

Eine genauere stratigrafische Einordnung ist aufgrund der Homogenität der Gesteine nicht möglich.

Das generelle Streichen von Schichtung und Schieferung verläuft Nordost - Südwest. Die Schichtung und Schieferung Sf1 fallen parallel zu den Schuppenstrukturen in südöstliche Richtungen ein. Die Schieferung Sf2 fällt meist nach Nordwesten ein.

In der geologischen Karte dieses Gebietes ist zu sehen, dass im Bereich des Bauendes eine Störung den Hang kreuzt. Es handelt sich dabei um eine Auf- bzw. Überschiebung mit einer Versatzhöhe von maximal 500 m.. Im Untergrund spalten sich von dieser Störung zwei weitere ab, welche südlich des Teilobjektes aufgeschlossen sind. Die Störung versetzt Hunsrück-schiefer der Unterms – Stufe gegeneinander. Im Bereich der Störungszone treten Quarzgänge auf. Diese sind im Vergleich zum Umgebungsgestein verwitterungsresistenter und weniger geklüftet.

3. Hang- und Felsböschungen

3.1 Ingenieurgeologische Kartierung und Bewertungskonzept

Als Grundlage für die Bewertung von Standsicherheit und Gefährdung des Hanges wurden die Fels- und Lockergesteinsböschungen ausgehend von der Bahnstrecke in gesamter Höhe ingenieurgeologisch kartiert. Die Kartierung erfolgte als normale Böschungsbegehung, Böschungsbegehung mit persönlicher Schutzausrüstung (PSA) gegen Absturz bzw. Böschungsbegehung mit Arbeitsplatzpositionierung am Seil nach BGI 772.

Häufig unterliegen Trennflächensysteme in der jeweiligen Dominanz der Ausbildung und der Raumlage einer erheblichen Schwankung und Streuung. Auch Exposition und Neigung der Felsböschungen sowie die übrigen Parameter des Trennflächengefüges, wie z. B. Trennflächenabstand, Ausbisslänge und Öffnungsweite, können erheblich variieren, so dass eine Bewertung, insbesondere der kinematisch möglichen Versagensmechanismen auf Basis von Mittelwerten zu einem ungenauen und damit ggf. unsicheren oder aber auch unwirtschaftlichen Ergebnis führen würde.

Schwerpunkt der geotechnischen/ingenieurgeologischen Kartierung wurde daher auf Zonen gelegt, in denen unter Berücksichtigung der gesamten Gefügeeigenschaften von Fels- bzw. Klufkörpern einschließlich der Morphologie und Exposition der Felsböschung eine potentielle Versagens-/ Standsicherheitsgefährdung besteht. In entsprechenden Zonen wurden mit der Fels-/ Trennflächenkartierung in Messpunkten zusammengefasst neben der Raumlage der Trennflächen soweit vorhanden und einmessbar

- der Trennflächenabstand,
- die Öffnungsweite
- die Ausbisslänge,
- der Verlauf,
- die Oberflächenform und Rauigkeit sowie
- Füllungen und Wasserführungen

dokumentiert.

Im Ergebnis der Kartierung ist der Hang mit den Fels- und Lockergesteinsböschungen nach morphologischen und ingenieurgeologischen Gesichtspunkten sowie der daraus abgeleiteten Gefährdung in (Homogen-) Abschnitte untergliedert worden. Diese sind im Lageplan der Anlage 1.3 und in einem Übersichtsfoto, Anlage 1.4, in ihrer Lage und ungefähren räumlichen Erstreckung dokumentiert. Anlage 1.3 enthält weiterhin ein Bewertungsband mit folgender Untergliederung:

- Strecken-Kilometer,
- Abschnitt,
- Beschreibung,
- Gefährdung und
- Sicherungsmaßnahmen.

Die Gefährdung der Böschungen ist mit einer empirischen Bewertungsmethode nach /U11/ abgeschätzt worden. Anlage 3 enthält für einen exemplarischen Fall die verwendete Bewertungstabelle mit Gefährdungsdiagramm.

Die Größen- und Massenabschätzung nicht direkt erreichbarer Kluft-/ Ausbruchkörper erfolgte auf fotometrischer Basis in Korrelation zu angrenzenden Blöcken, deren Abmessungen aufgenommen werden konnten. Unter Berücksichtigung der entsprechenden Verzerrungen konnten so Volumenabschätzungen erfolgen, die erfahrungsgemäß den Erfordernissen einer zutreffenden Massenermittlung entsprechen.

Die je Abschnitt und Messpunkt eingemessenen Trennflächen sind im 1. Gliederungspunkt der Anlage 2 tabellarisch zusammengestellt. Der 2. Gliederungspunkt zeigt für jeden Messpunkt als ebene und räumliche Lagekugelprojektion (Schmidt'sches Netz) die Polpunkte und Großkreise der Trennflächen, die Großkreise von Hang- und Felsböschung sowie einzelne Detailfotos.

3.2 Geotechnische Bewertung und technische Maßnahmen

3.2.1 Überblick TO32/ Abschnittseinteilung

Nach geomorphologischen und ingenieurgeologischen Gesichtspunkten sowie der daraus abgeleiteten Gefährdung wurde der Hang im TO 32 Josef & Anna, der aus markanten Felsrücken /-stufen, Schutt- und Rutschhängen sowie einem ehemaligen und teilweise ungesicherten Steinbruch am nördlichen Baulosende besteht, in die (Homogen-) Abschnitte A bis G unterteilt.

Ausschlaggebend für die Abgrenzung der Homogenbereiche war eine über den gesamten Hang (vom Fuß bis zum Kopf) akkumulierte Gefährdungsabschätzung für den Bahnbetrieb, die Rutschungs- und Steinschlagereignisse sowie die Bewegungsrichtung mobilisierter Massen einschloss. Daraus resultierend verlaufen die Grenzen der einzelnen Homogenbereiche nicht zwangsläufig orthogonal zum Gleis.

Als Entscheidungs- und Bemessungsgrundlage für in den folgenden Kapiteln empfohlenen Sicherungsmaßnahmen dienen die Größe versagensgefährdeter Klufkörper bzw. Fels-/Blockpakete und ggf. auch Natursteinmauern sowie zu rutschgefährdeten Hangschuttmassen deren Korngrößenverteilung, Ablagerungsmächtigkeit und -verteilung und untergeordnet die „Stabilisierung“ infolge Bewuchs.

3.2.2 Fels-/ Trennflächenbeschreibung

Die in den geologischen Unterlagen beschriebenen geologischen und tektonischen Verhältnisse haben sich mit der Fels-/ Trennflächenkartierung für den gesamten Hang bestätigt. Die Felsböschungen werden aus Tonschiefern der Kaub-Schichten gebildet. Sie sind intensiv geschiefert (S1) und geklüftet (K1 bis K4). Die Schichtung (Sch) tritt untergeordnet auf.

Die **Schieferung S1** fällt mit 31 bis 79 ° nach Südosten (124 bis 148 °) ein. Der Trennflächenabstand schwankt zwischen 2 und 20 cm. Die Schieferungsflächen sind nur gering, bis maximal 0,5 cm, geöffnet und ungefüllt. Die Schieferung verläuft gerade und lässt sich über 1 bis 2 m verfolgen. Die Wandung der Trennflächen ist meist eben und glatt bis rau ausgebildet.

