



DR. SPANG

INGENIEURGESELLSCHAFT FÜR BAUWESEN, GEOLOGIE UND UMWELTTECHNIK MBH

DB Netz AG
I.NP-S-R-(I)
Herrn Schumacher
Katzwanger Straße 175
90461 Nürnberg

Projekt-Nr.
31.2713

Datei
P2713B110130.docx

Diktat
CSp/Wo

Büro
Nürnberg

Datum
20.03.2011

DB-STRECKE 5800

SCHWANDORF – FURTH i. W.

km 45,600 bis km 45,770

Felsböschung l.d.B.

- Geotechnische Begutachtung der Felsböschung -

Bestellung 0016 / 6IZ / 22603329
vom 02.07.2010

Gesellschaft: HRB 8527 Amtsgericht Bochum, USt-IdNr. DE126873490, Geschäftsführer Dipl.-Ing. Christian Spang
Zentrale Witten: Westfalenstraße 5 - 9, D-58455 Witten, Tel. (0 23 02) 9 14 02 - 0, Fax 9 14 02 - 20, zentrale@dr-spang.de
<http://www.dr-spang.de>
Niederlassungen: 90441 Nürnberg, Waldaustraße 13, Tel. (0911) 964 5665-0, Fax 964 5665-5, nuernberg@dr-spang.de
73734 Esslingen/Neckar, Weilstr. 29, Tel. (0711) 351 30 49-0, Fax 351 30 49-19, esslingen@dr-spang.de
06618 Naumburg, Jakobsring 4a, Tel. (03445) 762-153, Fax 762-162, naumburg@dr-spang.de
09599 Freiberg/Sachsen, Halsbrücker Str. 34, Tel. (03731) 79 87 89-0, Fax 79 87 89-20, freiberg@dr-spang.de
Banken: Deutsche Bank AG, Nürnberg, BLZ 760 700 24 Kto.-Nr. 3816642



INHALT	SEITE
1. ALLGEMEINES	3
1.1 Projekt	3
1.2 Auftrag	3
1.3 Unterlagen	4
1.4 Untersuchungen	5
2. GEOTECHNISCHE SITUATION	5
2.1 Morphologie und Vegetation	5
2.2 Gesteine	6
2.3 Lagerungsverhältnisse und Trennflächen	7
2.4 Bergwasserverhältnisse	10
2.5 Geotechnische Besonderheiten	10
2.6 Bauwerke	11
3. FELSKENNWERTE	11
4. UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE	12
4.1 Begriffe	12
4.2 Lokale Standsicherheit	13
4.3 Globale Standsicherheit	14
5. RISIKOBEURTEILUNG	14
5.1 Methodischer Ansatz	14
5.2 Risikoanalyse	16
5.3 Risikozonierung	16
6. EMPFEHLUNGEN	17
6.1 Sicherungsvorschläge	17
6.2 Baukosten	18
7. ZUSAMMENFASSUNG	19
8. ANLAGEN	
Anlage 1: Übersichtslageplan 1 : 25.000 (2)	
Anlage 2: Lageplan 1 : 1.000 (2)	
Anlage 3: Dokumentation der Geländebegehung (2)	
Anlage 4: Dokumentation des Trennflächengefüges (2)	
Anlage 5: Standsicherheitsuntersuchung (4)	
Anlage 6: Fotodokumentation (6)	
Anlage 7: Kostenschätzung (2)	



1. ALLGEMEINES

1.1 Projekt

Die eingleisige, nichtelektrifizierte DB-Strecke 5800 verläuft in der Ortslage von Cham-Loibling in einen Felseinschnitt, der links der Bahn eine Tiefe von ca. 9 m aufweist (Anlage 1 und 2). Bereichsweise ist rechts der Bahn (r.d.B.) ebenfalls eine Felsböschung vorhanden, die aber erheblich geringere Höhen aufweist. In der Vergangenheit ist es mehrfach zu Steinschlägen gekommen; das Gestein blieb dabei aber im Schotterbett neben der Bahn liegen. Im Rahmen einer Begehung durch die DB Netz AG wurden links der Bahn weitere Risiken in der Böschung festgestellt, die zu einer Gefährdung des Streckenabschnitts führen können. Zudem ist an der Böschungskrone in sehr geringem Abstand ein Wohnhaus vorhanden, das bei einer Instabilität des Trennflächengefüges gefährdet sein könnte.

1.2 Auftrag

Mit Bestellung 0016/6IZ/22603329 vom 02.07.2010 erhielt die Dr. Spang GmbH auf der Basis des Angebotes vom 14.04.2010 durch die DB Netz AG, Nürnberg, den Auftrag, den entsprechenden Abschnitt geotechnisch zu untersuchen. 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**; Durchführen einer dreidimensionalen Standsicherheitsanalyse 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.



1.3 Unterlagen

Zur Bearbeitung des Projektes wurden uns durch die DB Netz AG folgende Unterlagen zur Verfügung gestellt.

[U1] IV-Lageplan 1 : 1.000, DB-Strecke 5800, Schwandorf – Furth i.W., km 45,000 – 46,000, DB Netz AG, München, Systeme und Infrastruktur, 12/2010.

