Felssicherung und Steinschlagschutz an Eisenbahnstrecken

In Abhängigkeit der geometrischen und geotechnischen Randbedingungen sind unterschiedliche Maßnahmen zur Felssicherung und zum Steinschlagschutz erforderlich.

Abb. 1a und b: Felseinschnitt, erodierte Futtermauer

Fotos: Kempfert + Partner Geotechnik

Oliver Krist
Marc Raithel
Klaus Weingart

Zur sicheren Betriebsführung werden entlang von bestehenden Böschungen bzw. neu zu erstellenden Einschnittböschungen im Fels in Abhängigkeit der geometrischen und geotechnischen Randbedingungen gegebenenfalls zusätzliche Sicherungsmaßnahmen auf der Böschung bzw. am Böschungsfuß erforderlich. Dazu wurden in der Vergangenheit aufgrund der eingeschränkten Platzverhältnisse oft Futtermauern erstellt, welche die Felsböschungen bzw. Felswände lokal stützen sollten. Infolge Erosion sind diese teilweise über 100 Jahre alten Futtermauern häufig nicht mehr intakt, so dass insbesondere darüber liegende Felsblöcke kippen bzw. gleiten und bis auf das Bahngleis gelangen können (Abb. 1a und b). Entlang von Felsböschungen können z. B. infolge Erosion einzelne Blöcke bzw. ganze Böschungsbereiche instabil werden und auf das Bahngleis gelangen, so dass diese ebenfalls zu sichern sind (Abb. 2a und b).

Abb. 2a und b: Steinschlag aus Einschnittsböschung

Fotos: Kempfert + Partner Geotechnik

Als Sicherungsmaßnahme stehen verschiedene Systeme zur Verfügung, welche objektspezifisch gewählt werden müssen, wobei neben der technischen Notwendigkeit und der vorhandenen Platzverhältnisse auch insbesondere wirtschaftliche Überlegungen abgewogen werden. Einen Überblick über mögliche Sicherungsmaßnahmen sind in Abb. 3 und Abb. 4 dargestellt.
Für die Beurteilung der technischen Notwendigkeit bzw. der erforderlichen Sicherungsmaßnahmen ist ein einschlägig erfahrener und anerkannter Sachverständiger/Gutachter für Geotechnik hinzu zu ziehen. Bei Maßnahmen der geotechnischen Kategorie 3 ist nach Modul 1002 der Ril 836 [1] ein vom Eisenbahn-Bundesamt (EBA) anerkannter Gutachter bereits in der Planungsphase zu beteiligen. In der Ril 836 finden sich dazu in den Modulgruppen 836.4102 und 836.43xx auch bauartspezifische Regelungen. Die bauaufsichtliche Prüfung nach den Regelungen der VV BAU [2] erfolgt durch einen vom EBA anerkannten Gutachter für Geotechnik, Tätigkeitsbereich Felsbau.

Allgemeines

Zur Sicherstellung der Betriebs-, Stand- und Verkehrssicherheit von bestehenden Böschungen entlang von Eisenbahnstrecken werden regelmäßig Inspektionen gemäß der Ril 836.8001 durchgeführt. Diese erfolgen in Form von Überwachungen, Untersuchungen, Begutachtungen und Sonderinspektionen. Die Inspektionsergebnisse werden beim Eisenbahninfrastrukturunternehmen #DB Netz AG im EDV-System SAP R/3 Netz erfasst und archiviert. Zusätzlich werden die Ergebnisse in einem Bauwerksbuch/Bauwerksheft für Erdkörper dokumentiert. Sofern der Aufwand zur Instandhaltung der Böschung gering ist, werden meist kleinere Sicherungsmaßnahmen bei Erfordernis durchgeführt, wie Felsberäumungen oder Entfernen von Windbruch. Dabei ist jedoch zu beachten, dass z. B. infolge einer Entlastung der Böschungsoberfläche nach dem Entfernen von losen Blöcken bzw. infolge einer voranschreitenden Erosion ein erhöhtes Steinschlagrisiko bzw. eine verminderte Standsicherheit der Böschung vorhanden sein kann. Deshalb sollte gegebenenfalls die Standsicherheit einer Fels- bzw. Lockergesteinsböschung auch nach einer Felsberäumung beurteilt werden. Insbesondere sollte sichergestellt sein, dass z. B. nach dem Entfernen von erosionsanfälligem Gestein das ggf. überlagernde und erosionsstabilere Gestein ausreichend kipp- und gleitsicher ist. Als zusätzliche Sicherungsmaßnahme für eine ausreichende Kipp- und Gleitsicherheit können z. B. Stützknaggen o. ä. angeordnet werden, wobei auch darauf zu achten ist, dass dahinter anfallendes Hang- bzw. Kluftwasser nach dem Anbringen von Stützknaggen abfließen kann.

