



DR. SPANG

INGENIEURGESELLSCHAFT FÜR BAUWESEN, GEOLOGIE UND UMWELTECHNIK MBH

DB Netz AG Koblenz
Regionalbereich Mitte 5563
Herr Frank Ortmeier
Frankenstraße 1-3
56068 Koblenz

Projekt-Nr.	Datei	Diktat	Büro	Datum
38.5690	P5690B180420.docx	Nm/Kuj	Witten	20.04.2018

DB-Strecke 6343
BF HEDEMÜNDEN – BF HANN. MÜNDEN
km 187,010– km 187,140 I.d.B.

- Geotechnische Begutachtung der Felsböschung -

Bestellung 0016/UCX/27355543
vom 21.11.2017

Gesellschaft: HRB 8527 Amtsgericht Bochum, USt-IdNr. DE126873490, Geschäftsführer Dipl.-Ing. Christian Spang

Zentrale Witten: Rosi-Wolfstein-Straße 6, D-58453 Witten, Tel. (0 23 02) 9 14 02 - 0, Fax 9 14 02 - 20, zentrale@dr-spang.de
<http://www.dr-spang.de>

Niederlassungen: 73734 Esslingen/Neckar, Weilstr. 29, Tel. (0711) 351 30 49-0, Fax 351 30 49-19, esslingen@dr-spang.de
60528 Frankfurt/Main, Rennbahnstraße 72 – 74, Tel. (069) 678 65 08-0, Fax 678 65 08-20, frankfurt@dr-spang.de
09599 Freiberg/Sachsen, Halsbrücker Str. 34, Tel. (03731) 798 789-0, Fax 798 789-20, freiberg@dr-spang.de
21079 Hamburg, Harburger Schloßstraße 30, Tel. (040) 524 73 35-0, Fax 524 73 35-20, hamburg@dr-spang.de
06618 Naumburg, Wilhelm-Franke-Straße 11, Tel. (03445) 762-25, Fax 762-20, naumburg@dr-spang.de
90491 Nürnberg, Erlenstegenstr. 72, Tel. (0911) 964 56 65-0, Fax 964 56 65-5, nuernberg@dr-spang.de
14482 Potsdam, Wetzlarer Straße 64, Tel. (0331) XXX XX XX-X, Fax XXX XX XX-X, berlin@dr-spang.de

Banken: Deutsche Bank AG, Witten, IBAN: DE42 4307 0024 0813 9511 00, BIC: DEUTDE33HAN
Stadtsparkasse Witten, IBAN: DE59 4525 0035 0000 0049 11, BIC: WELADED1WTN



INHALT	SEITE
1. ALLGEMEINES	4
1.1 Projekt	4
1.2 Auftrag	4
1.3 Unterlagen	5
1.4 Untersuchungen	6
2. GEOTECHNISCHE VERHÄLTNISSE	6
2.1 Morphologie und Vegetation	6
2.2 Gesteine	7
2.3 Lagerungsverhältnisse und Trennflächen	7
2.4 Bergwasserverhältnisse	10
2.5 Geotechnische Besonderheiten	11
2.6 Bauwerke	12
3. HOMOGENBEREICHE UND KENNWERTE	12
3.1 Felskennwerte	12
3.2 Homogenbereiche	13
3.2.1 Allgemeines	13
3.2.2 DIN 18 300 Erdarbeiten	14
3.2.3 DIN 18 301 Bohrarbeiten	16
3.2.4 DIN 18 320 Landschaftsarbeiten	18
4. UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE	18
4.1 Begriffe	18
4.2 Lokale Standsicherheit	19
4.3 Globale Standsicherheit	20
5. RISIKOBEURTEILUNG	21
5.1 Methodischer Ansatz	21
5.2 Risikoanalyse	23
5.3 Risikozonierung	24



6.	EMPFEHLUNGEN	25
6.1	Sicherungsvorschlag	25
6.2	Baukosten	25
7.	ZUSAMMENFASSUNG	26
8.	ANLAGEN	
	Anlage 1: Übersichtslageplan 1 : 100.000 (2)	
	Anlage 2: Lageplan 1 : 1.000 (2)	
	Anlage 3: Dokumentation der Geländebegehung (2)	
	Anlage 4: Dokumentation des Trennflächengefüges (2)	
	Anlage 5: Standsicherheitsuntersuchung (4)	
	Anlage 6: Fotodokumentation (7)	
	Anlage 7: Kostenschätzung (2)	



1. ALLGEMEINES

1.1 Projekt

Die zweigleisige, elektrifizierte DB-Strecke 6343, Hannover bis Kassel, verläuft zwischen km 187,010 und km 187,140 entlang des nördlichen Gleithangs der Werra. Unterhalb der in einer Rechtskurve verlaufenden Strecke liegt die B80 (Anlage 1). Die Strecke liegt in Anschnittslage, ab ca. km 187,010 in einem Einschnitt, in dem die Trasse den südwestlichen Bergsporn des Burgberges quert. Im Rahmen eines erstmaligen Einbaus eines Böschungssicherungssystems ist zur Festlegung der zu sichernden Bereiche eine geotechnische Begutachtung der Böschung an der DB-Strecke erforderlich [U 13].

1.2 Auftrag

Mit Bestellung 0016/UCX/27355708 vom 21.11.2017 auf Basis des Rahmenvertrags 1000/EBO/92252389 erhielt die Dr. Spang GmbH von der DB Netz AG Koblenz den Auftrag, die Böschung links der DB-Strecke 1732 zwischen km 187,010 und 187,140 links der Bahn geotechnisch zu untersuchen. Unter anderem waren folgende Leistungen zu erbringen.

- **Geotechnische Aufnahme** einschließlich Aufnahme und Beschreibung der geologischen Gegebenheiten und Darstellung der geotechnischen Untersuchungsergebnisse.
- **Nachweis der Standsicherheit** der Böschung unter Berücksichtigung des Trennflächengefüges; Beurteilen der globalen und lokalen Standsicherheit.
- **Bewerten der Geländeuntersuchungen** mit einer Empfehlung für durchzuführende Sicherungsmaßnahmen.
- **Einholung von Leitungsplänen**
- **Kampfmittelvorerkundung**

Nachstehend werden die Ergebnisse der Geländeuntersuchung zusammengefasst und erläutert.



