



Gesellschaft für Baugeologie
und -meßtechnik mbH
Baugrundinstitut

Grund- u. Felsbau | Tunnelbau | Altlasten |
Ingenieur- u. Hydrogeologie | Geotechnische
Messungen | Deponietechnik | Ökoaudit
Geowissenschaftliche Umweltuntersuchungen
Konstruktiver Ingenieurbau



Geotechnischer Bericht

Projekt	Fels- und Hangsicherungsmaßnahme „Lamerden rdB“ DB Strecke 2550 Aachen Hbf – Kassel Hbf km 307,800 – km 308,000
Auftraggeber/Bauherr	DB Netz AG Regionalbereich Mitte Regionales Projektmanagement Frankenstraße 1-3 56068 Koblenz
Auftragnehmer/Gutachter	gbm Gesellschaft für Baugeologie und –meßtechnik mbH Robert-Bosch-Str. 7 D- 65549 Limburg/Lahn Telefon: +49 (0) 64 31 91 12 0 Telefax: +49 (0) 64 31 91 12 10 Email: limburg@gbm-baugrundinstitut.de
Projektnummer	e-741520
Sachbearbeiter	Dipl.-Geol. J. Dollinger
Erstellt	März 2021

Inhaltsverzeichnis	Seite
1 Veranlassung	4
2 Verwendete Unterlagen	7
3 Geographische Lage	7
4 Allgemeine geologische Verhältnisse.....	7
5 Bestandsaufnahme	8
5.1 Durchgeführte Untersuchungen, vorhandene Sicherungsmaßnahmen.....	8
5.2 Beschreibung der Lokalität	10
5.3 Beschreibung der Gebirgstrennflächen und des Verwitterungszustandes	12
5.4 Wasserverhältnisse	17
5.5 Gesteinsfestigkeiten	17
6 Materialkennwerte des geklüfteten Gebirgsverbandes	19
7 Bautechnische Klassifizierung/Homogenbereiche	20
8 Gefährdungseinstufung	21
9 Sicherungsempfehlungen	27
10 Empfehlungen zur Bauausführung.....	27
10.1 Böschungsstabilisierung	27
10.2 Korrosionsschutz	28
10.3 Bohrarbeiten und Zugversuche	28
11 Leitungspläne / Kabellage Dritter.....	29
12 Zusammenfassung	29

Anlagenverzeichnis

Anlage 1	Übersichtslageplan (M 1:25.000)
Anlage 2	Lageplan / Draufsicht km 307,800 – km 308,000 (M 1:500)
Anlage 3	Punktlastversuche
Anlage 4	Einteilung in Homogenbereiche
Anlage 4.1	Homogenbereiche nach DIN 18 300 Erdarbeiten
Anlage 4.2	Homogenbereiche nach DIN 18 301 Bohrarbeiten
Anlage 4.3	Homogenbereiche nach DIN 18 304 Ramm-, Rüttel- und Pressarbeiten
Anlage 5	Leitungspläne / Kabellage Dritter
Anlage 5.1	Energienetz Mitte
Anlage 5.2	Westnetz Gas
Anlage 5.3	Westnetz Strom
Anlage 5.4	Westnetz Wärme
Anlage 5.5	Westnetz Wasser

1 Veranlassung

Die gbm Gesellschaft für Baugeologie und -meßtechnik mbH Baugrundinstitut wurde auf Basis des Angebots vom 08.12.2020 mit Bestellung Nr. 0016 / UCX / 10109207 vom 05.01.2021 von der DB Netz AG, Niederlassung Mitte, mit der Erstellung eines geotechnischen Berichts im Abschnitt „Lamerden rdB“ beauftragt. Der Bereich liegt an der DB Strecke 2550 Aachen Hbf – Kassel Hbf bei Bahn-km 307,800 bis km 308,000, etwa 1 km nördlich der Ortschaft Lamerden. Der zu begutachtende Streckenabschnitt liegt rechts der Bahn, östlich der Diemel.

Ziel der Beauftragung ist eine geotechnische Untersuchung des Streckenabschnitts, in der die Empfehlung von baulichen Maßnahmen geliefert wird sowie die Auswirkungen der empfohlenen Maßnahmen erläutert werden.

Der Abschnitt wird im vorliegenden geotechnischen Bericht hinsichtlich seiner felsmechanischen Eigenschaften genauer betrachtet, um eine Basis für die weiterführende Planung der notwendigen Fels- und Hangsicherungsmaßnahme zu schaffen. Neben der Ermittlung von boden- und felsmechanischen Kennwerten wurde die Kluftkörpergröße von potentiell ausbruchgefährdeten Gebirgsabschnitten bestimmt. Weiterhin werden Angaben zur Bohrbarkeit des Gesteins gemacht.

Gemäß DIN 4020, Kap. 4.1, müssen Aufbau und Beschaffenheit von Boden und Fels im Baugrund sowie die Grundwasserverhältnisse ausreichend bekannt sein, um insbesondere die Standsicherheit und die Gebrauchstauglichkeit eines Sicherungsbauwerkes sowie die Auswirkungen der Baumaßnahme auf die Umgebung beurteilen zu können. Entsprechend müssen gemäß DIN 4020 hierzu projektbezogen geotechnische Untersuchungen ausgeführt werden.

Im vorliegenden Fall sind Erkundungen entsprechend dem Umfang der DIN 4020 nur bedingt möglich.

Ersatzweise besteht die vorliegende Baugrunderkundung deshalb aus einer Kartierung und Dokumentation des jeweiligen Geländeabschnittes sowie aus der Festlegung der möglichen Einwirkungen von Felssturzereignissen.

In dem zu begutachtenden Böschungsabschnitt sind immer wieder frei liegende steil angeschnittene Felsstufen und Felsvorsprünge ausgebildet, die sich im Zuge von natürlicher Verwitterung sowie durch substanzschädigenden Bewuchs entfestigen. Entlang des rechtseitigen Gleisrandbereichs sind abgelöste/ausgebrochene Gesteinsbrocken zu beobachten.