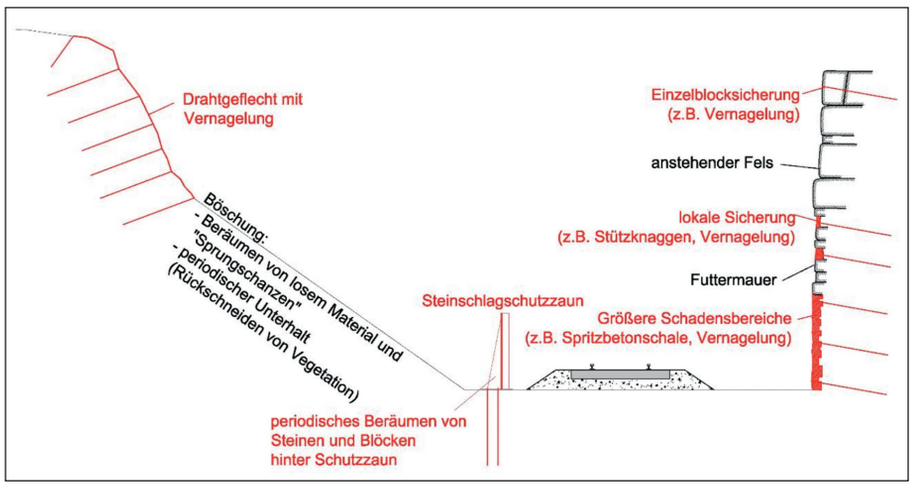

Abb. 3: Mögliche Sicherungsmaßnahmen Grafik: Kempfert + Partner Geotechnik

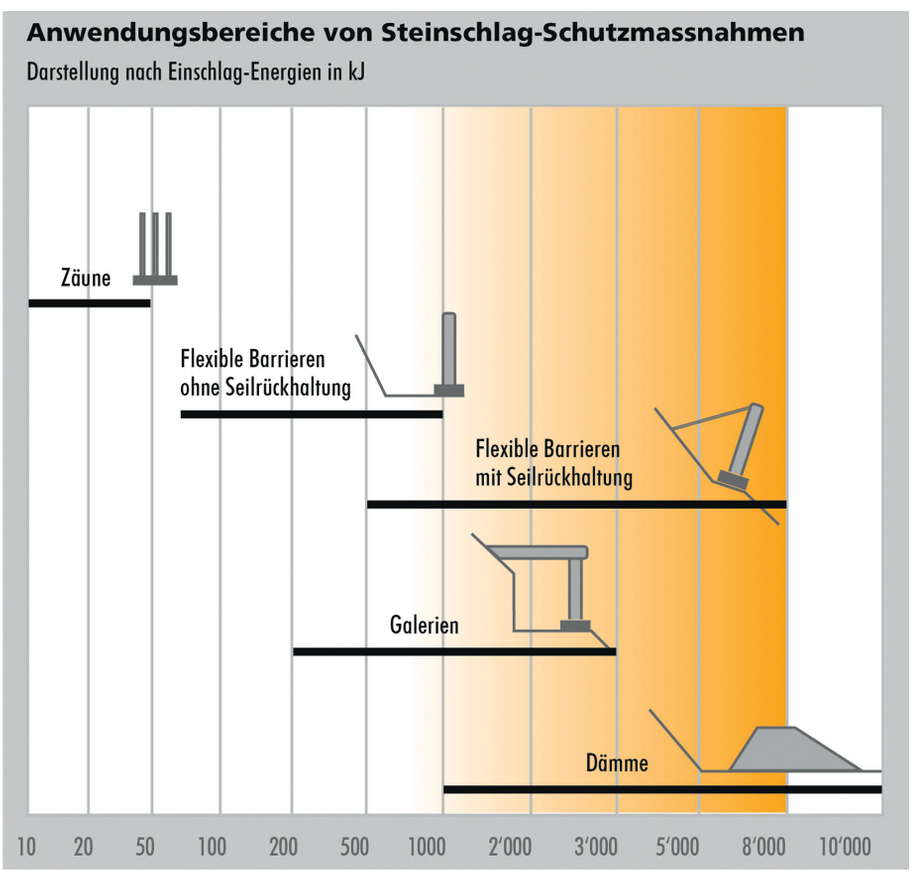

Abb. 4: Anwendungsbereiche von Steinschlag-Schutzmaßnahmen Grafik: Geobrugg AG

Drahtgeflechte

In der jüngeren Vergangenheit wurden vermehrt „offene Systeme“ mit direkt auf der Böschungsoberfläche bzw. in engem Abstand dazu angeordneten Drahtgeflechten als Sicherungsmaßnahme ausgeführt (Abb. 3, 5 und 6). Diese Drahtgeflechte werden durch in der Regel voll vermörtelte Anker/Nägel gesichert.
Die Bemessung bei direkt auf der Böschungsoberfläche angeordneten Drahtgeflechten erfolgt hinsichtlich der inneren Tragfähigkeit der Systemteile (Geflecht, Krallplatte, Nagel) in Abhängigkeit der Bodenkenngrößen und der Böschungsgeometrie. Man erhält so ein maximal zulässiges Nagelraster unter Berücksichtigung oberflächennaher Böschungsinstabilitäten. Sofern tiefer reichende Bruchmechanismen vorhanden sind, können Nagelabstände und –längen entsprechend gewählt werden.
Durch die Anordnung des Drahtgeflechtes und der Anker sollen oberflächennahe Instabilitäten verhindert und damit die Bahnstrecken dauerhaft geschützt werden. Eine aktive Begrünung dieser „offenen Systeme“ sollte dabei einen integralen Bestandteil für einen dauerhaften Schutz der Böschung

Abb. 5: Beispiel für eine Felssicherung: Drahtgeflecht im unteren Bereich des Bildes und Steinschlagschutznetze im oberen Bereich des Bildes

Foto: Kempfert + Partner Geotechnik

Abb. 6: Beispiel Sicherungsmaßnahme Drahtgeflecht / Bohrpfahlwand / Gabionen

Foto: O. Krist/ EBA

darstellen (Abb. 7a und b). Insbesondere kann dadurch eine Erosion der Böschungsoberfläche gebremst oder sogar verhindert werden, wobei der Erfolg und der Instandhaltungsaufwand einer Begrünung bzw. die anfallenden Kosten bei der Planung nur schwer abzuschätzen und zu quantifizieren sind. Entsprechend wird dies leider oft bei der Planung und Durchführung von diesen Sicherungsmaßnahmen vernachlässigt.

