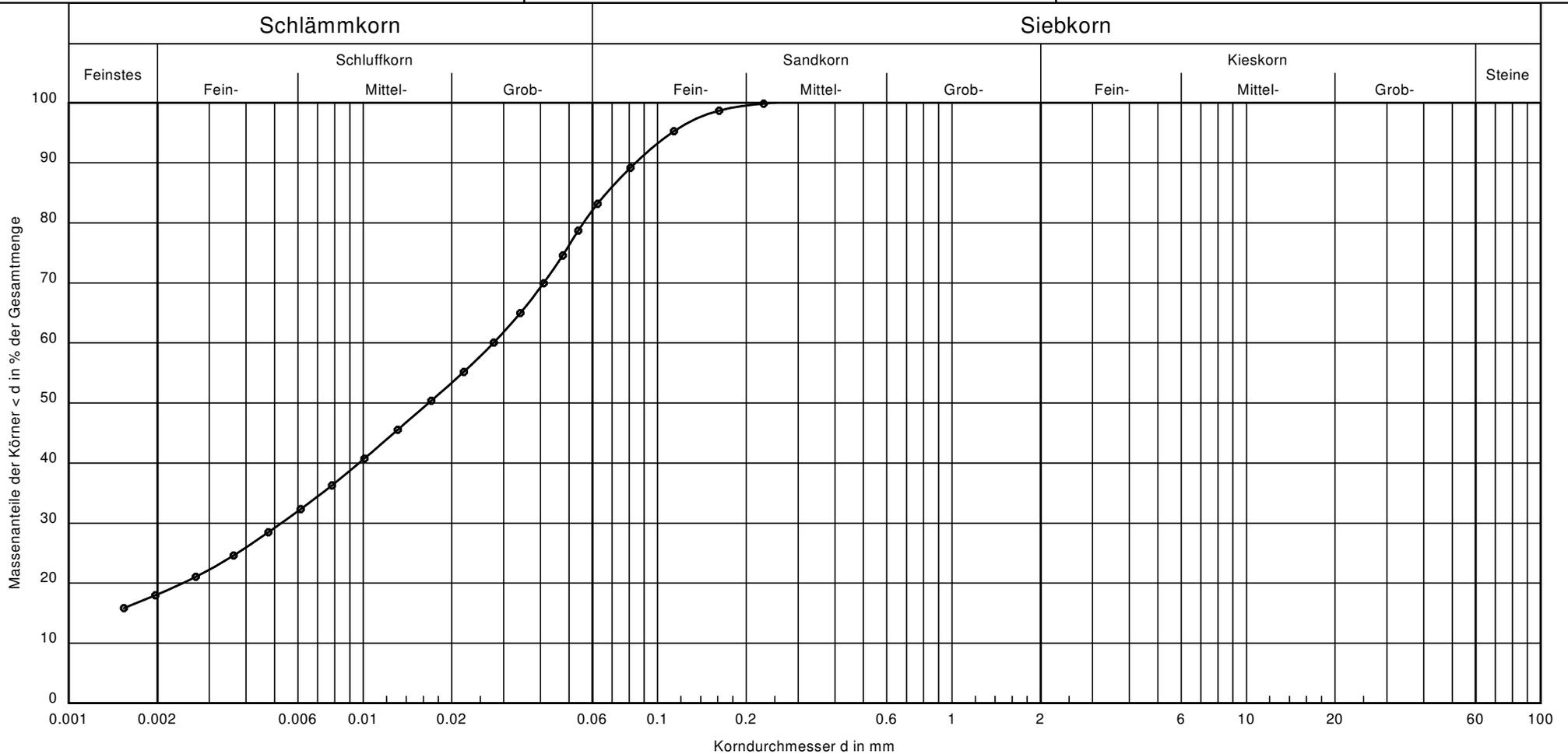
Bearbeiter: DVi

Datum: 29.08.2017

Körnungslinie

BV Wasserwirtschaftsamt Regensburg
 Flutpolder Eltheim und Wörthhof

Prüfungsnummer: 1
 Probe entnommen am: 03.08.2017
 Art der Entnahme: gestört
 Arbeitsweise: Siebung und Schlämmlung



Bezeichnung:	—●—●—
Bodenart:	U, t, fs
Entnahmestelle:	GWM 28 DSCH
Tiefe:	2,13 - 2,48 m
U/Cc:	-/-
k [m/s]:	> 10 ⁻⁸
T/U/S/G [%]:	18.1/63.9/18.0/ -

Nach DIN 4022:
 Schluff, tonig, sandig (U, t, s)

Bericht:
 AZA 1608003
 Anlage:

BauGrund Süd
 Gesellschaft für Bohr-und Geotechnik mbH
 Maybachstraße 5
 88410 Bad Wurzach

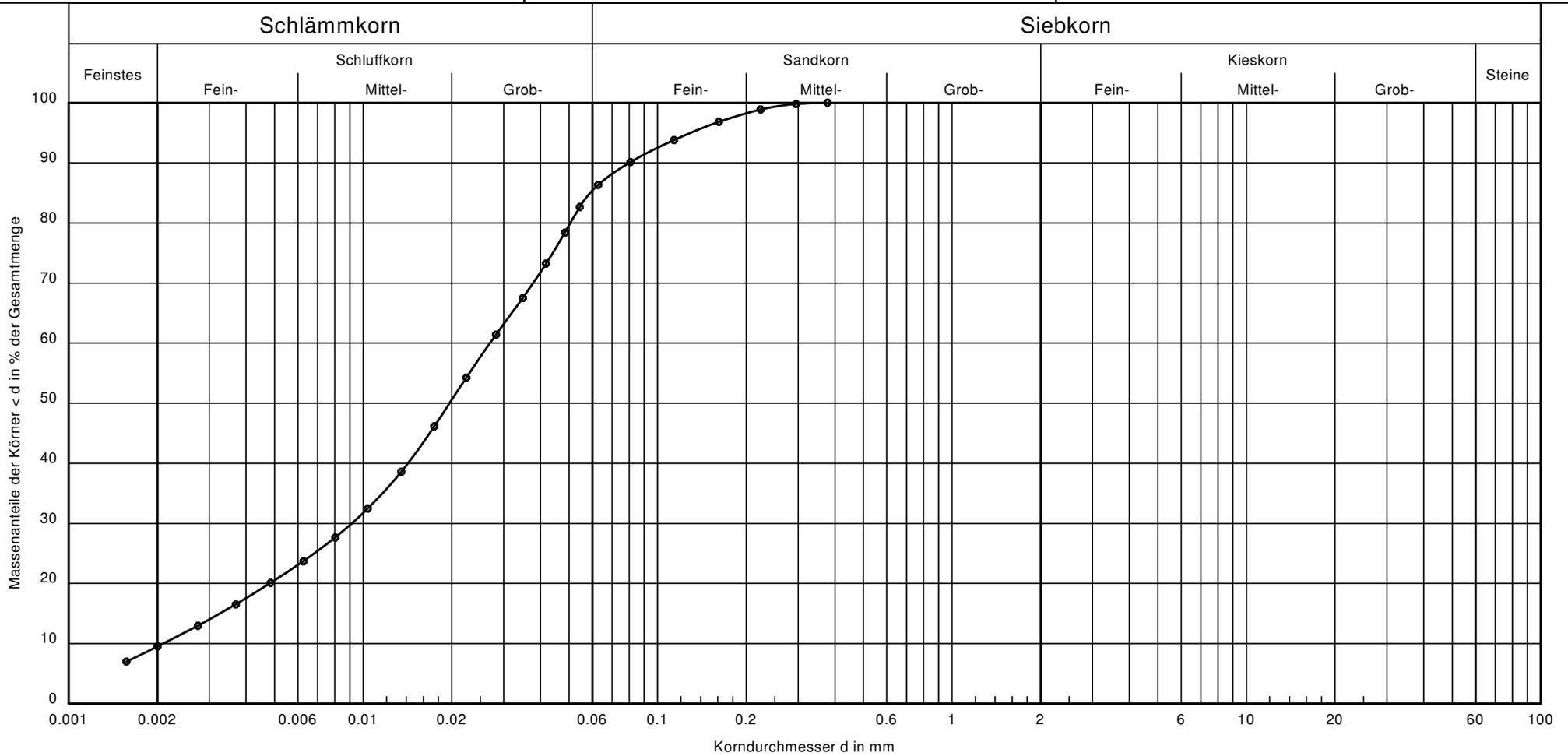
Bearbeiter: DVi

Datum: 29.08.2017

Körnungslinie

BV Wasserwirtschaftsamt Regensburg
 Flutpolder Eltheim und Wörthhof

Prüfungsnummer: 1
 Probe entnommen am: 03.08.2017
 Art der Entnahme: gestört
 Arbeitsweise: Siebung und Schlämmlung



Bezeichnung:	—●—●—		
Bodenart:	U, t', fs'	Nach DIN 4022: Schluff, schwach sandig (U, s', t') schwach tonig	Bericht: AZA 1608003 Anlage:
Entnahmestelle:	GWM 40 DSCH		
Tiefe:	3,38 - 3,73 m		
U/Cc:	12.9/1.5		
k [m/s] [USBR]:	$1,68 \cdot 10^{-8}$		
T/U/S/G [%]:	9.5/75.9/14.6/ -		