Aufgrund der wiederkehrenden Ablagerungen von Hangschutt im Gleisrandbereich und den zu beobachtenden entfestigten, exponierten Felsstufen entlang der Böschungsfläche wurde von Seiten der DB Netz (V2-Meldung) angeregt, die Bereiche mit einem potentiellen Steinschlagrisiko durch eine großflächige Vernetzung zu stabilisieren.

Die folgenden Fotos zeigen die Situation in der Örtlichkeit während der ingenieurgeologischen Bestandsaufnahme.



Abbildung 1: Blick in Richtung der Kilometrierung auf den Beginn des Streckenabschnitts rdB bei ca. km 307,800



Abbildung 2: Ansicht einer frei stehenden, steil angeschnittenen Felsstufe im oberen Böschungsbereich



Abbildung 3: stark mit Moos und substanzschädigendem Bewuchs überzogene Felsböschung; Blick in Richtung der Kilometrierung



Abbildung 4: Blick in Richtung der Kilometrierung auf das Ende des Streckenabschnitts rdB bei Gleismast 308/2; die Felsböschung verflacht deutlich und streicht an der Oberfläche aus.

2 Verwendete Unterlagen

Zur Erstellung des Baugrundgutachtens standen gbm folgende Unterlagen zur Verfügung:

- [1] Topographische Karte TK 25, Blatt 4422 Trendelburg, Hessisches Landesvermessungsamt, Auflage 1991.
- [2] Geologische Übersichtskarte von Hessen im Maßstab 1:300.000, Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Wiesbaden 2007.
- [3] DIN EN ISO 14689: Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Fels (ISO 14689:2017); Deutsche Fassung EN ISO 14689:2018. Herausgegeben vom Beuth-Verlag, Berlin, Mai 2018.
- [4] V2 - Meldung, Fotodokumentation und ein Projektsteckbrief des Streckenabschnitts DB 2550 km 307,800 – km 308,000, DB Netz RB Mitte, 2017

3 Geographische Lage

Der im Hinblick auf eine mögliche Steinschlaggefährdung näher untersuchte Streckenabschnitt liegt ca. 1 km nördlich der Ortschaft Lamerden, Hessen.

Der zu begutachtende Böschungsabschnitt weist eine Länge von rd. 200 m auf und liegt östlich bzw. rechts der Bahnstrecke 2550 Aachen Hbf – Kassel Hbf.

4 Allgemeine geologische Verhältnisse

Laut Geologischer Karte [2] wird das Gestein des Untersuchungsgebiets vorwiegend von karbonatischen und mergeligen Gesteinen gebildet. Diese überwiegend chemischen abgelagerten Sedimentgesteine sind stratigraphisch dem unteren Muschelkalk / Trias zuzuordnen. In der älteren Literatur werden die Ablagerungen des unteren Muschelkalks (oder Teile davon) auch als „Wellenkalk“ bezeichnet.

Bei der geologisch-geotechnischen Aufnahme vor Ort wurde das Gestein als dünnbankig geschichteter, stellenweise deutlich wellig ausgebildeter, grauer Kalkstein angesprochen, was sich mit den Literaturangaben deckt.

5 Bestandsaufnahme

5.1 Durchgeführte Untersuchungen, vorhandene Sicherungsmaßnahmen

Im Zuge der Begehung durch gbm im Februar 2021 wurde die zu begutachtende Felsböschung eingehend ingenieurgeologisch/geotechnisch aufgenommen und fotografisch dokumentiert. Zwischen dem Gleiskörper und dem Böschungsfuß verläuft ein betonierter Kabelkanal. Der Gleiskörper verläuft in einer leichten Damm-lage von 70 – 80 cm Höhe. Zwischen der sehr steil aufsteigenden Felsböschung und dem Gleis besteht nur eine geringe Auslaufläche von 1,5 – 2,0 m. Zusätzlich befindet sich der Erdkörper in einer Kurvenlage, weshalb der Hang überwiegend von der gegenüberliegenden Gleisseite begutachtet wurde. Gleichwohl konnte der Streckenabschnitt ausreichend detailliert begutachtet und dokumentiert werden. Es handelt sich um eine stark überwachsene, überwiegend sehr steil angeschnittene Felsböschung. Der untere und mittlere Hangbereich wurden in der Vergangenheit rückgeschnitten. Entlang der Böschung konnten keine vorhandenen Sicherungsmaßnahmen beobachtet werden.

Die folgenden Abbildungen verdeutlichen den Zustand der Felsböschung.



Abbildung 5: Die Felsböschung ist überwiegend sehr steil angeschnitten und lässt sich vom gegenüberliegenden Gleis gut einsehen.



Abbildung 6: Blick entgegen der Kilometrierung; im Gleisrandbereich verläuft ein Kabelkanal (hier mit Schnee bedeckt). Die Gleise verlaufen leicht erhöht und zwischen Gleis und Hangfuß ist nur eine schmale Auslaufläche angelegt.



Abbildung 7: Der untere und mittlere Böschungsabschnitt wurden rückgeschnitten.

5.2 Beschreibung der Lokalität

Der zu begutachtende Streckenabschnitt wird überwiegend aus Kalkstein des unteren Muschelkalks der Trias gebildet. Der Abschnitt besteht aus einer überwachsenen Böschung, die in ihren unteren Teilen rückgeschnitten wurde. Der Rückschnitt wurde nicht vollständig entsorgt, wodurch noch Totholzablagerungen bzw. Rückschnitt in der Böschung liegen. Im oberen Böschungsabschnitt und auf dem Böschungskopf ist dichter Strauch- und Baumbewuchs zu beobachten. Zwischen dem Gleiskörper und dem Böschungsfuß verläuft eine schmale Auslaufläche von etwa 1,5 – 2,0 m Breite, in der ein betonierter Kabelkanal angelegt ist. Der Gleiskörper verläuft in einer leichten Dammlage von 70 – 80 cm Höhe. Der Erdkörper folgt einem Kurvenverlauf, wodurch der Randbereich nicht als begehbarer Randweg nutzbar ist.

