

**Landeshauptstadt Düsseldorf
Amt für Verkehrsmanagement 66/4
Auf'm Hennekamp 45
40225 Düsseldorf**

Brandschachtstraße 2
44149 Dortmund
T: 0231.967889-0
F: 0231.967889-29
info@geo-team.info
www.geo-team.info

Bearbeiter:
Dr.-Ing. Stephan Gutjahr
Durchwahl: -16
Mobil: 0175.2255485
s.gutjahr@geo-team.info

Projekt: 00.153_B08a_Erdbau

Datum: 28.05.2015

Seite: 1 / 16

Flughafenanbindung Stadtbahnlinie U81, 1. BA Freiligrathplatz bis Terminal

Geotechnische Hinweise zum Erdbau

Bericht 00.153_B08, Index a

Dortmund, 28.05.2015

Geschäftsführung

Dr.-Ing. Klaus Haubrichs
Prof. Dr.-Ing. Frank Könemann
Dr.-Ing. Lothar Maßmeier

Handelsregister

Amtsgericht Iserlohn
HRB 6661

Bankverbindung

IBAN: DE54 4455 1210 0000 0091 42
BIC: WELADED1HEM

Niederlassungen

Duisburg
Dortmund
Iserlohn

Steuernummer

328/5829/0619
Ust-IDNr.:
DE263126346

Inhaltsverzeichnis

1	Vorbemerkung _____	3
1.1	Veranlassung / Bauvorhaben _____	3
1.2	Aufgabenstellung _____	6
2	Verwendete Unterlagen _____	6
3	Grundlagen zur Durchführung der Erdbau - / Aushubarbeiten _____	7
3.1	Allgemeine Hinweise für die Erdarbeiten und Begriffe _____	7
3.2	Baugrundverhältnisse im Bereich der Niveaustrecken und des Erddamms _____	8
3.3	Anforderungen an das Erdplanum _____	10
3.4	Anforderungen an den Erddamm _____	10
4	Erdbautechnische Hinweise _____	14
5	Qualitätssicherung _____	15
6	Abschließende Hinweise _____	16

Anlagenverzeichnis

Anlage 1	Lageplan mit Baugrundaufschlüssen
Anlage 2	Längsschnitte mit Bohrprofilen (Seiten 1 bis 5)

1 Vorbemerkung

1.1 Veranlassung / Bauvorhaben

Die Landeshauptstadt Düsseldorf plant die Anbindung des Düsseldorfer Flughafens an das Stadtbahnnetz durch die Linie U81. Nach aktuellem Stand ist eine Variante mit einem Brückenbauwerk über den Nordstern (Kreuzungsbereich A 44) und einem unterirdischen Auslauf (Tunnelführung) im Bereich des Flughafen-Terminals in offener Bauweise vorgesehen.

Im Bereich des geplanten Brückenbauwerkes schwenkt die Trasse vom Nordstern aus in Richtung Süden und die Gleise werden mit einer Rampe / Überwerfungsbauwerk wieder auf Niveaustrecke bis zur bereits bestehenden Haltestelle Freiligrathplatz geführt. Hier erfolgt der Anschluss an das bereits bestehende Stadtbahnnetz. Die Entwurfsplanung der Infrastrukturanlagen erfolgte durch die Ingenieurgesellschaft Grassl Vössing (IGV), Düsseldorf.

Seitens der IGV wurde geoteam zudem ein Vorabzug eines Übersichtsplanes der aktuellen Entwurfsplanung mit einer kilometrierten Trasseneinteilung in 11 Abschnitten überstellt (s. Abbildung 1).

Die Bezeichnungen der in Abbildung 1 vorgestellten Abschnitte 1 bis 11 sind mit zugehöriger Kilometrierung und einer von geoteam gewählten Zusammenfassung einzelner Bereiche mit Zuordnung zu den jeweiligen durchgeführten Erkundungen in Tabelle 1 vorgestellt. Herausgestellt sind dabei die Abschnitte der Niveaustrecken und des Erddamms.

