

Ingenieurgesellschaft Kärcher mbH · Heidengass 16 · 76356 Weingarten

Gemeindeverwaltung Ubstadt-Weiher

Bruchsaler Straße 1-3

76698 Ubstadt-Weiher

Anerkanntes Institut
nach DIN 1054
Beratende Ingenieure

Dipl.-Ing. K.-M. Gottheil
Dipl.-Geol. D. Klaiber
Dipl.-Ing. J. Santo
F. Steltenkamp, M.Sc.

Baugrunduntersuchungen
Erd- und Grundbau
Boden- und Felsmechanik
Damm- und Deichbau
Ingenieur- u. Hydrogeologie
Deponietechnik
Grundwasserhydraulik
Bodenmechanisches Labor

Ihr Zeichen

Unser Zeichen
E8220D

Bearbeiter
Gh ☎ 07244/7013-13
k.gottheil@kaercher-geotechnik.de

Datum
1. Oktober 2021

Hochwasserschutz- und Ökologieprojekt Ubstadt-Weiher Maßnahmen 3 bis 5 Geotechnische Untersuchungen

Projekt-Nr.: E 8220D

Projekt: Hochwasserschutz- und Ökologieprojekt Ubstadt-Weiher

Auftraggeber: Gemeinde Ubstadt-Weiher

Auftrag: vom 02.07.2020

INHALT

	Seite
1 Veranlassung	3
2 Durchgeführte Untersuchungen	3
2.1 Übersicht	3
2.2 Durchgeführte Deich- und Untergrunderkundung, Ergebnisse	4
2.3 Ergebnisse der bodenmechanischen Laboruntersuchungen	5
2.4 Grundwasser	5
2.5 Homogenbereiche und bodenmechanische Kennwerte	5
2.6 Kraichbachschlamm	6
3 Erdstatische Nachweise für die geplanten Dämme	7
3.1 Allgemeines und Materialanforderungen für die Dämme	7
3.2 Ergebnisse der Böschungsstandsicherheitsnachweise	9
3.3 Setzungen	11
4 Ausführungsempfehlungen	14
4.1 Baustraßen	14
4.2 Dammaufstandsflächen	14
4.3 Verfüllung des alten Bachbettes	15
4.4 Wühltierschutz	15
4.5 Material Bestandsdämme	17
5 Vorschüttung an den Bahndamm	17
6 Hochwasserschutzmauer bei Maßnahme M 4	18

ANLAGEN

0. Übersichtslageplan	
1. Lagepläne M3, M4, M5	
2. Profildarstellung der Bohrungen	
3. Bodenmechanische und umweltchemische Laboruntersuchungen	
4. Standsicherheits- und Setzungsberechnungen	

1 Veranlassung

Im Rahmen der Deichpriorisierung und der Erstellung von Hochwassergefahrenkarten wurden am linken Deich des Kraichbachs zwischen der Ortslage Ubstadt und der Verzweigung Kraichbach-Kriegbach Defizite im Freibord festgestellt. Die Fehlhöhen betragen bis zu 30 cm.

Im Zuge der planerischen Bearbeitung wurden folgende Maßnahmen entwickelt:

Maßnahme M 5: Zwischen dem Ende des südlichen, bereits vor Jahren renaturierten Kraichbachabschnittes und der Eisenbahnbrücke wird der linke Kraichbachdamm nach Westen verlegt; die Bestandsdämme werden rückgebaut.

Maßnahme M 3: Gleiches gilt für den Abschnitt zwischen Eisenbahnbrücke und Kläranlage. Auch hier wird der linke Damm nach Westen verlegt; die Bestandsdämme werden rückgebaut.

Maßnahme M 4: Am nördlichen Ende des Bruchs wird ein Abschlussdamm gebaut, um im Hochwasserfall den Einstau des Bruchs zu ermöglichen.

Wir wurden beauftragt, an repräsentativen Profilen die Untergrundsituation zu erkunden und auf dieser Grundlage Angaben zum Bau der neuen Dämme zu machen. Dazu wurden neben aktuellen Aufschlüssen auch Informationen aus älteren Erkundungskampagnen verwendet.

2 Durchgeführte Untersuchungen

2.1 Übersicht

Mit der Anlage 0 ist eine Übersicht über die geotechnische Erkundung beigelegt. Die dort eingetragenen Untersuchungsprofile 1 bis 14 wurden bereits im Jahre 2017 erkundet, die Erkundung der Profile 15 bis 44 erfolgte im Februar 2020 (die ursprünglich vorgesehenen Profile 38 bis 40 konnten entfallen).

Um eine nachvollziehbare Bezeichnung der Erkundungsprofile zu gewährleisten, wurde im Rahmen dieses Gutachtens von der alten Nummerierung abgewichen und die Profile stattdessen mit der jeweiligen Kilometrierung, wie sie aus den Lageplänen der Anlage 1 hervorgeht, bezeichnet.

Zusätzlich zu den Baugrundaufschlüssen wurden am 27.04.2020 an insgesamt 6 Profilen die Schlammmächtigkeiten im Kraichbach ermittelt; an den gewonnenen Proben wurden umweltchemische Analysen durchgeführt.

2.2 Durchgeführte Deich- und Untergrunderkundung, Ergebnisse

Die im Folgenden beschriebenen Erkundungsergebnisse sind in grafischer Form als Anlagen 2.x beigelegt; die dazugehörigen Laborversuche befinden sich in den Anlagen 3.x

Maßnahme M 5 (vgl. Anlagen 2_M5li_x+xxx)

In sämtlichen Bohrungen, die im Bereich der Maßnahme M 5 vom Urgelände aus durchgeführt wurden, wurde zunächst eine im Mittel 40 cm starke durchwurzelte Oberbodenschicht angetroffen. Im südlichen Bereich (Profile 0+195 bis 0+650) steht darunter zunächst weicher bis steifer Ton bzw. Schluff an, der tiefgründig von humosen Schichten unterlagert ist. Die Torfe weisen nach den Laborversuchen Glühverluste bis maximal 47% auf und sind damit als extrem kompressibel einzustufen. Unterhalb der Torflagen setzt teilweise ohne eine nennenswerte Übergangszone der Tonstein ein, teilweise liegt als Übergang noch eine ca. 0,5 m mächtige Sandschicht vor.

