

# ENERGIESPEICHER RIEDL

**DONAU-KRAFTWERK JOCHENSTEIN AKTIENGESELLSCHAFT**

# Planfeststellungsverfahren Gutachten

# Geotechnische Stellungnahme Dammbau Speichersee



Erstellt	Ing. Büro Messerklinger	S. Messerklinger	17.06.2019
Geprüft	Ing. Büro Messerklinger	S. Messerklinger	09.12.2019
Freigegeben	DKJ / ES-R	D. Mayr <i>D. Mayr</i>	14.02.2020
	Unternehmen / Abteilung	Vorname Nachname	Datum

Fremdfirmen-Nr.:												Aufstellungsart:						Bl. von Bl.																
												+																						
Unterlagennummer																																		
SKS		Projekt-Nr.		Gliederungszeichen		Ersteller		Zählteil		Gliederungszeichen		KKS		Funktion/ Bauwerk		Aggregat/ Raum		DCC(UAS)																
Vorzeichen												GA																						
S1	S2	S3										G	F0	F1	F2	F3	FN	A1	A2	AN	A3	Vorzeichen												
*	A	A	A	~	A	N	N	N	/	A	A	A	N	/	A	N	N	N	N	N	A	&	A	A	N	N	N							
*	J	E	S	-	A	0	0	1	-	M	E	S	S	1	-	B	4	0	4	1	0	-	0	0	-	F	E	=	&	A	A	N	N	N

# Geotechnische Stellungnahme

Dipl.-Ing. Dr.  
**Sophie Messerklinger**  
Ernsting 25  
5121 Ostermiething  
Tel.: +43 660 / 5142 111  
Email: office@messerklinger.at

**Datum 17.06.2019\_r4**

**Für die**  
Donaukraftwerk Jochenstein AG  
Innstraße 121  
D-94036 Passau

**Betr.**  
**Review Speicher Jochenstein**

Seite 2 (25)



## Geotechnische Stellungnahme zum geplanten Energiespeicher Riedl

## Inhaltsverzeichnis

1.	Ausgangssituation .....	5
2.	Auftrag.....	5
3.	Unterlagen.....	6
4.	Review der geologischen Grundlagen .....	7
	4.1. Geotechnische Stellungnahme zum Bodengutachten.....	7
	4.2. Geotechnische Stellungnahme zu den in situ Dichten versus Einbaudichten der Dammbaumaterialien .....	7
	4.3. Kornverteilungen der identifizierten Schichtpakete .....	11
	4.4. Plastizitätszahlen und organische Anteile.....	14
	4.5. Durchlässigkeitskoeffizienten der Schichtpakete.....	17
	4.5.1. Oedometerversuche .....	17
	4.5.2. Sickerversuche in den Schürfen .....	18
5.	Geotechnische Stellungnahme zum Dammaufbau .....	20
	5.1. Wahl der Dammbaumaterialien .....	20
	5.1.1. Verwendung des Gneiszersatz, Grus .....	20
	5.1.2. Verwendung des Felsabbruch sowie des Gneiszersatz, verwittert.....	20
	5.1.3. Herstellung von Mischungen .....	23
	5.1.4. Zonierung .....	23
	5.2. Einsatzbereiche des Hanglehms .....	24
	5.3. Ausbildung der Aufstandsflächen.....	24
	5.4. Herstellung.....	25
	5.4.1. Bau in Abschnitten .....	25
	5.4.2. Schichtdicken der Dammbaumaterialien.....	25

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Kornverteilung der als Schichtpaket 3 – Hanglehm klassifizierten Bodenproben sowie die beiden als Schichtpaket 5 (ohne Nebenbestandteile) klassifizierten Proben. ....	11
Abbildung 2:	Kornverteilung der als Schichtpaket 4 – Gneiszersatz verwittert klassifizierten Bodenproben, die als Nebenbestandteil Schichtpaket 3 – Hanglehm aufweisen. ....	12
Abbildung 3:	Kornverteilung der als Schichtpaket 4 – Gneiszersatz verwittert klassifizierten Bodenproben, die als Nebenbestandteil Schichtpaket 5 – Gneiszersatz Grus aufweisen. ....	13
Abbildung 4:	Kornverteilung der als Schichtpaket 5 – Gneiszersatz Grus klassifizierten Bodenproben, die als Nebenbestandteil Schichtpaket 4 – Gneiszersatz verwittert aufweisen.....	14
Abbildung 5:	Zusammenfassung der Kornverteilungen. Dargestellt sind die Grenzen der Schichtpakete.....	15
Abbildung 6:	Plastizität der als Schichtpaket 3 – Hanglehm klassifizierten Bodenproben.....	15
Abbildung 7:	Vergleich der Kornverteilungen der Schichtpakete am Speicher Jochenstein mit Kornver-teilungen von typischen Kernmaterialien (schwarze Linien). ....	20
Abbildung 8:	Kornverteilungen von Mischungen aus Felsabbruch und Gneiszersatz. ....	21
Abbildung 9:	Kornverteilungen von Mischungen aus Felsabbruch und Gneiszersatz. ....	22
Abbildung 10:	Kornverteilungen von Mischungen aus Felsabbruch und Gneiszersatz. ....	22



## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: In situ Dichten und Wassergehalt nach [1].....	7
Tabelle 2: Proctordichte und Optimaler Wassergehalt nach [1]. .....	9
Tabelle 3: Proctordichte und Optimaler Wassergehalt nach [7]. .....	10
Tabelle 4: Glühverlust nach [1]. .....	16
Tabelle 5: Einteilung von Böden nach dem organischen Anteil gemäß EN ISO 14688-2:2004, Abschnitt 4.5.....	16
Tabelle 6: Zusammenstellung der Versuchsergebnisse von den Zeit-Setzungskurven der Oedometerversuche aus [1]. .....	17
Tabelle 7: Zusammenstellung von weiteren Durchlässigkeitsversuchen aus [1]. .....	17
Tabelle 8: Zusammenstellung der Versuchsergebnisse von den Sickerversuchen in den Schürfen aus [1].....	18



## 1. Ausgangssituation

Basierend auf den zur Verfügung gestellten Unterlagen (siehe Kapitel 3) wurden ausgewählte Fragestellungen im Hinblick auf das Genehmigungsverfahren bearbeitet, welche nachfolgend aufgelistet sind.

## 2. Auftrag

(A) Geotechnische Stellungnahme zum Dammaufbau des Speichers, insbesondere in Bezug auf:

- Zonierung
- Einsatzbereiche des Hanglehms
- Wahl der Dammbaumaterialien
- Ausbildung der Aufstandsflächen
- Herstellung:
  - Bau in drei Abschnitten (lagemäßig)
  - Schichtdicken der Dammbaumaterialien

(B) Review der geologischen Grundlagen

- Geotechnische Stellungnahme zum Bodengutachten
- Geotechnische Stellungnahme zu den insitu-Dichten versus Einbaudichten der Dammbaumaterialien
- Massenbilanz der Aushubvolumen der einzelnen Bodenzonen sowie der Schüttvolumen der aufbereiteten Dammbaumaterialien anhand von 2 geologischen Schnitten (2-2 und 3-3)



### 3. Unterlagen

- [1] JES-A001-IFBE1-B40085-11-AFE: Baugrundgutachten Speichersee datiert mit 25.03.2013 (532 Seiten).
- [2] JES-A001-IFBE1-B40020-06-\_FE: Geologie und Hydrogeologie - Anlage 5: Bohrprofile der bisher abgeteuften Erkundungsbohrungen datiert mit 23.04.2012 (88 Seiten).
- [3] JES-A001-GKW\_1-I11096-00-\_FG: Besprechungsbericht: Energiespeicher Riedl: Vorstellung Projekt und Diskussion zum Verschluss - und Dichtungskonzept Speichersee, Auskleidung Druckstollen, vom 14.03.2011.
- [4] JES-A001-GKW\_1-I11127-00-\_FG: Bericht: Abstimmungsbesprechung beim Landesamt für Umwelt, vom 03.08.2011.
- [5] JES-A001-INGE1-B40048-00-\_FG: Schlussbericht zu Erkundungsbohrungen EB1 – EB9 und Pegelbohrungen PB3 – PB11, vom 22.07.2011 (350 Seiten).
- [6] Pläne Speichersee, alle datiert mit 30.03.2012:  
JES-A001-PERM1-A21001-00-FFE – Lageplan.  
JES-A001-PERM1-A21002-01-\_FE – Schnitte 1-1 und 2-2  
JES-A001-PERM1-A21002-02-\_FE – Schnitt 3-3  
JES-A001-PERM1-A21002-03-AFE – Weiher Mühlberg, Schnitte 4-4 und 5-5  
JES-A001-PERM1-A21004-00-FFE – Drainagesystem Lageplan und Details  
JES-A001-PERM1-A21005-01-CFE – Kontrollgang Querschnitte  
JES-A001-PERM1-A21005-02-BFE – Be-/ Entlüftungsschacht Lageplan Schnitte  
JES-A001-PERM1-A21005-03-BFE – Kontrollgang Abwicklung (Längsschnitt)  
JES-A001-PERM1-A21005-04-DFE – Zugang Kontrollgang Lageplan u. Schnitt  
JES-A001-PERM1-A21006-00-CFE – Überwachungssystem Lageplan  
JES-A001-PERM1-A21007-00-CFE – Dammkronenweg Schnitte  
JES-A001-PERM1-A21008-01-AFE – Dammaufbau, Regelquerschnitt, Damm im Einschnitt  
JES-A001-PERM1-A21008-02-\_FE – Dammaufbau, Regelquerschnitt, Damm vor Riedl  
JES-A001-PERM1-A22002-01-AFE – Ein-/ Auslaufbauwerk mit Schieberkammer, Lageplan  
JES-A001-PERM1-A22002-02-CFE – Ein-/ Auslaufbauwerk mit Schieberkammer, Schnitte
- [7] JES-A001-IFBE1-B40416-00-\_FE - Ergänzende geotechnische Laborversuche, IFB Eigenschenk GmbH, datiert mit 12.04.2019 (79 Seiten).



## 4. Review der geologischen Grundlagen

### 4.1. Geotechnische Stellungnahme zum Bodengutachten

Anhand der umfangreichen Feld- und Laboruntersuchungen [1] wurden neben dem Oberboden sechs geologische Einheiten identifiziert:

- Schichtpaket 1 – Auffüllung
- Schichtpaket 2 – Organische Böden
- Schichtpaket 3 – Hanglehm
- Schichtpaket 4 – Gneissersatz (GZ), verwittert
- Schichtpaket 5 – Gneissersatz, Grus
- Schichtpaket 6 – Gneis

Nachfolgend werden ausgewählte Bodenparameter bzw. Bodeneigenschaften dieser Lockergesteinsschichten zusammengefasst und in Bezug auf den Dammbau beurteilt.