Die **Schichtung Sch** fällt mit 40 bis 62 ° nach Südosten bis Süden (120 bis 178 °) ein. Die Schichtung kann im Abstand von 1 bis 100 cm in den Aufschlüssen beobachtet werden. Sie ist gering, bis maximal 5 cm geöffnet. Die gerade verlaufenden Schichtflächen sind kleinmaßstäblich eben und glatt bis rau ausgebildet. Sie sind im Millimeter- bis Zentimeter-Bereich geöffnet und können im Aufschluss zwischen 2 und 10 m verfolgt werden.

Das **Kluftsystem** wird von den Hauptkluftscharen K1 und K2 bestimmt, diese stehen bei einem Einfallen in östliche Richtungen in einem Winkel von ca. 50 ° aufeinander. Untergeordnet treten die Kluftscharen K3 und K4 auf. Sie fallen in südliche Richtungen ein und sind nicht in allen Aufschlüssen nachvollziehbar. Alle Kluftscharen wurden auch in überkippter Lagerung angetroffen und wurden mit K1', K2', K3' und K4' bezeichnet. Die Auflockerungstiefe der Felsen mit stark geöffneten Klüften beträgt rd. 1,00 bis 1,50 m. Klüfte sind im mm- bis cm-Bereich, lokal auch im dm-Bereich geöffnet. Offene Klüfte, der K2- und K4-Kluftscharen, sind hier meist mit Gesteinsgrus und -stücken gefüllt. Nach DIN 4022 handelt es sich hierbei um Kiese und Steine mit schwach tonigen bis tonigen Beimengungen. Die K2'- und K4'-Klüfte sind teilweise mit Quarz gefüllt.

Die **Klüftung K1** fällt mit 83 bis 88 ° nach Osten (72 bis 95 °) ein. Sie verläuft gerade und ist kleinmaßstäblich meist eben und glatt bis rau ausgebildet. Die Trennflächenabstände schwanken dominant zwischen 5 und 200 cm. Die Klüftung K1 hält im Meter-Bereich aus und ist an der Felsoberfläche bis 30 cm geöffnet und kann mit Schuttmaterial und Quarz gefüllt sein. Die Klüftung K1 begrenzt in Verschneidung mit anderen Trennflächen rutschgefährdete Klufkörper. Bei überkippter Lagerung fällt die **Klüftung K1'** mit 85 ° nach Westen (280 °) ein. Ansonsten unterscheidet sie sich nicht von der Klüftung K1.

Die **Klüftung K2** fällt mit 4 bis 78 ° nach Nordnordosten bis Nordosten (22 bis 53 °) ein. Sie verläuft gerade, ist kleinmaßstäblich meist eben und rau bis glatt ausgebildet. Die Trennflächenabstände schwanken dominant zwischen 8 und 400 cm. Die Klüftung K2 hält im Meterbereich aus und ist an der Felsoberfläche bis 10 cm geöffnet, mit temporärer Wasserführung. Die K2-Klüfte sind zum Teil mit mylonitischen und limonitischen Material gefüllt. Die Klüftung K2 ist häufig böschungsbildend, kann bei übersteilen Böschungen kinematisch aber auch ebenes Gleiten ermöglichen. Bei überkippter Lagerung fällt die **Klüftung K2'** mit 56 bis 89 ° nach Südsüdwesten bis Südwesten (218 bis 248 °) ein. Sie ist Kleinmaßstäblich meist eben und rau ausgebildet und ist häufig mit Quarz gefüllt. Ansonsten unterscheidet sie sich nicht von der Klüftung K2.

Die **Klüftung K3** fällt mit 28 bzw. 66 ° nach Süden (186 bis 200 °) ein. Sie verläuft gerade und ist kleinmaßstäblich eben und glatt bis rau ausgebildet. Die Trennflächenabstände schwanken zwischen 5 und 200 cm. Die Klüftung K3 hält maximal 3 m aus und ist an der Felsoberfläche meist nur gering, bis 1 cm geöffnet. Die Klüftung K3 kann als Gleitfläche ausgebildet sein. Bei überkippter Lagerung fällt die Klüftung K3' mit 62 bis 72 ° nach Norden (352 bis 5 °) ein. Sie ist Kleinmaßstäblich meist eben und rau ausgebildet, unterscheidet sich sonst nicht von der Klüftung K3.

Die **Klüftung K4** fällt mit rd. 79 ° nach Südosten (134 °) ein. Sie verläuft wellig und ist kleinmaßstäbig eben, rau und riffelig ausgebildet. Die Trennflächenabstände betragen rd. 30 cm. Die Klüftung K4 hält 0,5 bis 1 m aus und ist an der Felsoberfläche meist nur gering, bis max. 2 cm geöffnet. Die Klüfte sind teilweise mit kleinstückigem Schuttmaterial gefüllt. Bei überkippter Lagerung fällt die Klüftung K4' mit 36 bis 54 ° nach Nordwesten (313 bis 324 °) ein. Sie verläuft gerade und ist teilweise mit Quarz gefüllt. Ansonsten unterscheidet sich die Klüftung K2' nicht von der Klüftung K2.

Der **Fels** ist an der Böschungsoberfläche im Wesentlichen angewittert und in seinem Gefüge bereits bis in Tiefen von rd. 1,0 bis 2,0 m aufgelockert. An den Böschungsschultern sowie an Vorsprüngen wurden Felsbewegungen/ Gefügeauflockerungen infolge Wurzeldruck beobachtet. Die Ausbildung von Kluftwasser- und/ oder Frostdruck ist möglich. Mehrfach wurde Wild beobachtet (Auslöser für Steinschlag aus Lockermassen).

Die **Kluftkörper** sind nach MÜLLER¹ meist kleintäfelig/ schiefrig bis quaderig-bankig geformt. Kinematisch sind gleitende, kippende und fallende Bewegungen gelöster Kluftkörper bzw. von Felsblöcken möglich. Abgleitende Kluftkörper/ Blöcke beginnen auf der Böschung mit hoher Wahrscheinlichkeit zu rotieren und können fallen. Mit dem Transport werden die Kluftkörper/ Felsblöcken vorwiegend in kleintäfelige, mit zunehmendem Entfestigungsgrad auch bis splitterige Körper zerteilt. Je Aufschlag ist ein Zerfallen/ Zerkleinern der Blöcke um rd. 25 % zur Ausgangsgröße zu erwarten.

Die **Durchtrennungsgrade** aller Trennflächen schwanken nach Bewertung der Böschungsoberflächen erheblich, wobei sie tendenziell mit größerem Abstand zur Böschungsoberfläche abnehmen. Für die Klüfte liegt der Durchtrennungsgrad rechnerisch im Mittel bei 0,4. Dabei schwanken die Werte zwischen 0,05 und 1,00. Für die Betrachtung des Durchtrennungsgrades

¹ MÜLLER, L.: Der Felsbau. Bd. 1, Stuttgart 1963

wurden die S1 und Sch-Flächen nicht mit in Betracht gezogen, da sie im Regelfall keine oder nur lokal geöffnete Kluftflächen aufweisen. Werden diese in die Bestimmung des Durchtrennungsgrades mit einbezogen, ergeben sich durchgehend Werte von 1,0, die erfahrungsgemäß die tatsächlichen örtlichen Gegebenheiten nicht realistisch widerspiegeln.

