

LINIE U6, SANIERUNG DER DAMMSTRECKE ZWISCHEN BHF BORSIGWERKE UND BHF KURT-SCHUMACHER- PLATZ

Geotechnischer Entwurfsbericht Revision 01

24.05.2019

DE0117.000363.0121//rae

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Hans-Martin Raeker

T +49 162 3315 392

E hansmartin.raeker@arcadis.com

Auftraggeber

Berliner Verkehrsbetriebe (BVG)

Holzmarkstraße 15-17

IPLZ 15100

VBI – BA3

Inhalt

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | Allgemeines | 3 |
| 1.1 | Veranlassung | 3 |
| 1.2 | Bauvorhaben | 3 |
| 1.2.1 | Ist-Zustand des Streckenabschnitts | 3 |
| 1.2.2 | Geplante Sanierungsmaßnahme | 4 |
| 1.3 | Unterlagen | 5 |
| 2 | Baugrund | 6 |
| 2.1 | Baugrundverhältnisse | 6 |
| 2.2 | Bodenmechanische Kennwerte | 7 |
| 2.3 | Homogenbereiche | 8 |
| 2.4 | Standsicherheit Ist-Zustand | 9 |
| 3 | Sanierungs- / Gründungsvarianten | 10 |
| 3.1 | Vorgaben | 10 |
| 3.2 | Technisch mögliche Sanierungsverfahren für die Dammstrecke | 10 |
| 3.2.1 | Dammverbreiterung in Verbindung mit Stützwänden | 10 |
| 3.2.2 | Injektionen und Stahlträger | 10 |
| 3.2.3 | Stahlträger und Nagelwände | 11 |
| 3.2.4 | Tiefenverdichtungen und Faschinen | 11 |
| 3.2.5 | Tiefenverbesserung und Faschinen | 12 |
| 3.2.6 | Neuschüttung des Bahndammes in den Böschungsbereichen | 12 |
| 3.3 | Herstellung eines abzusichernden Tragbereiches für den Oberbau | 13 |
| 4 | Empfehlungen für die Sanierung | 13 |
| 4.1 | Variante 1: Stützwand mit Regelböschung | 13 |
| 4.2 | Variante 2: Injektionen und Faschinen | 14 |
| 4.3 | Variante 3: Stahlträger und Faschinen | 15 |
| 4.4 | Variante 4: Bohlträger mit Ausfachung | 17 |
| 4.5 | Zusammenfassende Bewertung der Varianten | 18 |
| 5 | Hinweise für die Bauausführung | 19 |

1 Allgemeines

1.1 Veranlassung

Der Berliner Verkehrsbetriebe BVG plant die Sanierung der U-Bahnlinie U6 vom Tunnelportal des Bahnhofs Kurt-Schumacher-Platz bis zum Bahnhof Borsigwerke.

Die Arcadis Germany GmbH (Arcadis) wurde von den Berliner Verkehrsbetrieben (BVG) mit Planvertrag vom 10.04.2017 mit Generalplanungsleistungen für das o. g. Bauvorhaben beauftragt. Hierzu gehören die Objektplanung Ingenieurbauwerke (§§41 ff. HOAI), die Objektplanung Verkehrsanlagen (§§45 ff. HOAI) und die Tragwerksplanung (§§ 49 ff, HOAI).

Zum Abschluss der 1. Beauftragungsstufe (Leistungsphasen 1 bis 3, Tragwerksplanung) ist u. a. ein Geotechnischer Entwurfsbericht gemäß DIN EN 1997-1 zu erstellen. Der Geotechnische Entwurfsbericht enthält die Empfehlungen zur Gründung mit einer detaillierten Beschreibung einer Vorzugsvariante sowie alternative Gründungsvarianten, insbesondere unter Berücksichtigung von wirtschaftlichen Aspekten und möglichen Kostenrisiken. Dabei basiert der Bericht im Wesentlichen auf den seitens des Auftraggebers vorgegebenen Randbedingungen, dem bereits erstellten Geotechnischen Bericht gemäß DIN 4020 sowie den in den Ergebnissen der Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise.

1.2 Bauvorhaben

1.2.1 Ist-Zustand des Streckenabschnitts

Bei dem zweigleisigen Ausbau des Streckenabschnitts zwischen Kurt-Schumacher-Platz bis Borsigwerke der Linie U6 handelt es sich um einen Nachkriegsneubau. Für die Realisierung eines kreuzungsfreien Verkehrsweges wurde aus Kostengründen einer Dammstrecke gegenüber einem Tunnel der Vorzug gegeben. Dementsprechend wurde Mitte der 1950er-Jahre nördlich des Kurt-Schumacher-Platzes die U-Bahnstrecke in Dammlage ausgebaut. Für die kreuzenden Straßen wurden zeitgleich U-Bahnüberführungen in Form von Brückenbauwerken errichtet. Die U-Bahnstrecke wurde im betrachteten Streckenabschnitt 2-gleisig angelegt.

Ende der 1990er-Jahre erfolgten die ersten Sanierungsmaßnahmen. Hierbei wurden in Teilabschnitten zur Stabilisierung des Dammkörpers Stützwände im Bereich der Dammfüße errichtet. Bei den Stützwänden handelt es sich einerseits um Trägerbohlwände von ca. 1,6 m Höhe mit einer Ausfachung aus Stahlbetonfertigteilen und andererseits um Winkelstützmauern aus Stahlbeton von bis zu ca. 1,0 m Höhe. In einem kurzen Abschnitt sind im Bereich der Dammschulter Böschungssicherungen in Form von Trägerbohlwänden sowie massiver Betonfundamentreste vorhanden.

Die Strecke der Linie U6 verlässt an der Nordseite den Tunnel am Kurt-Schumacher-Platz und wechselt in Dammlage. Der Damm hat eine Höhe von bis zu rd. 7 m über Gelände. Vor dem Bahnhof Borsigwerke nimmt die Dammhöhe kontinuierlich ab, da die Linie U6 dann im Weiteren unterirdisch im Tunnel verläuft. Der Damm wird im betrachteten Abschnitt von 8 Brückenbauwerke für Straßenquerungen unterbrochen. Des Weiteren sind 3 Bahnhöfe (Holzhauser Straße Hh, Otisstraße OTI und Scharnweberstraße Scha) vorhanden, die jeweils über Mittelbahnsteige verfügen. Der Streckenabschnitt kann folgendermaßen eingeteilt werden:

| | |
|---------------------------------------|------------|
| - Gesamtlänge des Streckenabschnittes | ca. 3,6 km |
| - Dammstrecke | ca. 1,8 km |
| - Rampen (Übergangsbereich Tunnel) | ca. 1,0 km |
| - 8 Brücken | ca. 0,4 km |
| - 3 Bahnhöfe (Hh, OTI, Scha) | ca. 0,4 km |

Angaben zur Gründung und Herstellung des Dammes in Form von Revisionsplänen etc. sind nicht bekannt. Es wird nach derzeitigem Stand davon ausgegangen, dass der Damm ohne besondere Gründungsmaßnahmen nach Abtrag der ursprünglichen Oberbodenschicht geschüttet wurde.

In wieweit die gemäß Kampfmittelbescheid [D 6] bekannten und möglicherweise auch unbekanntem Bombentrichter aus dem 2. Weltkrieg z. B. mit Trümmerschutt etc. verfüllt wurden bzw. noch Blindgänger vorhanden sind, kann nicht abgeschätzt werden. Weiterhin enthalten die Pläne des Kampfmittelbescheides Altbebauungen, Erdbunker und Trümmerfelder. Es wird davon ausgegangen, dass vor der Herstellung der Dammschüttung die Altbebauungen vollständig zurückgebaut wurden.

Die Böschungen sind im gesamten Streckenabschnitt mit Bäumen und Sträuchern bewachsen, wobei die Höhe des Bewuchses variiert. Bereichsweise wurden auch Bäume angetroffen, die einen starken Sichelwuchs zeigen. Der Sichelwuchs von Bäumen ist dabei ein sichtbarer Indikator, dass eine Dammböschung über Jahre hinweg in Bewegung ist und kontinuierlich abrutscht. Ebenfalls sind an verschiedenen Böschungsbereichen lokale Erosionsschäden erkennbar.

An den Dammschultern sind beidseitig der Strecke Kabelkanäle angeordnet, die begehrbar sind und gleichzeitig als Bahnseitenweg dienen. Die Kabelkanäle sind bereichsweise aufgeständert, da das vorhandene Lichtraumprofil kleiner als das Regellichtraumprofil ist. Sowohl im Bereich der aufgeständerten Abschnitte des Kabelkanals als auch im Bereich der flach gegründeten Kabelkanäle sind beidseitig auf gesamter Streckenlänge örtliche Verformungen/Verkippen der Kabelkanäle nach außen sichtbar. Im Zusammenhang mit den teilweise großen Verformungen an den ebenfalls beidseitig der Strecke bereits eingebauten Schottersicherungen sind diese Verformungen auf ein stetiges Auseinanderdrücken des Dammes infolge U-Bahnverkehr zurückzuführen.