Des Weiteren wurden zur Bearbeitung des Projektes folgende Unterlagen herangezogen.

[U2] Geologische Karte 1 : 25.000, Blatt 6741, Cham West, Bayerisches Landesamt für Umwelt, Augsburg, 2007.

[U3] <http://www.bis.bayern.de>; Bodeninformationssystem Bayern, GeoFachdatenAtlas.

[U4] <http://www.bfn.de>; Bundesamt für Naturschutz, Schutzgebiete in Deutschland.

[U5] <http://www.lfu.bayern.de>; Bayrisches Landesamt für Umwelt, Wasserschutzgebiete in Bayern, Stand 03/2011.

[U6] MÜLLER, L.: Der Felsbau, 1. Band: Grundlagen.- Stuttgart, 1978.

[U7] HINZEN, A.: Der Einfluss des menschlichen Faktors auf die Sicherheit der Eisenbahn. – ETR 45 (1996).

[U8] RAETZO, H. et al.: Hazard assessment in Switzerland – Codes of Practice for mass movements. – Bull.Eng.Geol.Env. (2002) 61: 263-268.

[U9] PIERSON, L.A. et al.: Rockfall Catchment Area Design Guide. Final Report SPR-3(032). – Oregon Department of Transportation, 12/2001.

[U10] SCHWINGENSCHLÖGL, R. & WEISS, E.H.: Ingenieurgeologische Probleme bei der Boden- und Felsklassifikation im Autobahnabschnitt A 2. – Felsbau 3 (1985) Nr. 4, Essen.



1.4 Untersuchungen

Die geologische Geländeaufnahme wurde vom Linksunterzeichner am 16.08.2010 durchgeführt. Dabei wurden die geologischen Verhältnisse und das Trennflächengefüge vom Fuß der Böschung aus aufgenommen sowie die felsmechanisch relevanten Kennwerte geschätzt. Anschließend wurde die Böschung im Bereich des Wohnhauses im Hinblick auf labile Felspartien bergsteigerisch untersucht.

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 eine Kostenschätzung für Sicherungsmaßnahmen beigefügt. Zu den Ergebnissen der Untersuchungen führen wir wie folgt aus.

2. GEOTECHNISCHE SITUATION

2.1 Morphologie und Vegetation

Im Untersuchungsbereich verläuft die DB-Strecke 5800, Schwandorf – Furth i.W., in Ortslage von Cham-Loibling (vgl. Anlage 1 und 2). Die Bahnstrecke liegt im Untersuchungsgebiet ca. auf einer Höhe von 365 m NN. Durch den Bau der Bahnstrecke wurde eine Felskuppe durchschnitten auf der die Ortschaft Loibling liegt (Höhe bis ca. 375 m NN). Vor und hinter der Ortschaft liegt die Bahnstrecke mehr oder weniger geländegleich in der Aue des Regen. Das natürliche Gelände fällt in südliche Richtung zum Regen hin ab.

Links der Bahn ist durch die offenbar künstliche Durchschneidung der aus der Geländeoberfläche herausragenden Festgesteinskuppe eine maximal ca. 8 – 9 m hohe Felsböschung mit einer Neigung von ca. 70 bis 90° entstanden. Die Höhe steigt vom Beginn des Untersuchungsbereich bei ca. km 45,600 mit einer Höhe von maximal ca. 3,5 m und nur einzelnen aus einer Lockergesteinsauflage herausragenden Felsausbissen bis zum Maximalwert von ca. 8 - 9 m bei km 45,700 an. Die Böschungshöhe fällt dann bis km 45,770 wieder kontinuierlich auf zuletzt ca. 5 m bei km 45,765 ab um dann bis km 45,780 auf Höhe der SO zu enden. Oberhalb der Felsböschung schließt sich eine Lockergesteinsböschung an, zwischen km 45,682 und 45,700 schließt sich an die Oberkante der Felsböschung direkt Wohnbebauung in Form eines Hauses an (vgl. Anlage 6.4).



Im Bereich der Lockergesteinsauflage ist die Böschung zwischen ca. 35° und 50° steil, die Felsbereiche sind im Mittel ca. 70 bis 90° steil, der Fuß der Felsböschung liegt in einem Abstand von ca. 2 – 3 m zur bergseitigen Schiene.

Der Untersuchungsbereich und somit auch die Felswand wird von 2 Straßenbrücken bei ca. km 45,647 – 45,656 und bei ca. km 45,734 – 45,745 unterbrochen (vgl. Anlage 2). Der Anschluss zwischen Felsböschung und Brückenbauwerk erfolgt i.d.R. durch Gabionenwände (Höhe zwischen ca. 4,5 und 5,8 m) die in die Felswand als Anschluss eingebettet sind (vgl. Anlage 6).

Die Vegetation auf der Böschung wurde unserer Kenntnis nach im Herbst 2009 zuletzt zurückgeschnitten. Zum Zeitpunkt der Geländebegehung war allerdings bereits wieder frisch austreibende Ruderalvegetation bzw. umfangreicher Strauchbewuchs vorhanden. Die Felsflächen selbst sind vegetationslos, allerdings bildet sich überall Vegetation auf Vorsprüngen und Absätzen. Die Flächen oberhalb der Böschungskrone sind ebenfalls mit Ruderalvegetation bzw. Strauchbewuchs bestanden.