1.3 Unterlagen

Zur Bearbeitung des Projektes wurden die nachfolgend aufgeführten Unterlagen verwendet:

- [U 1] **Geologische Karte 1 : 25.000**; Blatt 4624 Hedemünden, Hessisches Landesamt für Bodenforschung, Wiesbaden, 1996.
- [U 2] **Lageplan (IVL) 1: 1000, DB-Strecke 6343**, Halle (S) Hbf – Hann Münden, km 186,8+96 – km 187,5+15, Stand 12/2011.
- [U 3] <http://www.bfn.de>; Bundesamt für Naturschutz, Schutzgebiete in Deutschland.
- [U 4] <http://www.umweltkarten-niedersachsen.de>, Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz, Wasserschutzgebiete.
- [U 5] **MÜLLER, L.**: Der Felsbau, 1. Band: Grundlagen.- Stuttgart, 1978.
- [U 6] **HINZEN, A.**: Der Einfluss des menschlichen Faktors auf die Sicherheit der Eisenbahn. – ETR 45 (1996).
- [U 7] **RAETZO, H. et al.**: Hazard assessment in Switzerland – Codes of Practice for mass movements. – Bull.Eng.Geol.Env. (2002) 61: 263-268.
- [U 8] **PIERSON, L.A. et al.**: Rockfall Catchment Area Design Guide. Final Report SPR-3(032). – Oregon Department of Transportation, 12/2001.
- [U 9] **SCHWINGENSCHLÖGL, R. & WEISS, E.H.**: Ingenieurgeologische Probleme bei der Boden- und Felsklassifikation im Autobahnabschnitt A 2. – Felsbau 3 (1985) Nr. 4, Essen.
- [U 10] **Karte der Frosteinwirkungszonen in Deutschland 1:750.000**, Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Bergisch Gladbach, 2012.
- [U 11] **Grundbau-Taschenbuch**, Teil 2, Geotechnische Verfahren. Stuttgart, 2009.



[U 12] DB-Strecke 6343, km 187,010 – 187,140 / Kampfmittelauskunft, LGLN, Kampfmittelbeseitigungsdienst, Schreiben vom 08.02.2018.

[U 13] Auszug aus dem Projekthandbuch zum Projekt „Römerlager II“, Seite 3 bis 5 T.016073811, DB Netz AG, zuletzt geändert am 05.10.2017, zugestellt mit Angebotsanfrage vom 24.10.2017.

1.4 Untersuchungen

Die geologische Geländeaufnahme wurde durch die Unterzeichner am 06.03.2018 durchgeführt. Im Zuge der Geländeaufnahme wurden die geologischen Verhältnisse und das Trennflächengefüge aufgenommen sowie die felsmechanisch relevanten Kennwerte geschätzt. Hierzu wurde die Böschung im untersuchten Bereich zu Fuß begangen. Aufgrund der morphologischen Gegebenheiten vor Ort (Beginn und Ende der Anschnittsböschung) wurde das Untersuchungsgebiet auf den Bereich zwischen km 187,010 und 187,142 erweitert.

Der Untersuchungsbereich ist in den als Anlage 1 und 2 beigefügten Lageplänen eingetragen. Anlage 3 enthält die Dokumentation der Geländebegehung. In Anlage 4 sind die aufgenommenen Gefügewerte dokumentiert, mit denen in Anlage 5 eine Standsicherheitsuntersuchung durchgeführt wurde. Als Anlage 6 ist eine Fotodokumentation des untersuchten Abschnitts enthalten. In Anlage 7 ist eine Kostenschätzung enthalten.

2. GEOTECHNISCHE VERHÄLTNISSE

2.1 Morphologie und Vegetation

Der Untersuchungsbereich liegt im Weserbergland ca. 1 km westlich des Ortsteils Hedemünden der Stadt Hann. Münden, Niedersachsen. Das hügelige Bergland mit Kuppenhöhen von bis zu ca. 215 m NHN wird von der Werra eingeschnitten, welche südwestlich des Untersuchungsbereichs von Westen nach Norden fließt. Das Untersuchungsgebiet liegt an einem Gleithang der Werra.



Die DB-Strecke verläuft in Einschnittslage. Der Untersuchungsabschnitt beginnt links der DB-Strecke bei etwa km 187,010. Die Höhe der Einschnittsböschung steigt von 0 m auf etwa 3 m bis ca. km 187,020 an. Bis ca. km 187,090 nimmt die Höhe sukzessive auf ca. 6 m zu und bleibt bis zum Ende des Untersuchungsabschnitts etwa konstant bei dieser Höhe. Zu Beginn des Untersuchungsgebiets beträgt die Neigung zwischen ca. 50° und ca. 60° und versteilt sich ab ca. km 187,030 auf ca. 60° bis 70°. Lokal sind aufgrund von Felsausbissen Neigungen bis ca. 90° möglich. Hinsichtlich der Morphologie der einzelnen untersuchten Abschnitte wird auf die Ausführungen in Anlage 3 verwiesen.

Die Vegetation der Böschung besteht überwiegend aus Gras und Moosbewuchs, vereinzelt tritt Strauchbewuchs auf. Die steilen Felsausbisse weisen stellenweise Moosbewuchs auf.

2.2 Gesteine

Nach der geologischen Karte [U 1] stehen im Untersuchungsbereich Gesteine des mittleren Buntsandsteins (sm) an, bei denen es sich um grobkörnige Sandsteine handelt. Im Zuge der Geländebegehung diese auch angetroffen. Das Gestein ist im frischen Zustand rötlich braun, angewittert gelblich bis bräunlich. Die Festigkeit der mäßig verwitterten Gesteine wird nach DIN EN ISO 14689-1 als hoch eingeschätzt. Die Gesteine haben eine gute bis sehr gute Kornbindung; die Raumausfüllung ist dicht.

Die Lockergesteinsdecke talseitig besteht augenscheinlich aus einer geringmächtigen **Hanglehm und -schuttdecke**. Die Mächtigkeit der Decke wird auf maximal 1 bis 1,5 m geschätzt; für die globale Standsicherheit ist sie ohne Belang.

2.3 Lagerungsverhältnisse und Trennflächen

Das Untersuchungsgebiet ist Teil des Niedersächsisch-Hessischen Berglandes. Die im Untersuchungsgebiet anstehenden Gesteinsschichten sind nach [U 1] nahezu söhlig gelagert.