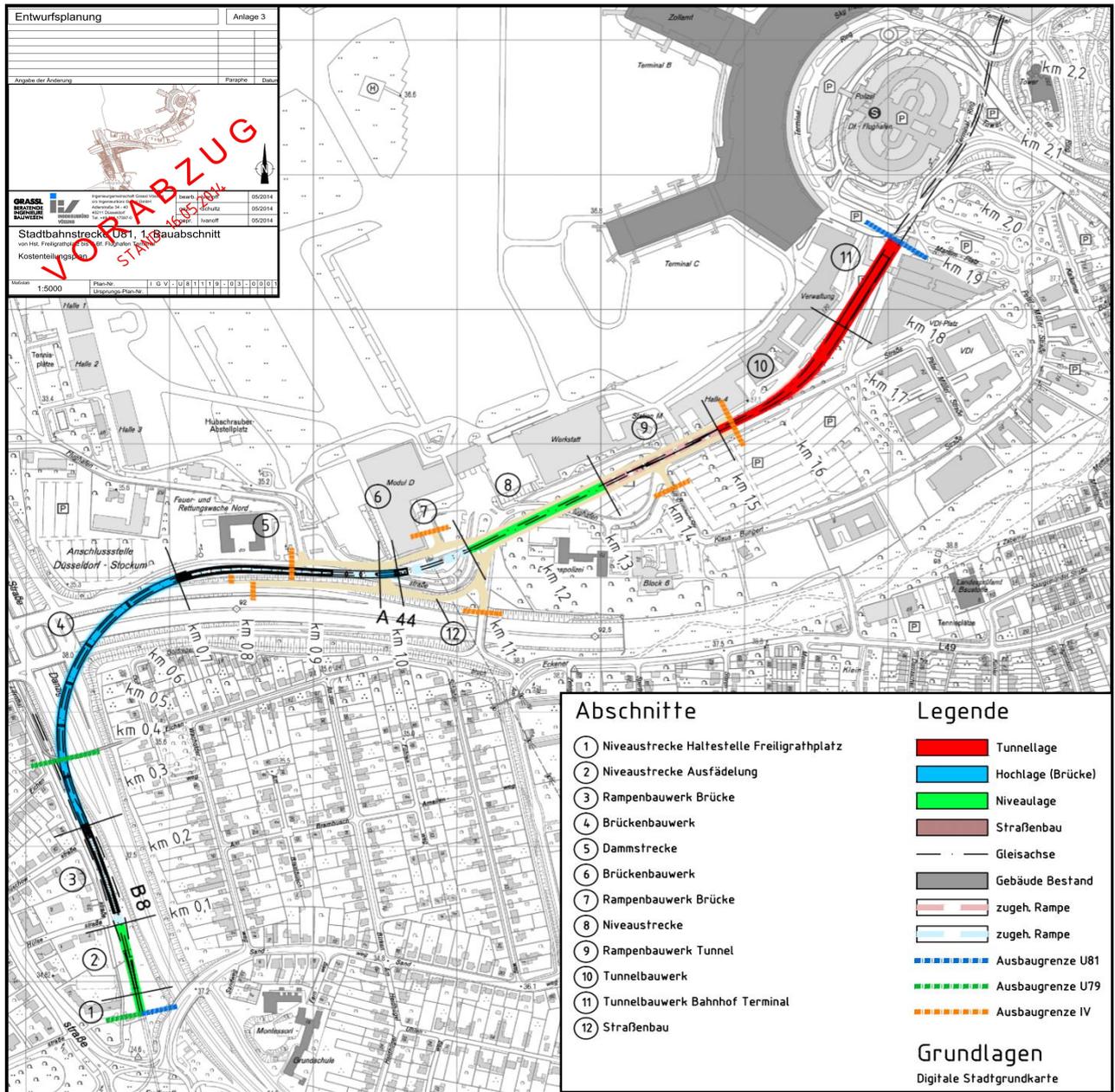


Abbildung 1: Übersichtplan mit Einteilung in 11 Abschnitte, Ingenieurbüro Grassel Vössing (Vorabzug)

Tabelle 1: Abschnittseinteilung

Abschnitt	Kilometrierung [km]	Bezeichnung	Zusammenfassung einzelner Abschnitte	Durchgeführte Erkundungen
1	-0,030 bis 0,000	Niveaustrecke Hst Freiligrathplatz	Südliche Niveaustrecke	KRB 2/1, KRB 2/2, KRB 2/3, B 3/1, B 4/1
2	0,000 bis 0,120	Niveaustrecke Ausfädelung		
3	0,120 bis 0,260	Rampenbauwerk Brücke		
4	0,260 bis 0,700	Brücke Nordstern	Brücke Nordstern	KRB 4/5, B 4/3
5	0,700 bis 0,980	Dammstrecke (Ing-BW)	östl. Brückenauffahrt	KRB 5/2, B 5/1, KRB 6/1
6	0,980 bis 1,000	Brückenbauwerk		
7	1,000 bis 1,130	Rampenbauwerk Brücke (Erddamm)	Erddamm und nördliche Niveaustrecke	KRB 6/1, KRB 6/2, KRB 6/3
8	1,130 bis 1,320	Niveaustrecke		
9	1,320 bis 1,500	Rampenbauwerk Tunnel	Tunneleinfahrt bis Höhe Abzweig Peter-Müller-Str.	B 8/1 KRB 6/4
10	1,500 bis 1,710	Tunnelbauwerk	Tunnelbereich Höhe Peter-Müller-Str. bis Terminal	B 9/ 2, KRB 9/5 KRB 9/6
11	1,710 bis 1,890	Tunnelbauwerk Bahnhof Terminal		

1.2 Aufgabenstellung

geoteam wurde durch die Landeshauptstadt Düsseldorf, Amt für Verkehrsmanagement, beauftragt, gemäß dem vorliegenden geoteam-Angebot vom 29.01.2014 (Leistungsphase 3 und 4) geotechnische Angaben zum Erdbau in den Niveaustrecken und zur Errichtung eines Erddamms als Rampe zur Brücke Tor 1 zu erstellen.

Im vorliegenden Bericht stellt geoteam zunächst die geologischen Randbedingungen dar und macht Angaben zur Durchführung des Erdbaus in den entsprechenden Abschnitten: Niveaustrecken (Abschnitte 1 bis 3 und 8) und Erddamm (Abschnitt 7). Dann werden die Anforderungen an das Planum genannt und Hinweise zur Herstellung des Planums gegeben. Weiter folgen Angaben zur Erstellung des Erddamms.

Hinweise zum Bodenmanagement (Wiedereinbau, Verwertung und Entsorgung) aus umwelttechnischer Sicht sind im Bericht 00.153_B03, Bodenmanagement [U 3] gegeben, sodass für diese Belange dorthin verwiesen wird.

2 Verwendete Unterlagen

Auf folgende Unterlagen wird zurückgegriffen:

- [U 1] Bericht 00.153_B01, G3- Baugrunduntersuchung und Gründungsberatung, Stadtbahnlinie U81, Freiligrathplatz bis Flughafen Terminal, 1. Bauabschnitt, geoteam Ingenieurgesellschaft mbH, Dortmund, datiert 05.03.2013
- [U 2] Richtlinie RIL 836 der Deutschen Bahn AG: Erdbauwerke und sonstige geotechnische Bauwerke planen, bauen und instandhalten, Fassung vom 20.12.1999a, 2. Aktualisierung, gültig ab 01.02.2013, DB Netz AG
- [U 3] Bericht 00.153_B03a, Bodenmanagement Stadtbahnlinie U81, Freiligrathplatz bis Flughafen Terminal, 1. Bauabschnitt, geoteam Ingenieurgesellschaft mbH, Dortmund datiert vom 06.05.2015

3 Grundlagen zur Durchführung der Erdbau - / Aushubarbeiten

3.1 Allgemeine Hinweise für die Erdarbeiten und Begriffe

Für die Planung der Erdbauwerke und der Niveaustrecken sollen im Rahmen des Gleisbaus bzw. Tunnelbaus für U-Bahn-Strecken hier auf Wunsch des Planers im Speziellen bestimmte Vorgaben der Richtlinie RIL 836 der Deutschen Bahn AG („Planung von Erdbauwerken“) [U 2] berücksichtigt werden.

