



DR. SPANG

INGENIEURGESELLSCHAFT FÜR BAUWESEN, GEOLOGIE UND UMWELTECHNIK MBH

DB Netz AG
Regionalbereich Süd
Herr Robert Leißner
GE Regionalnetz Oberpfalz
Bahnhofstraße 28b
92637 Weiden

Projekt-Nr.
38.5589

Datei
P5589B171115.docx

Diktat
Wo/Kar

Büro
Nürnberg

Datum
15.11.2017

DB STRECKE 5810
CHAM - WALDMÜNCHEN
km 1,090 - 1,270 rdB

Anschnittsböschung westlich von Cham

- Geotechnische Begutachtung -

Bestellung 0016/NG1/27189721
zum Rahmenvertrag 1000/EBO/92252420

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: 90491 Nürnberg, Erlenstegenstr. 72, Tel. (0911) 964 56 65-0, Fax 964 56 65-5, nuernberg@dr-spang.de
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, H.-von-Stephan-Platz 1, Tel. (03445) 762-153, Fax 762-162, naumburg@dr-spang.de
Banken: Deutsche Bank AG, Nürnberg, IBAN: DE36 7607 0024 0381 6642 00, BIC: DEUTDE33HAN



INHALT	SEITE
1. ALLGEMEINES	4
1.1 Projekt	4
1.2 Auftrag	4
1.3 Unterlagen	5
1.4 Untersuchungen	6
2. GEOTECHNISCHE VERHÄLTNISSE	7
2.1 Morphologie und Vegetation	7
2.2 Gesteine	8
2.3 Lagerungsverhältnisse und Trennflächen	8
2.4 Bergwasserverhältnisse	11
2.5 Geotechnische Besonderheiten	12
2.6 Bauwerke	12
3. FELSKENNWERTE	13
3.1 Homogenbereiche gem. DIN 18 300 / 18 301	13
4. UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE	16
4.1 Begriffe	16
4.2 Lokale Standsicherheit	17
4.3 Globale Standsicherheit	18
5. RISIKOBEURTEILUNG	18
5.1 Methodischer Ansatz	18
5.2 Risikoanalyse	21
5.3 Risikozonierung	22
6. EMPFEHLUNGEN	23
6.1 Sicherungsvorschlag	23
6.2 Baukosten	23
7. ZUSAMMENFASSUNG	24



8. ANLAGEN

- Anlage 1: Übersichtslageplan 1 : 100.000 (2)
- Anlage 2: Lageplan 1 : 1.000 (2)
- Anlage 3: Dokumentation der Geländeaufnahme (2)
- Anlage 4: Dokumentation des Trennflächengefüges (3)
- Anlage 5: Standsicherheitsuntersuchung (8)
- Anlage 6: Fotodokumentation (8)
- Anlage 7: Kostenschätzung (4)



1. ALLGEMEINES

1.1 Projekt

Die eingleisige, nicht elektrifizierte DB-Strecke 5810 führt etwa 22 km von Cham aus nach Norden durch den Landkreis Cham nach Waldmünchen. Im Untersuchungsbereich zwischen km 1,090 und km 1,270 liegen die Gleise zwischen einem künstlich hergestellten Felsanschnitt (rdB) und der DB-Strecke 5800 (Schwandorf–Furth im Wald). Die Felsböschung rdB erreicht dabei ein Höhenniveau von bis zu ca. 12 m über Schienenoberkante (SO). Im gegenständigen Streckenabschnitt wird der Felsanschnitt rdB aus einer Wechselabfolge von fein- bis mittelkörnigem Granit und Gneis aufgebaut.

Im Rahmen der Regelbegutachtungen durch die DB AG [U 4] wurden in dem zu untersuchenden Felsanschnitt Risiken durch instabile Bereiche infolge von zunehmender Erosion festgestellt, die zu einer Gefährdung des Bahnbetriebs sowie zu einem dauerhaft erhöhten Instandhaltungsaufwand führen. Die Teilbereiche mit freistehenden Felspartien wurden zuletzt im Juni 2011 beräumt.

Im vorliegende Gutachten wurden unter anderem geotechnische Aufnahmen der zu sanierenden Bereiche durchgeführt, um gezielt Risiken abschätzen zu können, die zu sanierenden Flächen und planungsrelevante Grundlagen festzulegen, und um nachhaltige Lösungen zur Sicherung der Felsböschung auszuarbeiten.

1.2 Auftrag

Mit Bestellung vom 28.08.2017 erhielt die Dr. Spang GmbH auf der Basis des Angebotes vom 07.08.2017 durch die DB Netz AG, Regionalbereich Süd, Produktionsstandort Regensburg, den Auftrag, die Felsböschung im genannten Bereich geotechnisch zu untersuchen und bergsteigerisch zu begehen. Im Einzelnen waren folgende Leistungen zu erbringen.