Im Hinblick auf die Einteilung der anstehenden Locker- und Festgesteine nach VOB/C (Ausgabe 2016) wird auf Kapitel 3.2 verwiesen. Hinsichtlich der Lagerung und Ausbildung der Trennflächen



sowie der Böschungsorientierung kann das anstehende Festgestein zu **einem Homogenbereich** zusammengefasst werden.

Die Schichten liegen annähernd sölilig, ein schwaches Einfallen in südöstliche Richtung kann beobachtet werden. Nach DIN EN ISO 14689-1 kann der mechanisch wirksame Schichtflächenabstand als „mittel“ bis „dick“ beschrieben werden; die Öffnungsweite liegt zwischen 2 und 21 mm und kann als „offen“ bis „weit“ bezeichnet werden. Die Schichtflächen sind überwiegend ohne Füllung, vereinzelt treten Mutterboden oder verwitterte Gesteinsreste in Form von Sand auf.

Die Elemente der Hauptklufscharen K1 und K2 zeigen einen mittleren Durchtrennungsgrad; hinsichtlich der Abstände können die Scharen nach DIN EN ISO 14689-1 als „eng-“ bis „weitständig“ beschrieben werden. Die Böschungsoberfläche wird überwiegend durch die steilstehenden Elemente der Hauptklufschar K1 gebildet. Die Öffnungsweiten der Trennflächen der Hauptklufschar K1 liegen zwischen 3 und 30 mm und sind nach DIN EN ISO 14689-1 als „gemäßigt weit“ bis „weit“ zu beschreiben. Die Trennflächen der Hauptklufschar K2 zeigen Öffnungsweiten zwischen 4 und 70 mm; sie können als „gemäßigt weit“ bis „weit“ bezeichnet werden. Mit Bezug auf die Öffnungsweite ist anzumerken, dass die ermittelten Öffnungsweiten insbesondere oberflächennah durch Wurzeldruck o.ä. bereits beeinflusst worden und dementsprechend z.T. stark überhöht sind. Die Trennflächen der Klüfte sind wie die der Schichtung vereinzelt mit Mutterboden oder verwitterten Gesteinsresten in Form von Sand verfüllt. Die Eigenschaften der aufgenommenen Trennflächen sind in Tabelle 2.3-1 zusammengefasst.

Störungen sind nach der geologischen Karte [U 1] im Untersuchungsgebiet nicht zu verzeichnen. Im Zuge der Geländeaufnahme wurden auch keine Störungen aufgenommen.

Trennfläche	Mittlere Orientierung α / β [° / °]	Trennflächen- ausbildung [-]	Trennflächen- abstand* d [m]	Ebene Durch- trennung* χ [-]	Öffnungs- weite* [mm]
Schichtung SS	115/06	eben (bis un- eben), glatt	0,5 – 1,2 (1,0)	1,0	2 – 21 (7)
Klüftung K1	309/78	eben (bis un- eben), rau	0,3 – 1,0 (0,7)	0,4 – 0,9 (0,6)	3 – 30 (10)



Trennfläche	Mittlere Orientierung α / β [° / °]	Trennflächen- ausbildung [-]	Trennflächen- abstand* d [m]	Ebene Durch- trennung* χ [-]	Öffnungs- weite* [mm]
Klüftung K2	043/83	uneben, rau (bis glatt)	0,2 – 0,9 (0,6)	0,3 – 0,8 (0,5)	4 – 70 (25)

* Spannweite, Mittelwerte in Klammern

Tabelle 2.3-1: Eigenschaften der Trennflächenscharen

Bezeichnung	Verbandsfestigkeit		Charakteristik
gut verspannt	hoch, sehr gut	VF 1	Sehr guter Reibungsschluß der Teilkörper. Gebirge schwer lösbar, keine bevorzugte Richtung, kleiner Durchtrennungsgrad.
verspannt	gut	VF2	Einspannung der Klufkörper, Festigkeitsanisotropie gegeben. Lösbarkeit nach einer Richtung deutlich bevorzugt.
aufgelockert	mäßig	VF3	Geringer Reibungsschluß, zahlreiche offene Klüfte, Gebirge zeigt keine Festigkeitsanisotropie.
lose	gering	VF4	Klufkörper ohne Reibungsschluß, lockeres, loses Haufwerk.

Tabelle 2.3-2: Einteilung der Verbandsfestigkeit des Gebirges nach [U 9]

Die **Verbandsfestigkeit** wird nach [U 9] oberflächennah bis in eine geschätzte Tiefe von ca. 2 m bergseitig der Felsoberfläche als aufgelockert (mäßige Verbandsfestigkeit, VF3; s. Tabelle 2.3-2) eingeschätzt. Im tieferen Gebirge wird der Verband als verspannt (gute Verbandsfestigkeit, VF2) angesehen. Die Auflockerung resultiert aus Verwitterung und Wurzeldruck.

Das Gestein zerfällt beim Abgang in mehr oder weniger regelmäßige Bruchkörper, die vorwiegend durch die oben beschriebenen Trennflächen begrenzt werden. Nach den örtlichen Verhältnissen handelt es sich mit Bezug auf Abb. 2.3-1 überwiegend um **kleinblockige** bis **kleinwürfelige**, lokal um **großblockige** Körper. Die maximale **Klufkörpergröße** von möglichen Stein- und Blockschlagereignissen variiert im Untersuchungsbereich mit Bezug auf die örtlichen Gegebenheiten. Auf Basis



der Geländeaufnahme (Anlage 3) ist mit Blockgrößen bis 1,5 m³ zu rechnen. Das mögliche Gesamtvolumen der Gesteinskörper pro Sturzereignis wird auf ca. 2,0 m³ geschätzt.

Form der Kluftkörper					
Kluftabstand d [cm]					
Verhältnis $\frac{d_1}{d_2}; \frac{d_2}{d_3}$	< 1:5	1:2 bis 1:5	~ 1:1	2:1 bis 5:1	> 5:1
$d_{max} > 100$	großsäulig	großblockig	großwürfelig	quaderig-bankig	großplattig
$100 > d_{max} > 10$	kleinsäulig	kleinblockig	kleinwürfelig	kleintäfelig	schiefbrig
$d_{max} < 10$	stängelig-faserig	kubisch-ruschelig	kubisch-ruschelig	splitterig	blättrig-kleinschuppig

Abb. 2.3-1: Einteilung der Trennflächenkörperformen nach [U 5]

2.4 Bergwasserverhältnisse

Zum Zeitpunkt der Geländeaufnahme herrschte zunächst nebliges, später trockenes Herbstwetter. Die Felsausbisse waren überwiegend trocken, Wasseraustritte wurden nicht verzeichnet.