Im Rahmen der bevorstehenden Aushub- und Bodenumlagerungsarbeiten ist weiter festzuhalten, dass für Erdbauarbeiten im Allgemeinen (geböschte) Baugruben gemäß DIN 4124 „Baugruben und Gräben – Böschungen, Verbau, Arbeitsraumbreiten“, Januar 2012 herzustellen sind.

Für den 1. Bauabschnitt, Trassenbereich Freiligrathplatz bis Flughafen Terminal hat geoteam im Rahmen der Gründungsberatung eine Baugrunduntersuchung in der Leistungsphase 1 und 2 durchgeführt und entsprechende Ergebnisse mit Bericht 00.153_B01 [U 1] (Baugrundgutachten), datiert 05.03.2013, vorgestellt. In diesem Gutachten hat geoteam bereits entsprechende Hinweise zur Herstellung und Sicherung solcher Baugruben und zu einer möglichen Wasserhaltung umfassend vorgestellt. Ebenfalls sind die bodenmechanischen und materialbezogenen Eigenschaften der im o.g. Trassenbereich anstehenden Böden im Bezug zu den notwendigen Aushubarbeiten bereits zusammenfassend dokumentiert. Nachfolgend werden noch ergänzende Hinweise für den Erdbau der Niveaustrecken und des Erdbaus erstellt.

Zur Klärung der Begrifflichkeiten werden hier nochmal Auszüge aus der RIL 836 aufgeführt. Unter der Schiene folgt der Oberbau. An Unterkante des Oberbaus befindet sich das Planum. Unterhalb des Planum befindet sich der Unterbau bzw. ggf. ein Erdbauwerk (Damm).

An Unterkante des Unterbaus bzw. an Oberfläche des darunter folgenden Untergrundes befindet sich "OFU - Oberfläche Untergrund", das häufig auch als Erdplanum bezeichnet wird.

Bild A 99.1 Begriffe bei Schotteroberbau (SchO), Regelwerkszuordnung				
Oberbegriffe	Ebenen	Schichten	Stoffe	Regelwerk
	SO Schienenoberkante ▽			
Oberbau	SwOK/SwUK Schwellenober/unterkante ▽	Gleis/Schwellen (Gleis- und Weichenkonstruktion)	Schienen, Schwellen, Schienenbefestigungen	Ril 820
	OFTS Oberfläche Tragschicht ▽	Bettung	Gleisschotter	Ril 820
	Pl Planum ▽	Schutzschichten PSS / FSS	Baustoffgemische grobkörnige Böden *)	Ril 836
Unterbau (Erdbauwerk)	OFU Oberfläche Untergrund ▽	verbesserte Damm- schüttung/ verbesserter Unter- grund	verbesserte Böden, Baustoffgemische	Ril 836
		Damm	geschüttete Böden	Ril 836
Untergrund		Untergrund	anstehender Boden	Ril 836

PSS/FSS gem. Ril 217.0103 Teil des Bahnkörpers, die erstmalige Herstellung ist aktivierungspflichtig

Abbildung 2: Verzeichnis der Begriffe bei Schotteroberbau - Auszug aus Ril 836 3. Aktualisierung 2014

3.2 Baugrundverhältnisse im Bereich der Niveaustrecken und des Erddamms

In Ergänzung zu den Baugrunduntersuchungen der Leistungsphasen 1 und 2 sind weitere Bodenaufschlüsse durch Kleinrammbohrungen (KRB, Kleinrammbohrverfahren nach DIN ISO EN 22475-1) und Sondierung mit der mittelschwereren Rammsonde (DPM nach DIN ISO EN 22476-2) durchgeführt worden.

Im gesamten Bereich der geplanten Niveaustrecken und des Erddamms stehen in Tiefen von 0 m bis stellenweise max. 2,8 m u. GOK Auffüllungen an, die aus gemischtkörnigen und grobkörnigen Böden mit wechselnden bindigen (schluffigen) Anteilen, teilweise auch mit Ziegel- und Bauschuttresten durchsetzt, bestehen. Die Auffüllungen können in die Bodengruppen nach DIN 18196 als A [UL, UM, GW, GI, GU, SW, SU] eingeordnet werden. Darunter stehen mehrheitlich gewachsene Sande an. Die Sande können als SW, SI, SU, oder SE nach DIN 18196 gruppiert werden. Eine detaillierte Ansprache dieser Böden ist im Baugrundgutachten vorgestellt und kann den im Längsschnitt der geplanten Trasse angeordneten Bohrprofilen in Anlage 2 stichprobenartig entnommen werden.

Gemäß der Bodenklassenzuordnung nach DIN 18196 sind diese hauptsächlich den grobkörnigen Gruppen GW, GI, GE, SW, SI, SE oder den gemischtkörnigen Gruppen GU*, GU, SU* und SU zuzuordnen. Mit Blick auf die ebenfalls in Anlage 2 aufgeführten Rammdiagramme, die jeweils Sondierungen mit der schweren Ramm-

sonde DPH darstellen, ist festzuhalten, dass die oberflächennah anstehenden Böden überwiegend mindestens eine mitteldichte Lagerung bzw. eine steife Konsistenz aufweisen. Nur vereinzelt sind lockere Lagerungen oder weiche Konsistenzen angetroffen worden. Den entsprechenden Hinweis geben hier die Schlagzahlen mit der schweren Rammsonde DPH von $N_{10} \geq 5$, teilweise $N_{10} \geq 10$ (entsprechend Eindringwiderstände $q_c \approx \geq 7 \text{ MN/m}^2$ bis 15 MN/m^2) bzw. die Schlagzahlen der mittelschweren Rammsonde DPM von $N_{10} \geq 8$, teilweise $N_{10} \geq 15$.