Kluftwasser wurde während der Erkundungsarbeiten nur vereinzelt in Form durchfeuchteter Kluftfüllungen angetroffen. Auf Grund der zum Teil erheblichen Kluftweiten bei offenen Felsbildungen und unter Berücksichtigung von Zeigerpflanzen wie z.B. Moose und Farne muss während der Schneeschmelze und/oder längeren bzw. stärkeren Regenfällen mit zeitweilig wassergefüllten Kluftsystemen gerechnet werden.

3.2.3 Abschnitte

3.2.3.1 Abschnitt A (km 133,830 – km 133,985)

Der Abschnitt A umfasst im Wesentlichen die Mündung des Elligbachtals in das Rheintal, an der der Hangfuß mindestens 20 m von den Gleisanlagen entfernt ist. Der Elligbach wird mit einem Durchlass rd. an km 133.930 unter der DB-Strecke Richtung Rhein geführt.

Der untere Hang wird überwiegend von einer annähernd senkrechten, bis zu 20 m hohen Felsböschung dominiert. Die anstehende Felsböschung ist zum Teil im Gefüge entfestigt. Die Kluftsysteme K1 und K2 bilden im Zusammenhang mit den Schieferungsflächen rhomboedrische bis plattige Kluftkörper bis 1m³. Der Ausbruch von Blockpaketen bis 10m³ ist möglich.

Oberhalb der Felsböschungen setzt sich ein überwiegend Schutt bedeckter, bewaldeter Hang mit Neigungen bis rd. 40 ° fort. Das lose Schuttmaterial erreicht Größen bis 1,0 x 0,6 x 0,4m.

Die erhebliche Schuttüberdeckung sowie der relativ dichte Baumbestand führen zu einer deutlichen Abbremsung/ Dämpfung abrollender Gesteinskörper. Sollten einzelne Steine die Felsoberkante erreichen und/oder Fels-/ Kluftkörper aus ihr ausbrechen, so weisen sie eine geringe Anfangsgeschwindigkeit und damit eine entsprechend steil nach unten gerichtete Flugbahn auf.

Auf Grund des großen horizontalen Fangraumes am Hangfuß ist eine Gefährdung der Gleisanlagen durch Stein-/ Blocks Schlag aus den mittleren und oberen Hangbereichen, als auch aus der Felsböschung im unteren Hangbereich weitgehend auszuschließen.

Es ist nicht auszuschließen, dass bei Extremniederschlägen auf Grund des großen Einzugsgebietes des Elligbachtals durch Wasser mobilisierte Schuttmassen in Richtung Gleis transportiert werden und sich im gleisnahen Raum ablagern. Die Wahrscheinlichkeit eines solchen Murganges wird allerdings als sehr gering eingeschätzt.

Das Gefährdungspotential ist mit gering (grün) einzustufen.

Zur Gewährleistung der Sicherheit des Bahnbetriebes sind derzeit keine baulichen Maßnahmen erforderlich.

3.2.3.2 Abschnitt B (km 133,985 – km 134,230)

Der Abschnitt B wird durch einen durch Rinnen- und Rückenstrukturen geprägten Hang gebildet. Markant ist ungefähr in Abschnittsmittle ein schräg zum Hang, annähernd West – Ost verlaufender Rücken, dessen Nordflanke als steile bis übersteile Felsböschung bis rd. 180 mNN bzw. rd. 100 m ü. SO erkennbar ist. Der Hangfuß ist zwischen rd. 7 und 17 m von den Gleisanlagen entfernt. Der Abstand nimmt in der Tendenz mit der Kilometrierung ab.

Die untere Hangzone wird überwiegend von annähernd senkrechten, bis zu 15 m hohen Felsböschungen dominiert, deren Verlauf im Wesentlichen dem Hangstreichen folgt. Der Fels ist an der Böschungsoberfläche im Gefüge entfestigt. Die Kluftscharen K1 und K2 sind maßgeblich Böschung bildend. Das gesamte Trennflächensystem zerteilt den Fels überwiegend in rhomboedrische bis plattige Kluftkörper mit max. rd. 1 m³ Größe. Vor allem Hinterschneidungen durch die K2-Klüfte können aber auch zu ausbruchgefährdeten Blockpacketen bis 5m³ führen. Auf Grund des im Vergleich zur Felshöhe meist geringeren horizontalen Fangraumes am Hangfuß und des daraus resultierenden möglichen Fallweges geht von derartigen Ausbrüchen eine mittlere Gefährdung für den Bahnbetrieb aus.

Oberhalb der Felsböschung geht der Hang mit allmählicher Abflachung in einen schuttbedeckten, bewaldeten Hang über, der bei rd. 50m ü. SO eine Neigung von 40° erreicht. Das lose Schuttmaterial erreicht im gesamten Hang Größen bis 1,0 x 0,6 x 0,4m. Die Schuttüberdeckung wechselt entlang des Hanges erheblich. Entsprechend variiert auch dessen dämpfende/ abbremsende Wirkung gegenüber abrollenden Gesteinskörpern. Sollten einzelne Steine die Felsoberkante erreichen, können sie eine hohe kinetische Energie besitzen. Auf Grund des relativ geringen horizontalen Fangraumes am Hangfuß ist eine Gefährdung der Gleisanlagen durch Steinschlag aus den mittleren und oberen Hangbereichen vorhanden.

Auffallend ist der im Hang generell vorhandene Säbelwuchs an Bäumen sowie die Häufigkeit abgestorbener und entwurzelter Bäume. Dies deutet zumindest lokal auf Kriech-/ Rutschbewegungen der Schuttüberdeckung hin.

Im gesamten Hangbereich sind alte Fang-, Stütz- und Begrenzungsmauern vorhanden. Diese befinden sich meist in einem schlechten bis sehr schlechten Zustand. Häufig sind ganze Mauerteile sowie die hinterfüllenden Massen ausgebrochen. Diese Mauern stellen eine zusätzliche Gefährdung des Bahnbetriebes dar, da einzelne Steine und Blöcke der durch Ausbruch mobilisierten Schuttmassen bzw. Mauerteile selbst das Gleis erreichen können.

Das kumulierte Gefährdungspotential ist mit mittel einzustufen.

Zur Gewährleistung der Sicherheit des Bahnbetriebes empfehlen sich im Abschnitt B folgende bauliche Sicherungsmaßnahmen:

- Sicherung kleiner, steinschlaggefährdeter Felsblöcke/ Kluftkörper/ Schuttmassen bzw. versagensgefährdeter alter Stütz-/ Fangmauern durch Fangzäune (an der Oberkante der Felsböschung; Bemessungskörper Einschlag 1,0 x 0,6 x 0,4m / V ~0,25m³ / G ~ 650 kg),
- Sicherung der gleisnahen Felsböschung gegen ausbruchgefährdete Kluftkörper/ Felsblöcke mit anliegenden Steinschlagschutznetzen (Bemessungskörper Ausbruch: bis rd. 1,0 m³; Auflockerungstiefe rd. 0,50 m),

3.2.3.3 Abschnitt C (km 134,230 – km 134,375)

Der Abschnitt C wird durch eine Felsböschung direkt neben dem Gleis und den darüber liegenden, meist Schutt bedeckten Steilhang gebildet. Der Abstand der Gleisanlagen vom Hangfuß nimmt mit der Kilometrierung von rd. 4 auf 2 m ab.