### 4.2. Geotechnische Stellungnahme zu den in situ Dichten versus Einbaudichten der Dammbaumaterialien

Für drei Schichtpakete (1, 3 und 4) wurden die in situ Lagerungsdichten sowie die in situ Wassergehalte an zehn oberflächennah (Tiefe 1,0 m bis 1,3 m) entnommenen ungestörten Proben bestimmt (Tabelle 1).

Schichtpaket / Lithologie	Proben-bezeichnung	Entnahmetiefe [m u. GOK]	Trocken-dichte [g/cm <sup>3</sup> ]	Feucht-dichte [g/cm <sup>3</sup> ]	Wasser-gehalt [%]
Oberboden	S2/D2	0,3	1,767	2,033	15,0
1-Auffüllung	S20/UP1	0,8 - 1,0	1,632	1,974	21,0
3-Hanglehm	S4/UP1	1,0 - 1,2	1,454	1,944	33,7
3-Hanglehm	S5/UP1	1,0 - 1,2	1,577	1,903	20,6
3-Hanglehm	S9/UP1	1,0 - 1,2	1,214	1,626	33,9
3-Hanglehm	S25/UP1	1,1 - 1,3	1,616	1,964	21,5
3-Hanglehm	S26/UP1	0,8 - 1,0	1,165	1,768	51,8
3-Hanglehm	S29/UP1	1,2	1,640	1,985	21,0
4-GZ, verwittert	S6/UP1	1,0 - 1,2	1,331	1,552	16,6
4-GZ, verwittert	S8/UP1	1,3	1,439	1,631	13,3

Tabelle 1: In situ Dichten und Wassergehalt nach [1].

Für drei Schichtpakete (3, 4 und 5) wurden die Proctordichten und die optimalen Wassergehalte an 14 gestörten Proben, entnommen in Schürfen aus einer Tiefe zwischen 1,6 m und 6,1 m, bestimmt (Tabelle 2).

Der Vergleich der **in situ Trockendichten** mit den **Proctordichten** zeigt:

- Im **Schichtpaket 3 – Hanglehm** wurden in situ Trockendichten in oberflächennahen Schichten von 1,626 g/cm<sup>3</sup> bis 1,985 g/cm<sup>3</sup>, im Durchschnitt 1,865 g/cm<sup>3</sup> und Proctordichten zwischen 1,610 g/cm<sup>3</sup> und 2,018 g/cm<sup>3</sup>, im Durchschnitt 1,810 g/cm<sup>3</sup> gemessen. Der Vergleich der Versuchsergebnisse von 6 in-situ Dichtemessungen und drei Proctordichte-bestimmungen zeigt, dass die in situ- und Proctordichten in derselben Größenordnung liegen. Beim Aushub und Wiedereinbau bei Proctordichte ist anhand der derzeit vorhan-



denen Untersuchungsergebnisse von keiner wesentlichen Volumenzunahme bzw. Volumenabnahme auszugehen.

- Im **Schichtpaket 4 – Gneiszersatz**, verwittert wurden in situ Trocken-dichten in oberflächennahen Schichten von  $1,331 \text{ g/cm}^3$  und  $1,439 \text{ g/cm}^3$ , im Durchschnitt  $1,385 \text{ g/cm}^3$  und Proctordichten zwischen  $1,622 \text{ g/cm}^3$  und  $1,950 \text{ g/cm}^3$ , im Durchschnitt  $1,775 \text{ g/cm}^3$  ermittelt. Der Vergleich der Versuchsergebnisse von zwei in-situ Dichtemessungen und vier Proctor-dichtebestimmungen zeigt, dass die Proctordichten um rund 28 % (bezogen auf die Mittelwerte) größer sind als die in situ Trockendichten. Beim Aushub und Wiedereinbau bei Proctordichte ist deshalb anhand der derzeit vorhandenen Untersuchungsergebnisse von einer Volumenabnahme von rund 25 % bis 30 % auszugehen. Für eine Massenbilanz kann als konservative Annahme mit 20 % Volumenreduktion (Faktor 0,8) gerechnet werden.
- Für das **Schichtpaket 5 – Gneiszersatz, Grus** liegen derzeit keine Messdaten über die in situ Dichte vor. Die Proctordichten, gemessen an 7 Proben, liegen zwischen  $1,800 \text{ g/cm}^3$  und  $2,202 \text{ g/cm}^3$ , im Durchschnitt bei  $1,928 \text{ g/cm}^3$ . Die höheren Proctordichten sind aufgrund des höheren Kieskomponentenanteils plausibel. Für eine Massenbilanz kann beim Einbau von reinem Grus mit einer Volumenreduktion von rund 10% (Faktor 0,9) gerechnet werden. Wenn der Gneiszersatz/Grus mit Felsbruch vermischt wird, kann eine Volumenreduktion von rund 20 % (Faktor 0,8) angesetzt werden. Diese Werte für die Volumenreduktion basieren auf Erfahrungswerten. Zur Verifikation dieser Annahmen können Feld- und Laboruntersuchungen durchgeführt werden (z.B. in situ Dichtemessung mittels Sandersatz oder Troxlersonde, etc. in den als Grus klassifizierten Schichten zur Abschätzung der in situ Dichten; sowie Mischversuche von Felsbruch und Gneiszersatz im Labor und Bestimmung der Proctordichten).
- Für das **Schichtpaket 6 – Gneis (Festgestein)** waren keine Messdaten über die Dichte des Festgestein ersichtlich, deshalb kann für nachfolgenden Berechnungen eine Dichte von  $2,65 \text{ g/cm}^3$  angenommen werden. Die Proctordichte des gebrochenen Festgestein wurde, soweit aus den vorliegenden Unterlagen ersichtlich, noch nicht gemessen. Es wird deshalb von einer typischen Proctordichte für gut abgestufte Steinschüttungen von  $2,0 \text{ g/cm}^3$  bis  $2,2 \text{ g/cm}^3$ , im Durchschnitt  $2,1 \text{ g/cm}^3$  ausgegangen. Unter diesen Annahmen ist mit einer Auflockerung von rund 25 % (Faktor 1,25) zu rechnen.



Schichtpaket / Lithologie	Probenbezeichnung	Tiefe [m u. GOK]	Bodenart	Proctor-(trocken-)dichte [g/cm³]	Optimaler Wassergehalt [%]
3-Hanglehm	S4/E1	2,0	Schluff, stark sandig	1,610	18,6
3-Hanglehm	S27/E1	5,0	Schluff, sandig schwach kiesig	1,801	14,5
3-Hanglehm	S16/E1-1	1,8	Schluff, sandig, kiesig	2,018	10,4
4-GZ, verwittert	S6/E1	1,6	Feinsand, schluffig, stark schluffig	1,622	17,7
4-GZ, verwittert	S25/E2-1	3,3	Sand, stark kiesig, schluffig	1,950	11,4
4-GZ, verwittert	S31/E2-2	4,0	Sand, schluffig, kiesig	1,819	14,6
4/5-Gneiszersatz, verwittert, Grus	S22/E2-1	3,5	Sand, kiesig, schwach schluffig	1,709	15,9
5-GZ, Grus	S1/E3-2	4,2	Sand, stark kiesig, schwach schluffig	1,800	14,5
5-GZ, Grus	S3/E2-1	1,9	Kies, sandig, schluffig	1,977	11,2
5-GZ, Grus	S6/E3-1	2,3	Kies, sandig, schwach schluffig	1,803	15,5
5-GZ, Grus	S7/E3-2	3,75	Kies, sandig, schwach steinig	2,202	5,8
5-GZ, Grus	S19/E3-1	3,2	Kies, stark sandig, schwach schluffig	1,917	12,2
5-GZ, Grus	S26/E4-2	3,7	Kies, stark sandig, schluffig	1,991	8,4
5-GZ, Grus	S28/E2-1	6,1	Sand, kiesig, schwach schluffig	1,811	14,1

Tabelle 2: Procordichte und Optimaler Wassergehalt nach [1].

Der Vergleich des **in situ Wassergehalts** mit dem **optimalen Wassergehalt** zeigt:

- Im **Schichtpaket 3 – Hanglehm** wurde der in-situ Wassergehalt in oberflächennahen Schichten mit 20,6 % bis 51,8 %, im Durchschnitt 30,8 % und der optimale Wassergehalt zwischen 10,4 % und 18,6 %, im Durchschnitt mit 14,5 % bestimmt. Der in situ Wassergehalt befindet sich wesentlich über dem optimalen Wassergehalt. Beim Aushub und denkbaren Wiedereinbau dieses Materials im statisch wirksamen Dammquerschnitt ist davon auszugehen, dass Maßnahmen zur Reduktion des Wassergehalts (Zumischen von Komponenten wie Kalk, Felsbruch, etc.) erforderlich sind.
- Im **Schichtpaket 4 – Gneiszersatz, verwittert** wurde der in situ Wassergehalt in oberflächennahen Schichten mit 13,3 % und 16,6 %, im Durchschnitt 15,0 % und der optimale Wassergehalt zwischen 11,4 % und 17,7 %, im Durchschnitt mit 14,9 % bestimmt. Der in situ Wassergehalt und der optimale Wassergehalt sind in derselben Größenordnung (bezogen auf die Mittelwerte). Beim Aushub und Wiedereinbau dieses Materials ist anhand der derzeit vorhandenen Untersuchungsergebnisse davon auszugehen, dass größtenteils keine wesentlichen Maßnahmen zur Reduktion des Wassergehalts erforderlich sind (mit Ausnahme des lokalen Schutzes der Entnahmestellen bei Starkniederschlägen bzw. der Wasserzugabe bei trockenen Witterungsperioden).



- Im **Schichtpaket 5 – Gneiszersatz, Grus** liegen derzeit keine Messdaten über die in situ Wassergehalte vor. Der optimale Wassergehalt wurde zwischen 5,8 % und 15,5 %, im Durchschnitt 11,7 % bestimmt. Beim Aushub und Wiedereinbau dieses Materials kann angenommen werden, dass im großen und ganzen keine wesentlichen Maßnahmen zur Reduktion des Wassergehalts erforderlich sind (mit Ausnahme des lokalen Schutzes der Entnahm- und Einbaustellen bei Starkniederschlägen bzw. der Wasserzugabe bei trockenen Witterungsperioden).
- **Schichtpaket 6 – Gneis (Festgestein):** Der optimale Wassergehalt des gebrochenen Festgestein wurde, soweit aus den vorliegenden Unterlagen ersichtlich, noch nicht ermittelt. Beim Einbau dieses Materials kann grundsätzlich angenommen werden, dass dem Material Wasser zugegeben werden muss (rund 70 bis 120 l/m<sup>3</sup>), in Abhängigkeit des in situ Wassergehalt.

Für das Schichtpaket 4 – Gneiszersatz, verwittert wurden zusätzliche Proctorversuche an Proben aus den Bohrkernen durchgeführt (siehe auch [7] und Tabelle 3). Die Proben wurden vor den Versuchen mit 24h Wasserlagerung und anschließender Trockung beansprucht. Die danach ermittelten Trockendichten lagen zwischen 1,702 g/cm<sup>3</sup> bis 2,010 g/cm<sup>3</sup>, im Durchschnitt 1,875 g/cm<sup>3</sup>. Der Vergleich zur mittleren Proctordichte von 1,775 g/cm<sup>3</sup> für die Proben ohne vorhergehende Beanspruchung zeigt, dass mit Feuchtigkeits- und Temperaturbeanspruchung der Böden eine tendenziell höhere Dichte zu erwarten ist.