Südliche Niveaustrecke (Abschnitte 1 bis 3)

Im Bereich der südlichen Niveaustrecke wurden Kleinrammbohrungen und Bohrungen (Kleinrammbohrverfahren nach DIN EN ISO 22475-1:2006 $\varnothing \leq 80 \text{ mm}$) zur Erkundung des Schichtaufbaus bis in Tiefen von mind. 4,5 m unter Ansatzstelle durchgeführt. Die Bohrprofile sind in Anlage 2 dargestellt.

Für Stadtbahnstrecken, für die die Vorgaben der RIL 836 angewendet werden, bestimmt sich der Baugrund über den abzusichernden Bereich, der bis 1,5 m unter Schienenoberkante (SO) reicht. Die entsprechenden Tiefenbereiche sind in Bodenprofilen der Anlage 2 eingezeichnet.

Im Bereich der südlichen Niveaustrecke stehen im abzusichernden Bereich überwiegend nichtbindige Böden Kiese und Sande mit unterschiedlich stark ausgeprägten Beimengungen von bindigen Anteilen aus Schluff an (Bodengruppen SU, GU, SU*, GU*). Stellenweise sind auch Auenablagerungen als gemischt- bis feinkörnige Böden nach DIN 18196 (SU*, UL, UM, TL, TM) vorhanden. Darunter folgen Kiese und Sande der Niederterrasse (Bodengruppen GW, GI, GE, SW, SI, SE).

Die Lagerungsdichte wurde mit Rammsondierungen (DPM nach DIN EN ISO 22476-2:2005) als indirektes Verfahren untersucht. Die nicht bindigen Bodenschichten weisen überwiegend eine mitteldichte bis dichte Lagerung auf. Lediglich bei der Erkundung KRB 2/3 wurden anthropogene Auffüllungen aus Sand mit Beimengungen von Ziege- und Glasbruch aufgeschlossen, die gerade noch eine mitteldichte Lagerung aufweisen. Im Abschnitt 3 sind zudem im abzusichernden Bereich auch Auenablagerungen als sandige bis schwachsandige Schluffe in überwiegend steifer Konsistenz aufgeschlossen worden (vgl. Bohrungen B 3/1 und B 4/1).

Erdamm und nördliche Niveaustrecke (Abschnitte 7 und 8)

Auch in diesen Teilabschnitten wurden Baugrunderkundungen mit Kleinrammbohrungen und Rammsondierungen durchgeführt. Die Bodenprofile sind ebenfalls in Anlage 2 dargestellt. Als Baugrund im abzusichernden Bereich stehen hier nichtbindige Auffüllungen aus Sanden und Kiesen mit unterschiedlich stark ausgeprägten

Beimengungen von bindigen Böden (Schluff, Ton) an. Nach DIN 18196 sind dies als gemischt- bis grobkörniger Boden zu gruppieren (Bodengruppen A [UL, UM, GW, GI, GU, SW, SU]). Die nichtbindigen Schichten weisen überwiegend eine mitteldichte Lagerung auf, wobei im Bereich der Kleinrammbohrung KRB 6/1 lokal auch dichte bis sehr sichte Lagerungen festgestellt worden sind. Mit den Kleinrammbohrungen KRB 6/2 und KRB 6/3 wurden unterlagernd auch natürliche Auenablagerungen aufgeschlossen, die aber für den Erdbau der Niveaustrecke oder dem Erddamm keine Relevanz haben.

3.3 Anforderungen an das Erdplanum

Im Rahmen der Erdbauarbeiten / Bodenaushübe und Wiederverfüllung ist ein Erdplanum (=OFU – Oberfläche Untergrund) herzustellen, das ausreichend tragfähig sein muss. Der abzusichernde Bereich reicht bis 1,5 m unter SO (Schienenoberkante), s. RIL 836 [U 2]. Im Allgemeinen muss für das Planum ein Verformungsmodul E_{v2} von $\geq 45^\circ \text{MN/m}^3$ nachgewiesen werden. Insbesondere die unterhalb des Planums befindlichen Bodenschichten sollten ausreichend verdichtet sein bzw. eine ausreichende Tragfähigkeit aufweisen. Nach vorgenannter RIL 836 [U 2] ist hier eine mindestens weiche Konsistenz ($I_c \leq 0,6$) bzw. eine mindestens lockere Lagerung ($D \geq 0,2$) erforderlich. Dies ist nach den punktuellen Bodenaufschlüssen in allen Bereichen der Niveaustrecken erfüllt. Falls dazwischen Bodenpartien mit geringeren Tragfähigkeiten angetroffen werden sollten, ist die entsprechende Tragfähigkeit der anstehenden Böden ggfs. durch Bodenaustausch und Verdichtung zu erzielen.

Die gemischt- und grobkörnigen Böden (Bodengruppen GU, GW, SU, SW nach DIN 18196), die im abzusichernden Bereich aufgeschlossen worden sind, besitzen eine ausreichend hohe Wasserdurchlässigkeit ($k_f \approx 10^{-4} \text{ m/s}$), so dass eine Versickerung von Niederschlagswasser in der Betriebszeit möglich ist. Bezüglich der Frostempfindlichkeit sind diese Böden gemäß ZTVE in die Frostschutzklasse F 2 (gering bis mittel frostempfindlich) einzustufen. Im Abschnitt 3 (Ausfädelung) stehen auch feinkörnige Böden an, die i.d.R. eine geringere Durchlässigkeit aufweisen. Allerdings sind an der bestehenden Gleisanlage der U79 in diesem Bereich noch keine negativen Auswirkungen wegen mangelnder Versickerungsfähigkeit festgestellt worden, sodass hier die Erfahrung zeigt, dass auch hier Abgabe von Niederschlägen an den Untergrund offensichtlich ausreichend ist.

