



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.  
38.5689

Datei  
P5689B180418

Diktat  
Nm/Kuj

Büro  
Witten

Datum  
18.04.2018

**DB-Strecke 6343**  
**HALLE (S) HBF – HANN. MÜNDEN**  
**km 186,917 – km 187,606 r.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  
Stadtparkasse Witten, IBAN: DE59 4525 0035 0000 0049 11, BIC: WELADED1WTN



---

| <b>INHALT</b>                              | <b>SEITE</b> |
|--------------------------------------------|--------------|
| <b>1. ALLGEMEINES</b>                      | <b>4</b>     |
| 1.1 Projekt                                | 4            |
| 1.2 Auftrag                                | 4            |
| 1.3 Unterlagen                             | 5            |
| 1.4 Untersuchungen                         | 6            |
| <b>2. GEOTECHNISCHE VERHÄLTNISSE</b>       | <b>7</b>     |
| 2.1 Morphologie und Vegetation             | 7            |
| 2.2 Gesteine                               | 7            |
| 2.3 Lagerungsverhältnisse und Trennflächen | 8            |
| 2.4 Bergwasserverhältnisse                 | 11           |
| 2.5 Geotechnische Besonderheiten           | 11           |
| 2.6 Bauwerke                               | 12           |
| <b>3. HOMOGENBEREICHE UND KENNWERTE</b>    | <b>14</b>    |
| 3.1 Felskennwerte                          | 14           |
| 3.2 Homogenbereiche                        | 15           |
| 3.2.1 Allgemeines                          | 15           |
| 3.2.2 DIN 18 300 Erdarbeiten               | 16           |
| 3.2.3 DIN 18 301 Bohrarbeiten              | 18           |
| 3.2.4 DIN 18 320 Landschaftsbauarbeiten    | 20           |
| <b>4. UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE</b>          | <b>20</b>    |
| 4.1 Begriffe                               | 20           |
| 4.2 Lokale Standsicherheit                 | 21           |
| 4.3 Globale Standsicherheit                | 23           |
| <b>5. RISIKOBEURTEILUNG</b>                | <b>23</b>    |
| 5.1 Methodischer Ansatz                    | 23           |
| 5.2 Risikoanalyse                          | 26           |
| 5.3 Risikozonierung                        | 27           |



---

|           |                                                     |           |
|-----------|-----------------------------------------------------|-----------|
| <b>6.</b> | <b>EMPFEHLUNGEN</b>                                 | <b>28</b> |
| 6.1       | Sicherungsvorschlag                                 | 28        |
| 6.2       | Baukosten                                           | 28        |
| <b>7.</b> | <b>ZUSAMMENFASSUNG</b>                              | <b>29</b> |
| <b>8.</b> | <b>ANLAGEN</b>                                      |           |
|           | Anlage 1: Übersichtslageplan 1 : 100.000 (2)        |           |
|           | Anlage 2: Lageplan (2)                              |           |
|           | Anlage 3: Dokumentation der Geländebegehung (5)     |           |
|           | Anlage 4: Dokumentation des Trennflächengefüges (2) |           |
|           | Anlage 5: Standsicherheitsuntersuchung (4)          |           |
|           | Anlage 6: Fotodokumentation (8)                     |           |
|           | Anlage 7: Kostenschätzung (2)                       |           |



## 1. ALLGEMEINES

### 1.1 Projekt

Die zweigleisige, elektrifizierte DB-Strecke 6343, Hannover bis Kassel, verläuft zwischen km 186,917 und km 187,606 entlang des nördlichen Gleithangs der Werra. Unterhalb der in einer langgezogenen Linkskurve 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. Oberhalb der Anschnittsböschung steigt das Gelände weiter an. 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 14].

### 1.2 Auftrag

Mit Bestellung 0016/UCX/27355439 vom 21.11.2017 auf Basis des Rahmenvertrags 1000/EBO/92252389 erhielt die Dr. Spang GmbH von der DB Netz AG Koblenz den Auftrag, den Böschungsbereich der DB-Strecke 6343 zwischen km 186,917 und km 187,606 rechts der Bahn geotechnisch zu untersuchen.

- **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] **Lageplan (IVL) 1 : 1000, DB-Strecke 6343**, Halle (S) HBf – Hann Münden, km 187,5+15 – 188,1+10, Stand 12/2011.
- [U 4] <http://www.bfn.de>; Bundesamt für Naturschutz, Schutzgebiete in Deutschland
- [U 5] <http://www.umweltkarten-niedersachsen.de>, Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz, Wasserschutzgebiete.
- [U 6] **MÜLLER, L.:** Der Felsbau, 1. Band: Grundlagen.- Stuttgart, 1978.
- [U 7] **HINZEN, A.:** Der Einfluss des menschlichen Faktors auf die Sicherheit der Eisenbahn. – ETR 45 (1996).
- [U 8] **RAETZO, H. et al.:** Hazard assessment in Switzerland – Codes of Practice for mass movements. – Bull.Eng.Geol.Env. (2002) 61: 263-268.
- [U 9] **PIERSON, L.A. et al.:** Rockfall Catchment Area Design Guide. Final Report SPR-3(032). – Oregon Department of Transportation, 12/2001.
- [U 10] **SCHWINGENSCHLÖGL, R. & WEISS, E.H.:** Ingenieurgeologische Probleme bei der Boden- und Felsklassifikation im Autobahnabschnitt A 2. – Felsbau 3 (1985) Nr. 4, Essen.