Rechts der Bahn ist keine nennenswerte Felsböschung vorhanden, die Böschung ist überwiegend als Lockergesteinsböschung ausgebildet, die stark von Bäumen und Ruderalvegetation bewachsen ist. Die Böschung r.d.B. ist daher nicht Gegenstand des vorliegenden Berichts.

Im Anschluss an den Untersuchungsbereich verläuft die Bahnstrecke ab ca. km 45,800 in einer langgestreckten Rechtskurve zum Bahnhof Cham und ist daher aus dieser Richtung schlecht einsehbar (Anlage 2). In die entgegengesetzte Richtung zum Haltepunkt Pösing hin verläuft die Strecke zwar in einer Geraden, bei ca. km 45,500 verschwenkt die Strecke aber um einige Grad gegenüber dem Untersuchungsbereich, sodass dieser ebenfalls erst sehr spät eingesehen werden kann.

2.2 Gesteine

Nach der Geologischen Karte [U2] handelt es sich bei der vorbeschriebenen Felskuppe um einen Ausläufer des Perm bis Karbon, der aus den quartären Ablagerungen des Regen herausreicht. Nach der Geologischen Karte handelt sich bei den Tiefengesteinen an dieser Stelle um Plutonite, die als Granit ausgebildet sind und fein- bis mittelkörnig anstehen.



Nach der örtlichen Aufnahme handelt es sich bei dem an der Felsböschung anstehenden Gestein um Granit. Generell sind die vollkörnigen Gesteine von gelblicher bis oranger Farbe, die Raumfüllung ist als dicht zu bezeichnen. Die Kornbindung ist abhängig vom Verwitterungsgrad mäßig bis sehr gut. Abschnittsweise (z.B. bei km 45,610) neigt das Gestein zu deutlicher **Wollsackverwitterung** aufgrund der schnell fortschreitenden Verwitterung der Felsspäte, die Bestandteil des Granits sind. Der Granit ist hier stellenweise vergrust und weist oberflächennah sehr geringe Festigkeiten auf. In den übrigen Abschnitten wird die Festigkeit des Gesteins als hoch bis sehr hoch nach DIN EN ISO 14689-1 eingeschätzt.

Als Deckschicht tritt oberhalb der Granite eine Lockergesteinsdecke auf. Für die Standsicherheit der Böschung ist sie ohne Bedeutung.

2.3 Lagerungsverhältnisse und Trennflächen

Grundsätzlich sind im Vergleich zu Sedimentgesteinen bei Tiefengesteinen geregelte Trennflächengefüge nur untergeordnet ausgebildet. Dennoch wurden bei der Geländeaufnahme offensichtliche Trennflächen bzw. Klüfte mit dem geologischen Kompass aufgenommen und ausgewertet.

Der Untersuchungsbereich kann demnach hinsichtlich der Lagerung und Ausbildung der Trennflächen zu einem **Homogenbereich** zusammengefasst werden. Nach der als Anlage 4 beigefügten Dokumentation des Trennflächengefüges wird das Gebirge im Wesentlichen durch 3 **Trennflächenscharen** – Klüftung K1 und K2 – sowie eine Schieferung SF1 zerlegt, die allerdings nur untergeordnet ausgeprägt ist (Anlage 4.1).

Trennfläche [-]	Mittlere Orientierung [α/β]	Trennflächen-		Ebene Durchtrennung* [-]
		Ausbildung [-]	abstand* [m]	
Schieferung SF1	184/53	eben bis uneben, rau	0,5 – 6,0 (4,0)	0,4 – 0,6 (0,5)
Klüftung K1	125/81	eben bis uneben, rau	0,2 – 1,0 (0,5)	0,7 – 0,9 (0,8)
Klüftung K2	203/89	eben bis uneben, rau	0,5 – 4,0 (2,0)	0,7 – 0,9 (0,8)

*Mittelwerte in Klammern

Tabelle 2.3-1: Eigenschaften der Trennflächenscharen



Bei der als **Schieferung** definierten Trennfläche (SF1) kann es sich gemäß der geologische Karte und der örtlichen Einschätzung der Flächen ebenso gut um ein Fließgefüge handeln. Bautechnisch ist die Unterscheidung allerdings nicht erheblich, sodass im Weiteren die Bezeichnung Schieferung verwendet wird. Die Schieferung ist grundsätzlich nur untergeordnet ausgebildet und streicht nahezu parallel zur Böschung. Durch den mittleren Einfallswinkel von ca. 50° bildet und das ungünstige Streichen zur Böschung ist die Schieferungsfläche eine potentielle Gleitfläche, da die Neigung erheblich höher als die Scherfestigkeit auf der Schieferungsfläche ist.

Die **Kluftschar K1** verläuft in einem mittleren Winkel von 45° ca. zur Felsböschung und steht steil, die **Klufttrichtung K2** steht mehr oder weniger senkrecht auf K1 und verläuft somit spitzwinklig zur Böschung. Beide Kluftscharen sind steil ausgebildet und streichen daher teilweise um 180° verdreht.