3.4 Anforderungen an den Erddamm

Die Planung sieht derzeit vor, die Böschung unter einer Neigung von 1 : 1,5 auszubilden, sodass der Aufbau des Dammkörpers mit den im folgenden Abbildung 3 angegebenen Bodengruppen zu erfolgen hat.

Bild 1 Regelneigungen in Lockergesteinsböschungen an Eisenbahnstrecken (Dämme, Einschnitte)				
Bodenart		Gruppen- symbol nach DIN 18196	Böschungs- höhe	Regel- neigung
grobkörnige Bodenarten	weit gestufte und intermit- tierend gestufte Kiese	GW, GI	0 m - 12 m	1:1,5
	eng gestufte Kiese, inter- mittierend gestufte und weit gestufte Sande	GE, SW, SI	0 m - 12 m	1:1,7
	Eng gestufte Sande	SE	0 m - 12 m	1:2,0
gemischt- körnige und feinkörnige Bodenarten	Schluffige/tonige und stark schluffige/tonige Kiese	GU, GU*, GT, GT*	0 m - 6 m	1:1,6
	Schluffige/tonige und stark schluffige/tonige Sande	SU, SU*, ST, ST*	6 m - 9 m	1:1,8
	leicht, plastische Schluffe oder Tone (nur Einschnitt)	UL, TL,	9 m - 12 m	1:2,0

Abbildung 3: Regelneigung in Lockergesteinsböschungen an Eisenbahnstrecken (Dämme und Einschnitte) - Ril 836

Hiernach eignen sich für die geforderte Regelneigung von 1 : 1,5 ausschließlich grobkörnige Bodenarten in Form von weit gestuften und intermittierend gestuften Kiesen (Bodengruppe GW, GI nach DIN 18196), die der Frostempfindlichkeitsklasse F1 zuzuordnen sind und eine hohe Scherfestigkeit von $\varphi' \geq 38^\circ$ aufweisen.

Als Verbesserungsmaßnahme könnte für die bspw. anstehenden Sande, eine qualifizierte Bodenverbesserung durchgeführt werden. Eine qualifizierte Bodenverbesserung benötigt einen höheren Planungsaufwand (Eignungsprüfungen, Abauflogistik, Mietenflächen), so dass insgesamt eine Aufbereitung zwar technisch möglich aber wirtschaftlich uninteressant erscheint. Als Schüttmaterial für den Damm sind nach den o.g. Anforderungen aus der Böschungsgeometrie Kiese als Zuliefermaterial zu empfehlen.

Die zu verwendenden Schüttstoffe für den Dammkörper müssen gemäß Ril 836.4103 eine ausreichende Scherfestigkeit, Steifigkeit und Kornfestigkeit aufweisen. Zudem müssen die Schüttstoffe dauerhaft raumbeständig, verdichtungswillig und unempfindlich gegen äußere Einflüsse sein. Die Eignung der eingesetzten Materialien muss nachgewiesen werden. Straßenbaustoffe nach TL SoB-StB für Trag- und Frostschutzschichten erfüllen nach hiesiger Auffassung alle Anforderungen. Detaillierte umwelttechnische Anforderungen an die Einbaumaterialien sind im Hinblick auf den Grund-/ Gewässerschutz zu beachten.

Erdbauwerke für den Unterbau unter Gleisen sind so herzustellen, dass die ausgewiesenen Regelanforderungen an den abzusichernden Tragbereich, an Dichte und den Verformungsmodul erfüllt werden. Gemäß Ril 836

ergeben sich hinsichtlich der Verdichtung und Verformung, die in Abbildung 3 und Abbildung 4 aufgeführten Anforderungen an den Untergrund bzw. das Planum im Erweiterungsbereich der Stadtbahnlinie.

		Einstufung (v = HG VzG für durchgehende Hauptgleise, sonst örtlich zulässige v)	Abzusichernder Tragbereich (Tiefe u. SO) ¹⁾	Verdichtung D _{Pr} (neu herzustellender Unterbau ²⁾)	Untergrund/bestehender Unterbau (im Druckbereich bis zur Tiefe des abzusichernden Tragbereiches) ³⁾	Bemerkungen
Neubau	Schotteroberbau und Feste Fahrbahn	v > 230 km/h	3,0 m	100% (GW, GI, GE, SW, SI, SE, GU, GT, SU, ST)	mindestens steif (Konsistenz I _c ≥ 0,75 für bindige Böden) bzw. mitteldicht (Lagerungsdichte D ≥ 0,3 bei U < 3 bzw. D ≥ 0,45 bei U ≥ 3 für nichtbindige Böden)	bei Neuschüttung nur mit qualifizierter Bodenverbesserung ⁴⁾ einzubauen; veränderlich festes Gestein und im abzusichernden Tragbereich UA, UL, UM, TL, TM, TA, SU*, ST*, GU*, GT*
		160 km/h < v ≤ 230 km/h	2,5 m	97%, n _A ≤ 12% (GU*, GT*, SU*, ST*, U, T); unterhalb des Tragbereiches: 98% bzw. 97%, n _A ≤ 12%		
	Schotteroberbau	80 km/h < v ≤ 160 km/h	2,0 m	97% (GW, GI, GE, SW, SI, SE, GU, GT, SU, ST, OK)	mindestens weich (mit I _c ≥ 0,6 ⁵⁾ bzw. locker (mit D > 0,2) ⁶⁾	bei Neuschüttung mit qualifizierter Bodenverbesserung ⁴⁾ ; veränderlich festes Gestein
		v ≤ 80 km/h	1,5 m	95%, n _A ≤ 12% (GU*, GT*, SU*, ST*, U, T) bis Dammsohle		
Verbesserung	Schotteroberbau und FF	160 km/h < v ≤ 230 km/h	2,5 m	bei Neuschüttungen und Bodenaustausch wie Neubau ⁵⁾	mindestens steif (Konsistenz I _c ≥ 0,75 für bindige Böden) bzw. mitteldicht (Lagerungsdichte D ≥ 0,3 bei U < 3 bzw. D ≥ 0,45 bei U ≥ 3 für nichtbindige Böden)	---
		80 km/h < v ≤ 160 km/h	2,0 m			
	Schotteroberbau	v ≤ 80 km/h	1,5 m		mindestens weich (mit I _c ≥ 0,6 ⁵⁾ bzw. locker (mit D > 0,2) ⁶⁾	