Eine weitere Anwendungsmöglichkeit einer Sicherung mit Drahtgeflechten sind sogenannte „Schürzen", welche in geringem Abstand zur Böschungsoberfläche verlegt werden (Abb. 8). Dabei wird davon ausgegangen, dass sich z. B. infolge Erosion kleinere Steine lösen können, welche dann entlang der Schürze abrollen und so verhindert wird, dass der Bahnbereich erreicht wird. Das Drahtgeflecht wird folglich nur kurzzeitig während dem Abrollen der Steine belastet. Sofern diese Maßnahme mit einer am Böschungsfuß angeordneten Sicherungsmaßnahme kombiniert wird, können insbesondere Sprunghöhen und Energien der durch den Zaun abzufangenden Steinschlagereignisse reduziert werden.

Nachteilig bei einer Sicherungsmaßnahme mit Drahtgeflechten ist die aufwändige und schwierige Sanierungsmöglichkeit bei oberflächennahen Böschungsinstabilitäten bzw. bei fortschreitender Verwitterung / Erosion des überspannten Felsgefüges. In der Folge findet eine „Sackbildung" im Drahtgeflecht statt (Abb. 9).

Auslöser dieser Sackbildung ist zumeist eine Fehleinschätzung hinsichtlich der Erosionsstabilität des oberflächennah anstehenden Untergrundes. Sofern eine Bemessung bei direkt auf der Böschungsoberfläche angeordneten Drahtgeflechten ausschließlich nur hinsichtlich der inneren und äußeren Tragfähigkeit vorgenommen wird, wird demzufolge der langfristige Erfolg der Sicherungsmaßnahme in Frage gestellt. Daher sollte bereits im Vorfeld kritisch geprüft werden, ob eine Sicherung mit Drahtgeflechten bei den vorherrschenden Untergrundeigenschaften sinnvoll ist bzw. ob diese Sackbildung ggf. durch andere ergänzende Maßnahmen (z. B. Begrünung, Böschungsabflachung) zu bremsen oder ganz aufzuhalten ist. Generell sollten die Ergebnisse einer Bemessung des Systems auch hinsichtlich der Gebrauchstauglichkeit kritisch hinterfragt werden und gegebenenfalls ein kleineres Nagelraster, auch durch das Setzen von ggf. kürzeren Zwischennägeln, gewählt werden.

Steinschlagschutzsysteme

Eine weitere Sicherungsmaßnahme sind Steinschlagschutzsysteme (Abb. 4 und 5), welche einzelne abrollende Blöcke und Steine am Fuß der Böschung aufnehmen. Grundvoraussetzung dieser Lösung ist, dass tiefer reichende Bruchmechanismen kinematisch ausgeschlossen werden können, andernfalls werden ergänzende Sicherungsmaßnahmen erforderlich (z. B. Einzelblocksicherung).

Die bei einem Steinschlagereignis auftretenden Energien und Sprunghöhen werden vorab in Abhängigkeit der Böschungsgeometrie, der möglichen Lage des Steinschlagschutzzaunes und der „Bemessungssteine" bestimmt. Insbesondere der Durchmesser eines Bemessungssteines hat einen wesentlichen Einfluss auf die Berechnungsergebnisse, weshalb dessen Größe in Abhängigkeit der Untergrundverhältnisse vorsichtig gewählt werden sollte.

Die bei einem Steinschlagereignis auftretenden Energien werden durch Verformungen des Schutznetzes und, je nach System, durch Bremsringe abgebaut. Dazu wurden die bisher verwendeten Steinschlagschutzsysteme weiterentwickelt, so dass nunmehr Energien von bis zu 8000 kJ aufgenommen werden

Abb. 7a und b: Beispiel für eine Begrünung

Fotos: Geobrugg AG

können. Bei der Anwendung im Eisenbahnbau ist aber zu beachten, dass solche Systeme große Netzverformungen bei einem Steinschlagereignis und damit auch einen entsprechend großen Platzbedarf erfordern. So kann z. B. die Auslenkung für einen Steinschlagschutzzaun mit einer maximalen Energieaufnahme von 8000 kJ bis zu 8,5 m betragen. Es wurden zwar Systeme mit kleinerer Auslenkung entwickelt, diese sind jedoch auf niedrigere Energien und auch auf niedrigere Zaunhöhen beschränkt. Sofern aus Platzgründen in unmittelbarer Nähe zum Bahngleis wegen der geringeren Auslenkung lediglich ein Niedrigenergiezaun in Frage kommt, kann es daher sinnvoll sein, in größerem Abstand zum Bahngleis in der Böschung weitere Schutzzäune oder ein oberflächennah verlegtes Drahtgeflecht zu installieren, um damit die Sprunghöhen und die Energien zu begrenzen.