Nach Norden hin nimmt die Mächtigkeit der humosen Schichten deutlich ab; hier sind bis Profil 1+095 allenfalls humos angereicherte Tone vorhanden. Zwischen der Unterkante dieser bindigen Deckschicht und dem zwischen 102 und 103 m+NN einsetzenden Tonstein wurden hier Sande und Kiese angetroffen.

Im nördlichsten Profil 1+140 der Maßnahme M 5 nimmt die Mächtigkeit und auch die Kompressibilität der torfig durchsetzten Lagen wieder zu.

Aus den älteren Aufschlüssen bei Station 0+480, 0+725, 0+940 und 1+095 ist der generelle Aufbau des Bestandsdammes bekannt. Dieser besteht nach den entsprechenden Ergebnissen in den o.g. Anlagen aus weich-steifem bis bereichsweise auch halbfestem feinsandigem Schluff. Wir weisen allerdings bereits an dieser Stelle darauf hin, dass angesichts des starken Bewuchses nur ein Teil der Kubatur des Bestandsdammes als Schüttmaterial für den neuen Damm verwendet werden kann. Weitere Angaben dazu s. Kap. 4.4.

Maßnahme M 3 (vgl. Anlagen 2_M3li_x+xxx)

Im südlichen Bereich der Maßnahme M 3 wurden Verhältnisse angetroffen, die im Wesentlichen dem Profil 1+140 aus M 5 entsprechen. Unter einer tonig-schluffigen Deckschicht stehen hier bis in eine Tiefe von ca. 7 m unter GOK humose Tone an, die Glühverluste bis zu etwa 20% aufweisen. Der Übergang zum halbfesten Tonstein wurde zwischen 102,5 und 104,5 m+NN angetroffen.

Maßnahme M 4 (vgl. Anlagen 2_M4_x+xxx)

Die Baugrundverhältnisse im Bereich der Maßnahme M 3 zeichnen sich durch eine vergleichsweise große Variabilität aus. Während im Bereich der Station 0+000 toniger Schluff ab 3,5 m unter GOK von halbfestem Tonstein unterlagert wird, wurden bei Station 0+045 tiefgründig weich-steife und weiche Tone mit humosen Beimengungen angetroffen; in einem Tiefenbereich

zwischen -5,5 und -6,0 m steht eine dünnen Torfschicht an. Grundsätzlich andere Verhältnisse herrschen bei Station 0+145 vor: unter einer 2 m mächtigen bindigen Deckschicht wurde ausschließlich Kies und Sand erbohrt; der Tonstein folgt hier ab etwa 6 m Tiefe.

Die Verhältnisse entlang des Bahndammes sind dagegen eher einheitlich: bindiger Boden mit teilweise humosen bzw. humos angereicherten Zwischenlagen steht hier bis etwa 6 bis 7 m unter Ansatzpunkt an, darunter folgt zunächst sandiger Kies bzw. kiesiger Sand. Halbfester Tonstein wurde ab 102,5 bis 103,5 m+NN angetroffen.

2.3 Ergebnisse der bodenmechanischen Laboruntersuchungen

An repräsentativen Proben wurden im bodenmechanischen Labor folgende Untersuchungen durchgeführt:

- 26 Glühverlustbestimmungen zur Ermittlung des organischen bzw. humosen Anteils
(davon 4 an Kraichbachschlamm)
- 11 Konsistenzgrenzenbestimmungen (inkl. Wassergehaltsbestimmungen)
- 4 Nasssiebungen an natürlich anstehenden Kiesen und Sanden
- 4 Schlämmanalysen an Kraichbachschlamm
- 3 Durchlässigkeitsversuche im Ödometer (je 2-stufig belastet)

Die Ergebnisse der Untersuchungen liegen als Anlage 3 bei; sie dienen als Grundlage für die Zuordnung geomechanischer Kennwerte in den Standsicherheitsuntersuchungen.

2.4 Grundwasser

Die in den Bohrsondierlöchern gemessenen Wasserstände sind in die grafischen Profildarstellungen der Anlagen 2 eingetragen.

2.5 Homogenbereiche und bodenmechanische Kennwerte

Die voranstehend genannten Böden sind hinsichtlich ihrer bautechnischen Eigenschaften (Erdarbeiten nach DIN 18300) in Homogenbereiche einzuteilen. Anhand der Erkundungsergebnisse kann der angetroffene Untergrundaufbau (mit Ausnahme des Oberbodens) in folgende Homogenbereiche eingeteilt werden:

- Homogenbereich A: Bindige Deckschichten
- Homogenbereich B: humose Tone und Torf
- Homogenbereich C: Sand- und Kieslagen
- Homogenbereich C: Tonstein

Die Zuordnung der bodenmechanischen Kennwerte kann entsprechend der Homogenbereich-einteilung erfolgen. Es gelten folgende Eigenschaften:

Homogenbereich	A	B	C	D
Bezeichnung	Bindige Deckschichten	Humose Tone und Torf	Kies und Sand	Tonstein
Bodenart (Körnungslinie)	Ton, schluffig, Schluff, tonig, schwach sandig	Ton, (stark) humos Torf, (tonig) feinsandig	Sand, kiesig Kies, sandig (schwach schluffig)	Ton, halbfest bis fest
Konsistenz	weich bis steif	breiig bis weich	-	halbfest bis fest
Bodengruppe DIN 18196	UL,UM,TL,TM,TA	OT,OU,HZ,HN	GW,GU,SW,SU	Z
Frostempfindlichkeit (ZTVE)	F3	F3	F1 – F2	F3
Wichte γ/γ' [kN/m ³]	19/9 – 20/10	16/6 – 13/3	19/10 – 20/11	20/10 – 22/12
Anteil Steine/Blöcke [%]	< 10	< 3	< 10	-
Plastizität I_p [%]	10 – 50	(15 – 50)	-	-
Konsistenzzahl I_c [-]	0,2 - 1	k. A.	-	-
org./humoser Anteil [%]	< 10	10 – 50	< 3	< 3
Reibungswinkel φ_k [°]	25	17,5	30	25
Kohäsion c_k [kN/m ²]	2 - 7	2 – 4	0	15
Steifemodul $E_{s,k}$ [MN/m ²]	5 - 7	1 - 3	40	> 40
Durchlässigkeit k_f [m/s]	< 10 ⁻⁷	5x10 ⁻⁸ bis 1x10 ⁻⁹	10 ⁻³ bis 10 ⁻⁵	< 10 ⁻⁸

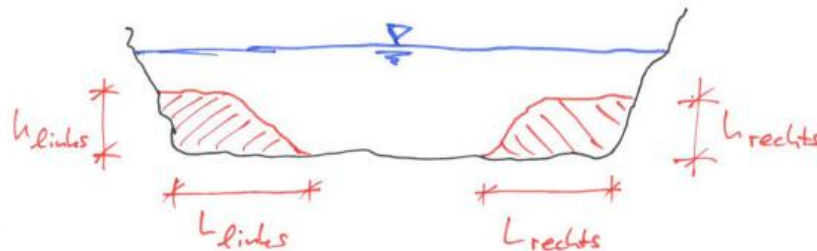
Für die bindigen Materialien der Bestandsdämme können die Eigenschaften des Homogenbereiches A angenommen werden.

2.6 Kraichbachschlamm

Wie bereits oben in Kap. 2.1 erwähnt, wurden am 27.04.2020 an insgesamt 6 Profilen im Bereich der Maßnahme M 5 die Schlammmächtigkeiten im Kraichbach ermittelt und an den gewonnenen Proben umweltchemische Analysen durchgeführt.

Die Verteilung des Schlammes in der Sohle ist in der nachfolgenden Skizze dargestellt.

Schlammbeobachtung 27.04.2020



	h_{links} [cm]	L_{links} [m]	h_{rechts} [cm]	L_{rechts} [m]
Profil 1 0+260	35	1,0	20	0,5
Profil 2 0+370	30	1,5	20	1,0
Profil 3 0+550	30	1,2	20	1,0
Profil 4 0+690	40	bis Mitte, dort $h=30\text{cm}$	25	1,5
Profil 5 0+895	15	2,5	20	2,0
Profil 6 0+970	30	2,5	20	1,0

Aus jedem Profil wurde eine Mischprobe zusammengestellt und gemäß Anhang 2.3.1 der Bundesbodenschutzverordnung (BBodSchV) für den Wirkungspfad Boden - Grundwasser untersucht. Die Ergebnisse, eine Einstufung nach BBodSchV und eine Stellungnahme des LRA Karlsruhe liegen als Anlage 3.16 bei.

3 Erdstatische Nachweise für die geplanten Dämme

3.1 Allgemeines und Materialanforderungen für die Dämme

Die erdstatischen Nachweise für die Dämme wurden auf der Grundlage der uns vom Ingenieurbüro WALD + CORBE Consulting übermittelten Planunterlagen geführt. Folgende Berechnungen wurden für exemplarisch ausgewählte Profile durchgeführt:

- Nachweis der Böschungsstandsicherheit für die Lastfälle Z_v und Kronenstau (Landseite)
- exemplarischer Nachweis der wasserseitigen Böschung für den Lastfall „schnelle Spiegelsenkung“
- exemplarischer Nachweis der luftseitigen Böschung für eine Böschungsneigung von 1 : 2,5
- Setzungsberechnungen für ausgewählte Profile

Auf geohydraulische Berechnungen wie z.B. Nachweise zur Unterströmung der Dämme kann angesichts der überall vorhandenen bindigen Deckschichten verzichtet werden. Gleiches gilt für den Nachweis gegen Abschieben des Dammes im Lastfall Einstau; mit den geplanten Böschungsneigungen von 1 : 3 ist dieser Nachweis ebenso wie der Spreizspannungs- und Grundbruchnachweis für den Böschungsfuß entbehrlich.

Bei sämtlichen Böschungsbruchnachweisen wurde auf der Dammkrone eine Verkehrslast von 13,3 kN/m² auf 3 m Breite als Ersatzlast angesetzt. Die Nachweise wurden unter Anwendung des Partialsicherheitskonzeptes für den Grenzzustand GEO-3 (Versagen durch Verlust der Gesamtstandsicherheit) geführt. Den Nachweisen „Einstau auf Z_V (LF 1)“ wurden die Teilsicherheitsbeiwerte der Bemessungssituation BS-P, den Nachweisen „Kronenstau (LF 3)“ die der Bemessungssituation BS-A zugrunde gelegt. Der exemplarische Nachweis „schnelle Spiegelsenkung (LF 2)“ wurde für die Bemessungssituation BS-T geführt.

In sämtlichen Berechnungen wurde der neu zu errichtende Damm als homogener Damm aus bindigem Schüttmaterial angesetzt. Für eine homogene Dammschüttung sind die in der nachfolgenden Tabelle aufgeführten Materialanforderungen nachzuweisen:

Materialanforderungen	Richtwert
Bodengruppe nach DIN 18 196	TM, TL
Kies- / Steinanteil	$\varnothing_{>2 \text{ mm}} < 20 \text{ Gew. \%}$
Gehalt an organischen Stoffen	$\leq 3 \%$
Fließgrenze	$w_L \leq 80 \%$
Ausrollgrenze	$w_P \leq 20 \%$
Plastizität	$I_P \geq 10 \%$
Rohtongehalt d < 0,002 mm	$\geq 20 \%$
Natürlicher Kalkgehalt	$\leq 10 \%$
Durchlässigkeitsbeiwert	$k_f \leq 1 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}$

In der Regel sind tonige Schluffe nach DIN 18 196 bereits der Bodengruppe TL zugehörig. Der Einbau von Schluffen ist daher nicht grundsätzlich ausgeschlossen. Reine Schluffe, feinsandiger Schluff oder schluffiger Feinsand sind hingegen nicht geeignet.

An den Einbau werden folgende Anforderungen gestellt:

Einbauanforderungen	Richtwert
Mindestverdichtungsgrad D _{min}	$\geq 100\% \text{ e.P.}$
Luftporengehalt n _a	$< 12 \%$ (Volumen)

Der Einbauwassergehalt darf wegen der ansonsten bestehenden Gefahr der Schrumpfrissbildung nicht mehr als 2 % über dem optimalen Wassergehalt (Ermittlung durch Proctorversuche) betragen. Gegebenenfalls kann der Erdstoff durch Beimengen von Bindemitteln (i. d. R. Weißfeinkalk) verbessert werden oder es erfolgt eine Bodentrocknung, die jedoch bautechnisch schwer realisierbar ist. Eine Überschreitung des maximal zulässigen Kalkgehaltes (gemäß obiger Tabelle) kann dabei unseres Erachtens in Kauf genommen werden.

Das Schüttmaterial ist lagenweise einzubauen und auf die geforderten Richtwerte zu verdichten. Auf einen ausreichenden Verbund mit bereits eingebautem Material ist zu achten.

Unter Einhaltung der o. g. Material- und Einbauanforderungen können folgende geomechanische Parameter zugeordnet werden:

bodenmech. Parameter	γ [kN/m ³]	γ' [N/m ³]	φ' [°]	c' [kN/m ²]	c_u [kN/m ²]	k_f [m/s]
Bindiges Schüttmaterial	20,0	10,0	25	5	50	$\leq 1 \cdot 10^{-7}$

Zum Schutz vor Witterungseinflüssen muss die Zwischenlagerung von bindigem Dammschüttmaterial auf einer nach erdbautechnischen Regeln herzustellenden Deponie erfolgen. Zum Schutz vor Niederschlagswasser ist eine Abdeckung durch Kunststoffolien vorzusehen.

3.2 Ergebnisse der Böschungsstandsicherheitsnachweise

Die Berechnungen lieferten folgende Ergebnisse:

Maßnahme M 5

Profil	LF	Beschreibung	Ausnutzungs-grad μ	Anlage Nr.
0+100	1	Einstau auf Z_V (Luftseite)	0,79	4_M5li_0_100_boe_LF1
	2	Schnelle Spiegelsenkung (Wasserseite)	0,67	4_M5li_0_100_boe_LF2
	3	Kronenstau (Luftseite)	0,67	4_M5li_0_100_boe_LF3
0+200	1	Einstau auf Z_V (Luftseite)	0,68	4_M5li_0_200_boe_LF1
	3	Kronenstau (Luftseite)	0,60	4_M5li_0_200_boe_LF3
0+300	1	Einstau auf Z_V (Luftseite)	0,82	4_M5li_0_300_boe_LF1
	3	Kronenstau (Luftseite)	0,69	4_M5li_0_300_boe_LF3
0+550	1	Einstau auf Z_V (Luftseite)	0,90	4_M5li_0_550_boe_LF1
	3	Kronenstau (Luftseite)	0,75	4_M5li_0_550_boe_LF3
0+650	1	Einstau auf Z_V (Luftseite)	0,77	4_M5li_0_650_boe_LF1
	3	Kronenstau (Luftseite)	0,67	4_M5li_0_650_boe_LF3

0+800	1	Einstau auf Z_V (Luftseite)	0,66	4_M5li_0_800_boe_LF1
	3	Kronenstau (Luftseite)	0,55	4_M5li_0_800_boe_LF3
1+150	1	Einstau auf Z_V (Luftseite)	0,70	4_M5li_1_150_boe_LF1
	3	Kronenstau (Luftseite)	0,61	4_M5li_1_150_boe_LF3

Maßnahme M 3

Profil	LF	Beschreibung	Ausnutzungs- grad μ	Anlage Nr.
0+050	1	Einstau auf Z_V (Luftseite)	0,83	4_M3li_0_050_boe_LF1
	3	Kronenstau (Luftseite)	0,65	4_M3li_0_050_boe_LF3
0+117	1	Einstau auf Z_V (Luftseite)	0,71	4_M3li_0_117_boe_LF1
	3	Kronenstau (Luftseite)	0,60	4_M3li_0_117_boe_LF3
0+200	1	Einstau auf Z_V (Luftseite)	0,74	4_M3li_0_200_boe_LF1
	3	Kronenstau (Luftseite)	0,60	4_M3li_0_200_boe_LF3

Maßnahme M 4

Profil	LF	Beschreibung	Ausnutzungs- grad μ	Anlage Nr.
0+300	1	Einstau auf Z_V (Luftseite)	0,66	4_M4_0_300_boe_LF1
	3	Kronenstau (Luftseite)	0,55	4_M4_0_300_boe_LF3
0+400	1	Einstau auf Z_V (Luftseite)	0,58	4_M4_0_400_boe_LF1
	3	Kronenstau (Luftseite)	0,49	4_M4_0_400_boe_LF3

Die Standsicherheiten sind in allen betrachteten Profilen ausreichend.

Im Rahmen der o.g. Nachweise wurde auch überprüft, ob mit einer luftseitigen Böschungsneigung von 1 : 2,5 ebenfalls ausreichende Standsicherheiten erzielbar sind. Dazu wurde das Profil M 5 0+550 verwendet, bei dem für den LF 1 der maximale Ausnutzungsgrad ermittelt wurde. Die entsprechende Berechnung mit einer luftseitigen Böschungsneigung von 1 : 2,5 ergab einen Ausnutzungsgrad von 0,90. Damit kann der statisch erforderliche Dammquerschnitt mit einer auf 1 : 2,5 versteilten luftseitigen Böschungsneigung angenommen werden, was sich günstig auf die Lage der baumfreien Zone auswirkt; deren Grenze kann dementsprechend geringfügig in Richtung Dammkrone verschoben werden.