- **Geotechnische Aufnahme** der Böschung einschließlich Einmessen des Trennflächengefüges und Abschätzen der für die Standsicherheit relevanten felsmechanischen Kennwerte; Lokalisierung und ggf. Markierung instabiler Bereiche; Beschreibung der entsprechenden Stellen einschließlich qualitativer Angabe der erforderlichen Sicherungsmaßnahmen.



- **Auswertung der Geländeaufnahme;** Standsicherheitsbeurteilung unter Berücksichtigung des Trennflächengefüges; Beurteilen der globalen und lokalen Standsicherheit.
- **Bewerten der Geländeuntersuchungen** und der Standsicherheitsuntersuchung; Risikobeurteilung; Ausarbeiten von Sicherungs- und Sanierungsvorschlägen im Rahmen einer Machbarkeitsstudie; Ausführungsvorschlag; Kostenschätzung; ggf. Einteilung von Dringlichkeitsstufen; Zusammenfassung der Ergebnisse in einem Bericht.

Nachstehend werden die Ergebnisse der Geländeuntersuchung zusammengefasst und erläutert.

1.3 Unterlagen

Zur Bearbeitung des Projektes wurden die nachfolgend aufgeführten Unterlagen verwendet:

[U 1] **Topographische Karte 1 : 25.000;** GeoFachdatenAtlas (BIS-BY), München, 2009.

[U 2] **Geologische Karte von Bayern 1 : 25.000;** Blatt 6741 Cham West, Bayerisches Geologisches Landesamt, Augsburg, 2007.

[U 3] **IVL 5810, Lageplan 1 : 1.000;** DB-Strecke 5810, Cham – Waldmünchen, Abschnitt km 1,050 – km 1,420, DB Netz AG.

[U 4] **Auszug aus der Begutachtung des Fachbeauftragten der DB AG,** Herr Leißner, DB Netz AG Weiden per Email vom 14.07.2017.

[U 5] **<http://www.bfn.de>;** Bundesamt für Naturschutz, Schutzgebiete in Deutschland.

[U 6] **<http://www.bayernatlas.de>;** Bayerisches Staatsministerium der Finanzen, für Landesentwicklung und Heimat, Stand 2015.

[U 7] **MÜLLER, L.:** Der Felsbau, 1. Band: Grundlagen.- Stuttgart, 1978.



- [U 8] **HINZEN, A.:** Der Einfluss des menschlichen Faktors auf die Sicherheit der Eisenbahn. – ETR 45 (1996).
- [U 9] **RAETZO, H. et al.:** Hazard assessment in Switzerland – Codes of Practice for mass movements. – Bull.Eng.Geol.Env. (2002) 61: 263-268.
- [U 10] **PIERSON, L.A. et al.:** Rockfall Catchment Area Design Guide. Final Report SPR-3(032). – Oregon Department of Transportation, 12/2001.
- [U 11] **SCHWINGENSCHLÖGL, R. & WEISS, E.H.:** Ingenieurgeologische Probleme bei der Boden- und Felsklassifikation im Autobahnabschnitt A 2. – Felsbau 3 (1985) Nr. 4, Essen.
- [U 12] **Karte der Frosteinwirkungszonen in Deutschland 1:750.000**, Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Bergisch Gladbach, 2012.

1.4 Untersuchungen

Die geologische Geländeaufnahme wurde von den Unterzeichnern am 18.10.2017 durchgeführt. Im Zuge der Geländeaufnahme wurden die geologischen Verhältnisse und das Trennflächengefüge aufgenommen sowie die felsmechanisch relevanten Kennwerte geschätzt. Hierzu wurde der Hang im Untersuchungsbereich zunächst zu Fuß begangen. Ausgewählte Stellen wurden im Anschluss daran bergsteigerisch begangen, um auch Abschnitte in Augenschein zu nehmen, die vom Fuß der Wand nicht einsehbar sind.

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 und in Anlage 7 ist eine Schätzung der Baukosten beigefügt. Zu den Ergebnissen der Untersuchungen führen wir wie folgt aus.