Das Trennflächengefüge ist mit mittleren Abständen zwischen 0,5 bis ca. 4,0 m eng- bis sehr weitständig. Die Flächen sind überwiegend geschlossen; in Abhängigkeit vom Verwitterungsgrad jedoch teilweise auch geöffnet bis ca. 1 cm. Kluftfüllungen wurden nicht festgestellt. Die Oberflächen der Klüfte sind eben bis uneben und rau.

In geringem Umfang sind **Überhänge / Unterschneidungen** vorhanden, die aus dem anstehenden Trennflächengefüge (K1 mit K2 und SF1) gebildet werden. Diese Überhänge / Unterschneidungen sind u.E. bei der Herstellung des Einschnitts und ggf. bei zurückliegenden Felsablösungen oder Beräumungen entstanden.

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	VF 2	Einspannung der Kluftkörper, Festigkeitsanisotropie gegeben. Lösbarkeit nach einer Richtung deutlich bevorzugt.
aufgelockert	mäßig	VF 3	Geringer Reibungsschluß, zahlreiche offene Klüfte, Gebirge zeigt keine Festigkeitsanisotropie.
lose	gering	VF 4	Kluftkörper ohne Reibungsschluß, lockeres, loses Haufwerk.

Tabelle 2.3-2: Einteilung der Verbandsfestigkeit des Gebirges nach [U10]



Die **Verbandsfestigkeit** wird nach [U10] oberflächennah bis in eine geschätzte Tiefe von ca. 1,0 - 1,5 m bergseitig der Felsoberfläche als aufgelockert (mäßige Verbandsfestigkeit, VF 3) eingeschätzt; im tieferen Gebirge als gut verspannt (sehr gute Verbandsfestigkeit, VF 1; s. Tab. 2.3-2). Die Auflockerung resultiert in erster Linie aus Verwitterung, ggf. untergeordnet auch aus herstellungsbedingter Auflockerung.

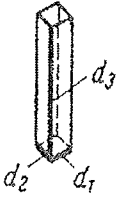
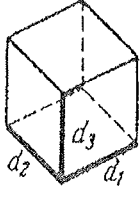
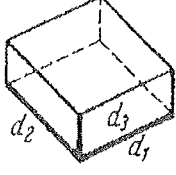
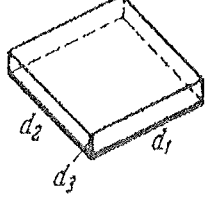
Form der Kluftkörper					
Kluftabstand d [cm]					
Verhältnis $\frac{d_1}{d_2}; \frac{d_2}{d_3}$	$< 1:5$	$1:2 \text{ bis } 1:5$	$\sim 1:1$	$2:1 \text{ bis } 5:1$	$> 5:1$
$d_{max} > 100$	großsäulig	großblockig	großwürfelig	quaderig-bankig	großplattig
$100 > d_{max} > 10$	kleinsäulig	kleinblockig	kleinwürfelig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

Abb. 2.3-1: Einteilung der Trennflächenkörperformen nach [U6]

Das Gestein zerfällt beim Abgang in mehr oder weniger regelmäßige Bruchkörper, die vorwiegend durch die oben beschriebenen Trennflächen begrenzt werden. Nach Abb. 2.3-1 handelt es sich überwiegend um **kleinwürfelig** bzw. **kleintäfelig** und **schiefrig** Körper. Untergeordnet kommen auch **kubisch-ruschelig** bis **splittrig** und **blättrig-kleinschuppig** Kluftkörper vor, die in Bereichen von starker Verwitterung anfallen.

Die maximale **Kluftkörpergröße** von möglichen Stein- und Blockschlagereignissen variiert im Untersuchungsbereich mit Bezug auf die örtlichen Gegebenheiten. Auf Basis der Geländeaufnahme (vgl. Anlage 3) ist mit Blockgrößen zwischen etwa 0,01 m³ und 0,5 m³ zu rechnen. Neben den vorgenannten Blockgrößen sind insbesondere im mittleren Bereich zwischen den beiden Straßenbrücken auch Kubaturen bis ca. 3 – 5 m³ vorhanden, die durch die teilweise großen Trennflächenabstände begrenzt werden. Diese Kluftkörper sind als **großblockig** bis **großwürfelig** einzuschätzen

Nach der Geologischen Übersichtskarte [U2] sind keine **Störungen** im Untersuchungsgebiet vorhanden. Die Eigenschaften der Trennflächen sind in Tabelle 2.3-1 zusammengefasst.



2.4 Bergwasserverhältnisse

Zum Zeitpunkt der Geländeaufnahme herrschte Frühjahrswetter mit einzelnen Schauern, am Vortrag hatte es offenbar länger anhaltend geregnet. Es wurden daher einige tropfende Wasseraustritte beobachtet, die an Trennflächen gebunden waren.