Die **Gebirgsdurchlässigkeit** hängt von der Dichtrennung, der Verwitterung sowie den Trennflächenabständen und dem Grad der Verkarstung ab. Grundsätzlich ist die Wasserwegsamkeit an die vorhandenen Trennflächen gebunden. Es handelt sich um einen **Kluftgrundwasserleiter**. Insgesamt ist das Gebirge als durchlässig nach DIN 18 130 einzustufen. Angaben über den geschlossenen **Bergwasserspiegel** liegen nicht vor; er wird jedoch deutlich unterhalb des Untersuchungsbereichs im Bereich der Werra erwartet.

Vorfluter für das Gebiet ist die Werra, die entlang des Untersuchungsgebietes zunächst in westliche und anschließend in nördliche Richtung fließt. Aufgrund dessen ist von einer südlich bis westlich gerichteten Fließrichtung des Bergwassers auszugehen.



Wasserproben für Analysen nach DIN 4030 bzw. zur Untersuchung der Gefahr von Ausfällungen oder Verockerungen wurden im Zuge der Geländeaufnahme aufgrund fehlender Wasseraustritte nicht genommen.

Hinweise auf beton- und stahlangreifende Bestandteile des Grundwassers liegen nicht vor. Die Einschätzungen sind – soweit erforderlich – im Zuge der weiteren Planung durch Wasseranalysen abzusichern.

2.5 Geotechnische Besonderheiten

Karst oder natürliche Hohlräume sind aus dem Untersuchungsgebiet nicht zu erwarten. Bergbauliche Einflüsse sind ebenfalls nicht bekannt.

Aufgrund der Bewaldung zum Zeitpunkt der Luftbilderstellung können keine Aussagen über **Kampfmittel** gemacht werden [U 12].

Nach DIN EN 1998-1/NA (Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erbeben, Nationaler Anhang), liegt der untersuchte Abschnitt in **keiner Erdbebenzone** und ist auch keiner **Untergrundklasse** zugeordnet.

Nach [U 10] liegt der untersuchte Abschnitt in der **Frosteinwirkungszone II**.

Das Projektgebiet liegt nach [U 3] im **Landschaftsschutzgebiet** „Weserbergland – Kaufunger Wald“ (CDDA-Code 325317) sowie im **Naturpark** „Münden“.

Nach Aussage eines angetroffenen Försters befindet sich im Untersuchungsgebiet der **Brutplatz eines Uhus**. Des Weiteren wurde auf das Vorhandensein von **Fledermäusen** hingewiesen.

Wasserschutzzonen sind nach [U 4] im Untersuchungsgebiet nicht verzeichnet.



2.6 Bauwerke

Neben den Oberleitungsmasten der elektrifizierten DB-Strecke befinden sich weitere Bauwerke im Untersuchungsbereich. Am Ende des Untersuchungsgebietes, bei etwa km 187,142, beginnt eine etwa 2 m hohe Stützmauer aus Trockenmauerwerk. Das Mauerwerk ist nicht verfugt oder vermörtelt. Eine Begutachtung war nicht Bestandteil des Auftrages.

Der Abstand zwischen Gleisachse und Böschungsfuß nimmt mit steigender Kilometrierung von etwa 3,9 m auf etwa 2,7 m ab

Die nächste Wohnbebauung befindet sich ca. 350 m westlich des Untersuchungsgebietes unmittelbar entlang der B80.

3. HOMOGENBEREICHE UND KENNWERTE

3.1 Felskennwerte

Nach der beobachteten Ausbildung der Gesteine und Trennflächen lassen sich aufgrund von umfangreichen Erfahrungen für die Böschung die in den Tabellen 3-1 und 3-2 zusammengefassten Rechenwerte für Vorentwurfszwecke angeben.

Schicht Nr.	Felsart	Gestein				Gebirge
		γ_k [kN/m ³]	φ'_k [°]	c'_k [MN/m ²]	$\sigma_{c,k}$ [MN/m ²]	E_k (isotrop) [MN/m ²]
1	Sandstein	26,5	35 (30)	30 (3)	120 ¹⁾ (10)	17.500 (5.000)

Untere Kennwerte in Klammern

1) höhere Einzelwerte möglich

Tabelle 3-1: Gesteins- und Gebirgskennwerte; die Werte gelten für angewittertes bis frisches Gebirge, sofern nicht anders angegeben.



Schicht Nr.	Felsart	Schichtung		Klüftung	
		$\varphi'_{k,s}$ [°]	$c'_{k,s}$ [kN/m ²]	$\varphi'_{k,k}$ [°]	$c'_{k,k}$ [kN/m ²]
1	Sandstein	35 (30)	5 (0) ¹⁾	32,5 (30)	5 (0) ¹⁾

Untere Kennwerte in Klammern

1) bei 100%iger Durchtrennung.

Tabelle 3-2: Trennflächenkennwerte; die Werte gelten für angewittertes bis frisches Gebirge, sofern nicht anders angegeben.

Schicht Nr.	Felsart	Mantelreibung
		$q_{s;k}$ [kN/m ²]
1	Sandstein	500

Tabelle 3-3: Mantelreibungswerte $q_{s;k}$ zur Abschätzung der Gebrauchslast.

Für Verankerungen im Fels werden in Anlehnung an [U 11] die in Tabelle 3-3 aufgeführten Werte für die Gebrauchsmantelreibung im unverwitterten Gebirge zugelassen. Für eine Berücksichtigung der Deckgebirgsüberlagerung sowie der Verwitterungszone ist die Mantelreibung zwischen 0 und 2 m Tiefe linear von $q_{s;k} = 0$ kN/m² auf den in der Tabelle angegebenen Wert zu interpolieren. Zur Überbrückung der oberflächennahen Verwitterung sowie Klüftungszonen sollte die Verpresskörperlänge 4 m nicht unterschreiten.