3.3 Setzungen

Wie bereits oben erwähnt, wurde in nicht unerheblichen Bereichen der geplanten Dammaufstandsflächen Torf bzw. stark humoser Ton angetroffen. Bei derartigen Verhältnissen ist trotz der vergleichsweise niedrigen Dämme mit Setzungen im Dezimeterbereich zu rechnen. Für ausgewählte Profile wurden daher Setzungsberechnungen durchgeführt, deren Ergebnisse ebenfalls als Anlagen beiliegen und die im Folgenden tabellarisch aufgelistet sind. Die in den Tabellen angegebenen Setzungsbeträge repräsentieren jeweils den Maximalbetrag unter der Dammkrone; der quer zum Damm berechnete Setzungsverlauf kann den jeweiligen Anlagen entnommen werden.

Maßnahme M 5

Profil	Max. Setzung [cm]	Anlage Nr.
0+200	16	4_M5li_0_200_setz
0+400	20	4_M5li_0_400_setz
0+550	18	4_M5li_0_550_setz
0+650	15	4_M5li_0_650_setz
0+800	4	4_M5li_0_800_setz
1+150	10	4_M5li_1_150_setz

Maßnahme M 3

Profil	Max. Setzung [cm]	Anlage Nr.
0+050	14	4_M3li_0_050_setz
0+117	11	4_M3li_0_117_setz
0+200	8	4_M3li_0_200_setz

Maßnahme M 4

Profil	Max. Setzung [cm]	Anlage Nr.
0+300	8	4_M4_0_300_setz
0+400	5	4_M4_0_400_setz
0+450	7	4_M4_0_450_setz
0+600	4	4_M4_0_600_setz

Problematisch an den teilweise hohen Setzungsbeträgen sind hier nicht die absoluten Werte, sondern die wegen der Torfschichten langen Zeiträume (mehrere Monate bis Jahre), die bis zum Abklingen der Setzungen zu veranschlagen sind. Während bei rechnerischen Setzungsbeträgen von bis zu ca. 10 cm noch mit einer Überhöhung der Dammschüttung gearbeitet werden kann, halten wir es bei höheren rechnerischen Setzungsbeträgen als 10 cm für **zwingend** erforderlich, Maßnahmen zur Beschleunigung der Konsolidierungsvorgänge bzw. zur setzungsarmen Gründung der Dämme zu ergreifen. Spätestens ab einem Setzungsbetrag von 15 cm wäre mit einem langfristigen „Zerreißen“ des Dammkörpers zu rechnen. Da ein Bodenaustausch grundsätzlich nicht in Frage kommt, stehen hier nur folgende Möglichkeiten zur Verfügung:

Tiefgründung der Dämme in den betreffenden Bereichen

Diese Methode, die aus geotechnischer Sicht grundsätzlich machbar wäre, muss aber aus wirtschaftlichen Gründen verworfen werden.

Beschleunigung der Konsolidierung durch punktuelle Entwässerung

Hier bieten sich vertikale Drainelemente, sogenannte Pappdrains an, die in einem festzulegenden gegenseitigen Abstand vom Gelände aus bis zur Unterkante der Torfschicht eingestochen werden. Dazu ist außer der entsprechenden Maschinenteknik eine Arbeitsebene erforderlich, von der aus die Drains in den Untergrund eingestochen werden. Darüber hinaus muss unter der Dammschüttung eine Drainagelage angelegt werden, die das ausgepresste Wasser rückstaufrei ableiten kann. Wenn sichergestellt werden kann, dass die Drainagelage ausschließlich von demjenigen Gerät befahren wird, welches die Drainelemente einsticht, ist bei einer 20 bis 30 cm starken Drainagelage kein zusätzlicher Unterbau erforderlich. Dieser wäre im Übrigen im Hinblick auf das Einstechen der Drainelemente als ungünstig einzustufen. Eine Trennung zwischen abgeschobenem Planum und der Drainageschicht mittels Geotextil (GRK 4) sollte jedoch vorgesehen werden. Die Oberfläche der Drainageschicht ist zur Verhinderung von Materialeintrag während der Dammschüttung durch ein Geotextil zu schützen; hier genügt ein GRK 3-Vlies.

Für die zweitgenannte Möglichkeit wurde mit einem Verfahren, das auf Untersuchungen von Hansbo begründet ist, berechnet, nach welcher Zeit ca. 90% der prognostizierten Setzungen eingetreten sind. Dazu wurde eine regelmäßige Anordnung der Drainelemente mit einem gegenseitigen Abstand von 1,5 m zugrunde gelegt. Unter Ansatz der laborversuchstechnisch ermittelten Durchlässigkeitsbeiwerte (Anl. 3.13 bis 3.15) zeigte sich, dass dazu ein Zeitraum von 3 Monaten erforderlich wird. Wird ein schnelleres Erreichen der 90% gefordert, ist dies nur mit einem engeren Rasterabstand möglich. Aus unserer Sicht können die 3 Monate allerdings als sinnvoll angesehen werden. Nach einem Abklingen der Setzungen werden u.U. nochmals Nachbesserungen an der Schüttung erforderlich sein, da die o.g. absoluten Setzungsbeträge durch die Maßnahme ja nicht verhindert, sondern nur deutlich beschleunigt werden. Eventuelle verformungsbedingte Risse müssen daher u.U. durch Nachverdichtung behandelt werden.