Im Hinblick auf den oben beschriebenen Ist-Zustand der Dammstrecke ist davon auszugehen, dass die nach den derzeitigen gültigen Normen zu erbringende Standsicherheitsnachweise für den vorhandenen Damm nicht erbracht werden können.

1.2.2 Geplante Sanierungsmaßnahme

Nach den vorliegenden Planungsunterlagen [D 4] und Festlegungen des Auftraggebers sind die nachfolgend aufgeführten Sanierungsmaßnahmen vorgesehen:

- Erneuerung des Oberbaus (Schiene, Schwelle, Schotter)
- Einbau einer Schutzschicht (Tragschicht)
- Erneuerung der Stromschienen
- Erneuerung der LST-Anlagen
- Erneuerung der Kabelkanäle
- Erneuerung der Gleisbeschilderung
- Ertüchtigung des Dammbauwerkes in Hinblick auf die Standsicherheit nach gültiger Normung
- Ertüchtigung der Übergangsbereiche von Dammstrecke zu den Kunstbauwerken (Brücken)

Die Baumaßnahmen für die oben aufgeführten Sanierungsmaßnahmen sollen ausschließlich innerhalb der derzeitigen Grundstücksgrenzen ausgeführt werden. Ausgenommen hiervon sind Baustelleneinrichtungsflächen und temporäre Zufahrtsrampen.

1.3 Unterlagen

Für die Bearbeitung standen folgende Unterlagen zur Verfügung:

- [D 1] Deutsche Forschungsgesellschaft für Bodenmechanik (Degebo): Gutachten über die Lagerungsverhältnisse der geschütteten U-Bahn-Dämme im Bereich der geplanten Bahnhöfe Innungsstraße und Sportplatz, Stand 07.04.1956
- [D 2] Deutsche Forschungsgesellschaft für Bodenmechanik (Degebo): Gutachten über die Bodenverhältnisse im oberen Bereich des Bahndamms der U-Bahn Linie C zw. Holzhäuser Straße und Scharnweberstraße, Stand 19.12.1983
- [D 3] IFK Ingenieurbüro für Geotechnik GmbH: Geotechnische Stellungnahme U6 Sanierung Borsigwerke – Kurt-Schumacher-Platz, Stand 27.10.2015
- [D 4] BVG, VBI – Technisches Büro U-Bahn (BA3): Linie U6 – Sanierung der Dammstrecke BK-Sch – Bauwerksübersicht, Stand 30.03.2015
- [D 5] BVG: Planungshandbuch U-Bahn, Version 1.27, Stand 25.11.2016
- [D 6] Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz: Luftbildauswertung in Bezug auf Kampfmittel, Kurzbericht vom 31.08.2017
- [D 7] BVG, VBI – Technisches Büro U-Bahn (BA3): Bestandspläne und Bauwerkspläne, Grundrisse und Querschnitte, Bauwerksnr. C511-C528 der Linie U6
- [D 8] Arcadis Germany GmbH: Linie U6, Sanierung der Dammstrecke zwischen Bhf Borsigwerke und Bhf Kurt-Schumacher-Platz, Geotechnischer Bericht vom 15.12.2017

2 Baugrund

2.1 Baugrundverhältnisse

Zur Erkundung des Baugrunds wurden im Auftrag der BVG durch einen Nachunternehmer der Arcadis im Oktober 2017 Baugrunduntersuchungen ausgeführt. Die Ergebnisse der Baugrunderkundung mit Angaben der charakteristischen Bodenkennwerte, des geometrischen Berechnungsmodells sowie die Empfehlungen für die Sanierung der Dammstrecke sind in einem Geotechnischen Bericht [D 8] dargestellt.

Demnach können die Baugrundverhältnisse im untersuchten Streckenabschnitt wie folgt beschrieben werden.

Der aufgeschüttete Damm besteht im Wesentlichen aus Sanden, die bereichsweise auch schluffige Beimengungen enthalten. Darunter folgen natürlich anstehende Mittelsande, die örtlich auch Anteile an Grobsanden, Feinkiesen und Schluff enthalten können. Die aufgefüllten Sande bestehen überwiegend aus feinsandigen Mittelsanden bzw. mittelsandigen Feinsanden, die neben grobsandigen und kiesigen Anteilen örtlich auch schluffige Beimengungen enthalten können. Die aufgefüllten Sande sind außerhalb des Gleisbereiches oberflächennah überwiegend sehr locker bis locker gelagert. Im Tieferen können die Sande auch locker bis mitteldicht gelagert sein. Örtlich können vereinzelt auch dicht gelagerte Sandschichten vorhanden sein.

In einem Bereich bis ca. 1,5 m unter Gleisrost ist nach den Ergebnissen der Baugrunduntersuchungen aus dem Jahr 2015 [D 3] eine überwiegend mitteldichte Lagerung der aufgefüllten Sande infolge der Einwirkungen aus den Verkehrslasten vorhanden. Der infolge Verkehrslasten verdichtete Boden beschränkt sich dabei auf einen Lasteinwirkungsbereich von ca. 45° unter Gleisrost. Unterhalb des vorgenannten Bereiches weist der Damm im Tieferen wechselhaft eine sehr lockere bis lockere, untergeordnet auch eine mitteldichte Lagerung auf.

Unterhalb der Dammschüttung sind natürlich gewachsene Fein- und Mittelsande vorhanden, die bereichsweise auch grobsandige und kiesige sowie schluffige Beimengungen enthalten. Die Lagerung der anstehenden Sande ist als locker bis mitteldicht einzustufen. Bereichsweise wurde auch eine mitteldichte bzw. dichte Lagerung angetroffen.

Das Grundwasser wurde ca. 3 m unterhalb des Dammfußes angetroffen. Unter Berücksichtigung der Grundwassergleichenkarte von Berlin (Stand 2016) liegt der maximal zu erwartende Grundwasserhorizont bei ca. +32,5 m NHN entlang der Dammtrasse. Für den Bemessungswasserstand ist unter Berücksichtigung des schwankenden Geländeniveaus eine Höhe von rd. +33,0 m NHN in Ansatz zu bringen. Für den Bauwasserstand kann ein Grundwasserspiegel von rd. +32,3 m NHN angenommen werden. Das Grundwasser ist nach den Ergebnissen der chemischen Untersuchungen als nicht betonangreifend einzustufen. In Bezug auf die Stahlaggressivität wurde nur eine geringe Korrosionswahrscheinlichkeit für Loch- und Muldenkorrosion und eine sehr geringe Wahrscheinlichkeit für Flächenkorrosion durch das Grundwasser festgestellt, vgl. [D 8].

Die nachfolgende Abbildung zeigt die angetroffenen Baugrundverhältnisse beispielhaft:

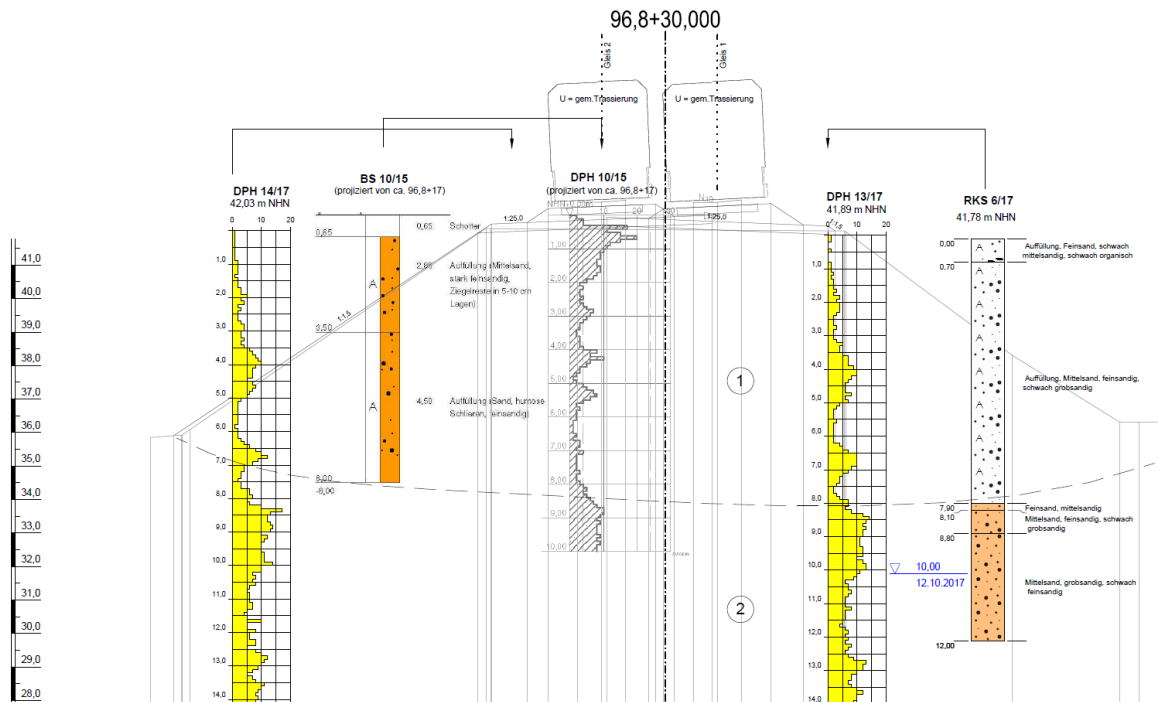


Abbildung 1: Querprofil km 96,8+30 mit Baugrundschiichtung

Darüber hinaus wurden zur abfalltechnischen Voreinstufung zwei repräsentative Mischproben von aufgefüllten Böden im Hinblick auf einen möglichen Wiedereinbau chemisch untersucht. Die Ergebnisse der Untersuchungen wurden auf Grundlage der LAGA¹² bewertet und sind im Geotechnischen Bericht [D 8] dokumentiert. Demnach sind die untersuchten Mischproben in die Einbauklassen 1 bzw. 2 einzuordnen.

2.2 Bodenmechanische Kennwerte

Folgende charakteristische bodenmechanische Kennwerte können gemäß [D 8] auf Grundlage von Erfahrungswerten an vergleichbaren Böden sowie den durchgeführten Feld- und Laborversuchen angesetzt werden.

¹ Ländergemeinschaft Anfall (LAGA): Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen: Teil II: technische Regeln für die Verwertung 1.2 Bodenmaterial (TR Boden), 05.11.2004

² Ländergemeinschaft Abfall (LAGA): Mitteilung der Ländergemeinschaft Abfall (LAGA) 20: Anforderungen an die stoffliche Verwertung mineralischer Abfällen -Technische Regeln- Allgemeiner Teil, Stand: 06.11.2003

Tabelle 1: Charakteristische Bodenmechanische Kennwerte

| Schicht | Boden- gruppe nach DIN 18196 | Wichte des feuchten Bodens γ_k [kN/m ³] | Wichte unter Auftrieb γ_k' [kN/m ³] | Innerer Reibungs- winkel $\varphi_{k'}$ [°] | Kohäsion c_k [kN/m ²] | Steife- modul $E_{s,k}$ [MN/m ²] | Durchlässig- keitsbeiwert k_f [m/s] |
|--|------------------------------------|---|--|---|---|---|--|
| Auffüllung (Schicht 1) | [SE], [SW], [SU] | 18 | 8-11 | 25 – 32,5 ¹⁾ | - | 15 – 20 ¹⁾ | 1×10^{-3} – 1×10^{-5} ¹⁾ |
| Fein- und Mittel- sande (Schicht 2) | SE, SW, SU, SU* | 19 | 11 | 32,5 – 35 | 0 | 40 – 50 | 1×10^{-3} – 5×10^{-6} |

¹⁾ gilt für sandige Auffüllung

Die o. g. charakteristischen Kennwerte wurden unter Beachtung der in DIN EN 1997-1:2009-09, 2.4.5 festgelegten Regeln bestimmt.

2.3 Homogenbereiche

Mit dem Ergänzungsband VOB/C 2015 zur VOB 2012 wurden die im September 2015 veröffentlichten, neu bearbeiteten Allgemeinen Technischen Vertragsbedingungen (ATV)-Normen (DIN 18300, DIN 18301, DIN 18304 usw.) in der VOB verankert. Als wesentliche Änderung wurde dabei die bisher geltende Klassifizierung der Boden- und Felsklassen abgelöst. Anstatt in Boden- und Felsklassen werden Böden mit vergleichbaren Eigenschaften für ein ausführendes Gewerk in Homogenbereiche eingeteilt und entsprechend den in der jeweiligen Norm festgelegten Kriterien/Eigenschaften beschrieben. Für die Homogenbereiche sind Eigenschaften und Kennwerte sowie deren Bandbreite im Hinblick auf die Bauausführung anzugeben.

Die Einteilung der Homogenbereiche nach aktueller VOB/C erfolgt in der nachfolgenden Tabelle 2.

Tabelle 2 Festlegung Homogenbereiche gemäß VOB/C

| Lfd.- Nr. | Baugrundsichten | Homogenbereiche | | |
|--------------|--------------------------------------|--------------------------|---------------------------|--|
| | | DIN 18300 Erdarbeiten | DIN 18301 Bohrarbeiten | DIN 18304 Ramm-, Rüttel- und Pressarbeiten |
| 1 | Auffüllungen (Schicht 1) | HB 1 | HB 1 | HB 1 |
| 2 | Fein- und Mittelsande (Schicht 2) | HB 2 | HB 2 | HB 2 |

Die Homogenbereiche H1 und H2 sind hier mit den Baugrundsichten 1 (Auffüllung) und 2 (gewachsene Sande) gleichzusetzen. Die bautechnisch relevanten Eigenschaften und Kennwerte der Homogenbereiche sind detailliert im Geotechnischen Bericht [D 8] angegeben.

2.4 Standsicherheit Ist-Zustand

In ersten Abstimmungen mit dem Berliner Verkehrsbetrieb (BVG) hat Arcadis bereits im Juli 2017 hinsichtlich der Böschungstabilität verschiedene statische Berechnungen durchgeführt und der BVG vorgestellt. Die Berechnungen wurden auf Basis der übergebenen Informationen, aus der Vermessung und aus den bereits durchgeführten Erkundungen [D 1] bis [D 3] durchgeführt. Die Berechnungsergebnisse zeigen, dass sich in Abschnitten mit steilen Neigungen die Böschungen im Grenzgleichgewicht befinden, sodass nach den gültigen Normen mit dem dort geforderten Teilsicherheitskonzept keine ausreichenden Standsicherheiten bei den gegebenen Verhältnissen nachgewiesen werden konnte.

Zur Überprüfung wurden die statischen Berechnungen mit den charakteristischen Kennwerten entsprechend des Geotechnischen Berichts [D 8] erneut durchgeführt. Die nachfolgende Abbildung 2 zeigt exemplarisch bei 96,5+81 die Berechnungsergebnisse für eine Böschungsneigung von $n = 1:1,5$. Eine ausreichende Standsicherheit ist nachgewiesen, wenn unter Ansatz der nach DIN 1054 anzusetzenden Teilsicherheiten der Ausnutzungsgrad $\mu_{\max} \leq 1,0$ ist.

Der vorgenannte Schnitt repräsentiert die Dammschnitte mit Böschungsneigungen von $n \geq 1:1,5$. Das Ergebnis der Standsicherheitsberechnung am vorgenannten Schnitt zeigt einen Ausnutzungsgrad $\mu_{\max} > 1,0$, sodass keine ausreichende Standsicherheit des Damms nachgewiesen werden kann, obwohl die angesetzten, charakteristischen Kennwerte der Böden tendenziell eher günstig gewählt wurden als bei den ersten Untersuchungen.