Die untere Hangzone wird von einer übersteilen, rd. 2 bis 8 m hohen Felsböschung dominiert, deren Verlauf im Wesentlichen dem Hangstreichen folgt. Der Fels ist an der Böschungsoberfläche im Gefüge entfestigt. Die Kluftscharen K1 und K2 sind maßgeblich Böschung bildend. Das komplexe Trennflächensystem (vgl. MP 1 in Anlage 4.2, Blatt 1) zerteilt den Fels überwiegend in rhomboedrische bis plattige Kluftkörper mit max. rd. 1 m³ Größe. Verschneidungen verschiedener Trennflächen können zu kinematisch gleitgefährdeten Kluftkörpern führen. Die östlichen Randzonen von Felsböschungen sind durch Abgleiten von Felsblöcken/ -paketen auf Schichtung und/ oder Schieferung gefährdet. Ausbruchgefährdete Blockpaketen erreichen Volumen bis rd. 5m³. Auf Grund des im Vergleich zur Felshöhe geringen horizontalen Fangraumes am Hangfuß und des daraus resultierenden möglichen Fallweges geht für den Bahnbetrieb eine mittlere Gefährdung durch Stein- und Blockschlag aus.

Oberhalb der Felsböschung geht der Hang mit allmählicher Abflachung in einen schuttbedeckten, bewaldeten, durchschnittlich 40 ° und max. bis 50 ° geneigten Hang über. Das lose Schuttmaterial erreicht im gesamten Hang Größen bis 1,0 x 0,6 x 0,4m. Die Mächtigkeit der Schuttüberdeckung wechselt entlang des Hanges erheblich. Die zum Teil bindige Schuttüberdeckung sowie der relativ lichte Baumbestand führen zu einer nur geringen Abbremsung/Dämpfung oberflächlich abrollender Gesteinskörper. Mobilisierte Gesteinskörper können so auf Grund der relativ ebenmäßigen Hangverläufe hohe Fallgeschwindigkeiten und Energien sowie die Gleisanlagen erreichen. Auf Grund des relativ geringen horizontalen Fangraumes am Hangfuß ist eine Gefährdung der Gleisanlagen durch Steinschlag aus den mittleren und oberen Hangbereichen vorhanden.

Auffallend ist der im Hang generell vorhandene Säbelwuchs an Bäumen sowie die Häufigkeit entwurzelter Bäume. Dies deutet auf langsame Kriech-/ Rutschbewegungen der Schuttüberdeckung hin.

Im gesamten, über der Felsböschung liegenden Hang, befinden sich Sicherungseinbauten in Form von Natursteinstützmauern in Trockenbauweise. Diese sind in der Regel in einem schlechten bis sehr schlechten Zustand. Ausbauchungen sowie geweitete Stoßfugen deuten auf erhebliche Überbelastungen hin. Einzelne Mauern sind gebrochen. Dabei lösten die abrollenden und abrutschenden Mauerhinterfüllungen lokale Rutschungen und vereinzelt Steinschläge aus. Diese Mauern stellen eine zusätzliche Gefährdung des Bahnbetriebes dar, da einzelne Steine und Blöcke der durch Ausbruch mobilisierte Schuttmassen das Gleis erreichen können.

In südlicher Richtung nimmt die Hangneigung stark zu. In diesem Bereich treten einzelne kleine Felsböschungen von bis zu 5m Höhe gestaffelt von 90 mNN bis 130 mNN übereinander und einer N-Ausrichtung zu Tage. Die Böschungsoberfläche hat hier Neigungen von bis zu 75°. Im Mittel liegt sie bei 60°. Aus diesem Bereich ausbrechende Steine und Blöcke erreichen direkt das Gleis. Der Fels ist hier zum teil tiefgründig im Gefüge entfestigt. Sicherungseinbauten sind nicht vorhanden. Örtlich sind Kluftweiten im dm-Bereich zu beobachten. Es

sind vor allem scheibenartige Blockbildungen durch Hinterschneidung durch die K2- und K3'-Klüfte zu beobachten. Lose, auf Bermen liegende Klufkörper haben Maße von 2,0 x 2,0 x 1,0m.

Das Gefährdungspotential ist mit stark einzustufen.

Zur Gewährleistung der Sicherheit des Bahnbetriebes empfehlen sich im Abschnitt C folgende bauliche Sicherungsmaßnahmen:

- Sicherung kleiner, steinschlaggefährdeter Felsblöcke/ Klufkörper/ Schuttmassen bzw. versagensgefährdeter alter Stütz-/ Fangmauern durch Fangzäune mit
 - mittlerem Energieaufnahmevermögen (an der Oberkante der gleisnahen Felsböschung; Bemessungskörper Einschlag: 1,0 x 0,6 x 0,4 m / V ~ 0,25 m³ / G ~ 650 kg) und
 - hohem Energieaufnahmevermögen (an der Oberkante der gleisnahen Felsböschung; Bemessungskörper Einschlag: 2,0 x 2,0 x 1,0m / V ~ 4,0 m³ / G ~ 10.400kg)
- Sicherung der gleisnahen Felsböschung gegen ausbruchgefährdete Klufkörper/ Felsblöcke mit anliegenden Steinschlagschutznetzen (Bemessungskörper Ausbruch: bis rd. 1,0 m³; Auflockerungstiefe rd. 0,50 m).

3.2.3.4 Abschnitt D (km 134,375 – km 134,430)

Der Abschnitt D wird bis rd. 30...50 m ü. SO (110...130 mNN) durch übersteile Felsböschungen mit Einzelhöhen bis rd. 25 m sowie zwischen- und teilweise bis zum Hangfuß vorgelagerte Schuttböschungen gebildet. Oberhalb der Felsböschungen folgt ein steiler Schutthang, dessen Neigung von 45 bis 50 ° bis zum Höhenniveau rd. 140 mNN auf 33 bis 37 ° abnimmt. Der Schutthang bis rd. 205 mNN setzt sich mit gleicher Neigung fort und ist durch relativ gleichmäßigen Verlauf gekennzeichnet.

Zum Schutz der Gleisanlagen vor Stein-/ Blockschlag aus der markanten Felsböschung wurde unmittelbar neben dem Gleis eine bis zu 8m hohe kombinierte Fang-/ Stützmauer errichtet (siehe Anlage 5.2, Blatt 1). Der Zustand dieser Mauer ist optisch bis auf kleine Rissbildungen mit gut einzuschätzen. Der ursprüngliche Fangraum ist jedoch stark vermindert. Er weist zum Teil nur noch einen offenen Fangraum von 0,5m Höhe auf. Der hinter der Fangmauer abgelagerte Blockschutt erreicht Einzelgrößen von bis zu 2,5 x 2,0 x 1,0m (5m³).

Bei km 134.400 sind in der Felsböschung in einer Höhe von rd. 25 m ü. SO überhängende/ unterschrittene Zonen durch einen gemauerten Stützpfiler gesichert.

Die südöstlich dieses Stützpfilers befindlichen Felsböschungen neigen stark zu großblockigen Ausbrüchen mit Abmessungen bis zu 7,0 x 5,0 x 2,5m (V ~ 90m³ / G ~ 240t). Sie sind hier durch sehr große Kluftabstände und Kluftweiten der K1- und K2-Flächen sowie lokal eine Ausbildung der K2-Fläche als hangparallele Gleitfläche gekennzeichnet (vgl. Anlagen 5.2, Blatt 2 und 3) . Am Böschungskopf sind bis dm-breite Abrisse vorhanden. Ein Abgleiten von Großblöcken in Richtung Tal ist möglich. Frische Ausbruchstellen mit Grundflächen im m²-Bereich sind sichtbar.

