



Abbildung 5: Aufschlüsse im Wald oberhalb des geplanten Fangzauns 2 (bei ca. km 128,060, in einer Höhe von ca. 142 m NN), der Gesteinsverband ist stark aufgelockert und entfestigt. Blöcke von bis zu ca. 1m³ Volumen sind aus dem Gesteinsverband gelöst.



Abbildung 6: Aufschlüsse und ausgedehnte Schuttfelder auf sehr steilen Hängen oberhalb des geplanten Fangzauns 2 (bei ca. km 128,060, in einer Höhe von ca. 142 m NN), der Gesteinsverband ist stark aufgelockert und entfestigt.

Die geplanten Fangzäune 1 und 2 verlaufen im unteren Hangbereich, in direkter Nähe zum bergseitigen Gleis. Basierend auf der ingenieurgeologischen Geländeaufnahme ist davon auszugehen, dass in diesem unteren Hangabschnitt Hangschutt in einer Mächtigkeit von $>1,0$ m flächig ansteht. Die flächenmäßige Verbreitung der Hangschuttauflage für diesen Hangabschnitt ist im Einzelnen in Anlage 2 dargestellt.

Aus den Fotos 4 bis 6 wird weiterhin deutlich, dass der Hangbereich oberhalb der geplanten Fangzäune 1 eine Neigung von ca. 30° - 50° aufweist und dicht bewaldet ist. Hier lagern sowohl Schuttmassen die im Rahmen der ingenieurgeologischen Geländebegehung als rutschgefährdet bewertet wurden, als auch steile Felswände von bis zu 15 m Höhe. Die flächenmäßige Verbreitung der Hangschuttauflage für diesen Hangabschnitt kann im Einzelnen der Anlage 2 entnommen werden.

Stellenweise ist in den mittleren und oberen Hangbereichen der Gesteinsverband der Felswände durch Klüftung stark aufgelockert und entfestigt. Blöcke von bis zu ca. $1-2$ m³ Volumen sind z.T. vollständig aus dem Gesteinsverband gelöst (s. Fotos 4, sowie Anlage 5, Fotos 15, 16 und 21 - 25). Basierend auf den Ergebnissen der Geländebegehung kann in Abhängigkeit von der Geländemorphologie und dem kinematisch relevanten Trennflächeninventar davon ausgegangen werden, dass es im betreffenden Hangbereich aus einer Höhe von ca. 85 – 150 m ü. NN zum Ausbruch von Felskörpern kommen kann (s. Anlage 3.1). Aufgrund der überwiegend plattigen bis bankigen Schichtung des quarzitären Festgesteins und unter Berücksichtigung der z.T. weitständigen Großklüfte ist davon auszugehen, dass das Volumen der ausbrechenden Klüftkörper ein Maß von ca. 2 m³ nicht übersteigen wird (s. Fotos 4, sowie Anlage 5, Fotos 15, 16 und 21 - 25).

Zur Bemessung der Zäune 1 und 2 soll bei der Steinschlagsimulation die in Anlage 2 dargestellte flächenmäßige Verbreitung der Hangschuttauflage (Schicht 2 „Hangschutt bewaldet“) bzw. der Felspartien ohne Hangschuttauflage (Schicht 1 „+/- glatte Felsoberfläche“, Schicht-Nr. bezieht sich auf Tab. 2; der Steinschlagparameter s. Kap. 6) als Grundlage dienen.

Im Untergrund der o. g. Zaunrassen steht überwiegend Hangschutt an (s. Anlage 2 und 3.1), so dass die Nägel der Grundplatten, der seitlichen und rückwärtigen Abspannungen, weitgehend im Hangschutt abgeteuft werden müssen. Aufgrund der deutlich geringeren Mantelreibung des Hangschuttes bei Ausbildung der Verpresspfähle gegenüber einer Ein-

bindung im Festgestein (s. Kap. 8) sind bei der Bauausführung der o. g. Fangzäune 1 und 2 größere Bohrtiefen notwendig. Entsprechend ist mit deutlichen Nagel-Mehrlängen zu rechnen. Aufgrund unserer Erfahrungen bei vergleichbaren Projekten, ist mit einem erhöhten Zementverbrauch ist zu rechnen. Lediglich im Bereich der westlichen seitlichen Abspannung des Fangzauns 2 bei ca. km 128,093 binden die Nägel vermutlich direkt in den Fels ein.