3.2 Homogenbereiche

3.2.1 Allgemeines

Boden und Fels ist gemäß den Normen der VOB/C (Ausgabe 2016) in Homogenbereiche einzuteilen, die für die Ausschreibung verwendet werden sollen. Ein Homogenbereich ist dabei ein begrenzter Bereich, bestehend aus einzelnen oder mehreren Boden- oder Felsschichten, der für die in den einzelnen Gewerken einsetzbaren Baugeräte vergleichbare Eigenschaften aufweist.



Die Homogenbereiche sind somit ggf. gewerkespezifisch festzulegen und hängen von den einsetzbaren Baugeräten ab. Da die geplanten Bauverfahren zum Zeitpunkt der Gutachtenerstellung noch nicht festgelegt waren, erfolgt eine vorläufige Einteilung auf Basis der empfohlenen Verfahren gemäß Kap. 5, die im Zuge des Planungsprozesses bis zur Ausschreibung zu überprüfen und ggf. zu überarbeiten ist. Umweltrelevante Inhaltsstoffe sind bei der Einteilung der Homogenbereiche nicht berücksichtigt, da keine Analyseergebnisse vorliegen.

Die Homogenbereiche und die angegebenen Eigenschaften beschreiben den Zustand des Bodens und Fels vor dem Lösen. Bei den aufgeführten Eigenschaften und Kennwerten handelt es sich nicht um charakteristische Kennwerte für Berechnungen, sondern um mögliche Spannbreiten, die zur Abschätzung der Bearbeitbarkeit von Boden und Fels verwendet werden können.

Die Einteilung der Homogenbereiche ist zur Ausschreibung unter Berücksichtigung der geplanten Bauverfahren vom Planer und geotechnischen Gutachter zu überprüfen und ggf. anzupassen.

3.2.2 DIN 18 300 Erdarbeiten

Die für die Baumaßnahme anzusetzenden Homogenbereiche für gegebenenfalls im Zuge einer Wiederherstellung von Flächen etc. erforderlichen Erdbauarbeiten wurden in Bezug auf die Ergebnisse der geotechnischen Begutachtung in Tabelle 3.2.2-1 und 3.2.2-2 zusammengestellt.

Für die Festlegung der Homogenbereiche für Erdarbeiten (DIN 18 300) wird davon ausgegangen, dass der Aushub mit einem Bagger hoher Leistungsklasse (> 30 to) ausgeführt wird, der Boden auf der Baustelle nicht wieder eingebaut wird. Die Homogenbereiche berücksichtigen daher nur das Lösen. Sollte ein Wiedereinbau vorgesehen sein, müssen die Homogenbereiche weiter getrennt werden. In den nachfolgenden Tabellen 3.2.2-1 und 3.2.2-2 ist die Zuordnung der in diesem Gutachten angegebenen geologischen Schichten zu Homogenbereichen für Erdarbeiten, sowie die zusammengefassten Eigenschaften der Homogenbereiche angegeben.



Eigenschaft / Kennwerte	Homogenbereiche
	Erd-A
Schicht Nr.	-
ortsübliche Bezeichnung	Hangschutt / Hanglehm
umweltrelevante Einstufung	Z0 - Z2 ^{*)}
Bodenart, Korngrößenverteilung	fein- bis gemischtkörnige Böden weit oder intermittierend gestuft
Massenanteil	
Steine [%]	< 40
Blöcke [%]	< 20
große Blöcke [%]	< 10
natürliche Dichte [g/cm ³]	1,8 - 2,2
undrainierte Scherfestigkeit c_u [kN/m ²]	< 100
Wassergehalt w_n [%]	10 - 40
Plastizität $I_p^{1)}$	mittel - ausgeprägt
Konsistenz $I_c^{1)}$	steif - halbfest
bezogene Lagerungsdichte $I_D^{1)}$	locker - mitteldicht
organischer Anteil $v_{gl}^{1)}$	≤ 5
Bodengruppe	SU, SU*, GU, GU*, GT, GT* UA, TA, TM, UM

1) Begriffe nach DIN EN ISO 14 688-2

*) keine Untersuchungen vorhanden

Tabelle 3.2.2-1: Homogenbereiche gemäß DIN 18 300 für Erdarbeiten in Boden

Eigenschaft / Kennwerte	Homogenbereiche
	Erd-B
Schicht Nr.	1
ortsübliche Bezeichnung	mittlerer Buntsandstein, sm
Benennung von Fels ¹⁾	Sandstein
Dichte [g/cm ³]	1,8 - 2,7
Verwitterung und Veränderungen, Veränderlichkeit ¹⁾	angewittert - unverwittert schwach veränderlich bis veränderlich
einaxiale Druckfestigkeit [MN/m ²]	3 - 150



Eigenschaft / Kennwerte	Homogenbereiche
	Erd-B
Trennflächenrichtung, Trennflächenabstand, Gesteinskörperform	Fallrichtung: Fallwinkel: Trennflächenabstand: s. Kap. 2.3 und Kap. 3.1 Gesteinskörper ¹⁾ :

1) Begriffe nach DIN EN ISO 14 689-1

Tabelle 3.2.2-2: Homogenbereiche gemäß DIN 18 300 für Erdarbeiten im Festgestein

3.2.3 DIN 18 301 Bohrarbeiten

Die Zuordnung der in dem vorliegenden Gutachten angegebenen Schichten zu Homogenbereichen für Bohrarbeiten, sowie die zusammengefassten Eigenschaften der Homogenbereiche erfolgt gemäß der Tabelle 3.2.3-1 und 3.2.3-2. Die Bohrarbeiten für Arbeiten werden in der Regel mit einem Lafettenbohrgerät oder einer Bohrraupe durchgeführt.