Aus heutiger Sicht sollte die oben vorgeschlagene Maßnahme für folgende Abschnitte vorgesehen werden:

- M 5: ca. 0+100 (Beginn) bis 0+700 und 1+100 bis 1+200 (Bahndamm)
- M 3: 0+000 (Bahndamm) bis ca. 0+200

Für den o.g. Teilabschnitt der Maßnahme M 3 kann ggf. auch mit einer reinen Überschüttung gearbeitet werden, zumindest sollte jedoch der Anschluss an den Bahndamm mittels Konsolidierungsbeschleunigung durch Pappdrains behandelt werden.

Bezüglich der Drainagelage unter der Dammschüttung muss zwingend beachtet werden, dass diese nicht vom luft- bis zum wasserseitigen Böschungsfuß durchgehend angelegt werden darf; dies hätte im Einstaufall eine unkontrollierbare Durchströmung zur Folge. Je nach Ausbildung des Profils ist wasserseitig auf eine quer zum Böschungsfuß bezogene Länge von mindestens 3 m auf die Drainagelage zu verzichten. Am luftseitigen Austritt der Drainage ins offene Gelände ist dafür Sorge zu tragen, dass ein rückstaufreier Abfluss des Drainagewassers möglich ist.

In Anlage 4_M4_0_600_setz wurden die Setzungen der Vorschüttung am Bahndamm berechnet. Hier zeigt sich, dass im Bereich des östlichen Gleises rechnerisch noch Setzungen von ca. 0,5 cm zu erwarten sind. Wir gehen allerdings davon aus, dass dieser Wert nicht erreicht wird, da die durch den Bahndamm erfolgte auflastbedingte Vorbelastung des setzungsweichen Baugrundes in der Berechnung nicht berücksichtigt wurde. Unabhängig davon halten wir jedoch eine Kontrolle der Gleislage während und nach der Bauausführung für erforderlich. Sollten dabei wider Erwarten Verformungen festgestellt werden, die eine noch akzeptable Größe überschreiten, kann dies durch sog. Nachstopfen im Gleisbett behoben werden.

4 Ausführungsempfehlungen

Die Material- und Einbauanforderungen für die Dämme wurden bereits in Kap. 3.1 beschrieben. Im Folgenden werden Punkte wie Baustraßen, Wühltierschutz und die Verfüllung des alten Bachbettes beschrieben.

4.1 Baustraßen

Zum Bau der Dämme sowie zum Materialtransport werden Baustraßen benötigt, die auch mit schweren Lkw befahrbar sind. Hier halten wir es für zwingend erforderlich, die ungünstigen Baugrundverhältnisse zu beachten und mit Zusatzmaßnahmen darauf zu reagieren. Günstig in diesem Zusammenhang ist allenfalls, dass zwischen Unterkante Mutterboden und Oberkante der torfigen Schichten mindestens 1 m mineralisches Material vorhanden ist (man muss daher nicht auf dem Torf fahren). Jedoch ist nach den Beobachtungen aus den unterschiedlichen Erkundungsphasen das schluffig-tonige Material unmittelbar unter dem Mutterboden als extrem wasserempfindlich einzustufen, so dass eine „einfache“ Baustraße unmittelbar auf diesem Material sicher nicht ausreichend ist und Zusatzmaßnahmen erforderlich werden. Diese können wie folgt angedacht werden:

Variante 1: Tiefgründige Kalk-Zement-Stabilisierung (mindestens 40 bis 50 cm)

Hier ist bei 50 cm Frästiefe zunächst von einer Bindemittelmenge von ca. 35 bis 40 kg/m² auszugehen. Als Bindemittel wird ein Mischbinder mit einem Zementanteil von mind. 30% empfohlen.

Variante 2: Baustraße in Schotterbauweise

Baustraßenmaterial zur Erzielung eines sog. Matratzeneffektes in zugfestes Geotextil einschlagen; die Mindeststärke kann mit 40 cm angenommen werden. Ggf. vorheriges Einwalzen von Schroppen; diese müssen vor dem Aufbringen des Baustraßenmaterials vollständig in den bindigen Boden eingewalzt werden.

Bei der Auswahl ist zu beachten, dass ein Großteil der Baustraßen wieder rückgebaut werden muss; die Kalk-Zement-Stabilisierung kann diesbezüglich wegen des veränderten Chemismus Probleme bereiten.

4.2 Dammaufstandsflächen

Da aus bauablauftechnischen Gründen nicht ausgeschlossen werden kann, dass das freigelegte Dammplantum niederschlagsbedingt aufweicht, empfehlen wir, eine Stabilisierung mit einem hydraulischen Bindemittel zumindest für Teilflächen vorzusehen. Beim anstehenden Boden eignet

sich hauptsächlich Weißfeinkalk; ggf. kann auch ein Mischbinder mit max. 30% Zementanteil verwendet werden. Belastbare Angaben zur Erfordernis einer Stabilisierung und zur Zugabemenge sind naturgemäß erst im Zuge der Ausführung möglich. Zu Kalkulationszwecken kann bei einer Frästiefe von 40 cm mit einer flächenbezogenen Bindemittelmenge von ca. 25 kg/m² gerechnet werden.

4.3 Verfüllung des alten Bachbettes

Zur Verfüllung des alten Bachbettes kann in Bereichen, die später keine Tragfähigkeit aufweisen müssen, z.B. der an der jetzigen Kriechbachsohle anstehende Schlamm verwendet werden. Hierbei ist allerdings zu beachten, dass wegen der flüssigen Konsistenz des Materials auch eine Begehung nicht stattfinden darf. Da ein verdichteter Einbau nicht möglich ist, muss mit einer langen Konsolidierungszeit gerechnet werden; die Angabe einer Zeitspanne ist allerdings nicht möglich.

Bereiche, die im Zuge der Bauausführung oder später überfahren werden müssen, müssen mit verdichtbarem bindigem Schüttmaterial lagenweise verfüllt werden. Eine geringe Schlammlage, die vor der Verfüllung mit bindigem Schüttmaterial an der Kriechbachsohle noch vorhanden ist, kann u.E. toleriert werden, solange deren Stärke 20 cm nicht überschreitet. Wir halten es für sinnvoll, die Bereiche, die später überfahren werden können, durch Markierungen zu kennzeichnen.