In vorliegendem Bericht wird der Untersuchungsbereich in einzelne Abschnitte aufgeteilt. In Tabelle 1.4-1 sind die aufgenommenen Abschnitte mit Kilometrierung aufgeführt:



Abschnitt	ca. Strecken-km
B 1	1,090 - 1,140
B 2	1,140 - 1,160
B 3	1,160 - 1,210
B 4	1,210 - 1,240
B 5	1,240 - 1,270

Tabelle 1.4-1: Zuweisung der Abschnitte des Untersuchungsbereiches zur Streckenkilometrierung

2. GEOTECHNISCHE VERHÄLTNISSE

2.1 Morphologie und Vegetation

Der untersuchte Böschungsanschnitt liegt in einem geraden Abschnitt der DB-Strecke 5810, Cham - Waldmünchen zwischen ca. km 1,090 und ca. km 1,270 und befindet sich ca. 1.100 m nordwestlich vom Bahnhof Cham. In diesem Bereich verläuft die Bahnstrecke noch parallel zur DB-Strecke 5800 (Schwandorf–Furth im Wald) die sich bei ca. km 1,400 abzweigt. Der mäandrierende Regen fließt etwa 300 m nordwestlich des untersuchten Abschnitts (IdB). Das Gleisniveau liegt bei etwa 370 m ü. NN (ca. km 1,100).

Die Höhe der **Anschnittsböschung** beträgt im Untersuchungsabschnitt bis ca. 12,0 m ü. SO, die Neigung beträgt etwa 45 - 55°, die Felsanschnitte sind zum Teil senkrecht. Der mittlere Abstand zu den Gleisen beträgt ca. 1,0 m. Aus der Felsböschung tritt insbesondere von ca. km 1,140 - 1,155 sowie km 1,240 – 1,265 ein jeweils zusammenhängender Felsanschnitt hervor. Das flächig vorhandene Lockergesteinsauflager aus Hangschutt mit geringer Rohbodenbedeckung wird stellenweise von Felsausbissen unterbrochen. Die Böschung ist zum großen Teil von lichter Gras- und Strauchvegetation sowie vereinzelt Bäumen (Jungwuchs) bewachsen. Stellenweise sind die Felsausbisse von Moospolstern und Flechten bedeckt. Lokal lagert loses, vom Felsverband abge-



löstes Blockwerk am Rand des Gleisbetts. Links der Bahn befindet sich, parallel zum Gleisverlauf, ein unbefestigter Wirtschaftsweg, rechts der Bahn verläuft in ca. 65 m Entfernung eine asphaltierte Straße (Katzbacher Straße, Cham). Hinsichtlich der Morphologie der einzelnen untersuchten Abschnitte wird auf die Ausführungen in Anlage 3 verwiesen.

2.2 Gesteine

Nach den Befunden der Geländeaufnahmen und nach der Geologischen Karte [U 2] stehen im Untersuchungsbereich hauptsächlich biotitreicher fein- bis mittelkörnige **Granite (Grfm)** sowie mittel- bis grobkörnige diatektische **Gneise (Gndx)** des variszischen Grundgebirges an. Zum Teil können Fließregelungen und bis zu 2 cm große Feldspatkristalle in dem Plutonit beobachtet werden.

Der Granit ist im frischen Zustand weißgrau bis rotbraun, angewittert hellgrau bis dunkelgrau. Das mikroskopische Gefüge ist hypidiomorph vollkörnig. Die Gneise sind hellgrau bis rotbraun und verwittern gelgrau bis rotbraun. Die Festigkeit der Gesteine wird als hoch nach DIN EN ISO 14689-1 eingeschätzt. Die Gesteine haben eine gute Kornbindung; die Raumausfüllung ist dicht.

Die Felsböschung wird in weiten Bereichen von einer vermutlich geringmächtigen **Lockergesteinsauflage** mit einer dünnen Humusauflage überdeckt; für die globale Standsicherheit der untersuchten Felsausbisse ist sie ohne Belang. Allerdings können sich auch aus diesen Flächenbereichen Risiken durch abrollendes Gesteinsmaterial ergeben, sobald die rückhaltende Oberbodenbedeckung zurückgenommen wird, oder durch Erosionsvorgänge Schaden nimmt.

2.3 Lagerungsverhältnisse und Trennflächen

Der untersuchte Böschungsabschnitt kann hinsichtlich der Lagerung und Ausbildung der Trennflächen zu zwei **Homogenbereichen** zusammengefasst werden. Nach der als Anl. 4.1.1 und 4.1.2 beigefügten Dokumentation des Trennflächengefüges wird das Gebirge im Granit im Wesentlichen durch **3** und im Gneis durch **2 Trennflächenscharen** – Klüftung K1, K2 sowie K3 – zerlegt. Die Eigenschaften der Trennflächen sind in Tabelle 2.3-1 sowie Tabelle 2.3-2 zusammengefasst.