**[U 11] Karte der Frosteinwirkungszonen in Deutschland 1:750.000**, Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Bergisch Gladbach, 2012.

**[U 12] Grundbau-Taschenbuch**, Teil 2, Geotechnische Verfahren. Stuttgart, 2009.

**[U 13] DB-Strecke 6343, km 186,917 – 187,606 / Kampfmittelauskunft**, LGLN, Kampfmittelbeseitigungsdienst, Schreiben vom 08.02.2018.

**[U 14] Auszug aus dem Projekthandbuch zum Projekt „Römerlager I“**, 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. Im Anschluss daran wurde der Hang oberhalb der Anschnittsböschung in Augenschein genommen. Aufgrund der Morphologie des Untersuchungsgebietes (Beginn und Ende der Anschnittsböschung) wurde das Untersuchungsgebiet auf den Bereich zwischen km 186,917 und km 187,640 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. Aufgrund der Lage der DB-Strecke rechts der Bahn ist in Anlage 6.1 die Böschung entgegen der Kilometrierung aufgetragen. Eine Kostenschätzung ist in Anlage 7 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 liegt auf ca. 144 m NHN, die talseitig verlaufende B80 liegt auf ca. 134 m NHN.

Das Untersuchungsgebiet beginnt bei km 186,917 in Anschnittslage. Die Höhe der Böschung rechts der Bahn beträgt zu Beginn des Untersuchungsgebiets ca. 25 m; oberhalb der Anschnittsböschung steigt das Gelände flach weiter an. Zwischen etwa km 187,010 und etwa km 187,588 verläuft die DB-Strecke in Einschnittslage. Ab ca. km 187,020 nimmt die Höhe der Böschung rechts der Bahn bis ca. km 187,080 auf ca. 15 m ab. Bis ca. km 187,520 bleibt die Höhe der Böschung etwa konstant, ehe sie bis zum Ende des Untersuchungsabschnitts sukzessive auf etwa 0 m abnimmt.

Die Neigung der Böschung liegt zwischen ca. 30° und 60°; im Bereich von Felsausbissen kann die Neigung lokal bis 90° betragen.

Hinsichtlich der Morphologie der einzelnen untersuchten Abschnitte wird auf die Ausführungen in Anlage 3 verwiesen.

Die Vegetation des Hangs oberhalb der Felsausbisse besteht aus einem Buchenhochwald. Die Böschung rechts der DB-Strecke weist einen dichten Strauchbewuchs auf. Die Felsausbisse sind überwiegend ohne Bewuchs, vereinzelt tritt Moos-, Gras- und Strauchbewuchs auf.

### **2.2 Gesteine**

Nach der Geologischen Karte [U 1] stehen im Untersuchungsbereich Gesteine des mittleren Buntsandsteins an (sm), bei denen es sich um grobkörnige Sandsteine handelt. Im Zuge der Geländebegehung wurde dieser Sandstein auch angetroffen, ebenso vereinzelte Lagen von Tonstein.



Der Sandstein ist im frischen Zustand rötlich braun, angewittert gelblich bis bräunlich. Die Festigkeit der mäßig verwitterten Sandsteine wird nach DIN EN ISO 14689-1 als hoch eingeschätzt. Der Sandstein besitzt eine gute bis sehr gute Kornbindung; die Raumausfüllung ist dicht. Vereinzelt ist der angetroffene Sandstein löchrig.

Der angetroffene mäßig bis stark verwitterte Tonstein ist von rötlicher Farbe; seine Festigkeit wird nach DIN EN ISO 14689-1 als mäßig hoch eingeschätzt. Die Kornbindung des Tonsteins ist mäßig bis gut, die Raumausfüllung ist ebenfalls dicht.

Die Lockergesteinsdecke des Hangs besteht augenscheinlich aus einer geringmächtigen **Hanglehm- und Hangschuttdecke**. Die Mächtigkeit der Decke wird auf maximal 1 bis 2 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 sählig 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 kann das anstehende Festgestein zu **einem Homogenbereich** zusammengefasst werden.

Die Schichten zeigen ein schwaches Einfallen in östliche Richtung. Nach DIN EN ISO 14689-1 kann der mechanisch wirksame Schichtflächenabstand der Sandsteine als „mittel“ bis „dick“ beschrieben werden; der der Tonsteine als „dünn“ bis „mittel“. Die Öffnungsweite liegt zwischen 0,1 und 10 mm und kann als „eng“ bis „gemäßigt weit“ bezeichnet werden. Die Schichtflächen sind überwiegend ohne Füllung, vereinzelt treten verwitterte Gesteinsreste in Form von Sand auf.