Bereich des Geländequerschnitts 2: Km 128,140

Der Querschnitt 2 liegt im Bereich der geplanten Fangzäune 3 und 4, sowie der geplanten Netzfläche 1 (s. Anlage 2). Aus den Fotos 7 und 8 wird deutlich, dass der anstehende Fels im unteren Hangabschnitt des Untersuchungsgebiets teilweise durch den Bahnkörper angeschnitten und unmittelbar neben dem Gleis ansteht (s. auch Fotos 10 - 13, Anlage 5). Diese gleisnahen ca. 80° - 90° steilen Felswände erreichen eine Höhe von bis zu ca. 20 m (s. Fotos 7, 8; sowie Anlage 5: Fotos 12 und 13).

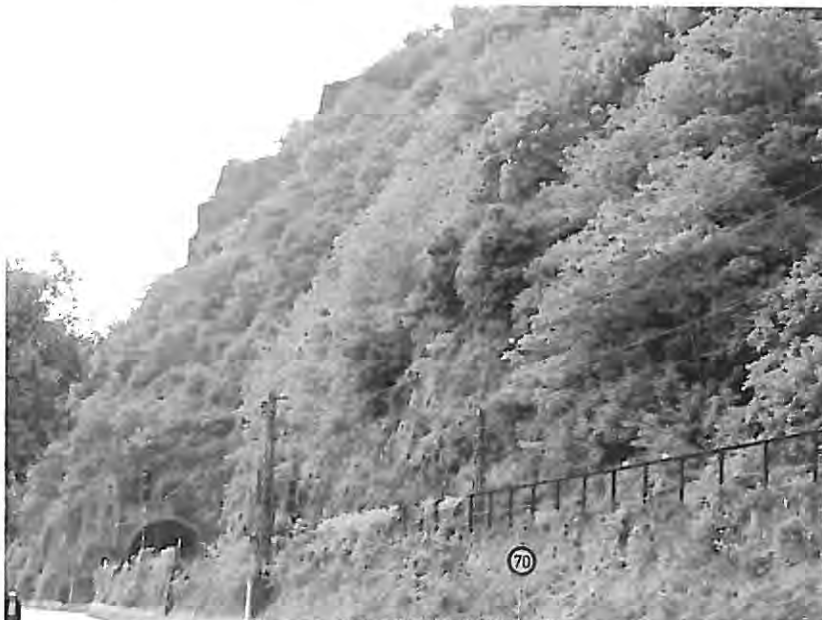


Abbildung 7: Überblick des Untersuchungsgebiets im Bereich zwischen ca. km 128,070 und 128,240 (Nordportal Kammereck im Hintergrund).



Abbildung 8: Felswand im Bereich der geplanten Netzfläche 1 und des geplanten Fangzauns 3 im Hangenden der bis zu ca. 80° steilen teilweise entfestigten Felswand

Sie wurde im Jahre 2005 wegen stark aufgelockerter Felsbereiche beräumt und zeigte im Rahmen der ingenieurgeologischen Geländeaufnahme im Juni 2010 momentan keine Ablösungen. Da jedoch eine fortschreitende Verwitterung immer wieder zu hangparallelen Ablösungen führen kann ist die Sicherung des gleisnahen Abschnittes zwischen ca. km 128,090 und 128,202 gemäß der Entwurfsplanung mittels **Netzsicherung 1** geplant. Die Nägel der Netzsicherung werden bei der Bauausführung weitgehend direkt im Fels einbinden. Zur Bemessung und zur Festlegung des Nagelrasters der **Netzsicherung 1** und der sind die nachfolgenden kinematisch relevanten Trennflächensysteme (Groß-kluftsysteme (k) sowie die Schicht- bzw. Schieferungsflächen (s / sfr) zu berücksichtigen:

k1: 030 - 060 / 75 - 85 bzw. 205 - 220 / 70 - 80

k2: 110 - 135 / 80 - 90 bzw. 305 - 320 / 75 - 85

k3: 135 - 155 / 30 - 60

k4: 150 - 165 / 65 - 70

s: 110 - 135 / 20 - 40

sfr: 115 - 155 / 70 - 80



Aufgrund der überwiegend plattigen bis bankigen Schichtung des quarzitären Festgesteins und unter Berücksichtigung der z.T. weitständigen Großklüfte ist davon auszugehen, dass das Volumen der ausbrechenden Kluffkörper aus der betroffenen Felswand ein Maß von ca. 1 m³ nicht übersteigen wird.