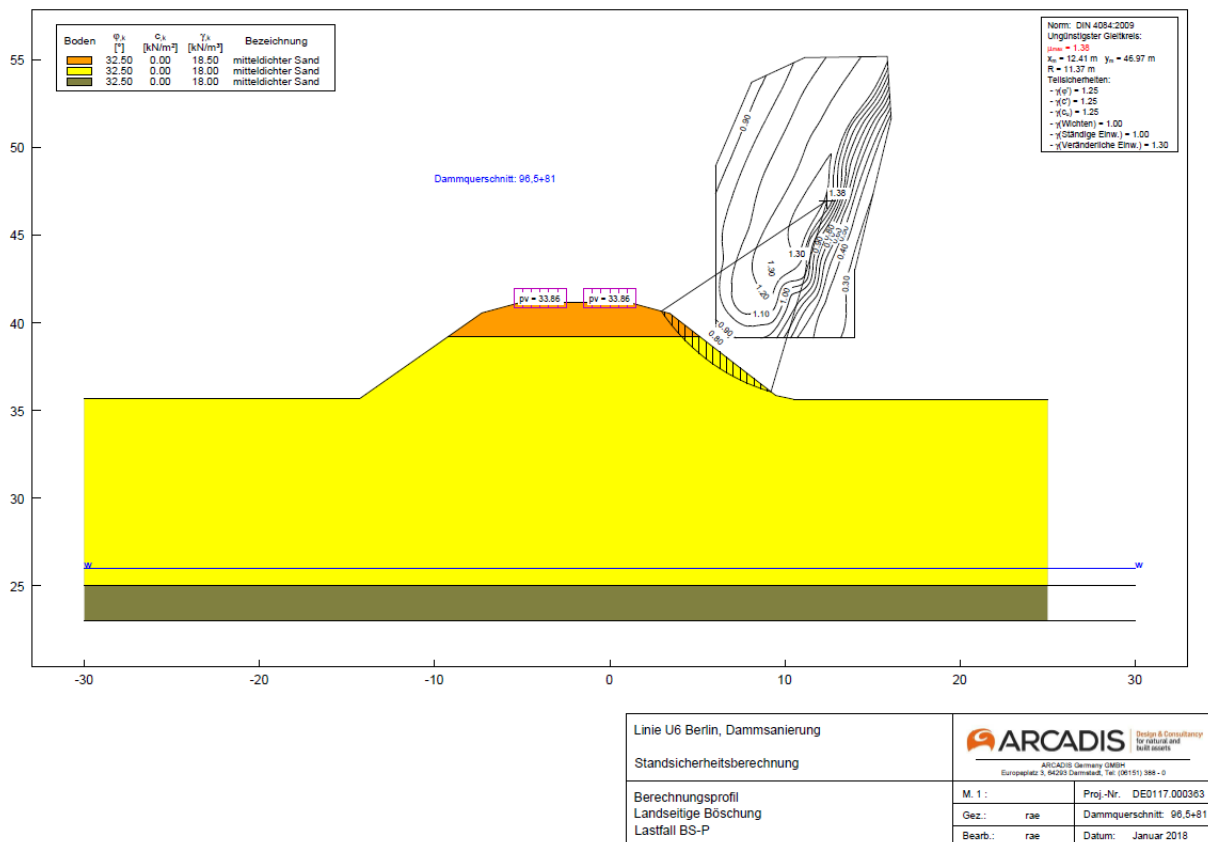


Abbildung 2: Dammschnitt bei ca. km 96,8+51

Darüber hinaus unterschreiten die erkundeten Lagerungsdichten des Dammes und die festgestellten Böschungsneigungen deutlich die Regelanforderungen in Bezug auf die Richtlinie 836 der DB Netz AG³. Aus geotechnischer Sicht sind somit Maßnahmen zur Verbesserung der Standsicherheit des Bahndammes erforderlich.

3 Sanierungs- / Gründungsvarianten

3.1 Vorgaben

Das Projekt umfasst die Sanierung des Streckenabschnittes zwischen Bhf Borsigwerke und Bhf Kurt-Schumacher-Platz. Dabei werden im Wesentlichen der Oberbau, die Kabelkanäle, die Stromschiene sowie die LST-Anlagen erneuert. Die übrige Infrastruktur bestehend aus den Haltestellen und den Brücken werden im Rahmen dieses Projekts nicht saniert. Ausgenommen hiervon ist die Eisenbahnüberführung Seidelstraße. Diese Brücke soll in einem gesonderten Projekt zeitgleich durch einen Neubau ersetzt werden.

3.2 Technisch mögliche Sanierungsverfahren für die Dammstrecke

Nachfolgend werden die technische möglichen Sanierungsverfahren für die Dammstrecke kurz erläutert und unter Berücksichtigung der gegebenen Randbedingungen hinsichtlich der Realisierbarkeit kurz bewertet. Dabei werden insbesondere die gegebenen Randbedingungen wie innerstädtische Bebauung (Wohn- und Gewerbegebiet) als auch die Umwelteinflüsse und Wirtschaftlichkeit der jeweiligen Verfahren betrachtet.

3.2.1 Dammverbreiterung in Verbindung mit Stützwänden

Bei dieser Variante wird ausgehend vom Regelprofil in Höhe der Dammschulter ein Dammquerschnitt mit einer Regelneigung hergestellt. Da eine Regelneigung von $n = 1:2,0$ für die berlintypischen enggestuften Sande im Vergleich zur derzeitigen Böschungsneigung von $n \leq 1:1,5$ eine Dammverbreiterung in Höhe des Dammfußes bedeuten würde, sind Stützwände im Bereich der Dammfüße notwendig, um mit dem Dammbauwerk innerhalb der derzeitigen Grundstücksgrenzen zu bleiben. Die Stützwände können dabei als Spundwand oder Winkelstützwand ausgebildet werden.

Eine Stützwandherstellung (Spundwand bzw. Spundwand- oder Trägerbohlverbau für eine Winkelstützwand) hat je nach Einbringverfahren (Einrammen, Einrütteln oder Einpressen) unterschiedlich große Immissionseinwirkungen auf die Umwelt. Unter wirtschaftlichen Aspekten stellt eine Stützwand in Verbindung mit Erdarbeiten für eine Dammverbreiterung ein sicheres Bauverfahren mit geringem Kosten- und Ausführungsrisiko dar.

3.2.2 Injektionen und Stahlträger

Diese Variante sieht eine Stabilisierung des Dammes mittels Stahlträgern vor in Verbindung mit Injektionen. Die Stahlträger dienen dabei einerseits zur Verbesserung der globalen Standsicherheit und andererseits als Gründungselement für die neu zu errichtenden Kabelkanäle. Die Injektionen sind mindestens vollflächig zur Sicherung der vorhandenen, steilen Böschungen auszuführen, können jedoch auch den gesamten Dammquerschnitt erfassen, um mögliche, zukünftige Setzungen zu minimieren.

³ RIL 836 Erdbauwerke und sonstige geotechnische Bauwerke planen, bauen und instand halten, DB Netz AG

Beispielsweise können die Stahlträger in einem Abstand von 4 m eingebracht werden und, je nach statischer Bemessung, auch mit zusätzlichen Querträgern verbunden werden, die als Gleisschottersicherung dienen.

Bei dieser Variante bleibt der vorhandene Querschnitt in Höhe Dammschulter unverändert, ebenso wie die derzeitige Dammneigung. Die erosionsgefährdeten Böschungen werden mittels Injektionsgut stabilisiert. Im Zuge der Bauphase können praktisch die vollflächigen Injektionen nicht überprüft werden. Für Bereiche, in denen die Injektionen nicht ganzflächig mit Erfolg ausgeführt wurde, besteht eine hohe Wahrscheinlichkeit, dass die Böschungen im Hinblick auf den veranschlagten Lebenszyklus erosionsgefährdet sind und abrutschen können. Es besteht somit bei dieser Variante ein hohes Ausführungsrisiko, welches in diesem Falle mit einem hohen Kostenrisiko gleichzusetzen ist.

3.2.3 Stahlträger und Nagelwände

Diese Variante sieht eine Stahlträgerkonstruktion entsprechend 3.2.2 vor einerseits zur Erhöhung der globalen Standsicherheit und andererseits als Gründungselement für die Kabelkanäle. Die lokale Standsicherheit der Böschung im Hinblick auf Abrutschen und Erosion wird bei dieser Variante durch eine Nagelkonstruktion erzielt. Diese besteht aus mindestens 3 m langen Nägeln, die über eine Kopfplatte eine Böschungssicherung aus Spritzbeton oder Fertigteilelemente rückverankern. Die vorgenannten Fertigteile bzw. Spritzbetonkonstruktion werden dabei auf die vorher geräumte Böschung gelegt.

Der vorhandene Querschnitt in Höhe Dammschulter bleibt bei dieser Variante unverändert, ebenso wie die derzeitige Dammneigung. Die erosionsgefährdeten Böschungen werden z. B. mittels der Fertigteilelemente überprüfbar stabilisiert. Das Kosten- und Ausführungsrisiko ist hierbei als gering einzustufen.

Als wesentlicher Nachteil ist jedoch eine Gestaltung der Böschungen mittels Spritzbeton bzw. Fertigteilelemente aufzuführen. Aus unserer Sicht würde auch eine genehmigungsfreie Realisierung auf keine Zustimmung bei den Anwohnern (Wohngebiet) führen, da sich der Charakter des Bahndamms grundlegend von einem Erdbauwerk zu einem Betonbauwerk ändern würde.