Die Elemente der Hauptklufschar 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 im Bereich von Felsausbissen durch die steilstehenden Elemente der Hauptklufschar K1 gebildet. Die Öffnungsweiten der Trennflächen der Haupt-



klufthschar K1 liegen zwischen 2 und 10 mm und sind nach DIN EN ISO 14689-1 als „eng“ bis „gemäßigt weit“ zu beschreiben. Die Trennflächen der Hauptklufthschar K2 zeigen Öffnungsweiten zwischen 2 und 8 mm; sie können ebenfalls als „eng“ bis „gemäßigt weit“ bezeichnet werden.

Die Trennflächen der Klüfte sind wie die der Schichtung vereinzelt mit verwitterten Gesteinsresten in Form von Sand verfüllt. Die Eigenschaften der aufgenommenen Trennflächen sind in der Tabelle 2.3-1 zusammengefasst. Mit Bezug auf die Öffnungsweite der Trennflächen ist anzumerken, dass die ermittelten Öffnungsweiten an der Böschungsoberfläche durch Wurzeldruck, Frost und talparallele Entspannung bereits beeinflusst worden und dementsprechend z.T. stark überhöht sind.

| Trennfläche   | Mittlere Orientierung<br>$\alpha / \beta$<br>[° / °] | Trennflächen-<br>ausbildung<br>[-] | Trennflächen-<br>abstand*<br>d<br>[m]               | Ebene Durch-<br>trennung*<br>$\chi$<br>[-] | Öffnungs-<br>weite*<br>[mm] |
|---------------|------------------------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------|
| Schichtung SS | 89/5                                                 | eben (bis un-<br>eben), glatt      | Sst: 0,3 – 2,1<br>(1,2)<br>Tst: 0,05 – 0,2<br>(0,1) | 1,0                                        | 0,1 – 10<br>(5)             |
| Klüftung K1   | 342/85                                               | eben (bis un-<br>eben), rau        | 0,3 – 1,5<br>(0,8)                                  | 0,6 – 0,9<br>(0,8)                         | 2 – 10<br>(6)               |
| Klüftung K2   | 26/82                                                | uneben, rau<br>(bis glatt)         | 0,7 – 1,1<br>(0,9)                                  | 0,5 – 0,8<br>(0,7)                         | 2 – 8<br>(5)                |

\* Spannweite, Mittelwerte in Klammern  
Sst: Sandstein, Tst: Tonstein

**Tabelle 2.3-1:** Eigenschaften der Trennflächenscharen

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

| Bezeichnung   | Verbandsfestigkeit |      | Charakteristik                                                                                                          |
|---------------|--------------------|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| gut verspannt | hoch,<br>sehr gut  | VF 1 | Sehr guter Reibungsschluß der Teilkörper. Gebirge schwer lösbar, keine bevorzugte Richtung, kleiner Durchtrennungsgrad. |



| Bezeichnung | Verbandsfestigkeit |     | Charakteristik                                                                                                  |
|-------------|--------------------|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| verspannt   | gut                | VF2 | Einspannung der Kluftkörper, Festigkeitsanisotropie gegeben. Lösbarkeit nach einer Richtung deutlich bevorzugt. |
| aufglockert | mäßig              | VF3 | Geringer Reibungsschluß, zahlreiche offene Klüfte, Gebirge zeigt keine Festigkeitsanisotropie.                  |
| lose        | gering             | VF4 | Kluftkörper ohne Reibungsschluß, lockeres, loses Haufwerk.                                                      |

**Tabelle 2.3-2:** Einteilung der Verbandsfestigkeit des Gebirges nach [U 10]

Die **Verbandsfestigkeit** wird nach [U 10] oberflächennah bis in eine geschätzte Tiefe von ca. 1,5 m bergseitig der Felsoberfläche als aufglockert (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 talparalleler Entspannung.

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 **kleintäfelige** bis **quaderig-bankige**, lokal um **großwürfelige** Körper. Die maximale **Kluftkörpergröße** von möglichen Stein- und Blockschlagereignissen variiert im Untersuchungsbereich mit Bezug auf die örtlichen Gegebenheiten.

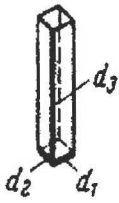
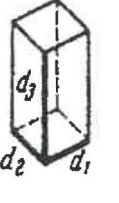
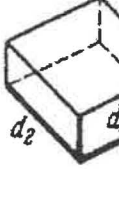
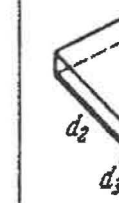
| Form der Kluftkörper                          |  |  |  |  |  |
|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------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

**Abb. 2.3-1:** Einteilung der Trennflächenkörperformen nach [U 6].



Auf Basis der Geländeaufnahme (Anlage 3) ist mit Blockgrößen bis maximal etwa 8,0 m<sup>3</sup> zu rechnen. Das mögliche Gesamtvolumen der Gesteinskörper pro Sturzereignis wird auf ca. 12 m<sup>3</sup> geschätzt

## 2.4 Bergwasserverhältnisse

Zum Zeitpunkt der Geländeaufnahme herrschte trockenes Herbstwetter. Der Hang sowie die Felsausbisse waren trocken. **Wasseraustritte** wurden nicht verzeichnet.

