



DR. SPANG

INGENIEURGESELLSCHAFT FÜR BAUWESEN, GEOLOGIE UND UMWELTTECHNIK MBH

DB Netz AG
KIB 2 (I.NI-SW-S-L)
Herr Adil Aghanim
Pressselstraße 17
70191 Stuttgart

Projekt-Nr.
44.9320

Datei
P9320B231102

Diktat
Hä/Mrk

Büro
Esslingen

Datum
02.11.2023

DB Strecke 4111 Neckargemünd – Bad Friedrichshall hbf km 45,395 – 45,435 l.d.B. (Neckarzimmern)

- Geotechnische Begutachtung der Felsböschung -

Einzelvertrags Nr.: A121694

Zum Vertrag Nr.: 1000 / EBO / 92298890

Gesellschaft: HRB 8527 Amtsgericht Bochum, USt-IdNr. DE126873490, <https://www.dr-spang.de>
58453 Witten, Rosi-Wolfstein-Straße 6, Tel. (0 23 02) 9 14 02 - 0, Fax 9 14 02 - 20, zentrale@dr-spang.de

Geschäftsführer: Dipl.-Ing. Christian Spang, Dipl.-Wirtsch.-Ing. Christoph Spang

Niederlassungen: 73734 Esslingen/Neckar, Eberhard-Bauer-Str. 32, Tel. (0711) 351 30 49-0, Fax 351 30 49-19, esslingen@dr-spang.de
60528 Frankfurt/Main, Lyoner Straße 12, Tel. (069) 678 65 08-0, Fax 678 65 08-20, frankfurt@dr-spang.de
09599 Freiberg/Sachsen, Halsbrücker Straße 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, Erlengartenstraße 72, Tel. (0911) 964 56 65-0, Fax 964 56 65-5, nuernberg@dr-spang.de
85521 Ottobrunn, Alte Landstraße 29, Tel. (089) 277 80 82-60, Fax 277 80 82-90, muenchen@dr-spang.de
14482 Potsdam, Walter-Klaus-Straße 25, Tel. (0331) 231 843-0, Fax 231 843-20, berlin@dr-spang.de
A-6330 Kufstein, Salurnerstraße 22, Tel. +43 (5372) 23 20-00, Fax 23 20-20, kufstein@dr-spang.at

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



INHALT	SEITE
1. ALLGEMEINES	4
1.1 Projekt	4
1.2 Auftrag	4
1.3 Unterlagen	5
1.4 Untersuchungen	6
2. GEOTECHNISCHE VERHÄLTNISSE	7
2.1 Morphologie und Vegetation	7
2.2 Gesteine	8
2.3 Lagerungsverhältnisse und Trennflächen	9
2.4 Bergwasserverhältnisse	11
2.5 Sonstige Randbedingungen und Eigenschaften	12
2.6 Bauwerke	13
3. KENNWERTE UND HOMOGENBEREICHE	14
3.1 Felsmechanische Kennwerte	14
3.2 Homogenbereiche	15
3.2.1 Allgemeines	15
3.2.2 DIN 18 300 Erdarbeiten	17
3.2.3 DIN 18 301 Bohrarbeiten	19
3.2.4 DIN 18 320 Landschaftsbauarbeiten	21
4. UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE	22
4.1 Begriffe	22
4.2 Lokale Standsicherheit	23
4.3 Globale Standsicherheit	23
5. RISIKOBEURTEILUNG	24
5.1 Methodischer Ansatz	24
5.2 Risikoanalyse	27
5.3 Risikozonierung	28



6.	EMPFEHLUNGEN	29
6.1	Sicherungsvorschlag	29
6.2	Baukosten	30
7.	ZUSAMMENFASSUNG	30
9.	ANLAGEN	
Anlage 1:	Übersichtslageplan 1 : 25.000 (2)	
Anlage 2:	Lageplan 1 : 1000 (1)	
Anlage 3:	Dokumentation der Geländebegehung (1)	
Anlage 4:	Kostenschätzung (1)	
Anlage 5:	Fotodokumentation (2)	
Anlage 6:	Kinematische Analyse (6)	



1. ALLGEMEINES

1.1 Projekt

Die zweigleisige, elektrifizierte DB-Strecke 5111 Neckargemünd – Bad Friedrichshall hbf verläuft im o.g. Streckenabschnitt durch die Ortschaft Neckarzimmern in einem künstlich hergestellten Einschnitt (Anlage 1) zwischen der Straßenüberführung der Herrengasse im Osten und der Straßenüberführung der Luttenbachtalstraße im Westen. Die zu untersuchende Felsböschung l.d.B. ist insgesamt ca. 70° geneigt ausgebildet und reicht bis ca. 7,0 m über das Niveau des Gleisbereichs.

Im Rahmen der Regelinspektion durch den Fachbeauftragten der DB Netz AG wurden Risiken durch Stein- und Blockschlag in der Böschung l.d.B. festgestellt, die zu einer Gefährdung des Streckenabschnitts führen können. Aus diesem Grund wurde die Dr. Spang GmbH mit der Begutachtung des Streckenabschnitts zwischen km 45,395 und 45,435 beauftragt. Im Winter / Frühjahr 2022 / 2023 erfolgte ein Freischnitt der Böschung von Vegetation.

Im Zuge der Begehung ist der aktuelle Zustand der Felsböschung auf vorhandene Standsicherheitsrisiken zu überprüfen und zu bewerten. Vorherrschende Risiken sollen erfasst und Vorschläge zu technischen Sicherungsmaßnahmen erbracht werden.

1.2 Auftrag

Mit dem Vertrag Nr. A121694 erhielt die Dr. Spang GmbH auf Basis des Angebotes vom 10.03.2023 durch die DB Netz AG, Stuttgart, den Auftrag, die Böschung an der Bahnstrecke 4111 zwischen km 45,395 und km 45,435 l.d.B. geotechnisch zu untersuchen. Im Einzelnen waren folgende Leistungen zu erbringen:

- **Geotechnische Geländeaufnahme** der Felsböschung und der bergseitigen Anschnittsböschung an der Bahnstrecke im genannten Abschnitt auf einer Länge von etwa 75 m zur Abschätzung der Risiken und zur Festlegung von felsmechanischen Kennwerten.



- **Beurteilung der Standsicherheit;** der Böschung sowie der Felsausbisse, Risikobeurteilung, Ausarbeiten von **Sicherungs- und Sanierungsvorschlägen** einschließlich **Kostenschätzung**.

Nachstehend werden die Ergebnisse der Geländeuntersuchung zusammengefasst und erläutert.

1.3 Unterlagen

Zur Bearbeitung des Projektes wurden die nachfolgend aufgeführten Unterlagen verwendet:

- [U 1] **Regierungspräsidium Freiberg; Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau:** LGRB Kartenviewer; <https://maps.lgrb-bw.de/>; aufgerufen am 20.10.2023.
- [U 2] **LUBW Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg: Daten- und Kartendienst der LUBW;** <https://udo.lubw.baden-wuerttemberg.de/public/pages/home/index.xhtml>, aufgerufen am 20.10.2023.
- [U 3] **Lageplan 1: 1000, IVL 4111 CG, DB – Strecke 4111 Neckargemünd – Friedrichshall km 44,928 – 45,839, DB Netz AG, Karlsruhe, Stand 30.07.2018**
- [U 4] **Bundesamt für Naturschutz,** Schutzgebiete in Deutschland, <http://www.bfn.de>; Abruf am 20.10.2023.
- [U 5] **MÜLLER, L.:** Der Felsbau, 1. Band: Grundlagen.- Stuttgart, 1978.
- [U 6] **Wikimedia Deutschland,** <https://de.wikipedia.org/wiki/Risiko>; Risikodefinition; Abruf am 10.02.2021.
- [U 7] **RAETZO, H. et al.:** Hazard assessment in Switzerland – Codes of Practice for mass movements. – Bull.Eng.Geol.Env. (2002) 61: 263-268.
- [U 8] **PIERSON, L.A. et al.:** Rockfall Catchment Area Design Guide. Final Report SPR-3(032). – Oregon Department of Transportation, 12/2001.



- [U 9] **SCHWINGENSCHLÖGL, R. & WEISS, E.H.:** Ingenieurgeologische Probleme bei der Boden- und Felsklassifikation im Autobahnabschnitt A 2. – Felsbau 3 (1985) Nr. 4, Essen.
- [U 10] **Schutz vor Massenbewegungsgefahren.** Vollzugshilfe für das Gefahrenmanagement von Rutschungen, Steinschlag und Hangmuren. – Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern, 2016.
- [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] **Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe**, <https://geoviewer.bgr.de>, Abruf am 20.10.2023.

1.4 Untersuchungen

Die geologische Geländeaufnahme wurde gemeinsam von den beiden Unterzeichnern am 22.06.2023 durchgeführt. Im Zuge der Geländeaufnahme wurden die geologischen Verhältnisse und das Trennflächengefüge aufgenommen sowie die felsmechanisch relevanten Kennwerte geschätzt. Hierzu wurde der Hang im untersuchten Bereich zwischen km 45,395 und 45,435 zunächst zu Fuß begangen. Aufgrund der ähnlichen örtlichen und geologischen Verhältnisse sowie der geringfügigen Ausweitung, wurde die in absteigende Kilometrierung an den Untersuchungsbereich angrenzende Felsböschung zwischen ca. km 45,338 und ca. km 45,370 ebenfalls geotechnisch Begutachtet. Im vorliegenden Bericht werden beide Felsbereiche beschrieben und ausgewertet.

Der Untersuchungsbereich ist in den als Anlage 1 und 2 beigefügten Lageplänen eingetragen. Anlage 3 enthält die Dokumentation der Geländebegehung. Als Anlage 4 ist eine Fotodokumentation des untersuchten Abschnitts enthalten. Als Anlage 5 ist eine Schätzung der Baukosten beigefügt. In Anlage 6 sind die aufgenommenen Gefügewerte und die Standsicherheitsuntersuchung dokumentiert. Zu den Ergebnissen der Untersuchungen führen wir wie folgt aus.



In vorliegendem Bericht wird das Untersuchungsgebiet in zwei Abschnitte unterteilt. Die Unterteilung erfolgte auf Basis der Morphologie sowie der Beauftragung. Der beauftragte Abschnitt ist als Abschnitt 1 dargestellt. Der angrenzende, zusätzlich betrachtete Abschnitt ist als Abschnitt 2 eingeteilt. Die Lokalisierung erfolgte dabei auf Basis der Kilometrierung der DB Strecke. Eine Übersicht der Abschnitte ist in nachfolgender Tabelle 1.4-1 enthalten. Eine detaillierte Beschreibung der Abschnitte ist in Anlage 3 enthalten.

Streckenabschnitt		Untersuchungs-
von	bis	abschnitt
[km]	[km]	[-]
45,395	45,435	1
45,338	45,370	2

Tabelle 1.4-1: Grenzen der Untersuchungsabschnitte

2. GEOTECHNISCHE VERHÄLTNISSE

2.1 Morphologie und Vegetation

Die Bahnstrecke 4111 „Neckartalbahn“ führt im Landkreis Neckar – Odenwald Kreis von Hochhausen (Neckar) nach Neckarzimmern. Die Bahnkilometrierung der zweigleisigen, elektrifizierten Strecke steigt in Richtung Neckarzimmern an. Die Bahnstrecke folgt weitgehend dem Verlauf des Flusses Neckar am orografisch linken Ufer.

Der Untersuchungsbereich erstreckt sich ca. 72 m bahnlinks im Einschnitt beginnend ca. 32 m vor der Straßenbrücke Luttenbachtalstraße (SÜ 1416) und enden mit der Straßenbrücke Herrengasse (SÜ 1715) durch die Gemeinde Neckarzimmern. Die Bahnstrecke verläuft im gegenständlichen Bereich in einer seichten S – Kurve. Unmittelbar Entlang der Böschungsoberkante von Abschnitt 2 verläuft der Mosbacher Weg, ca. 3,80 m rückversetzt zur Böschungskrone von Abschnitt 1 befindet sich ein öffentlich zugänglicher Parkplatz.



