IBES
BAUGRUNDINSTITUT

Fels- und Hangsicherung „Diemelmühle“ (FHSDIEMM)

Strecke 2550 (Aachen - Kassel)

Bahn-km 296,350 – 296,950 l.d.B.

Geotechnische Begutachtung und Standsicherheitseinschätzung

Auftraggeber:	DB Netz AG Regionalbereich Mitte Regionales Projektmanagement I.NF-MI-P-R-K Hahnstraße 49 60528 Frankfurt
Bestellung:	0016 / UCX / 10110537 vom 06.01.2021
IBES-Projektnummer:	70-20-213
Datum:	23.03.2021
bearbeitet durch:	IBES Baugrundinstitut Freiberg GmbH Waisenhausstraße 10 09599 Freiberg Tel.: 03731/79890 www.ibes-freiberg.de

gesehen: bearbeitet:

Dr.-Ing. René Hellmann — Dipl.-Ing. Francie Vogel

Der Untersuchungsbericht umfasst 34 Blatt einschließlich Anlagen.

Inhaltsverzeichnis

Seite

1 Allgemeines 4
1.1 Veranlassung und Aufgabenstellung 4
1.2 Unterlagen 4
1.3 Durchgeführte Untersuchungen 4
2 Darstellung und Beschreibung der Untersuchungsergebnisse 5
2.1 Morphologie, Bebauung, Bewuchs 5
2.2 Geologische Verhältnisse 6
2.2.1 Gesteine 6
2.2.2 Lagerungsverhältnisse und Trennflächengefüge, Störungen 7
2.2.3 Hydrogeologische Verhältnisse 8
2.3 Hinweise auf Vornutzung und Belastung des Untersuchungsgebietes 8
2.4 Erdbebenzone 8
2.5 Frosteinwirkungszone 8
3 Bewertung der Untersuchungsergebnisse – Standsicherheitsbewertung 9
3.1 Ingenieurgeologisches Böschungsmodell 9
3.1.1 Boden- und Felsmechanische Kennwerte 9
3.1.2 Bautechnische Eigenschaften und Homogenbereiche 10
3.2 Kinematisch möglicher Bruchmechanismus 11
3.2.1 Bisherige Standsicherheitsveränderungen und Risikoeinstufung 11
3.2.2 Einwirkungen 12
3.2.3 Maßgebender Bruchmechanismus und Standsicherheitsberechnungen 12
3.3 Globale Standsicherheit 14
3.4 Lokale Standsicherheit 14
3.4.1 Steinschlag 14
3.4.2 Rutschungskörper 14
4 Schlussfolgerungen und Empfehlungen 15
4.1 Ableitung sicherheitsgewährleistender Maßnahmen 15
4.2 Hinweise zur weiteren Planung und Bauausführung 17

W:\Für meine Gruppen\70-IBES\Projekte 2020\70-20-213 DB 2550 km 296,350_296,950 FHS Diemelmühle_Fvo_Rhe\Baugrunderkundung\Berichte\70-20-213_GB_Stand 2021-03-23.docx

Abbildungsverzeichnis

Bild 1: Ausschnitt aus Geologischer Karte, Blatt 4521 (Liebenau) [U3] mit Kennzeichnung des Untersuchungsbereiches (600 m), M ≈ 1 : 10.000 6

Bild 2 2D- und 3D-Darstellung der Trennflächen in der Lagenkugel (Schmidtsches Netz) 7

Bild 3: Schematische Darstellung der „Fall-Sprung-Situation“ mit Berechnungsverfahren nach HALLBAUER (Quelle Bild [U7]) 13

Bild 4 Morphologie und Bewuchs deuten auf einen Rutschungskörper aus Hang- und Blockschutt hin 15

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Baugrundschichten und Böschungsmodell 9

Tabelle 2: Bodenmechanische Berechnungskennwerte für Schicht 2 (Boden) 10

Tabelle 3: Gesteins- und Gebirgskennwerte für Schicht 3 (Fels) 10

Tabelle 4: Einteilung Baugrundschichten in Homogenbereiche nach ATV-Normen 10

Tabelle 5: Empfehlung für sicherheitsgewährleistende Maßnahmen 16

Anlagenverzeichnis

Anlage 1	Darstellung des Untersuchungsbereiches, Übersichtslageplan und Luftbild	1 Blatt, DIN A3
Anlage 2	Fotodokumentation	13 Blatt, DIN A4
Anlage 3	Darstellung der empfohlenen Maßnahmen im lvL-Plan	1 Blatt, DIN A0
Anlage 4	Homogenbereiche nach DIN 18300:2016-09 (VOB C)	
Anlage 4.1	Homogenbereich I.A und II.A (Boden)	1 Blatt, DIN A4
Anlage 4.2	Homogenbereich I.X und II.X (Fels)	1 Blatt, DIN A4

W:\Für meine Gruppen\70-IBES\Projekte 2020\70-20-213 DB 2550 km 296,350_296,950 FHS Diemelmühle_Fvo_Rhe\Baugrunderkundung\Berichte\70-20-213_GB_Stand 2021-03-23.docx

1 Allgemeines

1.1 Veranlassung und Aufgabenstellung

Die DB Netz AG, Regionalbereich Mitte (im Folgenden Auftraggeber oder AG genannt) hat mit Bestellung vom 06.01.2021 [U1] die IBES Baugrundinstitut Freiberg GmbH (im Folgenden IBES, Auftragnehmer bzw. AN genannt) beauftragt, ein Geotechnisches Gutachten für die Fels- und Hangsicherungsmaßnahme „Diemelmühle“ zu erstellen.

Gemäß [U1] befindet sich der zu begutachtende Bereich auf der zweigleisigen Hauptstrecke 2550 (Aachen - Kassel) l.d.B. zwischen km 296,350 und km 296,950. Es ergibt sich eine zu betrachtende Böschungslänge von 600 m (Anlage 1).

Die Abgrenzung des Untersuchungsbereiches geht auf die letzte Begutachtung vom 14.05.2013 zurück, die von der DB Netz AG erstellt wurde [U2].

Die geotechnische Begutachtung der Felsböschung sowie Empfehlungen für erforderliche Sicherungsmaßnahmen sind Gegenstand des vorliegenden Geotechnischen Berichtes.

1.2 Unterlagen

[U1] DB NETZ AG, RB MITTE, I.NF-MI-P-R-K: Bestellung 0016 / UCX / 10110537 Rahmenvertrag Nr. 1000 / EBO / 92252174, T.016080021, *2550* Felssicherung l.d.B. km 296,350-296,950.- Frankfurt (M), 06.01.2021

[U2] DB NETZ AG, I.NP-MI-M-K(7): Projektbezogene Unterlagen, übermittelt im Rahmen der Leistungsanfrage; per Mail am 18.12.2020

[U3] HESSISCHES LANDESAMT FÜR BODENFORSCHUNG (HRSG): Geologische Karte von Hessen, Blatt 4521 Liebenau mit Erläuterungen, Maßstab 1:25000.- Wiesbaden, 1983

[U4] DB NETZ AG: Ril 836 - Erdbauwerke planen, bauen und instand halten; 2014

[U5] Helmholtz-Zentrum Potsdam, GFZ: Abfrage der Erdbebenzone, https://www.gfz-potsdam.de/din4149_erdbebenzonenabfrage/; Zugriff 01/2021

[U6] Bundesanstalt für Straßenwesen - BAST: Karte der Frosteinwirkungszonen, https://www.bast.de; Zugriff 01/2021

[U7] HELLMANN, R., KIND., B.: Geotechnische Bewertung der Felsböschung im Saargrund, Tunnel Bleßberg, Notausgang 4, Vortrag / Tagungsband zur 9. Tiefbaufachtagung des VDEI.- Dresden, 07./08.02.2013

1.3 Durchgeführte Untersuchungen

Am 21.01.2021 erfolgte eine Begehung des Untersuchungsbereiches durch den geotechnischen Sachverständigen und eine weitere Geotechnikerin von IBES. Die Begutachtung der Felsböschung erfolgte durch Inaugenscheinnahme, Vermessen von Kluftkörpern sowie punktuelles Einmessen der Hangneigung mittels Geologenkompass sowie Beurteilung der Gesteinsfestigkeiten und des Verwitterungszustandes von Fels mittels Hammerschlagprobe.

W:\Für meine Gruppen\70-IBES\Projekte 2020\70-20-213 DB 2550 km 296,350_296,950 FHS Diemelmühle_Fvo_Rhe\Baugrunderkundung\Berichte\70-20-213_GB_Stand 2021-03-23.docx

Die Böschungsoberfläche war aufgrund der Neigung und des teilweise starken Bewuchses nur schwer begehbar. Von der Bahntrasse aus und vom oberhalb der Bahn verlaufenden Wirtschaftsweg, war die Böschung nur begrenzt einsehbar (Anlage 2).

Die im Folgenden verwendeten Stationierungs- bzw. km-Angaben beruhen auf groben Schätzungen. Eine Vermessung der Böschung wurde nicht durchgeführt.

2 Darstellung und Beschreibung der Untersuchungsergebnisse

2.1 Morphologie, Bebauung, Bewuchs

Der Untersuchungsbereich liegt zwischen der Ortsgemeinde **Haueda** und der Stadt Warburg im Landkreis **Höxter**, etwa 4 km südöstlich von Warburg an der Grenze zwischen Nordrhein-Westfalen und Hessen (Anlage 1).

Das Landschaftsbild ist geprägt von einem **weiträumigen, nur durch die Einschnitte der Flüsse und Bäche zertaltes Relief**. Die Diemel und ihre Nebenbäche fließen in relativ steilwandigen engen Tälern.

Der zu begutachtende Strecken- bzw. Böschungsabschnitt „Diemelmühle“ verläuft als Linksbogen in einem Einschnitt mit maximal **15 m Böschungshöhe**. Am Bauende befindet sich der **Bahnübergang** „Diemelmühle“ (ca. km 296,950). Oberhalb der Böschung befindet sich ein **Wirtschaftsweg**, später **Wildwiese** und **Ackerland**. Die Geländehöhe der Gleisanlagen liegt bei etwa 180 m NN.

Der natürliche Hang streicht parallel dem Verlauf der Bahntrasse und des Hauptlaufs des Vorfluters Diemel im ersten Teil ± von **Westen (W) nach Osten (E).** Im zweiten Teil des Bahnabschnittes schwenkte das Streichen durch die Bogenlage der Trasse **± auf WSW nach ENE.** Die Böschungslänge des gesamten Hanges im Einfallen beträgt etwa 80 m. Der Böschungswinkel der Bahnböschung liegt im unteren Teil bei etwa 45° und im oberen Teil bei etwa 30°.

Durch den Bau der Bahntrasse wurde der natürliche Hang auf dem zu betrachtendem Abschnitt auf eine im Einfallen gemessene Böschungslänge bis zu 25 m unterschnitten. Die als **Anlage 2** beigefügten **Fotodokumentation** vermittelt einen Eindruck des derzeitigen Böschungszustandes.

Von Bauanfang bis etwa km 296,500 ist der Hang im oberen Bereich **stark mit Schlehenhecken bewachsen**, der untere Bereich wurde bereits auf 3 m Böschungslänge freigeschnitten, vereinzelt sind Reste eines **Böschungspflasters** zu erkennen (Bild A6).

Ab ca. km 296,500 bis km 296,600 treten etwa ab 3 m ü. SO mehrere **steilstehende Felsanschnitte aus Kalkstein** zu Tage (Bild A10).

Im weiteren Verlauf des Untersuchungsbereiches bis ca. km 296,785 befindet sich etwa auf halber Böschungshöhe vermutlich ein älterer, ggf. noch aktiver ausgebauchter **Rutschungskörper** aus Hang- und Blockschutt (Bild A16).

Danach schließt sich wieder eine **Felssteilstufe** an, die sich am Mast 296-25 direkt am Böschungsfuß in **Gleisnähe** senkrecht mit ca. 1 - 2 m Höhe fortsetzt (Bild A19).

Zum Ende des Untersuchungsbereichs verringert sich die Böschungshöhe und -neigung, die Böschung läuft zum Bahnübergang hin geländegleich aus (Bild A24).

W:\Für meine Gruppen\70-IBES\Projekte 2020\70-20-213 DB 2550 km 296,350_296,950 FHS Diemelmühle_Fvo_Rhe\Baugrunderkundung\Berichte\70-20-213_GB_Stand 2021-03-23.docx

Die Böschung ist auf dem gesamten Bereich **stark mit Strauch- und Baumwuchs bedeckt** (Bild A11 und A14).

Die Wuchsformen zeigen überwiegend **instabile Böschungsverhältnisse** an (Säbelwuchs, Haken, Schiefstellungen). Besonders deutlich zu erkennen ist dies auf dem Rutschungskörper, was für eine noch aktive **Hangverformung** spricht (Bild A16).

2.2 Geologische Verhältnisse

2.2.1 Gesteine

Das zu untersuchende Gebiet wird regionalgeologisch der *Diemelbörde*, als Teil der *Warburger Börde* zugeordnet.