Tabelle 1: Anforderungen an die Verdichtung

¹⁾ für Neubau, bei Verbesserung nur als Anhaltswert zu verwenden (siehe auch Ril 836.3001 und Ril 836.4105). Als abzusichernder Tragbereich ist die gesamte Planumsbreite, unter Berücksichtigung des Druckausbreitungswinkels, anzusetzen. Für die erforderliche Breite des Bodenaustausches im Bestand siehe Ril 836.4103 Abs. 4(7).

²⁾ abweichend von ZTVE-StB 09 Tab. 2 sind für Neuschüttungen folgende Bodengruppen ausgenommen: OH, OT.

³⁾ für Bodengruppen entsprechend ZTVE-StB Tab. 2, kann nach Maßgabe des geotechnischen Gutachters auch abweichend festgelegt werden. Bei Vorhandensein der entsprechenden Lagerungsdichte und/oder Konsistenz kann von einem für einen gebrauchstauglichen Fahrweg ausreichend tragfähigen Untergrund ausgegangen werden, wenn die Entwässerung gewährleistet ist.

⁴⁾ nach gutachterlicher Bewertung, für die Anforderungen an die qualifizierte Bodenverbesserung siehe Ril 836.4102 A07 und 4103 Abs. 12. Nach gutachterlicher Bewertung können auch alternativ bei Verwendung dieser Böden ohne qualifizierte Bodenverbesserung die Anforderungen an den Luftporenanteil gemäß ZTVE-StB 09 Kap. 4.3.2, Tab. 2, Fußnote 4, angesetzt werden.

⁵⁾ kann objektspezifisch auch durch geotechnischen Gutachter festgelegt werden, wenn kurze Gleisabschnitte betroffen sind (z.B. um gleichmäßige Auflagerbedingungen im Übergang zum Bestand zu gewährleisten)

⁶⁾ Die Konsistenzgrenze für breiig zu weich liegt bei 0,5; damit jedoch evtl. schwingungsempfindliche Böden ausgeschlossen werden, ist die Mindestanforderung für die Konsistenz mit I_c ≥ 0,6 festgelegt (siehe Ril 836.3001 Abs. 7(2)). Die Grenze der Lagerungsdichte locker zu sehr locker ist i.A. mit D = 0,15 angegeben. Ein Mindestwert von 0,2 soll auch evtl. verlagerungsempfindliche Böden ausschließen.

Abbildung 4: Anforderung an die Verdichtung des Unterbaus - Ril 836

Nach den oben aufgeführten Anforderungen in Abbildung 4 beträgt der abzusichernde Tragbereich, d.h. die Tiefe unter Schienenoberkante, mindestens 1,5 m aufgrund der Einstufung nach Höchstgeschwindigkeit v ≤ 80 km/h für den Neubau mit Schotteroberbau. Hiernach sind Verdichtungsgrade des Materials von D_{Pr} ≥ 97% durchgängig von OK Planum bis OK Untergrund bzw. bis zur Dammsohle gefordert.

geoteam empfiehlt unter Berücksichtigung der verschiedenen Aufbauarten (Schotteroberbau mit Betonschwellen, Gleisrostbalken sowie Schotteroberbau und Feste Fahrbahn) im Hinblick auf eine Minimierung von Setzungen und Setzungsdifferenzen die Anforderungen an den Untergrund dahingehend anzupassen, dass bei

anstehenden bindigen Böden eine mindestens steife Konsistenz (mit $I_c \geq 0,75$) bzw. bei nichtbindigen Böden eine mitteldichte Lagerungsdichte mit $D \geq 0,3$ bei $U < 3$ bzw. $D \geq 0,45$ bei $U \geq 3$ vorliegenden sollte.

		Einstufung (v = HG VzG für durchgehende Hauptgleise, sonst örtlich zulässige v)	Abzusichernder Tragbereich (Tiefe u. SO) ¹⁾	Regelwert E_{v2}/E_{vd} in MN/m ² OK Schutzschicht (OFTS)	Regelwerte E_{v2}/E_{vd} ^{2) 3)} Planum Neuschüttungen wie Neubau
Neubau	Schotteroberbau und Feste Fahrbahn	$v > 230$ km/h	3,0 m	120/50	SchO: 80/40
		160 km/h < $v \leq 230$ km/h	2,5 m		FF: 60/35
	Schotteroberbau	80 km/h < $v \leq 160$ km/h	2,0 m	100/45	45/30
		$v \leq 80$ km/h	1,5 m	80/40	45/25
Verbesserung	Feste Fahrbahn	160 km/h < $v \leq 230$ km/h	2,5 m	100/45	(45/30)
	Schotteroberbau	160 km/h < $v \leq 230$ km/h	2,5 m	80/40	(45/25)
		80 km/h < $v \leq 160$ km/h	2,0 m	50/35	(20/20) ⁴⁾
		$v \leq 80$ km/h	1,5 m	40/30	(20/20) ⁴⁾

Tabelle 2: Anforderungen an den Verformungsmodul

¹⁾ für Neubau, bei Verbesserung nur als Anhaltswert zu verwenden (siehe auch Ril 836.3001 und Ril 836.4105). Als abzusichernder Tragbereich ist die gesamte Planumsbreite, unter Berücksichtigung des Druckausbreitungswinkels, anzusetzen. Für die erforderliche Breite des Bodenaustausches im Bestand siehe Ril 836.4103 Abs. 4(7).