Die **Gebirgsdurchlässigkeit** hängt von der Durchtrennung ab; grundsätzlich ist die Wasserwegsamkeit an die vorhandenen Trennflächen gebunden. Insgesamt ist die Gebirgsdurchlässigkeit oberflächennah als stark durchlässig bis durchlässig bis nach DIN 18 130 einzustufen; im tieferen Gebirge wird das Gebirge schwach durchlässig sein. Angaben über den geschlossenen **Bergwasserspiegel** liegen nicht vor. Es ist davon auszugehen, dass der nahegelegene Regen die Vorflut für das Untersuchungsgebiet bildet.

Wasserproben für Analysen nach DIN 4030 / 50929 bzw. zur Untersuchung der Gefahr von Ausfällungen oder Verockerungen konnten aufgrund der geringen Wasseraustritte nicht genommen werden. Auf Grund von Erfahrungen mit Wässern im Granit ist von einem maximal **schwachen Angriffsgrad** gegen Beton und Stahl auszugehen. Sinterbildungen sind nicht zu erwarten. Die Einschätzungen sind im Rahmen der weiteren Planung durch Analysen zu überprüfen.

2.5 Geotechnische Besonderheiten

Der **Einschnitt** wurde künstlich im vorbeschriebenen Felsrücken hergestellt. Das Alter des Bauwerks wird auf > 100 Jahre geschätzt.

Der untersuchte Abschnitt gehört nach DIN 4149:2005, Bauten in deutschen Erdbebengebieten, zu keiner **Erdbebenzone** und keiner **Untergrundklasse** an. Entsprechende Auswirkungen müssen daher in der weiteren Planung nicht berücksichtigt werden.

Der Untersuchungsbereich liegt nach [U5] in keinem **Wasserschutzgebiet**. Nach [U4] gehört die Fläche zum **Naturpark „Oberer Bayerischer Wald“** (CDDA-Code 33361). Das Untersuchungsgebiet **grenzt an** das **Landschaftsschutzgebiet „Oberer Bayerischer Wald“** (CDDA-Code 378648), an das **FFH-Gebiet „Chamb, Regentalau und Regen zwischen Roding und Donaumündung** (Gebiets-Nr. 6741-371) sowie an das **Vogelschutzgebiet „Regentalau und Chamtbatal mit Rötelsee-weihergebiet“** (Gebiets-Nr. 6741-371) liegt aber nach dem vorliegenden Kartenwerk außerhalb der genannten Schutzgebiete. Weitere Schutzgebiete sind nach [U4] nicht betroffen.



2.6 Bauwerke

Da die Strecke nicht elektrifiziert ist sind mit Ausnahme von **Signalanlagen** sowie **Ver- und Ent-sorgungsleitungen** (Kabelkanal) im Untersuchungsbereich i.d.B. keine DB-Betriebseinrichtungen festgestellt.

Abgesehen von den Betriebseinrichtungen sind 2 **Straßenbrücken** zwischen km 45,647 – 45,656 und zwischen ca. km 45,734 – 45,745 vorhanden. Die Anschlussbereiche der Straßenbrücken sind durch Gabionenwände und Natursteinmauern in die Felswände integriert (vgl. Anlage 2 und 6.2 / 6.6).

Oberhalb der Felsböschung schließt sich zwischen km 45,682 und 45,700 an die Oberkante der Felsböschung direkt Wohnbebauung in Form eines **Wohnhauses** an. Ob das Haus unterkellert ist, ist nicht bekannt, allerdings ist davon auszugehen, dass die Standsicherheit des Gebäudes mit der Standsicherheit der Böschung in wechselseitiger Verbindung steht. Dabei ist zu berücksichtigen, dass unterhalb des Hauses eine Verschneidung der beiden Haupttrennflächen K1 und K2 vorliegt, die eine Scholle mit einer Höhe von ca. 6 m begrenzen (ca. 45+690 - 693) und offensichtlich nur noch von der bergseitigen Materialbrücke gehalten wird. Ein Absturz der Scholle führt mit großer Sicherheit noch nicht zu einer direkten Beeinflussung des Wohnhauses, die Böschungskante wäre aber nochmals in Richtung des Hauses verschoben.

3. FELSKENNWERTE

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

Schicht Nr.	Felsart	Wichte feuchtes Gebirge γ_k [kN/m ³]	Reibungswinkel* φ'_k [°]	Kohäsion* c'_k [kN/m ²]	Einax. Druckfestigkeit Gestein $\sigma_{c,k}$ [MN/m ²]	E-Modul Gebirge E_k [MN/m ²]
1a	Granit, vergrust	26	35	≥ 0	0,5 – 5	500 – 2.500
1b	Granit, angewittert	26,5	37,5	≥ 0	5 – 50	2.500 – 15.000
1c	Granit, unverwittert	26,5	40	≥ 0	50 – 200	15.000 – 50.000

* Werte gelten für Scherbeanspruchung entlang von Trennflächen.

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



Schicht Nr.	Felsart	Schieferung		Klüftung	
		$\varphi_{k,s}$ [°]	$c'_{k,s}$ [MN/m ²]	$\varphi'_{k,k}$ [°]	$c'_{k,k}$ [MN/m ²]
1	Granit	25 (20)	0 (0)	35 (25)	0,25 (0,05)

Untere Kennwerte in Klammern

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

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 Klüftkörper 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.

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 Klüftwasserdrücke infolge von Starkregen oder Schneeschmelze, niederschlagsbedingte Erosion, Wild, Blitzschlag, Erschütterungen, Vegetationsdruck, Wind und Sprödbüche sowie das Aufbringen von Verkehrslasten sein.

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: Definition der Sturzereignisse im Fels



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 der Böschung wurden bereichsweise Instabilitäten im Fels festgestellt. Die Ursachen der Instabilitäten liegen in der **Verwitterung der Schichten**, in sowie (mehr als bei anderen Felsböschungen) in der **Vegetation / Wurzeldruck** und im **Frost / Eis**. Die Instabilitäten zeigen sich als **Stein- und Blockschlagrisiken**, die durch Ablösung an der Oberfläche der steil stehenden Klufflächen auftreten.

Begünstigt werden die Risiken durch die **Vergrusung** des Gesteins im Zuge der Wollsackverwitterung, ausgehend von den Klufflächen. Die abgelösten Steine und Blöcke erreichen aufgrund der Morphologie den Gleisbereich, wie die Vorfälle in der Vergangenheit bewiesen haben.

Nach den Erkenntnissen aus der Geländeaufnahme (Anlage 3.1) werden die in Tabelle 4.2-1 aufgeführten Eintrittswahrscheinlichkeiten für Massenbewegungen aus den Böschungen angenommen, die im untersuchten Streckenabschnitt das **Lichtraumprofil** des bergseitigen Gleises 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	0,001	0,2	0,5	100	1, 2, 3
2		0,01	2,3	1	100	1, 2, 3
3	Blockschlag	0,1	23,4	5	100	1, 2, 3
4		0,5	117,0	15	97	2, 3, (1)
5		2,0	467,9	25	87	2, (3)
6		5,0	1169,8	50	64	2

1) nach Tab. 4.1-1

2) $E = m \cdot g \cdot h$; $h = 9 \text{ m}$

3) bezogen auf einen betrachteten Zeitraum $n = 50$ Jahren; $p = 1 - (1 - 1/T)^n$ nach [U8]

4) siehe Anlagen 2 und 3.1

Tabelle 4.2-1: Eintrittswahrscheinlichkeiten für Massenbewegungen im Lichtraum



4.3 Globale Standsicherheit

Nach der als Anlage 5 beigefügten Standsicherheitsuntersuchung stellt sich das Trennflächengefüge grundsätzlich als günstig dar. Eine globale Standsicherheitsgefährdung durch Ebenes Gleiten, Keilgleiten oder Kippen besteht mit Ausnahme von der Schieferungsfläche nicht. Für das Auftreten von Materialbrüchen sind die Gesteinsfestigkeiten im Vergleich zu den auftretenden Spannungen wesentlich zu hoch, die Ausprägung und Durchgängigkeit der Schieferungsfläche reicht zudem für ein globales Risiko nicht aus.

5. RISIKOBEURTEILUNG

5.1 Methodischer Ansatz

Der **Risikobegriff** wurde nach [U7] als Produkt aus Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadensgröße definiert. In Anlehnung an [U8] 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.

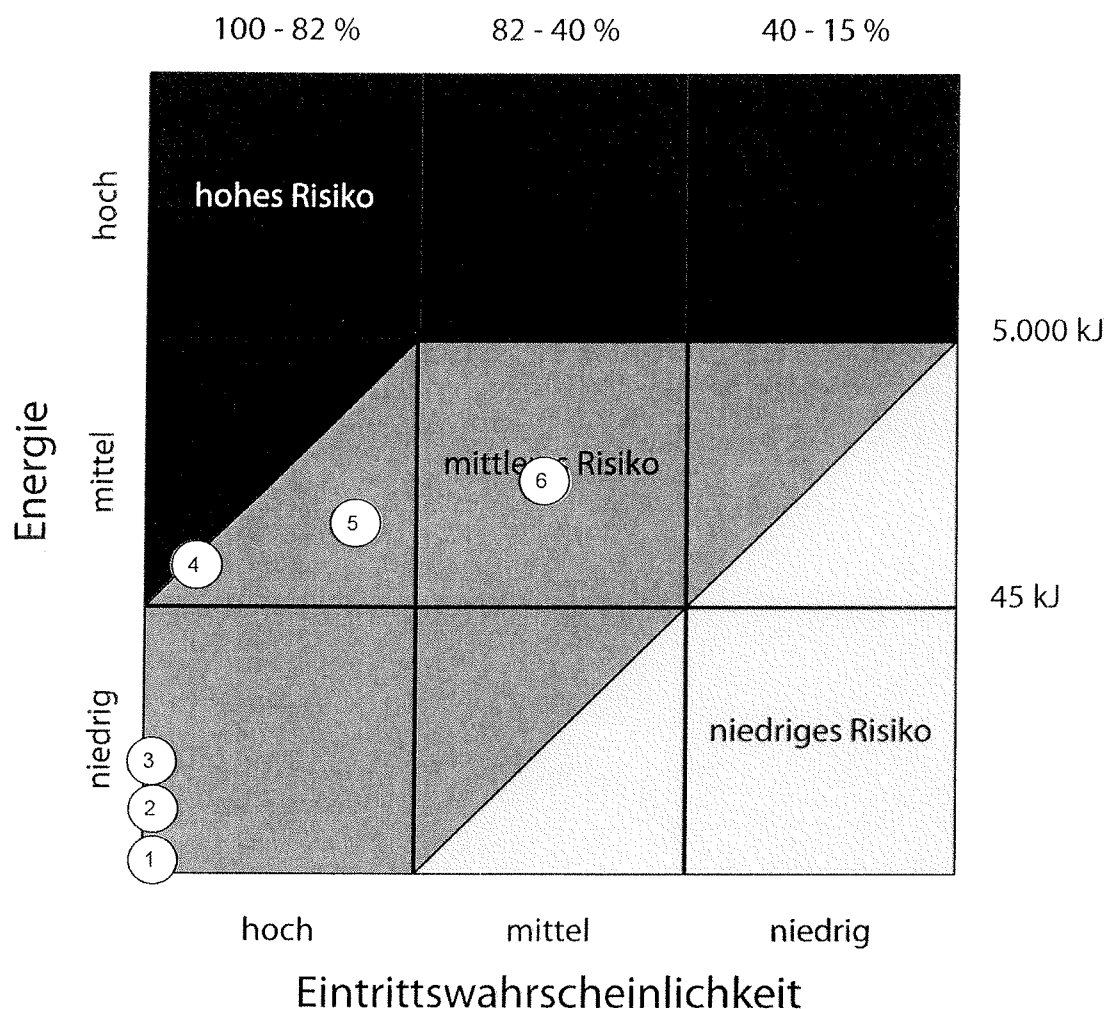


Abb. 5.1-1: Einteilung der Risikoklassen aus Anprall (1 - 6 Blockklassen aus. Tab. 4.2-1)

Mit Bezug auf die Ausführungen in Kap. 5.3 wurden in Abb. 5.1-1 die Blockklassen 1 bis 6 (entsprechen den lfd. Nrn.) aus Tabelle 4.2-1 eingetragen. 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 ge-



wählt (vgl. Tabelle 4.1-1). 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.

5.2 Risikoanalyse

Zur groben Abschätzung des **Risikos von direkten Treffern im Gleisbereich** kann in Zusammenhang mit den Ausführungen in Kap. 2.1 bezüglich Neigung und Höhe der Böschungen in Verbindung mit den Quellgebieten der Massenbewegungen in Anlehnung an [U9] ein Abstand zwischen 2 und 3 m vom Fuß der freien Felsböschungen angegeben werden.

Danach ist davon auszugehen, dass innerhalb dieses Abstandes über 99 % der Steine einschlagen, die sich aus der Felswand lösen. Direkte Treffer des Gleisbereichs sind danach abschnittsweise nicht auszuschließen. Der überwiegende Teil der Steine und Blöcke gelangt jedoch durch Rollen und aus schiefen Würfeln ins Gleis.

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 möglich, die in Tabelle 5.3-1 zusammengefasst ist.

Risiko	Bereich
niedrig	1
mittel	2, 3
hoch	-

Tabelle 5.3-1: Risikozonierung

Ein **niedriges 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 bis mittleren 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** ergibt sich für den untersuchten Abschnitt demnach nicht, da die Blockgröße und die Sturzhöhe im Untersuchungsbereich begrenzt sind.

Nach Tabelle 5.3-1 wurden nach der formalen Auswertung geringe und mittlere Risiken angetroffen. Besonders im Bereich 2 sind Risiken vorhanden, die aus Großblöcken bestehen, die vom vorherrschenden Gefüge begrenzt sind, resultieren. Aus den o. a. Risiken ergeben sich potenzielle Gefahren für den Schienenverkehr, die Sicherungen erfordern. Nach der örtlichen Aufnahme wird zudem im Bereich 2 ein Risiko in der Wechselwirkung zwischen Standsicherheit der Böschung und der Standsicherheit des darüber liegenden Wohnhauses gesehen.

6. EMPFEHLUNGEN

6.1 Sicherungsvorschläge

Mit Bezug auf die vorgefundenen örtlichen Verhältnisse wird eine auf den Einzelfall abgestimmte Sicherung der Bahnstrecke gegen Risiken aus der Felsböschung vorgeschlagen. Bei der Wahl der Sicherungsmittel wurde dem geringeren Eingriff neben Kostengesichtspunkten und der Verminderungen von bauzeitlichen Eingriffen in den DB-Verkehr der Vorzug gegeben.

Aufgrund der Ergebnisse der Geländebegehung wird ein Sicherungsvorschlag unterbreitet, der aus einer Kombination von **Felsnägeln und einer Teilübernetzung (Bereich 2, ggf. auch 3) und Spritzbetonplomben bzw. Unterfangung von überhängenden Einzelblöcken** besteht. Die Kombination der genannten Sicherungsmittel ermöglicht eine besonders wirtschaftliche und eingriffsreduzierte Sicherung. Es wäre auch eine vollständige Übernetzung der Felsböschung mit einem hochfesten Stahldrahtgeflecht denkbar, aufgrund der vorherrschenden Gefährdungssituation und aus wirtschaftlichen Gründen wird aber die lokale Sicherung durch Felsnägel und ggf. einem kleinen Damm in Bereich 1 und lokale Sicherungen in Bereich 2 in Kombination mit einer Übernetzung als ausreichend angesehen.