Gemäß [U3] besteht das Gebirge im Untersuchungsabschnitt aus Oberem Muschelkalk. Der **Obere Muschelkalk** gliedert sich in den sog. Trochitenkalk (moT) und in die jüngeren sog. Oberen Tonplatten (moC). An der Bahnböschung tritt i. W. der **Trochitenkalk** zu Tage, der sich aus massigen, knauerigen oder oolithischen Kalksteinbänken (Haupttrochitenkalk) und einer Wechselfolge gelber, vielfach dolomitischer Mergelkalke oder grauer bis gelber Kalksteine (Gelbe Basisschichten) zusammensetzt.

Im Hangenden (Böschungsschulterbereich) können Schichten der Oberen Tonplatten angeschnitten sein. Diese bestehen überwiegend aus Ton- und Mergelsteinen.

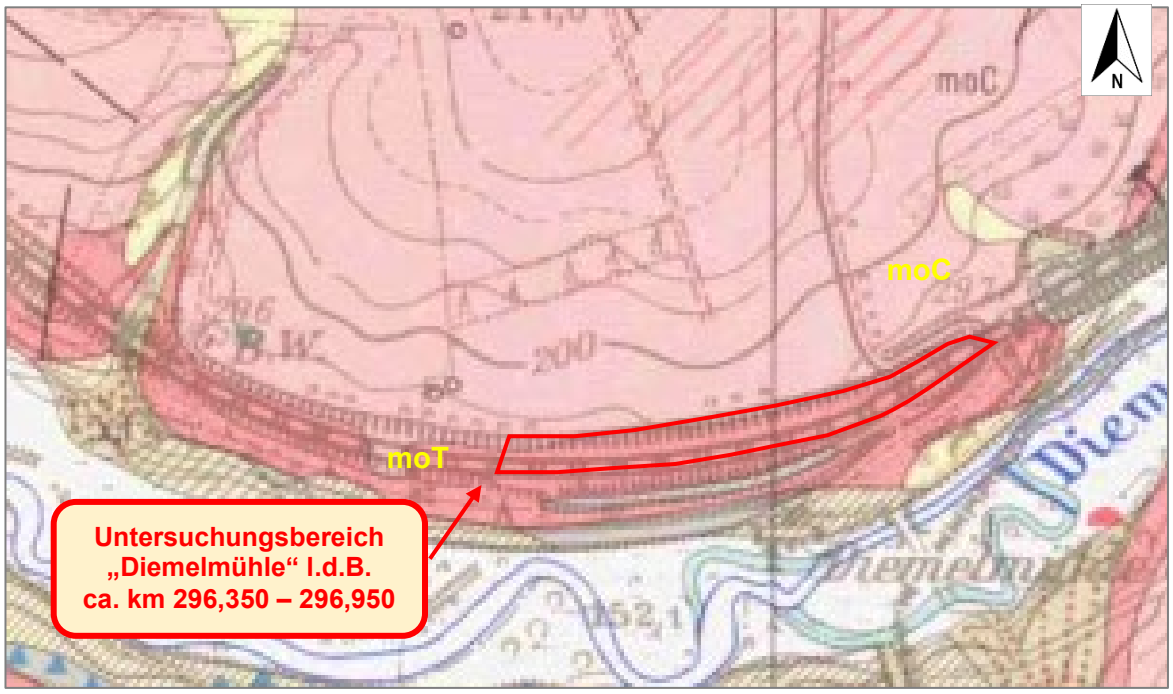


Bild 1: Ausschnitt aus Geologischer Karte, Blatt 4521 (Liebenau) [U3] mit Kennzeichnung des Untersuchungsbereiches (600 m), M ≈ 1 : 10.000

W:\Für meine Gruppen\70-IBES\Projekte 2020\70-20-213 DB 2550 km 296,350_296,950 FHS Diemelmühle_Fvo_Rhe\Baugrunderkundung\Berichte\70-20-213_GB_Stand 2021-03-23.docx

2.2.2 Lagerungsverhältnisse und Trennflächengefüge, Störungen

Das zu untersuchende Gebiet liegt auf der **Nethe-Scholle** nördlich der Warburger Störungszone. Hier herrscht tektonisch ein ± **rheinisch (NNE-SSW) - hercynische (WNW-ESE) Störungssystem** vor. Der einfache Flachsattel und -muldenbau mit nach N gegen die Borgentreicher Keupermulde geneigten Achsen findet sich als Aufschluss im Bahneinschnitt N und W der Diemelmühle.

Durch unterirdische Auslaugung (**Subrosion**) leicht löslicher Gesteine entstehen im tiefen Untergrund **Lösungshohlräume**. Aufgrund des Nachbrechens der Hangendschichten kommt es zu atektonischen Lagerungsstörungen an der Erdoberfläche, wie großflächige Senken (Subrosionssenken), steilwandige, kaminartige Schlote mit geringem Durchmesser (Erdfälle), Ausfüllung mit Auslaugungsbreccie (Hangendgestein), darüber mehr oder minder mächtige Lehmplomben.

Die Richtung der Bahnstrecke entspricht im zweiten Abschnitt annähernd der sich auch durch das Diemeltal abbildende **luftrichtung K1** (WSW-ENE). Diese Hauptkluftrichtung bildet etwa böschungsparallele **Ablöseflächen** an der Bahnböschung. Die zweite **Hauptkluftschar K2** (NNW – SSE) liegt etwa böschungsnormal und bildet die **Zerlegungsflächen** im Felsverband. Beide Kluftscharen stehen ungefähr orthogonal zueinander.

Beide Hauptkluftscharen K1 und K2 weisen ein **steiles Einfallen** (ca. 70 – 80°) nach SSE bzw. WSW auf. Die Klüfte in den massiven Blöcken sind überwiegend **mittelständig** ausgebildet, in den verwitterten Bereichen **eher engständig bis sehr engständig** mit einer ebenen und glatten Oberfläche ausgebildet. Im Böschungsbereich sind die Kluftflächen (K1 und K2) durch **Gebirgsentspannung, Wurzeldruck und Verschiebungen** meist geöffnet mit Öffnungsweiten bis zu 5 cm (Bild A12).

Die **Schichtung Ss** des Sedimentgesteins fällt dementsprechend am Hanganschnitt flach mit etwa 5° nach NW bis NNW (**hangeinwärts**) ein (Bild 2).

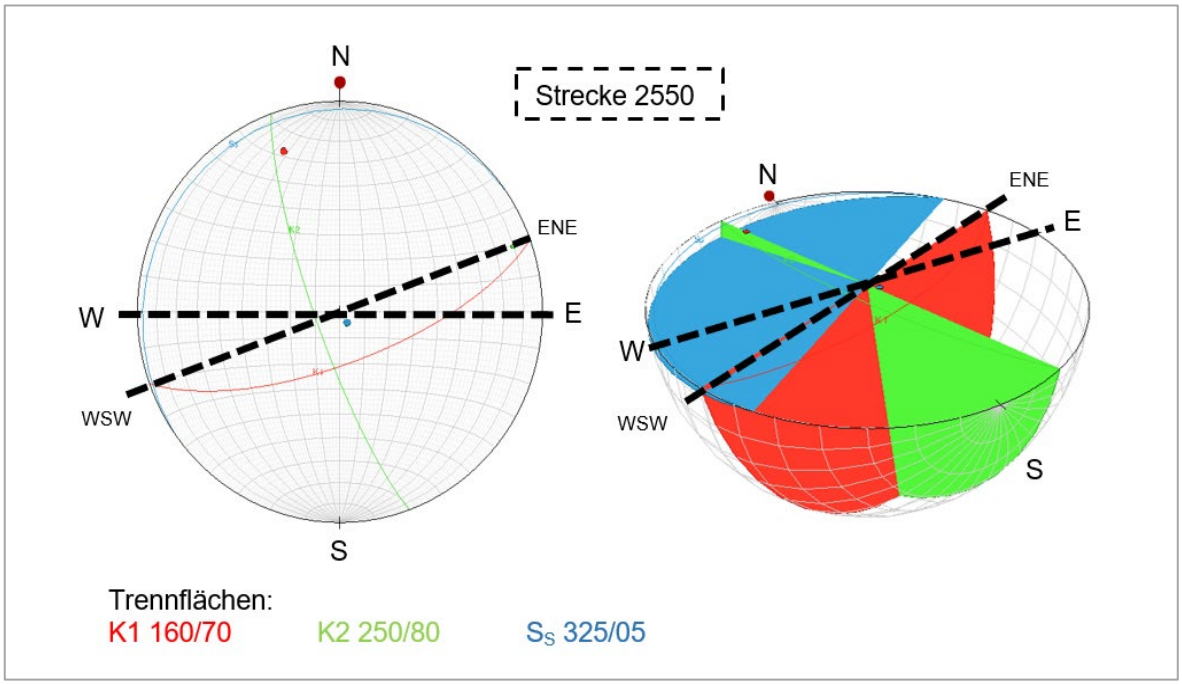


Bild 2 **2D- und 3D-Darstellung der Trennflächen in der Lagenkugel (Schmidtsches Netz)**

W:\Für meine Gruppen\70-IBES\Projekte 2020\70-20-213 DB 2550 km 296,350_296,950 FHS Diemelmühle_Fvo_Rhe\Baugrunderkundung\Berichte\70-20-213_GB_Stand 2021-03-23.docx

Im Untersuchungsbereich sind die Muschelkalkschichten **dünnbankig** (d ≤ 30 cm) bis **massig** (d > 60 cm) ausgebildet (Bilder A12 bis A15 und A22). Dementsprechend bilden sich **kleintäfelig bis quadrig-bankige, teilweise kleinwürfelige Kluftkörperformen** aus (Bild A8 und A9).

Im zu begutachtenden Abschnitt wurden Kluftkörper bis zur Dimension L/B/H von rd. 120/70/25 cm **(V = 0,21 m³)** festgestellt, auch wenn diese Größenordnung nicht als „absturzgefährdet“ einzustufen sind (Bild A12 und A22).

Störungen und/ oder tiefreichende Verwitterungszonen konnten im Untersuchungsbereich nicht festgestellt werden. In der Fotodokumentation (Anlage 2, Bilder A13) ist die Lage der Trennflächen in situ an Kluftkörpern zur Anschauung erläutert.

2.2.3 Hydrogeologische Verhältnisse

Der Muschelkalk fungiert als **Kluftgrundwasserleiter**. Mergel- und Tonsteinlagen können als lokale Stauhorizonte wirken. Die Schichtung Ss fällt leicht hangeinwärts ein, so dass Niederschläge eher von der Böschung weg in tiefere Schichten geleitet werden. Vermehrter **Moosbewuchs** auf Hangschutt und anstehenden Felsklippen deutet dennoch auf Feuchtstellen im Böschungsanschnitt hin, obgleich die Böschung südexponiert ist.

Durch die **entspannungsbedingte Gebirgsauflockerung im Hangbereich** (geöffnete Trennflächen) ist mit einer **hohen Wasserdurchlässigkeit** des Gebirges auf mehrere Meter Tiefe zu rechnen.

Die Grundwasserfließrichtung ist der Geomorphologie zufolge in südliche Richtung zur Vorflut *Diemel* gerichtet. Die *Diemel* fließt etwa 140 bis 240 m südlich des Untersuchungsstandortes und mind. 30 Höhenmeter u. SO. Die *Diemel* hat auch im Hochwasserfall keinen Einfluss auf die Böschung. Die geschlossenen Grundwasseroberfläche wird > 10 m unter SO vermutet.

2.3 Hinweise auf Vornutzung und Belastung des Untersuchungsgebietes

Hinweise auf Altlasten, Altbergbau und/ oder unterirdische Hohlräume sowie frühere Steinschlagereignisse sind für das Untersuchungsgebiet nicht bekannt und auch während der Begehung nicht festgestellt worden.

2.4 Erdbebenzone

Das Untersuchungsgebiet befindet sich nach DIN EN 1998-1/NA (EC 8) bzw. [U5] in keiner Erdbebenzone. Für den Hangbereich kann die Baugrundklasse B für hauptsächlich mäßig verwitterte Festgesteine (bzw. Festgesteine mit geringer Festigkeit) angesetzt werden.

2.5 Frosteinwirkungszone

Gemäß Ril 836 [U4] bzw. Karte der Frosteinwirkungszonen der Bundesanstalt für Straßenwesen [U6] liegt das Untersuchungsgebiet in der Frosteinwirkungszone II.