Eigenschaft / Kennwert	Homogenbereiche
	Bohr-A
Schicht Nr.	-
ortsübliche Bezeichnung	Hangschutt / Hanglehm
umweltrelevante Einstufung	Z0 - Z2 ³⁾
Bodenart, Korngrößenverteilung	fein- bis gemischtkörnige Böden weit oder intermittierend gestuft
Massenanteil Steine [%]	< 40
Blöcke [%]	< 20
große Blöcke [%]	< 10
Kohäsion c' [kN/m ²]	< 50
undrainierte Scherfestigkeit c _u [kN/m ²]	< 100
Wassergehalt w _n [%]	10 – 40
Plastizität I _p ¹⁾	mittel - ausgeprägt plastisch
Konsistenz I _c ¹⁾	steif – halbfest



Eigenschaft / Kennwert	Homogenbereiche
	Bohr-A
bezogene Lagerungsdichte $I_D^{1)}$	locker – mitteldicht
Abrasivität LCPC ²⁾	≤ 2 (abrasiv) ³⁾
Bodengruppe	SU, SU*, GU, GU*, GT, GT*, UA, TA, TM, UM

1) Begriffe nach DIN EN ISO 14 688-2

2) Begriffe gemäß Käsling, H. & Thuro, K.: Bestimmung der Gesteinsabrasivität - Versuchstechniken und Anwendung; in: DGGT, 31. Baugrundtagung, 2010

3) keine Untersuchungen vorhanden

Tabelle 3.2.3-1 Homogenbereiche gemäß DIN 18 301 für Bohrarbeiten in Boden

Eigenschaft / Kennwert	Homogenbereiche
	Bohr-B
Schicht Nr.	1
ortsübliche Bezeichnung	mittlerer Buntsandstein, sm
Benennung von Fels ¹⁾	Sandstein
Verwitterung und Veränderungen, Veränderlichkeit ¹⁾	angewittert - unverwittert schwach veränderlich bis veränderlich
einaxiale Druckfestigkeit [MN/m ²]	10 - 150
Trennflächenrichtung, Trennflächenabstand, Gesteinskörperform	Fallrichtung: Fallwinkel: Trennflächenabstand: Gesteinskörper
Abrasivität CAI ²⁾	≤ 4 (stark abrasiv) ³⁾

1) Begriffe nach DIN EN ISO 14 689-1

2) Begriffe gemäß Käsling, H. & Thuro, K.: Bestimmung der Gesteinsabrasivität - Versuchstechniken und Anwendung; in: DGGT, 31. Baugrundtagung, 2010

3) keine Untersuchungen vorhanden

Tabelle 3.2.3-2: Homogenbereiche gemäß DIN 18 301 für Bohrarbeiten im Festgestein

Bei Bohrarbeiten im unverwitterten Fels ab einer einaxialen Druckfestigkeit von 120 MN/m² sind ergänzende Maßnahmen durch z.B. Einsatz von Immlochhammer, Meißeln etc. erforderlich. Diese Zulagen sind im Zuge der Ausschreiben zu berücksichtigen.



3.2.4 DIN 18 320 Landschaftsarbeiten

Oberboden ist nach DIN 18 320 als eigener Homogenbereich auszuweisen. Der Oberboden ist, wenn möglich vor Beginn der Arbeiten, abzuschieben und ist zur Rekultivierung zu verwerten. Die Zuordnung der in dem vorliegenden Gutachten angegebenen geologischen Schicht zu Homogenbereichen für Oberboden erfolgt gemäß Tabelle 3.2.4.-1.

Eigenschaft / Kennwert	Homogenbereiche
	Oberboden
Bodengruppe nach DIN 18 196	OU / OH
ortsübliche Bezeichnung	Mutterboden
Bodengruppe nach DIN 18 915	1
Massenanteil	
Steine [%]	< 10
Blöcke [%]	< 5
große Blöcke [%]	< 5

Tabelle 3.2.4-1: Homogenbereiche gemäß DIN 18 320 für Oberboden

4. UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE

4.1 Begriffe

Das Fehlen der auf oberflächennahe und räumlich eng begrenzte Mechanismen beschränkten **lokalen Standsicherheit** äußert sich in Felsstürzen, Block- und Steinschlägen. Die betreffenden Risiken können sowohl einzelne, als auch mehrere Kluftkörper umfassen. Die Grenze zwischen Stein- und Blockschlag sowie Felssturz ist begrifflich unscharf; nachfolgend werden die in Tabelle 4.1-1 aufgeführten Definitionen für Sturzereignisse im Fels verwendet.

Massenbewegung	Volumen [m³]	Kantenlänge* [m]
Steinschlag	≤ 0,01	≤ 0,2
Blockschlag	> 0,01 – 5,0	> 0,2 – 1,71



Massenbewegung	Volumen [m ³]	Kantenlänge* [m]
Felssturz	> 5,0	> 1,71

* Werte für ideale Gesteinskörper in Würfelform

Tabelle 4.1-1: Definitionen der Sturzereignisse im Fels

Lokale Instabilitäten treten, sofern sie nicht Äußerungen großräumiger Massenbewegungen sind, unter anderem im Gefolge von entspannungs- oder verwitterungsbedingten Auflockerungen entsprechend steiler Felsoberflächen, durch lokal ungünstige Trennflächenorientierungen, Unterschneidungen infolge Herauswittern weicherer Schichten, Wurzel- und Eisdruck sowie infolge herstellungsbedingter, mithin künstlicher Auflockerungen auf. Auslösend können u. a. kurzfristig auftretende Kluftwasserdrücke infolge von Starkregen oder Schneeschmelze, niederschlagsbedingte Erosion, Wild, Blitzschlag, Erschütterungen, Vegetationsdruck, Wind und Sprödbüche sowie das Aufbringen von Verkehrslasten sein.

Unter **globaler Standsicherheit** einer Felsböschung oder eines Felshangs wird im Folgenden die Stabilität der gesamten Böschung oder wesentlicher Abschnitte davon gegen tief reichende, in der Regel durch Trennflächen vorgegebene Bruchmechanismen verstanden.

4.2 Lokale Standsicherheit

Nach den Beobachtungen im Zuge der Geländeaufnahme und der als Anlage 3.1 beigefügten Beschreibung der Risiken aus dem Felshang wurden lokale Instabilitäten festgestellt. Die Instabilitäten zeigen sich als **Stein- und Blockschlagrisiken**, deren Ursachen in der Verwitterung der anstehenden Schichten entlang von Trennflächen durch Vegetation / Wurzeldruck sowie Wildtritt liegen.

Aufgrund der im Gelände angetroffenen Verhältnisse wurde das Untersuchungsgebiet in einzelne Untersuchungsbereiche unterteilt, die in Tabelle 4.2-1 zusammengestellt und in Anlage 3.1 detailliert beschrieben sind.