Die absoluten Höhen im Untersuchungsgebiet betragen zwischen etwa 151,06 m NHN im Gleisbereich und etwa 159,24 m NHN im Bereich des Parkplatzes (Böschungsoberkante).

Die Neigung der Felsböschung beträgt im Mittel ca. 70° und ist durchschnittlich ca. 7,0 m hoch. Der Abstand zur Gleisachse beträgt im Durchschnitt ca. 3,0 m.

Die Vegetation an der Böschungsoberkante besteht aus Strauchbewuchs sowie vereinzelt kleinerer Gehölze und Gras. Die Felsflächen sind weitestgehend frei von Vegetation, vereinzelt und an ausgebildeten Stufen weisen die Felsflächen Gras- sowie Strauchbewuchs auf.

2.2 Gesteine

Nach der Geologischen Karte [U 1] stehen im Untersuchungsbereich Gesteine des unteren Muschelkalks aus der mittleren Trias an. Im Raum Mosbach tritt der untere Muschelkalk als **Kalksteine** der Jena Formation auf, welche als Abfolge von Wellenkalken und bioklastischen oder oolithischen Kalksteinbänken ausgebildet ist. Die Mächtigkeit beträgt im Durchschnitt etwa 35 – 40 m, kann maximal aber bis zu 100 m ansteigen (Richtung Tauberland).

Die nachfolgende Gesteinsbeschreibung basiert auf den Begriffen und Definitionen der DIN EN ISO 14689. Das Gestein ist im frischen Zustand weißgrau bis hellgrau, angewittert gelblich bis dunkelgrau. Die Festigkeit der Gesteine wird als gering bis hoch eingeschätzt. Die Gesteine haben eine mäßige bis gute Kornbindung; die Raumauffüllung ist überwiegend dicht. Die Schichtdicken des annähernd sölhig geschichteten Gesteins variieren zwischen grob laminiert und fein geschichtet. Die maximale Mächtigkeit der Kalksteinbänke beträgt ca. 0,2 m. Die sehr fein geschichteten Bereiche sind verwitterungsanfälliger und neigen zur Ausbildung von Hohlkehlen in den geschichteten Lagen. Die lokal ausgebildeten Unterschneidungen weisen dabei eine Tiefe von durchschnittlich bis zu 0,6 m auf.

Die Lockergesteinsdecke des Hangs wurde im Rahmen des Auftrags nicht näher untersucht. Augenscheinlich besteht sie aus einer geschätzt geringmächtigen **Hanglehm- und Hangschuttdecke** und voraussichtlich anthropogenen Auffüllungen in den Straßen- und Bankettbereichen. Für die globale Standsicherheit der untersuchten Felsausbisse ist die Lockergesteinsdecke ohne Belang.

2.3 Lagerungsverhältnisse und Trennflächen

Der auf der Schwäbischen Alb liegende untersuchte Abschnitt gehört zum Südwestdeutschen Schichtstufenland.

Eine regelmäßige Zerlegung der Schichtenfolge durch Trennflächen konnte im Bereich des Felsenkranzes aufgrund der vorherrschenden massigen bis brekziösen Ausbildung nicht beobachtet werden. Nach den Gefügebildungen in den Abschnitten wird die Schichtenfolge über die annähernd schiefe Schichtung hinaus durch 2 weitere, annähernd senkrecht stehende Trennflächenscharen zerlegt. Diese bilden zusammen ein annähernd orthogonales Trennflächensystem. In Abhängigkeit von der vorherrschenden Klippenorientierung bilden die Kluftscharen teilweise die Oberflächen der Klippen bzw. des Felsenkranzes aus. In Verbindung mit talparalleler Entspannung kommt es dabei zu Zerblockungen und atektonischen Abschalungen. Der Abschnitt kann hinsichtlich der Lagerung und Ausbildung der Trennflächen zu einem **Gefügebereich** zusammengefasst werden.

Die Eigenschaften der in den plattigen Abschnitten aufgenommenen Trennflächen sind in Tabelle 2.3-1 zusammengefasst. **Trennflächenfüllungen** wurden nicht festgestellt. Die beschriebenen Öffnungsweiten sind durch oberflächennahe Auflockerungen stark vergrößert.

Trennfläche	Mittlere Orientierung α / β [° / °]	Trennflächen- ausbildung ¹⁾ [-]	Trennflächen- abstand* d [m]	Öffnungs- weite [mm]	Ebene Durch- trennung* χ [-]
Schichtung SS	350/05	eben - wellig	0,3 – 1,5 (0,9)	≤ 10	1,0
Klüftung K1	190/70	wellig - stufig	0,3 – 0,5 (0,4)	≤ 30	0,3 – 0,5 (0,4)
Klüftung K2	123/87	eben - wellig	0,2 – 1,6 (0,9)	≤ 10	0,1 – 0,5 (0,3)

* Spannweite, Mittelwerte in Klammern

1) Bezeichnung nach DIN 14689

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, sehr gut	VF 1	Sehr guter Reibungsschluß der Teilkörper. Gebirge schwer lösbar, keine bevorzugte Richtung, kleiner Durchtrennungsgrad.
verspannt	gut	VF2	Einspannung der Kluftkörper, Festigkeitsanisotropie gegeben. Lösbarkeit nach einer Richtung deutlich bevorzugt.
aufgelockert	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 9].

Die **Verbandsfestigkeit** wird nach [U 9] oberflächennah bis in eine geschätzte Tiefe von ca. 1,0 m bergseitig der Felsoberfläche als aufgelockert (mäßige Verbandsfestigkeit, VF3; s. Tabelle 2.3-2) eingeschätzt. Diese Tiefe ist ausschließlich für eine ggf. erforderliche Bemessung von Verankerungslängen im Fels zu berücksichtigen. 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 **splittrige** bis **quaderig-bankige** Körper. Die maximale **Kluftkörpergröße** von möglichen Stein- und Blockschlagereignissen variiert im Untersuchungsbereich mit Bezug auf die örtlichen Gegebenheiten. Auf Basis der Geländeaufnahme (Anlage 3) ist mit Einzelblockgrößen bis 1,0 m³ zu rechnen; das Gesamtvolumen eines potenziellen Gesteinsabgangs wird auf etwa 1,5 m³ geschätzt.



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 5].

2.4 Bergwasserverhältnisse

Zum Zeitpunkt der Geländeaufnahme herrschte trockenes Frühsommerwetter. Die Böschung sowie die Felsausbisse waren trocken. Lediglich im Bereich des Brückenwiderlagers bei ca. km 45,400 konnten lokale **Wasseraustritte** ca. 0,5 m ü. SO verzeichnet werden.

Die **Gebirgsdurchlässigkeit** hängt von der Durchtrennung, der Verwitterung sowie den Trennflächenabständen und dem Grad der Verkarstung ab. Grundsätzlich ist die Wasserwegsamkeit an die vorhandenen Trennflächen gebunden. Es handelt sich um einen **Karst- und Kluftgrundwasserleiter**. Insgesamt ist das Gebirge als durchlässig nach Tabelle 2.4-1 einzustufen; im tiefen Untergrund wird das Gebirge schwach durchlässig sein. Angaben über den geschlossenen **Bergwasserspiegel** liegen nicht vor; er wird jedoch deutlich unterhalb des Untersuchungsbereichs erwartet.

k [m/s]	Bereich
unter 10^{-8}	sehr schwach durchlässig
10^{-8} bis 10^{-6}	schwach durchlässig



k [m/s]	Bereich
über 10^{-6} bis 10^{-4}	durchlässig
über 10^{-4} bis 10^{-2}	stark durchlässig
über 10^{-2}	sehr stark durchlässig

Tabelle 2.4-1: Durchlässigkeitsbereiche nach DIN 18 130

Vorfluter für das Gebiet ist der Neckar. Aufgrund dessen ist von einer südwestlichen Fließrichtung des Bergwassers auszugehen. Der Normalpegel liegt bei ca. 136,75 m NHN. Es wird angenommen, dass ein geschlossener Bergwasserspiegel knapp über Vorflutniveau liegt und zur Talflanke hin ansteigt.

Wasserproben für hydrochemische Analysen und zur Untersuchung der Gefahr von Ausfällungen oder Verockerungen konnten im Zuge der Geländeaufnahme mangels Wasser nicht genommen werden. Nach [U 13] herrschen erdalkalisch-carbonatische und carbonatische, schwach sulfatische Wässer mit einer Gesamtmineralisation von 200 bis 700 mg/l, stark wechselnder Lösungsinhalt, vor.

Hinweise auf beton- und stahlangreifende Bestandteile des Grundwassers nach DIN 4030 bzw. DIN 50 929 liegen nicht vor. Allerdings ist wegen der vermutlich hohen Kalksättigung mit entsprechenden Ausfällungen an Austrittsstellen zu rechnen. Die Einschätzungen sind – soweit erforderlich – im Zuge der weiteren Planung durch Wasseranalysen abzusichern.

2.5 Sonstige Randbedingungen und Eigenschaften

Nach DIN EN 1998-1/NA liegt das Projektgebiet in keiner **Erdbebenzone** und keiner **Untergrundklasse**.

Nach [U 11] liegt das Projektgebiet in der **Frosteinwirkungszone I**.

Angaben über **Kampfmittelbelastungen** im Untersuchungsgebiet liegen nicht vor. Im Rahmen von Felssicherungsplanungen sind ggf. Anfragen bei den zuständigen Behörden durchzuführen.



Das Untersuchungsgebiet liegt gem. [U 4] und [U 2] im Naturpark „Neckartal-Odenwald“. Nordwestlich an das Untersuchungsgebiet schließt das Wasserschutzgebiet „Tiefbrunnen Neckarzimmern“ (Nr. 225017) an. Das Untersuchungsgebiet liegt in keinem Quellenschutzgebiet.

Die nachstehende Tabelle 2.5-1 gibt eine Übersicht über die **Schutzgebiete**, in welchen sich das Untersuchungsgebiet befindet.

Art	Name	Nummer
Naturschutzgebiete		
Naturpark	Neckartal-Odenwald	Schutzgebiets-Nr. 3
Naturraum	Bauland	Nr. 128

Tabelle 2.5-1: Schutzgebiete im Bereich des Untersuchungsgebietes nach [U 4][U 3], [U 2]

2.6 Bauwerke

Im Untersuchungsbereich befinden sich zwei Straßenbrücken, jeweils bei km 45,375 (SÜ 1716) und km 45,450 (SÜ 1715). In Abschnitt 1 befindet sich ca. 3 m von der oberen Böschungskante zurückversetzt eine Parkplatzfläche; unmittelbar nach dem Böschungskopf von Abschnitt 2 verläuft eine Straße.

Die vorhandenen Kabel befinden sich r.d.B. im vorhandenen Kabelkanal. Im Untersuchungsbereich befinden sich keine elektrischen Energieanlagen (50 Hz) oder maschinentechnische Anlagen. Im Untersuchungsbereich sind mehrere Oberleitungsmasten vorhanden.

Anschließend an Abschnitt 2, ca. km 45,338, befindet sich eine ca. 4,0 m hohe, massive Schwergewichtsmauer.

3. KENNWERTE UND HOMOGENBEREICHE

3.1 Felsmechanische Kennwerte

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]	
1	Kalkstein	26,5	35 (30)	26 (6)	100 ¹⁾ (25)	20.000 (15.000)

1) höhere Einzelwerte möglich
Untere Kennwerte in Klammern

Tabelle 3.1-1: Charakteristische Gesteins- und Gebirgskennwerte.

Schicht Nr.	Felsart	Schichtung		Klüftung	
		$\phi'_{k,s}$ [°]	$c'_{k,s}$ [kN/m ²]	$\phi'_{k,k}$ [°]	$c'_{k,k}$ [kN/m ²]
1	Kalkstein	35 (30)	(26) (6) ¹⁾	35 (30)	28 (0) ¹⁾

1) Bei vollständiger Durchtrennung
Untere Kennwerte in Klammern

Tabelle 3.1-2: Trennflächenkennwerte; die Werte gelten für schwach verwittertes bis frisches Gebirge, sofern nicht anders angegeben.