Zu Beginn des Abschnitts, etwa über die ersten 50 m, besitzt die Böschung nur eine Höhe von ca. 1,5 m und fällt sehr flach ein. Etwa ab Gleismast 307/28 steigt die Felsböschung schnell sehr steil an und erreicht eine Höhe von ca. 12 - 15 m bei einer Böschungsneigung von $\beta = 70 - 90^\circ$. Das Gestein weist über große Flächen einen dichten Moosbewuchs auf und ist dann sehr schlecht zu begutachten. Trotz des Vegetationsrückschnitts wirkt sich der Bewuchs über die gesamte Böschungsoberfläche weiterhin substanzschädigend aus. Über eine Felskante am Böschungskopf verflacht der Hang und verläuft auf einer fast ebenen Hochfläche weiter. Vereinzelt lassen sich größere Bereiche von steil angeschnittenem Festgestein beobachten, die fast frei von Vegetation sind und eine gute Einsicht auf das anstehende Gestein bieten. Am Ende des zu begutachtenden Streckenabschnitts verflacht der Hang deutlich und taucht unterhalb der Geländeoberfläche ab.

Die nachfolgenden Abbildungen geben einen Überblick über den Streckenabschnitt.



Abbildung 8: Zu Beginn des Streckenabschnitts fällt die Böschung flach ein und ist nur etwa 1,5 m hoch.



Abbildung 9: Bei Gleismast 307/28 versteilt sich die Böschung schnell und steigt auf etwa 12 – 15 m an.



Abbildung 10: Ansicht bei Gleismast 307/32; durch den starken Moosüberzug ist das anstehende Gestein schlecht zu erkennen. Die rückgeschnittene Vegetation beginnt wieder auszuschlagen.



Abbildung 11: Blick auf das Ende des Streckenabschnitts rdB

5.3 Beschreibung der Gebirgstrennflächen und des Verwitterungszustandes

Die nachfolgende Beschreibung der Trennflächenparameter erfolgt nach DIN EN ISO 14689-1: 2018-05.

Das hier kinematisch relevante Trennflächensystem besteht aus den Kluftflächen (K1 und K2) sowie den Schichtflächen (Ss). Aufgrund der schlechten Aufschlussverhältnisse an der zu bewertenden Felsböschung wurden die Gebirgstrennflächen an zutage tretendem Festgestein an der Böschung auf der gegenüberliegenden Gleisseite eingemessen. Das Gestein ist in einer kurzen Distanz zur eigentlich zu begutachtenden Felsböschung aufgeschlossen. Es handelt sich um das stratigraphisch und lithologisch identische Gestein und somit sind die eingemessenen Trennflächen als repräsentativ für das gesamte in diesem Abschnitt aufgeschlossenen Festgestein anzusehen. Das anstehende Gestein zeigt eine massige Textur und ist aus einer Abfolge ebener, teilweise aber auch deutlich welliger grauer Schichten aufgebaut. Bei dem Gestein handelt es sich um Kalkstein des unteren Muschelkalks (sog. „Wellenkalk“).



Abbildung 12: grauer, dichter Kalkstein mit ebener und welliger Schichtung



Abbildung 13: Detailansicht der Textur und des Gefüges

Das felsmechanisch wirksame Trennflächeninventar des Gebirgskörpers wurde wie folgt räumlich eingemessen:

Ss: 285 - 310 / 03 - 08

K1: 280 - 300 / 80 - 90

K2: 175 - 200 / 80 - 90

Bemerkungen zur Bestimmung des Streichens und Einfallens von Trennflächen: Die oben angegebenen Werte für das Einfallen der Trennflächen wurden mit dem Gefüge-Kompass nach Clar ermittelt. Bei dieser Angabe ist der erste Wert die Richtung des Einfallens gegenüber Norden (z.B. 285 - 310, also gegen Nordwesten) und der zweite Wert gibt den Einfallswinkel gegenüber der Horizontalen nach unten (z.B. 03 - 08) an.

In der nachfolgenden Abbildung wird versucht das Trennflächengefüge zu verdeutlichen.

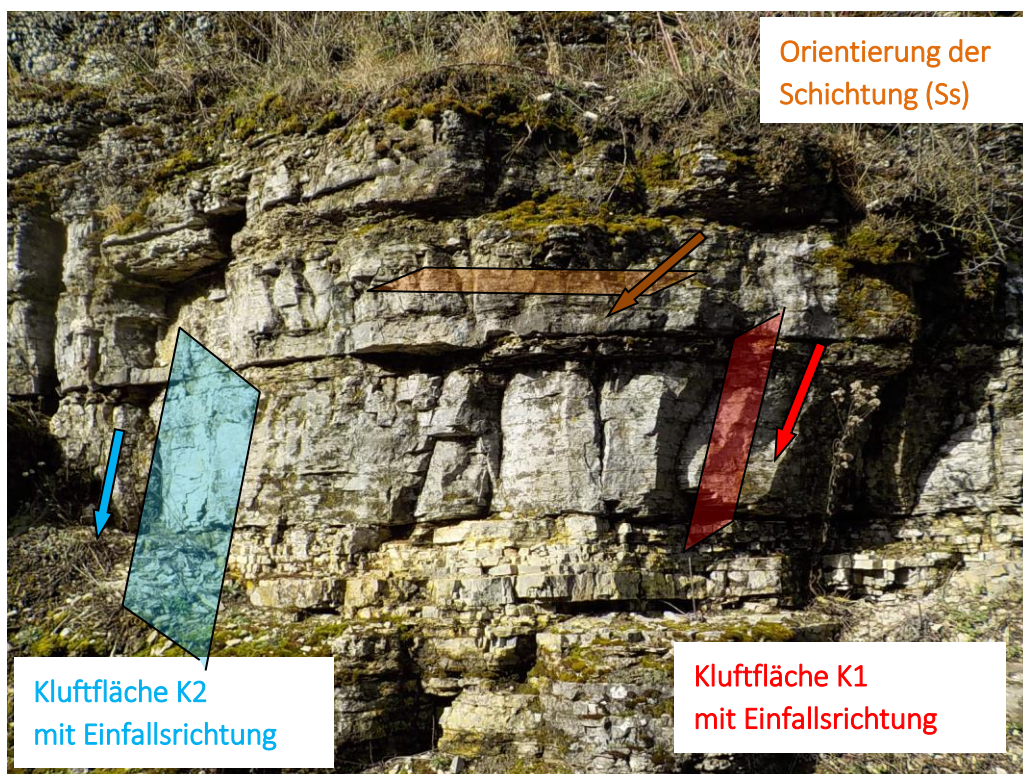


Abbildung 14: Blickrichtung nach Nordwesten; die Schichtung (Ss) fällt sehr flach in den Hang ein. Die Kluftflächen (K1 und K2) fallen steil ein und bilden ein orthogonales Trennflächengefüge aus.

Die Schichtung (Ss) fällt sehr flach mit etwa 03 bis 08° nach Nordwesten ein. Zwei Kluftflächenscharen verlaufen ungefähr senkrecht zueinander, wobei sie ähnlich prominent ausgebildet sind. Die Klufttrichtung K1 fällt steil mit etwa 80° bis 90° in Richtung Nordwesten ein. Die Kluftflächen K2 fallen steil mit 80 bis 90° in Richtung Südsüdwest ein. Es liegt ein orthogonales Trennflächengefüge vor, das aus denen in einem 90°-Winkel zueinander angelegten Kluftscharen gebildet wird. Die Schichtflächen fallen leicht hangeinwärts ein.

Die Schichtflächen bilden einen spitzen Winkel zu den beiden anderen Trennflächen, wodurch sich überwiegend tafelförmig-prismatische Kluftkörper ausbilden, die zu Unterschneidungen und dem Verlust der Fußstützung im Gestein führen können. Das ausbrechende Gestein verteilt sich auf der Böschung und im Gleisrandbereich.

Es handelt sich bei dem anstehenden Gestein um einen sehr dünn bis dünnbankigen (Schichtmächtigkeit 2 cm bis 20 cm), stellenweise auch mittelbankigen (Schichtmächtigkeit 20 bis 60 cm) Kalkstein. Die Klüftung ist engständig (6 bis 20 cm). Klüfte und Trennflächen sind eng bis teilweise offen (0,1 bis 0,5 mm). Die auftretenden Trennflächen sind im Aufschluss nur über kurze Distanzen zu beobachten.



Abbildung 15: Am Böschungsfuß sind ausgebrochene Kluftkörper zu erkennen.



Abbildung 16: Die Kluftkörper rollen bis in den Gleisrandbereich ab.

Die Orientierung der Trennflächen führt im Zuge fortschreitender Verwitterung zu einer Zerlegung des Gesteins in meist tafelförmige Gesteinskörper von geringer bis mittlerer Größe mit Kantenlängen von meist 10 bis 30 cm. Es sind aber auch Kluftkörper mit Kantenlängen von 50 bis 100 cm zu beobachten, die dann aufgelockert in der Felsböschung noch als Teil des Gesteinsverbands anstehen. Allerdings ist davon auszugehen, dass sich die abrollenden Gesteinsbrocken im Falle eines Ausbruchs während des Abgangs auf der Böschung in kleinere Gesteinskörper zerteilen. Für die weitergehende Sicherheitsbetrachtung empfehlen wir, auf der sicheren Seite liegend, eine maximale Kluftkörpergröße von $0,5 \text{ m}^3$ anzusetzen.

Der Verwitterungszustand des Gebirges ist an den aufgeschlossenen Flächen mit frisch bis stark verwittert anzugeben. Allerdings beschränkt sich der frische Zustand auf jüngere Ausbruchsstellen. Das Festgestein ist relativ verwitterungsanfällig, häufig mit Moos überzogen und verfärbt schnell. Die ausgeprägten Trennflächen fördern das Eindringen von Oberflächenwasser in das Gestein.



Abbildung 17: Blick auf stark verwittertes, bemoostes Festgestein, das in der Böschung anstehend noch relativ große Kluftkörper ausbildet.

5.4 Wasserverhältnisse

In dem zu begutachtenden Streckenabschnitt wurden im Zuge der Begehung keine Grund- oder Sickerwasseraustrittsstellen festgestellt.

Allerdings ist bei dem hier anstehenden Karbonatgestein mit Verkarstung entlang der Kluftflächen und Schichtfugen zu rechnen, so dass sich bei stärkeren Regenfällen einzelne Sickerwasseraustrittsstellen bilden können.

5.5 Gesteinsfestigkeiten

Im Zuge der Begehung wurden entlang der Felsböschung mehrere Gesteinsproben entnommen. Hierbei handelt es sich um Proben von sehr dünnplattigem, eben und auch wellig geschichtetem Kalkstein. Aufgrund der schwierigen Aufschlussverhältnisse im Gleisrandbereich wurden die Proben an der Böschung der gegenüberliegenden Gleisseite entnommen. Das Gestein ist dennoch repräsentativ für den eigentlich zu begutachtenden Böschungsabschnitt. Die Proben wurden Punktlastversuchen nach Empfehlung Nr. 5 des Arbeitskreises der DGGT unterzogen.