Der optimale Wassergehalt wurde zwischen 9,2 % und 16,8 %, im Durchschnitt mit 11,95 % bestimmt. Der Vergleich zum optimalen Wassergehalt von 14,9 % für die Proben ohne vorhergehende Beanspruchung zeigt, dass der durchschnittliche optimale Wassergehalt etwas geringer ist.

Schichtpaket / Lithologie	Probenbezeichnung	Tiefe [m u. GOK]	Bodenart	Proctor-(trocken-)dichte [g/cm <sup>3</sup> ]	Optimaler Wassergehalt [%]
4-GZ, verwittert	EB 1	3,5	Sand, schwach schluffig	1,850	12,5
4-GZ, verwittert	EB 2	4,0	Sand, schluffig, kiesig	1,866	12,3
4-GZ, verwittert	EB 4	2,5	Sand, schwach schluffig, schwach kiesig	1,772	12,8
4-GZ, verwittert	PB 3	3,0	Sand, kiesig, schwach schluffig	1,984	9,4
4-GZ, verwittert	PB 4	4,5	Sand, stark schluffig	1,702	16,8
4-GZ, verwittert	PB 5	2,5	Sand, stark schluffig	1,825	13,1
4-GZ, verwittert	PB 8	5,0	Sand, schluffig, schwach kiesig	2,010	9,5
4-GZ, verwittert	EB 21	7,0	Kies, stark sandig, schwach schluffig	1,990	9,2

Tabelle 3: Proctordichte und Optimaler Wassergehalt nach [7].

### 4.3. Kornverteilungen der identifizierten Schichtpakete

An 56 gestörten Proben, gewonnen aus den Erkundungsschlitten, wurden die Kornverteilung mittels Siebanalyse ermittelt. An 13 dieser Proben wurde zusätzlich eine Schlämmanalyse durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in den nachfolgenden Abbildungen je Schichtpaket zusammengefasst, wobei jeweils die Hauptkomponente des Schichtpaketes sowie die Nebenkomponente angegeben sind (z.B.: 3(4) – Hauptkomponente: Schichtpaket 3 – Hanglehm; Nebenkomponente: Schichtpaket 4 – Gneiszersatz, verwittert).

Die Kornverteilungen (Abbildung 1 – graue Linien) der als **Schichtpaket 3 – Hanglehm**, mit Nebenkomponenten aus Schichtpaket 4 – Gneiszersatz, verwittert sowie Torf, klassifizierten Proben setzen sich aus 35 % bis 60 % Schluff und rund 10 % Tonfraktion zusammen. Der grobkörnige Anteil besteht aus 25 % bis 45 % Sand und nur 5 % bis 10 % Kiesfraktion. Dieses Material ist aus bodenmechanischer Sicht aufgrund des Wasserbindevermögens, der Frostempfindlichkeit, des Setzungsverhaltens, insbesondere auch des Langzeitsetzungsverhaltens sowie der Scherfestigkeiteigenschaften für den Dammbau nur bedingt geeignet. Dieses Material kann zum Beispiel im Dammquerschnitt außerhalb der statisch wirksamen Grenzen sowie zur Landschaftsgestaltung, zur Flussumlegung, zur Geländeauffüllung von landwirtschaftlichen Flächen, etc. verwendet werden.

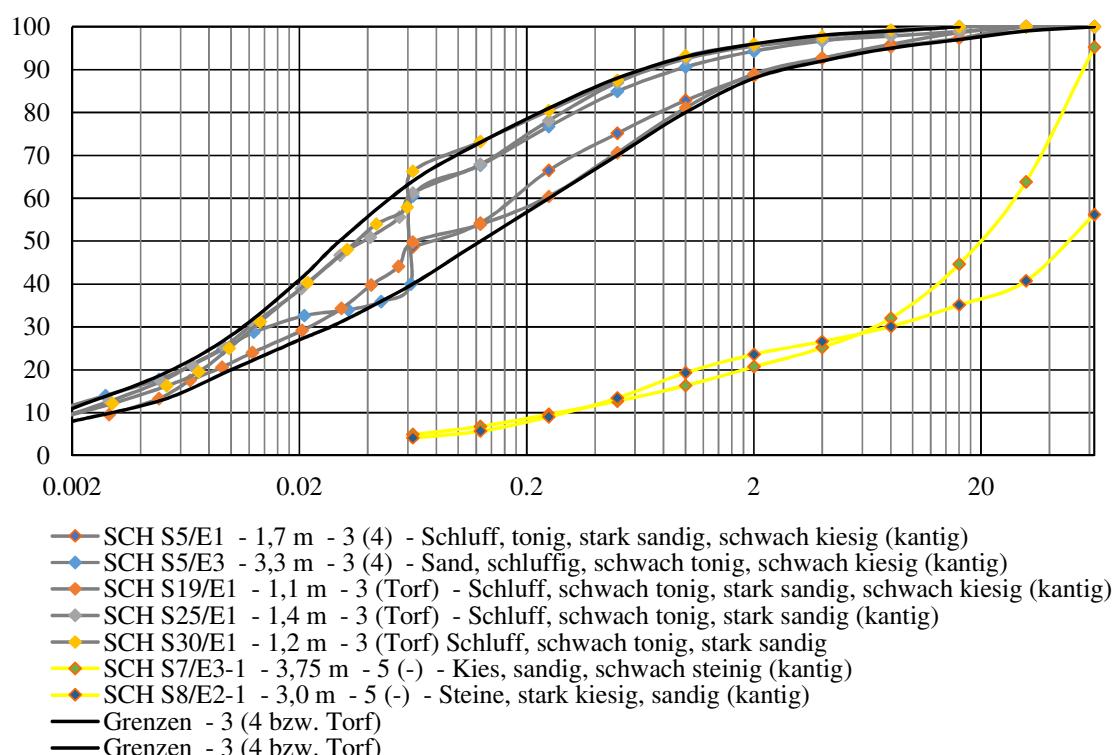


Abbildung 1: Kornverteilung der als Schichtpaket 3 – Hanglehm klassifizierten Bodenproben sowie die beiden als Schichtpaket 5 (ohne Nebenbestandteile) klassifizierten Proben.

Die beiden Kornverteilungen (Abbildung 1 – gelbe Linien) der als **Schichtpaket 5 – Gneiszersatz Grus** klassifizierten Proben bestehen zu rund 80 % aus Kiesfraktion und Steinen. Sofern diese Kornfraktionen dauerhaft sind (die Einzelkörner unter Lasteinwirkung und wechselnder Feuchtigkeit nicht brechen), kann dieses Material aus bodenmechanischer Sicht als Dammbaumaterial verwendet werden. Aufgrund der Kornform ist mit entsprechenden Langzeitsetzungen zu rechnen.

Die Kornverteilungen (Abbildung 2 – orange Linien) der als **Schichtpaket 4 – Gneiszersatz, verwittert** mit der Nebenkomponente aus Schichtpaket 3 – Hanglehm klassifizierten Proben setzen sich zu rund 15 % bis 40 % aus feinkörnigen Fraktionen

(Schluff und Ton) zusammen. Der grobkörnige Anteil ist mit 55 % bis 60 % überwiegend Sand und 5 % bis 25 % sind Kiesfraktion. Dieses Material ist aus bodenmechanischer Sicht für den Dammbau vergleichsweise feinkörnig und deshalb anspruchsvoller im Einbau bei wechselnden Witterungsbedingungen. Zudem anfällig für Erosion, sowohl oberflächennah bei Starkniederschlägen als auch im Dammquerschnitt bei Durchströmung. Aufgrund des hohen Schluffanteils ist von entsprechenden Konsolidations- und Kriechsetzungen auszugehen.

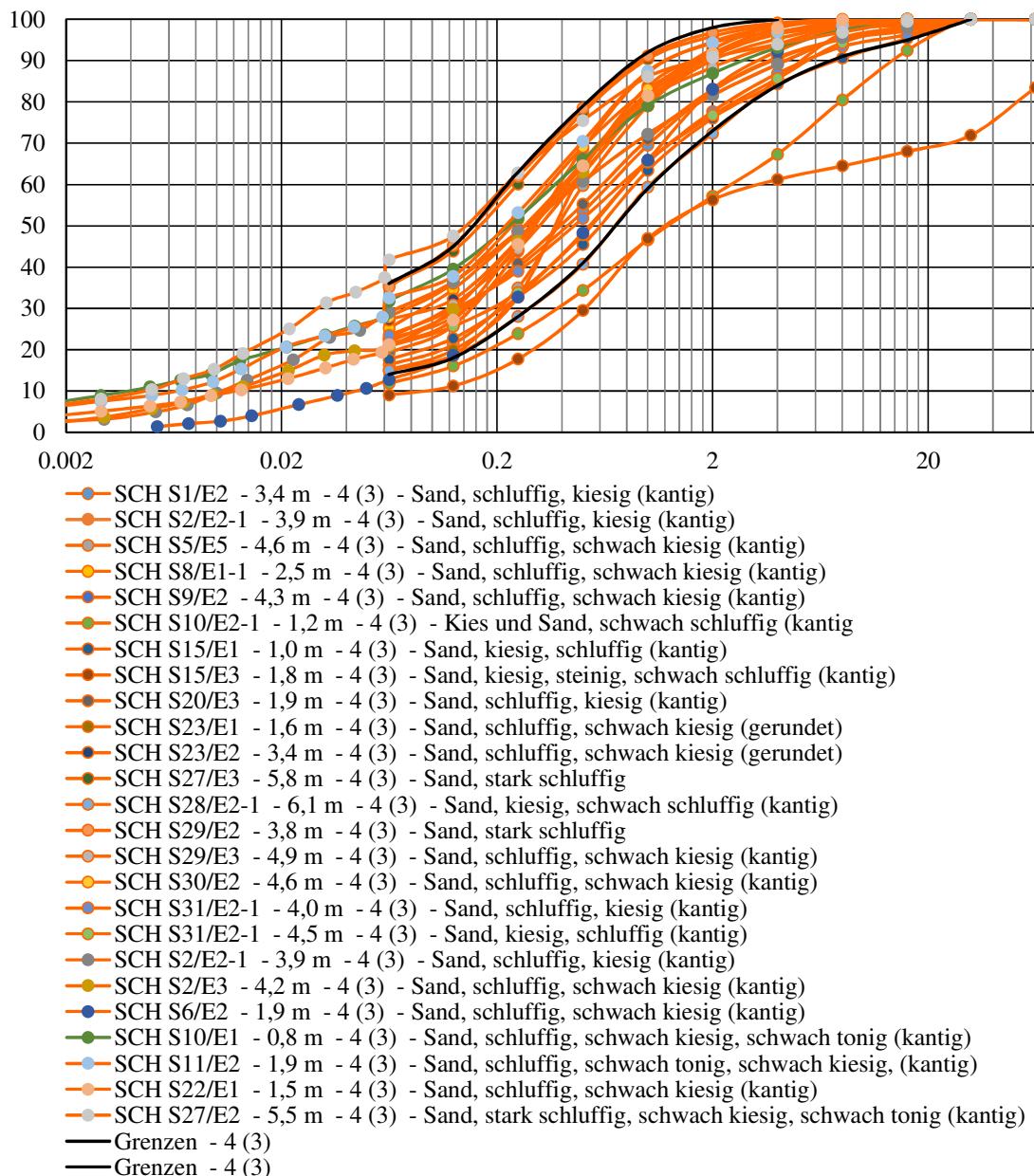


Abbildung 2: Kornverteilung der als Schichtpaket 4 – Gneiszersatz verwittert klassifizierten Bodenproben, die als Nebenbestandteil Schichtpaket 3 – Hanglehm aufweisen.