Streckenabschnitt		Untersuchungsabschnitt
von [km]	bis [km]	[-]
187,010	187,040	A1
187,040	187,142	A2

Tabelle 4.2-1: Grenzen der Untersuchungsabschnitte

Nach den Erkenntnissen aus der Geländeaufnahme (Anlage 3.1) werden die in Tabelle 4.2-2 aufgeführten Eintrittswahrscheinlichkeiten für Massenbewegungen aus der Böschung angenommen, die im Untersuchungsbereich die DB-Strecke erreichen. Als Bezugsgröße wurde eine Bauwerkslebensdauer von 50 Jahren gewählt. Aufgrund fehlender Felsausbisse ist der Abschnitt A1 nicht aufgelistet.

Ifd. Nr. [-]	Massenbewegung ¹⁾ [-]	Volumen [m³]	Potentielle Energie ²⁾ [kJ]	Wiederkehrzeitraum T [a]	Eintrittswahrscheinlichkeit p ³⁾ [%]	Maßgebender Untersuchungsabschnitt ⁴⁾ [-]
1	Blockschlag	0,01	1,5	1	100	A2
2		0,1	16	2	100	A2
3		0,25	39	10	99	A2
4		1,5	234	25	87	A2

1) nach Tab. 4.1-1

2) $E = m \cdot g \cdot h$; $h = 6 \text{ m}$

3) bezogen auf einen betrachteten Zeitraum $n = 50$ Jahren; $p = 1 - (1 - 1/T)^n$ nach [U 7]

4) siehe Anlagen 2 und 3.1

Tabelle 4.2-2: Eintrittswahrscheinlichkeiten für Massenbewegungen im Untersuchungsgebiet

4.3 Globale Standsicherheit

Nach der als Anlage 5 beigefügten Standsicherheitsuntersuchung stellt sich das Trennflächengefüge im Projektgebiet als günstig dar. Globale Bruchmechanismen sind nicht zu erwarten.

Für das Auftreten von Materialbrüchen sind die Gesteinsfestigkeiten im Vergleich zu den auftretenden Spannungen wesentlich zu hoch.



5. RISIKOBEURTEILUNG

5.1 Methodischer Ansatz

Der **Risikobegriff** wurde nach [U 6] als Produkt aus Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadensgröße definiert. In Anlehnung an [U 7] wurde die Schadensgröße durch die Energie des Steinschlag- oder Felssturzereignisses ersetzt. Es wurden dabei folgende **Risikoklassen** unterschieden:

- **Hohes Risiko:** Aufgrund hoher Energie sind erhebliche Sach- und Personenschäden zu erwarten. Darüber hinaus können auch mittlere Energien bei hoher Eintrittswahrscheinlichkeit zu Sach- und Personenschäden führen. Entsprechende Risiken sind aufgrund der großen Energie nicht durch passive Sicherungsmaßnahmen beherrschbar. Bezogen auf den betrachteten Schienenverkehr ist bei entsprechend hohen Risiken mit Streckenblockierungen, schweren Schäden am rollenden Material und Zugentgleisungen zu rechnen.
- **Mittleres Risiko:** Sach- und Personenschäden sind aufgrund mittlerer und niedriger Energien bei hoher bis niedriger Eintrittswahrscheinlichkeit zu erwarten. Die Risiken sind durch passive Sicherungsmaßnahmen beherrschbar. Auch in diesem Fall sind schwere Schäden am Fahrweg, an Fahrzeugen sowie eine Blockierung der Strecke und schwere Verletzungen bis hin zu Todesfällen von Fahrgästen ohne Schutzmaßnahmen nicht auszuschließen.
- **Niedriges Risiko:** Sach- und Personenschäden können nicht ausgeschlossen werden. Die Ereignisse haben jedoch nur eine mittlere bis niedrige Eintrittswahrscheinlichkeit. Bei vorherrschend niedrigen Energien werden die Risiken in der Regel zu Sachschäden und ggf. Verletzungen (Überfahrt, Treffer an Fahrzeugen, keine Durchschläge) führen.

Die Risikoklassen sind als Matrix in Abbildung 5.1-1 dargestellt. Die Klassengrenze zwischen hoher und mittlerer **Energie** wurde bei 8.000 kJ gezogen. Eine entsprechend hohe Energie kann nach derzeitigem Stand der Technik durch Auffangbauwerke aufgenommen werden. Die Klassengrenze zwischen mittlerer und niedriger Energie wurde bei 45 kJ gezogen. Nach der EU-Richtlinie 96/27/EG vom 20.05.1996 über den Schutz der Kfz-Insassen beim Seitenaufprall liegt der Grenzwert für die aufnehmbare Energie bei 45 ± 5 kJ. Es wird davon ausgegangen, dass Schienenfahrzeuge aufgrund ihrer Konstruktion und Masse diese Aufprallenergie ebenfalls aufnehmen können.



Mit Bezug auf die Ausführungen in Kap. 5.3 wurden in Abb. 5.1-1 die Blockklassen 1 bis 4 (entsprechen den lfd. Nr.) aus Tabelle 4.2-2 eingetragen.

5.2 Risikoanalyse

Zur groben Abschätzung des **Risikos von Treffern im Gleisbereich** können in Zusammenhang mit den Ausführungen in Kap. 2.1 und Anlage 3.1 bezüglich Neigung und Höhe der Einschnittsböschung in Verbindung mit den Quellgebieten der Massenbewegungen in Anlehnung an [U 8] die in Tabelle 5.2-1 aufgeführten Werte angegeben werden. Zu beachten ist, dass die Werte für den Entwurf von Straßenböschungen aufgestellt wurden und bei den empirischen Versuchen Steine mit unterschiedlichen Durchmessern (bis $\leq 0,9$ m) aus einer definierten (Maximal-) Höhe zum Absturz gebracht wurden. Die verwendete Höhe liegt mit 12,2 m deutlich über der vorhandenen Höhe im Untersuchungsgebiet.

Darüber hinaus ist zu beachten, dass die Ausrollstrecken für ebenes, horizontales Gelände gelten. Für die unebene Querung des Schienenweges (Höhenunterschiede zwischen Bahngraben, Schotterbett, Schiene) sind deutlich kürzere Wege zu erwarten.

Mit Bezug auf die o.a. Abschätzung und die örtlichen Gegebenheiten ist zunächst festzustellen, dass direkte Treffer im Gleisbereich trotz der geringen Böschungshöhe nicht vollständig auszuschließen sind. Rollende Steine und Blöcke aus der Böschung können ebenfalls zu einer Gefährdung des Gleises im untersuchten Streckenabschnitt führen. Die Analyse stimmt weitgehend mit der gutachterlichen Einschätzung vor Ort überein. Aus gutachterlicher Sicht sind im Untersuchungsbereich **Sicherungsmaßnahmen erforderlich**.