Die **Gebirgsdurchlässigkeit** hängt von der Dichtrennung, der Verwitterung sowie den Trennflächenabständen 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; im tiefen Untergrund wird das Gebirge als schwach durchlässig geschätzt. Angaben über den geschlossenen **Bergwasserspiegel** liegen nicht vor; er wird jedoch unterhalb des Untersuchungsbereichs im Bereich der Werra erwartet.

**Vorfluter** für das Gebiet ist die Werra, die entlang des Untersuchungsgebietes den Ausläufern der Berge entlang eines Gleithanges folgt und von Osten kommend, weiter in nordwestliche bis nördliche Richtung fließt. Aufgrund dessen ist von einer südwestlichen bis westlichen Fließrichtung des Bergwassers auszugehen. **Wasserproben** für Analysen nach DIN 4030 bzw. zur Untersuchung der Gefahr von Ausfällungen oder Verockerungen wurden im Zuge der Geländeaufnahme mangels 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 in dem Untersuchungsgebiet nicht zu erwarten. Die ange-troffene Felswand zu Beginn des Untersuchungsgebietes ist möglicherweise auf einen alten Steinbruch zurückzuführen, um Gesteine für die Errichtung der DB-Strecke zu gewinnen. Genauere Informationen liegen hierzu allerdings nicht vor.



Aufgrund der Bewaldung zum Zeitpunkt der Luftbildaufnahme können keine Aussagen über **Kampfmittel** gemacht werden [U 13]. Die Begehung des Hangs oberhalb der Böschung zeigte kraterähnliche Strukturen, deren Herkunft nicht bekannt ist. Auf die Anlage 6 wird verwiesen.

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 11] liegt der untersuchte Abschnitt in der **Frosteinwirkungszone II**.

Das Projektgebiet liegt nach [U 4] 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 5] im Untersuchungsgebiet nicht verzeichnet.

## 2.6 Bauwerke

Neben den Oberleitungsmasten der elektrifizierten DB-Strecke befinden sich weitere Bauwerke entlang der DB-Strecke.

Zwischen ca. km 186,955 und ca. km 187,165 r.d.B. befinden sich entlang der Böschung Schutzvorrichtungen aus Bahnschienen mit einer Ausfachung aus Holzschwellen. Die Höhe der Schutzvorrichtung beträgt etwa 2 m und ist mit Stahlseilen sowie Nägeln in der bergseitigen Felsböschung rückverankert. Eine Übersicht über die vorhandenen Schutzvorrichtungen ist in Tabelle 2.6-1 zu finden

| Streckenabschnitt |                 | ca. Höhe über DB-Strecke |
|-------------------|-----------------|--------------------------|
| von ca.<br>[km]   | bis ca.<br>[km] | [m]                      |
| 186,955           | 186,988         | 7                        |



| Streckenabschnitt |                 | ca. Höhe über DB-Strecke |
|-------------------|-----------------|--------------------------|
| von ca.<br>[km]   | bis ca.<br>[km] | [m]                      |
| 186,988           | 187,000         | 15                       |
| 187,000           | 187,040         | 8                        |
| 187,040           | 187,050         | 4 - 6                    |
| 187,050           | 187,086         | 4                        |
| 187,084           | 187,118         | 2                        |
| 187,118           | 187,143         | 2                        |
| 187,143           | 187,165         | 2                        |

**Tabelle 2.6-1:** Lage der Schutzvorrichtungen entlang der DB-Strecke.

Rechts der Bahn befinden sich Schächte zu einer Tiefenentwässerung; vereinzelte Schächte befinden sich entlang des Böschungsfußes bei ca. km 187,498 und ca. km 187,546.

Zwischen ca. km 187,138 und ca. km 187,136 ist ein Teil der Felsböschung oberhalb der Schutzvorrichtung aus Bahnschwellen mit einem rückverankerten Stahldrahtgeflecht übernetzt.

Entlang des unteren Teils der Anschnittsböschung befindet sich entlang des Böschungsfußes zwischen ca. km 187,260 und km 187,570 eine Stützmauer aus Trockensteinen mit einer Höhe von bis zu ca. 4 m. Das unverfugte, unvermörtelte Mauerwerk ist mit Sträuchern und Moos bewachsen, vereinzelte können Ausbrüche, Ausbauchungen und Auflockerungen des Mauerwerksgefüges festgestellt werden.