Die Kornverteilungen (Abbildung 3 – rote Linien) der als **Schichtpaket 4 – Gneiszersatz, verwittert** mit der Nebenkomponente aus Schichtpaket 5 – Gneiszersatz, Grus klassifizierten Proben setzen sich zu 10 % bis 35 % aus feinkörnigen Fraktionen (Schluff und Ton) zusammen. Der grobkörnige Anteil besteht mit 45 % bis 60 % überwiegend aus Sand und die Kiesfraktion beträgt rund 10 % bis 45 %. Dieses Material hat sowohl von den feinkörnigen als auch von den grobkörnigen Fraktionen einen wesentlichen Anteil. Die Kornverteilungskurve zeigt einen Anstieg in der Sandfraktion, welche überrepräsentiert ist.

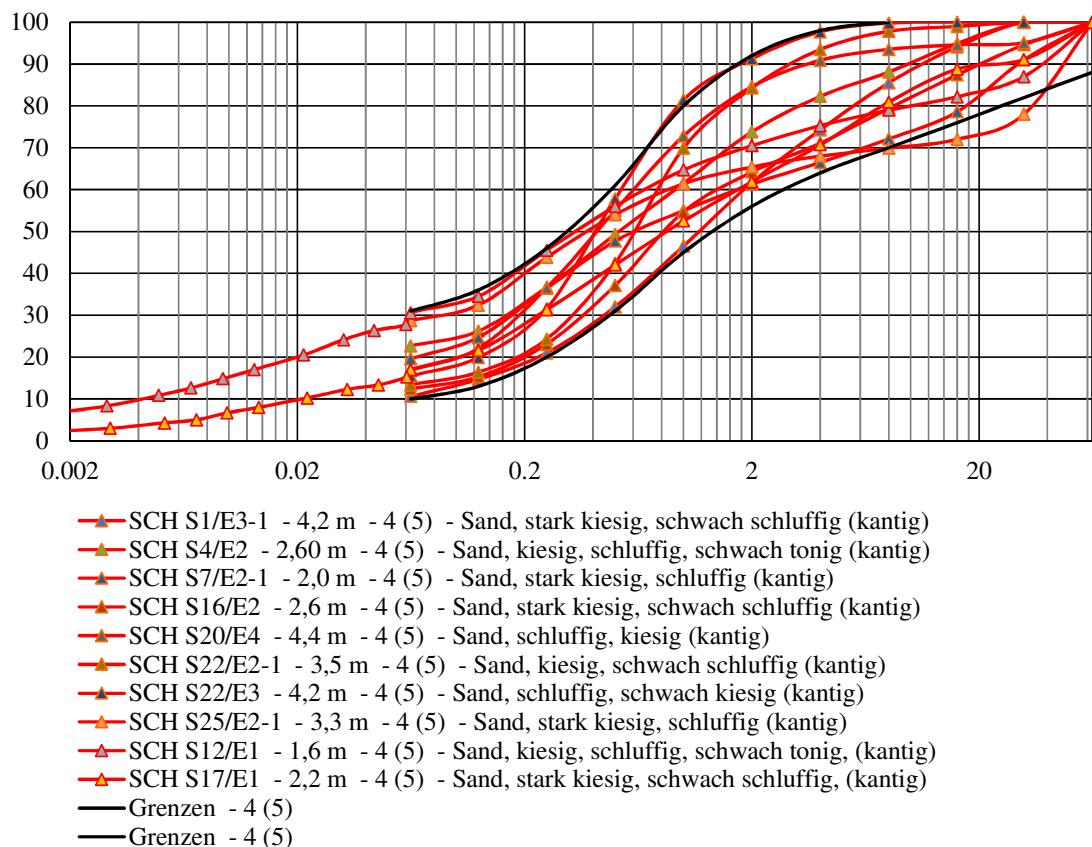


Abbildung 3: Kornverteilung der als Schichtpaket 4 – Gneiszersatz verwittert klassifizierten Bodenproben, die als Nebenbestandteil Schichtpaket 5 – Gneiszersatz Grus aufweisen.

Die Kornverteilungen (Abbildung 4- gelbe Linien) der als **Schichtpaket 5 – Gneiszersatz, Grus** mit der Nebenkomponente aus Schichtpaket 4 – Gneiszersatz, verwittert klassifizierten Proben bestehen zu 5 % bis 20 % aus feinkörnigen Fraktionen (Schluff und Ton). Der grobkörnigen Anteile ist mit 80 % bis 95 % überwiegend wobei die Sandfraktion mit 25 % bis 45 % und die Kiesfraktion mit 40 % bis 55 % jeweils in signifikanten Anteilen vorhanden sind. Dieses Material weist eine gut verteilte Kornverteilungslinie auf. Auch hier gilt, sofern die Einzelkörper der grobkörnigen Fraktionen dauerhaft sind (unter Lasteinwirkung infolge Verdichtung und wechselnder Feuchtigkeit nicht brechen oder absplittern), kann dieses Material aus bodenmechanischer Sicht die Grundlage für ein festes und steifes Dammbaumaterial bilden.

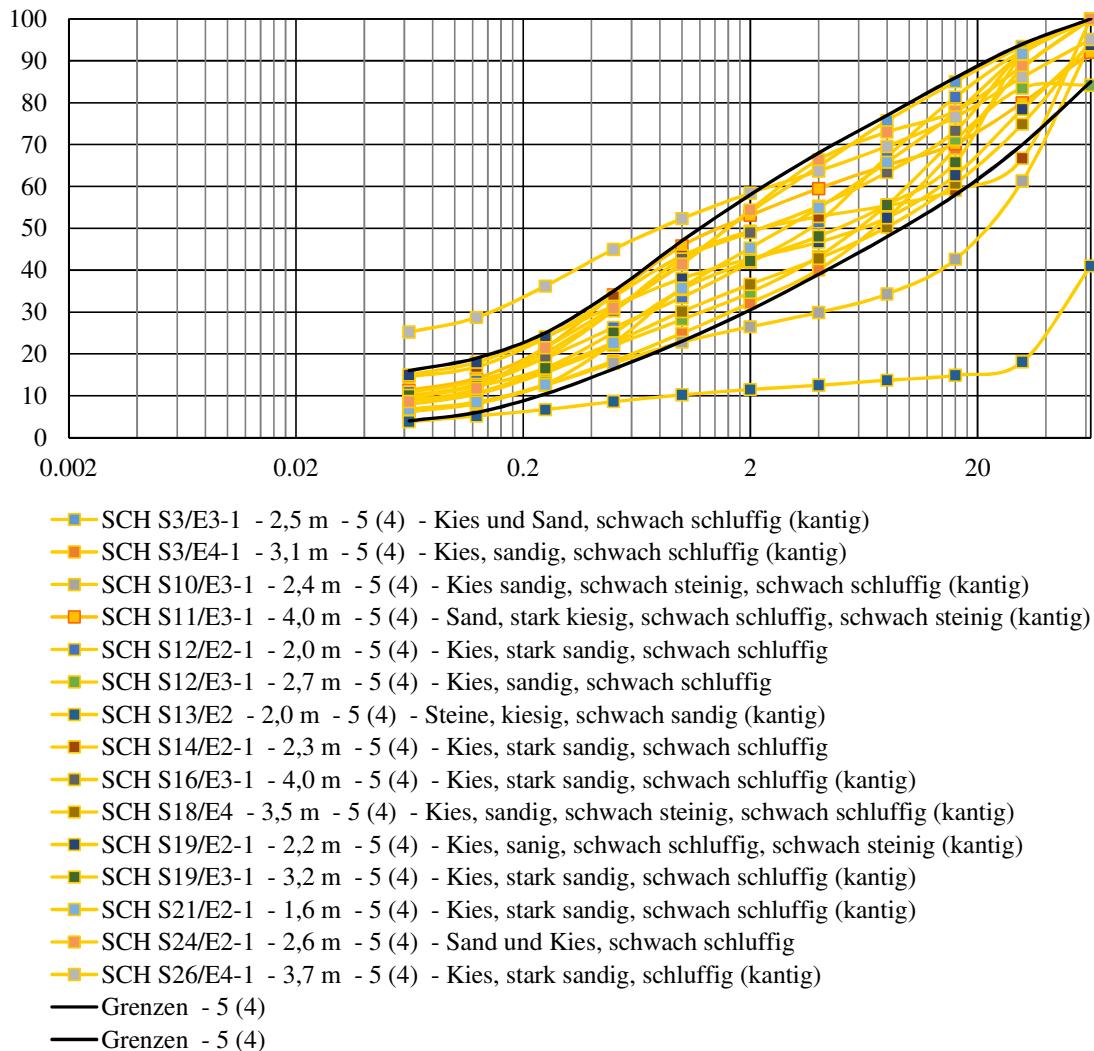


Abbildung 4: Kornverteilung der als Schichtpaket 5 – Gneiszersatz Grus klassifizierten Bodenproben, die als Nebenbestandteil Schichtpaket 4 – Gneiszersatz verwittert aufweisen.

In Abbildung 5 sind die Grenzen der oben dargestellten Kornverteilungen der einzelnen Schichtpakete zusammengestellt. Der Vergleich zeigt, dass die Grenzen fließend ineinander übergehen.

#### 4.4. Plastizitätszahlen und organische Anteile

In Abbildung 6 sind die an den Proben des Schichtpakte 3 – Hanglehm anhand der Plastizitätsgrenzen durchgeföhrten Klassifikationen dargestellt. Die Ergebnisse zeigen, dass die Proben überwiegend im Bereich der mittelplastischen Tone, an der Grenze zu den Schluffen mit organischen Beimengungen liegen.