Wird das Schutzsystem bei einem Steinschlagereignis plastisch verformt, können einzelne Felder, Stützen und Bremsringe ausgetauscht werden. Kleinere Steinschlagereignisse können zumeist durch elastische Verformung des Systems aufgenommen werden, so dass in diesem Fall eine Beräumung des abgerollten Materiales ausreichend ist.

Generell gilt, dass durch das Aufstellen von Steinschlagschutzsystemen der Erosionsprozess in der Böschung nicht gebremst wird. Entsprechend sind periodische Kontrollen bzw. Streckenbegehungen zur Beurteilung der Standsicherheit durchzuführen und dabei ist das am Schutzzaun abgerollte Material zwingend zu entfernen. Auch sollten dabei sogenannte „Sprungschanzen“ in der Böschung (z. B. Windbruch oder Böschungskanten) entfernt werden, um die in der Bemessung zugrunde gelegten maximalen Sprunghöhen nicht zu überschreiten.

Massive Stützmauern und Stützwände

Alternativ zu Steinschlagschutznetzen können massive Stützmauern errichtet werden. Im Gegensatz zur Funktionsweise der Steinschlagschutznetze mit einem Energieabbau, verbunden mit einer großen Auslenkung, erfolgt hierbei jedoch der Energieabbau durch entsprechende Ausbildung der Mauer, d.h. es handelt sich hier um eine starre Konstruktion. Sofern die äußere Standsicherheit (z. B. Kippen, Gleiten) bei einem Steinschlagereignis nicht gegeben ist, können z. B. die Stützwände zusätzlich mit einer Rückverhängung (Vernagelung) ausgeführt werden.

Verglichen mit Steinschlagschutznetzen sind jedoch bei massiven Stützmauern in der Regel die höheren Herstellungskosten und der Installationsaufwand nachteilig. Ebenso ist der höhere Reparaturaufwand bei Beschädigungen zu beachten.

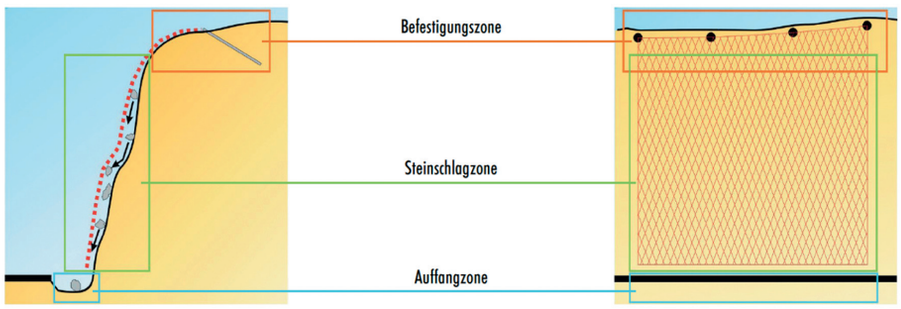

Abb. 8: Drahtgeflecht/Schürze

Grafik: Geobrugg AG

Abb. 9: Böschung mit Sackbildung aufgrund oberflächennaher Verwitterung und Auflockerung

Foto: Kempfert + Partner Geotechnik

Weitere Sicherungsmaßnahmen

Neben den bereits genannten Sicherungsmaßnahmen existiert noch eine Vielzahl weiterer Maßnahmen, wie z. B. Einzelblocksicherung kipp- und gleitgefährdeter Blöcke (z. B. mit einer Vernagelung bzw. Verdübelung), Schutzdämme (z. B. für sehr große Energien), Galerien, Spritzbetonsicherung etc., wobei auch Kombinationen mit o.g. Sicherungsmaßnahmen denkbar sind.