Der Punktlastversuch dient zur Bestimmung der Größenordnung der Festigkeit von Gesteinsproben und ist damit ein maßgebliches Kriterium für das Lösen des Gesteins bzw. für die Beurteilung der Bohrbarkeit im Zuge der weiteren Felssicherungsmaßnahmen.

Der bei der Versuchsdurchführung beim Aufbringen einer konzentrierten Last auf eine Gesteinsprobe bis zum Bruch ermittelte Festigkeitsindex kann zur Klassifizierung oder zur Charakterisierung des Gesteins dienen.

Zur Bestimmung der in diesem Untersuchungsgebiet vorliegenden Felsqualitäten wurden an den Festgesteinsproben insgesamt vier Punktlastversuche durchgeführt.

Wegen der unterschiedlich großen Prüfkörper wird der ermittelte Punktlastindex I_s mit einem Lastpunktabstand von $a = 50$ mm umgerechnet. Der Punktlastindex $I_{s(50)}$ wird entweder direkt als Vergleichswert für die Gesteinsfestigkeit verwendet, oder daraus nach einer empirischen Beziehung

$$\sigma_U = \alpha * I_s$$

die Größenordnung der einaxialen Gesteinsdruckfestigkeit ermittelt.

In der Literatur sind für den Umrechnungsfaktor α Werte zwischen 10 und 26 angegeben.

Für das vorliegende Gestein wurde ein Faktor von $\alpha = 20$ gewählt.

In der nachstehenden Tabelle 1 sind die Ergebnisse der im Baugrundlabor der gbm ermittelten Punktlastversuche und die daraus abgeleiteten einaxialen Druckfestigkeiten für die Einzelversuche zusammengefasst. Die detaillierten Versuchsergebnisse sind in Anlage 3 hinterlegt.

Tabelle 1: Versuchsergebnisse Punktlastversuch

Lfd. Nr.	Gesteinstyp	Bahnkilometer	$\emptyset I_s$ (MPa)	$\emptyset I_{s(50)}$ (MPa)	Abgeleitete Einaxiale Druckfestigkeit σ_U (MPa)
1	Dünnplattiger Kalkstein	307,800 – 308,000	2,53	2,29	45,80
2	Dünnplattiger Kalkstein	307,800 – 308,000	3,13	2,60	52,00
3	Dünnplattiger Kalkstein	307,800 – 308,000	3,10	2,66	53,20
4	Dünnplattiger Kalkstein	307,800 – 308,000	3,44	2,71	54,20
			Mittelwert	2,57	51,40

Anhand der in Tabelle 1 dargestellten Ergebnisse ist festzustellen, dass die abgeleiteten Werte für die einaxiale Druckfestigkeit der Proben insgesamt nur einer geringen Streuung unterliegen.

Die abgeleiteten einaxialen Druckfestigkeiten fallen demnach insgesamt in den Bereich einer „hohen“ Druckfestigkeit (50 - 100 MPa). Ein Messwert (Nr. 1) fällt dabei leicht in den Bereich der „mäßig hohen“ Druckfestigkeit (25 – 50 MPa).

Auch aufgrund der ingenieurgeologischen Feldaufnahmen, der Vorgaben zur „Abschätzung der einaxialen Druckfestigkeit von Gestein im Feld“ der DIN EN ISO 14689 wird aus fachgutachtlicher Sicht eine „hohe“ einaxiale Druckfestigkeit des hier anstehenden Gesteins von $\sigma_u = 50 - 100$ MPa für die gegebenen Verhältnisse im Untersuchungsgebiet als realistisch bewertet. Überwiegend wellig ausgebildeter Kalkstein kann dabei auch leicht unter den Wert einer „hohen“ Druckfestigkeit (< 50 Mpa) fallen.

6 Materialkennwerte des geklüfteten Gebirgsverbandes

Infolge des durch die Klüftung gegebenen Gefügeeinflusses sind Materialeigenschaften von Fels, wie Festigkeit, Verformbarkeit und Durchlässigkeit, richtungsabhängig. Zudem sind Festigkeit und Verformbarkeit - innerhalb gewisser Grenzen - abhängig von der Größe des Prüfkörpers, an dem die entsprechenden Kennwerte ermittelt werden.

Unter der vereinfachten Annahme eines linearen Festigkeitsansatzes nach Mohr-Coulomb werden nachfolgend anhand von Erfahrungswerten die Kennwerte für die unverwitterte bzw. schwach angewitterte Gebirgsfazies mit sehr hoher Kornbindung angegeben.

Gebirgskennwerte für unverwitterte bzw. kaum angewitterte Kalksteine:

Wichte	γ	=	23 - 25 kN/m ³
Wichte unter Auftrieb	γ'	=	13 - 15 kN/m ³
Einaxiale Druckfestigkeit (Gestein)	σ_u	=	25 - 100 MN/m ²
Reibungswinkel (Gebirge)	φ'	=	30° - 35°
Reibungswinkel (Trennfläche)	φ'	=	27° - 30°
Kohäsion (Gebirge)	c'	=	100 - 500 kN/m ²
Kohäsion (Trennfläche) 0 – 1 m	c	=	0 - 10 kN/m ²
Kohäsion (Trennfläche) 1 – 3 m	c	=	10 - 50 kN/m ²
Kohäsion (Trennfläche) > 3 m	c	=	50 - 100 kN/m ²
E-Modul (Gebirge)	E_{Geb}	=	600 MN/m ²
Grenzmantelreibung für Mikropfähle	$q_{s,k}$	=	500 – 600 kN/m ²

Fels- und Hangschutt, locker bis mitteldicht gelagert:

Wichte	γ	=	18 - 20 kN/m ³
Wichte unter Auftrieb	γ'	=	8 - 10 kN/m ³
Reibungswinkel	φ	=	27,5 – 32,5°
Kohäsion	c	=	2 - 5 kN/m ²
Steifemodul	E_s	=	10 - 20 MN/m ²
Grenzmantelreibung für Anker	$q_{s,k}$	=	60 – 80 kN/m ²

7 Bautechnische Klassifizierung/Homogenbereiche

Die erkundeten Felsschichten sind gemäß den Normen der VOB/C bzw. den Vorgaben der DB (Handlungsempfehlung Homogenbereiche) 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. gewerkspezifisch in Abhängigkeit von den einsetzbaren Baugeräten festzulegen.

Bei Fels- und Hangsicherungsarbeiten werden Erdarbeiten nach DIN 18 300, Bohrarbeiten nach DIN 18 301 und Ramm-, Rüttel- und Pressarbeiten nach DIN 18 304 erforderlich.

In der nachfolgenden Tabelle 2 werden die Felsschichten in Homogenbereiche eingeteilt. Die detaillierten Angaben zu den einzelnen Homogenbereichen sind in der Anlage 4 ersichtlich.

Tabelle 2: Einteilung Homogenbereiche

Bodenschichten	Homogenbereiche nach DIN 18 300	Homogenbereiche nach DIN 18 301	Homogenbereiche nach DIN 18 304
Schicht 1: Hangschutt, locker bis mitteldicht	E1	B1	R1
Schicht 2: Kalkstein, Fels	E2	B2	R2

8 Gefährdungseinstufung

Der zu begutachtende Böschungsabschnitt ist großflächig überwachsen. In den ersten etwa 50 m, von ca. km 307,800 bis km 307,850, besitzt die Böschung eine Höhe von ca. 1,5 m und ein flaches Einfallen von etwa $\beta = 15 - 20^\circ$. Freistehende Felsstufen sind hier nicht zu erkennen. Dieser Streckenabschnitt beginnt auf Höhe des Klärwerks von Lamerden und besitzt nur ein sehr geringes Steinschlagrisiko für den Bahnverkehr.

Ab Gleismast 307/28, bei ca. km 307,850, steigt die Felsböschung abrupt an und erreicht eine Höhe von 12 – 15 m. An einer Hangkante geht die steile Felsböschung in eine ebene Hochfläche über. In Richtung der Kilometrierung bleibt die Höhe der Felsböschung zu Anfang konstant. Etwa ab Gleismast 307/30, ca. km 307,895, beginnt der Hang auf eine Höhe von 10 m bis etwa 8 m kontinuierlich zu verflachen, ehe der Felshang etwa 10 m nach Gleismast 308/2, bei ca. km 308,035, auf Höhe der Geländeoberfläche ausläuft. Die Felsböschung zeigt dabei ein durchgehend sehr steiles Einfallen von $\beta = 70 - 90^\circ$. Erst zum Ende des Abschnitts verringert sich die Neigung der Böschungsoberfläche noch ein wenig. Entlang des Hangs sind steil angeschnittene, frei stehende Felspartien zu beobachten, die aufgrund fehlender Fußstützung Unterschneidungen zeigen. Daneben sind stark überwachsene und mit Moos überzogene Kluftkörper zu erkennen, die mehr oder weniger entfestigt in der Böschung anstehen und zum benachbarten Gesteinsverband häufig breitere Felsspalten ausgebildet haben. Es lassen sich am Hangfuß und im Gleisrandbereich ausgebrochene Kluftkörper, wenn auch mit relativ kleinen Kantenlängen, beobachten. Auf der Böschungsoberfläche sind Schuttfächer und Bodenrutschungen zu erkennen. Die Böschungsoberfläche des gesamten zu begutachtenden Streckenabschnitts macht aufgrund der sehr starken Moosbildung einen wassergesättigten Eindruck.

Der untere und mittlere Böschungsabschnitt wurde in der Vergangenheit rückgeschnitten, doch der angesiedelte substanzschädigende Bewuchs beginnt wieder in die Trennflächen und Schichtfugen einzuwachsen. Aufgrund des sehr geringen Raums zwischen der steil aufsteigenden Felsböschung und dem Gleiskörper wird ausbrechendes Gestein direkt in den Gleisbereich abstürzen. Karbonatgestein ist bei Regen sehr verwitterungsanfällig und es bilden sich Verkarstungen entlang der Trennflächen aus, in denen sich weiterer Bewuchs ansiedelt und den Gesteinsverband durch Wurzeldruck weiter entfestigt. Aufgrund der ausgeprägten Vegetation und des dicken Moosteppichs auf der Böschungsoberfläche ist es nicht möglich das genaue Ausmaß der potentiell ausbrechenden Kluftkörper oder abrutschenden Hangschuttmassen festzulegen.

Unter Berücksichtigung der geotechnischen/ingenieurgeologischen Geländeaufnahmen lässt sich zusammenfassend sagen, dass von ca. km 307,850 bis km 308,025 ein potentielles Risiko durch Steinschläge für den Bahnverkehr besteht. Dies begründet sich in den steil angeschnittenen, entfestigten Felsstufen und den aufgelockerten größeren Kluftkörpern auf der Böschungsoberfläche und einer sehr geringen Auslauffläche zwischen dem Gleiskörper und dem Böschungsfuß. Bei einem Gesteinsausbruch werden Gesteinsbrocken sehr wahrscheinlich im Gleisbereich landen.

Die folgenden Abbildungen sollen einen Eindruck des bestehenden Risikopotentials vom Beginn bis zum Ende der begutachtenden Felsböschung vermitteln.



Abbildung 18: steil angeschnittene, exponierte Felsstufe am Beginn des Streckenabschnitts bei ca. km 307,860; Blick entgegen der Kilometrierung auf Gleismast 307/28



Abbildung 19: steil angeschnittene Felsböschung mit Hangschuttablagerungen am Böschungsfuß



Abbildung 20: Detailansicht; entfestigte, unterschrittene Felsplatten ca. 4 m oberhalb des Gleiskörpers



Abbildung 21: mit Moos überzogenes, steil angeschnittenes Festgestein



Abbildung 22: Rutschung auf der Böschungsoberfläche; seitlich dazu Kluftkörper ohne Fußstützung



Abbildung 23: dito, Gleismast 307/34 bei ca. km 307,980



Abbildung 24: dito



Abbildung 25: dito



Abbildung 26: steil angeschnittene, aufgelockerte Felsböschung



Abbildung 27: Blick in Richtung der Kilometrierung auf Gleismast 307/34 am Ende des Abschnitts; das anstehende Gestein wirkt großflächig entfestigt und zeigt immer wieder hervorstehende Gesteinskörper. Die Auslauffläche zum Gleis ist sehr schmal.

9 Sicherungsempfehlungen

Aufgrund des bestehenden Steinschlagrisikos wird aus gutachterlicher Sicht empfohlen, eine konstruktive Sicherung des Streckenabschnittes vorzunehmen.

Basierend auf der Begutachtung vor Ort wird aufgrund der steilen Neigung der Böschungsfläche bei nur geringem Raum am Böschungsfuß ein mit Kleinverpresspfählen rückverankertes Stahldrahtgeflecht zur Böschungsstabilisierung empfohlen.

Im zu vernetzenden Bereich sollten zunächst ein Rückschnitt der Vegetation und eine Felsberäumung bzw. ein Felsputz erfolgen, damit die Netzbahnen so bündig wie möglich auf der Geländeoberfläche befestigt/ angebracht werden können. Da der obere Netzabschluss bis etwa 1 m über die obere Böschungskante verlegt werden sollte, muss auch der noch bestehende große, dichte Bewuchs am Böschungskopf entfernt werden.

Die empfohlene Maßnahme ist im Lageplan der Anlage 2 ersichtlich und wird nachfolgend im Detail beschrieben.

10 Empfehlungen zur Bauausführung

10.1 Böschungsstabilisierung

Für die im Rahmen der Böschungsstabilisierung mit ca. 1.400 m² Fläche abzuschätzende Vernetzung empfehlen wir die Verwendung hochzugfester Stahldrahtgeflechte (Tecco/Trumer).

Das Nagelraster und die Einbindetiefe sind im Zuge der noch zu erstellenden Ausführungsplanung festzulegen. Im Vorfeld kann überschlägig von einem Nagelraster von 2,5 m vertikal x 2,5 m horizontal für die Rückverankerungen des Stahldrahtgeflechts ausgegangen werden.

Für die Rückverankerungen des Netzes im Fels werden GEWI-Felsnägel (Durchmesser 28 mm oder 32 mm) empfohlen. Die Einbindetiefe der Rückverankerungen / Mikropfähle der Vernetzung kann zunächst mit 3,0 m bis 4,0 m abgeschätzt werden. Der obere Netzabschluss sollte dabei ca. 1 m hinter der Böschungskante liegen.

Während der Bauarbeiten im Rahmen der Vernetzung ist aufgrund des sehr geringen Abstandes der Felsböschung zum Fahrgleis eine ausreichend stabile, ggf. zur Felswand hin rückzuverankernde Prallwand am Böschungsfuß zu installieren. Dies soll den Bahnverkehr vor möglichen während der Bohrarbeiten abgehenden Kluftkörpern schützen. Idealerweise sollten die Bohrarbeiten im Zuge einer Sperrpause vom Gleis aus durchgeführt werden.

Die empfohlene Vernetzung weist folgende Rahmendaten auf:

Länge:	rd. 175 m (von ca. km 307,850 bis 308,025)
Höhe:	rd. 8 m
Fläche:	rd. 1400 m ²
Rückverankerung:	GEWI-Felsnägel 28 bis 32 mm
Bohrraster:	2,5 m x 2,5 m
Einbindetiefe:	3,0 m bis 4,0 m

Vor der Erstellung der eigentlichen Detailplanung ist der Fels einem Vegetationsrückschnitt und Felsberäumungsarbeiten zu unterziehen, wobei für fachgerechten Abtransport des Rückschnitts gesorgt werden muss. Hier sollten die angegebene Flächenermittlungen verifiziert/geändert werden; die vorgenannten Daten sind dann im Zuge der Erstellung der Ausführungsplanung entsprechend anzupassen.

10.2 Korrosionsschutz

Nach Ril 836.4102 ist in Bezug auf Korrosionsschutz folgendes zu beachten:

Für Felsnägel bzw. verpresste Mikropfähle gilt die DIN EN 14199 einschließlich DIN SPEC 18539 in Verbindung mit DIN EN 1997-1, soweit keine abweichenden Regelungen aufgeführt sind. Bei einem Selbstbohranker TITAN bzw. auch bei einem GEWI-Stahlzugglied ist als Korrosionsschutz eine Zementsteindeckung des Stahltragglieds und der Verbindungselemente von 20 mm bei den Expositionsklassen XC1 bis XC4 ausreichend. Der letzte Meter des Felsnagels inkl. Überstand aus dem vermörtelten Bohrloch ist mit einer Feuerverzinkung entsprechend DIN EN ISO 1461 vor Korrosion zu schützen. Auf einen Korrosionsschutz kann verzichtet werden, wenn ersatzweise beim Standsicherheitsnachweis des Schutzsystems bei den Profilen unter Berücksichtigung der Umwelteinflüsse, mind. ein Abrostungszuschlag durch die Reduzierung des Widerstandsmomentes auf 90 % und bei den Felsnägeln, Fuß- und Kopfplatten (Krallplatten, Ankerplatten oder vergleichbar) beim Querschnitt ein um 4 mm reduzierter Durchmesser bzw. eine um 4 mm reduzierte Dicke angesetzt wird.

Trotz der vorgenannten Normungslage empfehlen wir generell den Einbau vollverzinkter Bauteile.

10.3 Bohrarbeiten und Zugversuche

Werden im Zuge der Ausführung unverhältnismäßig hohe Zementmengen verpresst, so ist in Abstimmung mit der Projektleitung der DB, der Bauüberwachung und der geotechnischen Baubegleitung das Bohrverfahren ggf. zu ändern. Die Nägel sind in diesem Fall zur Verpressmengenbegrenzung mit einem Gaze-Strumpf bei GEWI Felsnägeln einzubauen.

Zur Gewährleistung, dass trotz des Einbaus der Gaze-Strümpfe die notwendigen Gebrauchslasten der Anker erreicht werden, sind diese durch Ankerzugversuche entsprechend Ril 836 gezielt zu überprüfen.

Weiterhin empfehlen wir die Durchführung von Ankerzugversuchen / Eignungsprüfungen an Versuchsankern („Opfernägel“), die durchgehend im Festgestein einbinden. Hier sollte das Verankerungselement bis zum Versagen beansprucht werden, um durch Rückrechnung den Bruchwert der Mantelreibung ($q_{s,k}$) zu ermitteln.

Basierend auf den Ergebnissen der Rückrechnungen können die Ankerlängen ggf. angepasst und optimiert werden. Der Versuch sollte dabei zu Beginn der Baumaßnahme an wenigstens 2 Ankern durchgeführt werden. Dabei ist die Haftstrecke entsprechend zu reduzieren (wir empfehlen $< 2,0$ m), damit man die Bruchmantelreibung erreicht, bevor der Stahl versagt.

Erfahrungsgemäß hat sich der Einsatz von Ankermörtel Rombokret AM-35 o. vgl. bei ähnlichen Maßnahmen bewährt.

11 Leitungspläne / Kabellage Dritter

Für die weiterführende Planung der Sicherungsmaßnahme wurden Leitungspläne / Kabellage Dritter für den zu begutachtenden Streckenabschnitt angefragt. Für den Streckenabschnitt DB 2550 FHS „Lamerden“ von km 307,800 – 308,000 konnten Pläne der EAM Netz GmbH und der Westnetz GmbH beschafft werden. Diese Dokumente sind in der Anlage 5 ersichtlich. Leitungen bzw. Pläne der Deutschen Telekom sind in diesem Abschnitt nicht vorhanden.

12 Zusammenfassung

An der DB-Strecke 2550 Aachen Hbf – Kassel Hbf wurde zwischen km 307,800 und km 308,000 rdB ein erhöhtes Risiko für den Bahnverkehr durch Steinschlagereignisse festgestellt.

Der steinschlagrelevante Streckenabschnitt ist ca. 175 m lang. Die bahnrechte, stark überwachsene Böschung besitzt eine max. Höhe von ca. 15,0 m. Zwischen der mit $\beta = 70$ bis 90° einfallenden Böschung und dem Gleiskörper verläuft ein schmaler Graben, so dass die Gleise etwa 70 – 80 cm hoch in Dammlage verlaufen. Der untere und mittlere Böschungsabschnitt wurde rückgeschnitten. Im oberen Bereich der Böschung und auf der Böschungsschulter wächst z.T. großer Strauch- und Baumbewuchs. Im Streckenabschnitt von ca. km 307,850 bis km 307,895 besitzt die teilweise saiger angeschnittene Felsböschung eine Höhe von etwa 12 – 15 m und verflacht dann mit zunehmender Kilometrierung langsam aber stetig bis das anstehende Festgestein bei ca. km 308,025 unter die Geländeoberfläche ausstreicht. Entlang dieser Erstreckung lassen sich immer wieder ausgebrochene Kluftkörper, Hangschuttablagerungen und Rutschungen auf der Böschungsoberfläche beobachten. Die tafelförmig bis blockigen Gesteinsbrocken besitzen meist eine Kantenlänge von 10 – 30 cm, können aber auch größer werden.

Laut geologischer Karte [2] wird das Gestein des Untersuchungsgebiets aus grauem Kalkstein mit mergeligen Zwischenlagen gebildet und ist dem unteren Muschelkalk der Trias zuzuordnen. Mergelige Zwischenlagen konnten in diesem Abschnitt nicht beobachten werden.

Bereits bestehende Sicherungsanlagen waren entlang des gesamten zu begutachtenden Streckenabschnitts nicht zu erkennen.

Für die weiteren Standsicherheitsbetrachtungen wird das max. Volumen für ausbrechende Kluftkörper mit $0,5 \text{ m}^3$ angegeben. Das anstehende dünnbankig geschichtete Karbonatgestein weist überwiegend eine hohe einaxiale Druckfestigkeit von $\sigma_u = 50 - 100 \text{ MPa}$ auf. In wellig abgelagerten Schichtpaketen kann das Gestein auch nur eine mäßig hohe Druckfestigkeit ($\sigma_u = 25 - 50 \text{ MPa}$) erreichen. Das Gestein ist als schwach abrasiv bis abrasiv einzustufen.

Auf Grundlage der gewonnenen Erkenntnisse durch die Begutachtung vor Ort wird die Errichtung einer konstruktiven Sicherungsmaßnahme in Form einer Böschungsstabilisierung entlang des als kritisch eingestuften Abschnitts als notwendig erachtet. Es wird empfohlen, den begutachteten Böschungsabschnitt auf einer Länge von ca. 175 m mit einem bergseitig verankerten Stahldrahtgeflecht konstruktiv zu sichern.

Technische Details zur Ausführung der Böschungsstabilisierung (Art des Netzes, Nagelraster, Einbindetiefen) sind im Zuge der weiteren Planung festzulegen und rechnerisch nachzuweisen.

Die Lage des vorgeschlagenen Sicherungselements ist in einem detaillierten Ansichtsplan in Anlage 2 entsprechend ausgewiesen.

Limburg, den 04.03.2021

Bearbeiter: Dipl.-Geol. J. Dollinger

gbm Gesellschaft für Baugologie und
-meßtechnik mbH • Baugrundinstitut

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Matthesius'.

Dr. rer. nat. Jürgen Matthesius