Die mittels Glühversuch ermittelten organischen Beimengungen an Bodenproben der Schichtpakete 3 bis 5 (Versuche an Proben des Oberbodens  $\leq 0.4$  m Entnahmetiefe und Proben aus dem Torf wurden vernachlässigt) sind in Tabelle 4 zusammengefasst. Die Ergebnisse zeigen, dass im Schichtpakte 3 – Hanglehm die Glühverluste 2,4 % bis 8,7 % betragen, wobei letzterer Wert an einer Probe aus 0,6 m Tiefe ermittelt wurde. Die Glühverluste an den Proben aus 1,1 m bis 3,5 m Tiefe betragen 2,4 % bis 6,1 %. Aus dem Schichtpaket 4 – Gneiszersatz, verwittert wurden drei Proben aus 1,1 m bis 1,6 m Tiefe untersucht und 2,6 % bis 3,7 % Glühverlust ermittelt. Aus dem Schichtpaket 5 – Gneiszersatz Grus wurde eine Probe aus 2,7 m Tiefe untersucht und ein Glühverlust von 1,7 % gemessen.

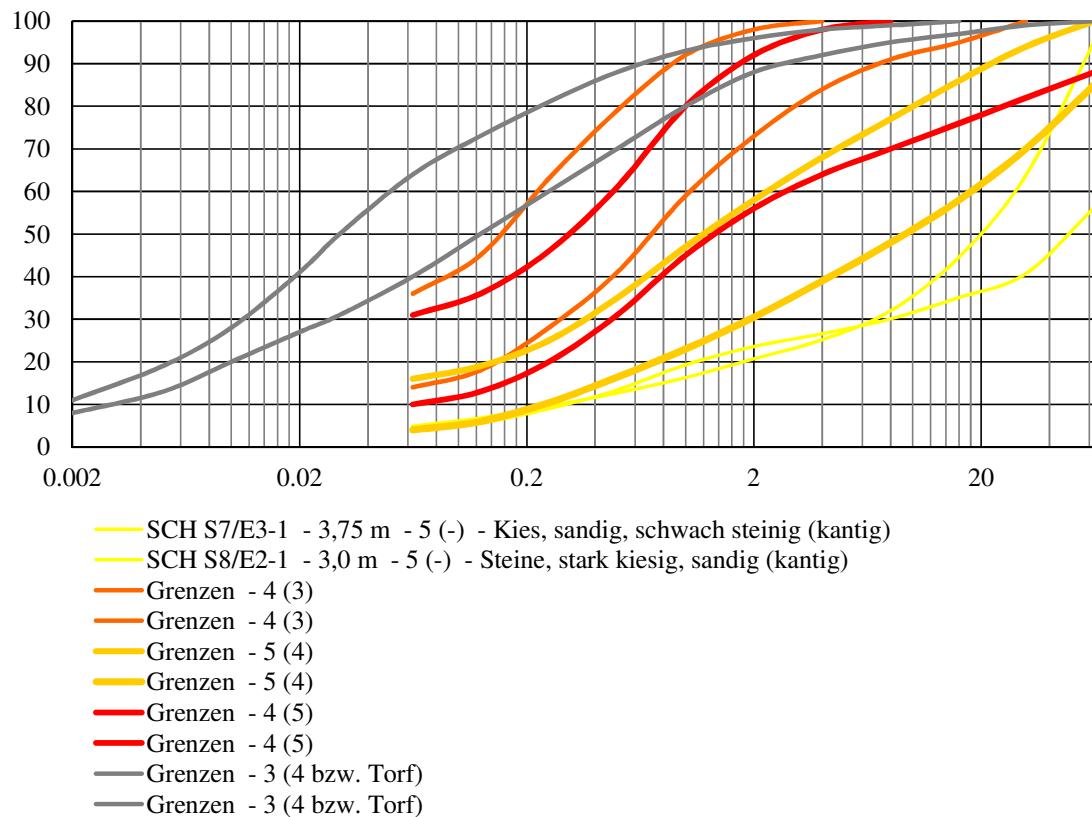


Abbildung 5: Zusammenfassung der Kornverteilungen. Dargestellt sind die Grenzen der Schichtpakete.

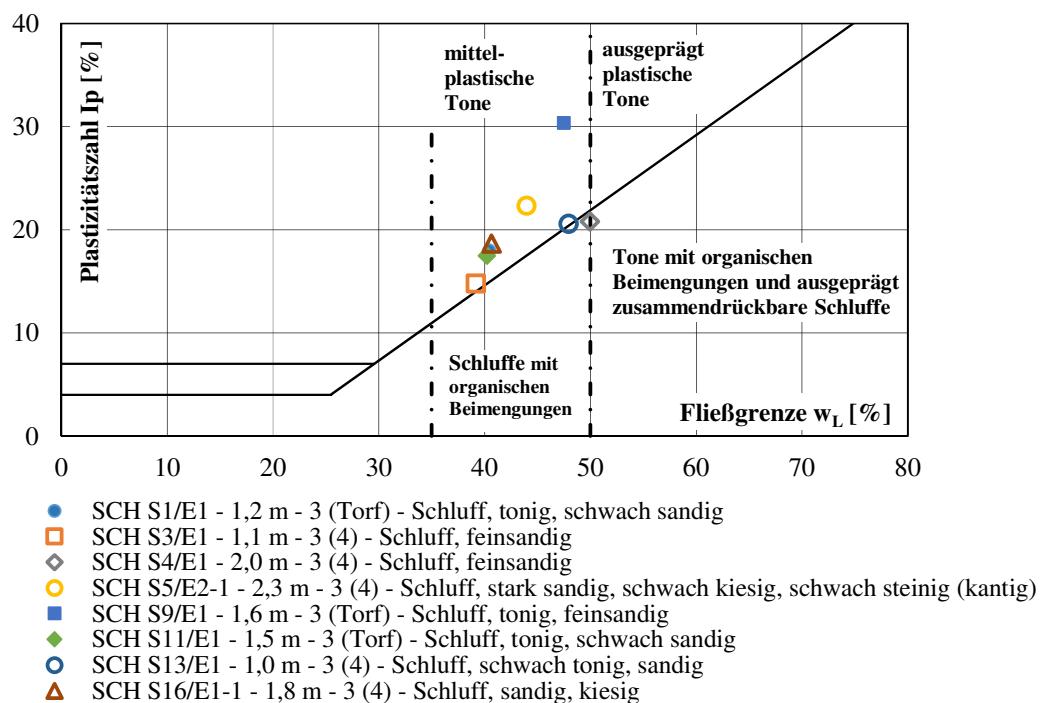


Abbildung 6: Plastizität der als Schichtpaket 3 – Hanglehm klassifizierten Bodenproben.

Schichtpaket / Lithologie	Proben- bezeichnung	Tiefe [m u. GOK]	Bodenart	Glühverlust [%]
3-Hanglehm	S3/E1	1,1	3(4) Schluff, feinsandig	2,4
3-Hanglehm	S4/E1	2,0	3(4) Schluff, feinsandig, schwach kiesig	4,4
3-Hanglehm	S5/E1	1,7	3(4) Schluff, sandig, schwach kiesig	3,0
3-Hanglehm	S9/E1	1,6	3(Torf) Schluff, tonig, feinsandig	5,0
3-Hanglehm	S11/E1	1,5	3(Torf) Schluff, tonig, schwach sandig	6,1
3-Hanglehm	S16/E1	1,8	3(4) Schluff, sandig, kiesig, schwach steinig	3,7
3-Hanglehm	S18/E2	1,9	3(4) Schluff, feinsandig	4,4
3-Hanglehm	S23/E1	1,6	3(4) Schluff, feinsandig	4,4
3-Hanglehm	S27/D2	0,6	3(4) Schluff, sandig, schwach tonig	8,7
3-Hanglehm	S28/E1	3,5	3(4) Schluff, sandig, schwach tonig	4,8
3-Hanglehm	S31/E1-1	1,2	3(Torf) Schluff, tonig, sandig	4,4
4-GZ, verwittert	S7/E1	1,1	4(3) Sand, schluffig, schwach tonig bis tonig	3,7
4-GZ, verwittert	S12/E1	1,6	4(5) Sand, kiesig, schluffig, schwach steinig	3,2
4-GZ, verwittert	S23/E1	1,6	4(3) Sand, schwach schluffig bis schluffig	2,6
5-GZ, Grus	S24/E2-1	2,6	5(4) Kies, stark sandig, schwach schluffig	1,7

Tabelle 4: Glühverlust nach [1].

Gemäß EN ISO 14688-2 „Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Boden - Teil 2: Grundlagen von Bodenklassifizierung“ werden die Böden anhand der im Glühverlust ermittelten organischen Beimengungen als schwach, mittel und stark organisch unterteilt:

Boden	Organischer Anteil in % der Trockenmasse ( $\leq 2 \text{ mm}$ )	Kurzzeichen
schwach organisch	2 bis 6	or'
mittel organisch	> 6 bis 20	or
stark organisch	> 20	or

Tabelle 5: Einteilung von Böden nach dem organischen Anteil gemäß EN ISO 14688-2:2004, Abschnitt 4.5

Die im gegenständlichen Projektgebiet untersuchten Proben können überwiegend als schwach organisch klassifiziert werden, bis auf einige Proben im Schichtpaket 3 - Hanglehm, welche als mittel organische Böden einzustufen sind.

Festzuhalten ist, dass mit dem Glühversuch die organischen Anteile auch überschätzt werden können, weil sich auch andere Stoffe beim Glühen verändern. Aus bodenmechanischer Sicht führt jedoch ein organischer Anteil zu wesentlichen Veränderungen des Steifigkeits- und Festigkeitsverhaltens des Bodens. Organische Böden sind für Erdbauwerke i.A. nur unter vorheriger Prüfung des Langzeitverhaltens geeignet.

## 4.5. Durchlässigkeitskoeffizienten der Schichtpakete

Nachfolgende sind die Ergebnisse aus den verschiedenen Feld- und Laborversuchen zur Durchlässigkeit der vorhandenen Bodenmaterialien zusammen-gestellt.

### 4.5.1. Oedometerversuche

Gemäß den vorliegenden Unterlagen wurden an 3 Proben, die aus Schürfen gewonnen wurden, Oedometerversuche mit Bestimmung der Zeit-Setzungskurve durchgeführt. Zwei Proben davon sind gemäß der geologischen Beschreibung aus den Schürfen als verwitterter Gneiszersatz (oranger Farbcode) klassifiziert. Die beiden untersuchten Proben haben unterschiedliche Porenziffern, die ermittelten k-Werte sind jedoch sehr ähnlich im Bereich von  $1,2 \cdot 10^{-9}$  m/s bis  $6,6 \cdot 10^{-8}$  m/s.

Eine Probe wurde aus dem Hanglehm entnommen. Die beiden gemessenen k-Werte streuen stark zwischen  $3,1 \cdot 10^{-11}$  m/s bis  $1,9 \cdot 10^{-9}$  m/s.