Trennfläche	Mittlere Orientierung α / β [° / °]	Trennflächen- ausbildung [-]	Trennflächen- abstand* d [m]	Ebene Durch- trennung* χ [-]
Klüftung K1	27/38	eben, rau	0,3 – 1,0 (0,6)	0,7 – 0,9 (0,8)
Klüftung K2	67/71	eben, rau	0,3 – 1,0 (0,6)	0,7 – 0,9 (0,8)
Klüftung K3	337/22	eben, rau	0,3 – 1,0 (0,6)	0,7 – 0,9 (0,8)

* Spannweite, Mittelwerte in Klammern

Tabelle 2.3-1: Eigenschaften der Trennflächenscharen im Granit

Der **Granit** ist stellenweise regellos geklüftet, insgesamt wurden drei Hauptklüfttrichtungen ermittelt. Während K1 und K3 zusammen ein spitzwinkliges Trennflächensystem bilden steht K2 mehr oder weniger rechtwinklig dazu. Dadurch ergeben sich rhombische Gesteinskörper, die zu einer blockartigen Verwitterung des Gesteins führen. Die gemessenen Kluftabstände liegen zwischen 0,3 und 1,0 m, es ist daher von einer mittelständigen bis weitständigen Klüftung nach DIN EN ISO 14 689-1 zu sprechen. Im Aufschlussmaßstab sind die Flächen eben und rau ausgebildet.

Trennfläche	Mittlere Orientierung α / β [° / °]	Trennflächen- ausbildung [-]	Trennflächen- abstand* d [m]	Ebene Durch- trennung* χ [-]
Klüftung K1	236/81	eben, glatt	0,1 – 0,4 (0,25)	0,8 – 1,0 (0,9)
Klüftung K2	27/77	eben, glatt	0,1 – 0,4 (0,25)	0,8 – 1,0 (0,9)

* Spannweite, Mittelwerte in Klammern

Tabelle 2.3-2: Eigenschaften der Trennflächenscharen im Gneis



Der **Gneis** ist stark zerklüftet mit zwei geregelten **Hauptklufscharen**. Während K1 annähernd Böschungsparell verläuft, steht K2 mehr oder weniger orthogonal dazu was zu einem Zerblo-ckung bzw. plattigen Absonderungen von Klufkörpern aus dem Gesteinsverband führt. Die Kluf-abstände liegen im Mittel bei ca. 0,25 m (mittelständige Klüftung) und die Oberflächen sind im Auf-schlussmaßstab eben und glatt. Zum Teil sind die Klüfte mit schluffigen und feinsandigem Material verfüllt.

Störungen sind nach der Geologischen Karte [U 2] im Untersuchungsgebiet nicht zu erwarten. Im Zuge der Geländeaufnahme wurden auch keine entsprechenden Anzeichen aufgenommen.

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 11]

Die **Verbandsfestigkeit** wird nach [U 11] oberflächennah bis in eine geschätzte Tiefe von ca. 1,0 m bergseitig der Felsoberfläche als aufgelockert bis verspannt (mäßige bis gute Verbandsfestigkeit, VF3 - VF2; s. Tabelle 2.3-2) eingeschätzt. Im tieferen Gebirge wird der Verband als sehr gut verspannt (sehr gute Verbandsfestigkeit, VF1) angesehen. Die Auflockerung resultiert aus Tektonik, Verwitterung sowie 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 **kleinwürfelige**, zum Teil auch um quaderig-bankige bis großwürfelige 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 $1,5 \text{ m}^3$ zu rechnen.

Form der Kluftkörper					
Kluftabstand d [cm]	d_2	d_2	d_2	d_2	d_2
Verhältnis $\frac{d_1}{d_3}; \frac{d_2}{d_3}$	$< 1:5$	$1:2 \text{ bis } 1:5$	$\sim 1:1$	$2:1 \text{ bis } 5:1$	$> 5:1$
$d_{\max} > 100$	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 7]

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 schwach durchlässig sein. Angaben über den geschlossenen **Bergwasserspiegel** liegen nicht vor; er wird jedoch in etwa auf dem Niveau des Vorfluters erwartet (ca. 363 m NN).



Vorfluter für das Gebiet ist die ca. 300 m nordwestlich gelegene Regen welche als längster Fluss der Oberpfalz im weiteren Verlauf als linker Nebenfluss bei Regensburg in die Donau mündet. Aufgrund dessen ist von einer nordwestlichen Fließrichtung des Bergwassers auszugehen.

Wasserproben für Analysen nach DIN 4030 bzw. zur Untersuchung der Gefahr von Ausfällungen oder Verockerungen konnten im Zuge der Geländeaufnahme mangels Wasser nicht genommen werden. Hinweise auf beton- und stahlangreifende Bestandteile des Grundwassers liegen nicht vor. Diese Einschätzung sind nötigenfalls im Zuge der weiteren Planung zu überprüfen.