W:\Für meine Gruppen\70-IBES\Projekte 2020\70-20-213 DB 2550 km 296,350_296,950 FHS Diemelmühle_Fvo_Rhe\Baugrunderkundung\Berichte\70-20-213_GB_Stand 2021-03-23.docx

3 Bewertung der Untersuchungsergebnisse – Standsicherheitsbewertung

3.1 Ingenieurgeologisches Böschungsmodell

Für den Untersuchungsbereich lassen sich folgende Baugrundschichten als Baugrundmodell zusammenfassen (Tabelle 1):

Tabelle 1: Baugrundschichten und Böschungsmodell

Baugrundschicht		Beschreibung	Kurzzeichen		bis Tiefe u. GOK [m]
Nr.	Bezeichnung	DIN EN ISO 14688-1 (Boden)		DIN 4022 (alt)	
1	Oberboden	Schluff, tonig, schwach sandig humos; weich	sa-cl Si	U, t, s‘, h	≤ 0,3
2	Hangschutt/ Felszersatz	Muschelkalk- und Mergelstein vollst. verwitt. (4) - zersetzt (5); locker - mitteldicht bzw. weich - steif	clsisacoboGr	G, t‘, u‘, s‘, x, y‘‘	~ 0,3 – 1,5 (4,0)[1)]
DIN EN ISO 14689-1 (Fels)					
3	Muschelkalk (*Trochitenkalk moT, lokal Obere Tonplatten moC*)	Wechsellagerung aus Kalk- und Mergelsteinen, lokal Tonstein; geschichtet, knauerig, flasrig; z. T. oolithische und dolomitische Kalksteinbänke; veränderlich; mäßig (2) - stark verwittert (3); schlechte - gute Kornbindung			> 15,0

1) Mächtigkeiten geschätzt, da kein Aufschluss vorliegt; im Bereich des mutmaßlichen Rutschungskörpers von ca. km 296,625 bis ca. 296,735 als Hangschutt- und Blockschutthalde ggf. größere Mächtigkeit

3.1.1 Boden- und Felsmechanische Kennwerte

Die Oberbodenschicht (Schicht 1) ist für bautechnische Maßnahmen aufgrund der geringen Mächtigkeit nicht von Belang.

Maßgebend für Gründungen bzw. Hangsicherung sind die an der Böschung zu Tage tretenden plattigen bis bankigen Muschelkalke (Schicht 3).

Hangschutt- und Verwitterungsschichten des Muschelkalks (Schicht 2) sind im Bereich der Böschungsschulter und der bewachsenen Böschungsteile - ggf. mit größeren Blockanteilen im Bereich des vermuteten Rutschungskörpers - vorhanden.

Nach den Feststellungen vor Ort sowie aus Erfahrungswerten lassen sich für den Vorentwurf von Böschungssicherungsmaßnahmen folgende Rechenwerte (charakteristische Werte) für die Schicht 2 (Tabelle 2) und Schicht 3 (Tabelle 3) angeben.

W:\Für meine Gruppen\70-IBES\Projekte 2020\70-20-213 DB 2550 km 296,350_296,950 FHS Diemelmühle_Fvo_Rhe\Baugrunderkundung\Berichte\70-20-213_GB_Stand 2021-03-23.docx

Tabelle 2: Bodenmechanische Berechnungskennwerte für Schicht 2 (Boden)

Parameter x	Formelzeichen	Einheit	Streubereich x_{min} - x_{max}	Rechenwert (x_k)
Feuchtwichte	γ_k	kN/m³	17 - 21	19
Reibungswinkel	φ'_k	°	30 - 35	32,5
Kohäsion	c'_k	kN/m²	0 - 20	10
Steifemodul	$E_{s,k}$	MN/m²	15 – 40	25
Mantelreibung (für Nägel und Anker)	$q_{s;k}$	kN/m²	80 – 120	100

Tabelle 3: Gesteins- und Gebirgskennwerte für Schicht 3 (Fels)

Parameter x	Formelzeichen	Einheit	Streubereich x_{min} - x_{max}	Rechenwert (x_k)
Feuchtwichte	γ_k	kN/m³	23 - 26	24
Gesteinsdruckfestigkeit	$q_{u\ (Gestein)}$	MN/m²	20 - 150	80
Gebirgsdruckfestigkeit	$q_{u\ (Gebirge)}$	MN/m²	2 - 10	6
E-Modul (Gebirge)	E_k	GN/m²	0,7 – 2,0	1,5
Poissonzahl	ν	-	0,2 – 0,3	0,25
Mantelreibung (für Nägel und Anker)	$q_{s;k}$	MN/m²	0,5 – 1,0	0,75
Gebirgsscherparameter				
Reibungswinkel Gebirge	$\varphi'_{(Gebirge)}$	°	30 - 40	35
Kohäsion Gebirge	$c'_{(Gebirge)}$	kN/m²	50 -100	75
Scherparameter auf Schichtflächen (ss)				
Reibungswinkel auf ss-flächen	$\varphi'_{(SF)}$	°	25 - 30	27,5
Kohäsion auf ss-flächen	$c'_{(SF)}$	kN/m²	0 - 20	10
Scherparameter auf geschlossenen Kluftflächen (k)				
Reibungswinkel auf k-flächen	$\varphi'_{(KF)}$	°	30 - 35	32,5
Kohäsion auf k-flächen	$c'_{(KF)}$	kN/m²	0 - 5	2,5

3.1.2 Bautechnische Eigenschaften und Homogenbereiche

Nach VOB Teil C sind einzelne oder mehrere Boden- oder Felsschichten zu sog. Homogenbereichen zusammenzufassen, wenn diese für einsetzbare Geräte bzw. Bauverfahren vergleichbare Eigenschaften aufweisen.

Für den Untersuchungsbereich lassen sich hinsichtlich der ATV-Normen folgende Homogenbereiche einteilen (Tabelle 4).

Tabelle 4: Einteilung Baugrundschichten in Homogenbereiche nach ATV-Normen

Baugrundschicht	I Erdbau DIN 18 300	II Bohrarbeiten DIN 18 301	Kennwerte in Anlage
Schicht 2 (Hangschutt / Felszersatz)	Homogenbereich I.A	Homogenbereich II.A	**4.1**
Schicht 3 (Fels)	Homogenbereich I.X	Homogenbereich II.X	**4.2**

W:\Für meine Gruppen\70-IBES\Projekte 2020\70-20-213 DB 2550 km 296,350_296,950 FHS Diemelmühle_Fvo_Rhe\Baugrunderkundung\Berichte\70-20-213_GB_Stand 2021-03-23.docx

Für Oberboden, der nach DIN 18320 ein eigener Homogenbereich ist, wurde - aufgrund der sehr geringen Mächtigkeit bzw. des vollständigen Fehlens auf steilen Böschungsflächen - kein separater Homogenbereich im Untersuchungsbereich definiert.

Durch Subrosion und die daran beteiligte kalklösende Kohlensäure entsteht eine betonaggressive Umgebung.

Die bautechnischen Eigenschaften/ Kennwerte sind in **Anlage 4** zusammengestellt.

3.2 Kinematisch möglicher Bruchmechanismus

3.2.1 Bisherige Standsicherheitsveränderungen und Risikoeinstufung

Zum Zeitpunkt der Begutachtung konnten **deutliche Anzeichen** für aktiven **Steinfall bzw. Steinschlag** auf der zu begutachtenden Teilfläche festgestellt werden. Wie im Bild A7, A8, A9, A20 und A21 dokumentiert ist, waren **„frische“ Kluftkörper im Randwegbereich** und teilweise auch bereits über dem **Kabeltrog zu Beginn des Gleisbettes** zu finden.

Aus den Inspektionsunterlagen der DB AG [U2] geht hervor, dass **von der Bahnböschung im derzeitigen Zustand ohne Sicherung eine permanente Gefährdung für den Fahrweg und den Zugbetrieb ausgeht**.

Gemäß der letzten Regelbegutachtung durch den Fachbeauftragten in 2013 [U2] wurde im betreffenden Strecken- bzw. Böschungsabschnitt als mangelhaft festgestellt:

1. *Im oberen Bereich der Böschungsfläche Strauch- und Baumbewuchs (Schadensstufe 1, Priorität N)*
2. *An mehreren Stellen befinden sich Wildwechselpfade in der Böschung (Schadensstufe 1, Priorität N)*
3. *Böschungsfläche: Entfestigter und verwitterter Fels auf gesamter Bw-Länge (Schadensstufe 2, Priorität M)*
4. *Stellenweise herausragender Fels, vertikale und horizontale Klüfte, hangauswärts fallen (Schadensstufe 1, Priorität N)*
5. *Partielle Rutschungen im Bereich der Schächte (Schadenstufe 2, Priorität M)*
6. *Im Randwegbereich liegen heruntergefallene Felssteine. (Schadensstufe 2, Priorität M)*
7. *Der Abfanggraben ist komplett mit Bewuchs beaufschlagt und verlandet. (Schadensstufe 2, Priorität M)*
8. *Rückschnittsreste wurden auf der Böschung abgelegt bei km 296,650. (Schadensstufe 1, Priorität N)*

W:\Für meine Gruppen\70-IBES\Projekte 2020\70-20-213 DB 2550 km 296,350_296,950 FHS Diemelmühle_Fvo_Rhe\Baugrunderkundung\Berichte\70-20-213_GB_Stand 2021-03-23.docx

3.2.2 Einwirkungen

Die wesentlichen Einwirkungen auf die Böschung resultieren aus dem **Eigengewicht** der Böschung (Schwerkraft), aus **Frost** (Frosteinwirkungszone II; Boden und Fels → Frostempfindlichkeitsklasse F1 bis F2 – nicht bis mittel frostempfindlich) in Verbindung mit Oberflächenwasser sowie aus Temperaturschwankungen.

Durch das **Herstellen der Böschung** erfolgte zudem eine Entspannung und somit Weitung der Klüfte.

Lokal wirkt **Wurzeldruck** standsicherheitsmindernd aufgrund einer fortschreitenden Auflockerung und Zerstörung des Felsverbandes.

Die Bäume erzeugen zusätzlich bei Wind eine **Hebelwirkung**, die ebenfalls die Auflockerung und Zerstörung des natürlichen Kluftkörperverbandes vorantreiben.

In die geöffneten Klüfte kann Wasser eindringen und eine **Frostsprengung** fördern.

Die Hangneigung des Schuttkegels hat sich im Bereich des natürlichen Schütt- bzw. Reibungswinkels von ca. 35 … 45° ausgebildet. Der Hang befindet sich somit nahe dem **Grenzgleichgewicht** und neigt zum **Kriechen der oberflächennahen Schichten**. Besonders nach **Starkregen** und **Schneeschmelze** erhöht sich die Menge des anströmenden Wassers von den dahinterliegenden Ackerflächen und könnten temporär einen Wasserdruck aufbauen, wenn die Oberfläche gefroren ist.

Ab einer bestimmten Baumgröße wirkt auch das **Eigengewicht der Bäume** bzw. Wurzelstöcke als zusätzliche Einwirkung standsicherheitsmindernd auf die Böschung.

Durch **mechanische Einwirkungen von Wildtieren (Wildwechsel)** werden Steine losgetreten.

3.2.3 Maßgebender Bruchmechanismus und Standsicherheitsberechnungen

Die Raumstellung der Kluftflächen ist standsicherheitstechnisch generell als günstig zu bewerten. Aus der Raumlage der Klüfte lässt sich ableiten, dass sich **keine Gleitkeile** bilden. Die Schichtung fällt leicht hangeinwärts. Die böschungsparallele Kluftschar K1 unterschneidet durch den steilen Einfallwinkel von i. M. 70° den Böschungsfuß, so dass auch diese Trennflächen **keine potentiellen Gleitflächen** bilden.

Aufgrund des im Abschnitt 2.2.2 beschriebenen **aufgelockerten Trennflächengefüges** (**Gebirgsentspannung, Wurzeldruck und Verschiebungen)** ist der maßgebende Bruch- (und Bewegungs-) Mechanismus das **Fallen/ Rutschen**. Aus dem **„Fallen“** entwickelt sich teilweise **„Springen“** mit anschließendem **„Rollen“** und **„Gleiten“** ausgebrochener Kluftkörper.

Durch die überwiegend bankige Form ist eher ein **Rutschen/ Gleiten** der herausfallenden bzw. herausbrechenden Kluftkörper auf dem gebildeten Schuttkegel anzunehmen. Bei kubischen Kluftkörpern weist der Bewegungsmechanismus nach dem Fallen eher **ein Rollen und Springen** auf.