Schichtpaket / Lithologie	Proben-bezeichnung	Tiefe [m u. GOK]	Laststufe [kN/m <sup>2</sup> ]	Porenziffer Ende [-]	k-Wert [m/s]
4-GZ, verwittert	S2/UP2	3,5	99	0,479	$1,2 \cdot 10^{-9}$
			199	0,461	$1,7 \cdot 10^{-9}$
			399	0,431	$6,6 \cdot 10^{-8}$
3-Hanglehm	S5/UP1	0,9	49	0,391	$1,9 \cdot 10^{-8}$
			399	0,289	$3,1 \cdot 10^{-11}$
4-GZ, verwittert	S8/UP1	1,3	99	0,776	$4,0 \cdot 10^{-9}$
			200	0,743	$2,5 \cdot 10^{-9}$
			399	0,697	$1,7 \cdot 10^{-9}$

Tabelle 6: Zusammenstellung der Versuchsergebnisse von den Zeit-Setzungskurven der Oedometerversuche aus [1].

In [1] auf den Seiten 37ff sind weitere Ergebnisse von Durchlässigkeitsversuchen zusammengefasst und interpretiert. Bei diesen Versuchen wurden an mehreren gestörten Proben aus den Schichtpaket 3 – Hanglehm und Schichtpaket 4 – Gneiszersatz, verwittert Durchlässigkeitsversuche durchgeführt, wobei zwei Proben aus dem Schichtpaket 4 mit der Zugabe von 1,5 % bzw. 3,0 % Bentonit in Form von Tonmehl aufbereitet wurden. Die ermittelten Durchlässigkeitsbeiwerte sind in Tabelle 7 zusammengestellt.

Schichtpaket / Lithologie	Proben-bezeichnung	Tiefe [m u. GOK]	k-Wert [m/s]	Anmerkung
3-Hanglehm	SCH S4/E1	2,00	$2,30 \cdot 10^{-11}$	
3-Hanglehm	SCH S5/E1	4,60	$5,01 \cdot 10^{-10}$	Probe von Schurfsohle
4-GZ, verwittert	SCH S16/E2	2,60	$4,02 \cdot 10^{-8}$	
4-GZ, verwittert	SCH S16/E2	2,60	$5,98 \cdot 10^{-10}$	1,5 % Bentonitzugabe
3-Hanglehm	SCH S27/E1	5,00	$3,86 \cdot 10^{-10}$	
4-GZ, verwittert	SCH S29/E3	4,90	$5,21 \cdot 10^{-7}$	Probe von Schurfsohle
4-GZ, verwittert	SCH S28/E2-2	6,10	$6,88 \cdot 10^{-7}$	Probe von Schurfsohle
4-GZ, verwittert	SCH S28/E2-2	6,10	$2,43 \cdot 10^{-8}$	Probe von Schurfsohle 3,0 % Bentonitzugabe

Tabelle 7: Zusammenstellung von weiteren Durchlässigkeitsversuchen aus [1].

Diese Versuchsergebnisse zeigen, dass die als 4-Geiszersatz, verwittert klassifizierten Schichten Durchlässigkeitsbeiwerte von rund  $5 \cdot 10^{-7}$  m/s bis  $4 \cdot 10^{-8}$  m/s aufweisen und bei geringfügig höheren Tonanteilen die Durchlässigkeiten in der Größenordnung von ein bis zwei Zehnerpotenzen sinken.

#### 4.5.2. Sickerversuche in den Schürfen

Es wurden 17 Versickerungsversuche in Schürfen durchgeführt. Davon wurden 8 Versuche im 4-Gneiszersatz, Grus durchgeführt und 9 im 4-verwittertem Gneiszersatz wobei davon in 7 Proben als Nebenkomponente 3-Hanglehm identifiziert wurde.

Die Ergebnisse sind in Tabelle 8 zusammengefasst:

- In den Schürfen mit 4-Gneiszersatz, verwittert und 3-Hanglehm an der Schurfsohle wurden k-Werte von  $1,4 \cdot 10^{-5}$  m/s bis  $2,1 \cdot 10^{-6}$  m/s gemessen (S2, S9, S23, S27, S28, S30 und S31).
- In den beiden Schürfen mit 4-Gneiszersatz, verwittert und 5-Gneiszersatz, Grus an der Schurfsohle wurden k-Werte von  $7,4 \cdot 10^{-6}$  m/s und  $1,1 \cdot 10^{-6}$  m/s gemessen (S1 und S20).
- In den Schürfen mit 5-Gneiszersatz, Grus sowie jenen mit der Nebenkomponente 4-Gneiszersatz, verwittert an der Schurfsohle wurden k-Werte von  $4,2 \cdot 10^{-4}$  m/s und  $7,2 \cdot 10^{-6}$  m/s gemessen (S11, S12, S14, S16, S17, S19, S25 und S26).

Schichtpaket / Lithologie	Probenbezeichnung	Tiefe [m u. GOK]	k-Wert [m/s]	Bemerkung
4-GZ, verwittert & (5)	S1	4,2	$7,4 \cdot 10^{-6}$	
4-GZ, verwittert & (3)	S2	4,2	$2,9 \cdot 10^{-6}$	
4-GZ, verwittert & (3)	S9	4,5	$1,85 \cdot 10^{-5}$	Wasserzutritt zum Schurf bis auf 4,04 m unter GOK.
5-GZ, Grus & (4)	S11	4,0	$3,9 \cdot 10^{-5}$	Versuch an Felsoberkante
5-GZ, Grus & (4)	S12	2,7	$5,0 \cdot 10^{-5}$	Versuch an Felsoberkante
5-GZ, Grus & (4)	S14	2,3	$4,2 \cdot 10^{-4}$	Versuch an Felsoberkante
5-GZ, Grus & (4)	S16	4,0	$2,3 \cdot 10^{-5}$	Wasserzutritt zum Schurf in 3,2 m unter GOK. Versuch an Felsoberkante
5-GZ, Grus	S17	2,65	$3,1 \cdot 10^{-5}$	Versuch an Felsoberkante
5-GZ, Grus & (4)	S19	3,2	$7,2 \cdot 10^{-6}$	
4-GZ, verwittert & (5)	S20	4,4	$1,1 \cdot 10^{-6}$	Schichtwasserzutritt in 1,9 m unter GOK
4-GZ, verwittert & (3)	S23	3,4	$9,9 \cdot 10^{-6}$	Versuch an Felsoberkante
5-GZ, Grus	S25	4,3	$4,3 \cdot 10^{-5}$	Wasserzutritt in 2,8 m unter GOK Versuch an Felsoberkante
5-GZ, Grus & (4)	S26	3,7	$5,4 \cdot 10^{-5}$	Wasserzutritt in 2,8 m unter GOK
4-GZ, verwittert & (3)	S27	5,8	$2,1 \cdot 10^{-6}$	
4-GZ, verwittert & (3)	S28	6,1	$1,4 \cdot 10^{-5}$	
4-GZ, verwittert & (3)	S30	4,6	$9,6 \cdot 10^{-6}$	
4-GZ, verwittert & (3)	S31	4,5	$1,0 \cdot 10^{-5}$	

Tabelle 8: Zusammenstellung der Versuchsergebnisse von den Sickerversuchen in den Schürfen aus [1].

Der Vergleich der Ergebnisse zeigt, dass die gemessenen Durchlässigkeiten weitgehend unabhängig von der geologischen Schicht zwischen  $10^{-5}$  m/s und  $10^{-6}$  m/s liegen.

Gründe dafür können die vergleichsweise geringen Lagerungsdichten der feinkörnigen Schichten und daraus folgend ausgeprägte Wasserwegigkeiten, vor allem in horizontaler Richtung, sein. Der Vergleich der in-situ Dichten zu den Proctordichten zeigte, dass vor allem Gneiszersatz verwittert geringe in-situ Dichte aufweist.

Ebenso kann die Schichtgrenze zwischen Lockergestein und Felsoberkante ausgeprägte Wasserwegigkeiten aufweisen.

Auch die Versuchsdurchführung im Feld mit dem Ausheben der Schürfgrube mithilfe der Baggerschaufel und die dabei einhergehende geringfügige Vermischung von Schichten an der Schurfoberfläche sowie die Auflockerung der Wand- und Sohlenbereiche kann einen gewissen Einfluss auf die Resultate haben.

Aus gutachterlicher Sicht ist davon auszugehen, dass die vorliegenden Ergebnisse der Sickerversuche die Durchlässigkeitswerte der feinkörnigen Schichten wie Hanglehm und verwitterter Gneiszersatzes überschätzen und jene der grobkörnige Schichten wie Grus eher unterschätzen. Insbesondere, wenn der Boden als Dammbaumaterial aufbereitet und homogenisiert und bei Proctordichte lagenweise eingebaut und verdichtet wird ist für die feinkörnigen Materialien von geringeren Durchlässigkeitswerte als der in-situ gemessenen auszugehen.

Die zu erwartenden Durchlässigkeitswerte können aus gutachterlicher Sicht am besten am aufbereiteten Dammbaumaterial mittels Laborversuchen oder mittels Sickerversuchen an einer Damm-Probeschüttung abgeschätzt werden. Wenn die gemessenen Werte von den Geplanten abweichen, so kann mittels Zumischung von Komponenten (Tonmehl oder in-situ vorkommende feinkörnige Fraktionen zur Reduktion der Durchlässigkeit, sowie grobkörnige Fraktionen zur Erhöhung der Durchlässigkeit) die Durchlässigkeit entsprechend angepasst werden.



## 5. Geotechnische Stellungnahme zum Dammaufbau

### 5.1. Wahl der Dammbaumaterialien

#### 5.1.1. Verwendung des Gneiszersatz, Grus

Ein Vergleich der Kornverteilungen mit typischen Dammkernmaterialien (Abbildung 7) zeigt, dass die vorhandenen Lockermaterialien vergleichsweise feinkörnig sind.

Die Kornverteilungen des Gneiszersatz, Grus sowie der grobe Bereich des Gneiszersatz, verwittert können aus bodenmechanischer Sicht zur Schüttung eines homogenen Dammquerschnittes direkt verwendet werden, sofern der Wassergehalt im Bereich des optimalen Wassergehalts liegt, die Kornverteilung gut abgestuft ist (keine Ausfallkörnung vorhanden ist) und die Dauerhaftigkeit der Einzelkörner (>4mm) gegeben ist.