Verwendbarkeit

Für die Felssicherung und den Steinschlagschutz sind nur Bauprodukte und Bauarten zu verwenden, deren Verwendbarkeit im Sinne der (Eisenbahnspezifischen) Bauregellisten [3] für den vorgesehenen Anwendungsbereich nachgewiesen wurde. Dies können z. B. nationale Zulassungen wie eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung durch das Deutsche Institut für Bautechnik (DIBt) oder eine eisenbahnspezifische Zulassung durch das EBA oder eine europäisch technische Zulassung (ETA) bzw. in Zukunft eine Europäische Technische Bewertung sein.

Schlussbemerkung

Neben den bekannten massiveren Sicherungsmaßnahmen (z. B. Futtermauern, Stützwände) wurden in der jüngeren Vergangenheit insbesondere Drahtgeflechte und Steinschlagschutzzäune weiterentwickelt. Bei der Planung und Anwendung sämtlicher Sicherungsmaßnahmen sollten jedoch nicht nur die innere und äußere Tragfähigkeit der Systemteile betrachtet werden, sondern es sollte auch geprüft werden, ob der zu sichernde Böschungsbereich bei Erfordernis durch ergänzende Maßnahmen ertüchtigt werden sollte, um den langfristigen Erfolg der Sicherungsmaßnahme sicherzustellen. Dies kann z. B. durch eine gezielte Begrünung von einzelnen Böschungsbereichen erreicht werden. Insbesondere bei Drahtgeflechten ist oft ein erhöhter Instandhaltungsaufwand erforderlich. Aber auch bei der Anordnung anderer Sicherungsmaßnahmen

ist ein minimaler Instandhaltungsaufwand unumgänglich. So ist z. B. bei einem Schutz gegen Steinschlag (Schutzzäune, Stützmauern) das abgerollte Material periodisch zu entfernen und die Böschung ist hinsichtlich der in der Bemessung zu Grunde gelegten Parameter (z. B. Böschungsgeometrie, Größe der abgerollten Steine) zu beurteilen.
Da diese ergänzende Maßnahmen hinsichtlich des zu erwartenden Aufwandes und der Kosten bei der Planung nur schwer abzuschätzen sind, wird dies oft vernachlässigt.

LITERATUR

[1] Richtlinie Ril 836 „Erdbauwerke und sonstige geotechnische Bauwerke planen, bauen und instand halten“, 2. Aktualisierung in der Fassung vom 01.02.2013

[2] Verwaltungsvorschrift über die Bauaufsicht im Ingenieurbau, Oberbau und Hochbau (VV BAU), Ausgabe mod. Bauaufsicht, Version: 4.52, Gültig ab 01.01.2013

[3] Eisenbahnspezifische Bauregellisten (EBRL) und Eisenbahnspezifische Ergänzungen und Anlagen zu den Bauregellisten A, B und der Liste C (Ausgabe 2012/1), Gültig ab 15.05.2013

Dipl.-Ing. Oliver Krist

Geotechnischer Ingenieurbau, Referat 21, Zentrale des EBA
KristO@eba.bund.de

Dr.-Ing. Marc Raithel

Geschäftsführender Gesellschafter Kempfert + Partner Geotechnik, Würzburg; durch das EBA anerkannter Gutachter für Geotechnik im Eisenbahnbau
m.raithel@kup-geotechnik.de

Dipl.-Ing. Klaus Weingart

Kempfert + Partner Geotechnik, Würzburg
k.weingart@kup-geotechnik.de

Summary

10b_Üb_Sum_Text

10c_Summary_Text