2.5 Geotechnische Besonderheiten

Der untersuchte Abschnitt gehört nach DIN 4149 (2005-04), Bauten in deutschen Erdbebengebieten, zur keiner **Erdbebenzone** und zu keiner **Untergrundklasse**.

Nach [U 12] liegt das Projektgebiet in der **Frosteinwirkungszone II**.

Das Projektgebiet liegt nach [U 5] im Naturpark „**Oberer Bayerischer Wald**“ (NP-00008).

Das Landschaftsschutzgebiet „**Oberer Bayerischer Wald**“ (LSG-00579.01) grenzt direkt IdB an. Etwa 200 m westlich des Projektgebiets beginnt das Naturschutzgebiet „**Regentalaue zwischen Cham und Pöding**“ (NSG-00746.01). Das Fauna-Flora-Habitat „**Chamb, Regentalaue und Regen zwischen Roding und Donaumündung**“ (6741-371) sowie das Vogelschutzgebiet „**Regentalaue und Chamtal mit Roetelseeweihergebiet**“ (6741-471) befinden sich etwa 300 – 500 m nordwestlich des Untersuchungsgebietes.

Wasserschutzgebiete oder andere Schutzgebiete sind nicht betroffen.

2.6 Bauwerke

Direkt am Böschungsfuß bei ca. km 1,195 rdB befindet sich eine Signalanlage der Deutschen Bahn. Kabelkanäle, oder dergleichen sind im Untersuchungsbereich rdB nicht vorhanden.



3. 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 E_k (isotrop) [MN/m ²]
		γ_k [kN/m ³]	φ'_k [°]	c'_k [MN/m ²]	$\sigma_{c,k}$ [MN/m ²]	
1a	Granit, angewittert	26,5	37,5	≥ 0	5 - 50 ¹⁾	2.500 - 15.000
1b	Granit, unverwittert	26,5	40	≥ 0 ¹⁾	50 - 200 ¹⁾	15.000 - 50.000
2a	Gneis, angewittert	26	30	≥ 0 ¹⁾	15 - 50 ¹⁾	4.500 - 15.000
2b	Gneis, unverwittert	26	35	≥ 0	30 - 150 ¹⁾	9.000 - 45.000

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.

In Anlehnung an Ostermayer wird für massige Erstarrungsgesteine wie z.B. Granit in den unverwitterten Bereichen eine charakteristische Mantelreibung $q_{s,k}$ von 0,9 MN/m² angesetzt. An stärker verwitterten, bzw. klüftigen Stellen und in oberflächennahen Bereichen ist mit einer reduzierten Mantelreibung in Höhe von $q_{s,k} = 0,5$ MN/m² zu rechnen.

3.1 Homogenbereiche gem. DIN 18 300 / 18 301

Für die Festlegung der Homogenbereiche für Erdarbeiten (DIN 18 300) wird davon ausgegangen, dass Erdaushub mit einem Bagger hoher Leistungsklasse ausgeführt wird und der Aushubboden nicht vor Ort wieder eingebaut wird. Daher berücksichtigen die Homogenbereiche im Wesentlichen das Lösen. Soweit ein Wiedereinbau geplant ist, müssen die Homogenbereiche weiter differenziert



werden. In den nachfolgenden Tabellen 3.1-1 bis 3.1-2 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 [%]	15 - 35
Plastizität I_P ¹⁾	mittel - ausgeprägt
Konsistenz I_c ¹⁾	steif – halbfest
bezogene Lagerungsdichte I_D ¹⁾	locker – mitteldicht
organischer Anteil v_{gl} ¹⁾	5-10 %
Bodengruppe	SU, SU*, GU, GU*, UA, TA, TM, UM; GT, GT*

1) Begriffe nach DIN EN ISO 14 688-2

*) keine Untersuchungen vorhanden

Tabelle 3.1-1: Homogenbereiche gemäß DIN 18 300 für **Erdarbeiten in Boden**

Eigenschaft / Kennwerte	Homogenbereiche
	Erd-B
Schicht Nr.	1a, 1b, 2a, 2b
ortsübliche Bezeichnung	Granit, Gneis
Benennung von Fels ¹⁾	Fein- bis mittelkörniger Granit, Diatektischer Gneis
Dichte [g/cm ³]	2,4 - 2,7
Verwitterung und Veränderungen, Veränderlichkeit ¹⁾	angewittert - entfestigt schwach veränderlich