3.2.4 Tiefenverdichtungen und Faschinen

Bei diesem Verfahren werden die vorhandenen überwiegend locker gelagerten Sande mit Hilfe eines Aufsatzrüttlers (Rüttelbohle) verdichtet. Dabei wird der Rüttler in Bereich der Eigenfrequenz des zu verdichtenden Bodens gefahren, um einen optimalen Verdichtungserfolg zu erzielen. Die Ansatzpunkte des Rüttlers sind erfahrungsgemäß in einem Dreieckraster von 1,5 m x 1,5 m anzusetzen, um eine gleichmäßige Verdichtung zu erzielen. Die Ansatzpunkte müssen dabei den gesamten Dammquerschnitt einschließlich der Böschungen abdecken. Im Bereich der Böschungsschultern sind für die geplanten Kabelkanäle besondere Gründungskonstruktionen notwendig, wenn der derzeitige Querschnitt in Höhe der Dammschulter unverändert bleibt.

Die Böschungen können mittels Faschinen gesichert werden. Die Faschinen können aus lebenden oder toten Gehölzstrukturen bestehen. In Verbindung mit geeignetem Saatgut und erforderlichen Zuschlagstoffen wird eine dichte Vegetation etabliert und so ein Erosionsschutz erzielt. Die Erosionsschutzwirkung beschränkt sich allerdings zunächst vor allem auf die Oberfläche und den durchwurzelten, oberflächennahen Bodenhorizont von Problemflächen. Mit Hilfe von Erosionsschutzgeweben und -matten kann dieser oberflächige Schutz im Bereich von Böschungen und erosionsgefährdeten Bereichen verstärkt und unterstützt werden - besonders im problematischen Zeitraum zwischen Ansaat und Vegetationsetablierung.

Einer Tiefenverdichtung in Kombination mit Faschinen stellt auf dem ersten Blick ein kostengünstiges Sanierungsverfahren dar, da nur verhältnismäßig geringe Massentransporte durchzuführen sind. Allerdings ist das Ausführungsrisiko unter Berücksichtigung der Herstellung eines homogen verdichteten

Bahndamms als hoch einzustufen. Durch die dynamische Verdichtung kann eine Umlagerung der locker gelagerten Sande im Bereich der Böschungen nicht ausgeschlossen werden. Weiterhin können durch die dynamische Tiefenverdichtung Erschütterungen auf die Nachbarbebauung übertragen werden, sodass die Möglichkeit von Bauwerksschäden gegeben ist. Ebenso beinhaltet eine Böschungssicherung aus Faschinen im Hinblick auf den Lebenszyklus des Bahndamms ein hohes Kostenrisiko, da die Böschungsneigungen unverändert bleiben und die derzeit bewachsenen steilen Böschungsabschnitte bereits lokal erodieren.

3.2.5 Tiefenverbesserung und Faschinen

Das Verfahren erzielt eine Verbesserung des Untergrundes (Bahndamm) durch das Einbringen von zusätzlichem Bodenmaterial (Schottersäulen) in den Damm. Die Verbesserung betrifft allerdings nur den Kernbereich des Damms, da die Schottersäulen nur mäklergeführt eingebracht werden können. Alternativ könnte an Stelle von Schottersäulen auch hydraulisch gebundenen Bodenmischsäulen hergestellt werden. Das Einbohren erfolgt in Kombination mit einer Suspension als Zugabe, so dass eine Erdbebensäule entsteht. Hauptmerkmal dieses Verfahrens ist die Nutzung des Bodens als Zuschlagsstoffs, wodurch der Transport von Material Anlieferung und Bohrgutentsorgung deutlich geringer als bei konventionellen Verfahren ist.

Hinsichtlich der Gründung der Kabelkanäle und der Böschungssicherung wird auf den Abschnitt 3.2.4 verwiesen.

Eine Tiefenverbesserung des Damms stellt in Verbindung mit einer Böschungssicherung mit Faschinen ein hohes Ausführungs- und Kostenrisiko dar. Im Hinblick auf eine Bauausführung benötigt dieses Verfahren praktisch eine durchgängige Fachbauüberwachung bei der Säulenherstellung. Ebenso ist insbesondere die Zusammensetzung der beizufügenden Suspension für die Herstellung von Bodenmischsäulen täglich zu überwachen. Bezüglich der Böschungssicherung mittels Faschinen wird auf die Bewertung in Abschnitt 3.2.4 verwiesen.

3.2.6 Neuschüttung des Bahndammes in den Böschungsbereichen

Diese Variante sieht einen Neubau des Bahndamms im Böschungsbereich vor. Hierzu sind zunächst die vorhandenen Böschungen auf beiden Seiten auf einer geschätzten Breite von jeweils ca. 3 m über die gesamte Dammhöhe zurückzubauen. Anschließend erfolgt ein lagenweiser Wiederaufbau der Böschungsstreifen mit hochwertigem Kiessand der Bodengruppe GW gemäß DIN 18196. Das gewählte Schüttmaterial lässt Böschungsneigungen von $n = 1:1,5$ m zu, wobei die Breite der Böschungsstreifen mittels Standsicherheitsberechnungen zu bestimmen sind. Bei Ausführung von Böschungsneigungen von $n 1:1,5$ könnte der Bahndamm als Erdbauwerk ohne Stützwandkonstruktion (Spundwand oder Winkelstützmauer) hergestellt werden.

Diese Variante stellt im Wesentlichen ein hohes Ausführungsrisiko dar, da einerseits die vorhandenen enggestuften Sande ausgebaut und abtransportiert werden müssen sowie andererseits das hochwertige Schüttmaterial (GW) zur Einbaustelle transportiert und fachgerecht eingebaut werden muss. Aufgrund der beiden verhältnismäßig schmalen Böschungsstreifen (jeweils ca. 3 m) ist insbesondere der Anschlussbereich an den Dammkern als auch die Verdichtung durchgehend fachtechnisch zu überwachen. Sofern die enggestuften Sande zusammen mit anzuliefernden Kiesmaterial zu einem homogenen Schüttmaterial (GW) im Bereich der Baustelleneinrichtungsflächen gemischt werden, ist eine geotechnische Fachbauüberwachung zur Sicherstellung eines homogenen Bodengemisches zwingend notwendig.

Das Kostenrisiko wird für diese Variante in Abhängigkeit von der Güte der geotechnischen Fachbauüberwachung als mittel eingestuft.

3.3 Herstellung eines abzusichernden Tragbereiches für den Oberbau

Für die Schaffung von homogenen Auflagerbedingungen für den Oberbau ist ein abzusichernder Tragbereich mit definierten Eigenschaften herzustellen. Gemäß den Empfehlungen des Geotechnischen Berichts [D 8] ist die vorhandene Dammschüttung bis zu einer Tiefe von 2 m unter Schienenoberkante (SO) abzutragen und gegen grobkörniges Austauschmaterial zu ersetzen. Aushubsohle und Einbaumaterial sind dabei intensiv zu verdichten, um eine optimale Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit der Tragbereiches zu gewährleisten. Sofern die beim Rückbau gewonnenen Böden eine homogene Kornzusammensetzung aufweisen, können diese als Schüttmaterialien wiederverwendet werden, wenn gleichzeitig der Einbauwassergehalt angepasst wird.

4 Empfehlungen für die Sanierung

Nachfolgend werden 4 mögliche Varianten dargestellt und im Hinblick auf die bautechnische Umsetzung, Herstellungskosten sowie eine Risikobetrachtung bewertet.

4.1 Variante 1: Stützwand mit Regelböschung

Die Variante 1 entspricht der im Abschnitt 3.2.1 vorgestellten Sanierung. Im Bereich der Böschungsfüße werden Stützwände errichtet, um dann eine Dammverbreiterung mit Regelneigung herzustellen, vgl. Abbildung 3. In Höhe der Dammkrone wird somit eine Dammverbreiterung auf das Regelprofil erzielt, die eine Flachgründung der Kabelkanäle ermöglicht. In Verbindung mit der Herstellung eines definierten Tragbereiches bis 2,0 m unter SO entsprechend Abschnitt 3.3 wird so einerseits die Anforderung an einen homogenen Untergrund über den gesamten Dammquerschnitt Rechnung getragen und andererseits ein instandhaltungsarmer Untergrund geschaffen.

Die Stützwände sollten aus wirtschaftlichen Überlegungen als Spundwände ausgebildet werden, da eine alternative Winkelstützwand aus z. B. Betonfertigteilen nur im Schutze eines temporären Verbaus (Spundwand oder Trägerbohlwand) hergestellt werden kann, wodurch erhebliche Zusatzkosten für diesen Verbau entstehen würden. Ebenfalls ist bei einer Spundwandlösung die Bauzeit erheblich kürzer anzusetzen.