4.4 Wühltierschutz

Die neuen Dämme sollen durch eine Wühltierschutzauflage geschützt werden. Das Wühltierschutzmaterial muss dabei die folgenden, z.T. entgegengesetzten Kriterien erfüllen:

- Barriere gegen das Eindringen von Wühltieren
- ausreichende Reibungsbewerte zur Einhaltung der Böschungsstandsicherheit
- ausreichendes Wasserdepot für die Wurzeln der Grasnarbe
- ausreichende Durchlässigkeit im Vergleich zum angrenzenden Dammbaumaterial, um bei ablaufendem Hochwasser einen Wasseraufstau im Dammkörper zu vermeiden

Der letztgenannte Punkt (ausreichende Durchlässigkeit) ist bei einem bindigen Dammschüttmaterial von allenfalls untergeordneter Bedeutung.

Optimal geeignet wäre ein gebrochenes scharfkantiges Material, dessen „hydraulische“ Eigenschaften im vorliegenden Fall allerdings der Begrünung der Dämme entgegenstehen. Im Folgenden sind daher die Materialanforderungen für einen feinteilhaltigen Wühltierschutz

aufgelistet, dessen Feinkornanteil zur Verbesserung des Wasserrückhaltevermögens max. 30% betragen darf.

Materialanforderungen feinteilhaltiger Wühltierschutz:

- keine organischen Bestandteile ≤ 5 Gew. %
- natürlich vorkommendes Material
- Gebrochenes Schottermaterial (Gesteinsmehl/Brechsand/Splitt/Schotter-Gemisch)
- Bodengruppe (DIN 18196) GU, GU*
- Bodenklasse (DIN 18300 alt¹) 3 – 4
- Reibungswinkel φ'_k $\geq 35^\circ$
oder
- Reibungswinkel φ'_k $\geq 25^\circ$
und Kohäsion c'_k ≥ 5 kN/m²
- Wasserdurchlässigkeitsbeiwert $k_{f,k}$ $1 \cdot 10^{-4}$ bis $1 \cdot 10^{-6}$ m/s
- Mindestverdichtungsgrad D_{min} ≥ 97 % e.P.
- Größtkorn ($\varnothing_{max.}$) ≤ 100 mm
- Kies-/Steinanteil $P_{(\varnothing > 2,0 \text{ mm})}$ ≥ 40 Gew. %
- Sandanteil $P_{(\varnothing > 0,063 \text{ mm}; \leq 2 \text{ mm})}$ ≤ 25 Gew. %
- Feinkornanteil $P_{(\varnothing \leq 0,063 \text{ mm})}$ $P_{min} \geq 10$ Gew. %
 $P_{max} \leq 30$ Gew. %
- Feinstkornanteil $P_{(\varnothing \leq 0,002 \text{ mm})}$ ≤ 10 Gew. %
- Ungleichförmigkeitszahl $U = d_{60}/d_{10} \geq 15$
- Stetige Körnungslinie, keine Ausfallkörnung
- Wasserkapazität ≥ 25 Vol.-%
Prüfung gemäß FLL² Empfehlungen für Baumpflanzungen – Teil 2 2010,
Anhang A.1, Abschnitt 5.1
- Luftkapazität, bei max. Wasserkapazität ≥ 10 Vol.-%
Prüfung gemäß FLL Empfehlungen für Baumpflanzungen – Teil 2 2010,
Anhang A.1, Abschnitt 6
oder
- Luftkapazität, bei pF 1,8 ≥ 15 Vol.-%
Prüfung gemäß FLL Empfehlungen für Baumpflanzungen – Teil 2 2010,
Anhang A.1, Abschnitt 6

¹ DIN 18 300:2012, Hinweis nur nachrichtlich

² Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (FLL)

Einbau und Verdichtung

Auf einen ausreichenden Verbund mit bereits eingebautem Schüttmaterial ist zu achten. Auf feinkörnigem Schüttmaterial wird in der Böschungsschräge daher das Anlegen einer ausreichenden, treppenartigen Verzahnung erforderlich. Eine Durchmischung mit anstehendem Schüttmaterial ist hierbei zu vermeiden.

Der Wühltierschutz wird in geringer Schütthöhe (ca. 20 cm) möglichst in einer Lage auf der Böschung aufgebracht und ist ausreichend zu verdichten. Eine Verdichtungsprüfung ist hier nicht möglich. Die Kontrolle erfolgt visuell seitens der geotechnischen Baubegleitung. Im Zweifelsfall ist ein ebenes Probefeld anzulegen auf dem Lastplattendruckversuche durchgeführt werden können. Auf diesem können dann auch bei Bedarf die Vorgehensweise beim Einbau und der Verdichtung auf die geotechnischen und ökologischen Bedingungen angepasst werden.

4.5 Material Bestandsdämme

Nach den Erkundungsergebnissen aus dem Jahre 2017 sind die Bestandsdämme aus einem (schwach) tonigen Schluff mit feinsandigen Beimengungen aufgebaut; dieses Material wäre als Schüttmaterial für die neuen Dämme geeignet. Das Ergebnis einer umweltchemischen Analyse gemäß VwV Boden liegt als Anlage 3.17 bei; dieser Analyse zufolge ist das Material der Verwertungsklasse Z0 zuzuordnen und damit uneingeschränkt verwendbar. Allerdings ist durch den vorhandenen Bewuchs (Sträucher und Bäume) davon auszugehen, dass ein Teil des Materials wegen eines deutlich zu hohen Anteils an Wurzeln als Schüttmaterial nicht verwendet werden kann. Eine prozentuale Abschätzung ist hier allerdings nur mit einer großen Unschärfe möglich. Aus unserer Sicht kann zunächst von folgenden Anteilen ausgegangen werden:

Bestandsdamm M 5 links: 35 bis 40% wiederverwendbar, 60 bis 65% nicht wiederverwendbar

Bestandsdamm M 5 rechts: 50% wiederverwendbar, 50% nicht wiederverwendbar

Bestandsdamm M 3 links: 50% wiederverwendbar, 50% nicht wiederverwendbar

5 Vorschüttung an den Bahndamm

Im Bereich der Maßnahme M 4 erfolgt zwischen Station 0+450 und 0+650 eine dichtende Anschüttung an den dort verlaufenden Bahndamm. Im Hinblick auf die Böschungsstandsicherheit sind die geometrischen Verhältnisse dort günstiger als im übrigen Bereich der Maßnahme, auf eine Standsicherheitsberechnung kann daher verzichtet werden. Die mit der Vorschüttung einhergehenden Setzungen wurden bereits in Kapitel 3.3 behandelt.