Der Hangbereich oberhalb dieser Felswände weist zwischen 95 m ü. NN und 145 m ü. NN eine Neigung von ca. 30° - 40° auf und ist dicht bewaldet. Hier lagern Schuttmassen die im Rahmen der ingenieurgeologischen Geländebegehung als rutschgefährdet bewertet. Im oberen Hangbereiche ab ca. 150 m ü. NN stehen steile Felswände und -klippen von ca. 15 m Höhe an. Basierend auf den Ergebnissen der Geländebegehung ist der Gesteinsverband dieser Felswände durch Klüftung stark aufgelockert und entfestigt. Blöcke von bis zu ca. 1-2 m³ Volumen sind z.T. vollständig aus dem Gesteinsverband gelöst. In Abhängigkeit von der Geländemorphologie und dem kinematisch relevanten Trennflächeninventar davon ausgegangen werden, dass es im betreffenden Hangbereich aus einer Höhe von ca. 150 – 210 m ü. NN zum Ausbruch von Felskörpern kommen kann (s. Anlage 3.2). Aufgrund der Beobachtungen der Geländebegehung und der überwiegend bankigen Schichtung des quarzitären Festgesteins und unter Berücksichtigung der z.T. weitständigen Großklüfte ist davon auszugehen, dass das Volumen der ausbrechenden Kluffkörper ein Maß von ca. 2 m³ nicht übersteigen wird.

Zur Bemessung der Zäune 3 und 4 soll bei der Steinschlagsimulation die in Anlage 2 dargestellte flächenmäßige Verbreitung der Hangschuttauflage (Schicht 2 „Hangschutt bewaldet“) bzw. der Felspartien ohne Hangschuttauflage (Schicht 1 „+/- glatte Felsoberfläche“, Schicht-Nr. bezieht sich auf Tab. 2; der Steinschlagparameter s. Kap. 6) als Grundlage dienen.

Im Untergrund der o. g. Zaunrassen steht überwiegend Hangschutt an (s. Anlage 2 und 3.2), so dass die Nägel der Grundplatten, der seitlichen und rückwärtigen Abspannungen, weitgehend im Hangschutt abgeteuft werden müssen. Aufgrund der deutlich geringeren Mantelreibung des Hangschuttes bei Ausbildung der Verpresspfähle gegenüber einer Einbindung im Festgestein (s. Kap. 8) sind bei der Bauausführung der o. g. Fangzäune 3 und 4 größere Bohrtiefen notwendig. Entsprechend ist mit deutlichen Nagel-Mehrlängen zu rech-

nen. Aufgrund unserer Erfahrungen bei vergleichbaren Projekten, ist mit einem erhöhten Zementverbrauch ist zu rechnen.

Bereich des Geländequerschnitts 3: Km 128,204

Betrachtet man den Querschnitt 3 der Anlage 3.3, so stehen in den unteren und mittleren Hangabschnitten des Profils vorwiegend ca. 60° bis 90° steile Felswände an, während im oberen Hangabschnitt eine mächtige Hangschuttauflage dominiert.

Aus den Foto 9 wird deutlich, dass der anstehende Fels im unteren Hangabschnitt des Querprofils durch den Bahnkörper angeschnitten wird. Wie aus den Fotos 11 und 13 der Anlage 5 ersichtlich, verläuft zwischen ca. km 128,190 und 128,222 eine zwischen rd. 4 und 6 m hohe Stützmauer teilweise unmittelbar entlang des bergseitigen Gleises, z.T. aber auch auf der am bergseitigen Gleis anstehenden Felswand. Sie sollte der Sicherung der DB-Strecke vor herabgleitenden Felsbruchstücken dienen.



Abbildung 9: Überblick des Untersuchungsgebiets im Bereich zwischen ca. km 128,100 und 128,240 (Nordportal Kammereck im Hintergrund).



Abbildung 10: Nordportal Kammereck bei km 128,231, im Hang oberhalb des Portals ist die Installation des Fangzauns 5 geplant.

Die gleisnahen ca. 80° - 90° steilen Felswände erreichen im Querschnitt 3 eine Höhe von etwa 5 m. Auch oberhalb der beschriebenen Felswand und der Stützmauer stehen zunächst rd. 60 -80° Felsen an (s. Anlage 3.3). Darüber folgt ab ca. 100 m ü. NN ein ca. 40° steiler Hangabschnitt, z.T. mit einer Hangschuttauflage (s. Anlage 2 und 3.3), der für die Errichtung des Fangzauns 5 vorgesehen ist. Ein provisorischer Sicherungszaun von 1,5 m Höhe wurde in diesem Bereich nach einem Felsausbruch 2005 im Rahmen der Beräumungsarbeiten errichtet und soll gemäß [3] im Zuge der weitergehenden Sicherungsmaßnahme zurückgebaut werden (s. Foto 26, Anlage 5).