Optional kann der Dammkern auch mit Rüttelstopfsäulen zusätzlich verbessert werden. Dabei werden je Gleis 2 Reihen Rüttelstopfsäulen eingebracht, die von der Aufstandsfläche des Dammes bis zur Unterkante des definiert herzustellenden Tragbereichs angeordnet werden. Die optionale Tiefenverdichtung hat den Vorteil, dass Setzungen aus möglichen Umlagerungsprozessen in der überwiegend locker gelagerten Dammschüttung kleiner ausfallen werden und Kosten für die zukünftige Instandhaltung demzufolge geringer ausfallen können. Da im Zuge der Dammsanierung die Gradienten beibehalten werden und sich die Verkehrslasten nicht wesentlich erhöhen werden, ist aus geotechnischer Sicht eine Rüttelstopfverdichtung nicht zwingend erforderlich.

Im Hinblick auf ein mögliches Kosten- und Ausführungsrisiko stellt eine Stützwand in Verbindung mit Erdarbeiten für eine Dammverbreiterung ein sicheres Bauverfahren dar. Das Kosten- und Ausführungsrisiko ist daher als gering einzustufen.

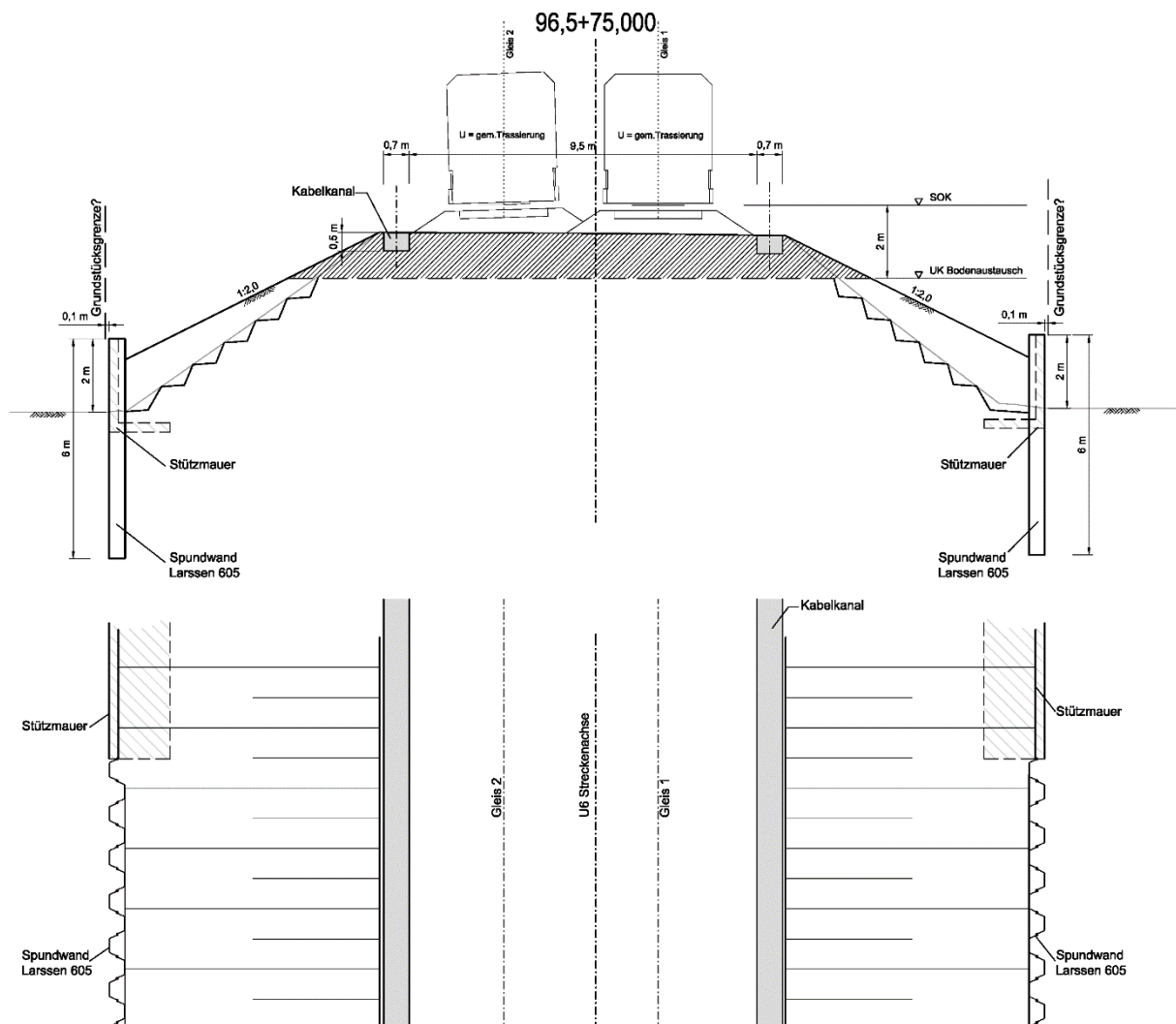


Abbildung 3: Variante 1: Stützmauer mit Regelböschung.

4.2 Variante 2: Injektionen und Faschinen

Die Variante 2 besteht aus einer Kombination der in den Abschnitten 3.2.2 und 3.2.4 vorgestellten Sanierungen. Durch das Einbringen von Injektionsmittel soll der gesamte Dammquerschnitt verbessert werden. Von einer definierten Arbeitsebene werden vertikale und geneigte Bohrungen hergestellt und das Injektionsgut eingepresst. Dabei wird eine Porenraumverfüllung erzielt und der Damm verfestigt. Da einerseits hohe Einpressdrücke in Bereich der Böschungen diese schwächen können und andererseits verfahrenstechnisch nicht zu gewährleisten ist, dass die Böschungen ganzflächig verfestigt werden, ist eine zusätzliche Böschungssicherung mittels Faschinen vorgesehen, vgl. Abbildung 4. Da bei dieser Variante der derzeitige Dammquerschnitt unverändert bleibt, ist eine gesonderte Gründung der Kabelkanäle auf z. B. Stahlträgern zusätzlich erforderlich.

Das Ausführungsrisiko der Variante 2 ist als hoch einzustufen, da der Erfolg der Injektionen praktisch nicht überprüfbar ist und der Herstellvorgang nur indirekt über die Herstellparameter kontrolliert werden kann. Darüber hinaus ist zu erwarten, dass seitens der ausführenden Firma keine Garantie für eine homogene Verfestigung des Dammquerschnittes übernommen wird.

In Bezug auf die Böschungssicherung mittels Faschinen besteht ebenfalls ein hohes Ausführungs- und somit Kostenrisiko, da bei unverändert steilen Böschungen eine dauerhaft begrünte Böschung ohne Erosionsschäden unwahrscheinlich ist, wie die derzeitige Böschungsbegrünung im Sanierungsabschnitt zeigt.

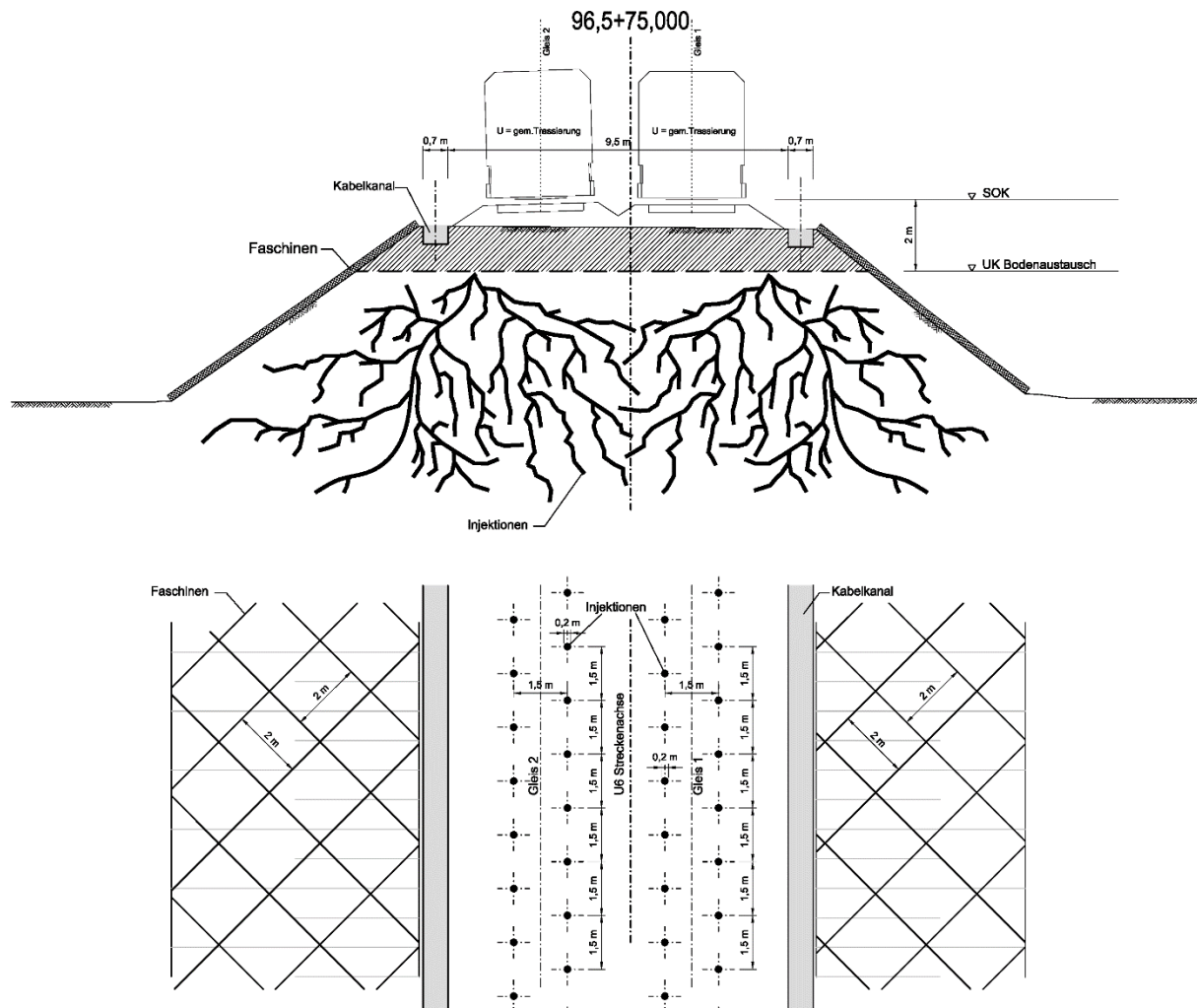


Abbildung 4: Variante 2: Injektionen und Faschinen.

4.3 Variante 3: Stahlträger und Faschinen

Die Variante 3 besteht aus einer Kombination der in den Abschnitten 3.2.3 und 3.2.4 vorgestellten Sanierungen. Die Standsicherheit des Damms wird durch Stahlträger erhöht, die den vorhandenen Damm verdübeln. Die Verdübelung erfolgt durch das Einrammen von Stahlträgern entlang der Dammschulter und Dammböschung. Die Träger müssen dabei bis in die tiefer anstehenden mitteldichten Sande einbinden, sodass geschätzte Trägerlängen von 6 bis 10 m statisch erforderlich werden. Der Abstand der Träger richtet sich dabei nach den erdstatischen Berechnungen, wobei die Träger im Bereich der Böschungsschulter auch als Gründung für die Kabelkanäle genutzt werden können. Zur Sicherung der Böschungen können Faschinen als Erosionsschutz vorgesehen werden. Der Dammquerschnitt bleibt bei dieser Variante unverändert.

Optional kann der Dammkern auch –wie bei Variante 1– mit Rüttelstopfsäulen zusätzlich verbessert werden. Da jedoch im Zuge der Dammsanierung die Gradienten beibehalten werden und sich die Verkehrslasten nicht wesentlich erhöhen werden, ist aus geotechnischer Sicht eine Rüttelstopfverdichtung nicht zwingend erforderlich.

Das Ausführungsrisiko der Variante 3 ist als mittel einzustufen, da der Einrammvorgang der Stahlträger im Bereich der Böschungsschulter und insbesondere auch im Bereich der locker gelagerten Böschung mit hoher Wahrscheinlichkeit zu lokalen Rutschungen führen wird. Die Sanierungskosten für diese lokalen Rutschungen können derzeit nicht abgeschätzt werden. Das Kostenrisiko für das Einrammen wird daher ebenfalls als mittel eingeschätzt.

In Bezug auf die Böschungssicherung mittels Faschinen besteht ein mittleres Ausführungs- und somit Kostenrisiko, da bei unverändert steilen Böschungen eine dauerhaft begrünte Böschung ohne Erosionsschäden nicht gesichert ist, wie die derzeitige Böschungsbegründung im Sanierungsabschnitt zeigt.

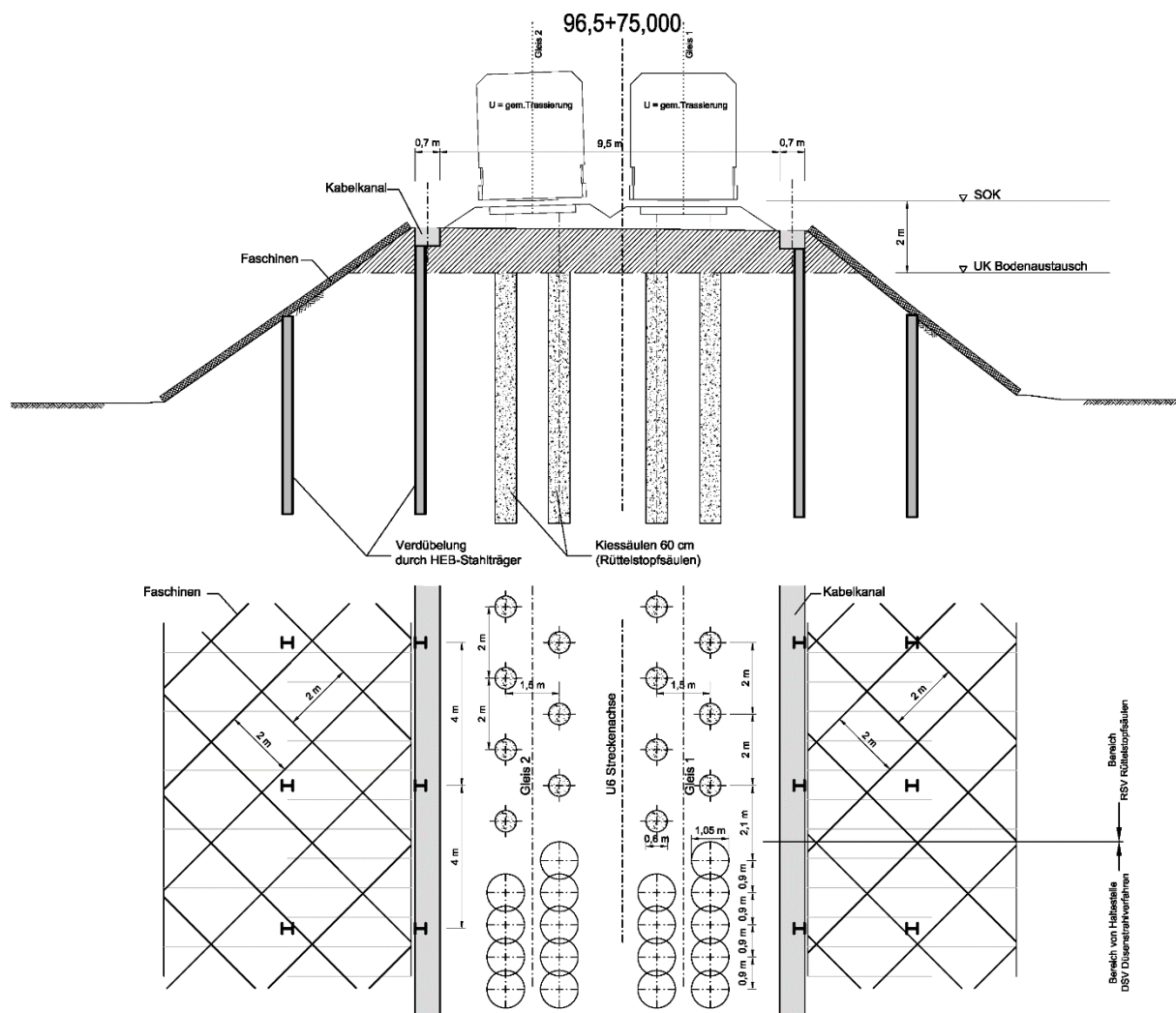


Abbildung 5: Variante 3: Stahlträger und Faschinen.

4.4 Variante 4: Bohlträger mit Ausfachung

Die Variante 4 entspricht hinsichtlich der konstruktiven Elemente der in Abschnitt 3.2.3 vorgestellten Sanierung. Hierbei wird die Standsicherheit des Dammes durch Bohlträger erhöht, die den vorhandenen Damm verdübeln. Die Verdübelung erfolgt durch das Einstellen von Bohlträgern in verrohrter Bohrlöcher entlang der Dammschulter. Die Träger müssen dabei bis in die tiefer anstehenden mitteldichten Sande einbinden, sodass geschätzte Trägerlängen von 6 bis 10 m statisch erforderlich werden können. Der Abstand der Träger richtet sich dabei nach den erdstatischen Berechnungen, wobei die Träger im Bereich der Böschungsschulter als Gründung für die Kabelkanäle genutzt werden können.

Zwischen den Bohlträgern ist bis ca. 2,0 m unter SO eine Ausfachung vorzusehen. Die Ausfachungen sichern somit als Stützwandkonstruktion den Erdkörper des neu aufzuschüttenden Unterbaus der Gleise. Darüber hinaus sind die Ausfachungen soweit unter SO zu führen, dass an jeder Stelle des Dammquerschnitts eine theoretische Böschungsneigung von nicht steiler als 1:2,0 realisierbar ist.

Die Böschungen erhalten bei dieser Variante keinen gesonderten Erosionsschutz. Demzufolge können aufgrund der steiler als 1:2,0 geneigten Böschungen örtlich auch Rutschungen eintreten. Diese möglichen Rutschungen sind voraussichtlich auf Hautrutschungen beschränkt, da die Dammgeometrie gemäß v. g. Ausführungen eine theoretische Böschungsneigung von 1:2,0 in Verbindung mit den Ausfachungen gewährleistet. Im Endzustand kann der vorhandene Dammquerschnitt bei dieser Variante wieder hergestellt werden, sofern der rückgebaute Bereich nach Fertigstellung der Ausfachungen wieder angeschüttet wird.

Optional kann der Dammkern auch –wie bei Variante 1– mit Rüttelstopfsäulen zusätzlich verbessert werden. Da jedoch im Zuge der Dammsanierung die Gradienten beibehalten werden und sich die Verkehrslasten nicht wesentlich erhöhen werden, ist aus geotechnischer Sicht eine Rüttelstopfverdichtung nicht zwingend erforderlich.

Das Ausführungsrisiko der Variante 4 ist als gering einzustufen, da das Einstellen der Bohlträger in vorgebohrte Löcher im Bereich der Böschungsschulter mit hoher Wahrscheinlichkeit zu lokalen Rutschungen führen wird. Die Sanierungskosten für diese lokalen Rutschungen können derzeit nicht abgeschätzt. Das Kostenrisiko für das Einstellen der Bohlträger wird daher ebenfalls als gering eingeschätzt.

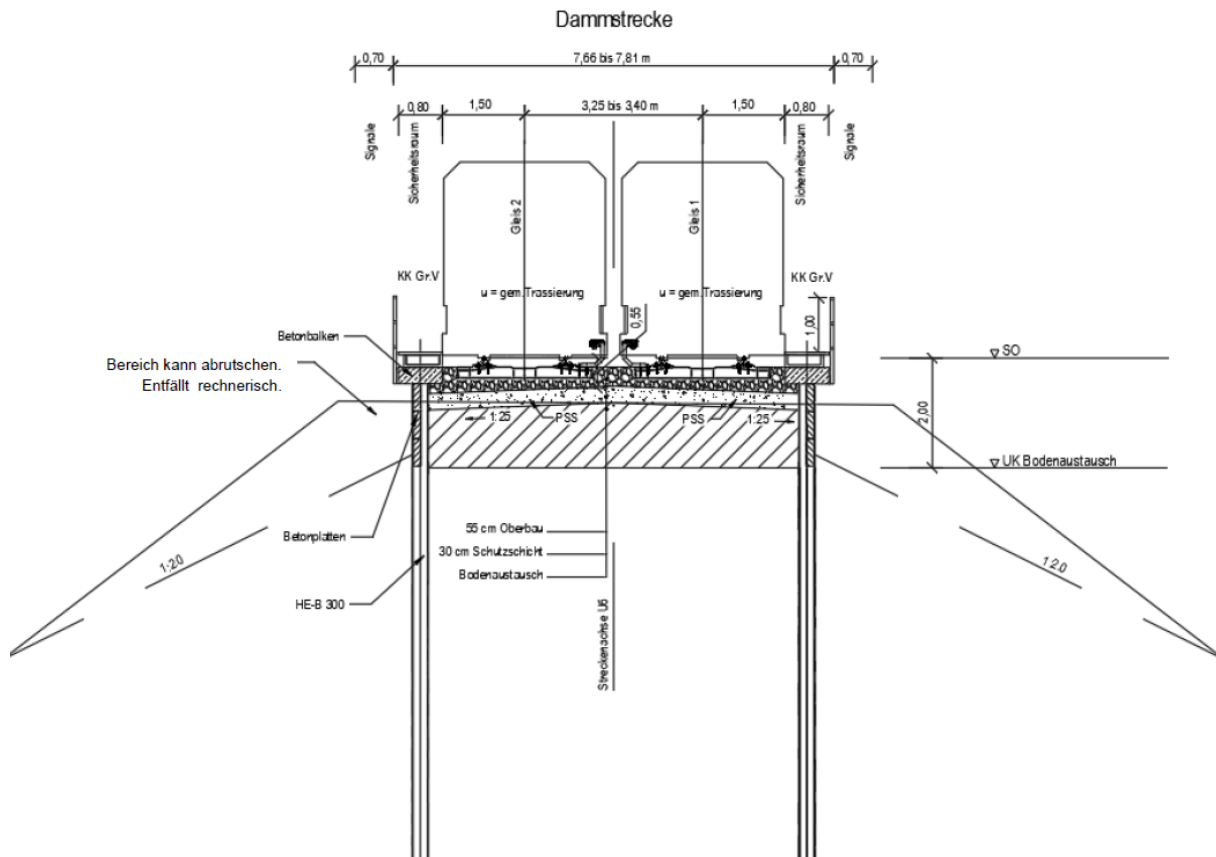


Abbildung 6: Variante 4: Bohlträger mit Ausfuchtung

4.5 Zusammenfassende Bewertung der Varianten

In der folgenden Tabelle wurden die Varianten aus fachtechnischer Sicht zusammenfassend qualitativ bewertet.

Tabelle 3 Bewertung der Varianten

| Baumaßnahme | Bauzeit | Baulogistik | Dauerhaftigkeit | Umwelt |
|--|---------|-------------|-----------------|--------|
| Variante 1: Stützwand mit Regelböschung | ✓✓ | ✓✓ | ✓✓✓ | ✓✓ |
| Variante 2: Injektionen und Faschinen | ✓ | ✓ | ✓✓ | ✓ |
| Variante 3: Stahlträger und Faschinen | ✓✓ | ✓✓ | ✓ | ✓✓✓ |
| Variante 4: Bohlträger mit Ausfuchtung | ✓✓✓ | ✓✓✓ | ✓✓✓ | ✓✓✓ |

Aus geotechnischer Sicht werden die Baulogistik und Dauerhaftigkeit der Baumaßnahme als maßgebende Kriterien eingestuft. Es wird daher die Variante 4 „Bohlträger mit Ausfachung“ empfohlen. Darüber hinaus weist die Variante 4 im Hinblick auf die kurze Bauzeit weitere Vorteile auf, da die Ausführungsqualität während der Bauzeit kontinuierlich überprüfbar ist.

5 Hinweise für die Bauausführung

Da für den Bauabschnitt gemäß dem Kampfmittelbescheid [D 6] keine Kampfmittelfreiheit vorliegt, sollten entsprechende Kampfmitteluntersuchungen als vorgezogene Maßnahme durchgeführt werden, um der mit der Baumaßnahme zu beauftragenden Baufirma ein kampfmittelfreies Baufeld übergeben zu können. Mit diesem Vorgehen würde das generell bestehende Ausführungsrisiko durch Kampfmittelfunde während der Bauzeit minimiert werden.

Das Einbringen der Bohlträger sollte fachtechnisch überwacht werden. Ebenso sind die Erdarbeiten sowie die Eigenüberwachungsprüfungen der Baufirma durch einen geotechnischen Sachverständigen zu begleiten und zu überprüfen. Im Hinblick auf die Herstellung eines homogenen Untergrunds eignet sich zur Überprüfung des abzusichernden Tragbereichs die Prüfmethode M2 „Flächendeckende dynamische Verdichtungskontrolle“ gemäß ZTV-E StB. Für alle andere Erdbaumaßnahmen empfehlen wir die Überprüfung der Erdarbeiten mit der Methode M3 gemäß ZTV-E StB.

Die Eigenüberwachungsprüfung der Baufirma als auch die Fremdüberwachungsprüfungen sollten dabei entsprechend den Regelungen der ZTV-E StB hinsichtlich Anzahl und Häufigkeit durchgeführt werden.



Dr.-Ing. Olaf Möller
Abteilungsleiter Geotechnik Nord



Dipl.-Ing. Hans-Martin Raeker
Senior Projekt Manager