Eigenschaft / Kennwerte	Homogenbereiche	
	Erd-B	
einaxiale Druckfestigkeit [MN/m ²]	5 - 200	
Trennflächenrichtung, Trennflächenabstand, Gesteinskörperform	Fallrichtung: Fallwinkel: Trennflächenabstand: Gesteinskörper ¹⁾ :	s. Kap. 2.3

1) Begriffe nach DIN EN ISO 14 689-1

Tabelle 3.1-2: Homogenbereiche gemäß DIN 18 300 für **Erdarbeiten im Festgestein**

Die für die Baumaßnahme anzusetzenden **Homogenbereiche für Bohrarbeiten zur Herstellung der Verankerungen** werden in den nachstehenden **Tabellen 3.1-3 bis 3.1-4** zusammengestellt. Die Bohrarbeiten für Anker werden in der Regel mit Lafettenbohrgerät oder Bohrraupe ausgeführt.

Eigenschaft / Kennwerte	Homogenbereiche	
	Bohr-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	
Kohäsion c' [kN/m ²]	≥ 0	
undrainierte Scherfestigkeit c _u [kN/m ²]	≥ 0	
Wassergehalt w _n [%]	15 - 35	
Plastizität I _p ¹⁾	mittel - ausgeprägt plastisch	
Konsistenz I _c ¹⁾	steif - halbfest	
bezogene Lagerungsdichte I _D ¹⁾	locker - mitteldicht	
Abrasivität LCPC ²⁾	≤ 2 (abrasiv) ^{*)}	
Bodengruppe	SU, SU*, GU, GU*, UA, TA, TM, UM	

1) Begriffe nach DIN EN ISO 14 688-2

^{*)} keine Untersuchungen vorhanden

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

Tabelle 3.1-3: Homogenbereiche gemäß DIN 18 301 für **Bohrarbeiten in Boden**



Eigenschaft / Kennwert	Homogenbereiche
	Bohr-B
Schicht Nr.	1a, 1b, 2a, 2b
ortsübliche Bezeichnung	Granit, Gneis
Benennung von Fels ¹⁾	Fein- bis mittelkörniger Granit, Diatektischer Gneis
Verwitterung und Veränderungen, Veränderlichkeit ¹⁾	angewittert - unverwittert schwach veränderlich
einaxiale Druckfestigkeit [MN/m ²]	5 - 250
Trennflächenrichtung, Trennflächenabstand, Gesteinskörperform	Fallrichtung: Fallwinkel: Trennflächenabstand: Gesteinskörper ¹⁾ : s. Kap. 2.3
Abrasivität CAI ³⁾	≤ 4 – 6 (stark bis extrem abrasiv) ²⁾

1) Begriffe nach DIN EN ISO 14 689-1

2) keine Untersuchungen vorhanden

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

Tabelle 3.1-4: Homogenbereiche gemäß DIN 18 301 für **Bohrarbeiten im Festgestein**

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 [m ³]	Kantenlänge* [m]
Steinschlag	≤ 0,01	≤ 0,2
Blockschlag	> 0,01 – 5,0	> 0,2 – 1,71
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 beigelegten Beschreibung der Risiken aus der Felsböschung wurden flächige Instabilitäten im Fels festgestellt. Die Ursachen der Instabilitäten liegen überwiegend in der Verwitterung der Schichten, in Verbindung mit der Vegetation / Wurzeldruck sowie Frost / Eis und talparalleler Entspannung.

Die Instabilitäten zeigen sich als **Stein- und Blockschlagrisiken**, die durch die intensive Verwitterung und zum Teil böschungsparell einfallende Trennflächenscharen begünstigt werden und zur Ablösung von labilen Kluftkörpern und zusammenhängenden, gleitgefährdeten Felsschollen führen können. Lokal begrenzt sind auch **Blockschlagrisiken** bis ca. 1,5 m³ vorhanden.

Nach den Erkenntnissen aus der Geländeaufnahme (Anlage 3.1) werden die in Tabelle 4.2-1 aufgeführten Eintrittswahrscheinlichkeiten für Massenbewegungen aus der Böschung angenommen, die im Untersuchungsbereich die Bahngleise bzw. den Zugverkehr erreichen. Als Bezugsgröße wurde eine Bauwerkslebensdauer von 50 Jahren gewählt.



lfd. Nr.	Massen- bewegung ¹⁾	Volumen	Potentielle Energie ²⁾	Wiederkehr- zeitraum T	Eintrittswahr- scheinlichkeit p ³⁾	Maßgebender Strecken- abschnitt ⁴⁾
[-]	[-]	[m³]	[kJ]	[a]	[%]	[-]
1	Steinschlag	0,01	2,5	0,5	100	B1, B2, B3, B5
2		0,1	25	1	100	B1, B2, B5
3	Blockschlag	1	245	5	100	B1, B2, B5
4		3	736	10	99	B5

1) nach Tab. 4.1-1

2) $E = m \cdot g \cdot h$; $h = 10 \text{ m}$

3) bezogen auf einen betrachteten Zeitraum $n = 50$ Jahren; $p = 1 - (1 - 1/T)^n$ nach [U 9]

4) siehe Anlagen 2 und 3.1

Tabelle 4.2-1: Eintrittswahrscheinlichkeiten für Massenbewegungen

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 8] als Produkt aus Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadensgröße definiert. In Anlehnung an [U 9] 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 5.000 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.