Schicht Nr.	Felsart	Mantelreibung
		$q_{s,k}$ [kN/m ²]
1	Kalkstein (unverwittert)	500

Tabelle 3.1-3: Charakteristische Mantelreibungswerte $q_{s,k}$ für Mikropfähle.



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 Verwitterungszone ist die Mantelreibung zwischen 0 und 1,0 m Tiefe im Fels linear von $q_{s,k} = 0 \text{ kN/m}^2$ auf den in der Tabelle angegeben Wert zu interpolieren. Zur Bemessung von ggf. erforderlichen Sicherungsmaßnahmen mittels rückverankerter Übernetzung kann als abrutschende Schicht eine Mächtigkeit von 1,0 m angegeben werden. Zur Überbrückung der oberflächennahen Verwitterung sowie Klüftungszonen und mit Bezug auf DIN EN 14 199 muss die Krafteintragungslänge mindestens 3 m betragen.

3.2 Homogenbereiche

3.2.1 Allgemeines

Boden und Fels sind gemäß den Normen der VOB/C (seit der Ausgabe 2015) 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.6, 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 Analysen durchgeführt wurden.

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

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



Bei den angegebenen Werten handelt es sich um Schätzwerte, die ggf. durch Versuche im Rahmen einer gesonderten Baugrunderkundung abgesichert werden müssen.

Für bauzeitliche Überprüfungen sind Versuche nach den in der Tabelle 3.2.1-1 aufgeführten Prüfvorschriften durchzuführen.

Eigenschaft / Kennwert		Prüfung/Prüfvorschrift
Bodenmechanik	Korngrößenverteilung	DIN EN ISO 17 892-4
	Massenanteil Steine, Blöcke, große Blöcke	Aussortieren, Vermessen, Wiegen
	Mineralogische Zusammensetzung der Steine und Blöcke	DIN EN ISO 14 689
	natürliche Dichte	DIN EN ISO 17 892-2
	undrainierte Scherfestigkeit c_u	DIN 4094-4
	Kohäsion c'	DIN 17 892-10
	Sensitivität c_{fv}/c_{Rv}	DIN 4094-4
	Wassergehalt w_n	DIN EN ISO 17 892-1
	Plastizität I_p	DIN 17 892-12
	Konsistenz I_c	DIN 17 892-12
	Durchlässigkeit k_f	DIN 17 892-11
	bezogene Lagerungsdichte I_D	DIN 18 126 in Verbindung mit Dichtebestimmung nach DIN EN ISO 17 892-2
	organischer Anteil v_{gl}	DIN 18 128
	Kalkgehalt v_{ca}	DIN 18 129
	Sulfatgehalt (säurelöslich)	DIN 4030-2
	Bodengruppe	DIN 18 196



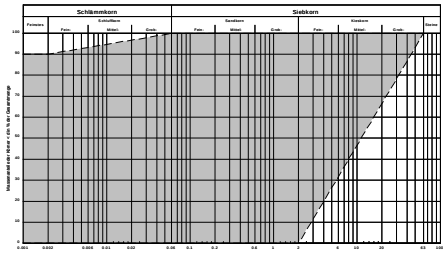
Eigenschaft / Kennwert		Prüfung/Prüfvorschrift
	Abrasivität	LCPC-Test nach NF P18-579
Felsmechanik	Dichte	DIN EN ISO 17 892-2
	Verwitterung und Veränderungen / Veränderlichkeit	DIN EN ISO 14 689
	Kalkgehalt v_{ca}	DIN 18 129
	Sulfatgehalt (säurelöslich)	DIN 4030-2
	einaxiale Druckfestigkeit	DIN 18 141-1
	Trennflächenrichtung, Trennflächenabstand, Gesteinskörperform	DIN EN ISO 14 689
	Abrasivität	DGGT-Empfehlung Nr. 23: „Bestimmung der Abrasivität von Gesteinen mit dem CERCHAR-Versuch“ des AK 3.3 „Versuchstechnik Fels“

Tabelle 3.2.1-1: Für eine Überprüfung der Eigenschaften und Kennwerte der Homogenbereiche anzuwendende Prüfverfahren

3.2.2 DIN 18 300 Erdarbeiten

Für die Festlegung der Homogenbereiche für Erdarbeiten (DIN 18 300) wird davon ausgegangen, dass der Aushub mit einem Bagger mittlerer Leistungsklasse (ca. 10 – 30 to) ausgeführt wird, der Boden zumindest zum Teil auf der Baustelle zwischengelagert wird und vor Ort wieder eingebaut und verdichtet wird. Die Homogenbereiche berücksichtigen nur das Lösen. Sollte ein Wiedereinbau vorgesehen sein, müssen die Homogenbereiche weiter untergliedert werden. In der nachfolgenden Tabelle 3.2.2-1 und der Tabelle 3.2.2-2 sind die Zuordnung der in diesem Gutachten angegebenen geologischen Schichten zu Homogenbereichen für Erdarbeiten sowie die zusammengefassten Eigenschaften der Homogenbereiche angegeben. Es wird davon ausgegangen, dass der Aushub maximal bis in eine Tiefe von 1,0 m NHN erfolgt, sodass nur bis in diese Tiefe Homogenbereiche für Erdarbeiten ausgewiesen werden.



Eigenschaft / Kennwert	Homogenbereich Erd-A
Schicht Nr.	-
ortsübliche Bezeichnung	Hangschutt / Hanglehm
Korngrößenverteilung mit Korngrößenband ²⁾	
Massenanteil ^{*)}	
Steine [%]	< 40
Blöcke [%]	< 20
große Blöcke [%]	< 10
natürliche Dichte ^{*)} [g/cm ³]	1,8 - 2,2
undrainierte Scherfestigkeit c_u ^{*)} [kN/m ²]	< 150
Wassergehalt w_n ^{*)} [%]	15 - 45
Plastizitätszahl I_P ^{*)}	7 - 50
Konsistenzzahl I_C / Bezeichnung ^{1) *)}	0,75 - >1 / steif bis halbfest
bezogene Lagerungsdichte I_D / Bezeichnung ^{1) *)}	15 - 65/ locker bis mitteldicht
organischer Anteil v_{gl} / Bezeichnung ^{1) *)}	≤ 5 / schwach organisch
Bodengruppe	UL, UM, UA, TL, TM, TA, SE, SW, SU, SU*, ST, ST*, GW, GU, GU*, GT, GT*

1) Begriffe nach DIN EN ISO 14 688-2

2) Das Körnungsband bezieht sich nur auf den Massenanteil ohne Stein, Blöcke und Große Blöcke

*) keine Untersuchungen vorhanden

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

Eigenschaft / Kennwert	Homogenbereiche Erd-B
Schicht Nr.	1
ortsübliche Bezeichnung	Wellenkalk
Benennung von Fels ¹⁾	Kalkstein
Dichte ^{*)} [g/cm ³]	2,4 - 2,8

Eigenschaft / Kennwert	Homogenbereiche
	Erd-B
Verwitterung und Veränderungen, Veränderlichkeit ^{1) *)}	verfärbt - frisch nicht veränderlich
einaxiale Druckfestigkeit ^{*)} [MN/m ²]	10 - 150
Trennflächenrichtung, Trennflächenabstand, Gesteinskörperform ¹⁾	Fallrichtung: s. Kap. 2.3 Fallwinkel: s. Kap. 2.3 Trennflächenabstand: 20 – 160 mm prismatisch ¹⁾

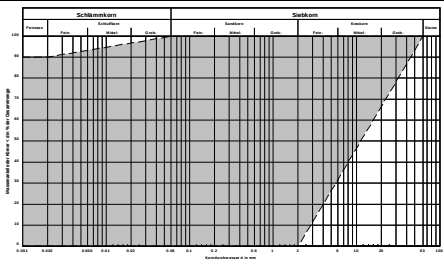
1) Bezeichnung nach DIN EN ISO 14 689

*) keine Untersuchungen vorhanden

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

3.2.3 DIN 18 301 Bohrarbeiten

Für eine Rückverankerung der geplanten Felssicherungen können für die Bohrarbeiten die Zuordnung der in diesem Gutachten angegebenen geologischen Schichten zu Homogenbereichen für Bohrarbeiten, sowie die zusammengefassten Eigenschaften der Homogenbereiche gemäß Tabelle 3.2.3-1 und Tabelle 3.2.3-2 verwendet werden. Es wird davon ausgegangen, dass die erforderlichen Bohrungen durch Lafettenbohrgeräte ausgeführt werden.

Eigenschaft / Kennwert	Homogenbereiche
	Bohr-A
Schicht Nr.	-
ortsübliche Bezeichnung	Hangschutt / Hanglehm
Korngrößenverteilung mit Korngrößenband ^{2) *)}	
Massenanteil ^{*)}	
Steine [%]	< 40
Blöcke [%]	< 20
große Blöcke [%]	< 10
Kohäsion c ^{*)} [kN/m ²]	≥ 0



Eigenschaft / Kennwert	Homogenbereiche
	Bohr-A
undrainierte Scherfestigkeit $c_u^{*)}$ [kN/m ²]	< 150 0
Wassergehalt $w_n^{*)}$ [%]	15 - 45
Plastizitätszahl $I_p^{1) *)}$	7 – 50
Konsistenz $I_c^{1) *)}$	0,75 - >1 / steif bis halbfest
bezogene Lagerungsdichte $I_D^{1) *)}$	15 - 65/ locker bis mitteldicht
LCPC-Abrasivitäts-Koeffizient LAK [g/to] / Bezeichnung ^{3) *)}	≤ 550 / niedrig
Bodengruppe	UL, UM, UA, TL, TM, TA, SE, SW, SU, SU*, ST, ST*, GW, GU, GU*, GT, GT*

1) Begriffe nach DIN EN ISO 14 688-2

2) Das Körnungsband bezieht sich nur auf den Massenanteil ohne Stein, Blöcke und Große Blöcke

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

*) 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	Wellenkalk
Benennung von Fels ^{1) *)}	Kalkstein
Verwitterung und Veränderungen, Veränderlichkeit ^{1) *)}	verfärbt - frisch nicht veränderlich
einaxiale Druckfestigkeit ^{*)} [MN/m ²]	10 - 150
Trennflächenrichtung, Trennflächenabstand, Gesteinskörperform	Fallrichtung: s. Kap. 2.3 Fallwinkel: s. Kap. 2.3 Trennflächenabstand: 20 – 160 mm prismatisch ¹⁾
Cerchar-Abrasivitätsindex CAI [-] / Bezeichnung ^{2) *)}	≤ 4,0 / stark abrasiv

1) Bezeichnung nach DIN EN ISO 14 689

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

*) keine Untersuchungen vorhanden

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

3.2.4 DIN 18 320 Landschaftsbauarbeiten

Oberboden ist nach DIN 18 320 als eigener Homogenbereich auszuweisen. Der Oberboden ist vor Beginn der Arbeiten abzuschieben und ist zur Rekultivierung zu verwerten.

Eigenschaft / Kennwert	Homogenbereiche
	Oberboden
Bodengruppe nach DIN 18 196	OU / OH
ortsübliche Bezeichnung	Mutterboden
Bodengruppe nach DIN 18 915	3, 4, 5
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 [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 Sprödbrüche sowie das Aufbringen von Verkehrslasten sein.

Unter **globaler Standsicherheit** einer Felsböschung oder eines Felshangs wird im Folgenden die Stabilität der gesamten Böschung bzw. des Hangs oder wesentlicher Abschnitte davon gegen tiefreichende, 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 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 Ablösung an den oberflächenparallelen Abschalungen in den massigen Partien sowie untergeordnet durch Unterschneidungen infolge Hohlkehlenbildungen in den verwitterungsanfälligeren, fein geschichteten Lagen auftreten. Eine Übersicht der geschätzten Einzelblockgrößen sowie der erwarteten Gesamtvolumina von Gesteinsabgängen für die Untersuchungsabschnitte ist in Tabelle 4.2-1 enthalten.