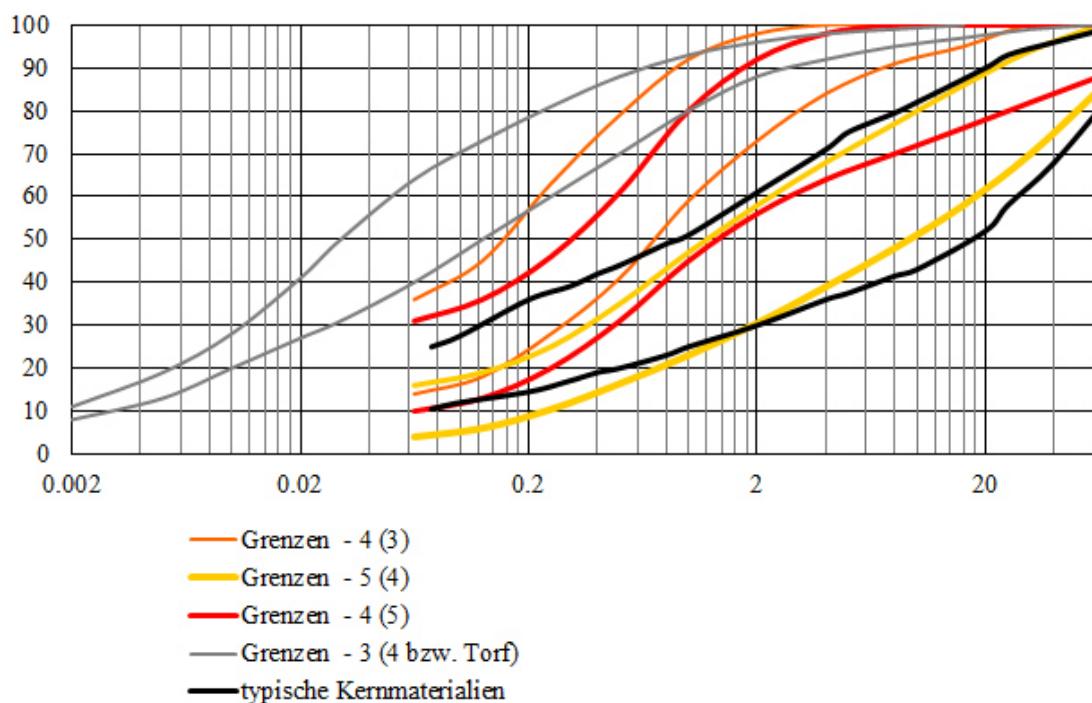


Abbildung 7: Vergleich der Kornverteilungen der Schichtpakete am Speicher Jochenstein mit Kornverteilungen von typischen Kernmaterialien (schwarze Linien).

#### 5.1.2. Verwendung des Felsabbruch sowie des Gneiszersatz, verwittert

Schüttungen aus Felsbruch können bei geringen Felsfestigkeiten zu überproportionalen Setzungen des Schüttkörpers führen.

Der feinkörnige verwitterte Gneiszersatz ist schwierig einzubauen weil: (i) der optimale Wassergehalt konstant gehalten werden muss um eine gute Verdichtung zu erzielen (ii) beim Lagenweisen Aufbau Porenwasserüberdrücke im Damminnen entstehen können und die Schüttgeschwindigkeit reduziert werden muss, (iii) Oberflächen die Niederschlägen ausgesetzt sind, zu Erosion neigen. Außerdem können diese feinkörnigen Böden höhere Kriechsetzungen aufweisen.

Aus bodenmechanischer Sicht ist deshalb eine Mischung aus dem vergleichsweise feinkörnigen Gneiszersatz (sandig/kiesiges Material) und dem Felsbruch des anstehenden Gneises am besten geeignet, um ein Dammschüttmaterial mit möglichst

guter Verarbeitbarkeit, hoher Steifigkeit, ausreichender Scherfestigkeit sowie einem günstigen Langzeitsetzungsverhalten zu erzielen.

Die geeigneten Mischungsverhältnisse von Felsausbruch und Gneiszersatz variieren je nach Kornverteilung der jeweiligen Materialien.

Als Beispiel ist in Abbildung 8 die Kornverteilung des Felsbruches mit den blauen Linien angenommen. Eine Mischung aus 30 % Gneiszersatz und 70 % Felsbruch ergibt die strichiert dargestellten Kornverteilungen welche im groben Bereich des Schichtpaket 5 – Gneiszersatz, Grus liegen und sich entsprechend als Schüttmaterial eignen.

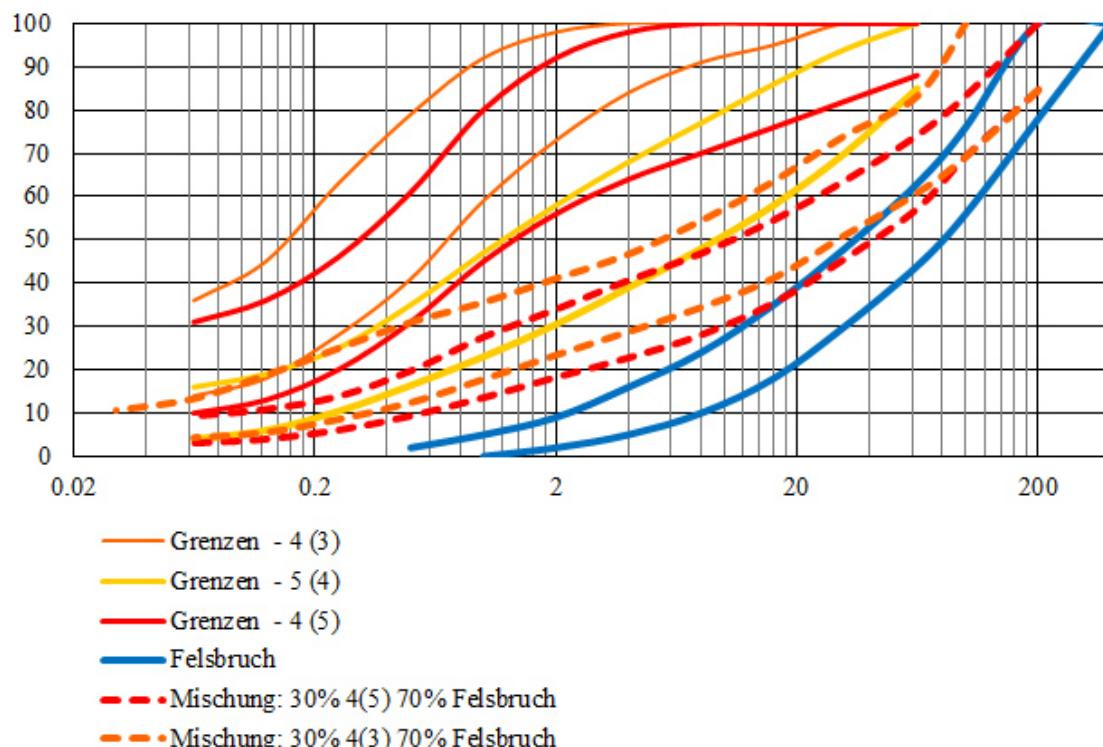


Abbildung 8: Kornverteilungen von Mischungen aus Felsabbruch und Gneiszersatz.

Mischungen mit höherem Anteil an feinkörnigem Material sind in Abbildung 9 dargestellt. Dieses Material eignet sich bei dauerhaften Felskörnungen auch noch als Schüttmaterial für die homogenen Dammquerschnitte, wobei hier bereits das Verhalten der feinkörnigen Komponenten dominiert und mit den entsprechenden Nachteilen bei der Verarbeitbarkeit, den Schüttgeschwindigkeiten sowie dem Langzeitsetzungsverhalten zu rechnen ist.

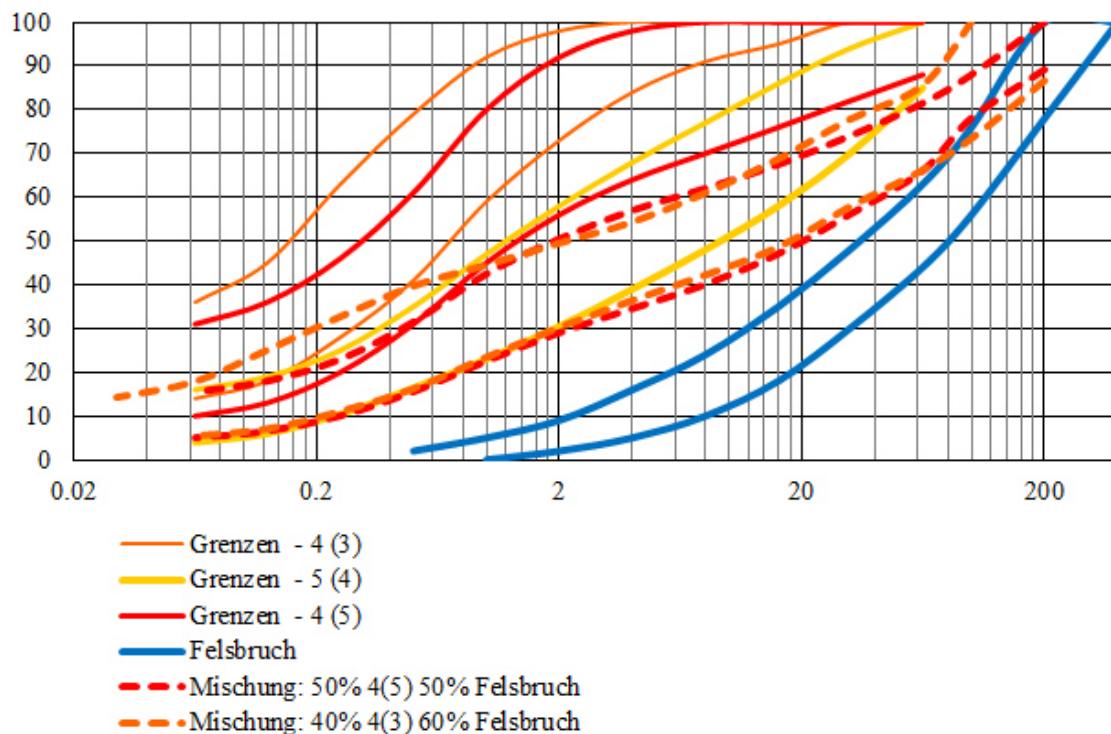


Abbildung 9: Kornverteilungen von Mischungen aus Felsabbruch und Gneiszersatz.

Vor allem für die höheren Dammquerschnitte, insbesondere am südlichen Hauptdamm, sind bei dauerhaften Felsgesteinskörnungen Mischungen mit 15 % bis 20 % Gneiszersatz (Abbildung 10) aus dammbautechnischer Sicht vorteilhaft.