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.

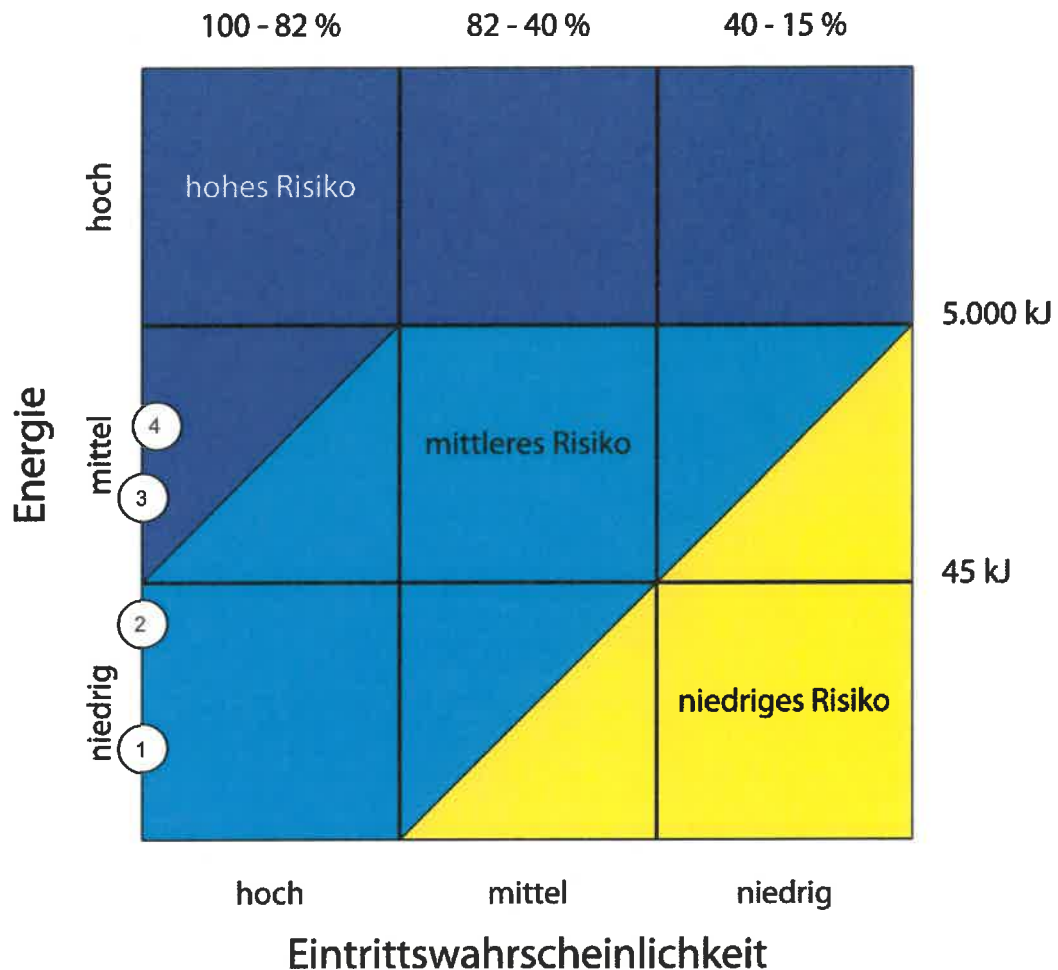


Abb. 5.1-1: Einteilung der Risikoklassen aus Anprall (Blockklassen 1 - 4 aus Tab. 4.2-1)

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 4.2-1). 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.