Abschnitt [-]	Stationierung		Einzelblockgröße		Gesamtvolumen mögl. Abgang [m³]
	von [km]	bis [km]	bis [m]	bis [m³]	
A1	45,395	45,435	1,2 x 1,4 x 0,6	1,0	ca. 1,5
A2	45,338	45,370	0,5 x 0,2 x 0,2	0,2	ca. 0,2

Tabelle 4.2-1: Geschätzte Einzelblockgrößen und Gesamtvolumina von Gesteinsabgängen.

4.3 Globale Standsicherheit

Nach der als Anlage 6 beigefügten kinematischen Analyse wurden im Untersuchungsgebiet Keilgleiten, Biegekippen sowie direktes Kippen als kinematisch möglich bezeichnet. Allerdings sind die Trennflächeneigenschaften (Durchtrennungsgrad, Abstand) unzureichend, um ein großräumiges Versagen der Felsausbisse zu verursachen. Globale Versagensmechanismen sind daher 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** wird nach [U 6] als **Produkt aus Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadensgröße** definiert.

In Anlehnung an [U 7] wurde die **Schadensgröße** durch die Energie des Stein- und Blockschlag- oder Felssturzereignisses ersetzt.

Nach den Erkenntnissen aus der Geländeaufnahme (Anlage 3.1 sowie Tabelle 4.2-1) werden die in Tabelle 6.1-1 aufgeführten **Eintrittswahrscheinlichkeiten** für Massenbewegungen aus der Böschung angenommen, die im Untersuchungsbereich die L 1250 erreichen. Als Bezugsgröße wurde eine Bauwerkslebensdauer von 50 Jahren gewählt. Die angegebenen **Energien** liegen auf der sicheren Seite, da sie der potentiellen Energie ausgehend vom höchstmöglichen Auslöseort entsprechen.

Ifd. Nr. [-]	Massenbewegung ¹⁾ [-]	Volumen [m³]	Potentielle Energie ²⁾ [kJ]	Wiederkehrzeitraum T [a]	Eintrittswahrscheinlichkeit p ³⁾ [%]	Maßgebender Untersuchungsabschnitt ⁴⁾ [-]
1	Steinschlag	0,001	0,2	0,5	100	A1 – A2
2		0,005	1,0	0,5	100	A1 – A2
3		0,01	1,9	0,5	100	A1 – A2
4		0,02	3,8	1	100	A1 – A2
5		0,1	19,2	5	100	A1 – A2
6		0,2	38,5	10	99	A1 – A2
7	Blockschlag	0,5	96,1	15	97	A1
8		1,0	192,3	20	92	A1
9		1,5	288,4	50	64	A1

1) nach Tab. 4.1-1

2) $E = m \cdot g \cdot h$; $h = 7,0$ m

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

4) siehe Anlagen 2 und 3.1

Tabelle 5.1-1: Eintrittswahrscheinlichkeiten für Massenbewegungen im Untersuchungsgebiet.



Im Folgenden werden 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 schweren Sach- und Personenschäden führen. Risiken mit mittlerer und niedriger Eintrittswahrscheinlichkeit 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 10.000 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 17 kJ gezogen. Nach der UN/ECE-Regelung Nr. 29 (Anhang 3, Abs. 7.3.5) über einheitliche Bedingungen für die Genehmigung von Fahrzeugen hinsichtlich des Schutzes von Insassen des Fahrerhauses von Nutzfahrzeugen liegt der Prüfwert für die Aufschlagenergie bei seitlichem Aufprall bei 17,6 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 Klassifizie-



ung ein "normiertes" Vorgehen für die Sicherungsempfehlungen gewährleistet ist. Zu beachten ist, dass Passanten (Fußgänger, Zweiradfahrer) über keine Schutzvorrichtung wie in einem geschlossenen Fahrzeug verfügen.

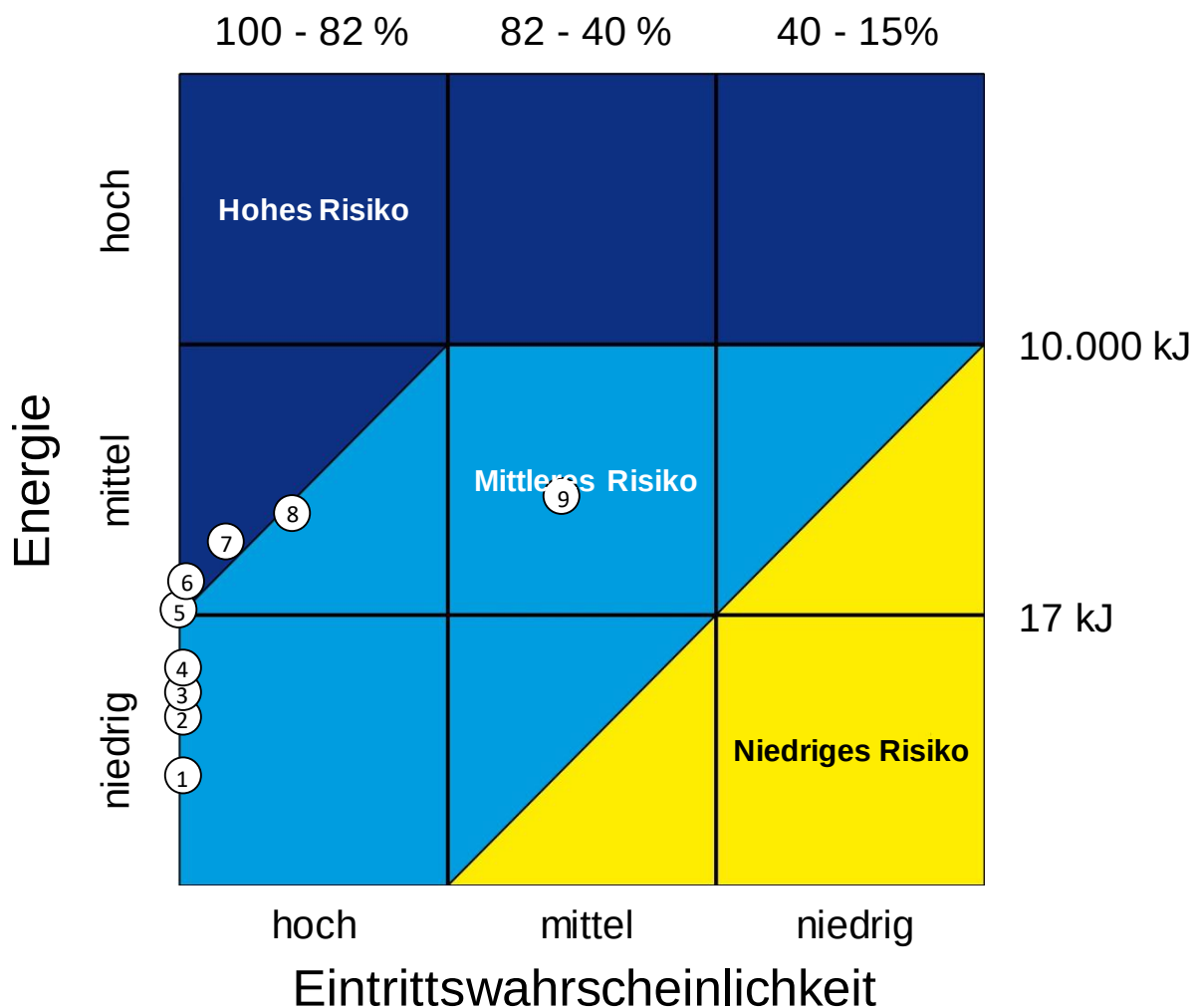


Abb. 5.1-1: Einteilung der Risikoklassen aus Anprall (1 - 9 Blockklassen aus. Tab. 4.2-1).

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 6.1-1). Eine hohe Eintrittswahrscheinlichkeit beinhaltet einen Wiederkehrzeitraum von 1 bis 30 Jahren; eine niedrige Wahrscheinlichkeit ei-



nen 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 9 (entsprechen den lfd. Nr.) aus Tabelle 6.1-1 eingetragen.

Risiken können nie ganz eliminiert werden; auch nach Abschluss von Schutzmaßnahmen bleibt ein bestimmtes Risiko übrig (verbleibendes Risiko / **Restrisiko**). Die Höhe des Restrisikos ist abhängig vom angestrebten Sicherheitsniveau (ökologisch vertretbar, ökonomisch verhältnismäßig, sozial verträglich) und dem gewählten Schutzziel („Handlungsbedarf“) [U 10].

5.2 Risikoanalyse

Zur groben Abschätzung des **Risikos von Treffern im Gleisbereich** können in Zusammenhang mit den Ausführungen in Kap. 2.1 und Anlage 3.1 bezüglich Neigung und Höhe der **Einschnittsböschung** in Verbindung mit den Quellgebieten der Massenbewegungen in Anlehnung an [U 8] die in Tabelle 5.2-1 aufgeführten Werte angegeben werden. Die Angaben sind als Näherungswerte zu verstehen, da im vorliegenden Untersuchungsbereich abweichende Neigungen und Höhen bestehen.

Zu beachten ist ferner, 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 nur lokal möglich sind. Rollende Steine und Blöcke aus der Ein-

schnittsböschung können jedoch zu einer Gefährdung des talseitigen Gleises im untersuchten Streckenabschnitt führen. Die Analyse stimmt weitgehend mit der gutachterlichen Einschätzung vor Ort überein.

Böschung / Hang			Abstand vom Fuß	
Neigung		Höhe	Einschlag	Ausrollen
[v:h]	[°]	[m]	[m]	[m]
1 : 1	45	12,0	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 8].

5.3 Risikozonierung

Mit Bezug auf die oben ausgeführten Kriterien, Anlage 3.1, Tabelle 6.1-1 und Abb. 5.1-1 ist eine **Risikozonierung** für den Bahnbetrieb möglich, die in Tabelle 5.3-1 zusammengefasst ist.

Risiko für Bahnbetrieb	Untersuchungsabschnitt
niedrig	-
mittel	A1 – A2
hoch	A1 – A2

Tabelle 5.3-1: Risikozonierung.



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

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

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

Wir gehen davon aus, dass ein hohes Sicherheitsniveau angestrebt wird, bei dem nach Abbildung 6.1-1 niedrige Eintrittswahrscheinlichkeiten (Wiederkehrperiode 100 bis 300 Jahre) bei niedrigen Energien ($< 17 \text{ kJ}$) toleriert werden. Aus gutachterlicher Sicht sind im Untersuchungsbereich **Sicherungsmaßnahmen erforderlich**.

6. EMPFEHLUNGEN

6.1 Sicherungsvorschlag

Auf Grundlage der Ausführungen in Kapitel 5 ist für die Sicherung der DB Strecke 4111 gegen die Risiken aus der Felsböschung in allen untersuchten **Abschnitten A1 bis A2** zunächst eine händische **Beräumung** der Böschung von losem Felsmaterial durchzuführen. Aus technischen Gesichtspunkten empfehlen wir die Herstellung einer **rückverankerten Übernetzung** der Felsausbisse (Abschnitt 1 und 2). Weiterhin empfehlen wir für das stark unterschrittene Felsband in Abschnitt 2 die Ausführung einer **rückverhängten Spritzbetonplombe** als Erosionsschutz. Mit Bezug auf die Lage in Schutzgebieten ist im Rahmen der weiteren Planung insbesondere die Lage der Bauwerke im Hinblick auf den Naturschutz zu optimieren.

Mit dem gewählten System können die festgestellten Risiken langfristig minimiert werden und die Betriebssicherheit des Schienenverkehrs gewährleistet werden.



6.2 Baukosten

Nach der als Anlage 5 beigefügten Kostenschätzung auf Vorplanungsniveau ist für die Böschungssicherung mit mittleren Baukosten von etwa 228.240 € netto (Stand 4. Quartal 2023) zu rechnen. Die Kostenschätzung gemäß DIN 276 hat eine Genauigkeit von $\pm 30\%$ (± 68.472 €).