²⁾ Bei Neuschüttungen im Zuge von Verbesserungsmaßnahmen gelten die Regelwerte des Neubaus. Die Richtwerte für die Verbesserung sind für den Druckausbreitungsbereich maßgebend. - Die Regelwerte (Neubau) auf dem Planum sollen erfüllt werden. Die Regelwerte der Verbesserung sollen angestrebt werden, um nach Ril 836.4101A02 eine möglichst dünne Tragschichtdicke zu erreichen. Im Rahmen der geotechnischen Bewertung können ortsspezifisch Kontroll- bzw. Prüfwerte neu festgelegt werden, z.B. können die Eingangswerte E_{p1} für die Dickenbestimmung (siehe Ril 836.4105A05) angesetzt werden oder der sich aus der Rückrechnung ergebende E_{p1} für eine vorgesehene Dicke.

³⁾ E_{vd} -Werte gelten für gemischt- und feinkörnige Böden, Werte für grobkörnige Böden sind um jeweils 5 MN/m² zu erhöhen.

⁴⁾ Hinweis: Bei Befahren des Planums mit schweren Transportfahrzeugen ist ein $E_{v2} \geq 30$ MN/m² auf dem Planum erforderlich, damit keine Schädigung des Planums eintreten kann (z.B. tiefe Spurrillen). Bei aufweichungsgefährdeten Böden ist zur Aufrechterhaltung des Baubetriebes eine Bodenverbesserung des Planums mit Bindemittel sinnvoll, um die Tragfähigkeit des Planums auch nach Niederschlägen zu gewährleisten.

Abbildung 5: Anforderung an den abzusichernden Tragbereich - Ril 836

In Abbildung 5 sind zudem die Anforderungen an die Oberkante der Schutzschicht bzw. Oberfläche Tragschicht (OFTS) angegeben. Hinsichtlich des Planums / Untergrundes im abzusichernden Tragbereich sind nach Abbildung 5 Regelwerte für die Verformungsmoduln $E_{v2}/E_{vd} \geq 45/25$ MN/m² gefordert. In der nachfolgenden Abbildung 6 sind die aus den zitierten Tabellenwerken aufgeführten Anforderungen bzgl. des abzusichernden Tragbereichs unterteilt nach Bereichen $SO-OFU < 1,5$ m $\leq SO-OFU$ als Skizze dargestellt.

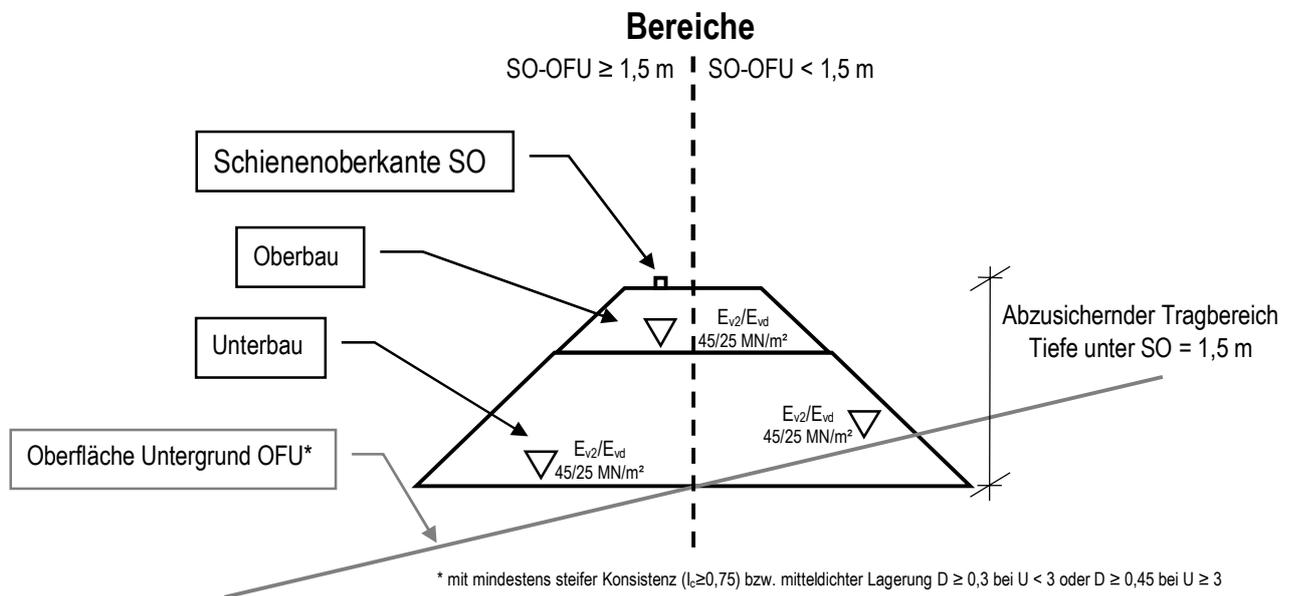


Abbildung 6: Skizze - Abzusichernder Tragbereich - Zusammenfassung der Anforderungen an den Verformungsmodul

Durch die geplante, bis etwa 3,4 m hohe Dammschüttung wird eine Auflast auf den Untergrund aufgebracht, die mit Verformungen einhergeht. Nach einer überschlägigen Last-Verformungsabschätzung belaufen sich die zu erwartenden Setzungen auf eine Größenordnung von $s \approx 2$ cm. Zusätzlich muss mit Eigenverformungen der neuen Dammschüttung von ca. 1 cm gerechnet werden. Es ist davon auszugehen, dass sich etwa 75% der zu erwartenden Setzungen mit der Fertigstellung des Dammbauwerkes bereits eingestellt haben werden. Die restlichen 25%, d.h. etwa 0,5 - 1,0 cm können im Laufe der späteren Nutzung auftreten.