Aus dem maßgebende Bruch- und Bewegungsmechanismus kann als Gefährdungs- und Sicherungsmodell die sog. „Fall-Sprung-Situation“ abgeleitet werden [U7]**.**

W:\Für meine Gruppen\70-IBES\Projekte 2020\70-20-213 DB 2550 km 296,350_296,950 FHS Diemelmühle_Fvo_Rhe\Baugrunderkundung\Berichte\70-20-213_GB_Stand 2021-03-23.docx

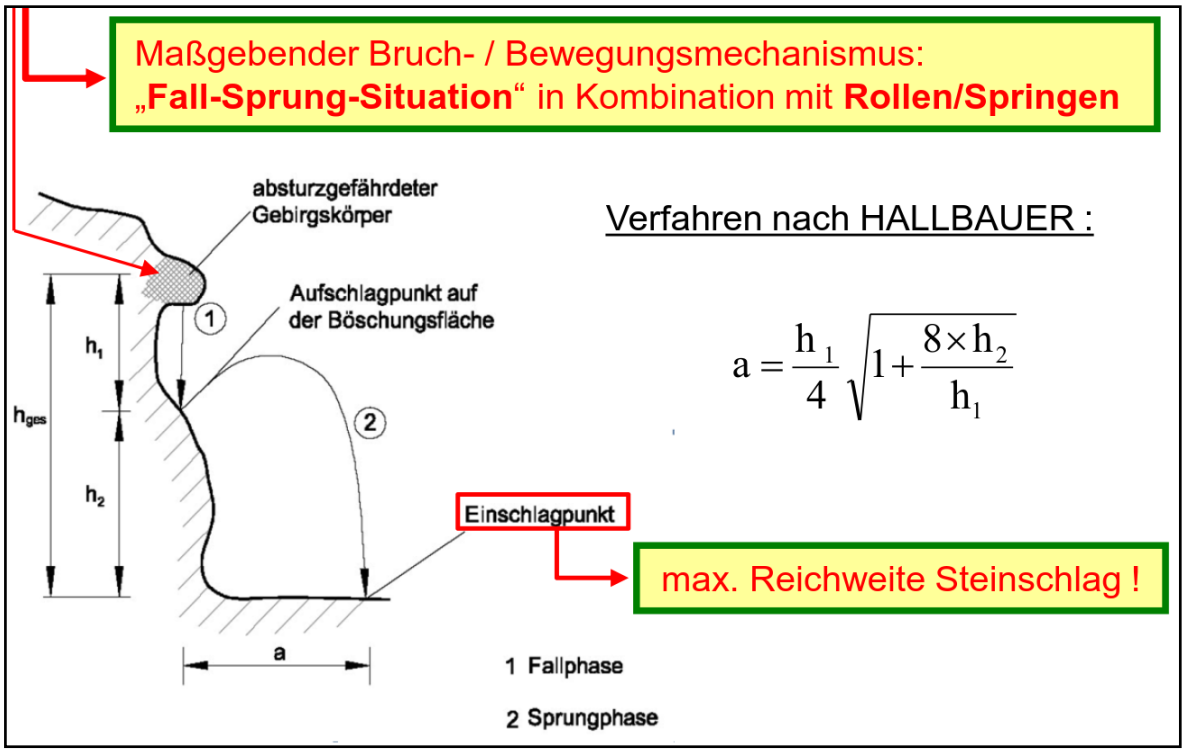


Bild 3: **Schematische Darstellung der „Fall-Sprung-Situation“ mit Berechnungsverfahren nach HALLBAUER** (Quelle Bild [U7])

Wie im Abschnitt 2.1 ausgeführt, existieren ausgeprägte **„freiliegende“ Steilstufen bis 2 m Höhe** auf der Böschungsfläche und ein **Felsanschnitt mit etwa 3 m Höhe** direkt am Gleis. Naturgemäß reichen auf der Böschung diese ± senkrechten Böschungsabschnitte noch weiter bis annähernd zum Böschungsfuß und sind dort mit dem Hangschuttkegel überdeckt. Aufgrund der Neigung des Felsanschnittes von max. 90° kann sich **derzeit** eine Fallhöhe von rd. h_1 = 1 m in direkter Gleisnähe ausbilden.

Mit der im Bild 3 genannten Formel nach HALLBAUER ergibt sich für die **Steilstufe direkt am Böschungsfuß** bei ca. km 296,785 ergibt sich mit Höhe h_1 = 1 m und Höhe h_2 = 2 m (Bild A19), eine maximale Reichweite von a = 1,03 m. Der Einschlagpunkt liegt **bereits im Gleisbereich**.

Aus den vereinfachten Plausibilitätsberechnungen nach HALLBAUER bzw. [U7] lässt sich **bereits derzeit lokal eine direkte Gefährdung für die Gleisanlage** ableiten.

Die abgestürzten / abgerollten bzw. potentiell absturzgefährdeten Kluftkörper mit kubischer Form weisen **max. etwa 0,70 m Kantenlänge** auf (Bilder A11 bis A14).

Es wurden auch größere Kluftkörper festgestellt, die jedoch – aufgrund ihrer plattigen bzw. bankigen Form - als nicht absturzgefährdet eingestuft werden (Bilder A17 und A19).

Das Volumen solcher absturzgefährdeter Kluftkörper ist nach den Feststellungen vor Ort mit Abmessungen bis zu L / B / H = 0,5 / 0,7 / 0,3 m bis etwa **V ≈ 0,1 m³ (m ≈ 0,25 t)** anzunehmen (Anlage 2, Bild A11 und A12).

W:\Für meine Gruppen\70-IBES\Projekte 2020\70-20-213 DB 2550 km 296,350_296,950 FHS Diemelmühle_Fvo_Rhe\Baugrunderkundung\Berichte\70-20-213_GB_Stand 2021-03-23.docx

Aufgrund der überwiegend geringen Festigkeit des Muschelkalks (**mürbe**), ist davonauszugehen, dass sich die Kluftkörper beim **Aufschlag zerteilen** und durch den Impuls noch **weitere Strecken** überbrücken als der Hauptsturzkörper.

3.3 Globale Standsicherheit

Aufgrund der Feststellungen vor Ort wird aus der beschriebenen Raumlage des Trennflächengefüges in Verbindung mit der Morphologie gutachterlich eingeschätzt, dass die **globale Standsicherheit im gesamten Streckenabschnitt gegeben** ist, wo lokal der Felsverband klippenartig zu Tage tritt.

Eine lokale Ausnahme könnte ein bis zu 110 m langer Böschungsabschnitt etwa zwischen Mast 296-19 und Mast 296-23 sein (Abschnitt 3.4.2).

3.4 Lokale Standsicherheit

3.4.1 Steinschlag

Durch die bereits bei der Herstellung der Bahnböschung erzeugte Auflockerung und Entspannung des Gebirgsverbandes kommt es, in Verbindung mit der standsicherheitsmindernden Wirkung des Bewuchses und möglicher Frostsprengung zu einer **permanenten Zerstörung und Auflockerung des Gebirgsverbandes** mit nachfolgender **rückschreitender Erosion, zu anhaltendem Steinfall und Ansammlung von Hangschutt und größeren Kluftkörpern im Randwegbereich.**

Die meisten Steinschlagereignisse werden vermutlich durch den **Wildwechsel von Wildschweinen** ausgelöst.

Die dichten Schlehenhecken und starker Strauchbewuchs besonders am Bauanfang wirken teilweise als **Dämpfung** und **natürlicher Fangzaun**.

3.4.2 Rutschungskörper

Im o. g. Böschungsabschnitt zwischen ca. km 296,625 bis ca. 296,735 fällt auf, dass keine direkten Felsanschnitte auf der Böschungsfläche erkennbar waren.

Sowohl die ausgebauchte Morphologie mit Abrisskante bzw. Geländestufe unter der der Böschungsschulter und bewegungsanzeigender Bewuchs deuten auf einen mutmaßlichen Rutschungskörper mit Kriechverformungen hin (Anlage 2, Bild A16 und Bild 4).

Eine genauere Diagnose war aufgrund des starken Bewuchses nicht möglich.

W:\Für meine Gruppen\70-IBES\Projekte 2020\70-20-213 DB 2550 km 296,350_296,950 FHS Diemelmühle_Fvo_Rhe\Baugrunderkundung\Berichte\70-20-213_GB_Stand 2021-03-23.docx

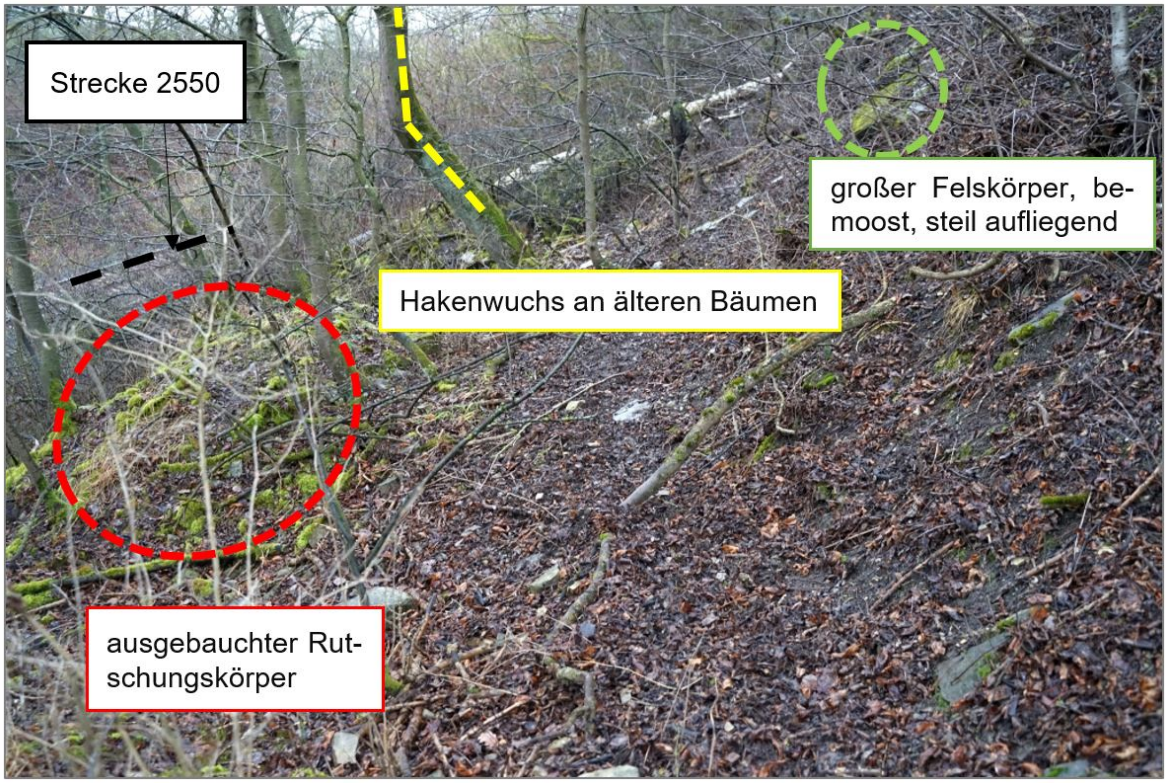


Bild 4 Morphologie und Bewuchs deuten auf einen Rutschungskörper aus Hang- und Blockschutt hin

Unter Annahme, dass es sich um eine alte Hang- und Blockschutthalde handelt, besteht **bei starken Niederschlägen** ein erhöhtes **Risiko, dass der Rutschungskörpers wieder aktiviert wird.**

Hierbei kann ein komplettes **Abrutschen des Böschungsteilkörpers inklusive Mitreißen von größeren Kluftkörpern bis in den Gleisbereich** nicht ausgeschlossen werden.

Für die **Gleisanlage und den Fahrbetrieb lässt sich deshalb eine direkte Gefährdung** ableiten.

4 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

4.1 Ableitung sicherheitsgewährleistender Maßnahmen

Ausgehend von der o. g. Gefährdungseinschätzung und aufgrund des maßgebenden Bruch- Bewegungsmechanismus wird nach einer **Entfernung des Bewuchses (im ersten Abschnitt nur untere 5 m freischneiden, darüber liegender Bewuchs dient als natürlicher Schutzzaun) und einer Böschungsberäumung von losem Gestein** sowie von Hand zu lösenden Kluftkörpern eine Kombination verschiedener konstruktiver Sicherungsmaßnahmen empfohlen (Tabelle 5).

W:\Für meine Gruppen\70-IBES\Projekte 2020\70-20-213 DB 2550 km 296,350_296,950 FHS Diemelmühle_Fvo_Rhe\Baugrunderkundung\Berichte\70-20-213_GB_Stand 2021-03-23.docx

Tabelle 5: Empfehlung für sicherheitsgewährleistende Maßnahmen

ca. Bahn-km (l.d.B.)[1]		Maßnahme / Sicherungsvariante	ca. Länge	ca. Höhe
von	bis		[m]	[m]
296,350	296,500	Einzelbäume roden, auf Böschungsfläche Sträucher auf Stock setzen und Beräumung von Totholz, Hangschutt und von Hand lösbaren Fels	150	5
296,500	296,950	Einzelbäume roden, auf Böschungsfläche Sträucher auf Stock setzen und Beräumung von Totholz, Hangschutt und von Hand lösbaren Fels	450	5 – 28, i. M. 15
296,350	296,628	Steinschlagschutzzaun (Höhe ≥ 2,0 m), Energieaufnahme bis 100kJ, rückverankert, Stützenabstand bis 12 m, seitliche Überschneidung von ≥ 3 m mit Böschungsvernetzung	278	2,0
296,732	296,775		43	
296,625	296,735	Böschung beräumen von losem Gestein/Hangschutt, Rutschkörper ggf. profilieren, Vernetzung aufliegend bis ca. 1 m über Böschungsschulter, rückverankert mit Mikroverpresspfählen[2]	110	20 – 28, i. M. 24
296,772	296,810	Steinschlagschutznetz, aufliegend und rückverankert, seitliche Überschneidung von ≥ 3 m mit Steinschlagschutzzaun, obere Netzkante als Steherzaun (H ≈ 1 m), rückverankert	35	3 – 7, i. M. 5

[1] Die km-Angaben und angenommenen Maße beruhen nicht auf einer Vermessung und sind nur grob geschätzt und in der weiteren Planung zu überprüfen und ggf. zu präzisieren.