BauGrund Süd
 Gesellschaft für Bohr-und Geotechnik mbH
 Maybachstraße 5
 88410 Bad Wurzach

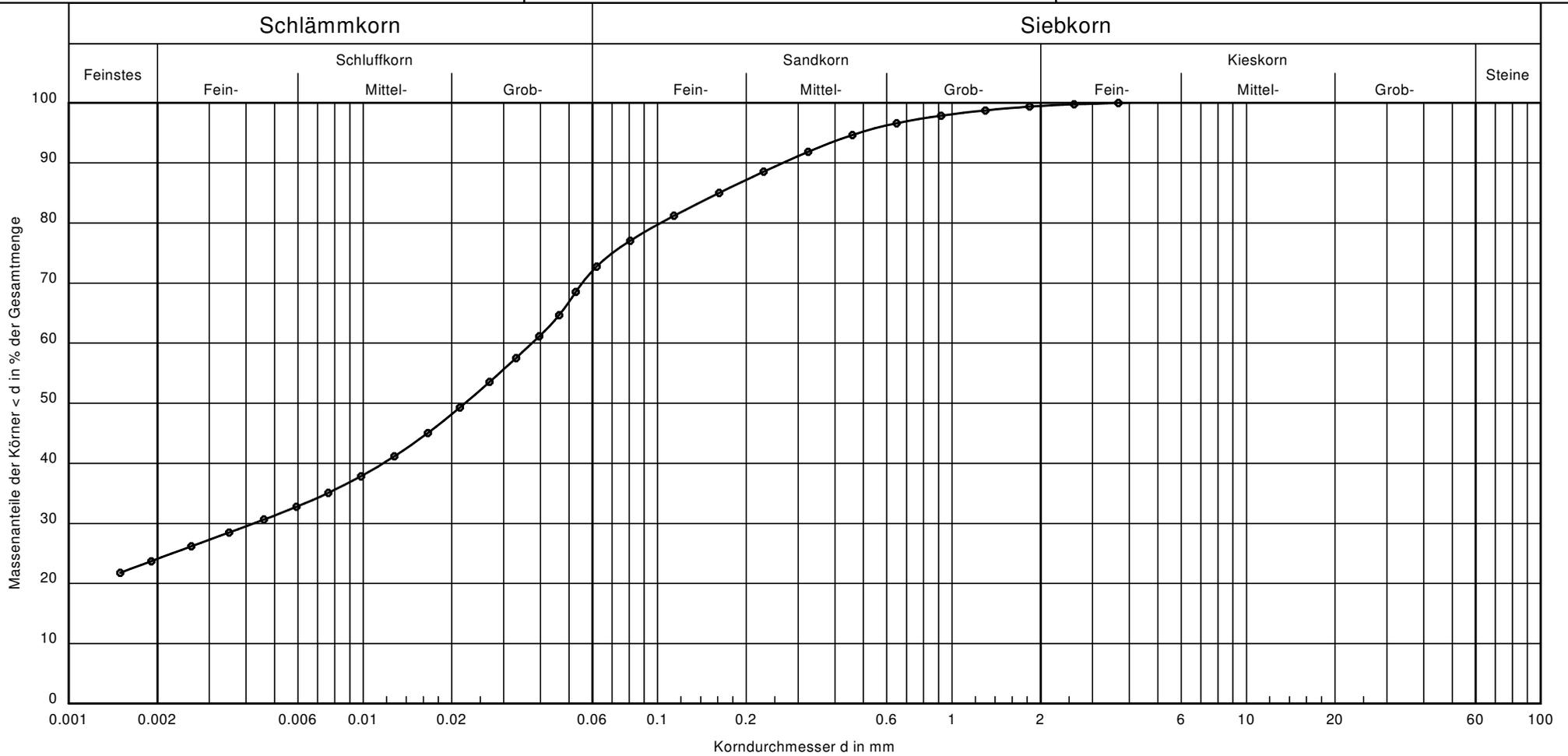
Bearbeiter: DVI

Datum: 29.08.2017

Körnungslinie

BV Wasserwirtschaftsamt Regensburg
 Flutpolder Eltheim und Wörthhof

Prüfungsnummer: 1
 Probe entnommen am: 03.08.2017
 Art der Entnahme: gestört
 Arbeitsweise: Siebung und Schlämmlung



Bezeichnung:	—●—●—
Bodenart:	U, t, fs', ms'
Entnahmestelle:	GWM 45 DSCH
Tiefe:	1,29 - 1,64 m
U/Cc:	-/-
k [m/s]:	$> 10^{-8}$
T/U/S/G [%]:	24.1/47.9/27.5/0.5

Nach DIN 4022:
 Schluff, sandig, tonig (U, s, t)

Bericht:
 AZA 1608003
 Anlage: