



Regierungspräsidium
Tübingen

**ILLER
HOCHWASSERSCHUTZ
KIRCHBERG-SINNINGEN**

Heft 3

Geotechnischer Bericht

BCE

BJÖRNSEN BERATENDE INGENIEURE

Björnsen Beratende Ingenieure GmbH
Niederlassung Augsburg
Morellstraße 33 · 86159 Augsburg
Telefon 0821 3194908-0 · Telefax 0821 3194908-17

Juni 2017
JF/RA/14095.36

Inhaltsverzeichnis

Erläuterungsbericht	Seite
1 Auftrag und Zusammenfassung	1
2 Planung	6
3 Topografie, geologische Verhältnisse, Erdbeben	7
4 Schutzgebiete, Ökologie, Altlastenverdachtsfläche	7
5 Kampfmittelüberprüfung	7
6 Durchgeführte Untersuchungen	8
7 Baugrundbeurteilung	9
7.1 Untergrundaufbau	9
7.2 Generalisierter Untergrundaufbau	12
7.3 Bodenklassifikation	12
7.4 Bodenkennwerte	14
7.5 Auswertung der chemischen Analysen	15
7.5.1 Analyse der Schwarzdecke	15
7.5.2 Analyse von Auffüllungs- und Bodenproben	15
8 Gründungsberatung	18
8.1 Dammbau	18
8.2 Gabionenwand	22
8.3 Dammbalkenverschluss	25
9 Sonstige Hinweise	26

Abbildungsverzeichnis	Seite
Abbildung 1: Projektgebiet mit Schutztrasse	6
Abbildung 2: Körnungsband Auensedimente feinkörnig	13
Abbildung 3: Kornverteilung Auensediment gemischtkörnig	13
Abbildung 4: Körnungsband Kiessande, teilweise schwach schluffig	13
Abbildung 5: Wasserstandsverhältnisse BS-A1	23

Tabellenverzeichnis	Seite
Tabelle 1: Bodenmechanische Kennwerte (charakteristische Werte)	14
Tabelle 2: Probenliste zur Verwertungsanalytik	15
Tabelle 3: LAGA-Deklaration der Ackerboden-Proben	16
Tabelle 4: Prüfung nach Vorsorgewerten der BBodSchV	16
Tabelle 5: Bodenkennwerte Dammbaumaterialien	18
Tabelle 6: Äußere Standsicherheit der Gabionenwand	23
Tabelle 7: Ergebnisse der globalen Böschungsbruchberechnungen	24

Anlagen Reihe A

A-1	Dokumentation der Kleinbohrungen (BS)
A-2	Dokumentation der Rammsondierungen (DPH)
A-3	Protokolle der bodenmechanischen Laborversuche
A-4	Tabelle Laborergebnisse
A-5	Dokumentation der chemischen Bodenanalysen
A-6	Standsicherheitsberechnungen Dammbauwerk
A-7	Standsicherheitsberechnungen Gabionenwand
A-8	Nachweis hydraulischer Grundbruch/Aufschwimmen Dammbalkenverschluss

Lose beigefügte Pläne	Maßstab	
B-1	Lageplan mit Aufschlussansatzpunkten	1 : 250
B-2.1	Querprofil 0+025	1 : 100
B-2.2	Querprofil 0+100	1 : 100
B-2.3	Querprofil 0+175	1 : 100
B-2.4	Querprofil 0+425	1 : 100
B-2.5	Mobiler Hochwasserschutz, Draufsicht und Schnitt A-A	1 : 50

Verwendete Unterlagen

- [1] Regierungspräsidium Tübingen
Iller-Hochwasserschutz Kirchberg-Sinningen
Entwurfsplanung
Dezember 2016
Björnsen Beratende Ingenieure GmbH, Niederlassung Augsburg

- [2] Regierungspräsidium Tübingen
Grundwasseraufschlüsse Projektgebiet
SHP-Datei

- [3] Regierungspräsidium Tübingen
Hochwasserschutz-Sinnigen
UVS-Vorprüfungen
Dipl.-Ing. (FH) Gabi Stich, Landschaftsarchitektin BDLA

- [4] Björnsen Beratende Ingenieure GmbH
Kampfmittelvorerkundung durch kombinierte Luftbild- und Aktenauswertung
„Sinningen, Flusskilometer 29.8-30,2“
04.05.2017
Luftbilddatenbank Dr. Carls GmbH

- [5] Regierungspräsidium Tübingen
Iller-Hochwasserschutz Kirchberg-Sinningen
Entwurfsplanung, Heft 3
Baugrunderkundung Erkundungskonzept
April 2017
Björnsen Beratende Ingenieure GmbH, Niederlassung Augsburg

- [6] Geologisches Landesamt Baden-Württemberg
Hydrogeologische Karte von Baden-Württemberg
1:50.000
Karlsruhe 1980

1 Auftrag und Zusammenfassung

Das Land Baden-Württemberg, vertreten durch das Regierungspräsidium Tübingen, beauftragte mit Vertrag vom 01.08.2016, auf Grundlage des Angebotes vom 12.07.2016, die Björn- sen Beratende Ingenieure GmbH (BCE), Niederlassung Augsburg, mit den Ingenieurarbeiten für den Hochwasserschutz Kirchberg-Sinningen.

Für die Entwurfsplanung sind eine Baugrunderkundung durchzuführen und die Ergebnisse in einem geotechnischen Bericht zusammenzustellen. Die Standsicherheit für die geplanten Dammbauwerke ist nachzuweisen.

Gegenstand des vorliegenden geotechnischen Berichts ist die Auswertung der im Mai 2017 durchgeführten Baugrunderkundungen und der bodenmechanischen bzw. chemischen Untersuchungen. Ergänzend sind die Standsicherheitsberechnungen in den Bericht eingepflegt.

Zusammenfassend lässt sich feststellen:

A. Baugrund

1. Der Untergrund wird in der Talebene (GOK \approx 530 mNHN) durch eine ca. 10-12 m mächtige Kiesschicht, die auch den Grundwasserleiter darstellt, gebildet. Darüber befindet sich z.T. eine bis zu 2 m mächtige Deckschicht aus Feinsand-Schluff-Gemischen. Unter dem Kieslager folgen die gering wasserdurchlässigen Feinsand- und Tonmergelschichten (Flinz) bei ca. 513-515 mNN.
2. Der Untergrund wurde im Mai 2017 durch 14 Rammkernsondierungen und 4 Rammsondierungen (DPH) aufgeschlossen. Die durchgeführte Bodenansprache vor Ort und die Laboruntersuchungen lassen auf folgenden Untergrundaufbau schließen:
 - bereichsweise ca. 10-20 cm Oberboden
 - Auffüllungen abschnittsweise bis 0,75 m
 - bis 1,5 m Auensedimente (schluffige Feinsande und feinsandige Schluffe), abschnittsweise auch fehlend
 - darunter Kiessande (Kies, sandig, teilweise schwach schluffig) bis zur Endteufe bei 525,2 mNN in mitteldichter bis dichter Lagerung, z.T. sehr dicht
3. Ein freier Grundwasserspiegel konnte nicht eingemessen werden, da die Bohrlöcher nicht ausreichend standsicher waren. Jedoch lässt nasses Bohrgut im Rahmen der Bodenansprache auf den Grundwasserspiegel im Kiessand schließen. Der Grundwasserspiegel stand während der Bohrarbeiten somit zwischen 2,0-3,6 m unter Gelände bzw. 526,50 - 527,25 mNN an.

B. Chemische Analysen

1. Die ca. 2-3 cm starke Schwarzdecke des Flößerweges an der Kreuzung mit dem Dammbauwerk enthält keine teerstämmigen Bestandteile. Der Aufbruch ist unter AVV

- 170302 „ Bitumengemische mit Ausnahme derjenigen, die unter 170301* fallen „ zu verwerten.
2. Die Auffüllungen und technische Schichten in Form von Kalkschottern (Wegeschotterung) und Bauschutt in Form von Ziegel-haltigen Boden-Bauschutt-Gemischen halten die Zuordnungswerte Z0 ein. Das Material kann unter dem Abfallschlüssel AVV 170107 „Gemische aus Beton, Ziegeln, Fliesen und Keramik mit Ausnahme derjenigen, die unter 170106 fallen“ nach Z0-Einstufung verwertet werden.
 3. Die bindigen Hochflutablagerungen (ackerbauliche genutzte Flächen) zeigen hohe organische Bestandteile (TOC-Gehalt). Die Vorsorgewerte nach Bundes-Bodenschutzverordnung für eine Wiederverwendung in durchwurzelbaren Bodenschichten werden eingehalten. Gegen eine Wiederverwertung vor Ort in einer Oberboden-Position bestehen keine Bedenken. Soweit eine externe Verwertung erforderlich ist, ist das Material unter dem AVV-Schlüssel 170504 „Boden und Steine mit Ausnahme derjenigen, die unter 17 05 03 fallen“ zu verwerten. Die Verwertung ist auf die erhöhten TOC-Gehalte auszurichten. Da eine organoleptische Trennung unterschiedlicher TOC-Gehalte nicht möglich ist, sollte im Fall der externen Verwertung die Verwertung unter Hinweis auf den TOC-Befund nach den LAGA Z2-Verwertungsvorgaben erfolgen.

C. Dammbau

1. Die Dammgeometrie ergibt sich aus der Nutzung der Krone, der Standsicherheit der Böschungen, der geohydraulischen Anforderungen an den Untergrund sowie den vorhandenen Platzverhältnissen. Das Dammbauwerk ist nach DIN 19712 (Flussdeiche) zu bemessen. Im Rahmen dieses Gutachtens wurde die Standsicherheit des Dammbauwerkes nachgewiesen.
2. Es ist ein homogenes Dammbauwerk mit einer eine Kronenbreite von 3 m vorgesehen. Der Weg soll unbefestigt ausgeführt werden. Die Dammverteidigung erfolgt direkt vom Hinterland. Die vorhandenen Wege ermöglichen den Zugang zum Damm auch im Hochwasserfall.
3. Die Krone ist mit einem ausreichenden Quergefälle in Richtung Wasserseite auszubilden.
4. Für den Bau der homogenen Dämme sind bindige d.h. kohäsive Böden der Boden-gruppen UL, UM, TL, TM nach DIN 18916 einzusetzen. Bindige Böden haben mitunter geringe Scherfestigkeiten, so dass sich aus erdstatischen Gründen in der Regel flache Böschungsneigungen von 1:3 empfehlen.
5. Bei homogenen Dämmen ist luftseitig ein filterfester Dränkörper zum drucklosen Abbau des Sickerwassers vorzusehen. Am Böschungsfuß empfehlen wir eine Mulde anzuordnen, um das Wasser abzuleiten.
6. Im Vorfeld der Bauausführung sind von den Liefermaterialien Eignungsuntersuchungen zu fordern und zu prüfen. Ggf. sind die Standsicherheitsnachweise zu überarbeiten bzw. zu ergänzen. (u.a. Materialtransport, Filterfestigkeit).

7. Die Filterfestigkeit zwischen Dammbaustoff und Filtermaterial sowie Untergrund ist zu überprüfen.
8. Als Mindestwerte für das Dammbaumaterial werden folgende Kennwerte empfohlen:
 $\varphi_k' = 20^\circ$, $c_k' = 5 \text{ kN/m}^2$, $k_f \leq 10^{-7} \text{ m/s}$.
9. Vor Schütten des Damms ist der Mutterboden abzutragen und auf Mieten zwischenzulagern. Weiche bis breiige Schichten sowie Hindernisse (Baumstümpfe, Wurzeln oder ähnliches) müssen entfernt und durch ausreichend trockenes bindiges Material ersetzt werden. Die die Dammtrasse querenden Wege sind zur Vermeidung von Kurzschlüssen zurückzubauen und ein Bodenaustausch aus bindigem Dammbaumaterial durchzuführen.
10. Das Dammlager ist bei bindigen Böden vor Schütten der ersten Lage durch 6 Übergänge mit der mittelschweren Schafffußwalze nachzuverdichten. Auf dem Planum sollten Lastplattendruckversuche Wiederbelastungsmodule $E_{v2} \geq 20 \text{ MN/m}^2$ bei einem Verhältniswert von $< 2,5$ bzw. 97% Proctordichte erreicht werden.
11. Der Dammbau erfolgt lagenweise mit den vorgesehenen Böden. Es dürften lagen - vorbehaltliche eines Probebaus – von ca. 30-40 cm realisierbar sein. Die Lagen sollten zur Vorflut hin mit ca. 6 % geneigt sein, damit im Niederschlagsfall ein Abfließen des auftreffenden Oberflächenwassers gewährleistet ist. Die Einzellagen sollten arbeits-täglich glatt abgewalzt werden. Es ist ein Verdichtungsgrad von mind. 97% Proctordichte einzuhalten. Dazu sind vorbehaltliche eines Probebaus, ca. 6 Übergänge mit der mittelschweren Walze durchzuführen. Um Schrumpfrisse zu vermeiden, sollte da bindige Material auf dem trockenen Ast der Proctorkurve eingebaut werden.
12. Die Errichtung des Dammbauwerks erfolgt mit Überprofil. Das Sollprofil ist jeweils durch Abschälen herzustellen. Vor dem Mutterbodenauftrag sollte mit einer leichten Grabenwalze (Schafffußwalze) die Oberfläche nachverdichtet und aufgeraut werden, so das der Mutterboden in der vorgesehenen Lagenstärke ca. 15-20 cm aufgebracht werden kann.
13. Für die Anrampungen und Geländeverfüllungen gelten die Hinweise analog.

D. Gabionenwand

1. Die äußere Standsicherheit der Gabionenwand (Kippen, Gleiten, Grundbruch, Setzungen) wurde nachgewiesen. Die innere Standsicherheit der Gabionenkonstruktion wurde in Anlehnung an den EC2 /DIN 1045-1 für unbewehrten Beton in allen maßgebenden horizontalen Schnitten geführt. In den Berechnungen wurde der äquivalente Bemessungswert der Betondruckfestigkeit f_{cd} zu 150 kN/m^2 angenommen und ist durch Belastungsversuche der Gabionenhersteller nachzuweisen. Der Nachweis gegen hydraulischen Grundbruch ist erfüllt.
2. Die Wichte der Gabionenfüllung wurde mit $\gamma = 16 \text{ kN/m}^3$ angenommen. Das Gewicht ist über zu wiegende Probegabionen nachzuweisen.

3. Die Gabionen sind auf ein Betonfundament zu setzen, um unterschiedliche Setzungen und Verkantungen auszuschließen.
4. Die Gründung ist frostsicher bis in eine Tiefe von 80 cm auszuführen. Das Aushubplanum ist ausreichend nachzuverdichten. Es ist ein E_{v2} -Wert von mindestens 45 MN/m² nachzuweisen. Weiche und breiige Sedimente sind gegen Magerbeton auszutauschen.
5. Die erdberührten Flächen der Gabione sollten mit einem Filtervlies ausgekleidet werden, um einen Feinkorneintrag in die Gabione zu vermeiden.

E. Dammbalkenverschluss

1. Das Bauwerk ist frostsicher in mindestens 80 cm Tiefe zu gründen. Entsprechend dem Schnitt durch das Bauwerk befindet sich die Gründungsebene in den Kiessanden der Illerterrasse, welche sich für eine Gründung anbieten. Sollten bindige Partien angetroffen werden, so sind diese gegen körniges Material auszutauschen. Das Planum ist nach dem Aushub nachzuverdichten.
2. Die Standsicherheit des Bauwerks (u. a. Kippen, Gleiten, Grundbruch) unter Berücksichtigung des Wasserdrucks ist noch nachzuweisen.
3. Unter den gegebenen Abmessungen sind die Nachweise gegen hydraulischen Grundbruch/ Aufschwimmen erfüllt.
4. Die Massivbauwände zum Dammbauwerk sind schräg auszuführen, um Sickerwege bei Setzungen zu vermeiden. Je nach Dammbaumaterial kann ein Einstreuen von Bentonit sinnvoll sein.
5. Die Baugrube kann bis in eine Tiefe von 1,25 m senkrecht ohne weitere Stützung ausgeführt werden. Bei tieferem Aushub ist die Baugrube unter 45° entsprechend den Anforderungen der DIN 4124 auszuführen.
6. Unter Mittelwasserbedingungen der Iller steht das Grundwasser noch ca. 1,5 m unter der Baugrubensohle. Es sollte nur eine Wasserhaltung für anfallendes Tag- und Oberflächenwasser vorgehalten werden.
7. Die Verfüllung der Baugrube nach Errichtung und ausreichender Abbindezeit des Stahlbetonbalkens sollte mit gemischtkörnigen Böden zumindest im Bereich der Deckschichten erfolgen, um Wasserwegsamkeiten zu vermeiden. Die Durchlässigkeit sollte ausreichend klein gewählt werden (z.B. Bodengruppe GU/ GU*). Die Verfüllung ist auf das Konzept der Bauwerksabdichtung und des Wegeaufbaus abzustellen. Das Material ist lagenweise einzubringen und ausreichend z.B. mit sechs Übergängen zu verdichten. Eine Verdichtung von ca. 100 % Proctordichte ist anzustreben.