[2] genauere Angaben zur Sicherung des Rutschungskörpers erst nach Beräumung und Begutachtung durch geotechnischen Sachverständigen

Große Bäume sind bis etwa 1 m hinter der Böschungskante zu entfernen. Im Bereich der Felsklippe bei etwa km 296,560 sind im Minimum zwei größere Bäume zu fällen, die direkt über dem Felsanschnitt stehen (Bild A11).

An exponierten Felsbereichen und im Bereich des Rutschungskörpers sollte eine **Vernetzung mittels hochfestem Stahldrahtnetz und Verpresspfählen mit doppeltem Korrosionsschutz** und teilweise mit **Aufständerung der oberen Netzkante als sog. Steherzaun** ausgeführt werden.

Für den Bereich des **potentiellen Rutschungskörper** ist i. S. einer „*worst-case-Betrachtung*“ eine mögliche Böschungssicherungsmaßnahme empfohlen worden. Ob und in welchem Umfang **eine aufliegende Vernetzung und Verankerung erforderlich** wird, sollte nach Beräumung und erneuter Begutachtung durch den geotechnischen Sachverständigen festgelegt werden.

Unter Umständen ist auch in diesem Abschnitt eine **durchgehende Sicherung mit einem leichten Steinschlagschutzzaun** (Höhe ≥ 2 m) ausreichend.

W:\Für meine Gruppen\70-IBES\Projekte 2020\70-20-213 DB 2550 km 296,350_296,950 FHS Diemelmühle_Fvo_Rhe\Baugrunderkundung\Berichte\70-20-213_GB_Stand 2021-03-23.docx

Ob der Zaun gleichzeitig i. S. eines **Wildschutzzaunes ohne Lücken** oder mit Unterbrechungen für Wildwechsel errichtet werden soll, ist im Rahmen der Planung ggf. unter Einbeziehung der Beteiligten (Eigentümer, Jagdpächter, Naturschutz etc.) zu klären (während der Begehung wurde auf dem bahnrechten Randweg ein Wildschweinkadaver und diverse Tierknochen vorgefunden).

Sollten die Zäune auf Lücke bebaut werden, ist eine seitliche Übergreiflänge von etwa 3 m einzuhalten.

Für die Errichtung des Steinschlagschutznetzes mit einer geschätzten Fläche von derzeit etwa 2.800 m² sollte eine zu beräumende Böschungsfläche von etwa 3.300 m² ab Böschungsfuß eingeplant werden.

Die Maße und Flächen sind nach Vegetationsbeseitigung und Beräumung der Böschung zu überprüfen und ggf. zu präzisieren.

Die ungefähre Lage und Abmessung der derzeit empfohlenen Maßnahmen sind in **Anlage 3** schematisch dargestellt.

4.2 Hinweise zur weiteren Planung und Bauausführung

Die letztendlich zu wählende Sicherungsvariante ist in einer Vor- und Entwurfsplanung ggf. durch einen Varianten- und Kostenvergleich planerisch zu ermitteln und statisch zu dimensionieren.

Im Muschelkalk sind im Allg. beton- und stahlaggressive Umgebungsbedingungen > XA1 möglich bzw. wahrscheinlich, so dass bauaufsichtlich zugelassen Nagelsysteme nicht einsetzbar wären. Hier wird empfohlen, im Zweifelsfall noch entsprechende Untersuchungen auf Betonaggressivität des Bodens/ Grundwassers auszuführen. Alternativ sollten zur Verankerung Mikropfähle (Verpresspfähle) zum Einsatz kommen.

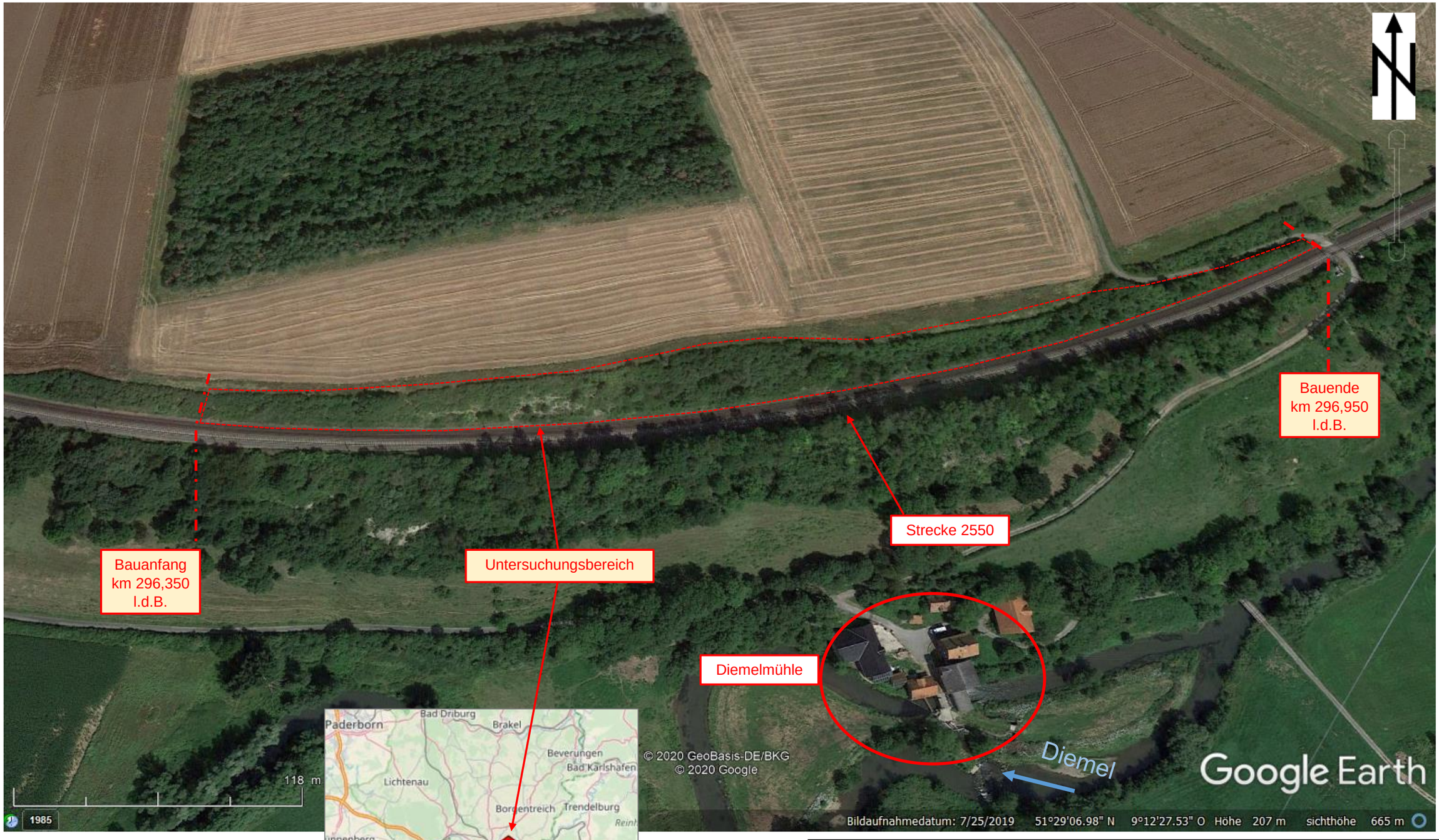
Die endgültigen Längen und Anordnungen der Steinschlagschutzzäune, die Lage der Steinschlagschutznetze, der Randseile und Bohransatzpunkte für die Verpresspfähle sowie Pfahllängen und – durchmesser sind nach erfolgter Beräumung und Vermessung des Bereiches vor Ort anhand der örtlichen Gegebenheiten sowie einer Ausführungsplanung nach statischen und konstruktiven Erfordernissen festzulegen.

In dieser Planungsphase sollte der geotechnische Sachverständige erneut eingebunden werden, um die genannten Empfehlungen überprüfen und ggf. fortschreiben zu können.

W:\Für meine Gruppen\70-IBES\Projekte 2020\70-20-213 DB 2550 km 296,350_296,950 FHS Diemelmühle_Fvo_Rhe\Baugrunderkundung\Berichte\70-20-213_GB_Stand 2021-03-23.docx

Fels- und Hangsicherung „Diemelmühle“ km 296,350 – 296,950 l.d.B. - Länge: 600 m

nächster Ort: Dalheim





Quelle: OpenStreetMap-Daten |
Lizenz: Open Database License (ODbL)

Projekt:	Fels- und Hangsicherung „Diemelmühle“ Strecke 2550 Aachen – Kassel km 296,350 – 296,950 l.d.B. **Geotechnischer Bericht**	IBES BAUGRUNDINSTITUT	IBES Baugrundinstitut Freiberg GmbH Waisenhausstraße 10 09599 Freiberg www.ibes-freiberg.de	
	Darstellung des Untersuchungsbereiches, Übersichtslageplan und Luftbild	Maßstab: -	Proj.-Nr.:	**70-20-213**
		Gezeichnet: FVO	Anl.-Nr.:	**1**
		Geprüft: RHE	Datum:	01.02.2021

W:\Für meine Gruppen\70-IBES\Projekte 2020\70-20-213 DB 2550 km 296,350_296,950 FHS Diemelmühle_Fvo_Rhe\Baugrunderkundung\Anlagen\70-20-213_Geot_Ber_IBES_Anl1_Lageplan_final.docx

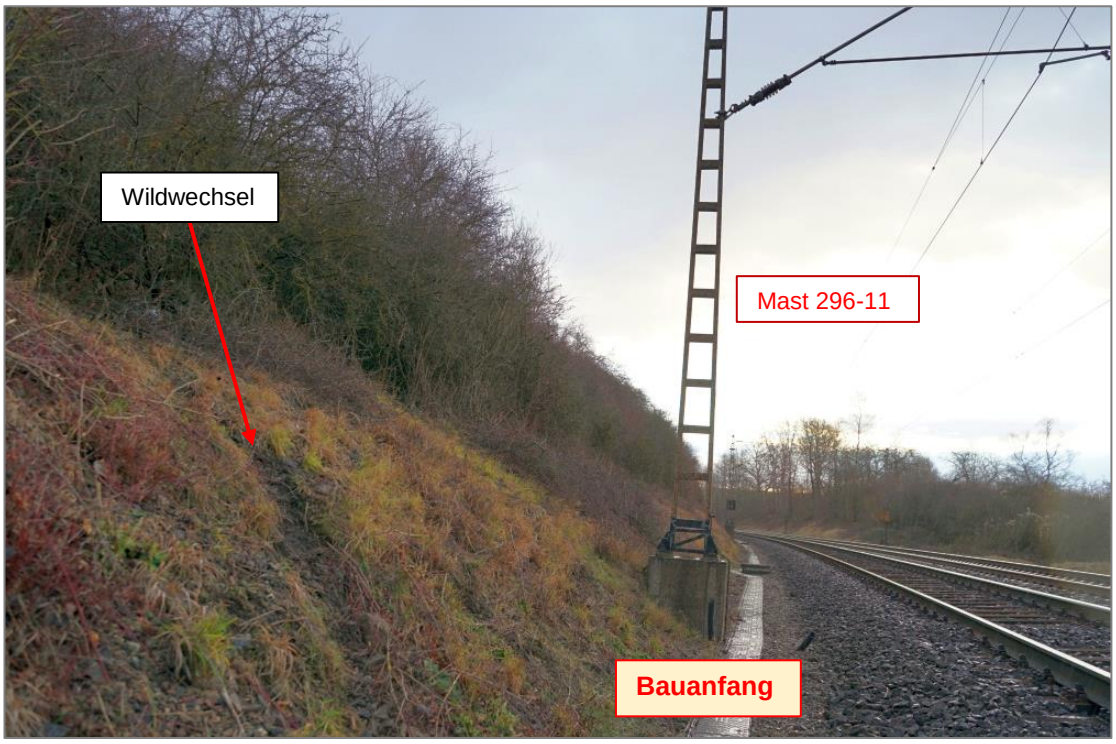


Bild A1: **ca. km 296,350 l.d.B. (Bauanfang), Blick in km-Richtung auf den ersten Teil des Untersuchungsabschnittes bis ca. km 296,400, im oberen Bereich der Böschungsfläche Strauch- und Baumbewuchs, entfestigter und verwitterter Fels auf gesamter Bauwerkslänge, zahlreiche Wildwechsel vorhanden**

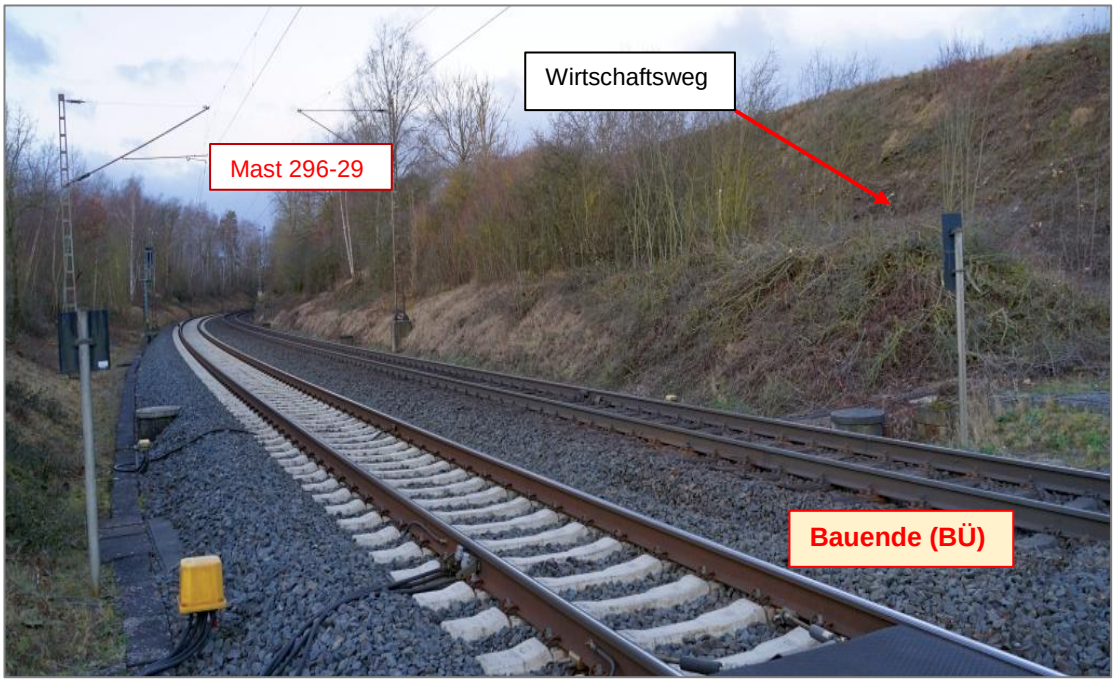


Bild A2: **ca. km 296,950 l.d.B., Blick entgegen km-Richtung auf den letzten Teil des Untersuchungsabschnittes ca. km 296,800 bis Bauende (BÜ), im oberen Teil der Böschung Baum- und Strauchbewuchs, Wirtschaftsweg als Berme oberhalb der Bahnböschung**

Projekt:	Fels- und Hangsicherung „Diemelmühle“, Strecke 2550 Aachen - Kassel km 296,350 – 296,950 – l.d.B. **Geotechnischer Bericht**	IBES BAUGRUNDINSTITUT	IBES Baugrundinstitut Freiberg GmbH Waisenhausstraße 10 09599 Freiberg www.ibes-freiberg.de
Zeichg.:	**Fotodokumentation**	Maßstab: -	Proj.-Nr.: **70-20-213**
		Gezeichnet: FVO	Anl.-Nr.: **2 Blatt 1/13**
		Geprüft: RHE	Datum: 28.01.2021

W:\Für meine Gruppen\70-IBES\Projekte 2020\70-20-213 DB 2550 km 296,350_296,950 FHS Diemelmühle_Fvo_Rhe\Baugrunderkundung\Anlagen\70-20-213_Geot_Ber_Anl2_Fotodoku_final.docx



Bild A3: **ca. km 296,360 l.d.B., Blick in km-Richtung, Abstand zum Gleis 3,0 m, partielles Abrutschen von losem Hangschutt, meist auch durch Wildbegang ausgelöst (rot), teilweise Rückschnittreste auf Böschung abgelegt, Böschung streicht ± in Ost-West-Richtung**

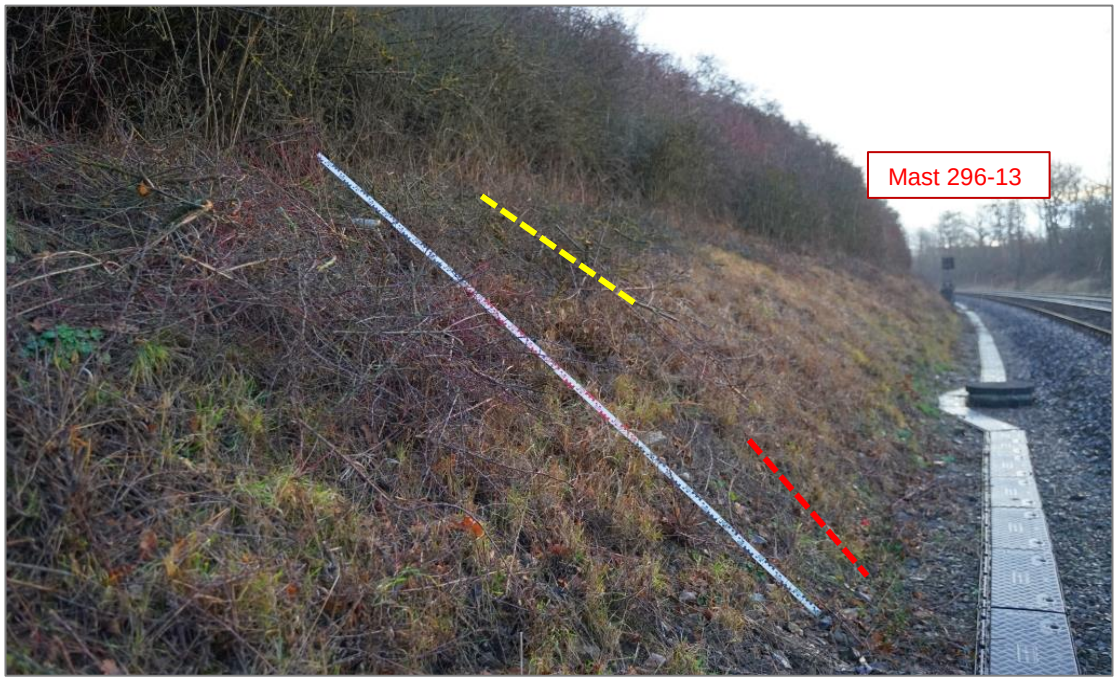


Bild A4: **ca. km 296,360 l.d.B., Blick in km-Richtung, Freischnitt der Böschung bis 2,0 m Höhe, Böschungswinkel unten ca. 45° (rot), weiter oben ca. 30° - 35° (gelb)**

Projekt:	Fels- und Hangsicherung „Diemelmühle“, Strecke 2550 Aachen - Kassel km 296,350 – 296,950 – l.d.B. **Geotechnischer Bericht**	IBES BAUGRUNDINSTITUT	IBES Baugrundinstitut Freiberg GmbH Waisenhausstraße 10 09599 Freiberg www.ibes-freiberg.de
Zeichg.:	**Fotodokumentation**	Maßstab: -	Proj.-Nr.: **70-20-213**
		Gezeichnet: FVO	Anl.-Nr.: **2 Blatt 2/13**
		Geprüft: RHE	Datum: 28.01.2021

W:\Für meine Gruppen\70-IBES\Projekte 2020\70-20-213 DB 2550 km 296,350_296,950 FHS Diemelmühle_Fvo_Rhe\Baugrunderkundung\Anlagen\70-20-213_Geot_Ber_Anl2_Fotodoku_final.docx



Bild A5: **ca. km 296,390 l.d.B., stark begangener Wildwechsel (gelb) und lokal sichtbares Böschungspflaster (rot) - (siehe Detailfoto A6), starker Baum- und Strauchbewuchs im oberen Teil der Böschung**



Bild A6: **ca. km 296,390 l.d.B., Detail Böschungspflaster aus gesetzten Kalksteinblöcken, Böschungsneigung ca. 1 : 1,7**

Projekt:	Fels- und Hangsicherung „Diemelmühle“, Strecke 2550 Aachen - Kassel km 296,350 – 296,950 – l.d.B. **Geotechnischer Bericht**	IBES BAUGRUNDINSTITUT	IBES Baugrundinstitut Freiberg GmbH Waisenhausstraße 10 09599 Freiberg www.ibes-freiberg.de
Zeichg.:	**Fotodokumentation**	Maßstab: -	Proj.-Nr.: **70-20-213**
		Gezeichnet: FVO	Anl.-Nr.: **2 Blatt 3/13**
		Geprüft: RHE	Datum: 28.01.2021

W:\Für meine Gruppen\70-IBES\Projekte 2020\70-20-213 DB 2550 km 296,350_296,950 FHS Diemelmühle_Fvo_Rhe\Baugrunderkundung\Anlagen\70-20-213_Geot_Ber_Anl2_Fotodoku_final.docx

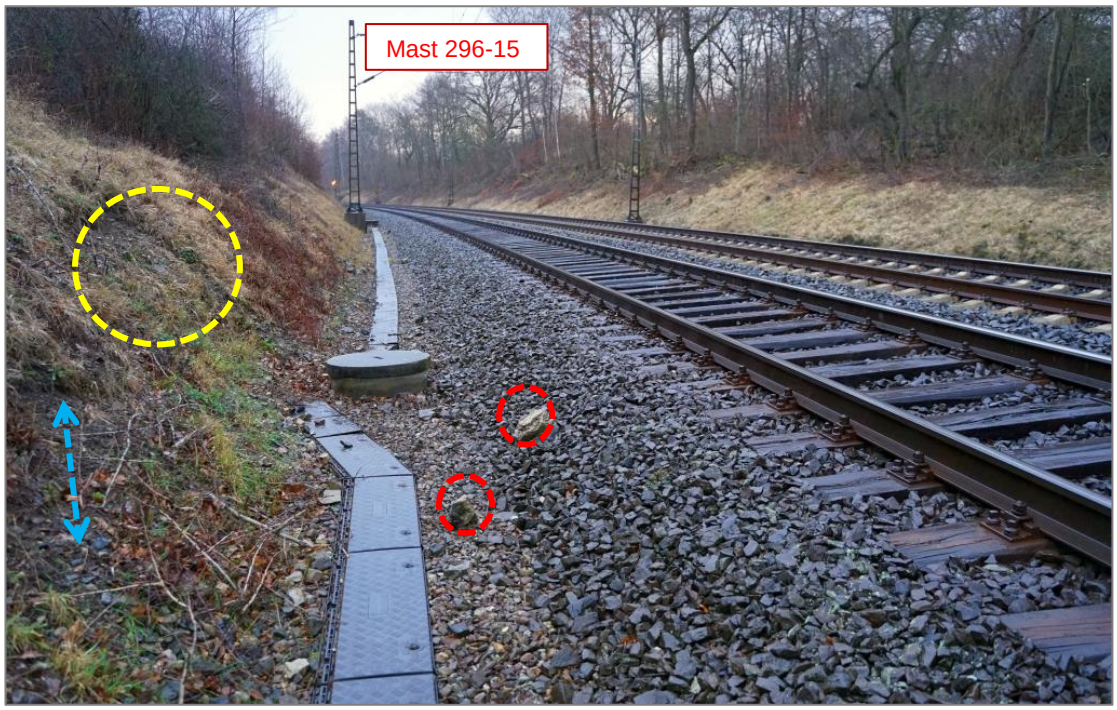


Bild A7: **ca. km 296,460 l.d.B., Blick in km-Richtung, abgerollte Kluftkörper im Randwegbereich und im Bereich der Bettung (siehe Detailfoto A8) (rot), partielle Hautrutschungen in der Böschungsfläche (gelb), Wildwechsel (blau)**



Bild A8: **ca. km 296,460 l.d.B., Kluftkörper aus kompaktem Kalkstein im Gleisbett, Abmessungen L / B / H ca. 30 / 25 / 8 cm, Gesteinskörper hat sich beim Absturz nicht zerteilt**

Projekt:	Fels- und Hangsicherung „Diemelmühle“, Strecke 2550 Aachen - Kassel km 296,350 – 296,950 – l.d.B. **Geotechnischer Bericht**	IBES BAUGRUNDINSTITUT	IBES Baugrundinstitut Freiberg GmbH Waisenhausstraße 10 09599 Freiberg www.ibes-freiberg.de
Zeichg.:	**Fotodokumentation**	Maßstab: -	Proj.-Nr.: **70-20-213**
		Gezeichnet: FVO	Anl.-Nr.: **2 Blatt 4/13**
		Geprüft: RHE	Datum: 28.01.2021

W:\Für meine Gruppen\70-IBES\Projekte 2020\70-20-213 DB 2550 km 296,350_296,950 FHS Diemelmühle_Fvo_Rhe\Baugrunderkundung\Anlagen\70-20-213_Geot_Ber_Anl2_Fotodoku_final.docx



Bild A9: **ca. km 296,525 l.d.B., Blick in km-Richtung, partieller Steinschlag, oftmals ausgelöst durch Wildbegang (Wildschweine)**



Bild A10: **ca. km 296,540 l.d.B., Blick entgegen der km-Richtung, auf den ersten Felsanschnitt (Steilstufe), Beginn ca. 10 m nach Mast 296-15, Baum- und Strauchbewuchs entfestigen den Felsverband durch Wurzeldruck und Hebelwirkung**

Projekt:	Fels- und Hangsicherung „Diemelmühle“, Strecke 2550 Aachen - Kassel km 296,350 – 296,950 – l.d.B. **Geotechnischer Bericht**	IBES BAUGRUNDINSTITUT	IBES Baugrundinstitut Freiberg GmbH Waisenhausstraße 10 09599 Freiberg www.ibes-freiberg.de
Zeichg.:	**Fotodokumentation**	Maßstab: -	Proj.-Nr.: **70-20-213**
		Gezeichnet: FVO	Anl.-Nr.: **2 Blatt 5/13**
		Geprüft: RHE	Datum: 28.01.2021

W:\Für meine Gruppen\70-IBES\Projekte 2020\70-20-213 DB 2550 km 296,350_296,950 FHS Diemelmühle_Fvo_Rhe\Baugrunderkundung\Anlagen\70-20-213_Geot_Ber_Anl2_Fotodoku_final.docx



Bild A11: **ca. km 296,560 l.d.B., rote Markierung: Steilstufe aus Kalkstein (h ≈ 2 m) mit Schuttauflage und markant geöffneten Klüften (siehe Detailfoto A12), oberhalb stehen größere Bäume auf der Böschungsfläche, die Wurzeln entfestigen den Felsverband**



Bild A12: **ca. km 296,560 l.d.B., verwitterter, entfestigter, plattiger bis bankiger Trochitenkalk, lokal sehr mürbes und ausgewittertes Gestein, Kluftöffnungsweiten ca. 3-5 cm, teilweise Scherbrüche durch Kluftkörper vorhanden**

Projekt:	Fels- und Hangsicherung „Diemelmühle“, Strecke 2550 Aachen - Kassel km 296,350 – 296,950 – l.d.B. **Geotechnischer Bericht**	IBES BAUGRUNDINSTITUT	IBES Baugrundinstitut Freiberg GmbH Waisenhausstraße 10 09599 Freiberg www.ibes-freiberg.de
Zeichg.:	**Fotodokumentation**	Maßstab: -	Proj.-Nr.: **70-20-213**
		Gezeichnet: FVO	Anl.-Nr.: **2 Blatt 6/13**
		Geprüft: RHE	Datum: 28.01.2021

W:\Für meine Gruppen\70-IBES\Projekte 2020\70-20-213 DB 2550 km 296,350_296,950 FHS Diemelmühle_Fvo_Rhe\Baugrunderkundung\Anlagen\70-20-213_Geot_Ber_Anl2_Fotodoku_final.docx

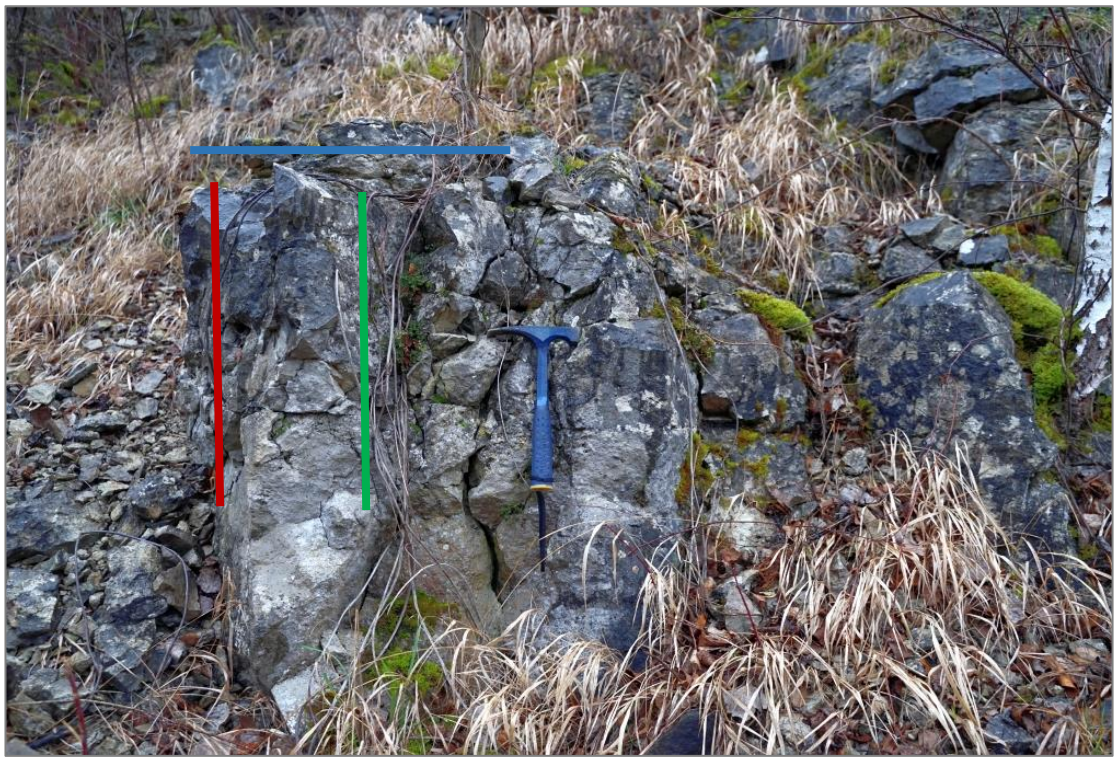


Bild A13: **ca. km 296,570 l.d.B., dito, stark geklüfteter und aufgelockerter Felsverband, lose aufliegendes und absturzgefährdetes Gestein, Wurzeldruck wirkt standsicherheitsmindernd, Hauptkluftscharen: K1 (rot), K2 (grün), Schichtung Ss (blau)**



Bild A14: **ca. km 296,575 l.d.B., hangauswärts fallende Trennflächen an abgekippten Gebirgsteilen, Tierbau unter Felskörper (rot), starke Bemoosung deutet auf Feuchtstellen und austretendes Schichtwasser hin**

Projekt:	Fels- und Hangsicherung „Diemelmühle“, Strecke 2550 Aachen - Kassel km 296,350 – 296,950 – l.d.B. **Geotechnischer Bericht**	IBES BAUGRUNDINSTITUT	IBES Baugrundinstitut Freiberg GmbH Waisenhausstraße 10 09599 Freiberg www.ibes-freiberg.de
Zeichg.:	**Fotodokumentation**	Maßstab: -	Proj.-Nr.: **70-20-213**
		Gezeichnet: FVO	Anl.-Nr.: **2 Blatt 7/13**
		Geprüft: RHE	Datum: 28.01.2021

W:\Für meine Gruppen\70-IBES\Projekte 2020\70-20-213 DB 2550 km 296,350_296,950 FHS Diemelmühle_Fvo_Rhe\Baugrunderkundung\Anlagen\70-20-213_Geot_Ber_Anl2_Fotodoku_final.docx



Bild A15: **ca. km 296,600 l.d.B., herausragende Felsstufe (rot), stark aufgelockerter Felsverband mit meist geöffneten Trennflächen, Wildwechsel (gelb)**



Bild A16: **ca. km 296,700 l.d.B., Sichel- und Hakenwuchs im stark bewachsenen oberen Böschungsteil zeigen Rutschungen und Hangkriechen an, Morphologie (gelbe Linie) deutet auf einen Rutschungskörper mit Blockschutthalde hin (Erstreckung ca. km 296,625 bis ca. km 296,735**

Projekt:	Fels- und Hangsicherung „Diemelmühle“, Strecke 2550 Aachen - Kassel km 296,350 – 296,950 – l.d.B. **Geotechnischer Bericht**	IBES BAUGRUNDINSTITUT	IBES Baugrundinstitut Freiberg GmbH Waisenhausstraße 10 09599 Freiberg www.ibes-freiberg.de
Zeichg.:	**Fotodokumentation**	Maßstab: -	Proj.-Nr.: **70-20-213**
		Gezeichnet: FVO	Anl.-Nr.: **2 Blatt 8/13**
		Geprüft: RHE	Datum: 28.01.2021

W:\Für meine Gruppen\70-IBES\Projekte 2020\70-20-213 DB 2550 km 296,350_296,950 FHS Diemelmühle_Fvo_Rhe\Baugrunderkundung\Anlagen\70-20-213_Geot_Ber_Anl2_Fotodoku_final.docx



Bild A17: **ca. km 296,700 l.d.B., großer abgekippter Felsblock auf Rutschungskörper im oberen Böschungsteil, Abmessungen L / B / H ca. 1,20 / 0,7 / 0,25 m (Volumen V ≈ 0,2 m³ bzw. Masse m ≈ 500 kg), Anzeichen für frost- und niederschlagsbedingte rutschende/ kriechende Bewegung auf der Böschungsoberfläche**



Bild A18: **ca. km 296,745 l.d.B., Blick entgegen km-Richtung, partielle Hautrutschungen im Hangschutt (rot), starker Bewuchs, vermoost → Huminsäuren lösen Kalkstein**

Projekt:	Fels- und Hangsicherung „Diemelmühle“, Strecke 2550 Aachen - Kassel km 296,350 – 296,950 – l.d.B. **Geotechnischer Bericht**	IBES BAUGRUNDINSTITUT	IBES Baugrundinstitut Freiberg GmbH Waisenhausstraße 10 09599 Freiberg www.ibes-freiberg.de
Zeichg.:	**Fotodokumentation**	Maßstab: -	Proj.-Nr.: **70-20-213**
		Gezeichnet: FVO	Anl.-Nr.: **2 Blatt 9/13**
		Geprüft: RHE	Datum: 28.01.2021

W:\Für meine Gruppen\70-IBES\Projekte 2020\70-20-213 DB 2550 km 296,350_296,950 FHS Diemelmühle_Fvo_Rhe\Baugrunderkundung\Anlagen\70-20-213_Geot_Ber_Anl2_Fotodoku_final.docx



Bild A19: **ca. km 296,785 l.d.B., Blick in km-Richtung, Beginn Felsanschnitt direkt am Gleisbett, Felsverband entspannungsbedingt aufgelockert, Trennflächen sind meist geöffnet, Moos- und Grasbewuchs deuten auf Schichtwasseraustritte hin, größerer Kluftkörper , Abmessungen L / B / H ca. 0,7 / 0,5 / 0,5 m (rot)**



Bild A20: **ca. km 296,800 l.d.B., dito, frische Gesteinsausbruchsstelle an der Felssteilstufe ca. 2 m ü. SO, Ausbruchskörper siehe Bild A21**

Projekt:	Fels- und Hangsicherung „Diemelmühle“, Strecke 2550 Aachen - Kassel km 296,350 – 296,950 – l.d.B. **Geotechnischer Bericht**	IBES BAUGRUNDINSTITUT	IBES Baugrundinstitut Freiberg GmbH Waisenhausstraße 10 09599 Freiberg www.ibes-freiberg.de
Zeichg.:	**Fotodokumentation**	Maßstab: -	Proj.-Nr.: **70-20-213**
		Gezeichnet: FVO	Anl.-Nr.: **2 Blatt 10/13**
		Geprüft: RHE	Datum: 28.01.2021

W:\Für meine Gruppen\70-IBES\Projekte 2020\70-20-213 DB 2550 km 296,350_296,950 FHS Diemelmühle_Fvo_Rhe\Baugrunderkundung\Anlagen\70-20-213_Geot_Ber_Anl2_Fotodoku_final.docx



Bild A21: **ca. km 296,800 l.d.B., Detailfoto frischer ausgebrochener Kluftkörper, beim Aufprall teilweise zerfallen, Ursprungsabmessungen L / B / H ca. 20 / 20 / 10 cm (ca. m ≈ 10 kg)**



Bild A22: **ca. km 296,802 l.d.B., dito, überhängende Felsschichten mit aufgelockertem Trennflächengefüge und teils zerbrochenem Felsverband (rot), Wasseraustritte und Calzit-Ablagerungen auf Trennflächen (blau)**

Projekt:	Fels- und Hangsicherung „Diemelmühle“, Strecke 2550 Aachen - Kassel km 296,350 – 296,950 – l.d.B. **Geotechnischer Bericht**	IBES BAUGRUNDINSTITUT	IBES Baugrundinstitut Freiberg GmbH Waisenhausstraße 10 09599 Freiberg www.ibes-freiberg.de
Zeichg.:	**Fotodokumentation**	Maßstab: -	Proj.-Nr.: **70-20-213**
		Gezeichnet: FVO	Anl.-Nr.: **2 Blatt 11/13**
		Geprüft: RHE	Datum: 28.01.2021

W:\Für meine Gruppen\70-IBES\Projekte 2020\70-20-213 DB 2550 km 296,350_296,950 FHS Diemelmühle_Fvo_Rhe\Baugrunderkundung\Anlagen\70-20-213_Geot_Ber_Anl2_Fotodoku_final.docx



Bild A23: **ca. km 296,805 l.d.B., Blick entgegen km-Richtung, Gehölzrückschnitte auf Böschung, überhängende Felskörper (gelb, siehe Detailfoto A22), frischer Ausbruch (rot), Felsteile auf Kabeltrog (blau)**



Bild A24: **ca. km 296,840 l.d.B., Blick entgegen km-Richtung, Gehölzrückschnitte auf Böschung, Ende der Felssteilstufe am Gleisbett (rot, siehe dazu Bild A19 bis A22), sehr starker Bewuchs im oberen Böschungsteil, Böschungswinkel ca. 30 - 35°**

Projekt:	Fels- und Hangsicherung „Diemelmühle“, Strecke 2550 Aachen - Kassel km 296,350 – 296,950 – l.d.B. **Geotechnischer Bericht**	IBES BAUGRUNDINSTITUT	IBES Baugrundinstitut Freiberg GmbH Waisenhausstraße 10 09599 Freiberg www.ibes-freiberg.de
Zeichg.:	**Fotodokumentation**	Maßstab: -	Proj.-Nr.: **70-20-213**
		Gezeichnet: FVO	Anl.-Nr.: **2 Blatt 12/13**
		Geprüft: RHE	Datum: 28.01.2021

W:\Für meine Gruppen\70-IBES\Projekte 2020\70-20-213 DB 2550 km 296,350_296,950 FHS Diemelmühle_Fvo_Rhe\Baugrunderkundung\Anlagen\70-20-213_Geot_Ber_Anl2_Fotodoku_final.docx



Bild A25: **ca. km 296,900 l.d.B., Blick entgegen km-Richtung, Feldweg oberhalb der Böschungskrone, anschließend Ackerland**



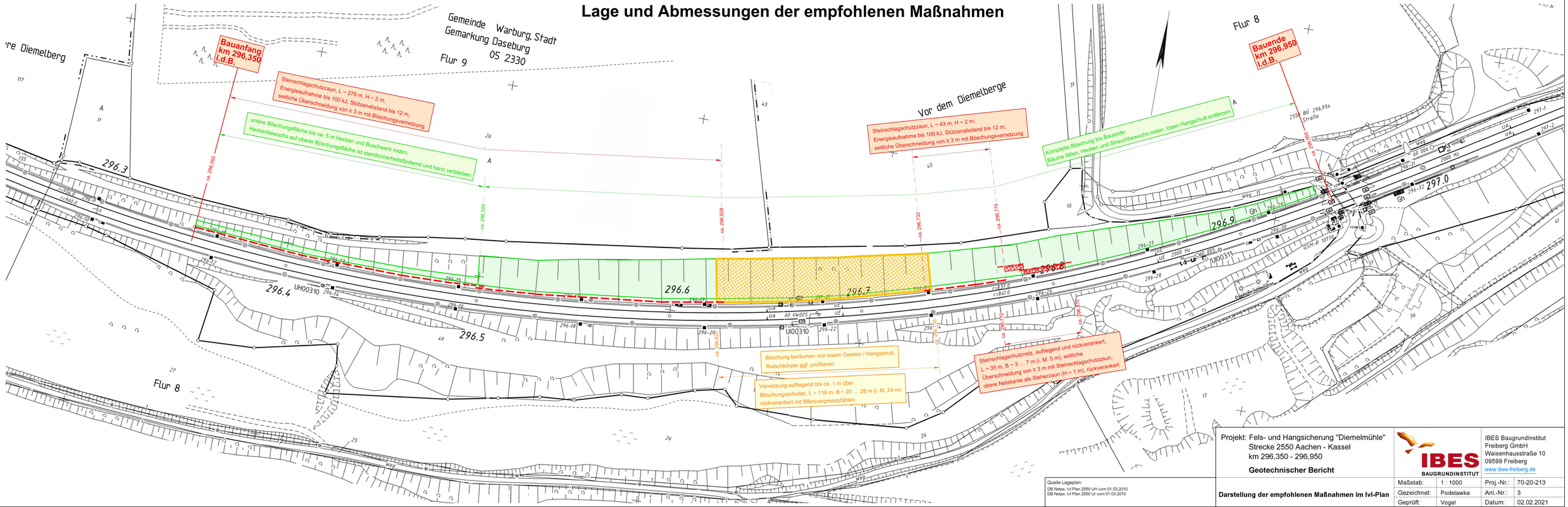
Bild A26: **ca. km 296,860 l.d.B., Blick entgegen km-Richtung, Abfanggraben ist komplett mit Bewuchs beaufschlagt und verlandet, ältere Holzstämme abgelagert**

Projekt:	Fels- und Hangsicherung „Diemelmühle“, Strecke 2550 Aachen - Kassel km 296,350 – 296,950 – l.d.B. **Geotechnischer Bericht**	IBES BAUGRUNDINSTITUT	IBES Baugrundinstitut Freiberg GmbH Waisenhausstraße 10 09599 Freiberg www.ibes-freiberg.de
Zeichg.:	**Fotodokumentation**	Maßstab: -	Proj.-Nr.: **70-20-213**
		Gezeichnet: FVO	Anl.-Nr.: **2 Blatt 13/13**
		Geprüft: RHE	Datum: 28.01.2021

W:\Für meine Gruppen\70-IBES\Projekte 2020\70-20-213 DB 2550 km 296,350_296,950 FHS Diemelmühle_Fvo_Rhe\Baugrunderkundung\Anlagen\70-20-213_Geot_Ber_Anl2_Fotodoku_final.docx

Fels- und Hangsicherungsmaßnahme "Diemelmühle" km 296,350 - 296,950 l.d.B. - Länge: 600,00 m

Lage und Abmessungen der empfohlenen Maßnahmen



Quelle Lageplan:
DB Netze, Ivl Plan 2550 UH vom 01.03.2010
DB Netze, Ivl Plan 2550 UI vom 01.03.2010

Projekt: Fels- und Hangsicherung "Diemelmühle"
Strecke 2550 Aachen - Kassel
km 296,350 - 296,950

Geotechnischer Bericht

Darstellung der empfohlenen Maßnahmen im Ivl-Plan

IBES BAUGRUNDINSTITUT
IBES Baugrundinstitut Freiberg GmbH
Waisenhausstraße 10
09599 Freiberg
www.ibes-freiberg.de

Maßstab:	1 : 1000	Proj.-Nr.:	70-20-213
Gezeichnet:	Podstawka	Anl.-Nr.:	3
Geprüft:	Vogel	Datum:	02.02.2021

Homogenbereiche nach VOB C (2016)

[1)] für Geotechnische Kategorie GK2 / GK3

Kennwert / Eigenschaft		Homogenbereich I.A DIN 18300 [1)]	Homogenbereich II.A DIN 18301
Schicht Nr.		**Schicht 2**	
ortsübliche Bezeichnung	-	(Auffüllungen)/Hangschutt/Felszersatz	
Bodengruppen	-	(n. b.) / [GU], [GI], GU, GU*, GI	
Korngrößenverteilung	-	(n. b. k. A.)	
Anteil Steine D > 63 mm	%	(n. b.) / 20 - 60; i. M. 40	
Anteil Blöcke D > 200 mm	%	(n. b.) / 20 - 80; i. M. 50	
Anteil gr. Blöcke D > 630 mm	%	(n. b.) / 5 – 15; i. M. 10	
Dichte	t/m³	(n. b.) 1,7 – 2,1; i. M. 1,9	n. e.
Köhäsion	kN/m²	(n. b.) / 0 - 20, i. M. 10	
undrainierte Scherfestigkeit	kN/m²	n. b.	
Wassergehalt	%	n. b.	
Konsistenz	-	n. b.	
Konsistenzzahl	-	n. b.	
Plastizität	-	n. b.	
Plastizitätszahl	-	n. b.	
Durchlässigkeit	m/s	(n. b.) / 10^{-3} - 10^{-5} ; i. M. 10^{-4}	
Lagerungsdichte: Definition	-	(n. b.) / locker – mitteldicht	
Lagerungsdichte: Bestimmung	-	(n. b. k. A.)	
Kalkgehalt	%	(n. b.) / 0	
Sulfatgehalt	%	(n. b. k. A.)	
organischer Anteil	%	(n. b.) / 0 – 5	
Abrasivität	-	(n. b.) / abrasiv	

i. M. - im Mittel, geschätzter Mittelwert (Rechenwert)
n. e. - nicht erforderlich (gem. VOB)
n. b. - nicht bestimmbar
(n. b.) / - nicht bestimmt / Angaben anhand von Erfahrungswerten möglich
(n. b. k. A) - nicht bestimmt - keine Angaben (Angaben nur durch spezielle Versuche möglich)

W:\Für meine Gruppen\70-IBES\Projekte 2020\70-20-213 DB 2550 km 296,350_296,950 FHS Diemelmühle_Fvo_Rhe\Baugrunderkundung\Anlagen\70-20-213_Geot_Ber_IBES_Anl4_1_HG-A_Boden_final.docx

Projekt:	Fels- und Hangsicherung „Diemelmühle“ Strecke 2550 Aachen - Kassel km 296,350 – 296,950 l.d.B. **Geotechnischer Bericht**	IBES BAUGRUNDINSTITUT	IBES Baugrundinstitut Freiberg GmbH Waisenhausstraße 10 09599 Freiberg www.ibes-freiberg.de
Zeichg.:	**Homogenbereiche nach VOB C (2016) Schicht 2 (Boden)**	Maßstab: -	Proj.-Nr.: **70-20-213**
		Gezeichnet: FVO	Anl.-Nr.: **4.1**
		Geprüft: RHE	Datum: 12.02.2021

Homogenbereiche nach VOB C (2016)

[1)] für Geotechnische Kategorie GK2 / GK3

Kennwert / Eigenschaft		Homogenbereich I.X DIN 18300 [1)]	Homogenbereich II.X DIN 18301
Schicht Nr.		**Schicht 3**	
ortsübliche Bezeichnung	-	Muschelkalk (*Trochitenkalk*) *moT* Mergel- und Tonstein *(Obere Tonplatten) moC*	
Benennung von Fels	-	Wechsellagerung aus Kalk- und Mergelsteinen, lokal Tonsteine	
Dichte	t/m³	(n. b.) / 2,3 - 2,6; i. M. 2,4	n. e.
Verwitterung,	-	mäßig verwittert - stark verwittert	
Veränderungen und	-	schlechte – mäßige Kornbindung	
Veränderlichkeit	-	veränderlich	
Kalkgehalt	%	n. e.	
Sulfatgehalt	%	n. e.	
Druckfestigkeit	MN/m²	20 – 150 (mäßig hoch – sehr hoch), i. M. 80 (hoch)	
Spaltzugfestigkeit	MN/m²	n. e.	
Trennflächenrichtung (Einfallrichtung)	-	K1: 160 / K2: 250 / Ss: 325	
Trennflächenabstand	mm	10 bis 1000 (klüftig - kompakt)	
Gesteinskörperform	-	kleintäfelig, kleinwürfelig, quadrig-bankig	
Öffnungsweiten von Trennflächen	mm	bis 50	
Kluftfüllungen von Trennflächen	-	n. e.	
Gebirgsdurchlässigkeit	m/s	n. e.	
Abrasivität	-	n. e.	Muschelkalk: (n. b.) / abrasiv

i. M. - im Mittel, geschätzter Mittelwert (Rechenwert)
n. e. - nicht erforderlich (gem. VOB)
n. b. - nicht bestimmbar
(n. b.) / - nicht bestimmt / Angaben anhand von Erfahrungswerten möglich
(n. b. k. A) - nicht bestimmt - keine Angaben (Angaben nur durch spezielle Versuche möglich)

W:\Für meine Gruppen\70-IBES\Projekte 2020\70-20-213 DB 2550 km 296,350_296,950 FHS Diemelmühle_Fvo_Rhe\Baugrunderkundung\Anlagen\70-20-213_Geot_Ber_IBES_Anl4_2_HG-X_Fels_final.docx

Projekt:	Fels- und Hangsicherung „Diemelmühle“ Strecke 2550 Aachen - Kassel km 296,350 – 296,950 l.d.B. **Geotechnischer Bericht**	IBES BAUGRUNDINSTITUT	IBES Baugrundinstitut Freiberg GmbH Waisenhausstraße 10 09599 Freiberg www.ibes-freiberg.de
Zeichg.:	**Homogenbereiche nach VOB C (2016)** **Schicht 3 (Fels)**	Maßstab: -	Proj.-Nr.: **70-20-213**
		Gezeichnet: FVO	Anl.-Nr.: **4.2**
		Geprüft: RHE	Datum: 12.02.2021