Zusätzlich sollte im Bereich des Wohnhauses ein bewehrter Stahlbetonbalken zwischen km 45,682 und 45,700 ca. 2 – 3 m unterhalb der OK Böschung mit Felsankern als Abfangkonstruktion herges-



tellt werden, um die Standsicherheit der Böschung in Wechselwirkung mit dem darüber liegenden Wohnhaus dauerhaft zu gewährleisten. Bei der anzunehmenden fortschreitenden Erosion der Böschung mit dem damit verbundenen Herausbrechen von Großblöcken wird die Böschungsoberfläche kritisch in Richtung Hausgründung zurückversetzt. Die Abfangkonstruktion muss unter Berücksichtigung der tatsächlichen Gründungssituation statisch bemessen werden.

Auf ein flächiges **Beräumen von losem Gestein** kann – mit Ausnahme von lokalen Beräumungen zur Einhaltung der UVV während der Bauzeit – verzichtet werden, da die Felsböschung bereits vor kurzem beräumt wurde. Voraussetzung dafür ist allerdings, dass die technische Sicherung bis spätestens Ende 2012 durchgeführt wird. Falls dies aus finanziellen Gründen nicht möglich ist, wird die messtechnische Überwachung des Bereichs 2 kurzfristig erforderlich und eine Beräumung nach der Frostperiode im Frühjahr 2013 empfohlen.

Eine Beschreibung der Bereiche sowie der empfohlenen Sicherungsmaßnahmen ist in Anlage 3.1 enthalten. Die Einzelmaßnahmen sind im Zuge der weiteren Planung abzustimmen. Für die Herstellung der Anker und die Spritzbetonplomben sind bauzeitlich bahnbetriebliche Einschränkungen (Streckensperrung, etc.) zu erwarten bzw. Sperrpausen mit einer zusammenhängenden Dauer von mindestens 4 h erforderlich.

6.2 Baukosten

Nach der als Anlage 7 beigefügten Kostenschätzung ist für den untersuchten Streckenabschnitt mit Baukosten in Höhe von ca. € [REDACTED] zu rechnen. Die Kosten setzen sich ausschließlich aus Felsnägeln, einer Teilübernetzung und einigen Spritzbetonplomben / Unterfangungen zusammen. Die tatsächlichen Kosten können erfahrungsgemäß in Abhängigkeit von der Konjunktur sowie der Saison erheblich nach oben oder unten schwanken.

In den Baukosten sind keine Planungskosten, keine Kosten für bahnbetriebliche Aufwendungen (Sicherungsleistung für den Bahnbetrieb, Gleis- / Streckensperrungen, Umleitung, Erdung etc.) sowie keine Kosten für Vegetationsarbeiten enthalten. Die bahnbetrieblichen Kosten müssen projektspezifisch von Seiten der DB AG ermittelt werden.



7. ZUSAMMENFASSUNG

Die geotechnische Untersuchung der Einschnittsböschung links der Bahn an der DB-Strecke 5800 Schwandorf – Furth im Wald zwischen km 45,600 und km 45,770 hat ergeben, dass lokal Stein- und Blockschlagrisiken bestehen, die zu einer Gefährdung des Schienenverkehrs führen. Zur Minimierung der Risiken ist die Durchführung von Felssicherungsmaßnahmen erforderlich. Es wird der Einbau von Felsnägeln sowie zur Sicherung von vorhandenen Überhängen / Unterscheidungen lokal der Einbau von Spritzbetonplomben sowie zusätzlich die Übernetzung von Teilbereichen empfohlen.

Die Arbeiten erfordern eine **Objekt- und Tragwerksplanung** und sind fachtechnisch zu überwachen. Unter Umständen sind Genehmigungen / Befreiungen seitens des Naturschutzes erforderlich, es wird zumindest eine naturschutzrechtlich ausgearbeitete Anzeige der Arbeiten bei der UNB erforderlich. Die Maßnahmen sind mittelfristig, spätestens bis zum Herbst 2012 auszuführen. Akute Risiken („Gefahr im Verzug“) wurden nicht festgestellt, es wird aber dringend empfohlen in Hinblick auf die Zusatzgefährdung in Zusammenhang mit der angrenzenden Wohnbebauung die Rückverankerung im Bereich 2 zeitnah herzustellen.

Für Rückfragen und eine Erläuterung der empfohlenen Maßnahmen stehen wir Ihnen jederzeit gerne zur Verfügung.

Dipl.-Ing. C. Spang
(Geschäftsführer)

ppa. (gezeichnet)

Dipl.-Geol. J. Wolf
(Niederlassungsleiter)

- Verteiler:**
- DB Netz AG, Nürnberg, Herrn Schumacher, 3 x, davon 1 x vorab per E-Mail
<stefan.schumacher@deutschebahn.com>
 - DB Netz AG, Nürnberg, Herrn Hummel, 2 x, davon 1 x per E-Mail zur Kenntnis
<dietmar.hummel@deutschebahn.com>
 - Dr. Spang GmbH, Nürnberg, 1 x