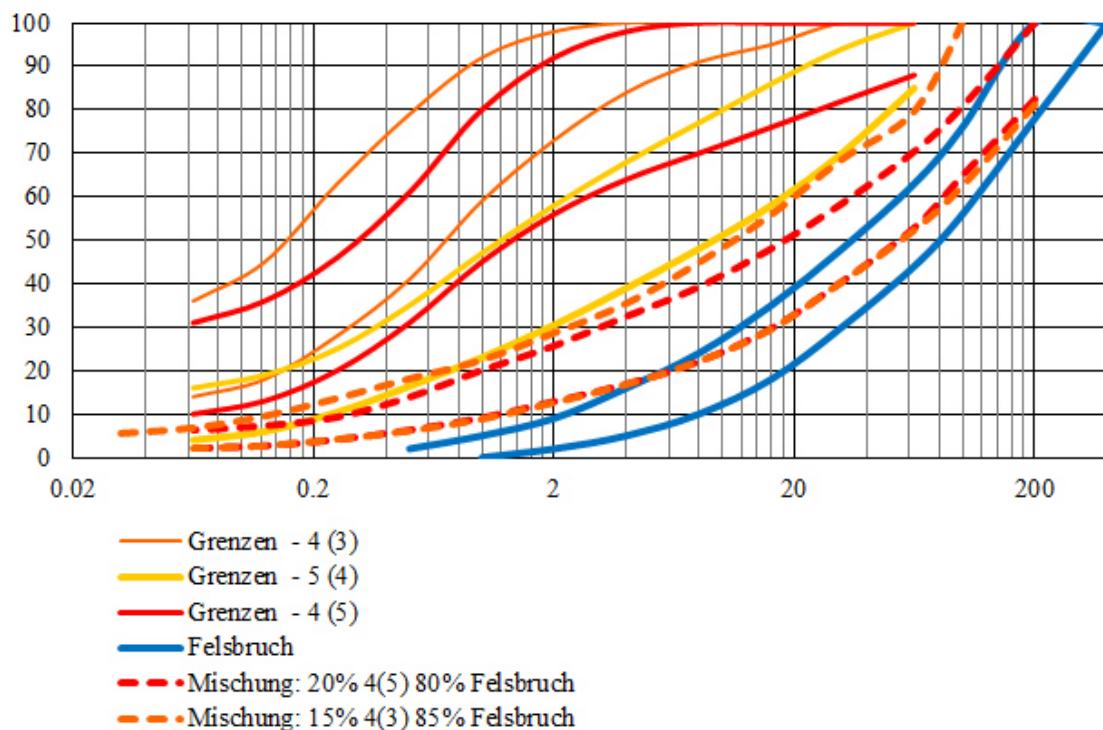


Abbildung 10: Kornverteilungen von Mischungen aus Felsabbruch und Gneiszersatz.

### 5.1.3. Herstellung von Mischungen

Die Mischung der Komponenten (Gneiszersatz und Felsbruch) kann bei kohäsionslosen Komponenten mit den gängigen Mischern (wie im Kieswerk) durch Gewichtskontrolle der zugegebenen Komponenten erfolgen. Bei kohäsivem Material können Zwangsmischer zum Einsatz kommen.

Alternativ kann das Material auch:

- (i) durch Umlagerung an der Abbaustelle oder
- (ii) mittels geeigneter Mischgeräte an der Einbaustelle gemischt werden.

Das Umlagern an der Abbaustelle erfolgt, indem die zu mischenden Materialien Lagenweise mit Schichtstärken von rund 20 cm bis 40 cm im entsprechenden Verhältnis aufgeschüttet werden. Die gesamte Schüthöhe soll der Höhe einer Abbaufront für den gewählten Baggertyp entsprechend (z.B. 2 bis 3 m). Anschließend wird das so angeschüttete Material von einer Abbaufront abgetragen und auf die Transportgeräte verladen, zur Einbaustelle transportiert und mit der Schubraupe verteilt. Durch das Abbauen, Laden, Abladen und Verteilen erfährt das Material eine Vermischung, die für die homogenen Schüttbereiche ausreichend sein kann. Dazu sind vorab Mischversuche durchzuführen.

Bei kleinen Dammbaustellen kann das Material auch in dünnen Lagen an der Einbaustelle eingebracht und mit entsprechenden pflugartigen Geräten vor Ort gemischt und anschließend verdichtet werden. Dies erfordert ebenfalls entsprechende Mischversuche. Aus bautechnischer Sicht wird dieses Verfahren beim gegenständlichen Bauwerk nicht empfohlen, da hier in 3 Baujahren rund 600'000 m<sup>3</sup> bis 1'000'000 m<sup>3</sup> pro Jahr zu bewegen sind. Bei rund 150 Arbeitstagen in den Frühjahr-, Sommer- und Herbstmonaten ergibt dies mindestens 4'000 m<sup>3</sup> bis zu 6'700 m<sup>3</sup> pro Tag. Für diese vergleichsweise großen Mengen ist ein zuverlässiges Mischverfahren heranzuziehen, da Arbeitsunterbrechungen durch das Abwarten von Versuchsergebnissen aus der Qualitätssicherung und der Ausbau von nicht ausreichend gemischem Material zu wesentlichen Bauzeitverzögerungen führen würden.

### 5.1.4. Zonierung

Ein Großteil der Dämme hat eine vergleichsweise geringe Höhe von 5 bis 10 m. Die Dammkörper werden aufgrund der wasserseitigen Oberflächendichtung nicht mit Strömungskräften beansprucht (mit Ausnahme der natürlichen Grundwasserströmungen und der einsickernden Niederschlagswässer). Als Dammschüttmaterial steht sandig/kiesiger Gneiszersatz sowie eine Mischung aus Felsbruch und Gneiszersatz zur Verfügung. Unter anderem aus diesen oben genannten Gründen erscheint aus bodenmechanischer Sicht die Schüttung von homogenen Dammkörpern (im statisch wirksamen Bereich: Ann.: 1:2 luft- und wasserseitig) als zweckmäßig, mit folgenden Randbedingungen:

- An der Dammkrone ist im Bereich der Frosttiefe (noch zu bestimmen) frostbeständiges Material einzubauen (z.B. <0.02 mm weniger als 3M% und Einzelkorn frostbeständig gegen Sickerwasser/Grundwasser)
- An den höheren Dammquerschnitten, u.a. am südlichen Hauptdamm, kann die Stabilität und das Langzeitsetzungsverhalten mit einem zentralen Filter/Drainagekern verbessert werden. In den Querschnitten an denen die Felsoberfläche nach Außen hin abfällt (wie z.B. beim südlichen Hauptdamm) kann das Grund-/Sickerwasser über einen im luftseitigen Bereich aufgebrachten „Drainageteppe“ zum luftseitigen Dammfuß hin abgeleitet werden.
- An den Dammaufstandsflächen die zum Becken hin abfallen, ist das Sicker-/Grundwasser durch geeignete Maßnahmen (Drainagepackung, Abschlauchung, etc.) zu Sammeln und in den Kontrollgang Abzuleiten.



- Die Dammkrone soll im Detail so ausgebildet werden, dass das Einsickern von Niederschlagswässer in die Drainage der Oberflächendichtung weitestgehend vermieden wird.

Im Rahmen der Qualitätskontrolle der Dammbaumaterialien beim Einbau ist auch der Durchlässigkeitsbeiwert der gemischten Dammschüttungen im Feldlabor zu überprüfen. Sollte mit dem gemischten und aufbereiteten Aushubmaterial der Durchlässigkeitsbeiwert über  $1 \cdot 10^{-7}$  m/s liegen, so ist im wasserseitigen Bereich des Dammkörpers eine mindestens 2 m Breite Schicht an Dammbaumaterial vorzusehen dessen Durchlässigkeitskoeffizient durch Beimischung von Tonmehl entsprechend reduziert wurde.

In den Bereichen, in denen der Dammkörper auf anstehende Lockergesteinslagen (Schichtpaket 5) gegründet wird, ist zwischen dem anstehenden Untergrund und der Drainageschicht unter der Asphaltabdichtung eine mind. 2 m breite Zone an aufbereitetem Dammbaumaterial mit einem Durchlässigkeitsbeiwert von kleiner  $1 \cdot 10^{-7}$  m/s vorzusehen, um die Abdichtung zwischen der Drainagezone und dem umliegenden Gelände sicherzustellen. Diese Schicht ist von der Felsoberkante bis zur Unterkante der Dammschüttung zu führen.

## 5.2. Einsatzbereiche des Hanglehms

Der Hanglehm ist aufgrund des hohen in situ Wassergehalts und seiner Steifigkeits- und Festigkeitseigenschaften insbesondere bei den hohen Dammquerschnitten und bei den Dammschüttungen über den Felsaushubbereichen unvorteilhaft und eher ungeeignet. Zudem sind für das gegenständliche Projekt entsprechend große Volumina für die Gestaltung der Bachläufe, der flachen Anschüttungen (1:5) und für die Landschaftsgestaltung erforderlich. Daher empfiehlt es sich aus bodenmechanischer Sicht den Hanglehm in diesen letztgenannten Bereichen zu verwenden.

## 5.3. Ausbildung der Aufstandsflächen

Grundsätzlich soll die Schüttung der statisch wirksamen Dammkörper auf Festgestein oder auf Materialzonen von ausreichender Steifigkeit und Festigkeit sowie Dichte erfolgen.

Diese ausreichende Dichte des Schichtpakete 5 Grus kann zum Beispiel durch den Vergleich der in situ Dichten mit den Procordichten beurteilt werden. Die in situ Dichten können u.a. mittels Rammsondierungen korreliert werden. Diese können als Voruntersuchung vor Baubeginn und/oder während den Bauarbeiten ausgeführt werden.

Aus bodenmechanischer Sicht wird empfohlen, die Hanglehmschichten aus den Dammaufstandsflächen zu entfernen.

In dem Bereichen in denen der gewachsene Fels als Dammaufstandsfläche bzw. als Beckensohle ansteht, sind Klüfte etc., falls vorhanden, mit Betonblöcken abzudichten.

Festzuhalten ist, dass aus bodenmechanischer Sicht, eventuell vorhandene Unebenheiten im Felsaushub mit der Drainageschicht ausgeglichen werden können.

## 5.4. Herstellung

### 5.4.1. Bau in Abschnitten

Grundsätzlich können Dammschüttungen aus bodenmechanischer Sicht abschnittweise hergestellt werden, wenn die Kontaktflächen entsprechend vorbereitet werden. Dazu sind i.A. die Dammbaumaterialien abzuziehen bis wieder unbeeinflusstes Material ansteht.

Für das Setzungsverhalten kann das Schütten der Dammquerschnitte mehrere Monate/Jahre vor Fertigstellung der Oberflächenabdichtung vorteilhaft sein.

Bei dem hier vorhandenen schluffig/sandigen Dammbaumaterialien kann es vor allem bei Starkniederschlägen nach längeren Schönwetterphasen zu beträchtlichen Oberflächenerosion kommen. Alle fertiggestellten Dammschüttungen sind diesbezüglich entsprechend zu schützen. An der Luftseite kann dies durch das rasche Aufbringen der Anschüttungen und der Begrünung erfolgen. An der Dammkrone ist das Gefälle zur Luftseite hin auszubilden und Erosionen können mit dem Aufbringen einer ungebundenen Deckschicht vermieden werden. An der Wasserseite sind geeignete Maßnahmen zu erarbeiten (geprüft werden können u.a. Vliesabdeckungen, Abdeckung mit Drainagematerial, Einbau von gering erosionsanfälligen Materialen am oberflächennahen Bereich an den beckenseitigen Böschungen, Reprofilierung, etc.)

### 5.4.2. Schichtdicken der Dammbaumaterialien

Grundsätzlich hängt die Schichtdicke vom Größtkorn und der Verdichtung (Energie und Maschinen) ab. Anhand einer Probeschüttung ist die Verdichtung über die Schichtdicke festzustellen. Als Richtwert kann von einer Schichtdicke von 30 bis 40 cm und einer Verdichtung mit 8 bis 10 Passen mit einer geeigneten Walze von rund 10 t ausgegangen werden.



Ernsting, am 17.06.2019

DI Dr. Sophie Messerklinger