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 / m^2) grob auf Grundlage von Erfahrungswerten abgeschätzt. Für eine 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

Im Rahmen der Regelinspektion durch den Fachbeauftragten der DB Netz AG wurden Risiken durch Stein- und Blockschlag in der Böschung l.d.B. festgestellt, die zu einer Gefährdung des Streckenabschnitts sowie des unter der Böschung liegenden Bahnsteigs führen können.

Zur Untersuchung der Ursache wurde im Frühsommer 2023 eine geotechnische Untersuchung der Böschung zwischen km 45,338 und 45,435 durchgeführt, bei der flächige Steinschlag- und Blockschlagrisiken festgestellt wurden, die zu einer Gefährdung der Bahnsteiganlagen und ggf. des Schienenverkehrs führen.

Die Risikogröße variiert in Abhängigkeit von den angetroffenen geotechnischen Verhältnissen. Es handelt sich nach unserer gutachterlichen Einschätzung um inakzeptable Risiken, die Sicherungsmaßnahmen erfordern. Zur Minimierung der Risiken wird die Herstellung einer flächigen Übernetzung der Böschung zur Ausführung in den Untersuchungsabschnitten 1 und 2, sowie die Herstellung



einer rückverankerten Spritzbetonunterfangung im Untersuchungsabschnitt 2 empfohlen. Die Baukosten werden auf etwa 228 Tausend Euro netto geschätzt.

Die Arbeiten erfordern eine Objekt- und Tragwerksplanung; die Ausführung ist fachtechnisch zu überwachen. Der Naturschutz ist zwingend in die Planung einzubinden. Es wird empfohlen, die Maßnahmen kurzfristig – in spätestens 5 Jahren – auszuführen.

Zur Beantwortung weiterer Fragen stehen wir Ihnen gerne zur Verfügung.

i.V. (gezeichnet)

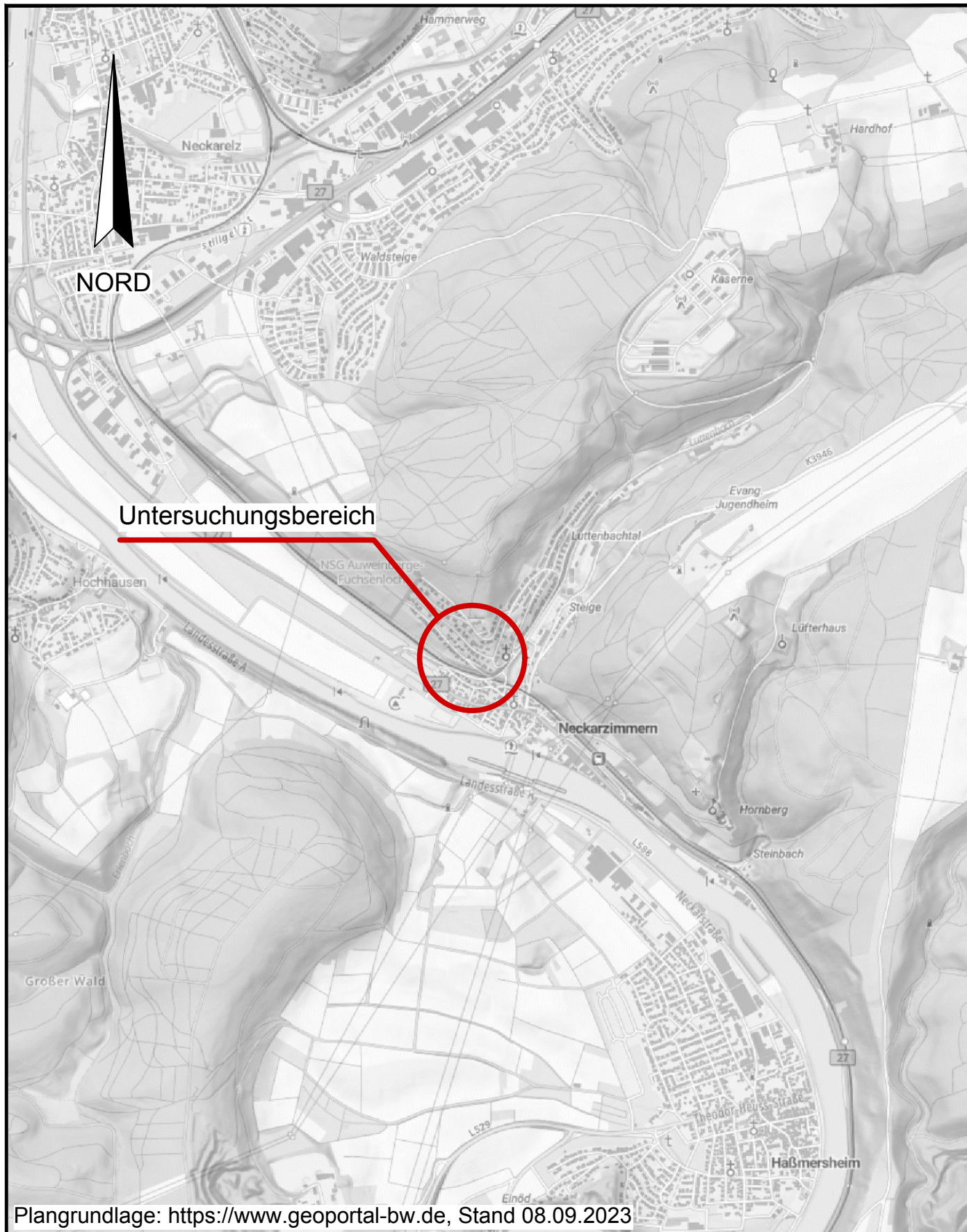
Dipl.-Ing. (FH) Achilles Häring
(Leiter KC Planung Statik)

i.A.

M.Sc. Sonja Marek
(Projektbearbeiterin)

Verteiler:

- DB Netz AG, Herr Adil Aghanim, Stuttgart, 2 x, davon 1 x vorab per E-Mail an <Adil.Aghanim@deutschebahn.com>
- Dr. Spang GmbH, Esslingen, 1 x



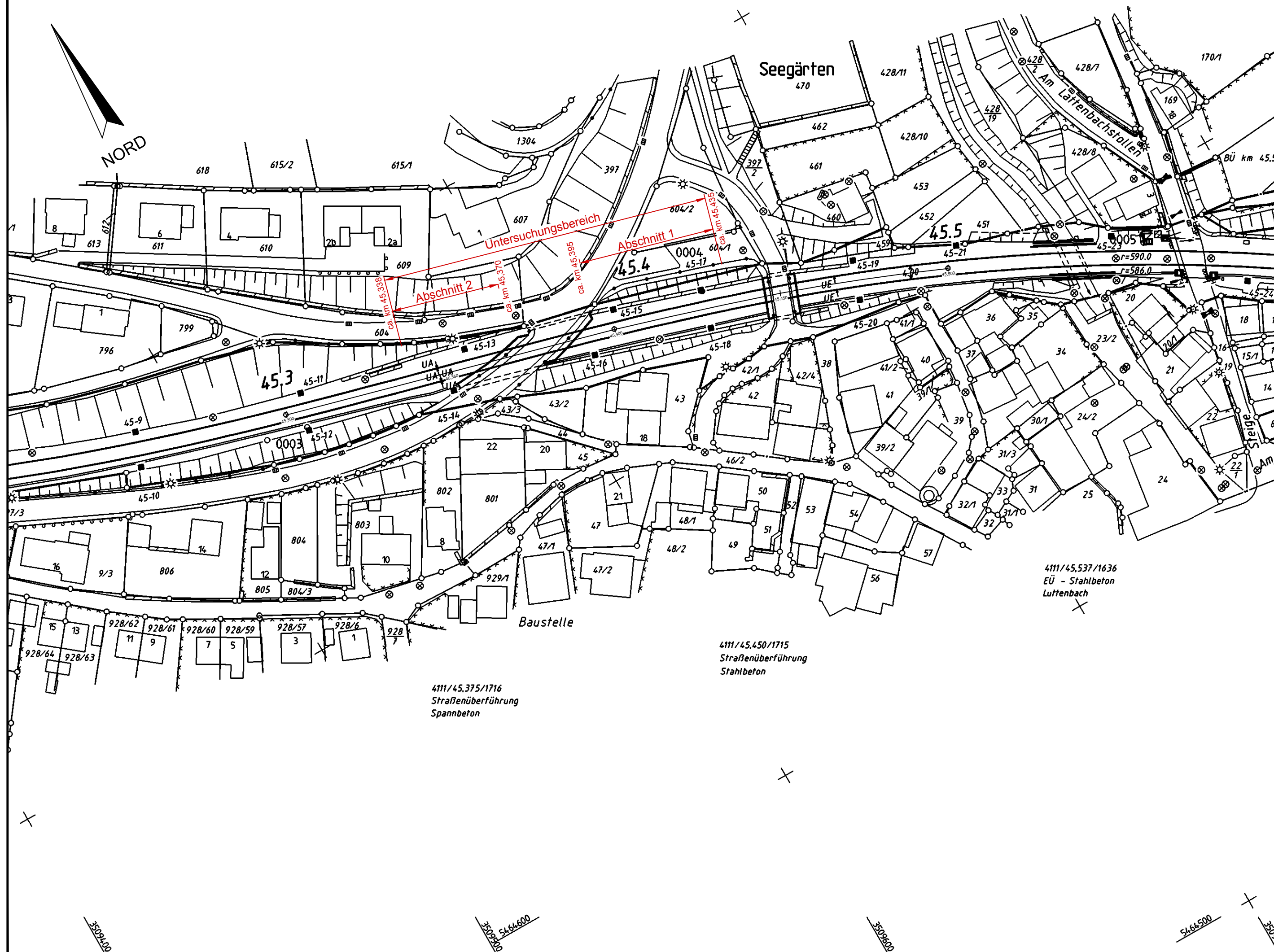
DR. SPANG

AUFTRAGGEBER:
DB Netz AG,
Presselstraße 17, 70191 Stuttgart

Übersichtslageplan

PROJEKT:
DB-Str. 4111 Neckargemünd - Bad
Friedrichshall Hbf km 45,338 -
45,435: Neckarzimmern

Anlage:	1.1
Projekt Nr.:	44.9320
Plan Nr.:	44.9320/ 1.1
Datum:	08.09.2023
Maßstab:	1:25.000
Gezeichnet:	Car
Geprüft:	Mrk



Gezeichnet:	Car	Entworfen:	Mrk
Geprüft:	Mrk	Datum:	31.08.2023
Plan-Nr.:	44.9320/ 2.1	Proj.-Nr.:	44.9320
Maßstab:	1:1.000	Anlage:	2.1

 DR. SPANG	DR. SPANG Ingenieurgesellschaft für Bauwesen Geologie und Umwelttechnik mbH	Anlage: 3, Seite 1 Datum: 02.11.2023 Bearbeiter: Mrk Projekt-Nr.: 44.9321
		Dokumentation der Geländebegehung Projekt: DB Str. 4111 Neckar- gemünd – Bad Friedrichshall hbf; km 45,395 – 45,435 l.d.B.

Bereich				Geometrie / Beschreibung	Bewertung	Empfohlene Maßnahmen	Fotos Anlage/ Bild Nr.
Nr.	von km	bis km	Länge [m]				
1	45,395	45,435	40	Felsböschung, Neigung ca.70 - 90°; H ca. 7,0 m. Söhlige Schichtung, gebankt, lokale Unterschneidungen bis ca. 0,3 m Tiefe. Ca. km 45,400, ca. 0,5 m ü. SO: Lokale Wasseraustritte in der Nähe des Brückenwiederlagers. Ca. km 45,403, ca. 1,5 m ü. SO: labiler Felsvorsprung b x h x t = 1,2 m x 1,4 m x 0,6 m	Lokale Risiken durch Stein- und Blockschläge bis ca. 1,0 m³	Felsberäumung Sicherung mittels rückverankerter Übernetzung	Anl. 3.2, Bild Nr. 1 - 2
2	45,338	45,370	33	Felsböschung, Neigung ca.70 - 90°; H ca. 7,0 m. Söhlige Schichtung, gebankt, lokale Unterschneidungen bis ca. 1,0 m Tiefe. Böschung fällt in Richtung absteigende Bahn-km auf ca. 4,0 m Höhe ab. Ca. km 45,355 – 45,361, ca. 3,8 m ü. SO: Stark unterschrittenes Felsband unterhalb Böschungskrone (L ca. 6,5 m, Unterschneidung bis ca. 1,0 m).	Lokale Risiken durch Stein- und Blockschläge bis ca. 0,02 m³	Felsberäumung Sicherung mittels rückverankerter Übernetzung Lokale Sicherung Felsband mittels rückverankerter Spritzbetonunterfangung	Anl. 3.2, Bild Nr. 3 - 4



Panoramaaufnahme 1: ca. km 45,395 - 45,435

Legende:

Stationierung bei km 45,435

→ Abschnitt

Stationierung nach händischer Aufnahme

Panoramaaufnahmen sind optisch verzerrt, gerade Linien erscheinen gebogen.