Zwischen ca. km 187,290 und km 187,300 befindet sich entlang der Böschungskrone eine Gesteinsansammlung, mit der augenscheinlich Unebenheiten im Bereich des oberhalb der Böschung verlaufenden Forstweges ausgeglichen wurden.



Der Abstand zwischen Gleisachse und Böschungsfuß nimmt mit steigender Kilometrierung von etwa 3,9 m auf ca. 3,1 m zu. Die Mächtigkeit des Gleisschotters beträgt etwa 0,6 m. Ein Bahngraben ist nicht vorhanden.

Die nächste Bebauung befindet sich ca. 130 m westlich des Untersuchungsgebiets 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<br>Nr. | Felsart   | Gestein                            |                         |                                    |                                        | Gebirge                                 |
|----------------|-----------|------------------------------------|-------------------------|------------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------|
|                |           | $\gamma_k$<br>[kN/m <sup>3</sup> ] | $\varphi'_{k,k}$<br>[°] | $c'_{k,k}$<br>[MN/m <sup>2</sup> ] | $\sigma_{c,k}$<br>[MN/m <sup>2</sup> ] | $E_k$ (isotrop)<br>[MN/m <sup>2</sup> ] |
| 1              | Sandstein | 26,5                               | 35<br>(30)              | 30<br>(14)                         | 120 <sup>1)</sup><br>(10)              | 17.500<br>(5.000)                       |
| 2              | Tonstein  | 26,5                               | 27,5<br>(25)            | 50<br>(3)                          | 50 <sup>1)</sup><br>(10)               | 5.000<br>(2.000)                        |

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



| Schicht<br>Nr. | Felsart  | Schichtung              |                                    | Klüftung                |                                    |
|----------------|----------|-------------------------|------------------------------------|-------------------------|------------------------------------|
|                |          | $\varphi'_{k,s}$<br>[°] | $c'_{k,s}$<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | $\varphi'_{k,k}$<br>[°] | $c'_{k,k}$<br>[kN/m <sup>2</sup> ] |
| 2              | Tonstein | 27,5<br>(25)            | 5<br>(0) <sup>1</sup>              | 25<br>(22,5)            | 5<br>(0) <sup>1</sup>              |

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.

| Schich<br>Nr.t | Felsart   | Mantelreibung                     |
|----------------|-----------|-----------------------------------|
|                |           | $q_{s,k}$<br>[kN/m <sup>2</sup> ] |
| 1              | Sandstein | 500                               |
| 2              | Tonstein  | 300                               |

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

Für Verankerungen im Fels werden in Anlehnung an [U 12] 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 1,5 m Tiefe linear von  $q_{s,k} = 0$  kN/m<sup>2</sup> auf den in der Tabelle angegebenen Wert zu interpolieren. Zur Überbrückung der oberflächennahen Verwitterung sowie Klüftungszonen sollte die Verpresskörperlänge 5 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 Spannweiten, 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<br>weit oder intermittierend gestuft |
| Massenanteil                                             |                                                                      |
| Steine [%]                                               | < 40                                                                 |
| Blöcke [%]                                               | < 20                                                                 |
| große Blöcke [%]                                         | < 10                                                                 |
| natürliche Dichte [g/cm <sup>3</sup> ]                   | 1,8 - 2,2                                                            |
| undrainierte Scher-festigkeit $c_u$ [kN/m <sup>2</sup> ] | < 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 $v_{gl}^{1)}$                         | $\leq 5$                                                             |
| 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.                                                    | 1,2                                                                 |
| ortsübliche Bezeichnung                                        | mitlerer Buntsandstein, sm                                          |
| Benennung von Fels <sup>1)</sup>                               | Tonstein/Sandstein                                                  |
| Dichte [g/cm <sup>3</sup> ]                                    | 1,8 - 2,7                                                           |
| Verwitterung und Veränderungen, Veränderlichkeit <sup>1)</sup> | angewittert - unverwittert<br>schwach veränderlich bis veränderlich |
| einaxiale Druckfestigkeit [MN/m <sup>2</sup> ]                 | 3 - 150                                                             |



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

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 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 <sup>3)</sup>                                                |
| Bodenart, Korngrößenverteilung                          | fein- bis gemischtkörnige Böden<br>weit oder intermittierend gestuft |
| Massenanteil                                            |                                                                      |
| Steine [%]                                              | < 40                                                                 |
| Blöcke [%]                                              | < 20                                                                 |
| große Blöcke [%]                                        | < 10                                                                 |
| Kohäsion $c'$ [kN/m <sup>2</sup> ]                      | < 50                                                                 |
| undrainierte Scherfestigkeit $c_u$ [kN/m <sup>2</sup> ] | < 100                                                                |
| Wassergehalt $w_n$ [%]                                  | 10 – 40                                                              |
| Plastizität $I_P$ <sup>1)</sup>                         | mittel - ausgeprägt plastisch                                        |
| Konsistenz $I_C$ <sup>1)</sup>                          | steif – halbfest                                                     |