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 4.2-1 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 10] 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 $\geq 0,9$ 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 in allen Bereichen bis auf B4 möglich sind. Rollende Steine und Blöcke aus der Anschnittsböschung können zu einer Gefährdung des böschungsseitigen 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	12,2	0	18,2
2 : 1	63		1,8	14,5
4 : 1	76		2,9	9,8
Vertikal	90		4,3	9,0

Tabelle 5.2-1: Reichweite von Massenbewegungen nach [U 10]



5.3 Risikozonierung

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

Risiko für Bahnbetrieb	Bereich
niedrig	-
mittel	B1, B2, B3, B5 (km 1,090 – 1,210 und km 1,240 – 1,270)
hoch	B1, B2, B5 (km 1,090 – 1,160 und km 1,240 – 1,270)

Tabelle 5.3-1: Risikozonierung

Das **niedrige Risiko** für den Bahnbetrieb resultiert danach zum einen aus den geringen Blockgrößen und dem Abstand zwischen dem Gleis und den Quellgebieten in den Böschungen, zum anderen aus der erwarteten geringen Eintrittswahrscheinlichkeit.

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 konnte 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 Bahnstrecke 5810, km 1,090 - 1,270 gegen die Risiken aus der Felsböschung in den **Abschnitten B1 bis B3**, sowie **B 5** die flächige, händische **Beräumung** der aufgelockerten Bereiche empfohlen. Zur Vermeidung eines erhöhten Instandhaltungsaufwandes durch wiederkehrende Beräumungsmaßnahmen (ca. alle 3 - 5 Jahre) empfehlen wir zusätzlich die **Übernetzung** der Felsböschungen in den **Abschnitten B 1, B 2 sowie B 5**.

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

Aufgrund der vorherrschenden Risiken und deren Bewertung empfehlen wir die Ausführung der **Felsberäumung** in den Abschnitten B1 bis B3, sowie B 5 innerhalb der nächsten **1 - 2 Jahre (Instandhaltungsmaßnahme)** vorzunehmen.

Zusätzlich wird empfohlen die Ausführung der **Übernetzung** in den Bereichen B 1, B 2 sowie B 5 innerhalb der nächsten **3 - 5 Jahre (Investivmaßnahme)** vorzunehmen.

6.2 Baukosten

Nach der als Anlage 7.1 beigefügten Kostenschätzungen ist mit mittleren Baukosten von etwa [REDACTED] zu rechnen. Für die vorlaufend auszuführenden **Instandhaltungsmaßnahmen (Felsberäumung)** sind [REDACTED] anzusetzen (Anlage 7.2). Die Kosten der empfohlenen **Investivmaßnahmen** (Anlage 7.3) werden mit [REDACTED] angesetzt.

Es ist zu berücksichtigen, dass diese Schätzung auf einer ersten groben Massenermittlung bei der Ortsaufnahme und der darauf aufbauenden Maßnahmenempfehlung basiert. Die Kosten sind über die entsprechende Masse (m / m²) grob auf Grundlage von Erfahrungswerten abgeschätzt. Für ei-



ne Finanzierungsplanung 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 Felsböschung der Bahnstrecke 5810, km 1,090 - 1,270 hat ergeben, dass abschnittsweise Steinschlag- und Blockschlagrisiken bestehen, die zu einer Gefährdung des Schienenverkehrs führen.

Die Risikogröße variiert dabei in Abhängigkeit von den angetroffenen geotechnischen Verhältnissen. Es handelt sich um inakzeptable Risiken, die Sicherungsmaßnahmen erfordern. Zur Minimierung der Risiken werden vorlaufend auszuführenden Instandhaltungsmaßnahmen (Beräumung) sowie lokale Übernetzungen (Investivmaßnahme) empfohlen.

Die Arbeiten erfordern eine **Objekt- und Tragwerksplanung**; die Ausführung ist fachtechnisch zu überwachen. Die Instandhaltungsmaßnahmen sind in spätestens 1 - 2 Jahren auszuführen. Die Investivmaßnahmen sind in spätestens 3 - 5 Jahren auszuführen.

Zur Beantwortung weiterer Fragen stehen wir Ihnen gerne zur Verfügung.

ppa. (gezeichnet)

Dipl.-Geol. Jochen Wolf
(Niederlassungsleiter)

i.A.


Dipl.-Geol. Jack Karpel
(Projektgeologe)



DR. SPANG

Projekt: 38.5589

Seite 25

15.11.2017

- Verteiler:**
- DB Netz AG, Hr. Leißner, Weiden, 4 x, davon 1 x vorab per Email an
<robert.leissner@deutschebahn.com>
 - DB Netz AG, Hr. Reichert, Weiden, 1 x vorab per Mail an
<rupert.reichert@deutschebahn.com>
 - DB Netz AG, Hr. Hummel, Nürnberg, 1 x vorab per Mail an
<dietmar.hummel@deutschebahn.com>
 - DB Netz AG, Hr. Koller, Nürnberg, 1 x vorab per Mail an
<Markus.Koller@deutschebahn.com>
 - Dr. Spang GmbH, Nürnberg, 1 x