Nordwestlich des Stützpfelers ist etwa 30 m ü. SO eine Berme mit 45° Neigung und einer Breite von 2m vorhanden. Diese wirkt bei Steinschlagereignissen aus den oberen Felsbereichen wie eine Rampe. Darauf aufschlagende Klufkörper dürften Flugbahnen bis in das bahnlinke Gleis haben.

Im Hang oberhalb der Felsböschungen mobilisierte Schuttmassen (z.B. ausgelöst durch Windbruch oder Wildwechsel) können auf Grund des nur noch geringen Fangraumes der am Hangfuß befindlichen Fang-/ Stützmauer das Gleis erreichen.

Das Gefährdungspotential ist mit stark einzustufen.

Zur Gewährleistung der Sicherheit des Bahnbetriebes empfehlen sich im Abschnitt D folgende bauliche Sicherungsmaßnahmen:

- Sicherung großer, steinschlaggefährdeter Felsblöcke im oberen Felsbereich südöstlich der Stützmauer durch
 - Vernagelung in Kombination mit Schwerlastnetz und/oder
 - Stahlseilumgürtungen,
- Sicherung kleinerer steinschlaggefährdeter Klufkörper/ Felsblöcke aus der Felsböschung durch Fangzaun hohen Energieaufnahmevermögens (Bemessungskörper Ausbruch: 2,0 x 1,0 x 1,0m /V = 2m³ / G ~ 5.200kg).

Der angegebene Bemessungskörper für den Fangzaun setzt die Sicherung der Großblöcke im oberen Felsbereich voraus. Ergänzend könnten die hinter der Fangmauer befindlichen Schuttmassen zerkleinert und abtransportiert werden. Durch Erweiterung bzw. Wiederherstellung dessen Fangraumes könnte der notwendige Fangzaun an seinem südöstlichen Ende um ca. 20m verkürzt werden.

3.2.3.5 Abschnitt E (km 134,430 – km 134,850)

Der Abschnitt E wird im Wesentlichen durch einzelne Felsböschungen direkt neben dem Gleis und den darüber liegenden Steilhang gebildet. Die gleisnahen Felsböschungen erreichen Höhen zwischen 2 und 7 m. Der Steilhang ist durch ausgeprägte Rinnen- und Grat-/ Rückenstrukturen mit stark wechselnder Schuttbedeckung sowie im gesamten Hang verteilte einzelne Felsböschungen zwischen 5 und 20 m Höhe geprägt.

Die gleisnahen Felsböschungen sind zum Teil im Gefüge entfestigt. Vor allem die Hauptkluftscharen K1 und K2 bilden im Zusammenhang mit den Schichtungs- und Schieferungsflächen rhomboedrische bis plattige Klufkörper bis 0,5m³. Der Ausbruch von Blockpaketen bis 2m³ ist möglich.

Oberhalb dieser Felsböschung weist der bewaldete Schutthang eine Neigung von annähernd 40° auf. Lokal sind Hangneigungen von bis zu 50° vorhanden. Über den gesamten Hang verteilt befindet sich loses Schuttmaterial mit verschiedener Überdeckungsmächtigkeit. Generell ist festzustellen, dass in den Südflanken der Rinnenstrukturen plattige Blöcke abgleiten und zum Stillstand kommend meist im Hang verbleiben. Die Größe dieser Platten erreicht vereinzelt 3,0 x 2,0 x 0,8m. In den Nordflanken der Rinnenstrukturen überwiegt quaderförmiges bis

rhomboedrisches Schuttmaterial geringerer Größe (max. $1,0 \times 0,7 \times 0,5\text{m}$ / $V = 0,35\text{m}^3$ / $G \sim 900\text{kg}$). Größere Blöcke dürften hier rotierend und dabei kleiner werdend den Hangfuß erreichen.

Auffallend ist der im Hang generell vorhandene Säbelwuchs an Bäumen sowie die Häufigkeit entwurzelter Bäume. Dies deutet auf langsame Kriechbewegungen der Hangschuttbedeckung hin. Die Vitalität des Bewuchses unterstreicht, dass es sich bei diesen Hangbewegungen um sehr langsame Prozesse handeln muss, da das Wurzelwerk noch intakt ist. Kleinere oberflächige Rutschungen mit einem Volumen von mehreren m^3 sind verursacht durch umgestürzte Bäume und/oder brechende bzw. kippende Stützmauern möglich und stellen eine Gefährdung des Bahnbetriebes dar. Im gesamten Hang ist eine Schuttkegelbildung hinter Baumstämmen vorhanden.

Die geländenah zum Teil bindige Schuttüberdeckung sowie der relativ lichte Baumbestand führen zu einer nur geringen Abbremsung/Dämpfung oberflächlich abrollender Gesteinskörper. Verbunden mit den relativ ebenmäßigen Hangverläufen können die Gesteinskörper hohe Fallgeschwindigkeiten und kinetische Energien und damit die Gleisanlagen erreichen.

Im vor beschriebenen Schutthang befinden sich insgesamt einzelne Sicherungseinbauten in Form von Natursteinstützmauern in Trockenbauweise. Diese sind in der Regel in einem schlechten bis sehr schlechten Zustand. Ausbauchungen, Verkippungen, Fußbewegungen geweitete Stoß-/ Lagerfugen deuten auf erhebliche Überbelastungen im Nahbereich des Grenzgleichgewichtes hin. Einzelne Mauern sind gebrochen. Dabei lösten die abrollenden und abrutschenden Mauerhinterfüllungen bzw. Mauerteile lokale Rutschungen und vereinzelt Steinschläge aus. Die Natursteinstützmauern stellen eine zusätzliche Gefährdung des Bahnbetriebes dar.

Die im gesamten Schutthang befindlichen einzelnen Felsböschungen erreichen Höhen zwischen 5 und 20 m und horizontale Ausdehnungen bis 50 m Länge. Deren Ausrichtung und Oberfläche entspricht häufig dem Verlauf der K2-Flächen. Lokal werden die Felsböschungen aber auch von der K2-Klüftung gleitgefährdet unterschritten. Die Ausbißlängen der vorhandenen Klüfte liegen generell im Meterbereich, lokal sind Klüftweiten im oberen dm-Bereich vorhanden. Die Klüftdaten schwanken erheblich, was auf das Verkappen ganzer Felsbereiche hindeutet. Der Fels ist stark bis tiefgründig im Gefüge entfestigt. Frische Ausbruchstellen konnten in den Felsböschungen oberhalb Kilometer 134,600 und Kilometer 134,78 festgestellt werden. Die Größe einzelner, am Fuß der Felsböschung verbliebener Blöcke erreichte 5m^3 . Unterhalb im Hang verbliebene Blöcke erreichen Größen bis 2m^3 . Dies belegt den zunehmenden Zerfall von über den Hang abrollender Fels-/ Klüftkörper.

Das Gefährdungspotential ist mit stark einzustufen.

Zur Gewährleistung der Sicherheit des Bahnbetriebes empfehlen sich im Abschnitt E folgende bauliche Sicherungsmaßnahmen:

- Sicherung der gleisnahen Felsböschung gegen ausbruchgefährdete Klüftkörper/ Felsblöcke mit anliegenden Steinschlagschutznetzen (Bemessungskörper Ausbruch: bis rd. $1,0\text{m}^3$; Auflockerungstiefe rd. $0,50\text{m}$).

- Sicherung kleinerer steinschlaggefährdeter Felsblöcke/ Kluftkörper/ Schuttmassen bzw. versagensgefährdeter alter Stütz-/ Fangmauern durch Fangzaun mittleren und hohen Energieaufnahmevermögens mit folgenden Bemessungsparametern:
 - Fallweg max. 50m (Bemessungskörper Einschlag: $1,0 \times 0,7 \times 0,5\text{m} / V \sim 0,35\text{m}^3 / G \sim 900\text{kg}$),
 - Fallweg über gesamten Hang (Bemessungskörper Einschlag: $0,8 \times 0,4 \times 0,3\text{m} / V \sim 0,1\text{m}^3 / G \sim 260\text{kg}$)

3.2.3.6 Abschnitt F (km 134,850 – km 135,320)

Der Abschnitt F wird im Wesentlichen durch einzelne Felsböschungen direkt neben dem Gleis und den darüber liegenden Steilhang gebildet. Die gleisnahen Felsböschungen erreichen Höhen zwischen 2 und 7 m. Der Steilhang ist durch ausgeprägte Rinnen- und Grat-/ Rückenstrukturen mit wechselnder Schuttbedeckung sowie im gesamten Hang verteilte einzelne Felsböschungen zwischen 2 und 10 m Höhe geprägt.

Aus betrieblichen Gründen war eine Dokumentation und Bewertung der gleisnahen Felsböschungen nicht direkt möglich. Es konnte lediglich eine Besichtigung von der Rheinuferstraße und Bewertung anhand der Fotodokumentation erfolgen. Die Ausbildung dürfte im Wesentlichen der im Abschnitt E entsprechen. Die Größen der Kluftkörper (bis $0,3\text{m}^3$) und Blockpakete (bis 1m^3) werden etwas geringer eingeschätzt. Gemäß der Abbildung in Anlage 7.1 sind lokal Gleitflächen in Richtung Gleis ausgebildet (vermutlich K2).

Oberhalb der gleisnahen Felsböschungen weist der Hang Neigungen von annähernd 35° bis 40° auf. Lokal sind Hangneigungen von bis zu 50° vorhanden. Über den gesamten Hang verteilt befindet sich loses Schuttmaterial mit verschiedener Überdeckungsmächtigkeit. Generell ist festzustellen, dass in den Südflanken der Rinnenstrukturen plattige Blöcke abgleiten und zum Stillstand kommend meist im Hang verbleiben. Die Größe dieser Platten erreicht vereinzelt $3,0 \times 2,0 \times 0,8\text{m}$. In den Nordflanken der Rinnenstrukturen überwiegt quaderförmiges bis rhomboedrisches Schuttmaterial geringerer Größe (max. $1,0 \times 0,7 \times 0,5\text{m} / V = 0,35\text{m}^3 / G \sim 900\text{kg}$). Größere Blöcke dürften hier rotierend und dabei kleiner werdend den Hangfuß erreichen.

Auffallend ist der im Hang generell vorhandene Säbelwuchs an Bäumen sowie die Häufigkeit entwurzelter Bäume. Dies deutet auf langsame Kriechbewegungen der Hangschuttbedeckung hin. Die Vitalität des Bewuchses unterstreicht, dass es sich bei diesen Hangbewegungen um sehr langsame Prozesse handeln muss, da das Wurzelwerk weitgehend intakt ist. Kleinere oberflächige Rutschungen auf Grund von umstürzenden Bäumen und/oder brechenden bzw. kippenden Stützmauern mit einem Volumen von mehreren m^3 sind möglich und stellen eine Gefährdung des Bahnbetriebes dar. Im gesamten Hang ist eine Schuttkegelbildung hinter Baumstämmen vorhanden.

Die erhebliche Schuttüberdeckung sowie der relativ dichte Baumbestand führen zu einer deutlichen Abbremsung/ Dämpfung oberflächlich abrollender Gesteinskörper, so dass diese bei Erreichen der Gleisanlagen nur eine relativ geringe kinetische Energie besitzen.

Im vor beschriebenen Schutthang befinden sich insgesamt einzelne Sicherungseinbauten in Form von Natursteinstützmauern in Trockenbauweise. Diese sind in der Regel in einem schlechten bis sehr schlechten Zustand. Ausbauchungen, Verkippungen, Fußbewegungen ge- weitete Stoß-/ Lagerfugen deuten auf erhebliche Überbelastungen im Nahbereich des Grenz- gleichgewichtes hin. Einzelne Mauern sind gebrochen. Dabei lösten die abrollenden und ab- rutschenden Mauerhinterfüllungen bzw. Mauerteile lokale Rutschungen und vereinzelte Stein- schläge aus. Die Natursteinstützmauern stellen eine zusätzliche Gefährdung des Bahnbetriebes dar.

Die im gesamten Schutthang befindlichen einzelnen Felsböschungen erreichen Höhen zwi- schen 2 und 10 m und horizontale Ausdehnungen bis rd. 10 m Länge. Deren Ausrichtung und Oberfläche entspricht häufig dem Verlauf der K2-Flächen. Lokal werden die Felsböschungen aber auch von der K2-Klüftung gleitgefährdet unterschritten. Die Ausbißlängen der vorhan- denen Klüfte liegen generell im Meterbereich, lokal sind Klüftweiten im oberen dm-Bereich vorhanden. Die Klüftdaten schwanken erheblich, was auf das Verkappen ganzer Felsbereiche hindeutet.

Das Gefährdungspotential ist mit mittel einzustufen.

Zur Gewährleistung der Sicherheit des Bahnbetriebes empfehlen sich im Abschnitt F folgende bauliche Sicherungsmaßnahmen:

- Sicherung der gleisnahen Felsböschung gegen ausbruchgefährdete Klüftkörper/ Felsblöcke mit anliegenden Steinschlagschutznetzen (Bemessungskörper Ausbruch: bis rd. 1,0 m³; Auflockerungstiefe rd. 0,50 m).
- Sicherung kleinerer steinschlaggefährdeter Felsblöcke/ Klüftkörper/ Schuttmassen bzw. versagensgefährdeter alter Stütz-/ Fangmauern durch Fangzaun mittleren und hohen Ener- gieaufnahmevermögens mit folgenden Bemessungsparametern:
 - Fallweg max. 50m (Bemessungskörper Einschlag: 1,0 x 0,7 x 0,5m / V ~ 0,35m³/ G ~ 900kg),
 - Fallweg über gesamten Hang (Bemessungskörper Einschlag: 0,8 x 0,4 x 0,3m / V ~ 0,1m³ / G ~ 260kg)

3.2.3.7 Abschnitt G (km 135,320 – km 135,420)

Der Abschnitt G wird durch einen direkt neben den Gleisanlagen beginnenden Steilhang ge- bildet. Der Steilhang ist durch flache Rinnen- und Grat-/ Rückenstrukturen mit erheblicher Schuttbedeckung sowie im gesamten Hang verteilte einzelne Felsböschungen zwischen 2 und 5 m Höhe geprägt.

Am Hangfuß direkt neben dem Gleis ist eine rd. 0,5 bis 1,0 m hohe Stützmauer vorhanden. Diese ist komplett hinterfüllt, so dass kein Fangraum für abrollende Steine vorhanden ist.

Im südlichen Teil des Abschnittes verläuft rd. 10 m ü. SO ein Wanderweg. Oberhalb des Wanderweges befindet sich ein Privatgelände mit Wohnbebauung.

Der Steilhang weist Neigungen von 35° bis 40° auf. Lokal sind Hangneigungen von bis zu 50° vorhanden. Über den gesamten Hang verteilt befindet sich loses Schuttmaterial mit verschiedener Überdeckungsmächtigkeit. Generell ist festzustellen, dass in den Südflanken der Rinnenstrukturen plattige Blöcke abgleiten und zum Stillstand kommend meist im Hang verbleiben. Die Größe dieser Platten erreicht vereinzelt 2,0 x 1,0 x 0,6m. In den Nordflanken der Rinnenstrukturen überwiegt quaderförmiges bis rhomboedrisches Schuttmaterial geringerer Größe (max. 1,0 x 0,7 x 0,5m/ $V = 0,35\text{m}^3$ / $G \sim 900\text{kg}$). Größere Blöcke dürften hier rotierend und dabei kleiner werdend den Hangfuß erreichen.

Auffallend ist der im Hang generell vorhandene Säbelwuchs an Bäumen sowie die Häufigkeit entwurzelter Bäume. Dies deutet auf langsame Kriechbewegungen der Hangschuttbedeckung hin. Die Vitalität des Bewuchses unterstreicht, dass es sich bei diesen Hangbewegungen um sehr langsame Prozesse handeln muss, da das Wurzelwerk weitgehend intakt ist. Kleinere oberflächige Rutschungen auf Grund von umstürzenden Bäumen und/oder brechenden bzw. kippenden Stützmauern mit einem Volumen von mehreren m^3 sind möglich und stellen eine Gefährdung des Bahnbetriebes dar. Im gesamten Hang ist eine Schuttkegelbildung hinter Baumstämmen vorhanden.

Die erhebliche Schuttüberdeckung sowie der relativ dichte Baumbestand führen zu einer deutlichen Abbremsung/ Dämpfung oberflächlich abrollender Gesteinskörper, so dass diese bei Erreichen der Gleisanlagen nur eine relativ geringe kinetische Energie besitzen.

Im vor beschriebenen Schutthang befinden sich insgesamt einzelne Sicherungseinbauten in Form von Natursteinstützmauern in Trockenbauweise. Diese sind in der Regel in einem schlechten bis sehr schlechten Zustand. Ausbauchungen, Verkippungen, Fußbewegungen geweitete Stoß-/ Lagerfugen deuten auf erhebliche Überbelastungen im Nahbereich des Grenzgleichgewichtes hin. Einzelne Mauern sind gebrochen. Dabei lösten die abrollenden und abrutschenden Mauerhinterfüllungen bzw. Mauerteile lokale Rutschungen und vereinzelt Steinschläge aus. Die Natursteinstützmauern stellen eine zusätzliche Gefährdung des Bahnbetriebes dar.

Die im gesamten Schutthang befindlichen einzelnen Felsböschungen erreichen Höhen zwischen 2 und 5 m und horizontale Ausdehnungen bis rd. 10 m Länge. Deren Ausrichtung und Oberfläche entspricht häufig dem Verlauf der K2-Flächen. Der Fels ist stark bis tiefgründig im Gefüge entfestigt. Die Ausbißlängen der vorhandenen Klüfte liegen im Meterbereich. Das Trennflächensystem bildet rhomboedrische bis plattige Klufkörper bis $0,3\text{m}^3$. Der Ausbruch von Blockpaketen bis 1m^3 ist möglich.

Das Gefährdungspotential ist mit mittel einzustufen.

Zur Gewährleistung der Sicherheit des Bahnbetriebes empfehlen sich im Abschnitt G unter Berücksichtigung der direkten Gleisnähe des Hangfußes, des im südlichen Teil des Abschnittes vorhandenen Wanderweges und Privatgeländes sowie des daraus resultierenden geringen Fangraumes folgende bauliche Sicherungsmaßnahmen:

- Sicherung kleinerer steinschlaggefährdeter Felsblöcke/ Klufkörper/ Schuttmassen bzw. versagensgefährdeter alter Stütz-/ Fangmauern durch Fangmauer als Gabionenwand (Fallweg max. 50m (Bemessungskörper: 1,0 x 0,7 x 0,5m / V ~ 0,35m³/ G ~ 900kg).

3.2.4 Rechenwerte

3.2.4.1 Lockergestein

Lockergestein tritt in allen Abschnitten als Hangschutt und ggf. geringmächtige Hanglehm- sowie Oberboden-Bedeckung auf. Da keine Baugrund-/ Felduntersuchungen durchzuführen waren, können für die Lockergesteinsschichten keine charakteristischen Werte im Sinne der DIN 4020 bzw. DIN 1054:2005 (φ'_k etc.) und/oder Rechenwerte im Sinne der DIN 1055-2:1976 (cal φ' etc.) angegeben werden.

Wie bereits in den vorangegangenen Kapiteln erläutert, können Rechenwerte im Zuge der weiteren Planung ausschließlich durch Vergleichs-/ Rückrechnungen der Gesamtstandsicherheit gewonnen werden. Hierbei müssen zur Mächtigkeit des Hangschuttes, dem Verlauf der Felsoberfläche und letztlich auch der Schichtwasser Oberfläche Annahmen getroffen werden, so dass diesen Werten letztlich nur ein abschätzender Charakter zuzuweisen ist.

3.2.4.2 Fels und Festgestein/

Trennflächen

Stand sicherheits- und Stabilitätsuntersuchungen im Fels basieren im Wesentlichen auf dem Gefüge der Trennflächen sowie deren Scherfestigkeit. Das Trennflächengefüge wurde in den Kap. 3.1 und 3.2 beschrieben.

Die Scherfestigkeit der Trennflächen ist neben dem Durchtrennungsgrad maßgeblich von

- dem Verlauf (großmaßstäblich),
- der Oberflächenform und Rauigkeit (kleinmaßstäblich),
- der Öffnungsweite,
- Art und Eigenschaften vorhandener Füllungen sowie
- möglichen Wasserführungen

abhängig. Die vorgenannten Eigenschaften sind zu den Abschnitten B bis E in Anlage 3.1 u. ff. beschrieben. Sie gelten streng genommen nur für die dokumentierten Messpunkte. Es muss naturgemäß von einer Bandbreite der beschriebenen Eigenschaften und damit auch der Scherfestigkeiten ausgegangen werden. Zur Festlegung der Scherfestigkeitsparameter kann daher aus vorgenannten Gründen nicht bzw. nur bedingt auf Erfahrungs- bzw. Tabellenwerte zurückgegriffen werden.