Basierend auf der ingenieurgeologischen Geländeaufnahme ist davon auszugehen, dass der Hangschutt in diesen Abschnitten weitgehend in einer Mächtigkeit von >1,0 m ansteht. Die flächenmäßige Verbreitung der Schuttauflage für diesen Hangabschnitt ist im Einzelnen in Anlage 2 dargestellt.

Ab ca. 110 m ü. NN Höhe stehen nahezu senkrechte, ca. 5 bis 10 m hohe Felsklippen und Felswände an. Wie aus Fotos 27 und 28, sowie 30 bis 33 der Anlage 5 ersichtlich, sind die Felswände und -klippen durch Klüftung teilweise entfestigt und stark ausbruchgefährdet. Es kann in Abhängigkeit der Geländemorphologie davon ausgegangen werden, dass Felskörper im betrachteten Hangbereich bis zu einer Höhe von ca. 220 m ü. NN ausbrechen kön-

nen. Aus geotechnischer Sicht besteht zwischen ca. km 128,200 und 128,231 eine stark erhöhte Gefährdung durch Steinschläge aus dem Hang zwischen ca. 110 und 220 m ü. NN. Basierend auf der Geländebegehung, sowie der überwiegend bankigen Schichtung des quarzitisches Festgesteins und unter Berücksichtigung der z.T. weitständigen Großklüfte ist davon auszugehen, dass das Volumen der ausbrechenden Klufkörper ein Maß von ca. 2-3 m³ nicht übersteigen wird.

In direkter Nähe zu dem beschriebenen Querschnitt 3 und in analoger topographischer und geologischer Situation steht in einer Höhe von etwa 190 m ü. NN eine steile Felswand an, die durch aufgelockerte, z.T. frisch aus dem Gebirgsverband abgelöster Klufkörper gekennzeichnet ist (s. Anlage 2). Wie auf den Fotos 34 und 35 ersichtlich hat sich ein etwa 10 – 12 m hoher Felsblock mit einem geschätzten von Volumen > 10 m³, durch eine dezimeterweite geöffnete Spalte vom Gebirge gelöst. Aus geotechnischer Sicht besteht durch diesen Klufkörper eine erhebliche Gefahr von Felssturzereignissen. Daher wird gemäß Entwurfsplanung [3] der stark entfestigte Felsblock mit einem Netz bespannt (Netz 2, km 128,178 bis 128,187; s. Anlage 2). Diese Netzbespannung (ca. 100 - 150 m²) erfolgt konstruktiv und dient nicht der vollständigen Sicherung des Felsturmes. Da der Felsblock ein Volumen > 10 m³ aufweist ist eine vollständige Stabilisierung nicht möglich. Die Netzbespannung dient der Sicherung und der Herabsetzung Sturzenergie im Fall eines kompletten Zusammenbruchs. Zur Bemessung der **Netzsicherung 2** und zur Festlegung des Nagelrasters und der Nagellängen sind die in Kap. 4.2.1 angegebenen Trennflächensysteme heranzuziehen.

Die Zauntrasse des **Fangzauns 5** verläuft auf einer Höhe zwischen ca. 104 bis 116 m ü. NN, eine entsprechende Anpassung der Trasse an die morphologischen Gegebenheiten wird notwendig sein. Die Nägel der Grundplatten, sowie der rückwärtigen und seitlichen Abspannung des Fangzauns 5 werden zum Teil direkt in den anstehenden Fels einbinden, aber teilweise auch in den Hangschutt. Die flächenmäßige Verbreitungen der Hangschuttauflage, bzw. der Felspartien ohne Hangschuttauflage können der Anlage 2 entnommen werden. Folglich müssen ein Anteil der Nägel der Grundplatten, sowie der seitlichen Abspannungen und der Rückabspannungen im Hangschutt abgeteuft werden. Aufgrund der deutlich geringeren Mantelreibung des Hangschuttes bei Ausbildung der Verpresspfähle gegenüber einer Einbindung im Festgestein (s. Kap. 8) sind bei der Bauausführung teilweise größere Bohrtiefen notwendig. Hierdurch ist zum Teil mit deutlichen Nagel-Mehrlängen zu rechnen. Auf-

grund unserer Erfahrungen bei vergleichbaren Projekten ist analog dazu mit einem erhöhten Zementverbrauch zu rechnen.

Zur Bemessung des Zauns 5 soll bei der Steinschlagsimulation die in Anlage 2 dargestellte flächenmäßige Verbreitung der Hangschuttauflage (Schicht 2 „Hangschutt bewaldet“) bzw. der Felspartien ohne Hangschuttauflage (Schicht 1 „+/- glatte Felsoberfläche“, Schicht-Nr. bezieht sich auf Tab. 2, der Steinschlagparameter, s. Kap. 6) als Grundlage dienen.