| Eigenschaft / Kennwert              | Homogenbereiche                           |
|-------------------------------------|-------------------------------------------|
|                                     | Bohr-A                                    |
| bezogene Lagerungsdichte $I_D^{1)}$ | locker – mitteldicht                      |
| Abrasivität LCPC <sup>2)</sup>      | $\leq 2$ (abrasiv) <sup>3)</sup>          |
| 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 <sup>1)</sup>                               | Tonstein/Sandstein                                                         |
| Verwitterung und Veränderungen, Veränderlichkeit <sup>1)</sup> | angewittert - unverwittert<br>schwach veränderlich bis veränderlich        |
| einaxiale Druckfestigkeit [MN/m <sup>2</sup> ]                 | 10 - 150                                                                   |
| Trennflächenrichtung, Trennflächenabstand, Gesteinskörperform  | Fallrichtung:<br>Fallwinkel:<br>Trennflächenabstand:<br><br>Gesteinskörper |
| Abrasivität CAI <sup>2)</sup>                                  | $\leq 4$ (stark abrasiv) <sup>3)</sup>                                     |

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/m<sup>2</sup> sind ergänzende Maßnahmen durch z.B. Einsatz von Immlochhammer, Meißeln etc. erforderlich. Diese Zulagen sind im Zuge der Ausschreibung zu berücksichtigen.



### 3.2.4 DIN 18 320 Landschaftsbauarbeiten

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 der vorliegenden Ausschreibung 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 aufgeführte Definitionen für Sturzereignisse im Fels verwendet.

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



| Massenbewegung | Volumen<br>[m³] | Kantenlänge*<br>[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 Sprödbrüche 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 im Fels festgestellt. Die Instabilitäten zeigen sich als **Stein-, Blockschlag- und Felssturzrisiken**. Die Ursachen der Instabilitäten liegen in der Rückverwitterung von Tonsteinschichten und daraus resultierenden Unterschneidungen, in Verbindung mit der Vegetation / Wurzeldruck sowie Frostsprengung entlang von Trennflächen.

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 |         | Untersuchungs- |
|-------------------|---------|----------------|
| von               | bis     | abschnitt      |
| [km]              | [km]    | [-]            |
| 186,917           | 186,955 | A1             |
| 186,995           | 187,025 | A2             |
| 187,025           | 187,050 | A3             |
| 187,050           | 187,170 | A4             |
| 187,170           | 187,280 | A5             |
| 187,280           | 187,300 | A6             |
| 187,300           | 187,489 | A7             |
| 187,489           | 187,540 | A8             |
| 187,540           | 187,640 | A9             |

**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. Abschnitt A9 ist aufgrund fehlender Ausbisse nicht in der Tabelle aufgeführt. Mit Bezug auf den Abschnitt A4 ist zu erwähnen, dass die berechnete Energie des Einzelblocks durch die für die Berechnung herangezogene Höhe der Böschung über der zu erwartenden Energie liegt.



| lfd.<br>Nr.<br>[-] | Massen-<br>bewe-<br>gung <sup>1)</sup><br>[-] | Volumen<br>[m³] | Potentielle<br>Energie <sup>2)</sup><br>[kJ] | Wiederkehr-<br>zeitraum<br>T<br>[a] | Eintrittswahr-<br>scheinlichkeit<br>p <sup>3)</sup><br>[%] | Untersu-<br>chungsab-<br>schnitt <sup>4)</sup><br>[-] |
|--------------------|-----------------------------------------------|-----------------|----------------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| 1                  | Steinschlag                                   | 0,01            | 6,5                                          | 1                                   | 100                                                        | A1 – A8                                               |
| 2                  | Blockschlag                                   | 0,15            | 98                                           | 2                                   | 100                                                        | A1 – A4, untere<br>Böschung                           |
| 3                  |                                               | 1,5             | 975                                          | 10                                  | 99                                                         | A1, A2 – A4,                                          |
| 3                  |                                               | 2               | 1.300                                        | 15                                  | 97                                                         | A3, A4                                                |
| 4                  |                                               | 5               | 3.250                                        | 25                                  | 87                                                         | A4                                                    |
| 5                  |                                               | 8               | 5.200                                        | 50                                  | 63                                                         | A4 unterwitterte<br>Tonsteinschicht                   |

1) nach Tab. 4.1-1

2)  $E = m \cdot g \cdot h$ ;  $h = 25 \text{ m}$

3) bezogen auf einen betrachteten Zeitraum  $n = 50$  Jahren;  $p = 1 - (1 - 1/T)^n$  nach [U 8]

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 7] als Produkt aus Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadensgröße definiert. In Anlehnung an [U 8] 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  $45 \pm 5$  kJ. Es wird davon ausgegangen, dass Schienenfahrzeuge aufgrund ihrer Konstruktion und Masse diese Aufprallenergie ebenfalls aufnehmen können.

Die vorbeschriebene Klassenabgrenzung aus dem Verkehrswegebau (Straße / Schiene) wird auch in diesem hier vorliegenden Fall angewendet, da mit dieser so ausgeführten Klassifizierung ein "normiertes" Vorgehen für die Sicherungsempfehlungen gewährleistet ist.



Die Klassen für die **Eintrittswahrscheinlichkeiten** wurden mit Bezug auf den erwarteten Wiederkehrzeitraum verschiedener Blockgrößen in Abhängigkeit von der angenommenen Lebensdauer eines Schutzbauwerks von 50 Jahren gewählt (vgl. Tabelle 4.2-2). Eine hohe Eintrittswahrscheinlichkeit beinhaltet einen Wiederkehrzeitraum von 1 bis 30 Jahren; eine niedrige Wahrscheinlichkeit einen Zeitraum von 100 bis 300 Jahren. Die Betrachtung von noch längeren Zeiträumen bei geringeren Wahrscheinlichkeiten ist nicht zweckmäßig. Die Eintrittswahrscheinlichkeiten beziehen sich auf die Anzahl der Massenbewegungsereignisse, die den Lichtraum erreichen. Eine entsprechende Neubildungsrate wird aufgrund der anstehenden Gesteine erwartet.

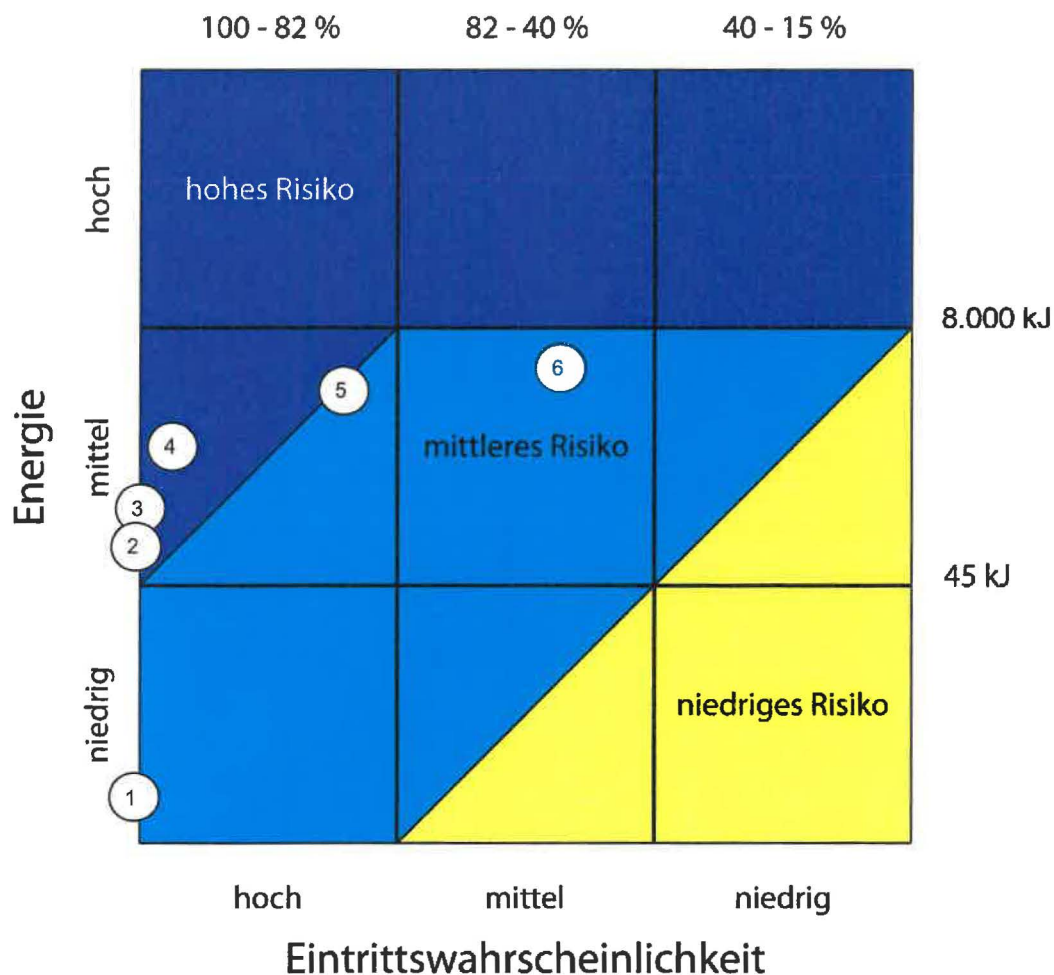


**Abb. 5.1-1:** Einteilung der Risikoklassen aus Anprall (1 - 6 Blockklassen aus. Tab. 4.2-2)

Mit Bezug auf die Ausführungen in Kap. 5.3 wurden in Abb. 5.1-1 die Blockklassen 1 bis 6 (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 9] 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. Darüber hinaus ist zu beachten, dass die Ausrollstrecken für ebenes, horizontales Gelände gelten. Für die unebene Querung des Schienenweges (Höhenunterschiede zwischen Randweg/Bahngraben, Schotterbett, Schiene) sind deutlich kürzere Wege zu erwarten.