Die im TO 32 – Josef und Anna für die Gefährdung maßgeblichen K2-Klüfte sind bei größerer Öffnungsweite teilweise mit Gesteinsgrus und –stücken gefüllt. Dies gilt eingeschränkt auch für die übrigen Klüfte. Hier kann die Scherfestigkeit analog zu Erfahrungs-/ Tabellen-

werten von Lockergesteinen unter Berücksichtigung einer anzunehmenden Lagerung/ Konsistenz abgeschätzt werden. Auf den Ansatz einer Kohäsion wird aus Sicherheitsgründen meist verzichtet. Kluftrichtungswinkel mit Füllungen aus Gesteinsgrus und -stücken können im Bereich $\varphi \approx 25...30^\circ$ angenommen werden. Für die mylonitisierten Kluffüllungen bzw. Kluffüllungen der K2-Flächen, wie z. B. am Messpunkt MP 4, Abschnitt D oder MP 5 im Abschnitt E, sind deutlich geringere Kluftrichtungswinkel im Bereich $\varphi \approx 15...20^\circ$ anzunehmen.

Um sich ein Bild über die Größenordnung der Trennflächenscherfestigkeit ohne Füllung zu verschaffen, wurden zu den Messpunkten MP 3 und 10 für die S1- K2-Verschneidungen Reibungswinkel im Grenzzustand mit folgenden Randbedingungen rückgerechnet:

- gemäß Felskartierung sind „offene“ S1-K2-Verschneidungen mit bereits abgerutschten Felskörpern vorhanden,
- Rückrechnung mit Verfahren nach TALOBRE und HOEK,
- Klufflächen vollständig durchtrennt,
- Lastfall Eigengewicht ohne Klufflüssigkeitsdruck.

Die Rückrechnung hat für die Verschneidungen einen minimalen Trennflächenreibungswinkel $\varphi \approx 32^\circ$ ergeben. Darauf basierend und nach Erfahrungswerten werden für die durchschnittlich bis rd. 1,5 m Tiefe reichende Felszone mit hohem Auflockerungs-/ Verwitterungsgrad kleinmaßstäblich Trennflächenreibungswinkel im Bereich $\varphi \approx 30...35^\circ$ angegeben.

Die vorangegangenen Ausführungen lassen im Vergleich zu den zahlreich festgestellten kinematisch gleitgefährdeten Kluft-/ Felskörpern darauf schließen, dass die Trennflächen großmaßstäblich noch nicht vollständig durchtrennt und/ oder infolge stufigem, welligem Verlauf nicht unwesentliche Aufgleitwinkel vorhanden sind.

Als Standsicherheit mindernde Faktoren sind für Stabilitätsuntersuchungen

- die fortschreitende Verwitterung mit zunehmender Durchtrennung,
- Klufflüssigkeitsdruck (zumindest in niederschlagsreichen Jahreszeiten bzw. bei Starkregenereignissen),
- Spaltenfrost und
- Wurzeldruck an den Schultern und Vorsprüngen der Felsböschungen (Abschnitte A, B und D) sowie hinter den Trockenmauern (Abschnitt C)

anzunehmen.

Fels/ Festgestein

Für den Tonschieferfels im maßgebenden Tiefenbereich bis rd. 4...5 m hinter der Felsoberfläche sind in folgender Tabelle relevante Gesteins-/ Felskennwerte angegeben. Die charakteristischen Mantelreibungen $q_{s1,k}$ sind zur Abschätzung der Widerstände von Felsnägeln /-ankern im Rahmen der Entwurfsplanung geeignet. Deren Verifizierung muss nach den einschlägigen Normen und technischen Vorschriften/ Zulassungen während der Bauausführung erfolgen.

Tab. 3: Gesteins-/ Felskennwerte

Schicht-/ Gesteins- bezeichnung	Felsgruppe ²	Wichten	einaxiale Druckfes- tigkeit	Mantelreibung
		γ	q_u	$q_{s,1,6}$
		[kN/m ³]	[MN/m ²]	[MN/m ²]
Tonschiefer	SF (VE, mit größerem Abstand zur Felsober- fläche VA)	26 ...27 (Gestein)	10...40 (Gestein)	0,5

3.3 Hinweise für die weitere Planung

Im Sinne der Ril 836.0507 sind bei Auswahl der infrage kommenden Sicherungsmaßnahmen neben den Investitionskosten auch die zu erwartende Nutzungsdauer, die Erreichbarkeit/ Zuwegung der zu sichernden Böschungen und der Instandhaltungsaufwand zu berücksichtigen.

Für Steinschlagsimulationen sind im Kap. 3.2.2 Form und Größe der Bemessungskörper sowie Anhaltswerte für deren Zerkleinerung beim Auftreffen auf den Böschungen oder vorgelagertem Gelände angegeben. Die Dämpfungsfaktoren sind an die jeweiligen Untergrundverhältnisse anzupassen. Die unregelmäßigen, teils wechselnd orientierten Böschungsoberflächen erfordern den Ansatz ausreichend großer Streuwinkel. Die aus Sicht vgs mindestens nachzuweisenden/ zu untersuchenden Schnittlinien sind im Lageplan Anlage 1.3 dargestellt.

Die Verankerungs-/ Nagellängen sollten nach Erfahrungswerten mindestens rd. das 3,5-fache der Tiefe der zu sichernden Felszone betragen. Aus Sicht vgs müssen Felsnägel /-anker aufgrund der meist starken Auflockerung des Trennflächengefüges und der teilweise großen Klufthöffnungsweiten zur Vermeidung unkalkulierbarer Verpressmörtelmengen mit geotextilen Injektionsstrümpfen hergestellt werden. Auch ein „Abheben/ Abdrücken,, von Kluftkörpern infolge des Verpressdruckes ist sonst nicht gänzlich ausschließbar.

Kennwerte für die statischen Berechnungen sind durch Rückrechnung „mobiler“, nach Augenschein im Grenzzustand befindlicher Böschungszonen zu ermitteln.

Sind im Ergebnis der Planung Fangbauwerke und Sicherungsmaßnahmen an den Felsböschungen vorgesehen, sollten hinsichtlich der Streckensicherheit zunächst die Fangbauwerke hergestellt werden. Die Sicherungsmaßnahmen an den Felsböschungen sind dann ebenfalls nach dem Sicherheitsaspekt von oben nach unten auszuführen. Hierfür sind zusätzliche Anschlagpunkte für Personal vorgesehen werden.

Zu beginnen ist jeweils mit einer schonenden Felsberäumung von Hand, die im Wesentlichen nur den lockeren, blockigen Schutt auf den Felsvorsprüngen betreffen soll. Hierbei sind gleichzeitig überwüchsige Sträucher und Bäume auf Stock zu setzen. Daran anschließend ist erfahrungsgemäß eine nochmalige seilgesicherte Böschungsbegehung durch den Fachplaner bzw. Ersteller des Geotechnischen Berichtes sinnvoll, um die Detailanpassung der Siche-

² FGSV: Merkblatt über Felsgruppenbeschreibung für bautechnische Zwecke im Straßenbau. Ausgabe 1980

rungsmaßnahmen an vorher nicht zugängliche bzw. einsehbare Böschungsflächen vornehmen zu können.

Nahezu in allen Abschnitten wurden als Sicherungsmaßnahmen Fangzäune und/ oder anliegende Steinschlagschutznetze empfohlen. Mit der weiteren Planung sollte geprüft werden,

- ob unter Berücksichtigung möglicher Einschränkungen auf den Bahnbetrieb während der Bauausführung oder
- hinsichtlich ökologischer/ landschaftspflegerischer Aspekte

statt dessen die Errichtung von Fang-/ Stütz-/ Futtermauern aus Gabionen sinnvoller/ kostengünstiger ist.

>---<