F. Sonstige Hinweise

1. Im unbefestigten Gelände ist bei Nässe von einer nur mäßigen Befahrbarkeit auszugehen. Zur Sicherstellung einer dauerhaften Befahrbarkeit des Geländes (auch mit Radfahrzeugen) sind ggf. abschnittsweise Baustraßen erforderlich.
2. Erforderlicher Bodenabtrag und die Art und Weise von Bodenaustauschmaßnahmen sind vor Ort durch einen geotechnischen Sachverständigen festzulegen.
3. Die Aushub- und Gründungsarbeiten sowie der Dammbau sollten geotechnisch überwacht und abgenommen werden. Die Aufstellung einer Qualitätssicherungsplanes für den Erdbau wird empfohlen, ebenso der Einsatz einer geotechnischen Fachbauüberwachung.
4. Eine Abdichtung des Untergrundes ist nicht vorgesehen, so dass mit einer Unterströmung der Dämme und mit Qualmwasserbildung zu rechnen ist.

2 Planung

Der Schutz für die Bebauung Kirchberg-Sinningen (Landkreis Biberach) gegenüber einem Hochwasser der Iller bis zu einem 100-jährigen Ereignis soll durch einen neu herzustellenden Damm gewährleistet werden [1].

In Abbildung 1 ist das Projektgebiet und der Verlauf der Schutztrasse dargestellt (siehe auch Plan B-2).



Abbildung 1: Projektgebiet mit Schutztrasse

Die Schutztrasse verläuft unmittelbar am östlichen Bebauungsrand von Sinningen auf einer Länge von rd. 500 m. Der Damm weist eine Höhe von bis zu rd. 2,0 m (inkl. 0,5 m Freibord) auf. Die Iller verläuft parallel in einem Abstand von ca. 70 bis 140 m von der neuen Dammtrasse entfernt.

Zusätzlich sind aufgrund der vorhandenen Wegeverbindungen abschnittsweise mobile Hochwasserschutz Elemente (Kreuzung Flößer Weg) sowie Dammüberfahrten (Iller-Straße und Schifffahrtsweg) vorgesehen. Entlang des Sportplatzgeländes soll die luftseitige Böschung des Damms über eine Gabionenwand gesichert werden. Der vorhandene Fangzaun ist abzubauen und außerhalb des Dammbauwerks neu zu errichten.

Dichtwände zur Vermeidung einer Dammunterströmung sind derzeit nicht vorgesehen.

3 Topografie, geologische Verhältnisse, Erdbeben

Die flache Ebene des Illertals fällt nach Norden hin ab. Die Geländehöhen im Projektgebiet liegen zwischen 530 m NN im Süden und 527 m NN im Norden.

Der Untergrund wird in der Talebene durch eine ca. 10-12 m mächtige Kiesschicht, die auch den Grundwasserleiter darstellt, gebildet. Darüber befindet sich eine bis zu 2 m mächtige Deckschicht aus Feinsand-Schluff-Gemischen. Unter dem Kieslager befinden sich die gering wasserdurchlässigen Feinsand- und Tonmergelschichten (Flinz) bei ca. 513-515 mNN [6].

Das Projektgebiet liegt nach EC 8 außerhalb von Erdbebenzonen. Zusätzliche Belastungen aus Erdbebeneinwirkungen sind im Rahmen von erdstatischen und statischen Berechnungen nicht zu berücksichtigen.

4 Schutzgebiete, Ökologie, Altlastenverdachtsfläche

Entsprechend der Biotopkartierung (UDO-LUBW) ist ein strukturreiches Feldgehölz an der Westseite des Sportplatzes im Bereich des Erdwalls zum Gewerbegebiet (Sägerei) dargestellt. Entsprechend der UVS-Vorprüfung [3] sind aktuell am Erdwall nur jüngere Gehölze vorhanden.

Das Flurstück Nr. 3435 / Flößerweg 29 ist als Altlastenverdachtsfläche (Stangenverarbeitung) ausgewiesen.

5 Kampfmittelüberprüfung

Für die Erkundungen sowie die weiteren Planungen wurde eine Kampfmittelüberprüfung in Form einer Luftbildauswertung durchgeführt. Nach [4] wurde im Projektgebiet Sinningen keine potenzielle Kampfmittelbelastung ermittelt. Entsprechend dem Blatt „Arbeitshilfen Kampfmittelräumung“ besteht kein weiterer Handlungsbedarf.

6 Durchgeführte Untersuchungen

Die Feldarbeiten erfolgten auf Grundlage des geotechnischen Untersuchungsprogramms [5]. Die Kleinbohrungen im Rammverfahren sowie die schweren Rammsondierungen wurden im Mai 2017 durch BCE ausgeführt.

Insgesamt wurden folgende Aufschlussarbeiten niedergebracht.

- 14 Kleinbohrungen in der Dammachse sowie im Dammvor- und hinterland bis in Tiefen von 4 m unter Gelände
- 4 Sondierungen mit der schweren Rammsonde in der Bauwerksachse im Nahbereich von direkten Aufschlüssen bis in Tiefen von 6 m unter GOK

Die Ansatzpunkte sind in den Lageplan B-1 eingetragen.

Die Kleinbohrungen nach DIN EN ISO 22 475 wurden mit Hilfe einer Schlitzsonde ($\varnothing \leq 50$ mm) in den Untergrund abgeteuft. Die Grundwasserstände wurden nach Fertigstellung der Bohrungen eingemessen. Das Bohrgut wurde vor Ort durch den Geotechniker bodenmechanisch angesprochen, fotografiert und beprobt. Die Ansprache und Dokumentation des Bohrguts erfolgten nach DIN EN ISO 14 688-1. Die Kleinbohrungen sind in Anlage A-1 dokumentiert.

Die Rammsondierungen wurden nach DIN EN ISO 22 476-2 ausgeführt. Die Rammprogramme sind in Anlage A-2 dargestellt.

Alle Aufschlüsse wurden von der Sohle bis zur Geländeoberkante in den bindigen Abschnitten mit Quellton verfüllt.

7 Baugrundbeurteilung

7.1 Untergrundaufbau

Beschreibung der Aufschlüsse

BS-1D

Die Kleinbohrung BS-1D liegt am östlichen Rand des Dammes am Sportplatz im Abschnitt der geplanten Krone und wurde bis in eine Tiefe von 4,0 m unter GOK abgeteuft (s. Lageplan B-1). Bis in eine Tiefe von 0,50 m unter GOK wurde sandiger, kiesiger Schluff von steifer Konsistenz erbohrt. Darunter stehen bis zur Endteufe von 4,0 m unter GOK sandige, schwach schluffige Kiese der Illerterrasse an. Ab 2,0 m unter GOK ist der Kies nass.

BS-1W

Der Aufschluss BS-1W liegt am östlichen Rand des geplanten Dammbauwerks am Sportplatz im Dammvorland (Wiese) und wurde bis in eine Tiefe von 2,0 m abgeteuft (s. Lageplan B-1). Unter einer Grasnarbe (10 cm) stehen bis zur Endteufe von 2,0 m unter Gelände schwach schluffige, sandige Kiese an.

BS-2D und DPH-2D

Die Kleinbohrung BS-2D und die Rammsondierung DPH-2D liegen an Planungs-Station 0+100 an der geplanten Dammkrone und wurden in Tiefen bis 4,0 m (BS-2D) und 6,0 m (DPH-2D) abgeteuft (s. Lageplan B-1).

Bis in eine Tiefe von 3,60 m unter Gelände steht sandiger, schwach schluffiger Kies an. Bis zur Endteufe von 4,0 m unter Gelände ist der Kiessand nass.

Bis in 1 m Tiefe sind Schlagzahlen von $N_{10} = 1$ bis 10 Schläge aufgezeichnet. Dies deutet auf eine lockere Lagerungsdichte hin. Darunter wurden bis in eine Tiefe von 3,6 m Schlagzahlen $N_{10} = 10$ bis 24 notiert, was auf eine mitteldicht bis dichte Lagerung hinweist. Von 3,6 bis 6,0 m sind die Schlagzahlen mit 7 bis 11 geringer und der Kiessand ist als mitteldicht gelagert einzustufen.

BS-2W

Die BS-2W liegt an Station 0+100 im Dammvorland (Wiese) und wurde bis in eine Tiefe von 2,00 m unter GOK abgeteuft (s. Lageplan B-1). Unter der Grasnarbe (20 cm) stehen sandige, teils schwach schluffige Kiese bis zur Endteufe von 2,00 m unter Gelände an.

BS-3D

Die BS-3D liegt östlich vom geplanten Dammbalkenverschluss (s. Lageplan B-1). Oberflächennah steht bis 40 cm ein feinsandiger, kiesiger und humoser Schluff unter einer Grasnarbe in steifer Konsistenz an. Bis zur Endteufe von 3,0 m unter Gelände wurden schwach schluffige, sandige Kiese erbohrt. Ab 3,0 m war kein Bohrfortschritt mehr zu erzielen.

BS-4D und DPH-4D

Die BS-4D und die DPH-4D wurden westlich vom Dammbalkenverschluss niedergebracht (Lageplan B-1).

Unter dem 40 cm starken Wegeaufbau (Kiessand teilweise mit Ziegelbruch) folgt die 40 cm mächtige bindige Deckschicht (feinsandiger Schluff). Die Konsistenz des Materials wurde als steif bis halbfest angesprochen. Schlagzahlen zwischen 3 bis 9 der schweren Rammsonde bestätigen die Ansprache. Bis zur Endteufe von 3,0 m unter Gelände stehen schwach sandige, schwach schluffige Kiese an. Ab 3,0 m war kein Bohrfortschritt mehr zu erzielen.

Die Kiessande sind bis in eine Tiefe von 3,10 m unter Gelände mit Schlagzahlen zwischen 13 und 30 als dicht bis sehr dicht gelagert einzustufen. Darunter folgt bis 4,20 m unter GOK eine locker gelagerte Schicht (Schlagzahlen $N_{10} = 1-3$). Bis zur Endteufe bei 6,0 m steigen die Schlagzahlen wieder Werte zwischen $N_{10} = 6$ bis 25, was als eine mitteldicht bis dichte Lagerung zu bewerten ist.

BS-5D

Die Kleinbohrung BS-5D wurde bei Station 0+180 in der geplanten Dammachse abgeteuft (s. Lageplan B-1).

Oberflächennah wurde ein 50 cm mächtige Auffüllung aus schwach schluffigem, sandigem Kies erbohrt. Darunter steht bis zur Endteufe schwach schluffiger, sandiger Kies an. Bei 3 m ist das Bohrloch zugefallen. Ein freier Grundwasserspiegel konnte nicht eingemessen werden, jedoch lässt nasses Bohrgut ab 3,5 m Tiefe auf den Grundwasserspiegel schließen.

BS-5W

Die BS-5W wurde im Dammvorland (Wiese) bei Station 0+200 niedergebracht (s. Lageplan B-1).

Unter der Grasnarbe und einer 60 cm starken Auffüllung aus Ziegelbruch und Beton folgen feinsandige Schluffe in halbfester Konsistenz und schluffige, mittelsandige Feinsande bis in eine Tiefe von 1,00 m. Darunter stehen bis zur Endteufe von 2,0 m unter Gelände die schwach schluffigen, sandigen Kiese an.

Ein freier Grundwasserspiegel wurde nicht angetroffen.

BS-6D

Die BS-6D liegt an der Station 0+275 in geplante Dammachse (s. Lageplan B-1).

Bis in eine Tiefe von 0,75 m unter GOK wurde eine Auffüllung aus ziegelbruchhaltigem feinsandigem Schluff mit einer steifen Konsistenz erbohrt. Darunter folgt bis 1,2 m unter Gelände schwach kiesiger, toniger und stark sandiger Schluff in einer steifen Konsistenz.

Es folgt bis zur Endteufe der schwach schluffige, sandige Kies.

Bei 3 m ist das Bohrloch zugefallen. Ein freier Grundwasserspiegel konnte nicht eingemessen werden, jedoch lässt feucht bis nasses Bohrgut ab 3,5 m Tiefe auf den Grundwasserspiegel schließen.

BS-7D und DPH- 7D

Die Aufschlüsse BS-7D und DPH-7D wurden an der Kreuzung des Dammbauwerks mit der Illerstraße in Dammachse niedergebracht (s. Lageplan B-1).

Oberflächennah steht der Ackerboden (50 cm schwach kiesiger, feinsandiger Schluff in steifer Konsistenz) an. Es folgt eine 30 cm mächtige bindige Decksicht aus weich bis steifkonsistentem tonigem, stark feinsandigem Schluff. Bis zur Endteufe bei 4,0 m unter Gelände steht schwach schluffiger sandiger Kies an. Zwischen 0,8 bis 3,0 m unter Gelände ist der Kiessand locker bis mitteldicht gelagert ($N_{10}=1-11$ Schläge), darunter steigen die Schlagzahlen der schweren Rammsonde auf Werte zwischen $N_{10} = 11 - 31$ an und weisen auf eine mitteldichte bis dichte Lagerung.

BS-8D und DPH-8D

Die BS-8D und DPH-8D liegen an Station 0+370 in der geplanten Dammachse (s. Lageplan B-1).

Bis in eine Tiefe von 0,50 m unter GOK steht kiesiger, feinsandiger, schluffiger Ton (Ackerboden) an, der als halbfest angesprochen wurde. Darunter folgen bis in 1,4 m unter Gelände stark schluffige Sande in lockerer Lagerung ($N_{10}= 1-2$). Diese werden bis zur Endteufe bei 4,0 m unter GOK von schwach schluffigen, sandigen Kiesen in locker bis mitteldichter Lagerung unterlagert. Ab 5,8 m unter Gelände steigen die Schlagzahlen über 24 Schläge und weisen auf eine sehr dichte Lagerung hin.

Bei 2 m ist das Bohrloch zugefallen. Ein freier Grundwasserspiegel konnte nicht eingemessen werden, jedoch lässt nasses Bohrgut ab 3,5 m Tiefe hier auf den Grundwasserspiegel schließen.

BS-8W

Die BS-8W liegt bei Station 0+370 im Dammvorland (Wiese) (s. Lageplan B-1).

Die Ackerkrume weist eine Stärke von 50 cm auf (feinsandiger Schluff). Darunter folgt bis 0,85 m unter GOK stark schluffiger Feinsand. Bis zur Endteufe von 2,0 m unter GOK stehen sandige Kiese an.

BS-9D

Die BS-9D liegt in geplanter Dammachse bei Station 0+455 (s. Lageplan B-1).

Unter dem 75 cm starken Wegeaufbau schluffigen Sand-Kies-Gemischen folgt bis 1,35 m unter Gelände feinsandiger, toniger Schluff in weicher Konsistenz. Bis zur Endteufe von 4,0 m steht schwach schluffiger, sandiger Kies an.

Bei 3,2 m ist das Bohrloch zugefallen. Ein freier Grundwasserspiegel konnte nicht eingemessen werden, jedoch lässt nasses Bohrgut ab 3,2 m Tiefe auf den Grundwasserspiegel schließen.

BS-9W

Die BS-9W wurde im geplanten Dammvorland bei Station 0+455 abgeteuft (s. Lageplan B-2). Bis 1,0 m unter Gelände steht schwach toniger, stark feindsandiger Schluff (Ackerboden) mit einer steifen Konsistenz an. Darunter folgt eine 0,50 m starke weiche, feinsandige, tonige Schluffschicht. Bis zur Endteufe von 2,0 m wurde der schluffige, sandige Kies erbohrt.

7.2 Generalisierter Untergrundaufbau

Der Untergrundaufbau im Projektgebiet lässt sich wie folgt generalisieren:

- bereichsweise ca. 10-20 cm Oberboden
- Auffüllungen abschnittsweise bis 0,75 m
- bis 1,5 m Auensedimente (schluffige Feinsande und feinsandige Schluffe)
- darunter Kiessande (Kies, sandig, teilweise schwach schluffig) bis zur Endteufe bei 525,2 mNN in mitteldichter bis dichter Lagerung, z.T. sehr dicht
z.T. reichen die Kiessande bis unter die Auffüllungen bis zur Geländeoberfläche. In diesen Abschnitten fehlen die bindigen Auensedimente.

In die Querprofile B-2.1 bis 2.5 sind die entsprechenden Aufschlüsse eingetragen.

7.3 Bodenklassifikation

Um eine Bodenklassifikation nach DIN 18196 durchführen zu können, wurden an 9 gestörten Bodenproben die Kornverteilung und die Atterberg'schen Zustandsgrenzen ermittelt. Die Laborprotokolle sind als Anlage A-3 beigefügt. In Anlage A-4 sind die Laborergebnisse zusammengestellt.

Die Untersuchungen zeigen, dass die bindige Deckschicht (Auensedimente) den Bodengruppen UL / TL / TM nach DIN 18196 zuzuordnen ist. Die Wassergehalte wurden zwischen 11,5 und 25,9% bestimmt. Die Kalkgehaltsbestimmungen an zwei bindigen Deckschichtproben ergaben Werte von 17 und 18 %. Die hohen Werte sind auf die durch die Iller umgelagerte karbonatischen Ausgangsgesteine zurückzuführen.

Der Glühverlust der Bodenprobe BS-3D (Tiefe 0,0-0,4 m) beträgt 8 %. Die Bodenprobe ist als humos einzustufen.

Die nachfolgenden Körnungsbänder sind beispielhaft und ergeben sich aus den Ergebnissen der durchgeführten Laborversuche.

Nachfolgend ist das Körnungsband der bindigen Böden dargestellt.