4 Erdbautechnische Hinweise

Sofern die örtlichen Platzverhältnisse es zulassen, können erforderliche Baugruben- bzw. Böschungssicherungen unter Berücksichtigung der DIN 4124 „Baugruben und Gräben“ - Böschungen, Verbau, Arbeitsraumbreiten angelegt werden. Sollten die Planungen die Voraussetzungen der DIN 4124 nicht erfüllen, sind zusätzliche Sicherungsmaßnahmen z.B. in Form von Verbauten zu ergreifen oder Standsicherheitsnachweise entsprechend den örtlichen Randbedingungen explizit zu führen. geoteam steht hierfür gerne zur Verfügung.

Im Bereich der Baumaßnahme des Dammkörpers stehen im Untergrund gewachsene und aufgefüllte Bodenpartien an. geoteam empfiehlt das Untergrundplanum sowie das Erdplanum stichprobenartig abnehmen zu lassen.

Sollten sich im Bereich des freigelegten Untergrundes keine ausreichenden Tragfähigkeiten nachweisen lassen, sind Verbesserungsmaßnahmen zur Erzielung ausreichender Tragfähigkeiten durchzuführen. Zur Ertüchtigung des Baugrundes kommen hier vor allem eine Nachverdichtung, ggf. auch verdichteter Wiedereinbau der anstehenden Materialien in Frage. Ein Bodenaustausch im Falle von nicht verdichtbaren (weichen bindigen) Böden unter dem Erdplanum kann z.B. durch Verwendung eines Schotters 0/45 mm bzw. eines Kies-Sand-Gemisches 0/32 mm erfolgen.

Etwaig anstehende bindige Auenablagerungen sind vorsichtig zu bearbeiten. Die bindige Bodenarten sind als witterungs- und bewegungsempfindlich einzustufen. Der Aushub hat daher in Fällen von anstehendem bindigen Untergrund unbedingt rückschreitend mit einer Baggerschaufel mit glatter Schneide zu erfolgen. Darüber hinaus ist abschnittsweise vorzugehen. Das Planum ist zum Schutz vor Witterungsmaßnahmen und weiterer Bautätigkeit unmittelbar nach ausschließlich statischer Verdichtung mit den Materialien einer Planumsschutzschicht mit einer Mindestschichtdicke $d \geq 20$ cm zu bedecken. geoteam empfiehlt das Untergrundplanum sowie das Erdplanum stichprobenartig abnehmen zu lassen.

5 Qualitätssicherung

Für das zu erstellende Erdbauwerk und den Niveaustrecken anstehenden Untergrund sollte aus hiesiger Sicht eine Qualitätssicherung vorgesehen werden. Die Qualitätssicherung sollte sich aus der Eigenüberwachung des ausführenden Unternehmens und der Fremdüberwachung durch den Bauherrn zusammensetzen, um die gestellten Anforderungen an Material und Einbau sicherzustellen. Hinsichtlich der Eigenüberwachung sollten die in der ZTVE-StB 2009 Tabelle 8 (siehe Abbildung 7) angegebene Mindestanzahl der Eigenüberwachungsprüfungen angesetzt und im Leistungsverzeichnis ausgeschrieben werden.

Der Umfang der Fremdüberwachung liegt üblicherweise bei etwa $\frac{1}{4}$ der Eigengenüberwachung. Für die gelieferten Stoffe zum Erd- und Dammbau, mit Unter- und Oberbau, ist die jeweilige Eignung durch den Auftragnehmer nachzuweisen. Einschnitts-, Damm- und sonstige Sohlen sollten vor der weiteren Überbauung begutachtet werden, besonders um die Konformität mit den Baugrundaufschlüssen festzustellen.

Tabelle 8: Mindestanzahl der Eigenüberwachungsprüfungen

Zeile	Bereich	Mindestanzahl
1	Planum, Unterbau, Untergrund	1 je angefangene 1 000 m ² , mindestens jedoch 2 Prüfungen
2	Bauwerks-hinterfüllung	siehe Abschnitt 14.6
3	Bauwerks-überschüttung	3 innerhalb des ersten Meters der Überschüttung
4	Leitungsgräben	3 je 150 m Länge pro m Grabentiefe
5	bei kommunalen Straßen und bei abschnittweisem Bauen	1 je angefangene 1 000 m ² , mindestens aber je 100 m und mindestens 2 Prüfungen

Abbildung 7: Mindestanzahl der Eigenüberwachungsprüfungen - ZTVE-StB 2009 Tabelle 8

6 Abschließende Hinweise

Die vorgestellte Begutachtung basiert auf dem Planungsstand Mai 2014. Sollten sich in der weiteren Planung Änderungen ergeben, ist die Berichterstattung fortzuschreiben.

Für Rückfragen stehen wir Ihnen gerne zur Verfügung.

geoteam Ingenieurgesellschaft



Dr.-Ing. Stephan Gutjahr
ppa.



Dr.-Ing. Klaus Haubrichs
Geschäftsführer

Anlagen: s. Anlagenverzeichnis

Verteiler: 2-fach schriftlich an LDH, Amt 66/4

per Mail an LHD (axel.mueller@duesseldorf.de)

IGV (burkhard.rieche@voessing.de, gherbrand@grassl-ing.de)