Nummer	Änderung bzw. Ergänzung	Name	Datum



DR. SPANG

**DR. SPANG Ingenieurgesellschaft für
Bauwesen, Geologie und Umwelttechnik mbH**
Rosi-Wolfstein-Straße 6, 58455 Witten
Telefon: 02302 / 9 14 02 - 0 Fax: 02302 / 9 14 02 - 20
Email: zentrale@dr-spang.de Web: <http://www.dr-spang.de>

DB Netz AG,
Presselstraße 17, 70191 Stuttgart

DB-Str. 4111 Neckargemünd - Bad Friedrichshall
Hbf km 45,338 - 45,435: Neckarzimmern

Panoramaaufnahme 1: Abschnitt 1

Felsbegutachtung

Gezeichnet:	Car	Entworfen:	Mrk
Geprüft:	Mrk	Datum:	12.09.2023
Plan-Nr.:	44.9320/ 4.1.1	Proj.-Nr.:	44.9320
Maßstab:	-	Anlage:	4.1.1

E:\Daten\p9300-9399\p9320\6_Geotechnik\Gutachten\Strecke\Felsbegutachtung\p9320_Anl.4.1_Pano.dwg
Ansichtsfenster : Anl.4.1.2



Panoramaaufnahme 2: ca. km 45,338 - 45,370

Legende:

45,370 Stationierung bei km 45,370

Abschnitt

Stationierung nach händischer Aufnahme

Panoramaaufnahmen sind optisch verzerrt, gerade Linien erscheinen gebogen.

Nummer	Änderung bzw. Ergänzung	Name	Datum



DR. SPANG Ingenieurgesellschaft für
Bauwesen, Geologie und Umwelttechnik mbH
Rosi-Wolfstein-Straße 6, 58453 Witten
Telefon: 02302 / 9 14 02 - 0 Fax: 02302 / 9 14 02 - 20
Email: zentrale@dr-spang.de Web: http://www.dr-spang.de

DB Netz AG,
Presselstraße 17, 70191 Stuttgart

DB-Str. 4111 Neckargemünd - Bad Friedrichshall
Hbf km 45,338 - 45,435: Neckarzimmern

Panoramaaufnahme 2: Abschnitt 2

Felsbegutachtung

Gezeichnet:	Car	Entworfen:	Mrk
Geprüft:	Mrk	Datum:	12.09.2023
Plan-Nr.:	44.9320/ 4.1.2	Proj.-Nr.:	44.9320
Maßstab:	-	Anlage:	4.1.2

E:\Daten\p9300-9399\p932016_Geotechnik\Gutachten\Strecke\Felsbegutachtung\p9320_Anl.4.2_Fotodok.dwg
Ansichtsfenster : Anl.4.2_FD



Abschnitt 1, Bild 1:
Stein- und Blockschlagmaterial in Bahnseitenbereich, Kantenlänge Einzelblöcke bis ca. 0,4 m.



Abschnitt 1, Bild 2:
Ca. km 45,403: labiler Felsvorsprung, ca. 1,5 m ü. SO.



Abschnitt 2, Bild 1:
Ca. km 45,368: Ansicht unterschrittene Bereiche in der Felsböschung.



Abschnitt 2, Bild 2:
Ca. km 45,357: Felsblock (Kantenlänge ca. 0,4 m) aus Böschung im Bahnseitenbereich.



Abschnitt 2, Bild 3:
Ca. km 45,435 - 45,460: Stark unterschrittenes Felsband, ca. 3,8 m ü. SO.

Nummer	Änderung bzw. Ergänzung	Name	Datum
 DR. SPANG DR. SPANG Ingenieurgesellschaft für Bauwesen, Geologie und Umwelttechnik mbH Rosi-Wolfstein-Straße 6, 58453 Witten Telefon: 02302 / 9 14 02 - 0 Fax: 02302 / 9 14 02 - 20 Email: zentrale@dr-spang.de Web: http://www.dr-spang.de			
DB Netz AG, Presselstraße 17, 70191 Stuttgart			
DB-Str. 4111 Neckargemünd - Bad Friedrichshall Hbf km 45,338 - 45,435: Neckarzimmern			
Fotodokumentation			
Felsbegutachtung			
Gezeichnet:	Car	Entworfen:	Mrk
Geprüft:	Mrk	Datum:	12.09.2023
Plan-Nr.:	44.9320/ 4.2	Proj.-Nr.:	44.9320
Maßstab:	-	Anlage:	4.2

 DR. SPANG Ingenieurgesellschaft für Bauwesen Geologie und Umwelttechnik mbH				Anlage: 5.1	
				Datum: 02.11.2023	
				Bearbeiter: Hä/Mrk	
				Projekt-Nr.: 44.9320	
Kostenschätzung Bauleistungen Böschungssicherung				Projekt: DB Str. 4111 Neckargemünd - Bad Friedrichshall hbf, km 45,395 - 45,435 l.d.B.	
Pos.	Menge	Einheit	Leistung	Preis [€]	
				Einzeln	Gesamt
1	1	psch	Baustelleneinrichtung	30.000,00	30.000,00
2			Vegetationsarbeiten		
2.1	500	m ²	Vegetationsarbeiten, UVV-Beräumung der Böschung, tlw. vom Seil aus. Inkl. Lagerung, Transport und Entsorgung des angefallenen Materials	30,00	15.000,00
2			Felsberäumung		
2.1	500	m ²	Beräumung der Böschung, händisch, vom Seil aus. Inkl. Lagerung, Transport und Entsorgung des angefallenen Materials	30,00	15.000,00
3			Übernetzung		
3.1	500	m ²	Übernetzung aus hochfestem Drahtgeflecht inkl. Verankerung, Bohr- und Verpress- sowie Montagearbeiten.	250,00	125.000,00
4			Spritzbetonunterfangung		
4.1	25	m ³	Rückverankerte Spritzpetonblombe inkl. Bewehrungsmatten und Drainageschläuche. Inkl. Material und Montagearbeiten.	900,00	22.500,00
			Zwischensumme		207.500,00
			Kleinleistungen; psch 10%		20.750,00
			Summe, netto		228.250,00



ANLAGE 6.1: KINEMATISCHE ANALYSE

4.1.1 Grundlagen

Die Untersuchung potenzieller Bruchmechanismen geklüfteter Felskörper an Trennflächen (**kinematische Analyse**) erfolgt in den Geowissenschaften mit Hilfe der Lagenkugel (Schmidt'sches Netz). Ausführliche Erläuterungen hierzu finden sich u.a. in JOHN & DEUTSCH (Die Anwendung der Lagenkugel in der Geotechnik. Karlsruhe, 1974).

Bei der kinematischen Analyse handelt es sich um eine rein geometrische Betrachtung, bei der weder die Trennflächeneigenschaften (insbesondere Trennflächenabstand, Durchtrennungsgrad, Öffnungsweiten, Beläge), noch äußere Kräfte (z.B. Wasserdruck, Verkehrslasten) berücksichtigt werden. Einen Überblick über die im Regelfall vorherrschenden gefügebedingten Bruchmechanismen zeigt Abbildung 4.1.1-1.

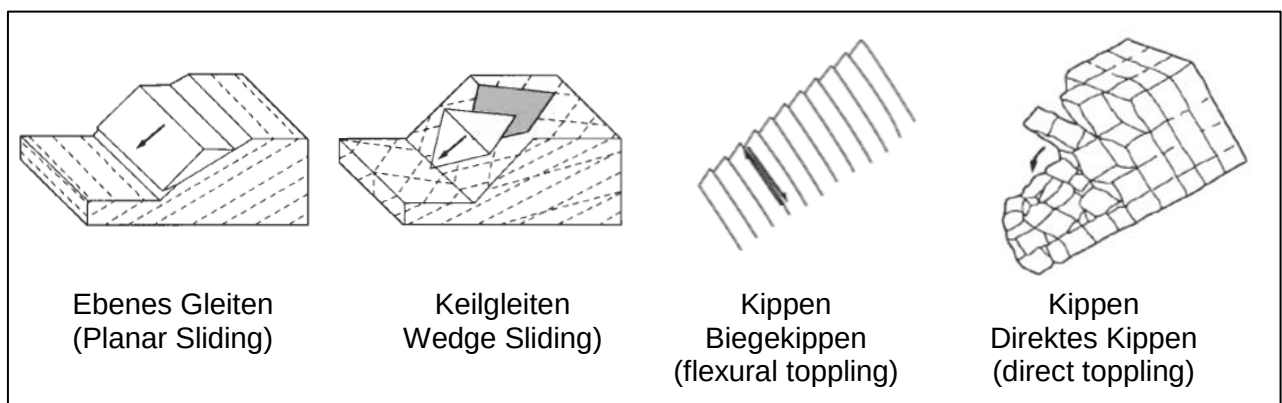


Abb. 4.1.1-1: Einfache, gefügebedingte Bruchmechanismen (bearbeitet nach Hudson & Harrison, 1997)

EBENES GLEITEN (Planar Sliding) kann auftreten, wenn eine Trennfläche mehr oder weniger parallel zur Böschung orientiert ist (im Allgemeinen etwa $\pm 20^\circ$) und der Fallwinkel der Bruchfläche (β_P) flacher als die Böschungsneigung (β_B) ist. Die Neigung der Bruchfläche (β_P) muss zudem größer sein, als der Reibungswinkel auf der Trennfläche (φ_P):

$$\varphi_P < \beta_P < \beta_B$$



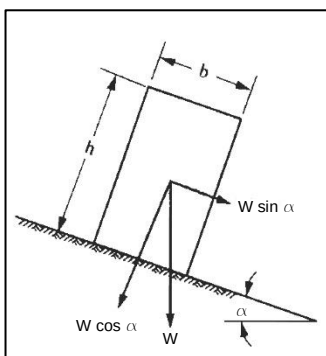
KEILGLEITEN (Wedge Sliding) erfordert zwei sich schneidende Trennflächen. Die Verschneidung(slinie) der beiden Flächen (Gleitrichtung) muss die Böschungsoberfläche durchstoßen. Für den Fallwinkel der Verschneidung (β_V) gelten die gleichen Kriterien wie für den ebenen Fall:

$$\varphi_P < \beta_V < \beta_B$$

Es werden üblicherweise nur Verschneidungen betrachtet, deren Fallrichtungen maximal einen Winkel von 45° zur Fallrichtung der Böschung aufweisen. Bei größeren Winkeln kommt es eher zu Ebenem Gleiten auf einer der Verschneidungsflächen (Markland-Test, vgl. Hoek & Brown 1981). Dabei sind nicht Fallrichtung und Fallwinkel der Verschneidung relevant, sondern die Eigenschaften der entsprechenden Trennfläche. Dieser Fall entspricht dem Versagenskriterium von ebenem Gleiten ohne die o.g. seitliche Begrenzungen von $\pm 20^\circ$.