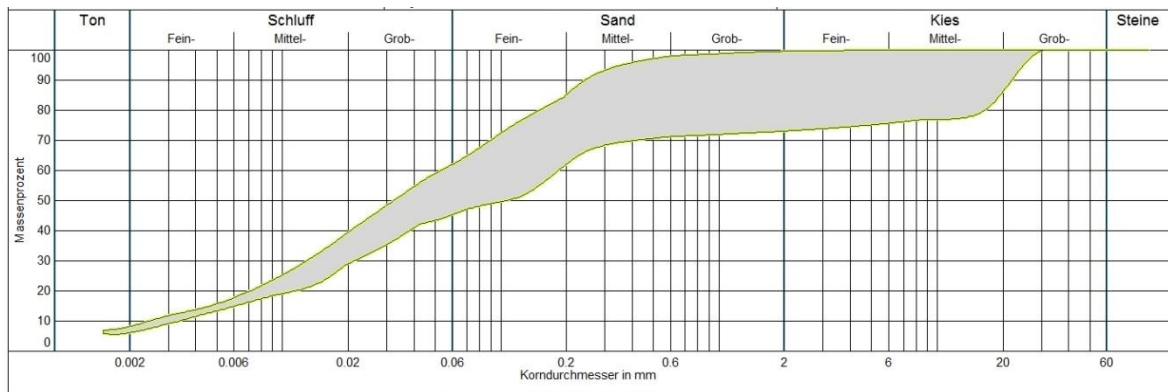


Abbildung 2: Körnungsband Auensedimente feinkörnig

Die teilweise angetroffenen Auensedimente sind den Sand-Schluff-Gemischen (SU*) mit einem Feinkornanteil zwischen 15 bis 40 % zuzuweisen (siehe Kornverteilung Abbildung 3).

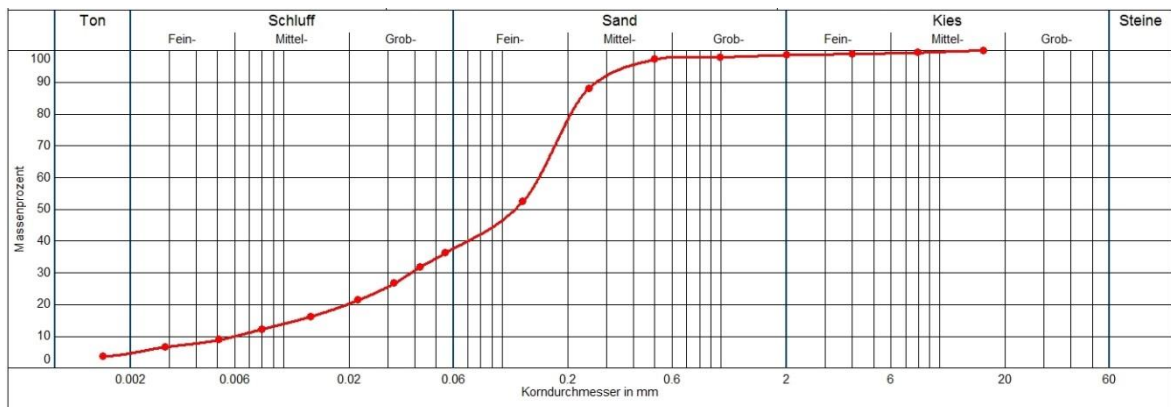


Abbildung 3: Kornverteilung Auensediment gemischtkörnig

Die erbohrten Kiessande bestehen aus sandigen Kiesen mit zum Teil schluffigen Beimengungen und sind den Bodengruppen GU / GI nach DIN 18196 zuzuordnen. Das Körnungsband der Böden ist in Abbildung 4 dargestellt.

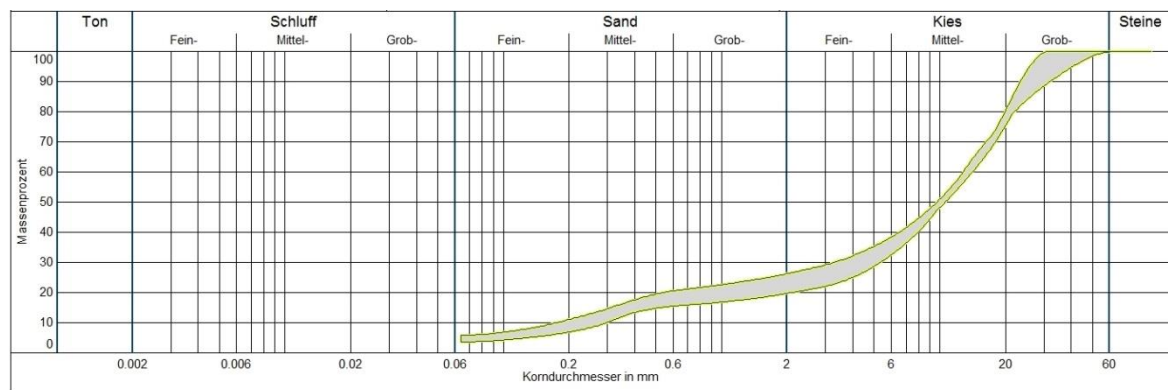


Abbildung 4: Körnungsband Kiessande, teilweise schwach schluffig

7.4 Bodenkennwerte

Die Bodenparameter der zu Homogenbereichen zusammengefassten Bodenschichten können der Tabelle 1 entnommen werden. Diese wurden aufgrund der geotechnischen Ansprache und der durchgeführten Laborversuche sowie teilweise durch Korrelation mit der Literatur ermittelt. Es handelt sich um charakteristische Werte, die mit den entsprechenden Teilsicherheitsbeiwerten des EC 7 / DIN 1054 abzumindern sind. Die Parameter können für statische bzw. erdstatische Nachweise herangezogen werden.

Tabelle 1: Bodenmechanische Kennwerte (charakteristische Werte)

Kennwert	Homogenbereich			
	1	2		3
	Auffüllungen	Auensedimente		Illerterrasse
	-	bindig	gemischtkörnig	körnig
Bodenart nach DIN 4022		U,t,s*,g' bis T,u,fs,g	S,u*	G,s bis G,s',u'
Bodengruppen DIN 18196	-	UL / TL / TM	SU*	GU / GI
Massenanteil Steine, Blöcke, große Blöcke [%]	n.b.	-	-	n.b.
Wassergehalte [%]	-	11 - 26	-	-
Plastizitätszahl I _p [%]	-	5,5 - 15	-	-
Konsistenzzahl I _c	-	0,6 - 1,5	-	-
Lagerungsdichte/ Konsistenz	-	weich bis steif vereinzelt halb- fest	locker bis mitteldicht	locker bis dicht
Organischer Anteil [%]	n.b.	0-8	-	-
Durchlässigkeitsbeiwert k _f [m/s]	-	10 ⁻⁷ bis 10 ⁻⁹	1,0 x 10 ⁻⁶	10 ⁻² bis 10 ⁻⁴
Feuchtwichte γ _k [kN/m ³]	17-22	20	20	18-20
Auftriebswichte γ _k ' [kN/m ³]	7-12	10	10	10-12
Reibungswinkel φ _k ' [°]	30 ¹⁾	25	30	30-35
Kohäsion c _k ' [kN/m ²]	-	0 (weich) 5 (mind. steif)	0	0
Undränierete Scherfestigkeit c _u [kN/m ²]	-	20-200	-	-
Steifemodul E _s [MN/m]	-	2-5	10	60

n.b. nicht bestimmt ¹⁾ Ersatzreibungswinkel

7.5 Auswertung der chemischen Analysen

7.5.1 Analyse der Schwarzdecke

Der Flößerweg ist mit einer ca. 2-3 cm starken Schwarzdecke befestigt. Es ist vorgesehen, dass das Dammbauwerk die Straße mittels Dammbalkenverschluss quert. An dieser Stelle wurde eine Schwarzdeckenprobe entnommen und auf Teerindikation (Gehalt an polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen PAK) analysiert (siehe Laborprotokoll Anlage A- 5).

Der ermittelte PAK-Gehalt von 1,8 mg/kg liegt deutlich unter der Grenze von 20 mg/kg PAK. Die Straßendecke enthält somit keine teerstämmigen Bestandteile. Der Aufbruch ist unter AVV 170302 „ Bitumengemische mit Ausnahme derjenigen, die unter 170301* fallen „ zu verwenden.