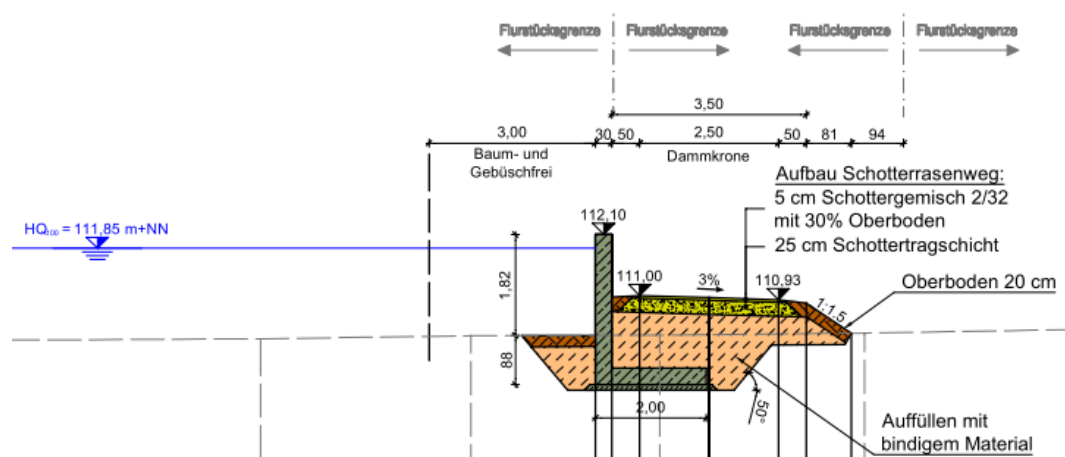
Die Einstauhöhe über Gelände unmittelbar am Böschungsfuß der Vorschüttung beträgt im Lastfall HQ_{100} max. 2 m; über dem auf einer Berme verlaufenden Betriebsweg beträgt die Einstauhöhe weniger als einen Meter.

Die dichtende Anschüttung an den Bahndamm erfolgt nur auf der Ostseite, die gegenüberliegende Bahndammböschung wird nicht verändert. Die Zwischenschaltung einer Drainage zwischen bindiger Anschüttung und Bestandsböschung des Bahndammes ist aus geotechnischer Sicht angesichts der geringen Einstauhöhe und dem Umstand, dass die hydraulische Durchlässigkeit des Bahndammes mit Sicherheit nicht geringer ist als die Durchlässigkeit der bindigen Anschüttung, nicht erforderlich. Selbst bei einer geringen Durchsickerung der bindigen Vorschüttung würde sich im Bahndammkörper keine standsicherheitsrelevante Sickerströmung einstellen. Wir halten daher nur eine filterstabile Trennung zwischen bindiger Vorschüttung und Bahndammböschung für erforderlich, die im Falle einer Durchsickerung der Vorschüttung ein Einspülen bindigen Materials aus der Vorschüttung in den Bahndammkörper verhindert. Dazu ist ein Geotextil der Robustheitsklasse GRK 5 mit einer kleinen wirksamen Öffnungsweite zu verwenden.

Im Hinblick auf den Ansatz der baumfreien Zone gilt, dass der bestehende Bahndamm als ein für sich standsicheres Element anzusehen ist. Die Vorschüttung hat hier nur die Aufgabe, im Einstaufall das Eindringen von Wasser zu verhindern; sie hat keinerlei standsicherheitsrelevanten Zweck. Damit kann der Schutzstreifen und insbesondere die baumfreie Zone ab dem Böschungsfuß des bestehenden Bahndamms angesetzt werden.

6 Hochwasserschutzmauer bei Maßnahme M 4

Zwischen Station 0+000 und 0+200 soll statt eines Dammes eine Hochwasserschutzmauer errichtet werden. In diesem Bereich steht nach den Ergebnissen der Baugrunderkundung (Anl_2_M4_0_000 bis Anl_2_M4_0_190) bis in eine Tiefe von mindestens 2 m bindiger Boden mit i.M. weich-steifer Konsistenz an; torfige Schichten wurden nur im Profil 0+045 in einer Tiefe von mehr als 5 m angetroffen. Eine Unterströmung der Mauer im Einstaufall kann, sofern keine durchlässigen Tragschichten unter dem Fundament eingebaut werden, somit ausgeschlossen werden. Die Planung ist in folgender Abbildung exemplarisch dargestellt.



Die Wand kann wie in der Abbildung dargestellt ausgeführt werden. Es ist bei der Ausführung sicherzustellen, dass sowohl die Arbeitsraumverfüllung als auch die luftseitige Geländeaufhöhung bis zum darauf angelegten Schotterrassenweg aus bindigem Schüttmaterial (Material- und Einbauanforderungen gemäß Kap. 3.1) hergestellt werden. Der Fundamentdimensionierung kann eine charakteristische Kantenpressung von maximal 120 kN/m^2 zugrunde gelegt werden. Eine Unterströmungssicherung in Form eines Sporns oder dgl. ist nicht erforderlich.



Dipl.-Ing. Klaus-M. Gottheil