KIPPEN als kinematischer Bruchmechanismus kann an Trennflächen und/oder Verschneidungen auftreten. Üblicherweise werden zwei verschiedene Arten von Kippen unterschieden (Abb. 4.1.1-1):

Direktes Kippen (direct toppling) tritt auf, wenn der Schwerpunkt eines Körpers (W) außerhalb seiner Grundfläche liegt (Abb. 4.1.1-2). Dies trifft in der Regel dann zu, wenn der Körper auf einer geneigten Fläche aufsteht und die Breite des Körpers (b) deutlich geringer ist, als dessen Höhe (h).



Eine Instabilität tritt danach auf, wenn gilt:

$$\frac{b}{h} < \tan \alpha$$

Abb. 4.1.1-2: Direktes Kippen (nach Hoek & Bray, 1997)

In der Lagenkugel müssen die Verschneidungen der Stirn- und der Seitenfläche eines Körpers mit der Höhe h steil in Richtung der Böschung einfallen:

$$90^\circ - \beta_B \leq \beta_V \leq 90^\circ$$



Biegekippen (flexural toppling) kann nur unter bestimmten Voraussetzungen auftreten. Zum einen müssen steil stehende plattige Gesteinskörper vorhanden sein, die mehr oder weniger parallel zur Böschung (ca. $\pm 20^\circ$) orientiert sind. Abweichend vom Ebenen Gleiten müssen die Bruchflächen jedoch steil bergwärts einfallen. Zum anderen muss die Hauptspannung parallel zur Böschungsoberfläche Scherbewegungen zwischen den einzelnen Gesteinsplatten induzieren. Der Bruchvorgang setzt auch voraus, dass der unterste Block am Fuß der Böschung eine freie Oberfläche aufweist und ggf. auf einer talwärts fallenden Gleitfläche aufsteht. In der Lagenkugel gilt es, folgende Beziehung zu beachten:

$$(90^\circ - \beta_P) \leq (\beta_B - \varphi_P)$$

Bei den Betrachtungen aller vorstehenden Bruchmechanismen werden die wirksamen Reibungswinkel auf den maßgebenden Trennflächen unter Ansatz eines **Sicherheitsfaktors von 1,5** nach FELLENIUS global abgemindert:

$$\varphi_p = \arctan \frac{\tan \varphi'}{1,5}$$

4.1.2 Projektgebiet

Nach der Gefügaufnahme lassen sich die Felsausbisse links der Bahn unter Berücksichtigung der Böschungs-/Hanggeometrie in **einem Gefügebereich** mit jeweils mehr oder weniger einheitlicher Lagerung zusammenfassen. Die Grenzen der Gefügebereiche sowie der zugehörige Fallwinkel und die Fallrichtung der Böschung sind in Tabelle 6.1.2-1 zusammengestellt.

Gefügebereich [-]	Kilometrierung		Böschung	
	von [km]	bis [km]	Fallrichtung [°]	Fallwinkel [°]
G1	45,395	45,460	190	70

Tabelle 6.1.2-1: Gefügebedingte Bereiche im Projektgebiet.



4.1.3 Auswertung

Im Zuge der Geländeaufnahme wurden die Schichtung SS, sowie die Hauptklufscharen K1 und K2 aufgenommen. Die kinematische Analyse erfolgte anschließend mit der Software Dips (Version 8.002) der Firma Rocscience Inc., Toronto. Die Gefügedaten wurden hierzu entsprechend der Trennflächenzuordnung eingelesen und zusammengefasst. Anschließend erfolgte die Auswertung nach den in Kapitel 6.1.1 beschriebenen Versagensmechanismen.

In den Darstellungen der Anlagen 6.2 (Ebenes Gleiten), 6.3 (Keilgleiten), 6.4 (Biegekippen) und 6.5 (Direktes Kippen) sind alle Gefügewerte als Polpunkte auf der unteren Hälfte der Lagenkugel (Schmidt'sches Netz, polständige Darstellung) dargestellt. Für die kinematische Analyse ist in den Darstellungen die Böschung als Großkreis entsprechend ihrer Orientierung (Fallrichtung/Fallwinkel) eingetragen.

Bei Ebenem Gleiten, Biegekippen und direktem Kippen wurden die seitlichen Begrenzungen auf 20° gesetzt. Es wird davon ausgegangen, dass größere Winkeldifferenzen zur Gleit- bzw. Kipprichtung zu einer Selbstsperrung der möglichen Bruchkörper in der Böschung führen.

Unabhängig von der Anzahl der Gefügewerte handelt es sich um eine globale Betrachtung der Standsicherheit, bei der die gesamte Böschung bzw. große Teile der Böschung im Fokus stehen. Lokale und kleinräumig beschränkte Ausbrüche aufgrund von örtlich ungünstigen Trennflächen werden nicht betrachtet und sind grundsätzlich immer möglich.

Nach Auswertung der Polpunkte sind im Projektgebiet die in Tabelle 6.1.3-1 aufgeführten Bruchmechanismen kinematisch möglich. Die Auswertung erfolgte unter Berücksichtigung eines Reibungswinkels von $\varphi' = 30^\circ$ (cal $\varphi_p = 21^\circ$) für den in allen Gefügebereichen anstehenden Kalkstein.

Gefügebereich	Ebenes Gleiten	Keilgleiten	Biegekippen	direktes Kippen	Bemerkung
G1	-	K1 / K2	K 1 / K2	K1 / K2	Kinematisch möglich

Tabelle 6.1.3-1: Ergebnisse der kinematischen Analyse im Projektgebiet.



DR. SPANG

Ingenieurgesellschaft für Bauwesen,
Geologie und Umwelttechnik mbH

DIPS 8.001

Projekt:
DB Strecke 4111, km 45,395 - 45,435 l.d.B. (Neckarzimmern)

Bemerkung: Felsböschung

Bearbeiter: Marek

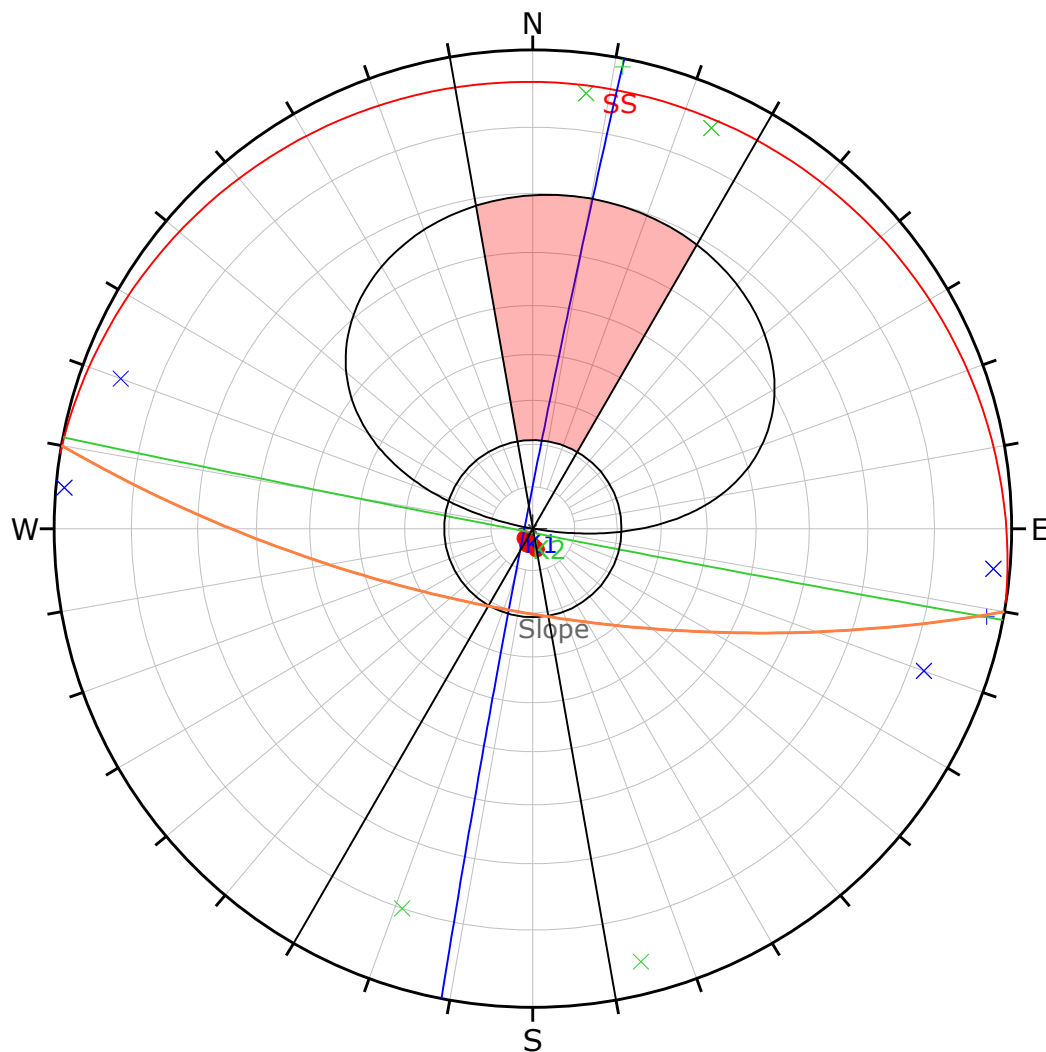
Datum: 31.10.2023, 16:12:30

Auftraggeber: DB Netz AG Stuttgart

Abschnitt: Abschnitt 1 - 2

Anlage: 6.2 planar sliding

Dateiname: P9320.dips8



Symbol	TYPE	Quantity
×	K1	7
×	K2	6
●	SS	4

Kinematic Analysis	Planar Sliding		
Slope Dip	70		
Slope Dip Direction	190		
Friction Angle	21°		
Lateral Limits	20°		
	Critical	Total	%
Planar Sliding (All)	0	17	0.00%

	Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes				
1		70	190	Slope
Mean Set Planes				
1m		4	9	SS
2m		88	281	K1
3m		89	191	K2

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	17 (17 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle



DR. SPANG

Ingenieurgesellschaft für Bauwesen,
Geologie und Umwelttechnik mbH

DIPS 8.001

Projekt:
DB Strecke 4111, km 45,395 - 45,435 l.d.B. (Neckarzimmern)