7.5.2 Analyse von Auffüllungs- und Bodenproben

Für die Einstufung der Wiederverwertbarkeit bzw. eine abfalltechnische Deklaration auf Grundlage der LAGA-Zuordnungswerte wurden aus dem Gesamtumfang der gestörten Proben folgende Mischproben zusammengestellt:

Tabelle 2: Probenliste zur Verwertungsanalytik

Mischprobe	verwendete Einzelproben	Art
MP-1	BS-4/D 0,00 – 0,40 m u. GOK BS-5/W 0,00 – 0,60 m u. GOK BS-6/D 0,40 – 0,75 m u. GOK	Auffüllung (Kalkschotter, Boden-Bauschutt-Gemische) Homogenbereich 1
MP-2	BS-7/D 0,00 – 0,50 m u. GOK BS-8/D 0,00 – 0,50 m u. GOK BS-8/W 0,00 – 0,50 m u. GOK BS-9/W 0,00 – 1,00 m u. GOK	U,fs,g' bis fS,u* Homogenbereich 2, bindig Ackerboden
MP-3	BS-1/D 0,00 - 0,50 m u. GOK BS-2/W 0,00 – 0,20 m u. GOK BS-3/D 0,00 – 0,40 m u. GOK	U,s,g Homogenbereich 2, bindig Ackerboden

Die Bewertung erfolgt nach Maßgabe der LAGA technischen Regelwerte „Anforderungen an die stoffliche Verwertung mineralische Reststoffe/ Abfälle“, hier:

- für den Bauschutt die LAGA in der Ausgabe 6. November 2003
- für den Boden in der LAGA M20 TR Boden vom 31. August 2004

Mischprobe 1, Auffüllungen

Die Mischprobe 1 umfasst Auffüllungen und technische Schichten in Form von Kalkschottern (Wegeschotterung) und Bauschutt in Form von Ziegel-haltigen Boden-Bauschutt-Gemischen. Die Mischprobe MP-1 hält die Zuordnungswerte Z0 ein.

Das Material kann unter dem Abfallschlüssel AVV 170107 „Gemische aus Beton, Ziegeln, Fliesen und Keramik mit Ausnahme derjenigen, die unter 170106 fallen“ nach Z0-Einstufung verwertet werden.

Mischproben 2 und 3, Ackerböden

Die Mischproben wurden aus den bindigen Hochflutablagerungen entnommen. Es handelt sich um ackerbauliche genutzte Flächen.

Maßgebend für die Deklaration ist der Gesamtgehalt an organischer Substanz. Die Böden liegen in folgender Qualität vor (Gesamteinstufung):

Tabelle 3: LAGA-Deklaration der Ackerboden-Proben

Probe	Art	LAGA-Deklaration	
		ohne TOC	mit TOC
MP-2	Ackerboden	Z0	Z1 (TOC 1,3 mg/kg)
MP-3	Ackerboden	Z0	Z2 (TOC 1,7 mg/kg)

Die organischen Schadstoffparameter sind unauffällig. Der Gesamtgehalt an organischer Substanz (TOC) wird durch die im Boden vorhandene tierische und pflanzliche Substanz (Mikro-Zoobenthos, Pflanzenwurzeln, Humus) verursacht. Es handelt sich um Oberboden-ähnliche Substrate.

Tabelle 4: Prüfung nach Vorsorgewerten der BBodSchV

Probe	Vorsorgewert (mg/kg TM)	MP-2	MP-3
Vorsorgewerte für Metalle, Bodenart Lehm/ Schluff			
Cadmium	1	0,3	0,2
Blei	70	15	11
Chrom	60	22	13
Kupfer	40	17	13
Quecksilber	0,5	0,08	<0,07
Nickel	50	24	16
Zink	150	53	45

Probe	Vorsorgewert (mg/kg TM)	MP-2	MP-3
Vorsorgewerte für organische Stoffe, Humusgehalt < 8%			
PCB6	0,05	nicht bestimmbar	nicht bestimmbar
Benzo(a)pyren	0,3	<0,05	<0,05
PAK16	3	0,26	nicht bestimmbar

Die Vorsorgewerte nach Bundes-Bodenschutzverordnung für eine Wiederverwendung in durchwurzelbaren Bodenschichten werden eingehalten. Gegen eine Wiederverwertung vor Ort in einer Oberboden-Position bestehen keine Bedenken.

Soweit eine externe Verwertung erforderlich ist, ist das Material unter dem AVV-Schlüssel 170504 „Boden und Steine mit Ausnahme derjenigen, die unter 17 05 03 fallen“ zu verwerten. Die Verwertung ist auf die erhöhten TOC-Gehalte auszurichten. Da eine organoleptische Trennung unterschiedlicher TOC-Gehalte nicht möglich ist, sollte im Fall der externen Verwertung die Verwertung unter Hinweis auf den TOC-Befund nach den LAGA Z2-Verwertungs-vorgaben erfolgen.

8 Gründungsberatung

8.1 Dammbau

Die Dammgeometrie ergibt sich aus der Nutzung der Krone, der Standsicherheit der Böschungen, der geohydraulischen Anforderungen an den Untergrund sowie den vorhandenen Platzverhältnissen. Das Dammbauwerk ist nach DIN 19712 (Flussdeiche) zu bemessen.

Der Entwurf [1] sieht ein homogenes Dammbauwerk mit einer eine Kronenbreite von 3 m (Breite Weg 2,5 m und Bankette jeweils 0,25 m) vor. Der Weg soll unbefestigt ausgeführt werden.

Die Dammverteidigung erfolgt direkt vom Hinterland. Die vorhandenen Wege ermöglichen den Zugang zum Damm auch im Hochwasserfall.

Die Dammkrone entwässert mit einer Neigung von 2 % in Richtung Wasserseite.

Für den Bau der homogenen Dämme ist ein geeigneter Erdstoff mit einer geringen Wasserdurchlässigkeit und einer hohen Einbaudichte einzusetzen. Es kommen nur bindige d.h. kohäsive Böden der Bodengruppen UL, UM, TL, TM nach DIN 18916 in Frage. Bindige Böden haben mitunter geringe Scherfestigkeiten, so dass sich aus erdstatischen Gründen in der Regel flache Böschungsneigungen von 1:3 empfehlen.

Bei homogenen Dämmen ist luftseitig ein filterfester Dränkörper zum drucklosen Abbau des Sickerwassers vorzusehen.

Standsicherheitsberechnungen

In der Anlage A-6 wurden Standsicherheitsberechnungen für das Dammbauwerk an Station 0+175 (Plan B-2.3) mit der größten Einstau- und Dammhöhe durchgeführt. Ergänzend wurde das Querprofil bei 0+270 untersucht. Die Kubatur und die Wasserstände wurden von Station 0+175 übertragen, jedoch wurde eine Deckschicht unter dem Bauwerk mit einer Mächtigkeit von 1,2 m (BS-6/D) berücksichtigt.

In der nachfolgenden Tabelle sind die gewählten Bodenkennwerte für die Dammschüttung und den Filter zusammengestellt.

Tabelle 5: Bodenkennwerte Dammbaumaterialien

Boden	Feuchtwichte/ Auftriebswichte γ_k / γ_k' [kN/m ³]	Reibungswinkel φ_k' [°]	Kohäsion c_k' [kN/m ²]	Durchlässigkeits- beiwert k_f [m/s]
Damm	20 / 10	20	5	$\leq 10^{-7}$
Filter	18 / 10	32,5	0	10^{-4}

Den Standsicherheitsberechnungen werden folgende Wasserstände zugrunde gelegt:

- Hochwasser HQ₁₀₀ 530,75 mNN
- Kronenstau 531,25 mNN

Die zu untersuchenden Bemessungssituationen werden nach DIN 19712 wie folgt festgelegt:

Bemessungssituation BS-P1:

- Eigenlast
- Verkehrslast auf der Krone $p = 10 \text{ kN/m}^2$
- wasserseitig: Hochwasser HQ₁₀₀
- landseitig: Wasserstand auf GOK

Bemessungssituation BS-P2:

- Eigenlast
- Verkehrslast auf der Krone $p = 10 \text{ kN/m}^2$
- wasserseitig : schnell abfließendes Hochwasser von HQ₁₀₀ auf $1/3 \text{ HQ}_{100}$
- Wasserstand landseitig auf GOK

Bemessungssituation BS-A1:

- Eigenlast
- Verkehrslast auf der Krone $p = 10 \text{ kN/m}^2$
- wasserseitig: Einstau bis zur Krone
- landseitig: Wasserstand auf GOK

Bemessungssituation BS-A2:

- Eigenlast
- Verkehrslast auf der Krone $p = 10 \text{ kN/m}^2$
- wasserseitig: Hochwasser HQ₁₀₀
- landseitig: Wasserstand auf GOK
- Teilausfall Fußfilter von $k_f = 10^{-4} \text{ m/s}$ auf 10^{-6} m/s

Die stationären Sickerlinien im Damm für die entsprechenden Einstauhöhen wurden mit Hilfe des Programmsystems SS-FLOW-2D (Version 10.09) der Firma GGU auf der Grundlage der Potentialtheorie ermittelt (siehe Anlage A-6). Das Programm berechnet nach Vorgabe der Geometrie und Randbedingungen an den Modellrändern die Sickerlinie im Damm und die Potentialdruckverteilung im Damm und Untergrund.

Die Böschungsbruchberechnungen (globale Standsicherheit) wurden auf Grundlage der DIN 4084 mit Hilfe des Programms STABILITY (Version 11.12) der Firma GGU durchgeführt. Für die Berechnungen wurde das in der FE-Berechnung ermittelte Strom- und Potentialliniennetz

mit Sickerlinie übernommen. Es wurden stationäre Strömungsverhältnisse im Damm vorausgesetzt. Es wird das Gleitkreisverfahren nach Bishop angewendet.

Es wurden die erforderlichen Nachweise entsprechend DIN 19712 geführt:

- Nachweis gegen globalen Böschungsbruch
- Nachweis gegen Aufschwimmen einer Bodenschicht
- Nachweis hydraulischer Grundbruch
- Sicherheit gegen Materialtransport
- Nachweis der Spreizschubspannungen
- Sicherheit gegen Abschieben
- Setzungsberechnungen

Ergebnisse der erdstatischen Berechnungen

Die Sickerlinie tritt in keiner Bemessungssituation aus der luftseitigen Böschung aus (Anlage A-6, Seiten 2 bis 7).

Die Gefahr des globalen Böschungsbruchs besteht nicht (Anlage A-6, Seiten 9 bis 16). Der größte Ausnutzungsgrad wurde im Querprofil 0+270 in der Bemessungssituation BS-P1 (Hochwasser HQ₁₀₀) mit $\mu = 0,87 < 1,0$ ermittelt. Die lokale Standsicherheit ist gegeben.

Die Gefahr des Aufschwimmens der bindigen Deckschicht am luftseitigen Böschungsfuß (QP 0+270) ist nicht gegeben. Hydraulischer Grundbruch im Querprofil 0+175 (fehlende Deckschicht) ist ebenfalls nicht zu erwarten.

Die Sicherheit gegen Materialtransport ist bei Vorliegen der Eignungsprüfungen der vorgesehenen Dammbaumaterialien zu prüfen. Bei einem bindigen Material mit einem Korndurchmesser $d_{10} \leq 0,002$ mm sind Suffosions- und Erosionsvorgänge auszuschließen. Sollte dies nicht erreicht werden, sind Filtervliese zwischen den nicht filterstabilen Materialien einzubauen.

Die Gefahr von Fugenerosion unter dem Dammbauwerk besteht nicht (siehe Anlage A-6 Seite 20).

Der Nachweis der Spreizsicherheit am luftseitigen Böschungsfuß ist erfüllt.

Die Gefahr des Abschiebens im Hochwasserfall besteht nicht.

Die durchgeführten Setzungsberechnungen ergaben eine erforderliche Überhöhung der Dammbauwerke von 5 cm.

Bauhinweise

Im Vorfeld der Bauausführung sind von den Liefermaterialien Eignungsuntersuchungen zu fordern und zu prüfen. Ggf. sind die Standsicherheitsnachweise zu überarbeiten bzw. zu ergänzen (u.a. Materialtransport, Filterfestigkeit).

Die Standsicherheit ist für die gewählte Kubatur und bindiges Dammbaumaterial gegeben. Das Material ist mit mindestens 97% Proctordichte einzubauen, um die gewählten Scherparameter zu gewährleisten. Es ist eine Plastizitätszahl $I_p \geq 10 \%$ zu fordern.

Sollte gemischtkörniges Material z.B. Lieferboden der Bodengruppe SU* als Dammbaustoff eingebaut werden, so sind die Nachweise gegen Materialtransport entsprechend der Kornverteilungen zu führen. Der Durchlässigkeitsbeiwert sowie die effektive Kohäsion unter Wasser sind zu prüfen.

Die geringe Systemdurchlässigkeit von 10^{-7} m/s für das Dammbaumaterial führt zu einer geringen Sickerwassermenge unter Berücksichtigung von stationären Verhältnissen. Im Bauvertrag empfehlen wir, dass der AN im Rahmen der Eignungsprüfung Durchlässigkeitsbeiwerte $k_f \leq 10^{-8}$ m/s für das Dammbaumaterial nachweist.

Der körnige Sickerfuß führt anfallendes Sickerwasser drucklos ab. Am Böschungsfuß sollte eine Mulde angeordnet werden, um das Wasser abzuleiten.

Vor Schütten des Damms ist der Mutterboden abzutragen und auf Mieten zwischenzulagern. Weiche bis breiige Schichten sowie Hindernisse (Baumstümpfe, Wurzeln oder ähnliches) müssen entfernt und durch ausreichend trockenes bindiges Material ersetzt werden. Die die Dammtrasse querenden Wege sind zur Vermeidung von Kurzschlüssen zurückzubauen und ein Bodenaustausch aus bindigem Dammbaumaterial durchzuführen. Das Dammlager ist vor Schütten der ersten Lage durch 6 Übergänge mit der mittelschweren Walze nachzuverdichten (bei bindigen Böden Einsatz einer Schafffußwalze). Auf dem Planum sollten Lastplattendruckversuche Wiederbelastungsmodul $E_{v2} \geq 20$ MN/m² bei einem Verhältniswert von $< 2,5$ bzw. 97% Proctordichte erreicht werden.

Der Dammbau erfolgt lagenweise mit den vorgesehenen Böden. Es dürften lagen - vorbehaltliche eines Probebaus – von ca. 30-40 cm realisierbar sein. Die Lagen sollten zur Vorflut hin mit ca. 6 % geneigt sein, damit im Niederschlagsfall ein Abfließen des auftreffenden Oberflächenwassers gewährleistet ist. Die Einzellagen sollten arbeitstäglich glatt abgewalzt werden. Es ist ein Verdichtungsgrad von mind. 97% Proctordichte einzuhalten. Dazu sind vorbehaltliche eines Probebaus, ca. 6 Übergänge mit der mittelschweren Walze durchzuführen. Um Schrumpfrisse zu vermeiden, sollte das bindige Material auf dem trockenen Ast der Proctorkurve eingebaut werden. Vor Einbau neuer Lagen ist die Oberfläche zur besseren Verzahnung ggf. Aufzurauen.

Die Errichtung des Dammbauwerks erfolgt mit Überprofil. Das Sollprofil ist jeweils durch Abschälen herzustellen. Vor dem Mutterbodenauftrag sollte mit einer leichten Grabenwalze (Schafffußwalze) die Oberfläche nachverdichtet und aufgeraut werden, so dass der Mutterboden in der vorgesehenen Lagenstärke ca. 15-20 cm aufgebracht werden kann. Insbesondere bei der luftseitigen Böschung ist auf ein sorgfältiges Arbeiten zu achten. Es ist auf eine rasche Begrünung mit einer geeigneten Rasensaatmischung zu achten, um Oberflächenerosion und somit Ausbesserungsarbeiten zu vermeiden.

8.2 Gabionenwand

Entlang dem Flößerweg wird die luftseitige Dammböschung durch eine Gabionenwand ersetzt, um die Flächeninanspruchnahme auf dem Sportgelände zu minimieren. Die Abmessungen der Gabionenwand sind dem Plan B-2.2 entnommen.

Stand sicherheitsberechnungen

Es werden die folgenden Bemessungssituationen in Anlehnung an die DIN 19712 festgelegt:

Bemessungssituation BS-P1:

- Eigenlast
- Verkehrslast auf der Krone $p = 5 \text{ kN/m}^2$ (unbefestigte Krone)
- wasserseitig: Hochwasser HQ_{100}
- Wasserstand zwischen Gabionenwand und Dammbaumaterial +0,2 m über GOK Landseite
- landseitig: Wasserstand auf GOK

Bemessungssituation BS-P2 (nur Böschungsbruch)

- Eigenlast
- Verkehrslast auf der Krone $p = 5 \text{ kN/m}^2$
- wasserseitig : schnell abfließendes Hochwasser von HQ_{100} auf $1/3 HQ_{100}$
- Wasserstand landseitig auf GOK

Bemessungssituation BS-A1:

- Eigenlast
- Verkehrslast auf der Krone $p = 5 \text{ kN/m}^2$
- wasserseitig: Einstau bis zur Krone
- Wasserstand zwischen Gabionenwand und Dammbaumaterial +0,5 m über GOK Landseite
- landseitig: Wasserstand auf GOK

In Abbildung 5 sind die Wasserstandsverhältnisse exemplarisch für die Bemessungssituation BS-A1 dargestellt.

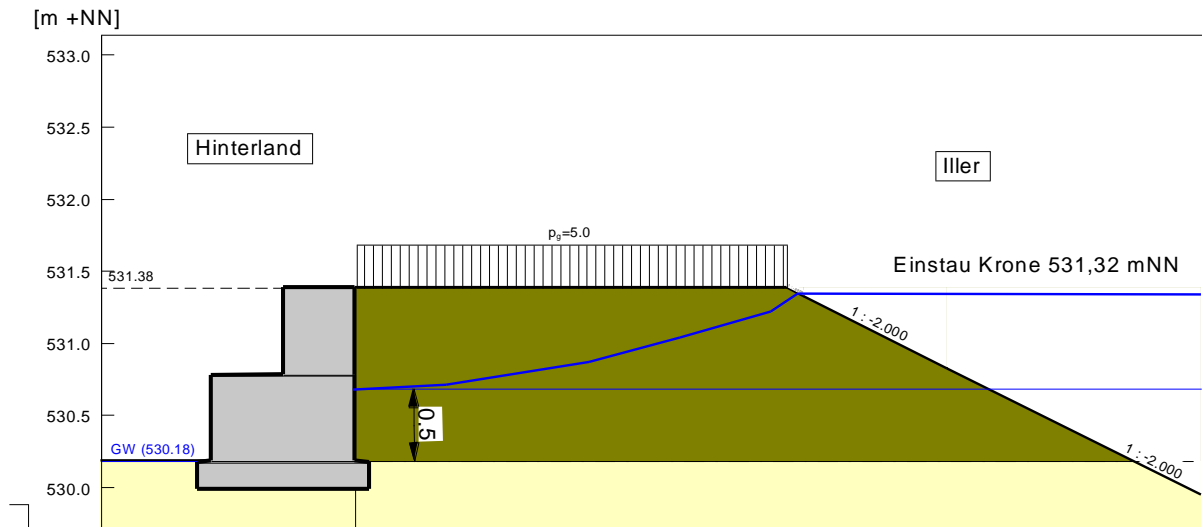


Abbildung 5: Wasserstandsverhältnisse BS-A1

Die Standsicherheitsnachweise sowie die Gebrauchstauglichkeit der Gabionenwand (Kippen, Gleiten, Grundbruch, Setzungen) wurden mit Hilfe des Programms GABION (Version 6.16) der Fa. GGU nachgewiesen.

Die Wichte der Gabionenfüllung wird mit $\gamma = 16 \text{ kN/m}^3$ angenommen. Das Gewicht ist über zu wiegende Probegabionen nachzuweisen.

Die Berechnungen sind als Anlage A-7.1 beigelegt. In der nachfolgenden Tabelle sind die Ergebnisse zusammengestellt:

Tabelle 6: Äußere Standsicherheit der Gabionenwand

Bemessungssituation	Kippen $e < b/6$	Gleiten	Gleichgewicht EQU	Grundbruch	Setzungen s [cm]
BS-P1	0,041 < 0,2	0,64 < 1,0	0,41 < 1,0	0,37 < 1,0	0,16
BS-A1	0,014 < 0,2	0,66 < 1,0	0,36 < 1,0	0,31 < 1,0	0,14

Die innere Standsicherheit der Gabionenkonstruktion wird in Anlehnung an den EC2 /DIN 1045-1 für unbewehrten Beton in allen maßgebenden horizontalen Schnitten geführt.

In den Berechnungen wird der äquivalente Bemessungswert der Betondruckfestigkeit zu $f_{cd} = 150 \text{ kN/m}^2$ angenommen und ist durch Belastungsversuche der Gabionenhersteller nachzuweisen.

Die globale Böschungsstandsicherheit wird mittels Gleitkreisberechnungen auf Grundlage der DIN 4084 mit dem Programm STABILITY nachgewiesen (Anlage A-7.2). Im Vergleich zu den

Dammabschnitten ohne Gabionen wurde eine luftseitige Böschungsneigung von 1:2 in den Berechnungen berücksichtigt.

Die Ergebnisse sind nachfolgend zusammengestellt:

Tabelle 7: Ergebnisse der globalen Böschungsbruchberechnungen

Bemessungssituation	Ausnutzungsgrad $\mu \leq 1,0$	
	Luftseite	Wasserseite
BS-P1	0,83 < 1,0	-
BS-P2	-	0,87 < 1,0
BS-A1	0,87 < 1,0	-

Der Nachweis gegen hydraulischen Grundbruch ist ebenfalls erfüllt (siehe Anlage A-7.3).

Nachfolgend wird der Nachweis gegen Fugenerosion unter dem Bauwerk geführt.

$$\Delta H = 530,82 \text{ mNHN} - 530,18 \text{ mNHN} = 0,64 \text{ m}$$

Wasserstands Differenz

$$\Delta L = 8 \text{ m}$$

Sickerweg unter Damm und Gabione

$$i_{\text{vorh}} = \Delta H / \Delta L = 0,64 / 8 = 0,08$$

$$i_{\text{zul}} = 0,2 \text{ (Kiessand) nach Chugaev}$$

$$\gamma_{\text{hyd}} = 2,0 \text{ (Teilsicherheitsbeiwert Suffosion)}$$

Nachweis:

$$\mu = (\gamma_{\text{hyd}} \times i_{\text{vorh}}) / i_{\text{zul}} = (2 \times 0,08) / 0,2 = 0,8 < 1,0 \text{ Nachweis erfüllt!}$$

Die Gefahr von Fugenerosion besteht nicht.

Bauhinweise

Die Gabionen sind auf ein Betonfundament zu setzen, um unterschiedliche Setzungen und Verkantungen auszuschließen. Die Gründung ist frostsicher bis in eine Tiefe von 80 cm auszuführen. Da Aushubplanum ist ausreichend nachzuverdichten. Es ist ein E_{v2} -Wert von mindestens 45 MN/m² nachzuweisen.

Weiche und breiige Sedimente sind gegen Magerbeton auszutauschen.

Die erdberührten Flächen der Gabione sollten mit einem Filtervlies ausgekleidet werden, um einen Feinkorneintrag in die Gabione zu vermeiden.

8.3 Dammbalkenverschluss

Der Flößerweg wird mittels mobilen Dammbalkenverschlüssen gequert. In Plan B-2.5 sind Bauwerk und Untergrund dargestellt.

Gründung

Das Bauwerk ist frostsicher in mindestens 80 cm Tiefe zu gründen. Entsprechend dem Schnitt durch das Bauwerk befindet sich die Gründungsebene in den Kiessanden der Illerterrasse, welche sich für eine Gründung anbieten. Sollten bindige Partien angetroffen werden, so sind diese gegen körniges Material auszutauschen. Das Planum ist nach dem Aushub nachzuverdichten.

Die Standsicherheit des Bauwerks (u. a. Kippen, Gleiten, Grundbruch) unter Berücksichtigung des Wasserdrucks ist noch nachzuweisen.

Unter den gegebenen Abmessungen sind die Nachweise gegen hydraulischen Grundbruch/Aufschwimmen erfüllt (siehe Anlage A-8).

Die Massivbauwände zum Dammbauwerk sind schräg auszuführen, um Sickerwege bei Setzungen zu vermeiden. Je nach Dammbaumaterial kann ein Einstreuen von Bentonit sinnvoll sein.

Baugrube

Die Baugrube kann bis in eine Tiefe von 1,25 m senkrecht ohne weitere Stützung ausgeführt werden. Bei tieferem Aushub ist die Baugrube unter 45° entsprechend den Anforderungen der DIN 4124 auszuführen.

Wasserhaltung

Unter Mittelwasserbedingungen der Iller steht das Grundwasser noch ca. 1,5 m unter der Baugrubensohle. Es sollte nur eine Wasserhaltung für anfallendes Tag- und Oberflächenwasser vorgehalten werden.

Verfüllung

Die Verfüllung der Baugrube nach Errichtung und ausreichender Abbindezeit des Stahlbetonbalkens sollte mit gemischtkörnigen Böden zumindest im Bereich der Deckschichten erfolgen, um Wasserwegsamkeiten zu vermeiden. Die Durchlässigkeit sollte ausreichend klein gewählt werden (z.B. Bodengruppe GU/ GU*). Die Verfüllung ist auf das Konzept der Bauwerksabdichtung und des Wegeaufbaus abzustellen. Das Material ist lagenweise einzubringen und ausreichend z.B. mit sechs Übergängen zu verdichten. Eine Verdichtung von ca. 100 % Proctordichte ist anzustreben.

9 Sonstige Hinweise

Im unbefestigten Gelände ist bei Nässe von einer nur mäßigen Befahrbarkeit auszugehen. Zur Sicherstellung einer dauerhaften Befahrbarkeit des Geländes (auch mit Radfahrzeugen) sind ggf. abschnittsweise Baustraßen erforderlich.

Erforderlicher Bodenabtrag und die Art und Weise von Bodenaustauschmaßnahmen sind vor Ort durch einen geotechnischen Sachverständigen festzulegen.

Die Aushub- und Gründungsarbeiten sowie der Dammbau sollten geotechnisch überwacht und abgenommen werden. Die Aufstellung einer Qualitätssicherungsplanes für den Erdbau wird empfohlen, ebenso der Einsatz einer geotechnischen Fachbauüberwachung.

Sachbearbeiter:
Dipl.-Ing. J. Franzmann
Dipl.-Ing. C. Hartmann

Augsburg, im Juni 2017
Björnsen Beratende Ingenieure GmbH
Niederlassung Augsburg

Dr.-Ing. A. Schmitt