Mit Bezug auf die o.a. Abschätzung und die örtlichen Gegebenheiten ist zunächst festzustellen, dass direkten Treffer im Gleisbereich durch die vorhandene Schutzvorrichtung und die Breiten der Stufen nicht möglich sind. Rollende Steine und Blöcke können jedoch 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]                      | [m]       |
| 1 : 1    | 45  | 24,4 | 2,9                      | 24,2      |
| 2 : 1    | 63  |      | 5,7                      | 20,6      |
| 4 : 1    | 76  |      | 6,7                      | 24,2      |
| Vertikal | 90  |      | 6,1                      | 9,0       |

**Tabelle 5.2-1:** Reichweite von Massenbewegungen nach [U 9]



### 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 | Risiko      |
|------------------------|-------------|
| A1                     | niedrig     |
| A2                     | mittel      |
| A3                     | mittel      |
| A4                     | mittel/hoch |
| A5                     | mittel/hoch |
| A6                     | mittel      |
| A7                     | mittel      |
| A8                     | mittel      |
| A9                     | niedrig     |

**Tabelle 5.3-1:** Risikozonierung

Das **niedrige Risiko** für den Bahnbetrieb resultiert danach primär aus fehlenden Felsausbissen. Zum anderen fließen hier die geringen Blockgrößen, der Abstand zwischen Gleis und dem Quellgebiet sowie die geringen Eintrittswahrscheinlichkeiten ein.

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 Wurfen 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 wird für die Sicherung der DB-Strecke 6343 zwischen km 186,917 bis km 187,606 gegen Risiken aus der Felsböschung in den Abschnitten **A2 und A3** im Bereich der Felsausbisse unterhalb der bestehenden Sicherungsbauwerke sowie in den Abschnitten **A5 bis A7** für die Felsausbisse oberhalb der Stützmauer eine **Übernetzung** mit einem hochfesten, rückverankerten Stahldrahtgeflecht sowie einer Auffangschürze. Für die **Stützmauer** am Böschungsfuß in den Abschnitten A5 bis A9 wird ein **Vegetationsrückschnitt** empfohlen um ein Ausbrechen von Steinen durch Wurzeldruck zu vermeiden.

Die vorhandenen Schutzvorrichtungen aus Bahngleisen und einer Ausfachung aus Holzschwellen werden aufgrund ihres Zustandes als nicht ausreichend angesehen. Es wird empfohlen, die bestehenden Sicherungen in den **Abschnitten A2 bis A4 durch Steinschlagschutzzäune zu ersetzen**.

Im **Abschnitt A4** wird eine Einzelsicherung des Großrisikos von ca. 8 m<sup>3</sup> oberhalb der bestehenden Sicherungsbauwerke mit **Felsnägeln** empfohlen.

Des Weiteren wird eine **Sanierung/Übernetzung der Stützmauer** am Böschungsfuß in den Abschnitten A7 bis A9 empfohlen. Die Mauer weist an einigen Stellen Schäden in Form von Ausbauhungen, Ausbrüchen und Auflockerungen auf.

Mit dem gewählten System können die festgestellten Risiken langfristig minimiert werden und die Sicherheit für den Bahnverkehr 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 **€ 2.100.000 netto** (Stand Anfang 2018) zu rechnen. Die Spanne der geschätzten Baukosten wird auf etwa **€ 1.700.000 - € 2.400.000** 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 ( $m / m^2$ ) 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 der Böschung an der DB-Strecke 6343 zwischen km 186,917 und km 187,606 hat ergeben, dass lokale Stein-, Blockschlag- sowie Felssturzsrisiken bestehen, die zu einer Gefährdung des Bahnverkehrs führen können. Zur Minimierung des Risikos wird in den Abschnitten A2 und A3 sowie A5 bis A7 eine flächige Übernetzung der Felsausbisse mit einem hochfesten, rückverankerten Stahldrahtgeflecht sowie einer Auffangschürze empfohlen. In den Abschnitten A2 bis A4 empfehlen wir die bestehenden Schutzvorrichtungen durch Steinschlagschutzzäune zu ersetzen.

Für das Großrisiko in Abschnitt A4 wird eine Einzelsicherung durch Felsnägel empfohlen. Eine Sanierung/Übernetzung der Stützmauer in den Abschnitten A7 bis A9 wird ebenfalls empfohlen.

Die Arbeiten erfordern eine **Objekt- und Tragwerksplanung**; die Ausführung ist fachtechnisch zu überwachen. Der Natur- und Landschaftsschutz ist zwingend in die Planung einzubinden. Zusätzlich ist eine weiterführende Baugrunderkundung für die Installation der Sicherungssysteme erforderlich. Die Fertigstellung der Sicherungsmaßnahme ist nach [U 14] bis Ende 2021 geplant.



DR. SPANG

Projekt: 38.5689

Seite 30

18.04.2018

---

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