Bemerkung: Felsböschung

Bearbeiter: Marek

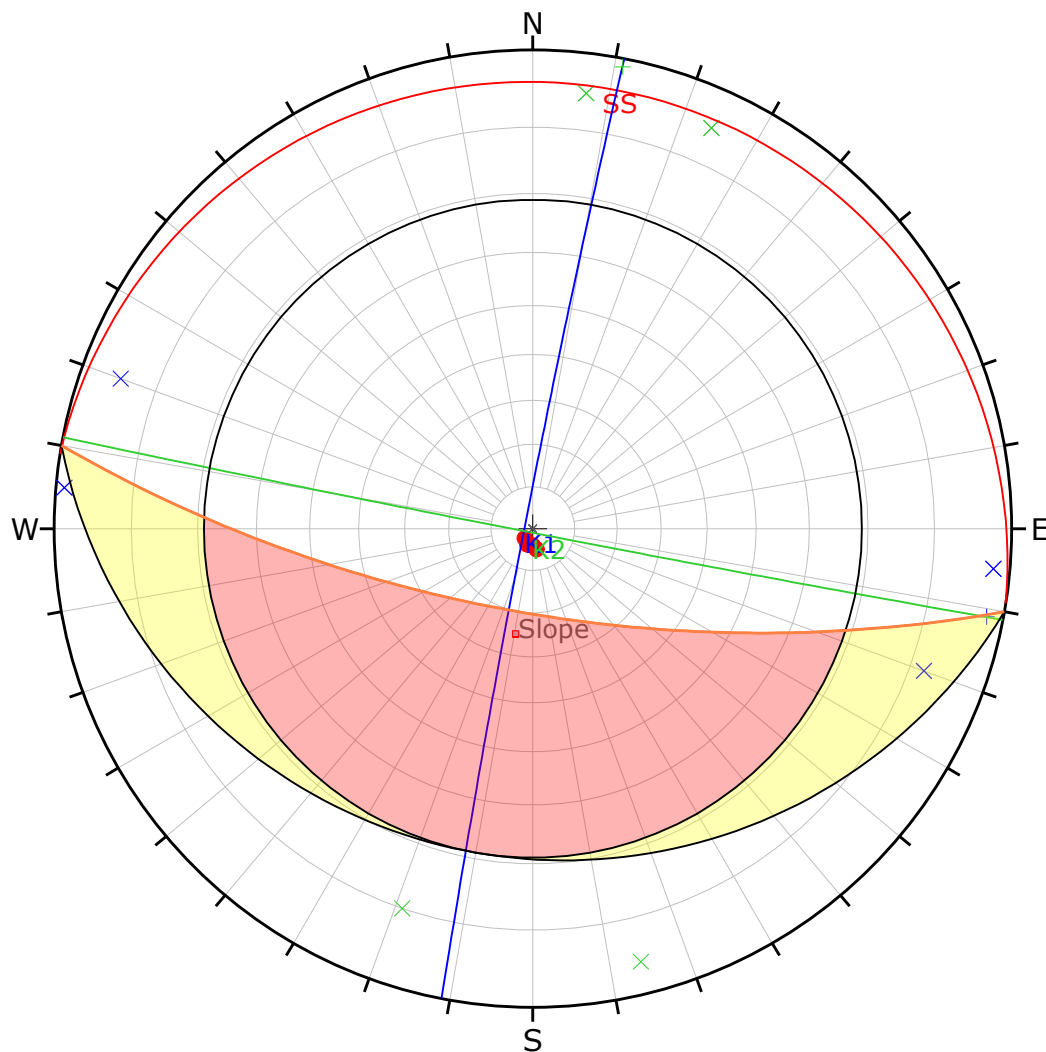
Datum: 31.10.2023, 16:12:30

Auftraggeber: DB Netz AG Stuttgart

Abschnitt: Abschnitt 1 - 2

Anlage: 6.3 wedge sliding

Dateiname: P9320.dips8



Symbol	TYPE	Quantity
×	K1	7
×	K2	6
●	SS	4
Symbol	Feature	
□	Critical Intersection	

Kinematic Analysis		Wedge Sliding		
Slope Dip		70		
Slope Dip Direction		190		
Friction Angle		21°		
		Critical	Total	%
Wedge Sliding		2	131	1.53%

	Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes				
1	■	70	190	Slope
Mean Set Planes				
1m	■	4	9	SS
2m	■	88	281	K1
3m	■	89	191	K2

Plot Mode		Pole Vectors
Vector Count		17 (17 Entries)
Intersection Mode		Grid Data Planes
Intersections Count		131
Hemisphere		Lower
Projection		Equal Angle



DR. SPANG

Ingenieurgesellschaft für Bauwesen,
Geologie und Umwelttechnik mbH

DIPS 8.001

Projekt:
DB Strecke 4111, km 45,395 - 45,435 l.d.B. (Neckarzimmern)

Bemerkung: Felsböschung

Bearbeiter: Marek

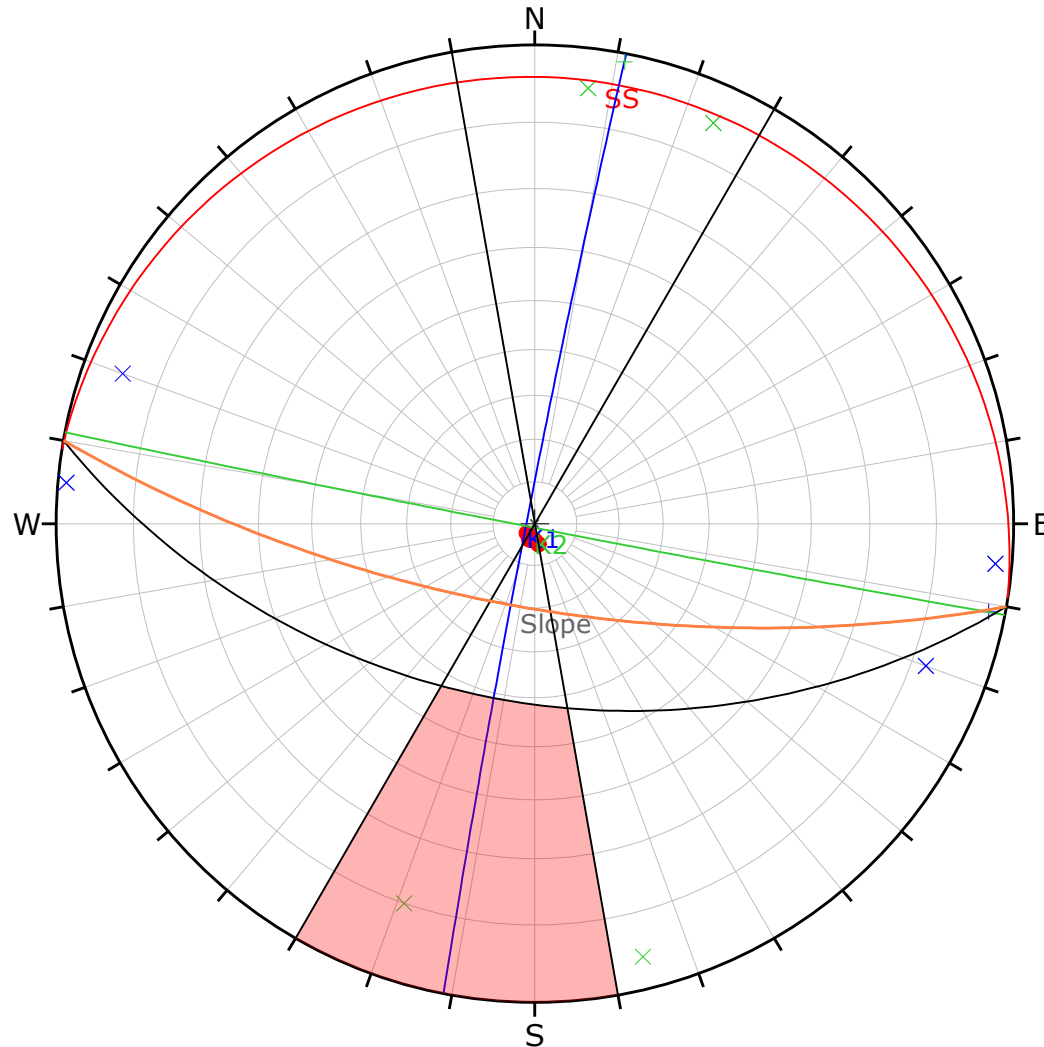
Datum: 31.10.2023, 16:12:30

Auftraggeber: DB Netz AG Stuttgart

Abschnitt: Abschnitt 1 - 2

Anlage: 6.4 flexural toppling

Dateiname: P9320.dips8



Symbol	TYPE	Quantity
×	K1	7
x	K2	6
●	SS	4

Kinematic Analysis		Flexural Toppling		
Slope Dip		70		
Slope Dip Direction		190		
Friction Angle		21°		
Lateral Limits		20°		
		Critical	Total	%
Flexural Toppling (All)		1	17	5.88%
Flexural Toppling (Set 3: K2)		1	6	16.67%

	Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes				
1		70	190	Slope
Mean Set Planes				
1m		4	9	SS
2m		88	281	K1
3m		89	191	K2

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	17 (17 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle



DR. SPANG

Ingenieurgesellschaft für Bauwesen,
Geologie und Umwelttechnik mbH

DIPS 8.001

Projekt:
DB Strecke 4111, km 45,395 - 45,435 l.d.B. (Neckarzimmern)

Bemerkung: Felsböschung

Bearbeiter: Marek

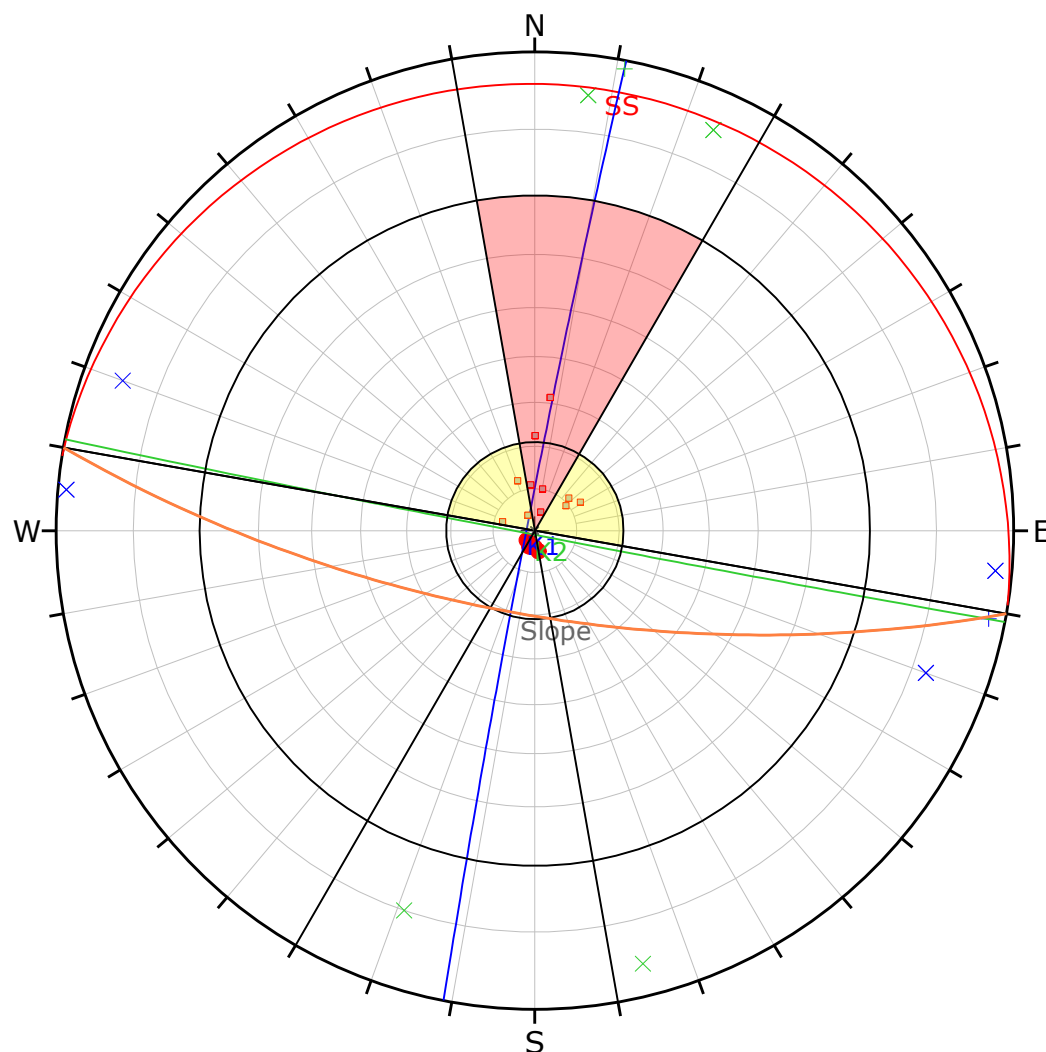
Datum: 31.10.2023, 16:12:30

Auftraggeber: DB Netz AG Stuttgart

Abschnitt: Abschnitt 1 - 2

Anlage: 6.5 direct toppling

Dateiname: P9320.dips8



Symbol	TYPE	Quantity
×	K1	7
×	K2	6
●	SS	4
Symbol	Feature	
■	Critical Intersection	

Kinematic Analysis		Direct Toppling		
Slope Dip		70		
Slope Dip Direction		190		
Friction Angle		21°		
Lateral Limits		20°		
		Critical	Total	%
Direct Toppling (Intersection)		14	131	10.69%
Oblique Toppling (Intersection)		9	131	6.87%
Base Plane (All)		0	17	0.00%

	Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes				
1		70	190	Slope
Mean Set Planes				
1m		4	9	SS
2m		88	281	K1
3m		89	191	K2

Plot Mode		Pole Vectors
Vector Count		17 (17 Entries)
Intersection Mode		Grid Data Planes
Intersections Count		131
Hemisphere		Lower
Projection		Equal Angle