Böschung			Abstand vom Böschungsfuß	
Neigung		Höhe	Einschlag	Ausrollen
[v:h]	[°]		[m]	[m]
1 : 1	45	12,2	0	18,2
2 : 1	63		1,8	14,5
4 : 1	76		2,9	9,8



Böschung			Abstand vom Böschungsfuß	
Neigung		Höhe	Einschlag	Ausrollen
[v:h]	[°]	[m]	[m]	[m]
Vertikal	90	12,2	4,3	9,0

Tabelle 5.2-1: Reichweite von Massenbewegungen nach [U 8]

5.3 Risikozonierung

Mit Bezug auf die oben ausgeführten Kriterien, Anlage 3.1, Tabelle 4.2-2 und Abb. 5.1-1 ist eine **Risikozonierung** für den Bahnbetrieb möglich, die in Tabelle 5.3-1 zusammengefasst ist.

Untersuchungsabschnitt	Bahn-km		Risikozone
	von	bis	
[-]			[m]
A1	187,010	187,040	niedrig
A2	187,040	187,142	mittel

Tabelle 5.3-1: Risikozonierung

Das **niedrige Risiko** für den Bahnbetrieb resultiert danach primär aus fehlenden Felsausbissen. Weiterhin fließen hier die geringen Blockgrößen, der Abstand zwischen dem Gleis und den Quellgebieten in den Böschungen sowie die geringen Eintrittswahrscheinlichkeiten hinein.

Ein **mittleres Risiko** wurde aufgrund hoher Eintrittswahrscheinlichkeiten bei niedrigen Energien ermittelt. Aufgrund der Böschungsgeometrie ist damit zu rechnen, dass Steine und Blöcke durch Rollen und schiefen Würfeln ins Gleis gelangen können.

Ein **hohes Risiko** resultiert danach aus der Blockgröße sowie einer entsprechend hohen Eintrittswahrscheinlichkeit

.

Die oben durchgeführte standardisierte Risikozonierung kann durch die gutachterliche Einschätzung vor Ort bestätigt werden.



6. EMPFEHLUNGEN

6.1 Sicherungsvorschlag

Auf Grundlage der Ausführungen in Kapitel 5 werden für die DB-Strecke 6343 zwischen km 187,010 und 187,140 Sicherungen gegen Risiken empfohlen. Im Abschnitt A1 ist aufgrund fehlender Felsausbisse keine Sicherung erforderlich. Im Abschnitt **A2** wird zunächst eine **Beräumung** von losem Gestein empfohlen. Zur Sicherung der Risiken aus der Felsböschung wird eine flächige Übernetzung empfohlen. Des Weiteren wird zur Sicherung der Unterschneidungen die Ausführung von Spritzbetonplomben empfohlen.

Mit Bezug auf die Lage in Schutzgebieten ist im Rahmen der weiteren Planung insbesondere die Lage der Bauwerke im Hinblick auf den Naturschutz zu optimieren.

Mit dem gewählten System können die festgestellten Risiken langfristig minimiert werden und die Sicherheit für den Straßenverkehr gewährleistet werden. Die Folgekosten für den Unterhalt werden im Vergleich zu anderen Varianten und zum derzeitigen Zustand als gering eingeschätzt.

6.2 Baukosten

Nach der in Anlage 7 beigefügten Kostenschätzung ist für die Sicherung der Felsausbisse nach aktuell empfohlener Sicherung mit Baukosten von etwa **€ 260.000 netto** (Stand Anfang 2018) zu rechnen. Die Spanne der geschätzten Baukosten wird auf etwa **€ 250.000 – € 270.000** geschätzt. Die tatsächlichen Kosten können erfahrungsgemäß in Abhängigkeit der Konjunktur sowie der Saison nach oben oder unten schwanken.

Es ist zu berücksichtigen, dass diese Schätzungen auf einer ersten groben Massenermittlung bei der Ortsaufnahme und der darauf aufbauenden Maßnahmenempfehlung basiert. Die Kosten sind über die entsprechende Masse (m^2 / m^3) der zu sichernden Abschnitte grob auf Grundlage von Erfahrungswerten abgeschätzt. Für einen Finanzierungsplan ist eine Planung auf Grundlage einer Vermessung durchzuführen, die Maßnahmen sind im Zuge dieser Planung abzustimmen. Der vorgenannte Kostenrahmen kann sich daher auch im Zuge dieser Abstimmung noch erheblich nach oben oder unten verändern.



Leistungen für Verkehrssicherungsmaßnahmen / Sperrungen sowie für die weitere Planung und Bauüberwachung sind in den Kosten nicht enthalten.

7. ZUSAMMENFASSUNG

Die geotechnische Untersuchung Böschung rechts der Bahn an der DB-Strecke 6343 zwischen km 187,010 und 187,140 hat bestätigt, dass lokale Stein- und Blockschlagrisiken bestehen, die zu einer Gefährdung des Schienenverkehrs führen können. Zur Minimierung der Risiken wird die Durchführung von Felssicherungsmaßnahmen empfohlen.

Neben einer Beräumung der gesamten Böschung wird für den Abschnitt A2 eine flächige Übernetzung empfohlen. Weiterhin werden Spritzbetonplomben im Bereich von Überhängen empfohlen. Im Abschnitt A1 sind aufgrund fehlender Felsausbisse keine Sicherungsmaßnahmen erforderlich.

Die Arbeiten erfordern eine **Objekt- und Tragwerksplanung**; die Ausführung ist fachtechnisch zu überwachen. Der Naturschutz ist zwingend in die Planung einzubinden. Die Fertigstellung der Sicherungsmaßnahme ist nach [U 13] bis Ende 2023 geplant.

Zur Beantwortung weiterer Fragen stehen wir Ihnen gerne zur Verfügung.

i.V. 

Jörn Neumann, M.Sc.
(stellv. Leiter KC Felsbau Geot.)

i.A. 

Daniel A. Kujath, M.Sc.
(Projektgeologe)

- Verteiler:**
- DB Netz AG, Herr Ortmeier, Koblenz, 3 x, davon 1 x vorab per Mail an <Frank.Ortmeier@deutschebahn.com>
 - Dr. Spang GmbH, Witten, 1 x