5 Wasserverhältnisse

Ein kleiner Bach verläuft in dem kleinen Taleinschnitt bei ca. km 128,000 senkrecht zum Hang. Ferner wurde im Zuge der Begehung im Juni 2010 ein Quellhorizont im Bereich der Trasse des geplanten Fangzauns 1 (bei ca. km 128,030- 128,045, auf einer Höhe zwischen ca. 85 – 80 m) festgestellt. Durch die Baumaßnahmen werden die vorhandenen Wasserverhältnisse nicht verändert. Durch die Zäune und Netze werden weder Grund- noch Oberflächenwässer beeinflusst.

6 Steinschlagparameter des Untergrundes

Zur Berechnung der Steinschlagsimulationen mit dem Steinschlag-Simulationsprogramm „Rockfall“ können aufgrund der Boden- und Gesteinsansprache sowie basierend auf Erfahrungswerten folgende mittlere Kennwerte für die anstehenden Untergrundverhältnisse angesetzt werden.

Schicht	Beschreibung	Rg (°)	V (%)	Rh (°)	V (%)	Dn	V (%)	Dt	V (%)	Rw	V (%)	Oa	Of
1	+/- glatte Felsoberfläche	30	5	40	5	0,06	10	0,93	8	0,02	10	0,1 0	1,0
2	unebene Felsoberfläche	30	5	40	5	0,06	10	0,93	8	0,05	15	1,0	2,0
3	Gesteinsschutt, bewaldet	25	5	35	5	0,05	15	0,90	10	0,08	15	0,3	1,0
4	Gesteinsschutt mit geringer Oberbo- dendeckung	15	5	35	5	0,04	15	0,85	10	0,15	15	0,2	1,0

Tabelle 2: Steinschlagparameter



- Rg: Gleitreibungswinkel zwischen Block und Geländeoberfläche
V%: Parametervariation
Rh: Haftreibungswinkel zwischen Block und Geländeoberfläche
Dn: Faktor für die Dämpfung von Stößen normal zur Geländeoberfläche
Dt: Faktor für die Dämpfung von Stößen parallel zur Geländeoberfläche
Rw: Rollwiderstand der Geländeoberfläche
Oa: Amplitude: Maximale Auslenkung der Geländeoberfläche
Of: Frequenz: Abstand der Auslenkungspunkte in Meter

7 Felsmechanische Versuche

Im Rahmen der geotechnischen Begehungen im Juni 2010 wurden insgesamt 4 Probe des im Bereich der geplanten Zauntrasse anstehenden Gesteins durch gbm entnommen. Bei den Proben handelt es sich um Kluffkörper, die sich vom Felsverband gelöst haben und die von ihren Festigkeiten her als repräsentativ für die Gesamtlokalität anzusehen sind.

7.1 Einaxiale Druckfestigkeit

Nachfolgend werden die festigkeitsmechanischen Laborversuche eingehend beschrieben und darauf aufbauend Empfehlungen für die Umsetzung der Felssicherungen gegeben.

An den Proben (P1 gbm54462, P2 gbm54463, P3 gbm54464 und P4 gbm54465) wurden Einaxiale Druckversuche mit unbehinderter Seitendehnung als Zylinderdruckversuch mit Aufzeichnung der Spannungs-Längsverformungskurve nach der Empfehlung der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik (kurz: DGGT) durchgeführt. Der Einaxiale Druckversuch dient zur Bestimmung der Größenordnung der Festigkeit von Gesteinsproben und ist damit ein maßgebliches Kriterium für das Lösen, die Tragfähigkeit und die Abrasivität des Gesteins.

Die Einaxiale Druckfestigkeit σ_u errechnet sich aus der maximalen Bruchlast (F) und dem Prüfkörperquerschnitt (A). Die Klassifizierung der Druckfestigkeit kann nach ISRM erfolgen. Zur Einschätzung des Bohrwiderstandes wurde der Prüfkörper an der Universität Karlsruhe kraftgesteuert mit einer hohen Belastungsgeschwindigkeit von 50 MPa / min getestet.

Entsprechend der Prüfempfehlung der DGGT für die Bestimmung der Einaxialen Druckfestigkeit an Festgesteinen, soll die Einaxiale Druckfestigkeit σ_u korrigiert werden, wenn das Verhältnis aus Probenhöhe / Durchmesser der getesteten Gesteinskörper kleiner als 2 : 1 ist. Die korrigierte Einaxiale Druckfestigkeit ($\sigma_{u(2)}$) errechnet sich dann wie folgt: