

CONFERENCE SERIES
GEOTECHNIK UND NATURGEFAHREN – Band 5

Robert Hofmann, Simon Berger (Hg.)

Tiroler Geotechniktag 2025
Naturgefahren

CONFERENCE SERIES

GEOTECHNIK UND NATURGEFAHREN – Band 5

Universität Innsbruck

Institut für Infrastruktur, Arbeitsbereich Geotechnik

Robert Hofmann, Simon Berger (Hg.)

Tiroler Geotechniktag 2025
Naturgefahren

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.habil. Robert Hofmann
Institut für Infrastruktur, AB Geotechnik, Universität Innsbruck

Univ.-Ass. Dipl.-Ing. Dr. Simon Berger
Institut für Infrastruktur, AB Geotechnik, Universität Innsbruck

© *innsbruck* university press, 2026

Universität Innsbruck

1. Auflage

Alle Rechte vorbehalten.

innsbruck university press, Karl-Schönherr-Straße 3, 6020 Innsbruck

Tel. +43 512 507-31700, iup@uibk.ac.at, www.uibk.ac.at/iup

Druck: Prime Rate Zrt., Budapest

ISBN 978-3-99106-196-0

DOI 10.15203/99106-196-0

Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

Inhaltsverzeichnis

<i>Univ.-Prof. DI Dr.habil. Robert Hofmann</i> <i>Dipl.-Ing. Dr.techn. Simon Berger</i> Vorwort der Herausgeber	9
Block 1	
Extrem- und Überlastfälle	
<i>Vorsitz MR Priv.-Doz. DI Dr. Florian Rudolf-Miklau</i>	
<i>Toril Hofshagen</i> Lessons learned from the Gjerdrum quick clay landslide in Norway	17
<i>Dietmar Pichler</i> Hochwasserschutz in NÖ – Das Katastrophen- hochwasser 09/2024	21
<i>Johannes Hübl, Georg Nagl</i> Beispiele von Bauwerksversagen bei Extrem- und Überlastfällen	29
<i>Roberto Dinale, Jacopo Caiazza</i> Große Stauanlagen und Bevölkerungsschutz in Südtirol – Risiko-Szenarien, Warnphasen und Notfallkonzept	35

Block 2

Überprüfung von Schutzbauwerken und Bewertung

Vorsitz HR DI Gebhard Walter

Philipp Jansen, Franziska Weinzierl, Andreas Koch

Herausforderungen bei der Überwachung von Sicherungs-
bauwerken gegen alpine Naturgefahren 49

*Catherine Berger, Maike Schneider, Stefan Furger,
Eva Gertsch-Gautschi, Luciano Giovanoli, Sandro Ritler,
Andrea Truttmann*

Umgang mit alternden Schutzsystemen in der Schweiz –
Ein allgemeines Konzept und ein konkreter Ansatz zur
Überprüfung der Zweckmäßigkeit 59

Rachel Riner, Raphael Worni

Wirksamkeitsbeurteilung von Steinschlagschutzdämmen –
Ansätze aus der Praxis 67

Block 3

Monitoring von Schutzbauwerken

Vorsitz RD Dipl.-Geol. (univ.) Andreas Koch

*Simon Berger, Robert Hofmann, Felix Doppelmayer,
Hans-Jörg Laimer*

Numerische Simulation mit Steinschlagschutznetzen zur
Bewertung von Überlastfällen 83

Alexander Bittendorfer, Sascha Schultes

Kontinuierliche Zustandsüberwachung von Schutzbauwerken
und Schutzflächen als Bestandteil des Integralen
Risikomanagements 91

<i>Michael Brauner, Hans Jörg Laimer</i> Monitoring von Schutzbauwerken und Schutzflächen im Streckennetz eines Bahnbetreibers	101
<i>Sebastian Averdunk, Gernot Stelzer, Roland Schmidt, Johann Golser</i> Überwachung von Steinschlagnetzen: Einblicke in innovative Monitoring-Technologien	115
 Block 4	
Fernerkundung – Überwachung	
<i>Vorsitz Direktor DI Fabio de Polo</i>	
<i>Kurosch Thuro, Tamara Breuninger, Moritz Gamperl, John Singer</i> Entwicklung eines Monitoring- und Frühwarnsystems für flach- gründige Rutschungen in den Anden (Medellín, Kolumbien)	123
<i>Anne Hormes, Simeon Kreher, Steffen Wachtel, Tobias Bode, Christian Ernst</i> Praxisbeispiele der photogrammetrischen Trennflächenanalyse im Planungsprozess für Sicherungsbauwerk	127
<i>Markus Keuschnig, Markus Dörfler</i> Der präzise Blick aus dem Weltall: InSAR-basierte Bauwerks- und Bodenüberwachung	137

Vorwort der Herausgeber

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn.habil. Robert Hofmann
Institut für Infrastruktur, Leitung, Arbeitsbereich für Geotechnik, Universität Innsbruck
robert.hofmann@uibk.ac.at

Dipl.-Ing. Dr.techn. Simon Berger
Institut für Infrastruktur, Arbeitsbereich für Geotechnik, Universität Innsbruck
simon.berger@uibk.ac.at

Der 19. Tiroler Geotechniktag Naturgefahren im Congress Innsbruck, unter Leitung des Arbeitsbereichs für Geotechnik der Universität Innsbruck, lieferte wieder die Basis für praxisbezogenen Wissensaustausch, Diskussionen, Fragestellungen und deren Lösungen bei Naturgefahren im alpinen Raum. In den Tiroler Radio- und Fernsehprogrammen wurde der Veranstaltungstag zum „Tag der Geotechnik und Naturgefahren“ ernannt. Gemeinsam mit den zahlreichen Teilnehmern und Ausstellern aus dem In- und Ausland war der Tag der Geotechnik, am 4.6.2025, auch die ideale Plattform für neue Kontakte.

Der Eröffnungsvortrag für den Tiroler Geotechniktag 2025 wurde vom Tiroler Landeshauptmann Anton Mattle gehalten. In einem stimmungsvollen und überaus fachlich beeindruckenden Vortrag mit dem Titel „Tirol im Wandel? Naturkatastrophen gehören zum Leben in den Alpen. Gibt es neue Herausforderungen?“ konnte der Landesvater die Zuhörer begeistern. Mit seiner Teilnahme und als über die Grenzen Tirols bekannter Kenner der Thematik Naturgefahren wurde der Veranstaltung eine große Anerkennung und Förderung erwiesen. Auch in diesem Jahr waren eine Vielzahl an Teilnehmenden und Ausstellenden im Congress Innsbruck, um den Wissensaustausch von Wissenschaft, Wirtschaft, Politik und Praxis maßgebend zu unterstützen.

Beim 19. Tiroler Geotechniktag Naturgefahren des Arbeitsbereichs für Geotechnik der Universität Innsbruck wurde wieder der Nachwuchs mit dem Be-

sich von HTL-Klassen aus Innsbruck gefördert und die Möglichkeit für Netzwerke geschaffen. Durch Unterstützung aus Wissenschaft, Wirtschaft und Politik konnte die Bedeutung der Geotechnik bei Naturgefahren eindrucksvoll hervorgehoben werden.

Für das Vortragsprogramm wurden in diesem Jahr die Themen im Zusammenhang mit der Geotechnik

- Extrem- und Überlastfälle bei Schutzbauwerken
- Überprüfung von Schutzbauwerken und Bewertung
- Monitoring von Schutzbauwerken
- Fernerkundung – Überwachung

ausgewählt. Die Betreuung der einzelnen Blöcke erfolgte durch die leitenden Verantwortlichen für Naturgefahren in Österreich, Tirol, Südtirol und Bayern. Unter deren Vorsitzführung wurden nach den Vorträgen interessante Diskussionen mit den Expert:innen aus Norwegen, Deutschland, Italien, der Schweiz und Österreich geführt.

Beim Vortrag von Toril Hofshagen mit dem Titel „Lessons learned from the Gjerdrum quick clay landslide in Norway“ wurde eindrucksvoll der Umgang mit der Katastrophe von Gjerdrum im Jahr 2020 präsentiert. Unter dem Vorsitz des Abteilungsleiters der Wildbach- und Lawinenverbauung, Florian Rudolf-Miklau, lieferten die Vortragenden Pichler, Hübl, Nagl und Dinale weitere Beiträge zum Themenblock „Extrem- und Überlastfälle“.

Dem wichtigen Fachbereich der „Überprüfung von Schutzbauwerke und Bewertung“ widmeten sich Vortragende aus Bayern (Koch, Jansen und Weinzierl) sowie der Schweiz (Berger und Rinner) unter der Leitung vom Sektionsleiter der Wildbach- und Lawinenverbauung Gebhard Walter.

Der dritte Vortragsblock hatte den Schwerpunkt „Monitoring von Schutzbauten“ und wurde vom Vertreter der Landesbaudirektion Bayern, Andreas Koch, geleitet. Die Beiträge von Mitarbeitern des Arbeitsbereichs für Geotechnik (Berger, Hofmann und Doppelmayer), ÖBB (Laimer und Brauner), Geobruigg

(Bittendorfer und Schulters) sowie Geodata (Golser und Stelzer) unterstrichen die Notwendigkeit der Prüfung und Beobachtung von Schutzbauwerken.

Der Direktor der Agentur für Bevölkerungsschutz, Fabio de Polo, führte durch den letzten Themenblock der Konferenz über Fernerkundung und Überwachung. Thuro, Horms und Keuschnig bewiesen in diesem Fachgebiet ausdrucksstark ihre Qualitäten.

Den Abschluss der Tagung bildete, wie jedes Jahr, die Präsentation der praxisbezogenen Forschungsprojekte des Arbeitsbereichs für Geotechnik der Universität Innsbruck sowie deren Projektpartnern im Zusammenhang mit Naturgefahren.

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn.habil. Robert Hofmann
Dipl.-Ing. Dr. techn. Simon Berger



• **FARFALLA Böschung**

- Straßen- und Forstwegebau
- Sanierung von Rutschungen
- Schneller und einfacher Einbau
- Erhältlich in 2 Baugrößen

• **FARFALLA Bach- und Rensenverbauung**

- Stabilisierung von Gerinnen (Bächen / Rensen)
- Alternative zu Sperren aus Holz
- Schneller und einfacher Einbau
- Erhältlich in 3 Baugrößen

• **Lawinenschutzbauten aus Stahl**

- Stahlschneebrücken Dk-2,0 bis Dk-5,0
- Triebsschneewände
- Lawinenablenkwände
- Lawinenablenkzeuge
- Gleitschutzböcke GSB-1,5

• **Stahlwasserspulen**

- Selbstreinigend
- Längen 4 bis 6 Meter



Block 1

Extrem- und Überlastfälle

Vorsitz MR Priv.-Doz. DI Dr. Florian Rudolf-Miklau

Abteilungsleiter BML-Abteilung III/4 – Wildbach- und
Lawinenverbauung und Schutzwaldpolitik, Wien

Lessons learned from the Gjerdrum quick clay landslide in Norway

Toril Hofshagen

The Norwegian Water Resources and Energy Directorate (NVE), Norway;
tho@nve.no

1 The Gjerdrum quick clay landslide

The Gjerdrum landslide of 30th December 2020 was the most devastating quick clay landslide in Norway since 1893. The rupture zone was 240 meters wide and 700 meters long. The deposit zone extended two kilometers downstream along a valley of lower lying terrain. Eleven people, including an unborn child, tragically lost their lives. Around 1,500 people were evacuated from potentially unstable areas in the immediate aftermath of the landslide. 200 people lost their homes on a permanent basis.

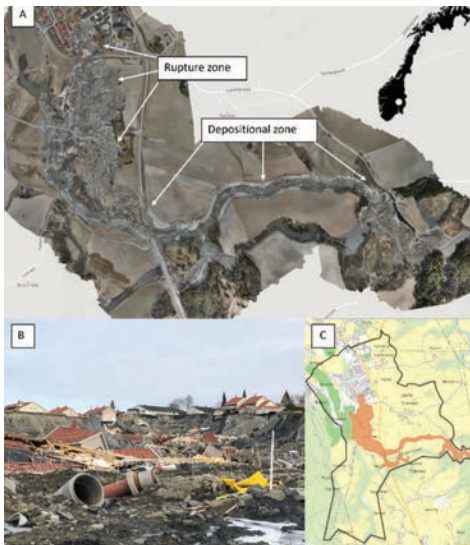


Figure 1, Overview of the Gjerdrum landslide.

A) View of the entire landslide area April 2021. B) The northern part of the landslide area. C) Boundaries of the evacuated area (black outline) immediately after the landslide (brown fill).

2 Emergency response and reconstruction work

After the landslide, NVE assisted during search and rescue operations in the landslide area. Our main tasks were to monitor the remaining steep scarp in case of further landslide activity, construct access roads into the landslide pit, and assist in the search for survivors.

Extensive ground investigations were carried out in evacuated areas as quickly and safely as possible. During January 2021, our work showed that the evacuation zones could be reduced in many areas, and we also advised that some areas were not safe to return to.

Three years of mitigation and reconstruction work followed. Soil and clay were removed from the top of the scarp and placed inside the main body of the landslide as a counter filling, making the slopes less steep. 17,500 pre-fabricated vertical drains were installed in critical areas in the landslide pit, to remove water from the deeper layers of collapsed clay, stabilizing it and reducing the risk of further landslides. Three watercourses, that the landslide buried in clay and debris, were reopened, designed with sufficient capacity to accommodate floods, and secured with stones to prevent erosion.

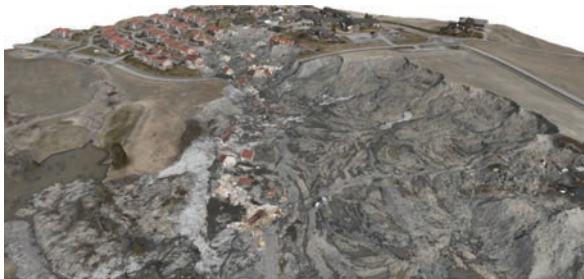


Figure 2: The northern part of the landslide area.

Top: April 2021, four months after the landslide.

Below: August 2023, after extensive mitigation and reconstruction work.

Drone technology (UAV) has been used for many purposes during our work, and the use of ground-based InSAR radar monitoring system provided early warning of subsequent landslides that occurred in the remaining scarp. NVE's work in Gjerdrum involved close cooperation with emergency services and the local council of Gjerdrum, as well as extensive collaboration with consultancies and contractors, amongst others the Norwegian Geotechnical Institute, Multiconsult AS and Åge Haverstad AS.

Hochwasserschutz in NÖ – Das Katastrophenhochwasser 09/2024

Dietmar Pichler

Amt der NÖ Landesregierung, Abteilung Wasserbau, St. Pölten;

* Vortragender: dietmar.pichler@noel.gv.at

1 Allgemeines

Die großflächigen Hochwasserereignisse, die im August 2002 und im Juni 2013 weite Teile Österreichs und mehrere Länder in Mitteleuropa stark in Mitleidenschaft gezogen hatten, sind vielen Menschen noch gut in Erinnerung. Vom 12. bis 20. September 2024 kam es erneut in der Folge einer so genannten Vb (fünf-b)-ähnlichen Wetterlage zu einem massiven Hochwasserereignis.

Beginnend mit 12.9.2024 kam es in Niederösterreich zu einem **Niederschlagsereignis** historischen Ausmaßes. Innerhalb von 5 Tagen gingen fast im gesamten Landesgebiet rd. 200 mm Regen nieder, im Bereich zwischen dem Wienerwald über den Zentralraum bis in die Ötscherregion sogar 400 bis 500 mm. Die höchsten Intensitäten waren am 14.9. mit rd. 200 mm Niederschlag innerhalb von 24 Stunden zu verzeichnen. Damit wurden die zuvor verzeichneten Niederschlagstagesmaxima an mehreren Messstellen um das Doppelte übertroffen. Statistisch gesehen lag der 5-Tage-Niederschlag in der **Größenordnung eines 1.000-jährlichen Ereignisses**.

Fast flächendeckend in ganz NÖ kam es dadurch zu massivem Hochwasser, sowohl an größeren Flüssen als auch an kleinen Nebenbächen, und selbst an normalerweise trockenen Gräben waren extreme Abflüsse zu verzeichnen. An zahlreichen Gewässern wurde ein 100-jährliches Hochwasser erreicht oder überschritten. Insbesondere waren Pielach, Sierning, Perschling, Große und Kleine Tulln, Lainsitz und der Kamp-Oberlauf betroffen. An einigen Flüssen (Perschling, Michelbach, Große und Kleine Tulln, Sierning, Gablitzbach) wurde sogar ein 300-jährliches Ereignis überschritten.

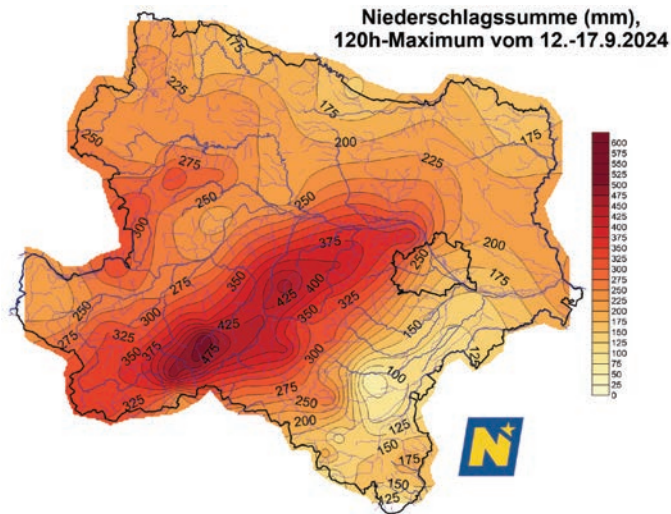


Abbildung 1: Auswertung der 5-Tages-Niederschlagssumme aus Stationen des Hydrographischen Dienstes NÖ, Update mit teilweise korrigierten Daten (Stand April 2025).

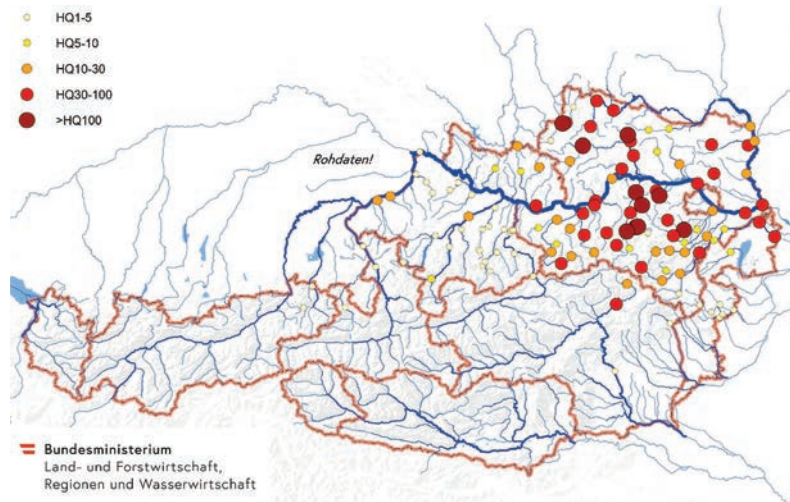


Abbildung 2: Maximal erreichte Jährlichkeiten der Hochwasserscheitel (Rohdaten) an ausgesuchten Pegeln im Zeitraum 14.9.2024 bis 20.09.2024. Datengrundlage: Hydrographie Österreich, Quelle: BMLUK

2 Einsatzzahlen und Schäden

Die Auswirkungen des Hochwassers zogen den größten Katastrophenhilfeinsatz in der Geschichte des Landes Niederösterreich nach sich. Ab dem 14.9. bis zum 20.9. waren täglich 5.000-10.000 Einsatzkräfte gleichzeitig im Einsatz, am 15. und 16.9. phasenweise sogar über 20.000. Insgesamt kamen beim Hochwasserereignis 2024 rund 131.000 Einsatzkräfte zum Einsatz, Hilfe kam aus allen österreichischen Bundesländern.

Bis Ende Juni 2025 wurden Schäden im Vermögen natürlicher und juristischer Personen (insbesondere an privaten Wohngebäuden, Gewerbebetrieben, landwirtschaftlichen Betrieben, land- und forstwirtschaftlichen Kulturen) im Ausmaß von ca. 817 Millionen Euro erfasst. Es wurden mehr als 23.000 Anträge auf Gewährung einer Beihilfe gestellt und rund 359 Millionen Euro ausbezahlt. Da vereinzelt noch neue Anträge sowie Nachträge bei der Beihilfenabwicklungsstelle einlangen und die Frist für die Antragseinbringung in begründeten Einzelfällen verlängert wurde, ist eine abschließende Bilanz derzeit noch nicht möglich.

Die Gemeindeschäden liegen bei rd. 100 Mio. Euro. 349 Gemeinden haben Schäden gemeldet. Zusätzlich betragen die Schäden an Hochwasserschutzanlagen rd. 33 Mio. Euro. Im Bereich des NÖ Straßennetzes waren Schäden von rd. 20 Mio. Euro zu verzeichnen, im Bereich der ÖBB-Infrastruktur rund 100 Mio. Euro.

Damit liegen die Gesamtschäden des Hochwasserereignisses 2024 bei 1,07 Mrd. Euro.

3 Hochwasserschutz

Schutzmaßnahmen zielen darauf ab, bestehende Gebäude und Infrastruktur möglichst weitgehend vor Überflutungen zu schützen. Dazu wurden nach 2002 folgende Maßnahmen umgesetzt:

- Konsequenter Ausbau des Hochwasserschutzes nach 2002:
 - über 800 Schutzprojekte (Dämme, Mauern, Rückhaltebecken) umgesetzt
 - über 300 Gemeinden sicherer gemacht
 - 1,6 Mrd. Euro investiert
- Aufweitung und Renaturierung von Gewässern (rd. 200 Einzelmaßnahmen mit rd. 260 Mio. Euro Gesamtinvestition).

4 Ereignisanalyse – Hochwasserschutzanlagen

Um aus den Erfahrungen eines Hochwassers die richtigen Schlüsse ziehen und daraus Verbesserungen für zukünftige Hochwässer ableiten zu können, ist eine umfassende Dokumentation und Evaluierung des gesamten Ereignisses erforderlich. Dieser Prozess ist bereits weit fortgeschritten. Vertiefende, auch wissenschaftliche Untersuchungen sind derzeit noch im Laufen.

Bestehende Hochwasserschutzanlagen haben maßgeblich dazu beigetragen, um noch wesentlich größere Schäden zu verhindern. Exemplarisch kann folgender Vergleich zwischen Baukosten und verhindertem Schaden genannt werden:

Hochwasserschutzprojekt Gewässer	Funktions-tüchtigkeit	Baukosten (nicht valorisiert)	Verhinderter Schaden Sept. 2024
HWS Zöbing Kamp	2016	5,3 Mio. Euro	5,4 – 8,3 Mio. Euro
Rückhaltebecken Fahrafeld Triesting	2023	43,0 Mio. Euro	60,0 – 70,0 Mio. Euro
HWS Hofstetten- Grünau Pielach	2018	4,2 Mio. Euro	9,0 – 13,0 Mio. Euro

In den hauptbetroffenen Flussabschnitten werden derzeit der Ablauf des Hochwassers, das Ausmaß der Überflutungen und die Funktion von Hochwasserschutzanlagen dokumentiert und bewertet:

- Ereignisanalyse für 37 Flussabschnitte durch Auswertung von Luftbildern, Schadensbildern, Vermessungen und hydraulischen Nachberechnungen
- GIS-basierte Darstellung der gesamten Hochwasserdokumentation (Überflutungsbereiche, Damnbrüche, Schäden)
- Darstellung des gesamten Überflutungsbereiches (grundstücksscharf auf Luftbildbasis) und Veröffentlichung im NÖ-Atlas als Referenzereignis für Bevölkerung, Behörden und Einsatzorganisationen
- Wissenschaftliche Gesamtanalyse und Synthesebericht durch die Universität für Bodenkultur.

In jenen Bereichen, wo die Dimensionierungsansätze der Hochwasserschutzanlagen überschritten wurden, kam es abschnittsweise zum Überströmen von Schutzbauwerken und in weiterer Folge auch zu Damnbrüchen infolge des Überströmens.

Kurzfristig notwendige Maßnahmen wie z.B. die Instandsetzung beschädigter Hochwasserschutzanlagen, das Räumen von Geschiebeanlandungen oder das Sanieren von Uferanrissen sind weit fortgeschritten (Gesamtinvestitionen rd. 33 Mio. Euro).

5 Strategien und Empfehlungen

Hochwasserschutzanlagen haben sich vielfach bewährt und konnten noch deutlich höhere Schäden vermeiden. Es ist daher evident und wichtig, den Hochwasserschutz weiterhin konsequent auszubauen. Prioritäten und technische Ausgestaltungen sind aufgrund des Hochwasserereignisses zu überprüfen bzw. anzupassen. Insgesamt soll bis 2040 im Bundesland Niederösterreich eine weitere Milliarde Euro in den Hochwasserschutz investiert werden.

5.1 Mehr Raum den Flüssen

Im Hochwasserfall sollte möglichst viel Wasser in natürlichen Überschwemmungsgebieten zurückgehalten werden. Bestehende Retentionsräume sind in ihrer Funktion weitestgehend zu erhalten und zusätzliche Retentionsräume sind zu erschließen. Mit dieser Aufgabe könnte in Zukunft z.B. eine landeseigene Flächenagentur betraut werden. Zukünftige Hochwasserschutzprojekte sind konsequent auf diese Ziele auszurichten. Für etwaige Nutzungseinschränkungen sind Grundeigentümer zu entschädigen. Dazu sollten das Wasserbautenförderungsgesetz oder das Katastrophenfondsgesetz durch den Bund geändert werden.

5.2 Anpassung von Instandhaltung und Gewässerpflege

Bei der Pflege und Instandhaltung der Gewässer ist ein Interessensausgleich zwischen Hochwasserschutz, Gewässerökologie und Naturschutz anzustreben, wobei der Schutz der Menschen und ihres Eigentums höchste Priorität haben müssen! Mit abgestimmten Gewässerpflegekonzepten, die wasser- und naturschutzrechtliche Aspekte berücksichtigen, sollen den Wasserverbänden klare Handlungsanleitungen und Rechtssicherheit gegeben werden.

5.3 Überprüfung der Bemessungsansätze für Hochwasserschutzanlagen und der Schutzniveaus für kritische Infrastruktur

Hochwasserschutzanlagen werden auf Basis der jeweils aktuellen, verfügbaren Daten und gemäß den Vorgaben des Wasserbautenförderungsgesetzes auf ein HQ100 dimensioniert. Mit wissenschaftlicher Unterstützung ist auf Bundesebene eine Diskussion zu führen, auf welche Bemessungswerte (z.B. Jährlichkeiten) Hochwasserschutzanlagen zukünftig ausgelegt werden sollen. Dabei sind Einflüsse durch zunehmende Extremwetterereignisse vorausschauend zu berücksichtigen – vor allem für jene wichtigen Infrastrukturanlagen (hochrangige Verkehrsverbindungen, Krankenhäuser, Pflegeheime).

me, Anlagen für Energieversorgung und Abfallentsorgung), deren Ausfall das (Wirtschafts-)Leben monatelang beeinträchtigen können.

5.4 Rechtliche und legistische Maßnahmen

Durch eine Ausweitung der bereits bestehenden NÖ Hochwasserschutzzonenpläne (Verordnungen des Landes) auf weitere Flussgebiete sollten wirksame Retentionsräume vor Verbauungen geschützt und in ihrer Funktion erhalten werden.

Durch die Festlegung eines übergeordneten öffentlichen Interesses für Maßnahmen zum Schutz vor Naturgefahren sollen Bewilligungsverfahren, aber auch Instandhaltungsmaßnahmen vereinfacht und beschleunigt werden. Dies müsste auf europäischer Ebene initiiert werden.

Außerdem sollte in den wasserrechtlichen Verfahren vermehrt auf die Möglichkeit von Zwangsrechten hingewiesen werden, um Hochwasserschutzprojekte nicht durch Einzelinteressen zu verhindern.

5.5 Maßnahmen gegen Hangwasser

Überflutungen betreffen bei Starkregenereignissen nicht nur hochwasserführende Gewässer, sondern können auch durch oberflächigen Abfluss aus Hanglagen entstehen. Auf Basis der bereits bestehenden „Gefahrenhinweiskarte Hangwasser“ und mittels Niederschlagsmodellierungen sollen Gemeinden verstärkt Regenwasserpläne erstellen und darin gezielte Maßnahmen zur Bewältigung von Starkregenereignissen festlegen und umsetzen.

5.6 Wissenschaftliche Gesamtanalyse des Hochwassers 2024

In einer wissenschaftlichen Gesamtanalyse sollten die Ergebnisse der einzelnen Evaluierungsprojekte zusammengeführt werden. Ergänzend können damit auch noch offene Spezialfragen, wie z.B. die Bewertung von Retentionswirkungen behandelt werden. Ein entsprechendes Forschungsprojekt

der Universität für Bodenkultur ist im Rahmen des DaFNE-Programms (Datenbank für Forschung zur Nachhaltigen Entwicklung des BMLUK) derzeit in Vorbereitung.

Literatur

- [1] Aktualisierung der Werte zum Hochwasser vom 13.9.2024 bis zum 20.9.2024 in NÖ erstellt von DI Bianca Kahl, Juni
- [2] September 2024 in Niederösterreich Bericht und Empfehlungen Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Friedrich Zibuschka Juni 2025

Beispiele von Bauwerksversagen bei Extrem- und Überlastfällen

Johannes Hübl*, Georg Nagl

BOKU Wien, Institut für Alpine Naturgefahren, Wien

* Vortragender: johannes.huebl@boku.ac.at

1 Zusammenfassung

Das Versagen von Schutzbauten hat oft schwerwiegende Folgen für Mensch und Infrastruktur. Ein Versagen des Bauwerks hat nicht nur die Aufhebung des Schutzes zur Folge, sondern kann auch einen erhöhten Geschiebeeintrag im Unterlauf bedingen. Da Schutzbauten in den Gefahren- und Risikokarten berücksichtigt werden, kann ein Versagen von Schutzbauten den Verlust von Menschenleben und wirtschaftliche Risiken erhöhen. Infolgedessen können auch Gebiete betroffen sein, die ansonsten als nicht gefährdet einzustufen wären. In einigen Ländern werden bei der Erstellung von Gefahren- und Risikokarten sehr seltene Extremereignisse berücksichtigt, während eine spezifische Berücksichtigung des Versagens von Schutzmaßnahmen in der Regel fehlt. Dies ist darauf zurückzuführen, dass von der Funktionsfähigkeit der Schutzmaßnahmen wie vorgesehen ausgegangen wird.

2 Einleitung

Schutzbauten gegen alpine Naturgefahren werden in rauen Umgebungen eingesetzt, um enormen Kräften standzuhalten und über lange Zeiträume hinweg zu funktionieren. Das Versagen von Sperren ist ein seltenes, aber gefährliches Ereignis, das zu einem höheren Schadensausmaß führen kann als bei einem Zustand ohne Bauwerk. In der Literatur sind einige wenige Versagen dokumentiert, die auf verschiedene Versagensmechanismen

zurückzuführen sind, wie z. B. Überlastung des Bauwerks oder schlechte Wartung. Aber auch kleine Defekte, wie z. B. Risse, können Schäden verursachen und zu strukturellem Versagen oder erhöhten Reparaturkosten führen. Um Bauwerke über ihre vorgesehene Lebensdauer zu erhalten, ist es wichtig, mögliche Versagensmechanismen zu berücksichtigen, die mit verschiedenen Mechanismen zusammenhängen. In diesem Beitrag werden zwei Beispiele aus Italien und Österreich aufgeführt, um einen Einblick in mögliche Versagensmechanismen und eine Grundlage für das Instandhaltungsmanagement zu geben.

Wer Schutzbauten dauerhaft funktionsfähig halten will, muss sämtliche denkbare Versagensursachen konsequent in den Blick nehmen. Schäden und die schleichende Zustandsverschlechterung von Sperren sollten daher methodisch erfasst und bewertet werden. Anhand zweier konkreter Beispiele werden mögliche Versagensmechanismen und ihre Konsequenzen aufgezeigt sowie Schlussfolgerungen für ein praxisorientiertes Instandhaltungsmanagement abgeleitet. Ein ganzheitlicher Lebenszyklus-Ansatz für Schutzbauten setzt voraus, dass Bauwerke regelmäßig begutachtet und ihr Zustand sorgfältig dokumentiert wird – nur so lassen sich kritische Entwicklungen rechtzeitig erkennen, bevor sie zum Problem werden. Häufig entstehen solche Schwachstellen durch fortschreitende Materialermüdung oder den allmählichen Abbau der Baustoffeigenschaften. Werden geeignete Gegenmaßnahmen frühzeitig ergriffen, lässt sich die Nutzungsdauer baulicher Anlagen spürbar verlängern und ihre Schutzfunktion langfristig aufrechterhalten.

2.1 Pinnisbach (Tirol, AT)

Am 7. August 2015 kam es im österreichischen Tirol im Einzugsgebiet des Pinnisbachs zu einem Ereignis mit Überflutung und starkem Geschiebetransport nach starken Regenfällen (Strauss et al. 2024). Im Rahmen dieses Ereignisses wurde die Filtersperre in weiten Teilen zerstört. Der Bruch der Sperre löste eine Abflusswelle aus, die jedoch im nachgeschalteten Rückhaltebecken aufgefangen wurde. Es konnte beobachtet werden, dass

das mobilisierte Geschiebe aus dem Rückhalteraum der zerstörten Sperre zum Teil im Unterbecken abgelagert wurde und zum anderen Teil zum Fächer transportiert wurde.



Abbildung 1: Gebrochene Sperre des Pinnisbaches

Das Versagen der Großschlitzsperre ist auf ein internes Stabilitätsversagen zurückzuführen, das durch zu geringe Verankerungslänge der Bewehrung und des Betons verursacht wurde. In der Folge riss die Bewehrung aus.

Einerseits wurden Bewehrungsgrad und Verankerungslänge bei den vorhandenen Bauteilabmessungen für die maßgebende Einwirkung zu gering bemessen. Nachberechnungen im Rahmen der Untersuchung zeigen, dass für den Mittelpfeiler nach geltender Norm (EC2) eine um mindestens 40 % größere Längsbewehrung in z-Richtung sowie eine um 15 % längere Verankerung erforderlich gewesen wären. Den Berechnungen lagen dabei folgende Teilsicherheitsbeiwerte zugrunde: für die Einwirkungen $\gamma_g = 1,35$, für Beton $\gamma_C = 1,50$ und für Betonstahl $\gamma_{BSt} = 1,15$.

Andererseits ist die Kraftübertragung des linken Flügels in den Baugrund aufgrund der geringen Einbindetiefe bzw. des weitgehend fehlenden Fundaments unzureichend. Dies hat Lastspitzen im Anschlussbereich zwischen Flügel und Fundament sowie ausgeprägte Verdrehungen und

Verschiebungen des Bauwerks zur Folge. Um diese Beanspruchungsspitzen beim geplanten Neubau der Sperre zu reduzieren, empfiehlt sich entweder eine durchgehende Fundamentplatte unter dem linken Flügel und/oder der Einbau von Vorfelddübeln (Hübl et al. 2016).

2.2 Rotian Bach (IT)

In der Zeit vom 27. bis 29. Oktober 2018 wurde der Nordosten Italiens von einem schweren Sturm „Vaia“ heimgesucht, der sich durch außergewöhnlich hohe kumulative Niederschlagshöhen sowie lokal durch hohe Niederschlagsintensitäten und Rekordwindgeschwindigkeiten auszeichnete. Diese Bedingungen führten im Rotian Bach (Autonome Provinz Trient) mit einem Einzugsgebiet von etwa 2,4 km² zu einem Murgangereignis, das aus einer Reihe von drei Ereignissen (Schüben) bestand. In diesem Fall wurde das anfängliche Murgangvolumen durch das Versagen bzw. die Unterspülung der meisten in den 1970er Jahren errichteten Sperren erheblich vergrößert, wodurch eine enorme Menge an Sedimenten freigesetzt wurde, die zuvor im Gerinne gelagert waren. Im mittleren Oberlauf wurden etwa 15 Sperren beschädigt oder zerstört.



Abbildung 2: Sperren des Rotian Baches nach dem Murgang mit unterschiedlichen Schadbildern

Das finale Murgangvolumen wurde auf ca. 160.000 m³ taxiert, wobei signifikante natürliche Felsblöcke sowie Elemente der Rückhaltebecken, die durch das Versagen flussaufwärts transportiert wurden, berücksichtigt wurden.

Flussabwärts wurde ein neuerer offener Rückhaltedamm in Mitleidenschaft gezogen, der jedoch noch eine Sedimentmenge von etwa 25.000 m³ zurückhielt.

Das ursprüngliche Murgangvolumen wuchs erheblich an, da ein Großteil der in den 1970er-Jahren errichteten Schutzbauten durch Einsturz oder Unterspülung versagte. Dadurch wurden beträchtliche Sedimentmengen freigesetzt, die zuvor im Gerinne zurückgehalten worden waren. Insgesamt erlitten 16 Querverbauungen im Mittellauf schwere Schäden oder wurden vollständig zerstört. Das Gesamtvolumen des Murgangs wurde auf etwa 200.000 m³ geschätzt (). Dieses Material lagerte sich auf dem Kegel und in den Becken ab. Es bestand aus großen, natürlichen Felsblöcken mit Durchmessern von bis zu drei Metern sowie aus Resten der zerstörten Sperren. Diese wurden von den Murgängen gerinneabwärts bis auf den Kegel verfrachtet.

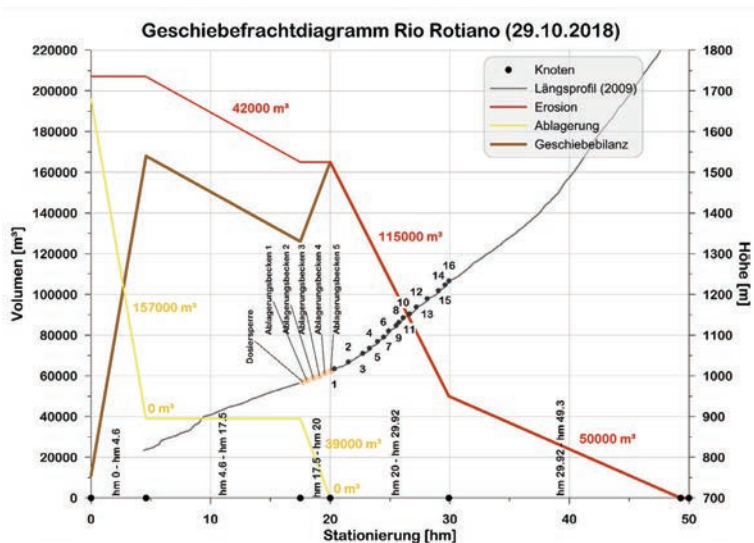


Abbildung 3: Geschiebefracht diagramm der Murgänge des Rotian Baches beim Ereignis vom 29.10.2018

Die unteren Sperren (Sperre 1 bis 10) waren als unbewehrte Schwergewichtsmauern konstruiert. Unter ihnen brachen die Sperren 2 bis 6 voll-

ständig. Dabei wiesen sie ein anderes Versagensbild auf als die weiter oben liegenden Bauwerke. Infolge der Murgänge und des damit verbundenen Abtrags der Sperren wurde die Gerinnesohle um mehrere Meter eingetieft. Das ursprüngliche Längsgefälle zwischen den verlandeten Sperren betrug 12 bis 15 Prozent. Durch die Erosion wurde dieses Gefälle abschnittsweise verringert, an anderen Stellen jedoch auch verstärkt (Nagl et al. 2026).

Die Ereignisse am Rio Rotian (IT) und am Pinnisbach (AT) veranschaulichen eindrücklich, welche Folgen der Ausfall von Schutzbauten in alpinen Lagen nach sich ziehen kann. Die daraus entstandene Versagenskaskade intensivierte den Murgang erheblich, wobei die Sohlenerosion und die Mobilisierung von Sedimenten maßgeblich zur Größenordnung des Ereignisses beitrugen. Ohne den Kollaps der Sperren wäre das Ausmaß des Murgangs mit großer Wahrscheinlichkeit deutlich geringer geblieben. Diese Erkenntnisse machen deutlich, wie wichtig es ist, das Versagensrisiko von Schutzbauwerken ausdrücklich in Gefahren- und Risikoanalysen einzubeziehen.

Literatur

Hübl J., Beck M., Dörler, S., Kamper, S., Matz, S. (2016):

Analyse Sperrenbruch am Pinnisbach 2015; IAN Report 175, Band 2; Institut für Alpine Naturgefahren, Universität für Bodenkultur – Wien

Hübl J, Suda J, Uchida T, Nagl G. Check Dam Failures. In: M J, S M, P S , editors. Advances in Debris-flow Science and Practice [Internet]. Springer Nature Switzerland AG; 2024. p. 23. doi:10.1007/978-3-031-48691-3_17

Nagl, G.; Hübl, J. (2026) Versagen von Schutzbauwerken: Analyse eines Überlastfalls einer Staffelstrecke am Beispiel des Rio Rotian (IT). Bautechnik, S. 1–6.
<https://doi.org/10.1002/bate.70076>

Strauss A, Hübl J, Ionescu F, Nagl G. Torrent Barrier Under Climatic Extreme Load Events – Forensic Analysis of the Fracture and Failure Processes. Structural Engineering International. 2024; 34(3): 370-81.

doi:<https://doi.org/10.1080/10168664.2024.2366542>

Große Stauanlagen und Bevölkerungsschutz in Südtirol – Risiko-Szenarien, Warnphasen und Notfallkonzept

Roberto Dinale*, Jacopo Caiazzo
Amt für Hydrologie und Stauanlagen, Bozen (IT)

* Vortragende: roberto.dinale@provinz.bz.it

1 Stauanlagen in Südtirol

Stauanlagen sind strategische Infrastrukturen, die gebaut werden, um die natürlichen Wasserressourcen zurückzuhalten, zu akkumulieren und sie bei Bedarf bereit zu stellen.

In Italien werden die Verwaltungsbefugnisse für deren Aufsicht laut Ministerialdekret Nr. 151 vom 30. Mai 2024 nach der Höhe der Staumauer oder des Staudamms und dem Volumen des Speichers festgelegt. Die entscheidenden Parameter sind dabei die Höhe des Absperrbauwerkes bis zur Bauwerkskrone und das Stauvolumen, das den Fassungsvermögen des Stauraums bis zum Betriebsstauziel (ordentliches Stauziel: höchstes Niveau der Hochwasserentlastung) entspricht.

Die sogenannten großen Stauanlagen, welche eine Höhe von 15 m überschreiten oder ein Stauvolumen von über 1.000.000 m³ aufweisen, fallen in die staatliche Kompetenz. Davon gibt es in Südtirol 17. Der Speicher Stramentizzo am Avisio befindet sich auf der Grenze zwischen den Provinzen Trient und Bozen und wurde in dieser Statistik auch berücksichtigt. Der Reschensee ist in Südtirol die Stauanlage mit dem größten Fassungsvermögen von 120 Millionen m³, der Stausee Neves im Mühlwaldertal ist jene mit der höchsten Staumauer von 92 Metern.



Abbildung 1, (a) Staudamm St. Valentin und Reschensee, (b) Staumauer Neves im Mühlwaldertal.

Die kleinen Stauanlagen, welche eine Höhe von 15 m nicht überschreiten oder ein Stauvolumen von nicht mehr als 1.000.000 m³ aufweisen, fallen hingegen laut Landesgesetz vom 14. Dezember 1990, Nr. 21 unter die Zuständigkeit des Landes bzw. der Gemeinden, bei Volumen von weniger als 5.000 m³. Wenn man diese letzten Anlagen ausnimmt, gibt es in Südtirol 109 kleine Stauanlagen, 6 davon sind Wehranlagen.

Die Zweckbestimmungen der Speicherbecken mit einem Fassungsvermögen von mehr als 5000 m³ sind hauptsächlich die Bewässerung (34%), die Wasserkraft (32%) und die künstliche Beschneigung (25%), dazu kommt noch die Naherholung (9%). Alle 17 großen Stauanlagen in Südtirol werden für die Wasserkraft genutzt und somit ist diese eindeutig die Hauptnutzung, wenn man auf das Speichervolumen Bezug nimmt (mehr als 98%).

1.1 Aufsicht und Verantwortungen

In Italien gibt es eine umfangreiche Gesetzgebung, die die Sicherheitsbestimmungen im Bereich Stauanlagen festlegt, angefangen von den Verantwortungen.

Die Hauptverantwortung hinsichtlich der Sicherheit der Stauanlagen trägt der Betreiber. Dafür ernennt er einen verantwortlichen Ingenieur und seinen Vize für jede Anlage, die für die Sicherheit der Bauarbeiten und den Betrieb der Anlage verantwortlich sind. Diese Vorschrift, die im Gesetz vom

21. Oktober 1994, Nr. 584 und im Rundschreiben vom 13. Dezember 1995, Nr. DSTN/2/22806 für die großen Stauanlagen verankert ist, gibt es auch in der Gesetzgebung der Autonomen Provinz Bozen: diese sieht vor, dass der Eigentümer oder Betreiber der Stauanlage einen befähigten Fachmann mit der Überwachung des Betriebes der Stauanlage oder des Speichers beauftragen muss.

Die großen Stauanlagen sind in der Regel ständig mit geeignetem Personal besetzt, das sich in unmittelbarer Nähe in den Wärterhäusern aufhält. Die neue Talsperren-Verordnung sieht jedoch vor, dass der Betreiber in Abhängigkeit von der Aufmerksamkeitsklasse der Stauanlage, der Lage und der Zeit, die benötigt wird, um den Damm zu erreichen, von dem bisherigen Verhalten während des Betriebs, dem Überwachungssystem und seiner eigenen technisch-organisatorischen Struktur der Aufsichtsbehörde alternative Bewachungs- und Überwachungsmethoden vorschlagen kann. So werden in Südtirol zwei naheliegende Stauanlagenpaare (St. Valentin und Haidersee im Reschengebiet, sowie die Staueeen Zoggl und St.Pankraz im Ultental) versuchsweise mit gemeinsamem Personal betrieben, das nur bei Hochwasser oder im Notfall verdoppelt wird.

Die staatliche Aufsichtsbehörde der großen Stauanlagen ist die Generaldirektion für Stauanlagen und Wasser-Infrastrukturen, die Zuständigkeiten der Provinz im Bereich Stauanlagen werden vom Amt für Staudämme wahrgenommen.

2 Notfall Stauanlagen

Nach dem Autonomiestatut ist der Katastrophenschutz eine primäre Zuständigkeit der Provinz, so dass die Landesbehörde auch im Bereich der großen Stauanlagen für die Prävention und das Management der Notfälle zuständig ist.

2.1 Historische Ereignisse

Die aktuellen gesetzlichen Bestimmungen sind in diesem Bereich das Ergebnis eines neuen Bewusstseins für die Risiken, die in Talgebieten durch den Bau einer Stauanlage entstehen können. Dieses Bewusstsein entstand in der zweiten Hälfte der 80er Jahre nach einer Reihe von Unfällen und Katastrophen im Ausland aber auch hierzulande:

Die Katastrophe des Vajonts ereignete sich am 9. Oktober 1963. Eine Rutschung von 260 Millionen Kubikmetern Felsen und Lockermaterial löste sich aus einer Flanke vom Monte Toc und stürzte in den darunterliegenden Stausee mit einem Stauvolumen von 168,7 Millionen m³. Die daraus entstandene impulsive Einzelwelle schwappte über die 261,60 m hohe Bogenstaumauer und verursachte 1917 Todesopfer.

Etwa zwei Jahrzehnte später ereignete sich im Trentiner Stavalatal eine der schwersten Industrie- und Umweltkatastrophen in Italien, die auf dem Versagen von zwei sogenannten Tailing-Dams, d.h. Absetzbecken zum Management von Bergbau-Aufbereitungsrückständen, zurückzuführen ist. Diese Becken gehörten zu einer Flotationsanlage zur Gewinnung von 97–98 % reinem Phosphat aus dem in der Mine Prestavel gewonnenen Material. Am 19. Juli 1985 stürzte der Damm des oberen Beckens auf das untere Becken, das seinerseits einstürzte. Der Murgang riss 268 Menschen in den Tod, zerstörte 3 Hotels, 53 Wohnhäuser und 6 Lagerhäuser vollständig, riss 8 Brücken ab und beschädigte 9 Gebäude schwer.

Auch Südtirol blieb von solchen Ereignissen nicht ganz verschont. Der Sommer 1987 war auf der Alpensüdseite sehr niederschlagsreich und bereits im Juli gab es ein erstes Hochwasserereignis. Der Wasserstand des Zufritt-Stausees in Martell blieb somit immer um das Betriebsstauziel. Am 24.08.1987 ereigneten sich wieder starke Niederschläge und aufgrund des steigendes Seepegels wurde in der Nacht der Grundablass vom Speicher Zufritt geöffnet, um den Oberflächenabfluss zu entlasten. Leider verhinderte eine Störung (Stromausfall) die ordnungsgemäße Schließung der Schütze für einige Stunden, was zu einem übermäßigen Abfluss von Wasser aus dem Stausee führte. Zu diesem Zeitpunkt brach auch die Kommunikation zwischen dem

Personal des Stausees und den Verantwortlichen in Kastelbell zusammen. Die Bevölkerung war bereits zuvor evakuiert worden, und glücklicherweise gab es weder Tote noch Verletzte, sondern nur erhebliche Schäden.



Abbildung 2, (a) Ein Bild der Verwüstung am Fuße der Vajont Staumauer nach dem 9. Oktober 1963, (b) Das Südtiroler Martelltal nach der Öffnung des Grundablasses der Staumauer Zufritt am 24. August 1987.

2.2 Gesetzesbestimmungen

Die Lehren aus diesen Vorfällen führten zu sämtlichen neuen Gesetzesbestimmungen, wie z.B. das Ministerial-Rundschreiben vom 28. August 1986, Nr. 1125 und das Rundschreiben vom Präsidenten des Ministerrates vom 13. Dezember 1995, Nr. DSTN/2/22806 mit Einführung der folgenden Maßnahmen:

- Warnschilder, Sirene und Pegelmessstelle talseits der Stauanlagen;
- Verpflichtende Studien der Folgen plötzlicher Ablassmanöver, Dammbruchstudien sowie zur Bestimmung des maximalen Abflussvermögens talwärts abgegrenzt durch den Bannstreifen, bzw. Definition eines Aufmerksamkeitswerts und eines Vorwarn-Abflusses dafür.

Die wichtigste und ausführlichste Norm für die Notfalldefinition und -planung ist die Richtlinie des Präsidenten des Ministerrates vom 8. Juli 2014, die die

operativen Anweisungen für den Zivilschutz im Bereich der großen Stauanlagen enthält mit dem Ziel die Sicherheit dieser Infrastrukturen und der darunter liegenden Gebiete und Personen zu gewährleisten.

2.3 Notfallmanagement, Notfallkommunikation und Notfallplanung

Im Detail werden die Bestimmungen der Richtlinie des Präsidenten des Ministerrates vom 8. Juli 2014 über zwei Dokumente umgesetzt: das Zivilschutzdokument und den Notfallplan, ausgearbeitet für jede große Stauanlage.

Das Zivilschutzdokument legt für jede Stauanlage die Warnphasen, die Bedingungen für die Aktivierung des Zivilschutzsystems sowie die Kommunikations- und technisch-administrativen Verfahren fest, die im Falle von Ereignissen, befürchtet oder bereits eingetreten, im Zusammenhang mit der Ausbreitung einer Hochwasserwelle, die durch die Betätigung der Entlastungsorgane (Szenario „talseitiges hydraulisches Risiko“) oder durch den hypothetischen Dammbbruch (Szenario „Risiko Stauanlage“) verursacht wird, umzusetzen sind. Im ersten Fall geht es um die Überflutungen, die flussabwärts durch die abgelassenen Durchflüsse verursacht werden können. Im zweiten Fall geht es um die Gefährdung der statischen Sicherheit der Staumauer oder des

Q^* , Vorgesehener Beginn Überlauf oder Ablass mittels Öffnung von Schützen

TALSEITIGES HYDRAULISCHES RISIKO - RISCHIO IDRAULICO A VALLE						
Bezugswerte - Valori di riferimento [m ³ /s]						
MAXIMALER DURCHFLUSS - PORTATA MASSIMA				Q_{max}	115,00	
AUFMERKSAMKEITSDURCHFLUSS - PORTATA DI ATTENZIONE				Q_{min}	59,50	
Aktuelle Werte - Valori attuali [m ³ /s]						
ABGELASSENER DURCHFLUSS - PORTATA SCARICATA						
PHASE FASE	A*	W*	E*	hA* [d; hh:mm]	hE* [d; hh:mm]	
Vorwarnung Preallerta	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
Warnung Allerta	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			

Insgesamt abgelassener Durchfluss größer als Q_{min}
(inklusive Überlauf und bearbeitete Wassermengen)

Q_{min} Aufmerksamkeitsstufe abgelassener Durchfluss
 ΔQ Inkrementeller Schwellenwert Aktualisierung Warnung

Abbildung 3, Warnphasen Szenario „talseitiges hydraulisches Risiko“

Staudamms aufgrund eines Hochwassers, eines Erdbebens oder sonstiger Ereignisse, die im Extremfall zu einem Dammbbruch führen könnten.

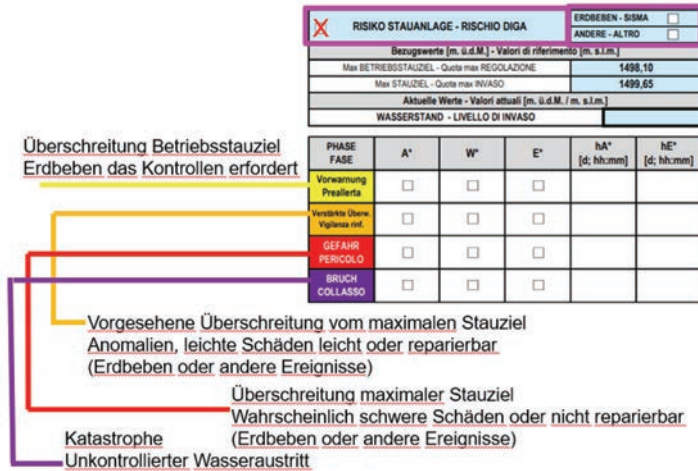


Abbildung 4, Warnphasen Szenario „Risiko Stauanlage“

Die Szenarien „talseitiges hydraulisches Risiko“ und „Risiko Stauanlage“ sind in den Raumordnungs- und Gefahrenzonenplänen der Südtiroler Gemeinden nicht berücksichtigt, da sie als Restgefahr gelten. Dementsprechend sind sie mittels temporärer Katastrophenschutz-Maßnahmen zu bewältigen.

Der Notfallplan beschreibt die Prozeduren und Maßnahmen, die ergriffen werden müssen, um solche Gefahrensituationen zu bewältigen. Für jede Warnstufe (2 für das Szenario „talseitiges hydraulisches Risiko“ und 4 für das Szenario „Risiko Stauanlage“) werden die operativen Strategien und das dazugehörige Einsatzmodell festgelegt, die in Bezug auf Warnungen, Alarme, Anwendung von Schutzmaßnahmen (auch präventiv), Unterstützung und Rettung der Bevölkerung umgesetzt werden sollen. In der Autonomen Provinz Bozen sind die Stauanlagen-Notfallpläne Teilpläne des Landes Zivilschutzplans.

2.4 Beteiligte Behörden und Subjekte

Der Betreiber spielt auch im Notfallmanagement eine entscheidende Rolle, da er für die Aktivierung der Alarmstufen und die im Zivilschutzdokument festgelegten Kommunikationen verantwortlich ist. Die Beteiligung der Behörden ist je nach Alarmstufe gestaffelt und sieht die Einbeziehung folgender Dienststellen vor:

- Das Amt für Hydrologie und Stauanlagen gilt als Schnittstelle zwischen dem Betreiber und der behördlichen Ebene und koordiniert die Szenarien im Auftrag der Agentur für Bevölkerungsschutz.
- Der Funktionsbereich Wildbachverbauung ist für den Hochwasserdienst zuständig und gilt als Flussbaubehörde.
- Die Berufsfeuerwehr ist rund um die Uhr erreichbar und dient als Kontaktstelle für alle Mitteilungen sowie für die Führung des Lagezentrums und die Einberufung der Landesleitstelle.
- Das Regierungskommissariat ist die verantwortliche Präfektur für Südtirol, d.h. es dient als Schnittstelle zu den Ordnungskräften und Streitkräften des Staates.
- Die Bürgermeister gelten als lokale Zivilschutzentscheidungsträger und beraten in den Gemeindeleitstellen gemeinsam mit den übergeordneten Zivilschutzeinrichtungen.

Die staatliche Generaldirektion für Stauanlagen und das Zivilschutzdipartement werden laufend informiert und unterstützen in der Lageneinschätzung bzw. in der Alarmierung und im Einsatz.

Diese Rollen widerspiegeln sich im Ablauf der Kommunikation und der Alarmierung. Für die Warnungen und Mitteilungen wird ein eigenes dafür entwickeltes Modell verwendet: Damit informiert der Betreiber das Amt für Hydrologie und Stauanlagen über das Szenario. Diese Stelle bewertet die Lage und leitet das Modell mit den eigenen Bemerkungen an alle Akteure weiter. Falls die Ordnungskräfte und andere Präfekturen informiert gehören, erfolgt dies durch das Regierungskommissariat.

3 Schlussbemerkungen und Ausblick

In Südtirol gibt es für alle großen Stauanlagen genehmigte Zivilschutzdokumente und Notfallpläne. Diese sind auf der Webseite der Agentur für Bevölkerungsschutz öffentlich zugänglich und die dazugehörigen geografischen Inhalte sind im Zivilschutzbrowser für autorisierte Benutzer einsehbar und werden regelmäßig aktualisiert.

Zivilschutzdokumente und Notfallpläne gelten als lebendige Instrumente, die ständig weiterzuentwickeln und zu optimieren sind. Dafür sind ein stetiger Austausch von Informationen und Erfahrungen sowie regelmäßige Übungen sehr wichtig.

Die nächste Überarbeitung der Zivilschutzdokumente und der Notfallpläne sieht u.a. den Einbau in den Notfallprozeduren der verfügbaren öffentlichen Alarmierungssysteme (Landes-Bevölkerung-Informationssystem, IT-alert) sowie die Anpassung der Überflutungsszenarien an den aktuellen Rahmenbedingungen vor.

Literatur

- [1] Landesgesetz vom 26. Mai 1976, Nr. 18, Errichtung des Biologischen Landeslaboratoriums und des Hydrographischen Landesamtes.
- [2] Landesgesetz vom 14. Dezember 1990, Nr. 21, Regelung der Stauanlagen, der ober- und unterirdischen Speicher und der Behälter für öffentliche und private Gewässer.
- [3] Ministerial-Rundschreiben vom 28. August 1986, Nr. 1125, Änderungen und Ergänzungen zu den früheren Rundschreiben Nr. 1959 vom 9. Februar 1985 und Nr. 1391 vom 29. November 1985 über Alarm- und Gefahrenmeldesysteme für Staudämme gemäß der mit dem Präsidialdekret Nr. 1363 vom 1. November 1959 genehmigten Verordnung – vollständiger und aktualisierter Text.
- [4] Rundschreiben vom Präsidenten des Ministerrates vom 13. Dezember 1995, Nr. DSTN/2/22806, Durchführungs- und Ergänzungsbestimmungen zum Thema Staudämme.

- [5] Richtlinie des Präsidenten des Ministerrates vom 8. Juli 2014, Operative Leitlinien für den Katastrophenschutz in Einzugsgebieten mit großen Stauanlagen.
- [6] Ministerialdekret vom 30. Mai 2024, Nr. 151, Verordnung zur Regelung des Genehmigungsverfahrens für Projekte und der Kontrolle des Baus und Betriebs von Stauanlagen.
- [7] Gesetzesvertretendes Dekret vom 21. Oktober 1994, Nr. 584, Dringende Maßnahmen im Bereich Stauanlagen.



TRUMER
Schutzbauten



5-10 Jahre
Batterielebensdauer

LoRaWAN
Kommunikation

Benachrichtigungen
in nahezu Echtzeit

Höchste Zuverlässigkeit
durch
Messredundanz

„24/7 Fernüberwachung Ihrer
Schutzbauwerke“

www.trumerschutzbauten.com

Block 2
**Überprüfung von Schutzbau-
werken und Bewertung**

Vorsitz HR DI Gebhard Walter
Sektionsleiter Wildbach- und Lawinenverbauung
Tirol, Innsbruck

Herausforderungen bei der Überwachung von Sicherungsbauwerken gegen alpine Naturgefahren

Philipp Jansen*, Franziska Weinzierl*, Andreas Koch
Landesbaudirektion Bayern, Referat 55 – Ingenieurbauwerke
und Georisiken, München (D)

* Vortragende: georisiken@lbd.bayern.de

1 Einleitung

Sicherungsbauwerke gegen alpine Naturgefahren und deren Überwachung sind ein wesentlicher Bestandteil zum Schutz der Verkehrsteilnehmer vor Georisiken. In Bayern wurden 20 Arten von Sicherungsbauwerken als Standard definiert [1], die nach örtlicher Situation oder Erfordernis abgewandelt oder miteinander kombiniert werden können.

Im Zuständigkeitsbereich der Bayerischen Straßenbauverwaltung bilden das Bayerische Straßen- und Wegegesetz (BayStrWG) sowie das Bundesfernstraßengesetz (FStrG) den rechtlichen Rahmen für die Überwachung von derzeit rund 2.500 Sicherungsbauwerken gegen Sturzprozesse und Rutschungen sowie bis dato ca. 2.000 Sicherungsbauwerken gegen Lawinen. Deren Anzahl wird sich in den nächsten Jahren durch die Übernahme von Bauwerken der Bayerischen Umweltverwaltung auf etwa 11.000 erhöhen. Konkret ist die Verkehrssicherungspflicht in § 3 Abs. 1 FStrG bzw. Art. 9 Abs. 1 BayStrWG festgelegt. Sie obliegt dem Straßenbaulastträger [2].

Die dezidierte Überwachung der Sicherungsbauwerke gegen alpine Naturgefahren wurde dementsprechend im Jahr 2021 im Geschäftsbereich der Bayerischen Straßenbauverwaltung eingeführt und ist seit dem Jahr 2022 Teil des operativen Dienstbetriebs.

Die Überwachung gliedert sich in ein dreistufiges System (vgl. Abbildung 1): Bei der jährlichen Sichtung werden augenscheinliche Veränderungen erfasst. Alle fünf Jahre erfolgt eine Kontrolle, bei der eine handnahe

Beurteilung hinsichtlich der Funktionstauglichkeit und Dauerhaftigkeit aller Bauteile eines Sicherungsbauwerks erfolgt. Hierbei wird der Handlungsbedarf in Hinblick auf den Zustand des Bauwerks mit Hilfe eines intern entwickelten, produktneutralen Schadenskatalogs ermittelt. Alle 15 Jahre findet eine umfassende Prüfung statt, bei der zusätzlich zur Kontrolle ein ingenieurgeologischer bzw. lawinentechnischer Bericht zu jedem Sicherungsbauwerk erstellt wird [3], mit dem Ziel der Feststellung, ob die installierten Sicherungsbauwerke – bei Annahme eines hinreichenden Zustandes – aus ingenieurgeologischer oder lawinentechnischer Sicht zur Abwehr der vorliegenden Georisiken ausreichend sind.

In der Bayerischen Straßenbauverwaltung konnten seit nunmehr drei Jahren Erfahrungen durch insgesamt rund 2.000 erfolgte Kontrollen gesammelt werden [4]. Diese führen sowohl in der Vorbereitung als auch in der Durchführung zu erheblichen personellen und wirtschaftlichen Aufwendungen, die in der Umsetzung der Überwachung berücksichtigt werden müssen.

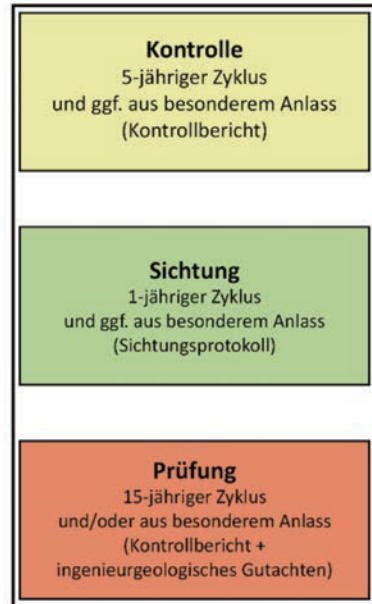


Abb. 1: Schematische Darstellung des dreistufigen Überwachungssystems

2 Datenbank der Sicherungsbauwerke

Die Grundlage der Überwachung, insbesondere der handnahen Kontrolle der Sicherungsbauwerke, ist eine Datenbank auf Basis eines Geoinformationssystems (GIS). In dieser durch die Landesbaudirektion Bayern betriebenen Geodatenbank ist jedes verwaltete Sicherungsbauwerk (derzeit ca. 4.500 Sicherungsbauwerke gegen Sturzprozesse, Rutschungen und Lawinen) mittels geographischer Koordinate eindeutig verortet. Zusatzinformationen

z. B. zu Bauwerksart, Konstruktion, Baujahr sowie Zugänglichkeit und Einsehbarkeit geben einen umfassenden Überblick über das Sicherungsbauwerk.

Diese Informationen können sowohl von den Zuständigen der Staatsbauverwaltung als auch von speziell für die Kontrolle der Sicherungsbauwerke geschulten externen Auftragnehmern über die FieldMaps-App der Firma ESRI über ein Smartphone oder Tablet im Gelände abgerufen werden (vgl. Abbildung 2). Wird der Auftrag zur Kontrolle an externe Sachverständige vergeben, werden für den Auftrag sogenannte „Sichten“ erstellt, die den Zugriff auf die notwendigen Daten der Bauwerke ermöglichen. Kostenpflichtige Lizenzen für die Nutzung der digitalen Infrastruktur sind nicht erforderlich; diese werden durch die Staatsbauverwaltung gestellt.

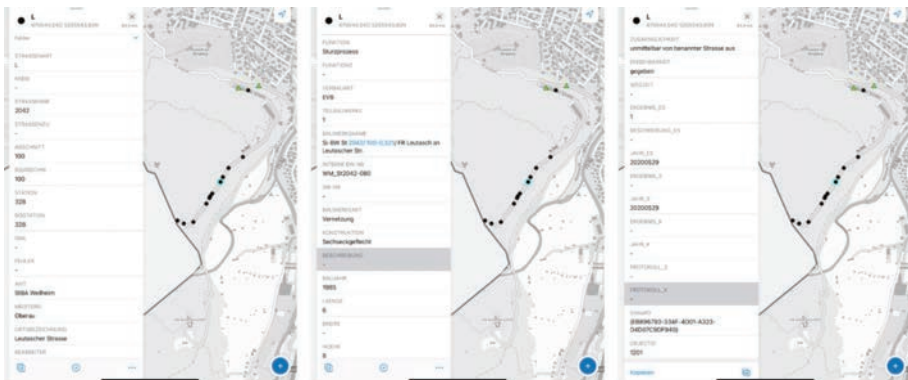


Abb. 2: Ansicht der mobilen FieldMaps-App mit Grunddaten einer Vernetzung

Die Selbstverortung im Gelände kann über das Mobilgerät erfahrungsgemäß bis auf ca. 3 m genau erfolgen; in Kombination mit diversen Hintergrundkarten wie z. B. einer Schummerung ist dies für das Auffinden der Sicherungsbauwerke in der Regel ausreichend. Zur eindeutigen Identifizierung ist darüber hinaus ein Foto des Sicherungsbauwerks im Datensatz hinterlegt.

3 Vorbereitende Maßnahmen

Ein Großteil der Sicherungsbauwerke gegen alpine Naturgefahren befindet sich in naturnahem vegetationsreichen Gelände. Insbesondere Strauchwerk, dornige Pflanzen sowie Rankepflanzen können die Zugänglichkeit und Einsehbarkeit aller Bauteile der Sicherungsbauwerke massiv beeinträchtigen (vgl. Abbildungen 3 und 4). Daher ist in der Regel der Freischnitt des zu kontrollierenden Sicherungsbauwerks eine grundlegende Voraussetzung für eine handnahe Kontrolle. Bei der Planung des Freischnitts ist zu beachten, dass dieser sowohl saisonalen als auch naturschutzfachlichen Einschränkungen unterliegen kann und zeitlich so abgestimmt werden muss, dass ein zwischenzeitliches erneutes Aufkommen der Vegetation vor der Kontrolle möglichst ausgeschlossen ist.



Abb. 3: Ansicht vor Freischnitt
(Quelle: HTB)



Abb. 4: Ansicht nach dem Freischnitt mit nun
zugänglichem Steinschlagschutzzaun
(Quelle: StBA Bamberg)

Weiterhin erfordert die Kontrolle von Sicherungsbauwerken häufig Verkehrsicherungsmaßnahmen, deren Ziel es ist, die Sicherheit der Verkehrsteilnehmer sowie der Kontrollierenden selbst zu gewährleisten und gleichzeitig die Beeinträchtigung des Verkehrs so gering wie möglich zu halten. Diese Maßnahmen können auch bei kurzen Sperrzeiten oder kleinräumigen Eingriffen in den Verkehr mit einem erheblichen organisatorischen und logistischen Aufwand verbunden sein. Schon die Vollsperrung eines vergleichsweise kurzen

Straßenabschnitts kann großräumige Umleitungen mit entsprechend hohen Kosten nach sich ziehen. Dies liegt insbesondere daran, dass viele Sicherungsbauwerke an verkehrsrelevanten Straßenabschnitten liegen, deren Sperrung zu erheblichen Beeinträchtigungen des Verkehrsflusses führt. Die Planung und Umsetzung solcher Verkehrssicherungsmaßnahmen erfordern daher eine frühzeitige, enge Abstimmung mit Behörden, Anliegern und Auftragnehmern.

Bei der Planung der Verkehrssicherung müssen – wie beim Freischnitt auch – die Verfügbarkeit der Auftragnehmer sowie die Finanzierung berücksichtigt werden. Beide Leistungen können die eigentlichen Kosten für die eigentliche Kontrolleleistung übersteigen.

Für die Durchführung einer umfassenden und präzisen Kontrolle sind möglichst detaillierte Unterlagen wie Pläne, Ausführungsunterlagen oder Angaben zu den einzelnen Bauteilen von großer Bedeutung. Diese Unterlagen sind – vor allem bei älterem Bauwerksbestand und bei konstruktiv errichteten Sicherungsbauwerken – oft unvollständig oder fehlen. In solchen Fällen müssen vorab Bauwerkspläne erstellt und möglichst detaillierte Informationen zu den Sicherungsbauwerken erhoben oder bei Herstellerfirmen bzw. den ausführenden Fachfirmen eingeholt werden. Diese werden – sofern nicht bereits in der Datenbank der Landesbaudirektion Bayern vorhanden – dem Datensatz des jeweiligen Sicherungsbauwerks hinzugefügt. Sollten trotz intensiver Recherche keine oder lediglich unvollständige Bauwerksunterlagen vorliegen, muss die Kontrolle auf Basis der im Gelände gewonnenen Erkenntnisse erfolgen. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass sich der Stand der Technik seit der Errichtung des Sicherungsbauwerks verändert haben kann, so dass andere Einbau- und Ausführungsvarianten zulässig sein können. Änderungen des Stands der Technik führen nicht automatisch zu einem Handlungsbedarf. Vielmehr ist entscheidend, dass die Schutzfunktion des Sicherungsbauwerkes gewährleistet ist.

4 Durchführung der Kontrolle

Im Zuständigkeitsbereich der Bayerischen Straßenbauverwaltung dürfen die Kontrollen durch die in jedem Staatlichen Bauamt berufenen „Manager für Georisiken und Sicherungsbauwerke“ und die Mitarbeiter des Referates Ingenieurbauwerke und Georisiken der Landesbaudirektion Bayern durchgeführt werden. Weiterhin werden Aufträge an externe Auftragnehmer, die in der Liste der Sachverständigen für Sicherungsbauwerke der Bayerischen Ingenieurkammer-Bau eingetragen sind, vergeben. Die Ausbildung und regelmäßige Schulung dieses Personals sind unabdingbar, um eine hohe Qualität der Kontrollen sicherzustellen.

Die Durchführung der Kontrollen stellt unter anderem aufgrund der Zuweisung zu den Sicherungsbauwerken sowie der Zugänglichkeit aller Bauteile eine besondere Herausforderung dar. Da viele Bauwerke in schwer zugänglichem Gelände errichtet sind, können die Arbeiten oftmals nur mit Zugangs- und Positionierungsverfahren unter Zuhilfenahme von Seilen stattfinden. Für diese Verfahren wurde der Anwendungsbereich der grundlegenden Technischen Regeln für Betriebssicherheit (TRBS 2121, Teil 3) in der letzten Aktualisierung im Jahr 2019 auf die Hang- und Felssicherung erweitert [5].

Zusätzlich werden die Kontrollen durch nicht einsehbare Bauteile, wie z. B. verpresste Nagelschäfte, überdeckte untere Tragseile von Steinschlagschutzgittern oder eingewachsene Vernetzungen erschwert. Verdeckte Bauteile müssen grundsätzlich so freigelegt werden, dass eine durchgehende Beurteilung im Rahmen der handnahen Kontrolle erfolgen kann. Eine (Teil)-Freilegung kann nur dann entfallen, wenn der Zustand des Bauteils, des Bauwerks oder dessen Umgebung ungünstig beeinflusst werden. In diesem Fall wird nach einer eigens entwickelten, juristisch geprüften Handlungsanweisung vorgegangen, die eine Beurteilung von nicht einsehbaren Bauteilen erlaubt.

Bis Dezember 2024 erfolgte die Dokumentation der Schäden mittels Kontrollprotokoll in Papierform. Die papierbasierte Aufnahme der jeweiligen Bauwerksschäden im Gelände hat sich in der Praxis als aufwendig und problembehaftet herausgestellt. Aus diesem Grund wurde – auch auf Grundlage von Hinweisen und Erfahrungen Dritter – ein Fachverfahren entwickelt, welches

die Schadensaufnahme am Bauwerk mittels App ermöglicht (vgl. Abbildungen 5 und 6). Aus der Übersichtsansicht der FieldMaps-App heraus kann die Aufnahme der Schäden auf Bauteilebene mittels der Survey123-App der Firma ESRI gestartet werden. Der intern entwickelte Schadenskatalog [6] ist in der App kaskadierend aufgebaut und führt durch die Eingabe der bauwerksbezogenen Schäden. Bilder von maßgebenden Schäden können direkt in der App hinzugefügt werden. Somit werden Fehleingaben reduziert und die Auswertbarkeit der Schäden wird deutlich verbessert [7].



Abb. 5: Eingabe von Schäden über ein Tablet



Abb. 6: Die Dokumentation von Schäden wird vor allem unter Seilzugangpositionierung über die App erleichtert.

Im Anschluss an die Kontrolle erfolgt die automatische Erzeugung des Kontrollberichtes, der als Word-Dokument an den Kontrolleur versandt wird. Nach der abschließenden Bearbeitung wird ein PDF-Dokument erzeugt und digital signiert, womit der Kontrollbericht rechtssicher abgeschlossen ist. Die kom-

plette Dokumentation der Kontrolle kann somit digital vorgenommen werden, ohne dass es zu einem Medienbruch kommt.

Die digitale Dokumentation der Kontrolle wird durch Personal der Bayerischen Straßenbauverwaltung seit Frühjahr 2025 operativ eingesetzt. Eine Nutzungsmöglichkeit für externe Auftragnehmer besteht seit August 2025.

5 Zusammenfassung

Die dreistufige Überwachung der Sicherungsbauwerke gegen alpine Naturgefahren, bestehend aus Sichtung, Kontrolle und Prüfung, wurde im Jahr 2021 im Geschäftsbereich der Bayerischen Straßenbauverwaltung eingeführt und ist seit dem Jahr 2022 Teil des operativen Dienstbetriebs. Seit nunmehr drei Jahren sammeln die Landesbaudirektion Bayern und die Staatlichen Bauämter Erfahrungen in der Durchführung der alle fünf Jahre stattfindenden handnahen Kontrolle.

Hierbei ergaben sich im Laufe der Jahre Herausforderungen, die im Zuge des Dienstbetriebes zu bewältigen waren. Dies betraf nicht nur die Organisation der Kontrollen, den Freischnitt, die Verkehrssicherung und die Berücksichtigung der morphologischen Verhältnisse, sondern auch sich aus der Praxis ergebende Probleme, wie die papierbasierte Schadensaufnahme am Sicherungsbauwerk.

Von Anfang an war klar, dass die durch die Landesbaudirektion Bayern gesteuerte Einführung dieser gänzlich neuen Herangehensweise im Umgang mit Sicherungsbauwerken eines engen Austausches mit den Managern für Georisiken und Sicherungsbauwerke in den Staatlichen Bauämtern vor Ort bedarf. Hierdurch ist es gelungen, Probleme frühzeitig zu identifizieren und zeitnahe und effiziente Lösungen zu finden, wie beispielsweise die Volldigitalisierung der Dokumentation der Kontrollen. Diese enge Abstimmung findet auch mit den externen Sachverständigen statt, institutionalisiert beispielsweise im jährlichen, speziellen Erfahrungsaustausch der Bayerischen Ingenieurkammer-Bau, dessen Teilnahme für die Sachverständigen zum Erhalt der Eintragung verpflichtend ist.

Insgesamt kann nach drei Jahren Betrieb allmählich von einer gewissen Routine bei der Abwicklung der Kontrollen gesprochen werden. Noch nicht ganz so weit ist man bei der dritten Stufe der Überwachung von Sicherungsbauwerken, der Prüfung. Welche fachlichen und organisatorischen Herausforderungen diese mit sich bringen wird, wird sich in den kommenden Jahren herauskristallisieren.

Literatur

- [1] Zentralstelle Ingenieurbauwerke und Georisiken (LBD Bayern) (2024a): https://www.stmb.bayern.de/assets/stmi/vum/verkehrssicherheit/240212_bauwerkskizzen_sicherungsbauwerke.pdf
- [2] Wagner, R.; Koch, A.; Jansen, P.; Landgraf, G. (2021): Die bayerische Antwort auf stetig wachsende Georisiken In Jahreszeitschrift der VSVI in Bayern e.V.
- [3] Koch, A., Jansen, P., Wild, F., Prause, C., Landgraf, G., Modlmayr, A., Schleier, M. (2023): Überwachung von Sicherungsbauwerken gegen alpine Naturgefahren an Straßen in Bayern. In: Tagungsband 1. Fachtagung Bauwerksprüfung nach DIN 1076, S. 98-109. Würzburg.
- [4] Koch, A.; Keilig, K.; Scharrer, K.; Wolf, J. (2023): Die Überwachung von Sicherungsbauwerken in Bayern – Vorstellung der Herangehensweise der Staatsbauverwaltung und erste Erfahrungen aus Sicht des Sachverständigen. Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V. (DGGT): Fachsektionstage Geotechnik, Tagungsband S. 48-53.
- [5] Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (2019): Technische Regeln für Betriebssicherheit (TRBS) 2121 Teil 3: Gefährdung von Beschäftigten durch Absturz bei der Verwendung von Zugangs- und Positionierungsverfahren unter Zuhilfenahme von Seilen. GMBI 2019, S. 39 [Nr. 2/3]
- [6] Zentralstelle Ingenieurbauwerke und Georisiken (LBD Bayern) (2024b): https://www.verkehrsministerium.bayern.de/assets/stmi/vum/verkehrssicherheit/240314_schadenskatalog_sicherungsbauwerke.pdf
- [7] Koch, A.; Jansen, P.; Scharrer, K.; Keilig, K.; Wolf, J. (2024): Überwachung und Instandhaltung von Sicherungsbauwerken gegen alpine Naturgefahren – Heran-

gehensweise in Bayern. Geomechanics and Tunnelling. <https://doi.org/10.1002/geot.202400055>.



QR-Code zu den produktneutralen Bauwerksskizzen „Sicherungsbauwerke gegen alpine Naturgefahren“ auf der Website des Bayerischen Staatsministeriums für Wohnen, Bau und Verkehr (StMB).



QR-Code zu den produktneutralen Schadenskatalogen „Sicherungsbauwerke gegen alpine Naturgefahren“ auf der Website des Bayerischen Staatsministeriums für Wohnen, Bau und Verkehr (StMB).

Umgang mit alternden Schutzsystemen in der Schweiz

Ein allgemeines Konzept und ein konkreter Ansatz zur Überprüfung der Zweckmäßigkeit

Catherine Berger^{1,*}, Maïke Schneider¹, Stefan Furger²,
Eva Gertsch-Gautschi³, Luciano Giovanoli⁴,
Sandro Ritler⁴, Andrea Truttmann⁵

¹ geo7 AG, Bern (CH)

² Amt für Tiefbau Kanton Uri, Altdorf (CH)

³ Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern (CH)

⁴ HOLINGER AG, Olten (CH)

⁵ DUWAPLAN GmbH, Altdorf (CH)

* Vortragende: catherine.berger@geo7.ch

1 Ausgangslage – Herausforderung alternde Schutzsysteme

Seit Mitte des 19. Jahrhunderts wurden in Schweizer Wildbächen unzählige Schutzbauten errichtet, um Siedlungen, Verkehrswege und landwirtschaftliche Flächen vor gravitativen Naturgefahren zu schützen. Im Laufe der Zeit wurden die Schutzsysteme immer wieder modifiziert: Schutzmaßnahmen wie Bauwerke wurden angepasst oder ergänzt. Gleichzeitig wandelten sich die



(a)



(b)

Abbildung 1, Sperrentreppe an der Gürbe (Bern, Schweiz) (a) um 1900 (C. Bähler aus Salvisberg 2017), (b) im Jahr 2021 (Ingenieurbüro Speerli GmbH).

Anforderungen der Gesellschaft. Auch in den Einzugsgebieten fanden Veränderungen statt und werden sich u.a. aufgrund des Klimawandels weiter akzentuieren.

Heute erfüllen viele bestehende Schutzsysteme die an sie gestellten Anforderungen nicht mehr. Gründe sind die Alterung der Bauten, aber auch veränderte Rahmenbedingungen wie neue Gefährdungsszenarien oder geänderte Nutzungsansprüche. Daraus ergeben sich zentrale Fragen: Soll das bisherige Schutzsystem in seiner Funktion erhalten bleiben, gezielt angepasst oder vollständig neu konzipiert werden (siehe Abbildung 2)? Wie kann diese Entscheidung fundiert getroffen werden und wie kann bei der Beurteilung bestehender Schutzsysteme konkret vorgegangen werden?

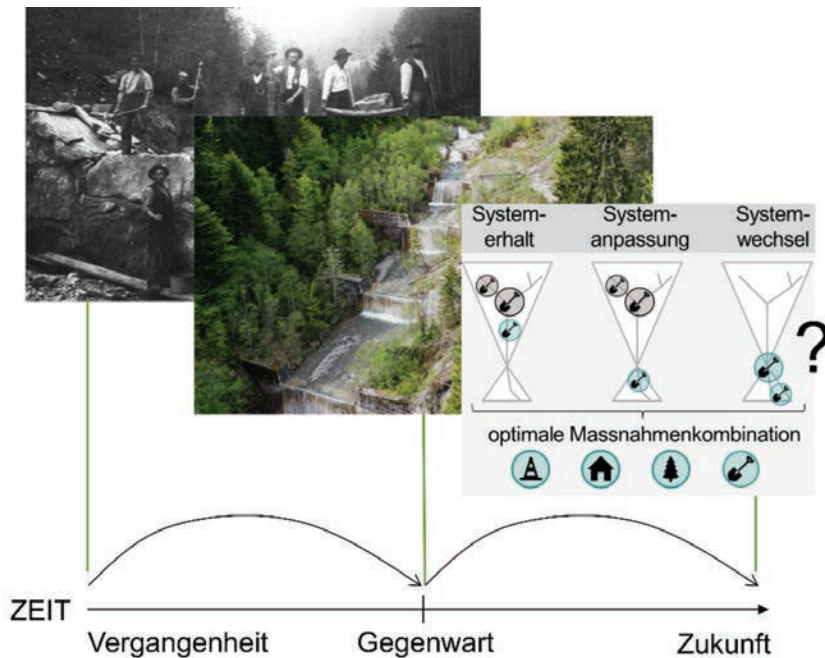


Abbildung 2, Leitfrage – Wie soll ein bestehendes Schutzsystem in die Zukunft überführt werden? (geo7 / HOLINGER)

Zur Beantwortung dieser Fragen wurde im Auftrag des Schweizerischen Bundesamts für Umwelt BAFU ein allgemeines Konzept zum „Umgang mit alternden Schutzsystemen in Wildbächen“ entwickelt (Kapitel 2, BAFU 2022). Im Kanton Uri wurde dieses Konzept um konkrete Hilfsmittel zur Beurteilung der Zweckmäßigkeit von bestehenden Schutzbauten ergänzt und in der Praxis erprobt (Kapitel 3, Kanton Uri 2023).

2 Theorie – Konzept zur Lösungsfindung

Das Konzept für den „Umgang mit alternden Schutzsystemen in Wildbächen“ (BAFU, 2022) unterstützt Planende und Verantwortliche, gesamtheitliche und zukunftsfähige Lösungen für Schutzsysteme zu entwickeln. Es sieht vier aufeinander aufbauende Schritte vor (siehe Abbildung 3):

- **Schritt 1 – Rahmenbedingungen kennen**
Analyse der einstigen, aktuellen und künftigen Gegebenheiten aus Naturraum (z.B. Abflussverhalten, vergangene Ereignisse) und Kulturraum (z.B. Siedungsentwicklung, Infrastruktur, Landnutzung).
- **Schritt 2 – Bisheriges Schutzsystem verstehen**
Verständnis für das bisherige Schutzsystem, seine Funktion und sein Zustand sowie die Gründe für eine Überprüfung (z.B. Schadenereignisse, veränderte Bedürfnisse, neue Gefährdungsszenarien).
- **Schritt 3 – Künftiges Schutzsystem erarbeiten**
Entwicklung eines zweckmäßigen und nachhaltigen Schutzkonzepts, das die identifizierten Anforderungen erfüllt.
- **Schritt 4 – Übergreifende Aspekte einbeziehen**
Berücksichtigung von Themen wie dem allgemeinen Umgang mit Naturgefahren, sich wandelnde gesellschaftliche Ansprüche oder die Kommunikation mit den Beteiligten.

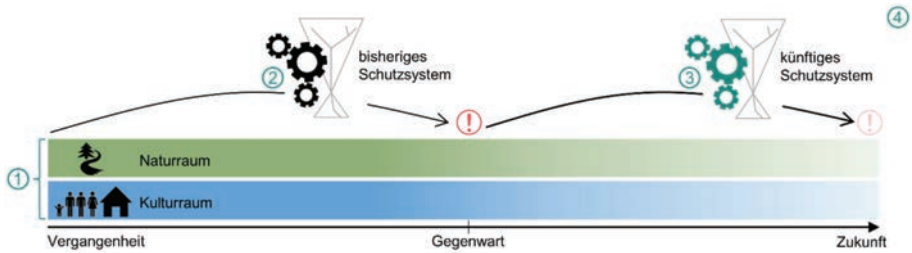


Abbildung 3, Vier Abklärungsschritte strukturieren den Umgang mit alternden Schutzsystemen. Das Symbol (!) markiert den Zeitpunkt, an dem das bestehende Schutzsystem überprüft wird (geo7 / HOLINGER).

Indem Vergangenheit und Gegenwart verstanden werden, entstehen die Grundlagen, um die Zukunft nachhaltig zu planen. Das Konzept ermutigt zu einer unvoreingenommenen und ergebnisoffenen Prüfung aller Handlungsoptionen – vom Erhalt über gezielte Anpassungen bis hin zur vollständigen Neukonzeption eines Schutzsystems (siehe Abbildung 4). Jeder Fall ist einzigartig und erfordert eine individuell angepasste Lösung. Dabei sollen technische, wirtschaftliche, ökologische und soziale Aspekte gleichermaßen berücksichtigt werden.

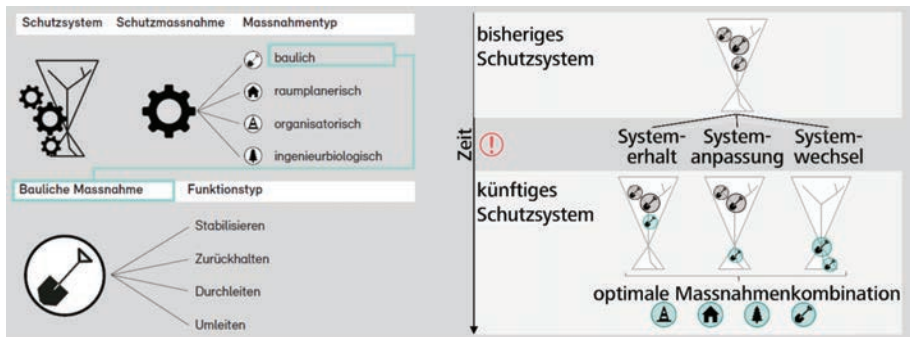


Abbildung 4, Wie soll das künftige Schutzsystem aussehen? (geo7 / HOLINGER)

Grundlage für das in der Publikation vorgeschlagene Konzept zum „Umgang mit alternden Schutzsystemen“ bilden Erfahrungen aus zehn Wildbächen in

der Schweiz. Die dort gefundenen, teils sehr unterschiedlichen Lösungen und Entscheidungswege veranschaulichen das Konzept. Ergänzend zur theoretischen Struktur (siehe Abbildung 3) enthält die Publikation konkrete Abklärungsschritte, praxisorientierte Handlungsempfehlungen und die Dokumentation der Fallbeispiele (siehe Abbildung 5).

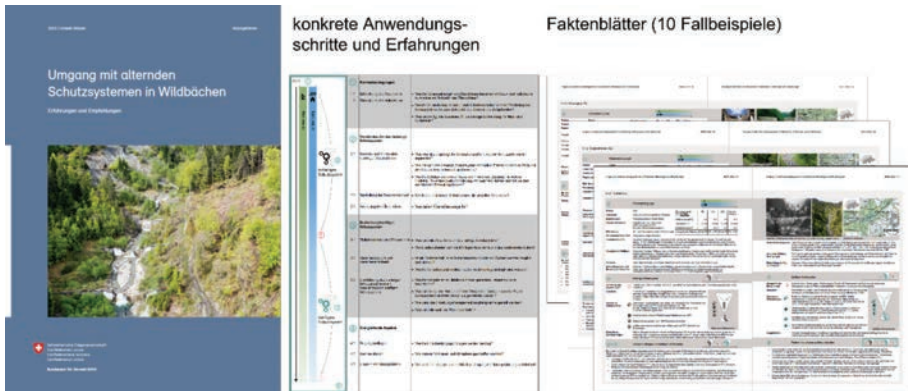


Abbildung 5, Publikation „Umgang mit alternden Schutzsystemen in Wildbächen“ (BAFU, 2022)

3 Anwendung – Ansatz zur Überprüfung der Zweckmäßigkeit

Im Kanton Uri wurde das in Kapitel 2 vorgestellte Konzept mit konkreten Hilfsmitteln ergänzt und in der Praxis angewendet. Auch im Kanton Uri wurden zahlreiche Bauwerke zum Schutz vor Hochwassergefahren errichtet. Viele davon sind in die Jahre gekommen und müssen überprüft werden. Mit einem umsichtigen Schutzbautenmanagement sollen der Erhalt der relevanten Schutzbauwerke und damit die Funktionsfähigkeit ganzer Schutzsysteme langfristig gewährleistet sowie die verfügbaren Ressourcen effizient eingesetzt werden.

Auf Grundlage des übergeordneten Konzepts des BAFU (vgl. Kapitel 2) wurden verschiedene Einzugsgebiete und Schutzsysteme systematisch untersucht. Da das Konzept keine praktischen Hinweise zur Beurteilung der Zweckmäßigkeit von Schutzsystemen enthält, wurde anhand der Fallbeispiele

aus dem Kanton Uri eine ergänzende Methodik mit zusätzlichen Hilfsmitteln entwickelt. Der Schwerpunkt liegt auf der Bewertung des aktuellen Zustands (siehe Symbol (!) zum Zeitpunkt „Gegenwart“ in Abbildung 3 und Abbildung 6) des gesamten Schutzsystems, unter Berücksichtigung einzelner Abschnitte; zudem werden auch die künftigen Rahmenbedingungen im Natur- und Kulturraum einbezogen.

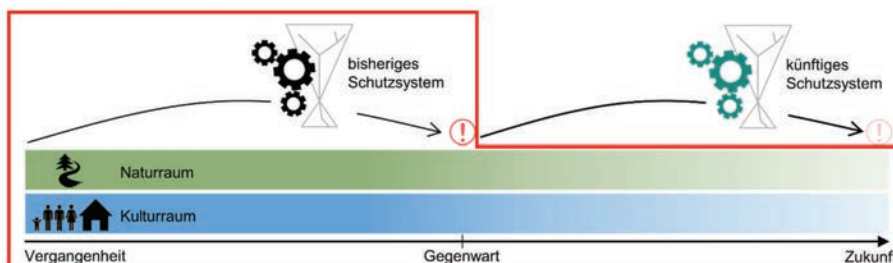


Abbildung 6, Beurteilung der Zweckmäßigkeit des bisherigen Schutzsystems (geo7 / HOLINGER / DUWAPLAN)

Die Eignungsbeurteilung der Schutzsysteme erfolgte – wie das Konzept des BAFU – in vier aufeinander aufbauenden Teilen:

a) Abklärung der Rahmenbedingungen

Generelles Verständnis von Naturraum, Naturprozessen, Kulturraum und Schadenpotenzial inkl. der zeitlichen Entwicklung erlangen.

b) Beschreibung des bestehenden Schutzsystems

Detaillierte Analyse von Schutzziel, Verbauungsgrad, Funktion und Unterhalt des Schutzsystems sowie der einzelnen Bauwerke.

c) Beurteilung der Zweckmäßigkeit

Detaillierte Beurteilung von Zuverlässigkeit (Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit), Überlastbarkeit, Anpassungsfähigkeit und Konformität.

d) Fazit und Ausblick

Zusammenfassung der Erkenntnisse zur Zweckmäßigkeit und Ableitung genereller Empfehlungen für das weitere Vorgehen.

Für jedes untersuchte Schutzsystem wurde ein eigenes Faktenblatt erstellt. Es ist entsprechend den vier Teilen a) – d) aufgebaut, fasst die wichtigsten Erkenntnisse kompakt zusammen und ermöglicht so den direkten Vergleich unterschiedlicher Schutzsysteme.

Zur Unterstützung der Anwendung entstanden drei praxisorientierte Hilfsmittel (siehe Abbildung 7):

- **Ablaufschema** – Übersicht über das methodische Vorgehen, Schritt für Schritt
- **Beurteilungsraster für Detailbeurteilung und Faktenblatt** – strukturierte Vorlage (Excel) für die Beurteilung der Zweckmäßigkeit des Schutzsystems; enthält konkrete Fragen, Hilfestellungen und Vorlagen für die Detailbeurteilung pro Bereich, die Gesamtbeurteilung und das Faktenblatt.
- **Broschüre / Handout** – kompakte, benutzerfreundliche Anleitung zur Methodik.

Die Hilfsmittel dienen als Richtlinie für die Beurteilung der Zweckmäßigkeit bestehender Schutzsysteme und haben sich in den Fallbeispielen im Kanton Uri bewährt. Die Methodik ist auf weitere Einzugsgebiete übertragbar.



Abbildung 7, Hilfsmittel für die Beurteilung der Zweckmäßigkeit eines Schutzsystems – Produkte aus dem Kanton Uri

4 Fazit und Ausblick – Vom Konzept zur Entscheidungsgrundlage

Die Untersuchung hat gezeigt, dass das vom BAFU entwickelte Konzept zum „Umgang mit alternden Schutzsystemen in Wildbächen“ (Kapitel 2) als Grundlage für eine systematische Beurteilung bestehender Schutzsysteme geeignet ist.

Die Anwendung im Kanton Uri hat bestätigt, dass das Vorgehen in der Praxis funktioniert. Mit den im Kanton Uri ergänzend entwickelten Hilfsmitteln lassen sich der Zustand und die Zweckmäßigkeit von bestehenden Schutzsystemen einheitlich und nachvollziehbar beurteilen. Für die bereits untersuchten Schutzsysteme im Kanton Uri liegt nun eine klar dokumentierte Aussage zur Zweckmäßigkeit vor. Diese Ergebnisse ermöglichen den Vergleich zwischen verschiedenen Schutzsystemen und Einzugsgebieten und liefern eine Grundlage für weiterführende Planungen.

Die Methodik kann auf weitere Einzugsgebiete übertragen werden und beinhaltet praxisorientierte Hilfsmittel für die Bewertung und Planung im Umgang mit alternden Schutzsystemen.

Literatur

- [1] BAFU (Hrsg.) (2022): Umgang mit alternden Schutzsystemen in Wildbächen. Erfahrungen und Empfehlungen. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Wissen Nr. 2210: 74 S. Bericht und Anhang mit Faktenblättern zu Fallbeispielen.
Link deutsche Fassung: www.bafu.admin.ch/uw-2210-d
Link französische Fassung: www.bafu.admin.ch/uw-2210-f
Link italienische Fassung: www.bafu.admin.ch/uw-2210-i
- [2] Kanton Uri, Baudirektion (2023): Beurteilung der Zweckmässigkeit von Schutzsystemen im Kanton Uri. Entwickelt von geo7 AG, HOLINGER AG und DUWA-PLAN GmbH. Unveröffentlichte Projektunterlagen.
- [3] Salvisberg M., 2017: Der Hochwasserschutz an der Gürbe. Eine Herausforderung für Generationen (1855–2010). Wirtschafts-, Sozial- und Umweltgeschichte (WSU), Band 7. Schwabe Verlag, Basel.

Wirksamkeitsbeurteilung von Steinschlagschutzdämmen – Ansätze aus der Praxis

Rachel Riner*, Raphael Worni

GEGOTEST AG, Zollikofen (CH)

* Vortragender: rachel.riner@geotest.ch

1 Ausgangslage

Schutzbauten gegen Naturgefahren sind ein zentraler Bestandteil des integralen Risikomanagements (IRM), insbesondere im alpinen Raum, wo der Druck auf die nutzbaren Flächen stetig steigt. Die Errichtung von Schutzbauwerken ermöglicht i.d.R. die Verringerung von Gefahrenflächen resp. des Risikos. Der Wirksamkeitsbeurteilung von Schutzbauwerken kommt somit eine zentrale Rolle im Gefahrenmanagement zu. In der Schweiz wurde die Berücksichtigung von Schutzbauten im integralen Risikomanagement in der Praxishilfe „Protect“ [1] 2008 erstmalig erläutert. In der 2025 publizierte Praxishilfe „PROTECTpraxis“ [14] werden nebst den baulichen Maßnahmen zusätzlich die Wirkungsbeurteilung von forstlichen und organisatorischen Maßnahmen beschrieben. Das Dokument richtet sich primär an erfahrene Naturgefahrenfachpersonen und zeigt Schnittstellen zu anderen Fachdisziplinen (z.B. Ingenieurwesen) auf.

Der vorliegende Beitrag gibt einen Überblick über das Vorgehen von PROTECTpraxis in der Wirksamkeitsbeurteilung von Steinschlagschutzdämmen und zeigt anhand eines Fallbeispiels, wie die Beurteilung angewendet werden kann.

2 Wirksamkeitsbeurteilung von Steinschlagschutzdämmen

2.1 Allgemeines Vorgehen

Die Wirksamkeitsbeurteilung erfolgt für jeweils vorgängig definierte Nutzungsanforderungen an ein Bauwerk. Die Nutzungsanforderungen beschreiben, auf welche Gefährdungsszenarien und Einwirkungen/Lastfälle eine Schutzbaute ausgelegt sein soll. In PROTECTpraxis [14] ist das Vorgehen der Wirksamkeitsbeurteilung in folgende Hauptschritte gegliedert: i.) Vorprüfung System und Grundlagen, ii.) Beurteilung der Zuverlässigkeit, iii.) Beurteilung der Wirksamkeit. Im vorliegenden Beitrag werden die Schritte 2 und 3 beleuchtet (vgl. Abbildung 1).

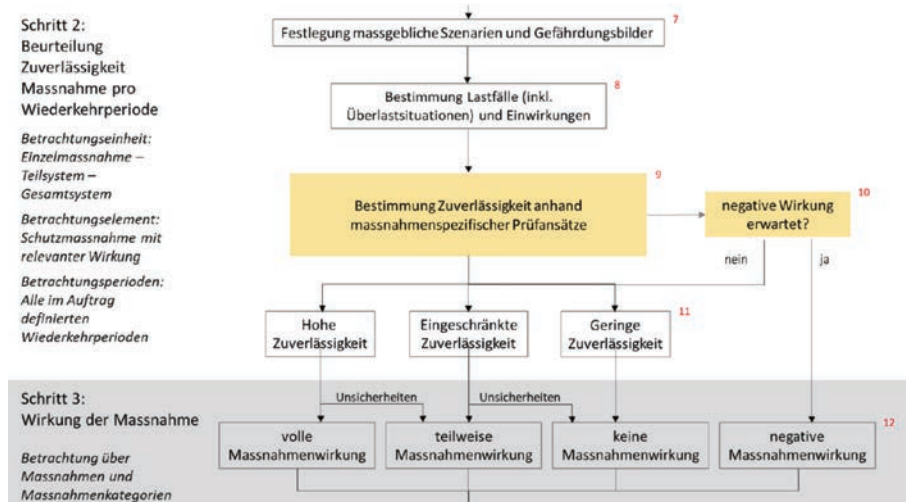


Abbildung 1: Auszug aus dem generellen Ablaufschema PROTECTpraxis (rote Nummerierung: verschiedene Bearbeitungsschritte), [14]. Es sind insbesondere folgende Bearbeitungsschritte hervorzuheben: Bestimmung Gefahrenbeurteilung / Prozesseinwirkung (Schritt 7 und 8), Bestimmung Zuverlässigkeit (Schritt 9 – 11), Beurteilung der Massnahmenwirkung (Schritt 12).

2.2 Gefahrenbeurteilung und Prozesseinwirkungen

Die Gefahrenbeurteilung und Festlegung der Prozesseinwirkungen bilden die Basis für die Wirksamkeitsbeurteilung. Bei den Sturzprozessen sind für das Bemessungsszenario folgende Kenngrößen maßgebend und durch die Naturgefahrenfachperson zu benennen:

- Geologisches Modell / Ausbruchsszenarien
- Beschreibung Sturzsszenarien; für Steinschlagschutzdämme insbesondere Einzelblockszenarien inkl. Festlegung der maximalen Blockachse
- Bestimmung des bestrichenen Prozessraumes
- Berechnung Sprunghöhen / Energien / Einschlagwinkel auf Höhe des Bauwerkes

Das geologische Modell, die Ausbruchsszenarien/Einzelblockszenarien sowie die maximale Blockachse werden aufgrund der geologischen Disposition, der Trennflächenanalyse im Ausbruchgebiet sowie der dokumentierten Ereignisse und Stummen Zeugen definiert. Mittels 3D-Sturzmodellierungen wird der potentiell bestrichene Sturzprozessraum berechnet. Die Ermittlung der Einwirkungen auf Höhe des Schutzbauwerkes erfolgt mittels 2D-Sturzmodellierungen. Sind diese Größen für das Bemessungsszenario bekannt, erfolgt die Zuverlässigkeitsbeurteilung der Steinschlagschutzdämme.

2.3 Bewertung Zuverlässigkeit

Die Beurteilung der Zuverlässigkeit basiert auf folgenden sechs Kriterien (vgl. Abbildung 2); die Beschreibungen sind als Mindestanforderungen zu verstehen:

- (I) Anordnung des Bauwerks im Prozessraum: Korrekte und wirksame Anordnung im Gelände (Sturzbahnen, Relief), ausreichende Überlappung/Abdeckung mit den Prozessräumen, keine ungünstige Topografie bergseits (Sprungschanze)
- (II) Geometrische Anforderungen: Ausreichende Dammlänge (Überlappung zu Schutzobjekt), Werkhöhe > zu erwartende Einwirkungshöhe Oberkante Block, bergseitige Böschung >60°, ausreichender Freibord

- (mind. 1 m oder $\frac{1}{2}$ Länge der max. Blockachse), ausreichender Fallboden und ausreichendes Auffangvolumen
- (III) Aufnahme Einwirkungen: Prozesseinwirkung = Auslegung des Bauwerkes, gem. Nutzungsanforderungen
- (IV) Erhaltungsmanagement: Werk inventarisiert und auf Situationsplan eingezeichnet, verantwortliche Institution definiert, rezente Zustandsbeurteilung liegt vor
- (V) Wirkung Umgebung: Keine schädlichen Einwirkungen durch andere Prozesse (Hangkriechen, Lawinen, Erosion, Hangwasser etc.)
- (VI) Zustand des Bauwerks: Zustand gut bis annehmbar oder andernfalls Vergabe für Instandstellungsarbeiten ist erfolgt

Die Beurteilung und Einstufung der genannten Kriterien erfolgen gutachterlich (erfüllt / teilweise erfüllt / nicht erfüllt). Die bewerteten Kriterien werden in einem Spider-Diagramm (vgl. Abbildung 2) in einem Polygon zusammengefasst. Dessen Ausdehnung/Fläche¹ dient der Bestimmung der Zuverlässigkeit (hoch, eingeschränkt, gering).

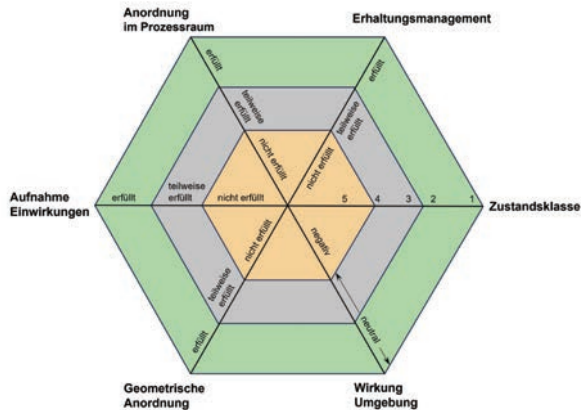


Abbildung 2, Spider-Diagramm zur Bestimmung der Zuverlässigkeit von Schutzbauwerken u.a. Steinschlagschutzdämmen [14].

1 Je größer die aufgespannte Fläche, umso größer die Zuverlässigkeit. Gewisse Kriterien (z.B. „Aufnahme Einwirkungen“ sind stärker zu gewichten als andere.

Können gewisse Kriterien aufgrund fehlender/mangelhafter Unterlagen nicht abschließend beurteilt werden, sind ggf. weiterführende Abklärungen notwendig (z. B. fehlende Bauwerksakten -> Überprüfung Auslegung des Bauwerks durch eine Bauingenieurin).

2.4 Bewertung Wirksamkeit

In einem weiteren Schritt wird die Zuverlässigkeit unter Berücksichtigung der Unsicherheiten (prozessseitig und/oder bauwerksseitig) in die Maßnahmenwirkung umgemünzt (volle Maßnahmenwirkung / teilweise Maßnahmenwirkung / keine Maßnahmenwirkung).

2.5 Herausforderungen und mögliche Lösungsansätze

Bei den Sturzprozessen sind insbesondere folgende Herausforderungen zu benennen:

- Ausbruchsszenarien: Die Definition der Ausbruchsszenarien ist häufig mit Unsicherheiten behaftet (z.B. maßgebende Ausbruchkubatur, Ausmasse maßgebender Einzelblock). Unsicherheiten sind aufzuzeigen und in der Wirksamkeitsbeurteilung zu berücksichtigen.
- Prozessablauf: Prozessräume sowie Einwirkungen von Einzelblöcken können mit Berechnungsprogrammen sowie der notwendigen Erfahrung verhältnismäßig zuverlässig modelliert werden. Limitierungen bestehen u.a. bei folgenden Prozessinteraktionen:
 - Zerbersten eines größeren Felsausbruchs (z.B. Felsturm) und damit verbundene Impulswirkungen
 - Aufprall eines Einzelblockes auf einem tiefer gelegenen Felsband und damit verbundene Bildung von Splitterblöcken. Die Splitter weisen i.d.R. sehr hohe Geschwindigkeiten und andere Flugparabeln auf als die modellierten Einzelblöcke.

Die obengenannten Sachverhalte können primär über die gutachterliche Beschreibung und Analogieschlüsse von dokumentierten Ereignissen gelöst werden. Für die Berechnung von Splintern (Geschwindigkeit,

- Flugparabeln) gibt es Studien (z.B. Fries, 2013 [4]), welche mögliche Ansätze präsentieren.
- Dynamischer Impact auf Steinschlagschutzdämme: Der dynamische Impact auf Steinschlagschutzdämme und damit verbundene plastische Deformation kann aktuell unzureichend abgebildet werden. Aus diesem Sachverhalt ergeben sich häufig sehr mächtige Steinschlagschutzdämme, welche insbesondere bei engen Platzverhältnissen kaum zu realisieren sind. Mögliche, stark vereinfachte Berechnungsansätze für die Dimensionierung von Schutzdämmen sind z.B. in Kretz 2018 [9] beschrieben.

3 Fallbeispiel Steinschlagschutzdamm Biasca (Tessin, CH)

3.1 Ausgangslage

Die Gotthardstrecke ist eine der wichtigsten Eisenbahnverbindungslinien für den Personen- und Güterverkehr durch die zentralen Schweizeralpen und wird durch die Schweizer Bundes Bahnen (SBB) betrieben. Die 2016 eröffneten Gotthard- und Cenenribasistunnel ermöglichen eine maßgebende Kapazitätserhöhung. Der Betrieb und Unterhalt der Gotthardlinie inkl. der beiden Tunnel erfolgt über das Erhaltungs- und Interventionszentrum (EIZ), welches in Biasca (Tessin, CH) am Fuß einer bis zu 1000 m hohen, felsdurchsetzten Talflanke erbaut wurde (vgl. Abbildungen 3 und 4).

Zum Schutz des EIZ (Gebäude, Materialdepot, Vorplatz etc.) wurde basierend auf einer 2010 erarbeiteten Gefahren- und Risikoanalyse [2] am Hangfuß ein Steinschlagschutzdamm mit beidseitiger Steinschichtung errichtet. Eine 2016 durchgeführte Detailanalyse zeigte, dass die 2010 beschriebenen Sturzscenarien deutlich übertroffen werden und mit den bestehenden Maßnahmen die Schutzziele nicht eingehalten werden können.

Kurz darauf, am 16. März 2017, ereignete sich oberhalb des EIZ ein Felssturz von ca. 120 m³. Blöcke von bis zu 5 m³ erreichten den Talboden, blieben aber hinter dem Steinschlagschutzdamm liegen. Eine Vielzahl von weit



Abbildung 3 (links): Untersuchungsperimeter (rot) und EIZ am Wandfuß (Kartenmaterial: swisstopo, map.geo.admin.ch, nicht maßstäblich). Abbildung 4 (rechts): Blick ins Liefergebiet der Sturzprozesse (rot) sowie Lage des EIZ (blau) am Wandfuß.

reichenden Splitterblöcken traf jedoch das Materialdepot bzw. den Vorplatz sowie das Gebäude des EIZ. Darauffolgend wurden zwei Sicherheitssprengungen durchgeführt und das Maßnahmenkonzept basierend auf einer neuen Gefahren-/Risikoanalyse überprüft.

3.2 Überprüfung Gefahrenbeurteilung und Prozesseinwirkungen

Die Überprüfung der Gefahrenbeurteilung/Sturzscenarien sowie Einwirkungen ergab folgende Erkenntnis:

- Im Ausbruchgebiet befinden sich große Felsinstabilitäten, welche durch konventionelle Linienschutzbauwerke nicht aufgehalten werden können. Sicherheitssprengungen sowie lokale Felssicherungen drängen sich auf.
- Das ursprüngliche Bemessungsszenario (alt: $2.8 \times 2.2 \times 2.0$, ca. 10 m^3) musste deutlich erhöht werden (neu: $4.0 \times 3.5 \times 2.7$ m, ca. 31 m^3).
- Aufgrund der steilen, gestuften Topographie können Einzelblöcke auf Felsbändern zerbersten. Die daraus resultierenden Splitterblöcke erreichen ein Vielfaches der Geschwindigkeiten und Reichweiten der Einzelblöcke.

Die Einwirkungen der Großblöcke auf den Steinschlagschutzdamm (Sprunghöhen, Einschlagwinkel, Energie) wurden mittels 2D-Sturzmodellierungen (ROFMOD 4.2) berechnet. Die Berechnung der Einwirkungen durch die Splitterblöcke erfolgte anhand Rückrechnungen der dokumentierten Ereignisse sowie auf den Erkenntnissen der Studie von Fries (2013) [4].

3.3 Beurteilung Zuverlässigkeit Steinschlagschutzdamm

Die Berechnung der Einwirkungen auf den Steinschlagschutzdamm ergaben, dass der Steinschlagschutzdamm für die Einwirkungen des revidierten Bemessungsszenarios einen unzureichenden Schutz bietet. Konkret ist in gewissen Abschnitten mit Überspringern, Durchschlagen des Dammes, Herausstoßen von Blöcken aus der talseitigen Böschung (Billardeffekt) zu rechnen (vgl. Abbildung 6). Weiter ist die Qualität des Dammschüttmaterials u.a. hinsichtlich der Dauerhaftigkeit ungenügend (unzureichend standfestes Material, z.T. Großblöcke, Alteisen und Holzstämmen eingebaut).

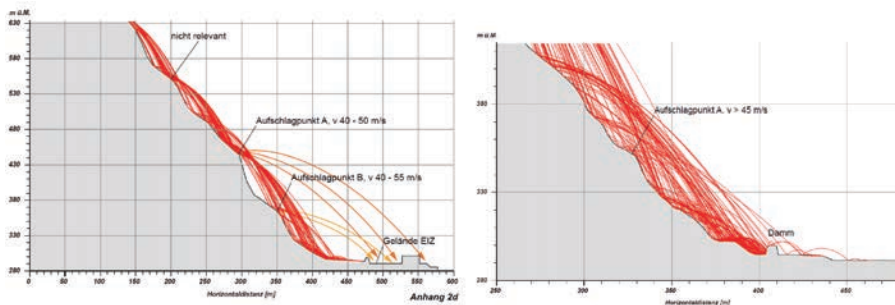


Abbildung 5 (links): Auszug aus der Gefahren-/Risikoanalyse [8] mit den modellierten Sturztrajektorien des Einzelblockes sowie den berechneten Flugparabeln der Splitterblöcke (orange und gelb). Die Splitterblöcke überspringen den Damm und erreichen das Gelände sowie Gebäude des EIZ mit hohen Geschwindigkeiten. In Abbildung 6 (rechts) entlang eines anderen 2D-Sturzprofils sind die eindeutigen Überspringer ersichtlich.

Somit wurden für die neuen Szenarien die Beurteilungskriterien „Aufnahme Einwirkungen“, „Geometrische Anordnung“ sowie die „Zustandsklasse“ nicht

erfüllt (vgl. Abbildung 7). Splitterblöcke und große Instabilitäten stellen zudem ein Überlastfall dar und verlangen nach einer Erweiterung des Schutzmaßnahmenkonzeptes.

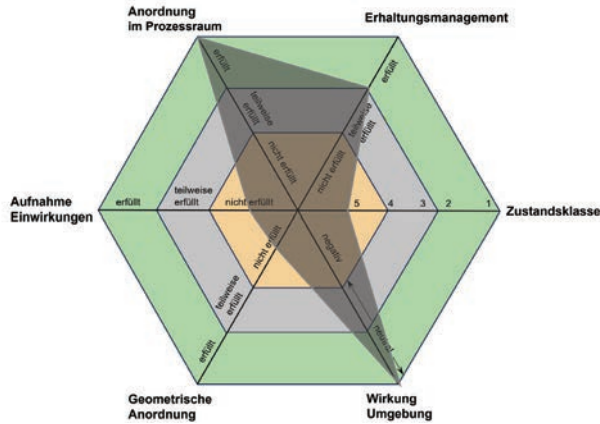


Abbildung 7, Spider-Diagramm zur Bestimmung der Zuverlässigkeit von Schutzbauwerken mit der Beurteilung des Steinschlagschutzdammes beim EIZ in Biasca (grau hinterlegt).

3.4 Schutzmaßnahmenkonzept

Zum Schutz des EIZ sowie der nahen Umgebung wurde das Schutzmaßnahmenkonzept wie folgt angepasst/erweitert:

- Ertüchtigung Schutzdamm in Bereichen mit unzureichender Wirksamkeit:
 - Erhöhung der Wirkungshöhe (Absenkung des Auffangraumes) um bis zu 2.6 m
 - Vernagelung und Einnetzung des Schutzdammes zur Verbesserung der Materialeigenschaften sowie Elimination des Billardeffekts (Herausstoßen von talseitigen Blöcken im Impaktfall).
- Grosse Instabilitäten: Ausführung von Sicherheitssprengungen und lokale Felssicherungen (Unterfangungen, Vernagelungen etc.)
- Objektschutz des EIZ (inkl. Einnetzung des Dachs) zum Schutz vor Splitterblöcken

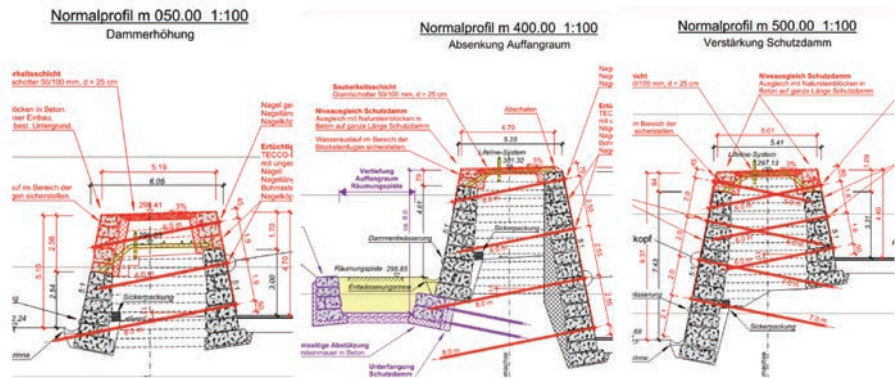


Bild 8 (links): Normalprofil der Dammerhöhung; Bild 9 (mitte): Normalprofil Absenkung Auffangraum; Bild 10 (rechts): Verstärkung Schutzdamm mittels Vernagelung und Netzabdeckung (Bildquelle: Schubiger Bauingenieure AG, 2024 [12]).

4 Schlussbemerkungen

Die Wirksamkeitsbeurteilung nach PROTECTpraxis ist eine Praxishilfe für Naturgefahrenfachpersonen, um gutachterlich eine Wirksamkeitsbeurteilung durchzuführen. Unvollständige Grundlagen (z.B. unzureichende Angaben zum Bemessungsereignis oder fehlende Bauwerksakten) bedingen deren Erarbeitung außerhalb von PROTECTpraxis durch entsprechende Fachpersonen nach den gängigen Normen/Richtlinien.

Der Anlass für eine Wirksamkeitsbeurteilung kann vielfältig sein (alternierende oder herrenlose Schutzbauwerke, veränderte prozess-/bauwerksseitige Situation, veränderte Schutzziele ...) und muss durch die Werkeigentümerin veranlasst werden. Prozessseitige und bauwerksseitige Unsicherheiten müssen zwingend in der Wirksamkeitsbeurteilung berücksichtigt und kommuniziert werden.

Die Berücksichtigung von Schutzbauwerken geht über die Wirksamkeitsbeurteilung hinaus. So müssen im Sinne der Nachhaltigkeit nebst einer ver-

antwortlichen Institution (Werkeigentümer) ein Erhaltungsmanagement und die langfristige Finanzierung sichergestellt sein.

Literatur

- [1] PLANAT (2008): Wirkung von Schutzmassnahmen, Teil A und B
- [2] Dr. Roland Wyss GmbH (2010): Biasca, km 131.340 – 132.920: Erhaltungs- und Interventionszentrum, Schutzmassnahmen gegen Naturgefahren, Gefahrenanalyse.
- [3] Kister & Fontana (2012): Zu den Unsicherheiten bei der Bestimmung der Eingangsparameter für die Bemessung von Steinschlagschutzdämmen, 8. Kolloquium Bauen in Boden und Fels, Technische Akademie Esslingen 17. und 18. Januar 2012.
- [4] Fries (2013): Empirical and theoretical investigations on rock fall induced fly-rocks, Master thesis of Mathias M. A. H. Fries, ETH Zürich (2013)
- [5] GEOTEST AG (2016): Biasca, Felsbeurteilung Motta Pt 601, Erhaltungs- und Interventionszentrum, Beurteilung Felsstabilität, Massnahmenvorschlag Fels-sicherung, Ertüchtigung Schutzdamm, Bericht Nr. 1416046.1, 27. September 2016, Zollikofen.
- [6] GEOTEST AG (2016): Biasca, Gefahrenbeurteilung, Erhaltungs- und Interventionszentrum SBB (EIZ), Gefahrenbeurteilung, Massnahmenkonzept, Sanierungsvorschlag, Bericht Nr. 1416046.2, 30. November 2016, Zollikofen.
- [7] GEOTEST AG (2017): Felssturz Biasca, Tecc del Frate – Erhaltungs- und Interventionszentrum (EIZ) SBB, Ereignisanalyse und Sofortmassnahmen, Ereignis vom 16. März 2017, Perimeter Süd, Bericht Nr. 1417029.1a, 24. Juli 2017, Zollikofen.
- [8] GEOTEST AG (2017): Gefahrenbeurteilung Splitterblöcke – Erhaltungs- und Interventionszentrum (EIZ) SBB, Perimeter Süd und Nord, Bericht Nr. 1417029.2, 24. Juli 2017, Zollikofen.
- [9] Kretz A. (2018): Steinschlagschutzdämme – Vorschlag und Vergleich eines rheologischen Bemessungsmodells, Swiss Bull. angew. Geol. Vol. 23/2, 2018, p. 67-82.
- [10] GEOTEST AG (2018): ROFMOD5: Steinschlagmodellierung auf 2D-Profilen.

- [11] GEOTEST AG (2020): Steinschlag Schutzdämme: Rheologisches Modell, Geotechnik 3/2020.
- [12] Schubiger Bauingenieure AG (2024): Schutzmassnahmen SBB EIZ BiascaEr-tüchtigung Schutzdamm und Schutzdach gegen Felssplitter, Präsentation EKLS-Schutzbauten-Tagung, 07.11.2024
- [13] GEOTEST AG (2024): EIZ-Biasca: Gefahrenmanagement, Risikoanalyse und Schutzmaßnahmen, Präsentation EKLS-Schutzbauten-Tagung, 07.11.2024
- [14] FAN (Hrsg.) 2025: PROTECTpraxis – Berücksichtigung der Wirkung von Schutz-maßnahmen in der Gefahren- und Risikobeurteilung, Juli 2025.

Danksagung

Der vorliegende Artikel stützt sich auf den Erkenntnissen aus PROTECT praxis sowie den Erfahrungen aus dem Projekt Steinschlagschutz EIZ Biasca SBB ab. Es geht ein herzlicher Dank an die Auftraggeberin (Bundesamt für Umwelt) und die Herausgeberin (FAN, Fachleute Naturgefahren) von PROTECTpraxis sowie die beiden Mitautoren des Modul 2 – bauliche Maßnahmen (Beatrice Herzog, Herzog Ingenieure AG und Martin Frei, MFrei Infra GmbH). Für die zur Verfügungstellung der Unterlagen des Fallbeispiels EIZ Biasca geht ein großer Dank an Marc Hauser (Leiter Naturgefahren, SBB) und Floria Hofstetter (Fachspezialisten Naturgefahren, SBB), an David Zihlmann (Schubiger Bauingenieure AG) sowie alle Projektbeteiligten seitens der GEOTEST AG, namentlich Kaspar Graf, Albin Kretz, Bernd Rathmayr (†) und Raphael Worni.



Die beste Lösung für die Überwachung

HAPPY MONITORING definiert das Deformationsmonitoring neu und setzt neue Maßstäbe in Präzision und **Zuverlässigkeit** – in jeder Umgebung, von natürlichen Landschaften bis hin zu kritischer Infrastruktur.

Basierend auf **GNSS-RTK** ermöglicht es dynamische, skalierbare und sofort einsatzbereite Monitoring-Systeme – bei reduzierten Kosten und ohne Kompromisse bei der Performance.

Der multifrequente Empfänger mit integriertem GPRS sorgt für kontinuierliche Konnektivität, während der **Multipath-Filter** auch in komplexen urbanen Umgebungen stabile und zuverlässige Daten liefert.

Die integrierte **IMU** ermöglicht die präzise Überwachung von Neigungen – ideal für kritische Infrastrukturen wie Bahnlinien, Brücken und Baustellen.

Mehr Infos: www.happymonitoring-de.com



Erleben Sie HAPPY SURVEY auf dem OVG Summit 2026 in Wien (27.–28. Mai) – Stand S5.

Mehr Infos: <https://www.summit.ovg.at/>



Block 3

Monitoring von Schutzbauwerken

Vorsitz RD Dipl.-Geol. (univ.) Andreas Koch

Landesbaudirektion Bayern, München

Numerische Simulation mit Steinschlagschutznetzen zur Bewertung von Überlastfällen

Simon Berger^{1*}, Robert Hofmann¹, Felix Doppelmayr¹,
Hans-Jörg Laimer²

¹ Universität Innsbruck, Arbeitsbereich für Geotechnik, Innsbruck

² Geotechnik und Naturgefahrenmanagement ÖBB, Salzburg

* Vortragender: Simon.Berger@uibk.ac.at

1 Einleitung

Steinschlagschutznetze sind die entlang von alpinen Verkehrswegen am häufigsten zum Schutz gegen Sturzprozesse zum Einsatz kommenden Sicherungsbauwerke. Sie werden gemäß ONR 24810 gegen Einzelblocktreffer dimensioniert, während ihre Beaufschlagung durch eine „en bloc“ ausgebrochene Felssturzmasse ($> 100 \text{ m}^3$ nach Kienholz et al. 2008) als Überlastfall betrachtet wird. Potenzielle Felssturzgebiete sind dort, wo keine massiven Schutzdämme errichtet werden können, bautechnisch oft nicht oder nur sehr schwer absicherbar. Technische Lösungen setzen sich hier meist aus einer Kombination von aktiven Felssicherungsmaßnahmen und Monitoringsystemen im Anbruchbereich und Steinschlagschutznetzen in der Transportstrecke zum Schutz gegen Einzelblockstürze zusammen.

Am Hintergasse Schrofen (Westrampe der Arlbergbahn) ereignete sich im Herbst 2021 nach einem vorangegangenen Blocksturz ein 150 m^3 umfassender Felssturz, der sechs Lawinen- und Steinschlagverbauungen durchbrach, ehe er an einem 1500 kJ -Steinschlagschutznetz vollständig gestoppt wurde (siehe Abbildung 1). Dieses Ereignis zeigte, dass Steinschlagschutznetze bei einer mehrreihigen Anordnung, d.h. als Bauwerksverband auch gegen kleinere Felsstürze schutzwirksam sein können. Mittels DEM-Simulationen wurde der Felssturz nachgerechnet, um die Einwirkungen auf die einzelnen

Schutzbauwerke zu ermitteln bzw. um daraus Schlüsse für die zukünftige Maßnahmenplanung ableiten zu können.



Abbildung 1, Darstellung der verschiedenen Schutzbauwerke bestehend aus flexiblen Netzkonstruktionen gegen Steinschlag und Lawinen im Felssturzgebiet

1.1 Geologie und Verbauungssituation vor dem Felssturz

Die in etwa 100 m hohe Felswand des Hintergasse Schrofens wird von alpinem Muschelkalk der Lechtaldecke aufgebaut, der hier nach (Bertle, 2008) das Antiklinalscharnier des E-W streichenden Klostertaler Sattels bildet. Die gebankten Kalke fallen im Bereich des Faltenscheitels flach in die Wand ein und werden an wandparallelen steil stehenden Klüften weiter zerlegt. Dieses Trennflächengefüge begünstigt die Ablösung größerer Felspakete. Der Talboden westlich des Bahnhofs Hintergasse wird auf einer 2,2 ha großen Fläche von einer relikten Felssturzmasse bedeckt, (Bertle, 2008) beschreibt für den östlichen Wandteil potenziell absturzgefährdete Kluffkörper, welche Volumina „bis zu einigen 10-er m³“ umfassen. Der Gefährdung durch Sturzprozesse wurde mit der Errichtung zahlreicher

Felssicherungen und moderner Steinschlagschutznetze in zwei Bauetappen (2000/2001 und 2008/2009) Rechnung getragen. Steinschlagsimulationen mit einem 1 m³ großen Designblock ergaben an den Schutznetzstandorten am Wandfuß maximale Sturzenergien von knapp 2800 kJ. Hier wurden zusätzlich zu bestehenden starren Seilsperren 2000 kJ-Schutznetze errichtet, die mit einem weiter unterhalb situierten 1500 kJ-Schutznetz 94 % aller auftretenden Einzelsturzereignisse abdecken sollten (Bertle, 2008).

2 Modellierung mittels Diskreter-Element-Methode (DEM)

Die beiden Ereignisse sollen mittels numerischer Simulationen, mithilfe der Diskreten-Elemente-Methode (DEM) nachgerechnet werden. Anhand der DEM-Simulationen soll der Prozess des Felssturzes nachgerechnet und die Einwirkungen auf die Schutzbauwerke ermittelt werden.

Zur Berücksichtigung des Verhaltes von flexiblen Netzelementen bzw. Netzstrukturen wurden für die Modellierung flexible Faserelemente verwendet (siehe Abbildung 2). Diese flexiblen Faserelemente sind eine eigene Kategorie von Partikel, die hauptsächlich eindimensional beschrieben werden. Die Hauptgeometrie einer Faser wird durch eine Linie in einem dreidimensionalen Raum beschrieben. Die Mittellinie der geraden Faser wird in eine bestimmte Anzahl von Segmenten unterteilt. Am Übergang der Segmente werden Gelenke berücksichtigt. Die Gelenke ermöglichen die Flexibilität der Faserelemente, indem an diesen Stellen Steifigkeiten in Form von Federn (Axial, Tangential und Drehfedern) berücksichtigt werden. Analog dazu können an diesen Gelenken Normalkräfte, Tangentialkräfte und

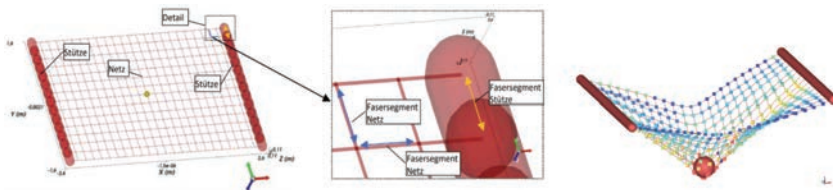


Abbildung 2, Faserelemente zur Partikeldefinition der Netzstrukturen im Programm Rocky (Ansys)

Momente übertragen werden. Dadurch konnten die jeweiligen Netzreihen als gesamtes Partikel mit individuellen Energieaufnahmekapazitäten in der numerischen Simulation berücksichtigt werden.

Die Partikel der Felssturzmasse wurden als granuläre Masse mit einer abgestuften Kornverteilung modelliert und das Abbruchvolumen für das erste und zweite Felssturzereignis entsprechend variiert.

2.1 Ergebnisse der DEM Modellierung

Die numerische Modellierung des ersten Felssturzereignisses ergab eine maximale Aufprallenergie von knapp 500 kJ an der obersten Netzreihe N48137. Entsprechend den beobachteten Schadensbildern wurden die beiden zuerst in der Sturzbahn liegenden Seilsperren teilweise beschädigt, während das nachgelagerte Steinschlagschutznetz mit einer Energieaufnahmekapazität von rund 2'000 kJ in der Simulation keine strukturellen Schäden aufwies (siehe Abbildung 3).

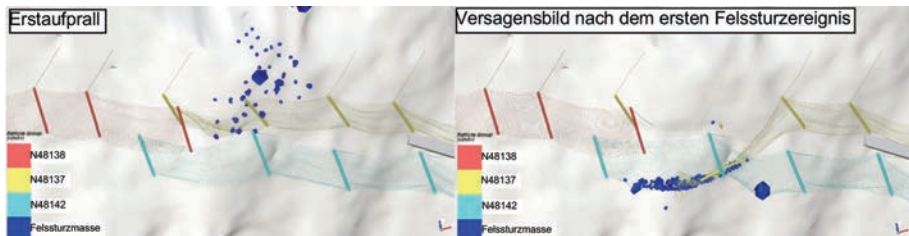


Abbildung 3, Versagensbild der numerischen Simulation nach dem ersten Felssturzereignis

Im Gegensatz zum geringen Volumen des ersten Felssturzes wurde beim zweiten Ereignis ein Abbruchvolumen von 150 m³ simuliert (siehe Abbildung 4).

Ziel der DEM-Simulation war es, das Ereignis nachzubilden und das Versagen aller Netzreihen – mit Ausnahme der untersten, welche die Felsmasse zurückhielt – zu untersuchen. Die Materialparameter wie Bruchkriterien und Steifigkeiten wurden in Abhängigkeit vom jeweiligen Netztyp angepasst.

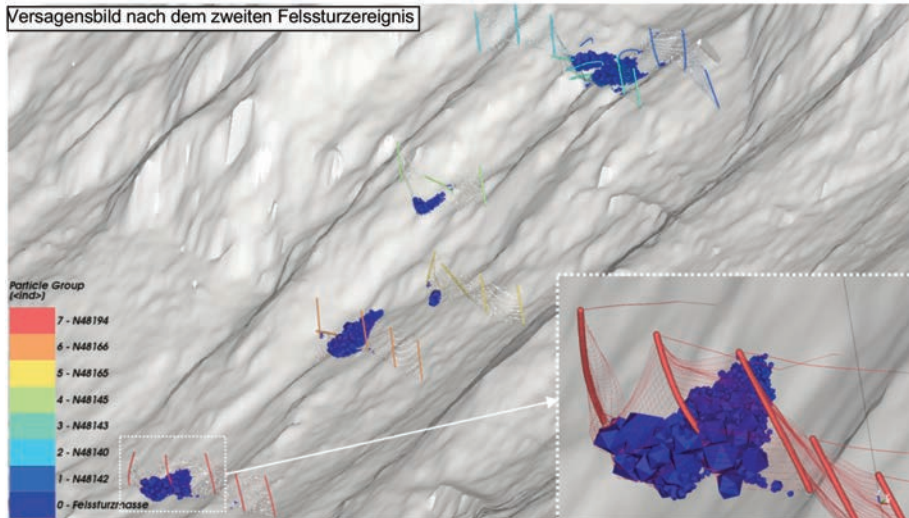


Abbildung 4, Versagensbild der numerischen Simulation nach dem zweiten Felssturzereignis

Für die unterste Netzreihe N48194 (rotes Netz in Abbildung 4) wurde eine einwirkende Energie von etwa 1'100 kJ ermittelt. Diese konnte vollständig durch das dort gelegene Steinschlagschutznetz mit einer Energieaufnahmekapazität von 1'500 kJ absorbiert werden, wodurch die verbleibende Felssturzmasse ohne erhebliche Schäden zurückgehalten werden konnte (siehe Abbildung 4).

Die Einwirkungen auf die ersten drei Netzreihen (N48142, N48140 und N48143) begannen nach rund drei Sekunden und dauerten insgesamt etwa fünf Sekunden an (siehe Bild 5). Die höchste Belastung erfuhr die oberste Netzreihe N48142 mit 2'820 kJ, welche mit einer Energieaufnahmekapazität von 2'000 kJ modelliert wurde. Die darunterliegende Netzreihe N48140 wurde im Randbereich mit etwa 1'530 kJ belastet, während auf die Netzreihe N48143 eine Energieeinwirkung von 1'550 kJ erfolgte.

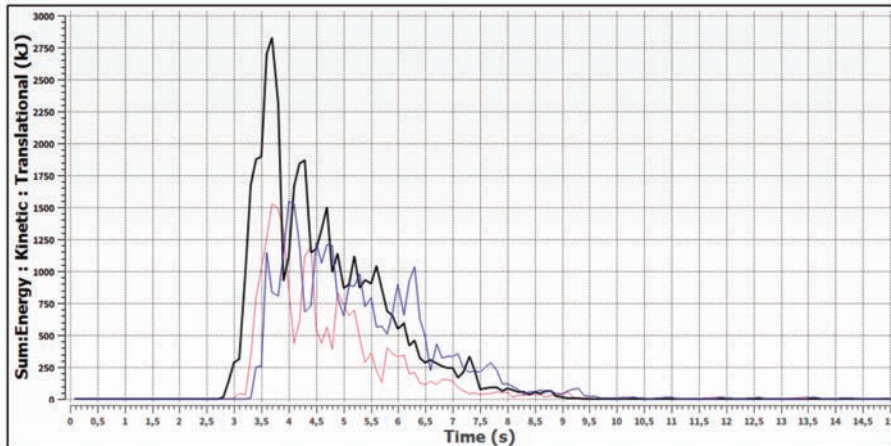


Abbildung 5, Zeitlicher Verlauf der einwirkenden kinetischen Energie in [kJ] auf die ersten drei Netzreihen N48142 (schwarz), N48140 (rot), N48143 (blau)

In Abbildung 6 ist die maximale kinetische Energie dargestellt, die auf die jeweiligen Netzreihen wirkt – angegeben in [kJ]. Die horizontale Achse zeigt dabei die Entfernung der Netzreihen ausgehend von der ersten Netzreihe in Richtung der Bewegungsrichtung der Felssturzmasse. Anhand der Abbildung 6 wird verdeutlicht, dass eine sequentielle Anordnung der Netzreihen zu einer schrittweisen Reduktion der Felssturzenergie führt. Bei größeren Abständen zwischen den Netzreihen sowie bei steilem Gelände und ausreichender Felssturzmasse kann jedoch eine erneute Zunahme der Energie auftreten, wie zwischen den Netzreihen N48166 und N48194 zu erkennen ist.

Die DEM-Simulation zeigt außerdem, dass selbst bei Versagen einzelner Netzreihen eine sukzessive Verringerung der Einwirkungsenergie im Verlauf des Ereignisses möglich ist. Die DEM-Simulation bildet zudem das strukturelle Versagen der beiden 2'000 kJ-Netze (N48140 und N48142) im Überlappungsbereich sowie das der Schneenetze und Seilsperrern innerhalb der Sturzbahn realitätsnah ab. Angesichts der einwirkenden Energie von rund 2'800 kJ erscheint das Versagen der ersten Netzreihe technisch nachvollziehbar.

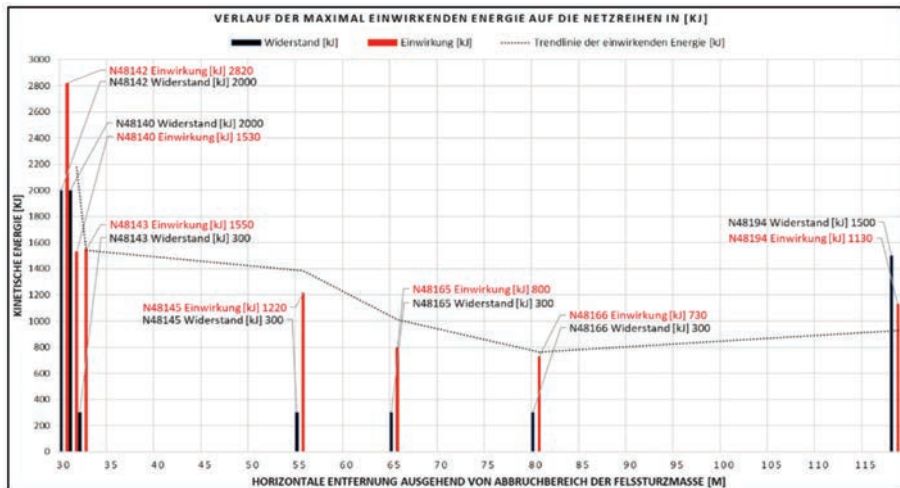


Abbildung 6, Vergleich der maximalen Energieeinwirkung und des Widerstands der Netzreihen in [kJ] entlang der Sturzbahn beim zweiten Felssturzereignis

3 Schlussfolgerungen und Forschungsbedarf

Die Modellierung des Felssturzes am Hintergasseschrofen hat gezeigt, dass flexible Schutzbauwerke wie Steinschlagschutznetze mithilfe der Diskreten-Elemente-Methode (DEM) realitätsnah abgebildet werden können. Im vorliegenden Fall konnten die auf die Netzstrukturen einwirkenden Energien nachvollziehbar berechnet werden. Die numerischen Analysen ergaben, dass das Felssturzereignis mit einem Abbruchvolumen von 150 m³ eine maximale Energieeinwirkung von rund 2'820 kJ verursachte. Dieses Ergebnis erklärt das strukturelle Versagen der obersten Netzreihen, deren Auslegung lediglich auf eine maximale Energieaufnahme von 2'000 kJ beschränkt war. Die Simulation verdeutlicht, dass durch die Zerstörung vorgelagerter Netzreihen eine schrittweise Reduktion der Energie innerhalb der Sturzbahn erfolgt. Am untersten Schutznetz, dessen Energieaufnahmekapazität 1'500 kJ beträgt, wurde schließlich ein Aufprall mit einer reduzierten Energie von etwa 1'130 kJ berechnet. Die Ergebnisse zeigen, dass Steinschlagschutznetze, die gemäß

ONR 24810 auf Einzelblocktreffer dimensioniert sind, bei einer gestaffelten, mehrreihigen Anordnung auch bei Felsstürzen mit Einzelblöcken > 100 m³ ein wirksames Schutzniveau erreichen können.

Im Rahmen der Untersuchungen der beiden Felssturzereignisse am Hintergasseschrofen wurde erstmals der Versuch unternommen, das Versagen mehrerer hintereinander angeordneter Netzreihen mittels einer DEM-Simulation abzubilden. Durch diese Methodik wird es künftig möglich, erste Abschätzungen zur Energieeinwirkung in Abhängigkeit von der Positionierung mehrerer Schutznetze vorzunehmen. Dies kann entscheidend zur Optimierung der Anordnung und Dimensionierung von Steinschlagschutzsystemen beitragen – insbesondere bei der Planung von Maßnahmen gegen großvolumige Blockschläge. Eine situationsangepasste Auslegung solcher Systeme kann sowohl die Sicherheit als auch die Wirtschaftlichkeit der Schutzmaßnahmen verbessern.

Literatur

ONR 24810 *Technischer Steinschlagschutz – Begriffe, Einwirkungen, Bemessung und konstruktive Durchbildung, Überwachung und Instandhaltung, Austrian Standards Institute, 2021*

Kienholz H, Perret S, Schmid F: *Dokumentation von Naturereignissen. In: PLANALP (ed). Alpensignale 4. Alpenkonvention, Innsbruck/Bern, 2008*

Geognos Bertle ZT GmbH: *ÖBB Strecke Innsbruck-Bludenz, Abschnitt Dalaas – Bings km 120.868 – km 134.500. – unveröff. Gutachten, 2008*

Kontinuierliche Zustandsüberwachung von Schutzbauwerken und Schutzflächen als Bestandteil des Integralen Risikomanagements

Alexander Bittendorfer, Sascha Schultes
 Geobrug AG, Romanshorn
 * Vortragende: alexander.bittendorfer@geobrugg.com;
 sascha.schultes@geobrugg.com

1 Einführung

Schutz- bzw. Sicherungsbauwerke gegen Naturgefahren sind ein wesentlicher Bestandteil des Integralen Risikomanagements. Sie sind als Bauwerke/technische Maßnahmen der Prävention zugeordnet. Neben deren Errichtung gewinnt, aufgrund des zunehmenden Alters der Bauwerke, der Unterhalt sowie die Instandsetzung immer mehr an Bedeutung. Bestandteil des Unterhalts sind auch laufende Überwachungen und Inspektionen. Monitoringsysteme



Abbildung 1, Maßnahmenpalette des integralen Risikomanagements

können hier durch eine permanente Überwachung der Bauwerke die für den Unterhalt verantwortlichen Personen bei ihrer täglichen Arbeit unterstützen und liefern zudem wertvolle Daten (Lebenszyklus ...).

1.1 Bei welchen Bauwerken sind Überwachungen sinnvoll und zielführend?

Am Beispiel der Lawinen- und Steinschlagschutzverbauungen Seehorn (oberhalb des Flüelapasses, Nähe Davos) wird dies erläutert. Zum einen sind diese Bauwerke, je nach Jahreszeit, nur schwer bzw. nicht zugänglich bzw. sind diese nur über Wanderwege und anschließend das freie Gelände erreichbar. Dazu kommt auch der Faktor Zeit, da der Anmarsch zu einer der Barrieren mehr als eine Stunde dauert. In diesem Gebiet herrscht das ganze Jahr akute Steinschlag- bzw. Lawinengefahr. Die Bauwerke sind auch vom Flüelapass nicht einsehbar und die Distanz für z.B. eine Befliegung mit Drohnen ist zu groß bzw. zu aufwendig.

Ein weiterer Faktor sind die Anforderungen aus diversen Richtlinien (ONR 24810, WLV, ...). Hier geht es in erster Linie um die zusätzlichen Inspektionen (auch Sonderinspektionen) nach besonderen Ereignissen wie z.B. Starkniederschlag, Sturm ...).

Aufgrund der Zunahme dieser Wetterereignisse in den letzten Jahren bzw. deren saisonaler Häufung sind, rein aufgrund der begrenzten Ressourcen vieler Stellen diese Inspektionen praktisch kaum durchführbar.

Hier kann, wie schon oben erwähnt, ein Monitoringsystem die verantwortlichen Personen unterstützen, da, solange durch diese keine Warnung erfolgt, auch keine Notwendigkeit für eine Inspektion besteht.

2 Unterschied Alarmierung / Überwachung

Anhand der nachfolgenden Tabelle werden die Unterschiede zwischen den Systemen Alarmierung und Warnung aufgezeigt.

Funktion	Warnsystem	Alarmsystem	Überwachungssystem Schutzbauwerk (Geobrugg GUARD)
Reaktionszeit	Stunden und Wochen	Sekunden und Minuten	Monate und Jahre für Korrosionsraten. Tage und Wochen für statische Belastung. Sofort bei voller dynamischer Belastung.
Aktionen	Interpretation der Erkenntnisse durch Experten. Mögliche Massnahmen werden «manuell» ausgelöst (z.B. Evakuierung).	Sofortige und automatische Aktionen, wie Sperrung von Strassen, Bahnen oder Evakuierung (z.B. Baustellen).	Interpretation der Ergebnisse durch Experten. Mögliche Massnahmen werden "manuell" ausgelöst (z. B. Schutzbautenkontrolle und Unterhalt).
Anwendungsbereich	Sich langsam und kontinuierlich entwickelnde Naturprozesse (z.B. Felswände, Rutschungen)	Spontan auslösende oder schnell aufbauende Naturprozesse (z.B. Lawinen, Murgänge)	Organisation der Schutzbautenkontrolle
Messgrössen	Deformation, Niederschlag, Schneehöhe, Pegel, Temperatur, Aktivität (z.B. Steinschläge, Lawinen), Erschütterung	Deformation, Geschwindigkeit, Druck, Pegel, Fliesshöhe, Erschütterung	Korrosionsrate von Einzeldrähten, statische Seilkräfte, Beschleunigung eines dynamischen Stosses.
Technologien	<ul style="list-style-type: none"> • Interferometrischer Georadar • Deformationskamera • Luftmessgeräte • Druck-, Neigungsmessgeräte • Bewegungssensoren, GPS • Wetterstationen 	<ul style="list-style-type: none"> • Lawinenerkennung Radar • Radar zur Erkennung von Steinschlag • Radar zur Personenerkennung • Wasserstandsanzeiger • Kabel mit vorgegebenen Bruchlasten. 	Vordefinierte kombinierte Messung: <ul style="list-style-type: none"> • Messung der Seilkraft • Beschleunigungsmesser • elektrische Sensoren zur Messung von Korrosionsraten • Temperaturmessung • Feuchtigkeitsmessung

Tabelle 1, Definition von Warn- und Alarmsystemen für gravitative Naturgefahren

Beide Systeme können eine handnahe Inspektion nicht ersetzen. Der Einsatz eines permanenten Monitorings kann jedoch anstelle der laufenden Überwachung installiert werden.

Im Falle einer Alarmierung / Warnung können im Ereignisfall nötige Schritte wie Straßensperrungen, Evakuierungen, außerordentliche Inspektionen ... eingeleitet werden.

3 Fallbeispiele

3.1 Fallbeispiel Nufenenpass (Schneedruck / Wind / sonstiges Ereignis)

Der Nufenenpass verbindet die Kantone Wallis (Ulrichen) und Tessin (Airolo). Die Passhöhe befindet sich auf 2.478 m Seehöhe. Die Straße ist im Winter gesperrt. Im Tessin, knapp unterhalb der Passhöhe auf ca. 2.300 m Seehöhe, ist eine Steinschlagbarriere installiert, welche auch auf Schneedruck bemessen bzw. adaptiert wurde.

Im Winter 2023/24 gab es in der Südstaulage, speziell im Frühjahr 2024 extreme Schneefälle mit einer max. Schneehöhe im April von ca. 4 m. Dies führte u.a. dazu, dass der dort verbaute Steinschlagschutzzaun komplett verschneit wurde. Diese extremen Schneemengen führten auch zu extremen Druckbelastungen auf das System. Durch die Instrumentierung der Barriere mit Geobrigg GUARDS konnten die dadurch auftretenden Seilkräfte gemessen werden. Zudem konnte, im Vergleich mit den Wetter-Schneedaten aus



Abbildung 2, Drohnenfoto der Barriere am Nufenenpass vom 11. April 2024

der WHITE RISK Datenbank, ein Zusammenhang zwischen der mit zunehmender Schneehöhe steigenden Zugbelastung der Seile hergestellt werden.

Im Juni wurden durch die GUARDs mehrere Einschläge mit bis zu 155 g detektiert, welche anfangs nicht verifiziert werden konnten. Nach Rücksprache mit den Verantwortlichen des Kantons stellte sich heraus, dass am 11. Juni, vor der Eröffnung der Straße, oberhalb der Barriere mehrere Sprengungen erfolgten und die dadurch ausgelösten Schneerutsche in der Barriere einschlugen. Im Video ist das Schwingverhalten beim Einschlag der Schneeböcke in das Schutznetz sehr gut erkennbar. Dieses Schwingverhalten sieht man auch bei den Graphen der Einschläge, wodurch auch der Unterschied zu einem Steinschlag, bei dem die Barriere nur kurz nachschwingt, erkennbar ist.

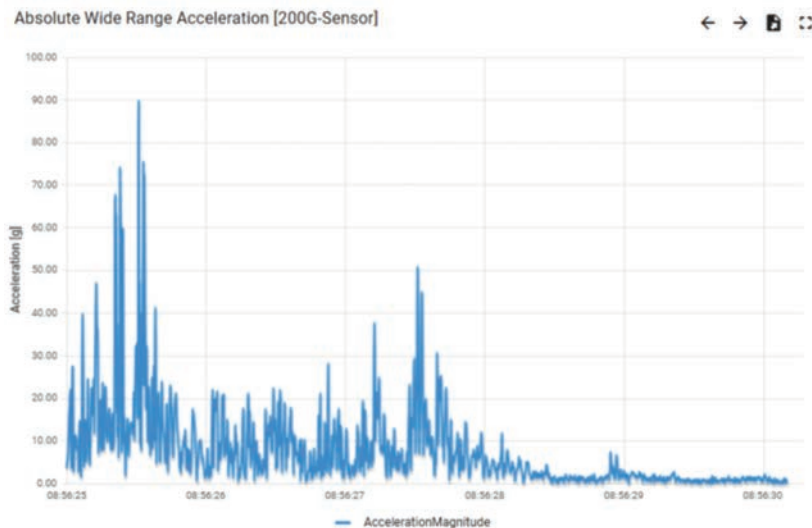


Abbildung 3, Beschleunigungskurve der vom GUARD detektierten Einschläge nach der Sprengung

Im Dezember gab es mehrere Tage mit starkem Wind. Auch hier konnten die von den GUARDs aufgezeichneten Impacts durch den Abgleich mit den Wetterdaten als solche verifiziert werden.

Hier lagen die Beschleunigungswerte bei max. ca. 3 g.

3.2 Fallbeispiel Trier (Steinschlag)

In der Nacht vom 26. zum 27. August 2024 ereignete sich in Trier oberhalb der B49 ein Steinschlag. Ein Block mit einem Gewicht von ca. 7,5 Tonnen traf auch den Steinschlagschutzzaun. Da sich an der fast selben Stelle bereits 2023 ein Steinschlag ereignete, wurde auf den Zäunen eine Fernüberwachung mit GUARDs installiert. Der Einschlag des Blocks erfolgte in der Nähe des GUARD und wurde von diesem entsprechend detektiert. Die gemessene Beschleunigung lag bei ca. 127 g. Anhand der Auswertungen des Landesamtes für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz wurde für das gesamte Ereignis eine Masse von ca. 375 Tonnen abgeschätzt. Durch das flache Gelände des Weinbergs konnten hier auch Satellitenbilder zur Darstellung des Ereignisses herangezogen werden.



Abbildung 4, Satellitenbild vom 22. Oktober 2024, Einfärbung der Sturzblöcke zur Auswertung

3.3 Fallbeispiel Mullion Cove (Wind / Korrosion)

Am 27. Jänner 2025 wurden vom GUARD, welcher an der Steinschlagbarriere in Mullion Cove installiert ist, mehrere Impacts mit bis ca. 12,5 g detektiert. Anhand der Kurven, in Kombination mit den Wetterdaten aus der Region konnten diese als Sturm verifiziert werden. Die in Relation sehr hohen Werte sind hier auf die exponierte Lage im Südwesten Großbritanniens, direkt an der Küste des Ärmelkanals (Richtung Atlantik), sowie die Windrichtung zurückzuführen.

Anhand dieser Barriere kann auch der Nutzen des Korrosionssensors aufgezeigt werden. Durch die Nähe zum Meer werden hier Abtragsraten von ca. 30 g/m² pro Jahr gemessen werden, was der Korrosivitätskategorie C5 nach EN ISO 14713-1 (u.a. Küstenbereiche) entspricht.

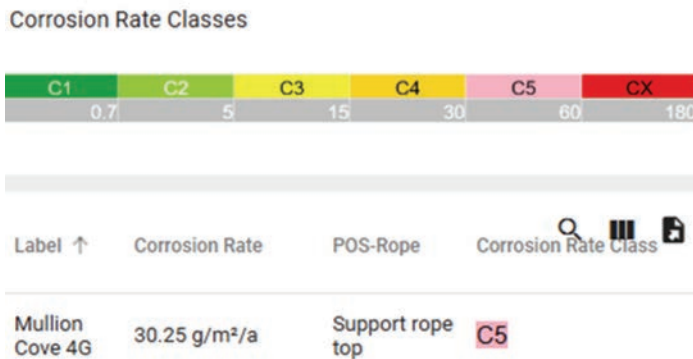


Abbildung 5, Darstellung der Abtragsrate und Korrosivitätskategorie auf der GUARD Plattform für diesen Standort



Abbildung 6, Barriere mit installiertem GUARD, an den Seilen sind bereits Spuren von Korrosion erkennbar

4 Fazit / Bemerkungen

Anhand der aufgezeigten Fallbeispiele zeigt sich die Notwendigkeit der Verifizierung der auf der Plattform bzw. über Mail / SMS eingehenden Alerts. Aufgrund der Kurven bzw. der Beschleunigungswerte kann zwischen tatsächlichen Einschlägen und anderen Ereignissen (Sturm, Gewitter ...) unterschieden werden.

Nicht jeder Alert erfordert eine Inspektion der betroffenen Schutzbauwerke.

Da speziell Ereignisse durch Wind in bis zu 98% der Fälle mit max. impacts von 5g detektiert werden, haben wir uns entschlossen, diesen Wert als Standardschwellenwert zu hinterlegen. Auf dieser Basis wurde eine Tabelle mit Handlungsempfehlungen auf der Plattform als grobe Entscheidungshilfe hinterlegt.

Literatur

- 1 Handbuch Schutzbautenkontrolle Kanton BE, GR, VS, Version 5.0, August 2022.
- 2 ONR 24810: Technischer Steinschlagschutz – Begriffe, Einwirkungen, Bemessung und konstruktive Durchbildung, Überwachung und Instandhaltung. Ausgabedatum: 2021-05-01.
- 3 Technischer Steinschlagschutz, Handbuch zur Durchführung einer Bauwerkskontrolle, Ausgabedatum: 2013-10-15.
- 4 GeobruGG GUARD Praxishilfe, Ausgabedatum: 2024-05-28.

Monitoring von Schutzbauwerken und Schutzflächen im Streckennetz eines Bahnbetreibers

Michael Brauner^{1*}, Hans Jörg Laimer²

¹ ÖBB-Infrastruktur AG, Wien

² ÖBB-Infrastruktur AG, Salzburg

* Vortragender: michael.brauner@oebb.at

1 Einleitung

Das Bahnstreckennetz der ÖBB-Infrastruktur AG umfasst österreichweit rund 4.900 km [1], wobei etwa 1.300 km direkt alpinen Naturgefahren wie Lawinen, Muren, Steinschlag oder Hochwasser ausgesetzt sind. Gemäß dem Eisenbahngesetz [2] sind Bahninfrastrukturbetreiber dazu verpflichtet, die Sicherheit und Überwachung dieser Naturgefahren sicherzustellen. Dies ergibt sich einerseits aus der Pflicht zur Beobachtung des Gefährdungsbereichs der Bahn (§43) und andererseits aus der Pflicht zur Beseitigung von Gefahren durch Naturereignisse (§45). Zur Sicherung werden technische sowie organisatorische Maßnahmen und unterstützend Monitoring eingesetzt. Die technische Sicherung erfolgt dabei durch Schutzbauwerke oder Schutzflächen. Unter Schutzbauwerken werden technische Maßnahmen zur Hangstabilisierung sowie zum Schutz von Menschen und Infrastruktur vor Naturgefahren oder anderen schädigenden Einwirkungen verstanden [3]. Schutzflächen wie Wildbach- und Lawinensammelgebiete, Steinschlagbereiche sowie Schutzwaldflächen sind natürliche Hangflächen, auf denen Naturgefahrenprozesse wirksam werden können [4]. Durch eine gezielte Bewirtschaftung dieser Flächen können die negativen Auswirkungen solcher Naturprozesse vermieden werden. Organisatorische Maßnahmen in Zusammenhang mit extremen Wetter-, Schnee- oder Hochwassersituationen gewährleisten einen sicheren Bahnbetrieb. Dazu zählen unter anderem Streckenbeobachtung, Geschwindigkeitsreduktion oder Strecken- und Gleissperren.

2 Bahnspezifische Rahmenbedingungen für Monitoringsysteme

Monitoring ist ein Überbegriff, welcher alle Arten von systematischer Erfassung, Messung oder Beobachtung eines Vorgangs oder eines Prozesses mittels technischer Hilfsmittel bezeichnet [5]. Im Rahmen dieses Beitrags verstehen wir Monitoringsysteme daher als eine systematische und kontinuierliche Erfassung, Messung oder Beobachtung von Umwelt- und Geländeprozessen oder technischen Anlagen durch Messeinrichtungen. Diese Maßnahme ist als Unterstützung für die technische und organisatorische Sicherung der Bahnstrecke zu verstehen. Gemeinsames Ziel dieser Maßnahmen ist die Gewährleistung der Sicherheit und der hohen Verfügbarkeit des Bahnstreckennetzes.

Für technische Monitoringsysteme existieren zahlreiche Standards und Normen [6], welche bei Gestaltung sowie Wartung dieser Anlagen zu beachten sind. Darüber hinaus sind Bahnbetreiber gemäß der EU-Richtlinie 2004/49/EG [7] und ihrer Durchführungsverordnung (EU) 402/2013 [8] verpflichtet, ein Sicherheitsmanagementsystem zu implementieren.

Die Norm IEC 61508 [9] definiert grundlegend die hohe funktionale Sicherheit von Steuerung und Sicherung von Eisenbahnen. Die Normen EN 50126 [10] und EN 50129 [11] spezifizieren sie für die Bahninfrastruktur. Gemäß den Vorgaben sind eine nachweisliche Risikominderung sowie eine lückenlose Dokumentation aller Vorfälle, Meldungen, Entscheidungen und ihrer Datengrundlage erforderlich [vergl. 10]. Ebenso ist eine kurzfristige und sichere Reaktion auf Störsituationen zu gewährleisten [12] [13]. Neben hohen IT-Sicherheitsanforderungen werden fünf Sicherheitsstufen für elektronische Systeme definiert, der sogenannte SIL oder Safety-Integrity-Level [10] [11]. Sie sind in Tabelle 1 dargestellt. Die SIL-Stufe definiert die Sicherheitsanforderungen eines Systems als Ganzes. Konkret spezifiziert sie die Fehler- bzw. Ausfallwahrscheinlichkeit und das angestrebte Maß der Risikoreduktion für alle Komponenten eines Monitoringsystems.

Tabelle 1: Übersicht über die SIL-Niveaus mit Anforderungen sowie Anwendungsbeispielen nach [10] [11] modifiziert

SIL-Niveau	Zeit zwischen Fehler/Ausfall	Risiko-reduktion	Anmerkung	Monitoringsysteme
0	$>10^{-5}$	$<10^{-1}$	keine besonderen Anforderungen	Process Monitoring Condition M. Structural Health M.
1	10^{-5} bis 10^{-6}	10^{-1} bis 10^{-2}	geringes Risiko, wenig schwerwiegende Fehlerfolgen. Beispiele Bahn: Geschwindigkeitskontrolle, wenig frequentierte Bahnübergänge	Structural Health M. Early Warning Systems – ohne Zugbeeinflussung
2	10^{-6} bis 10^{-7}	10^{-2} bis 10^{-3}	mittleres Risiko, schwerwiegendere Fehlerfolgen. Beispiele Bahn: Zug-Stopp Geschwindigkeitskontrolle, Signalanlagen,	Early Warning Systems – mit Zugbeeinflussung
3	10^{-7} bis 10^{-8}	10^{-3} bis 10^{-4}	Hohes Risiko, Beispiel Bahn: punktuelle Zugleitsysteme $< 160\text{km/h}$	
4	10^{-8} bis 10^{-9}	10^{-4} bis 10^{-5}	Sehr hohes Risiko, Beispiel Bahn: linienhafte Zugleitsysteme $> 160\text{km/h}$	

Um den genannten Anforderungen der jeweiligen SIL-Stufe zu entsprechen, berücksichtigt die ÖBB-Infra bei der Auswahl von Monitoringsystemen insbesondere die folgenden technischen sowie bahnbetrieblichen Besonderheiten. In der Regel resultieren daraus erhöhte Herstellungs- und Wartungskosten für diese Systeme.

Erhöhte Vorwarnzeit im Bahnbetrieb: der Bahnbetrieb erfordert aus den folgenden Gründen erhöhte Vorwarnzeiten:

- Aufgrund der zentralen Steuerung des Zugbetriebs und der Länge des Bremswegs von bis zu 1,5 km ist die Zugsicherung nur signalbasiert möglich [14] (siehe Abbildung 1).
- Gemäß den geltenden Bestimmungen ist das Anhalten eines Zuges nur an Hauptsignalen, an vorgelagerten Vorsignalen oder an magnetischen Fahrsperrern zulässig [14]. Der Hauptsignalabstand beträgt außerhalb eines Bahnhofs zwischen einem und fünf km (siehe Abbildung 1).
- Die Warteposition eines Zuges mit einer Länge von bis zu 800 m vor einem Signal muss objektiv sicher vor Naturgefahren sein.

Daher sind bei zugbeeinflussenden Warnsystemen neben der erhöhten Vorwarnzeit (mehrere Minuten) und der schnellen und stabilen Detektion sowie Kommunikation ein sichererer Warteraum Voraussetzung.

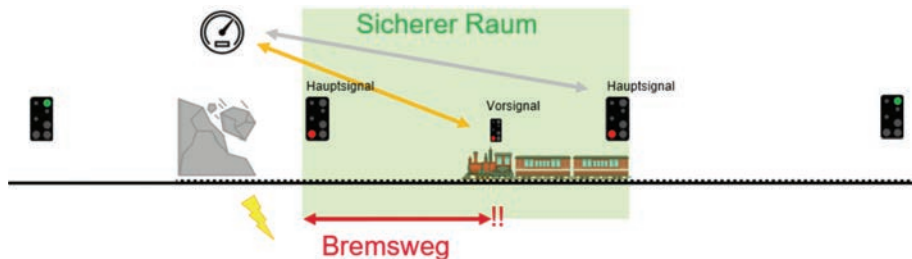


Abbildung 1: Voraussetzungen für die Einflussnahme auf einen fahrenden Zug ist das rechtzeitige „Schalten“ eines in Bremsweglänge der Naturgefahr vorgelagerten Vor- oder Hauptsignals. Der Wartebereich des Zuges muss gegen Naturgefahren objektiv sicher sein.

Hardwarearchitektur: Die Ausfallsicherheit wird durch den Einsatz hochwertiger Hardware, den redundanten Einsatz kritischer Komponenten sowie mittels redundanter Kommunikationspfade wie Mesh-Sensornetze gewährleistet. Im Falle einer Systemstörung ist eine schnelle und zielgerichtete Instandhaltung durch engmaschige Statusmeldungen (Heartbeat) der wichtigsten Hardwarekomponenten erforderlich. Diese sollten idealerweise mit dem Schadensmeldesystem der Instandhaltungsabteilung verbunden sein.

Messweise der Sensorik: Während die direkte Messung den betrachteten Prozess unmittelbar misst, wie beispielsweise die Rissbreite oder den Kontaktbruch, wird bei der indirekten Messung der Messwert über Hilfwerte erfasst, wie die Lageveränderung, die Erschütterung oder die Geräuschbildung. Aus diesen Hilfwerten wird dann auf den Prozess rückgeschlossen. Indirekte Messungen sind zwar oft schnell und einfach zu realisieren, jedoch ist die Interpretation der Ergebnisse mit Unsicherheiten behaftet. Daher werden für die Bewertung eines Vorgangs oder Prozesses mit steigender SIL-Stufe die indirekte Messung, dann die direkte Messung und für hohe Anforderungen die Kombination beider Messarten an zumindest zwei voneinander unabhängigen Messparametern gefordert [15].

Datenverarbeitung sowie Dokumentation: Für ein effizientes Monitoring ist eine klare Datenstrategie unerlässlich [16]. Bei zeitkritischen Monitoringsystemen erfolgt die Warnmeldung stets unabhängig von der zeitlich nachlaufenden Datenübermittlung über zwei von der Datenübertragung getrennt arbeitende Kommunikationskanäle. Diese Warnmeldungen werden in ein internes Meldesystem überführt und dort quittierungspflichtig abgearbeitet. Sollte die Quittierung nicht innerhalb der festgelegten Zeitspanne erfolgen, so eskaliert die Warnmeldung.

Die Datenanalyse findet je nach geforderter Geschwindigkeit und Komplexität der Aufgabe dezentral vor Ort oder zentral statt. In diesem Zusammenhang ist es wichtig, dass das Data-Ownership wahrgenommen wird und die Daten intern gesammelt und strukturiert vorgehalten werden. Nur so ist eine anbieterunabhängige, einheitliche Datenanalyse sowie das gemeinsame Reporting von Messdaten, Meldungen und Reaktionen möglich.

Datenübertragung, IT-Sicherheit: Eine restriktive Sicherheits-Policy im internen Datennetz zusammen mit einer starken Zugangskontrolle externer Messdienstleister gewährleistet eine ausreichend hohe IT-Sicherheit. Die Daten- oder Meldungsübermittlung kann per Datenpaket über Funk (LoraWAN, GSM) oder per Datenstrom über das interne Datennetz erfolgen. Bei Funkübertragung mit hohen Sicherheitsanforderungen ist eine redundante Daten-

übertragung über zwei unabhängige Funkanbieter oder Fernwirkanlagen in das interne Datennetz vorgesehen. Zu diesem Zweck werden Messdaten sowie Meldungen über eine verschlüsselte IoT-Schnittstelle intern übergeben.

3 Unterschiedliche Anwendungen von Monitoringsystemen im Naturgefahrenmanagement der ÖBB Infra

Im Fachbereich Fahrwegtechnik der ÖBB-Infrastruktur AG liegt der Schwerpunkt des Monitorings mit technischen Systemen zum einen auf der Erfassung von Veränderungen an baulichen Anlagen und zum anderen auf der Erfassung von Geländeprozessen sowie deren Auswirkung auf diese Bahnanlagen. Im Folgenden werden die unterschiedlichen Anforderungen der eingesetzten Monitoringsysteme kurz erläutert und die wichtigsten Aspekte ihrer technischen Ausstattung in Tabelle 2 dargestellt.

Zustandsmonitoring von Bauwerken (Condition Monitoring, CM): Gemäß ISO 17359 ist Condition Monitoring die kontinuierliche oder periodische Überwachung des Zustands von Maschinen oder Bauwerken, um Abweichungen vom Normalzustand frühzeitig zu erkennen und Instandhaltungsmaßnahmen zu planen [17]. Der Bauwerkszustand wird durch die Erfassung von Messwerten bestimmt, die insbesondere für die Gebrauchstauglichkeit relevant sind. Dazu zählen beispielsweise Veränderungen der Geometrie, der Lage oder des Bewuchses. Die Tragfähigkeit wird, wenn überhaupt, indirekt beurteilt. Da eine unmittelbare Schadensidentifikation nicht immer erforderlich ist, werden oft leicht messbare indirekte Messwerte oder Wertveränderungen erfasst, die Rückschlüsse auf Zustandsveränderungen zulassen. Für diese Systeme wird eine kostengünstige Ausrüstung auf der untersten SIL-Stufe 0 benötigt. Aufgrund ihrer Einfachheit kommen solche Systeme häufig zum Einsatz.



Abbildung 2: Steinschlagdetektion durch Erhebung der Winkelveränderung der Stützen eines Steinschlagschutznetzsystems mittels Kipp- und Beschleunigungsmessung. Zweck: Zustandsmonitoring des Rückhalterauges (CM) sowie indirekt zur Bewertung der strukturellen Integrität des Netzsystems. Aktualisierung: minütlich, Information bei Schwellwertüberschreitung. Status: operativ.

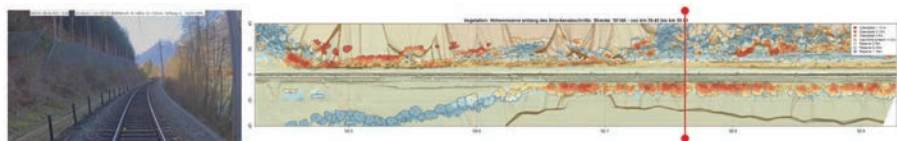


Abbildung 3: Vegetationsmonitoring zur Durchforstungsplanung durch Erhebung des Baubestandes mittels LiDAR-Sensorik entlang der Bahnstrecke. Durch Vergleich des Oberflächenmodells von Baubestand und Gelände kann der Fallraum der Bäume in Bezug auf die Bahntrasse bewertet werden: blau: unkritisch, gelb: forstliche Maßnahme einplanen, rot: forstliche Maßnahme umsetzen. Aktualisierung: 2-12 Monate. Status: operativ.

Strukturelles Bauwerksmonitoring (Structural Health Monitoring, SHM)

bezeichnet die kontinuierliche oder periodische Erfassung von Daten mit dem Ziel, die Integrität einer Bauwerksstruktur zu bewerten und eine Schadensidentifikation durchzuführen [18]. Der Fokus liegt auf den Kennwerten, die die Tragfähigkeit einer Bauwerksstruktur bestimmen. Daher werden strukturelle mechanische Größen wie Rissbreiten, Ankerkräfte oder Dehnungen direkt erfasst und ausgewertet. Bei Überschreitung kritischer Schwellwerte werden Warnmeldungen ausgegeben. In diesem Fall besteht eine gewisse Zeitkritikalität, weshalb höhere Sicherheitsanforderungen gelten. Die SIL-Stufe va-

riert demnach in Abhängigkeit der Zeitkritikalität der Messwerte. Bei einer Warnmeldung aufgrund einer Messwertüberschreitung kann sie den Wert 1 annehmen.

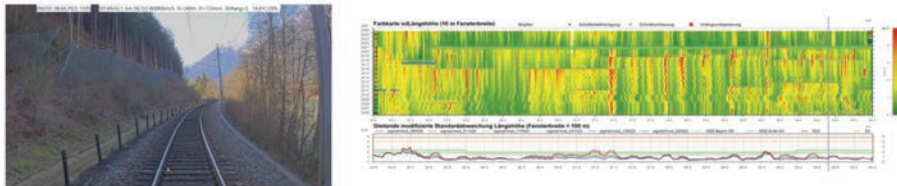


Abbildung 4: Messung der Höhenveränderung der Schienenoberkante eines Gleises zeigt den absoluten Wert in mm (siehe rechtes, unteres Diagramm) sowie die Verschlechterungsrate über die Zeit (siehe rechtes, oberes Wasserfalldiagramm). Zweck: vorausschauende Instandhaltung des Gleises sowie Einleitung von Sofortmaßnahmen bei Schwellwertüberschreitung. Aktualisierung: 2-12 Monate. Status: operativ.



Abbildung 5: Sensornetzwerk der Schneesensorik „peakr“ dient der Ermittlung des Risikos zu Gletschneeeabbrüchen (Messung Temperatur, Feuchte, Bewegung) sowie zur Echtzeit-Detektion von Schneebrettabbrüchen (Beschleunigungsmessung). Zweck: Gletschnee- und Lawinendetektion sowie der Unterstützung der Lawinenkommission. Aktualisierung: minütlich bis stündlich für 6 Monate. Status: Anwendungstest.

Prozessmonitoring (PM) bezeichnet die Überwachung von natürlichen und geomorphologischen Prozessen. Mittels direkter oder indirekter Messung von Prozessgrößen oder deren Veränderung werden kritische Zustände in Echtzeit erkannt und Maßnahmen eingeleitet. In diesem Fall ist eine direkte Identifikation eines Schadens nicht erforderlich. Für eine erfolgreiche Umsetzung ist es notwendig, den Naturprozess detailliert zu verstehen und dann charakteristische Messwerte zu analysieren. In solchen Fällen kann eine Zeitkritikalität auftreten. Die SIL-Stufe variiert in Abhängigkeit der Zeitkritikalität der Messwerte zwischen 0 und 1.

Frühwarnsysteme (Early Warning Systems, EWS) Frühwarnsysteme basieren auf Systemen des Prozessmonitorings (PM) oder des strukturellen Bauwerksmonitorings (SHM). Bei Überschreiten der festgelegten Schwellwertkombinationen wird automatisch Alarm ausgelöst. Wird die Initiierung zuvor definierter Maßnahmen nicht innerhalb einer vorgegebenen Zeitspanne rückgemeldet, erfolgt eine Eskalation des Alarms. Ihre primäre Funktion be-

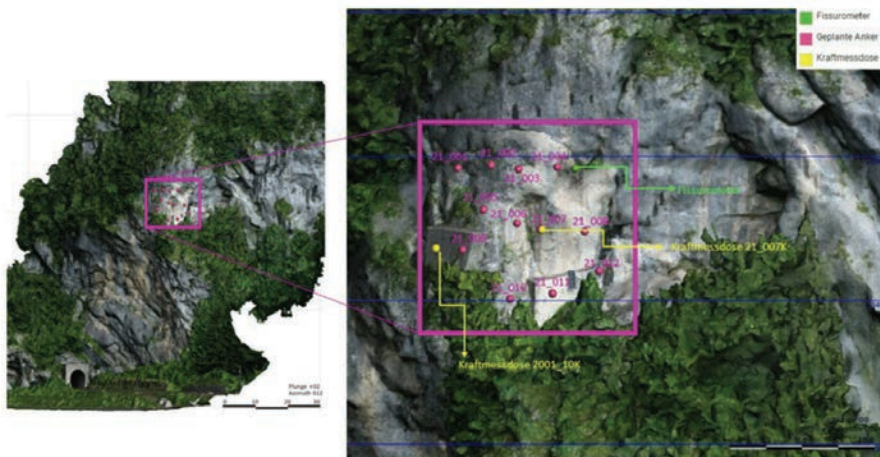


Abbildung 6: Geologisches Warnsystem Versagen „Hart auf Weich“. Es werden Änderungen der Ankerspannung sowie der Rissweite gemessen und bei Schwellwertüberschreitungen oder Veränderungen des Trends der Messdaten die verantwortlichen Geologen zwecks Maßnahmenentscheid informiert. Zweck: Mess- und Warnsystem. Aktualisierung: stündlich. Status: operativ.

steht folglich in der unmittelbaren Gefahrenabwehr [3]. Aufgrund der hohen Zeitkritikalität gelten sehr hohe Sicherheitsanforderungen. Abhängig von der Eingriffstiefe des EWS muss für Systeme ohne Zugbeeinflussung durch Signale die SIL-Stufe 1 und für Systeme mit Zugbeeinflussung durch Signale die SIL-Stufe 2 erreicht werden.

Tabelle 2: Übersicht über die technischen Anforderungen unterschiedlicher Arten von Monitoring-systemen

Art	Sensorik	Hardware	Daten- verarbeitung	Daten- übertragung	Meldekette	SIL
CM	Indirekt (oder direkt)	Keine besonderen Anforderungen	Einfache Logik, Doku Mess-/ Umweltdaten	Funk, Datensätze paketweise	Meldungen	SIL 0
SHM	Möglichst direkt oder indirekt	Statusmeldung wichtiger Komponenten	Einfache Logik, Doku Mess-/ Umweltdaten, Meldungen	Funk, Datensätze paketweise	Meldekette mit Quittierung	SIL 0 SIL 1
PM	Redundant, direkt und indirekt	Statusmeldung wichtiger Komponenten	Komplexe Logik, Doku Mess-/ Umweltdaten, Meldungen	Funk, LAN, Datensätze paketweise oder Datenstrom	Meldekette mit Quittierung + Eskalation	SIL 1
EWS	Redundant, direkt und indirekt	Statusmeldung wichtiger Komponenten, Redundanz	Komplexe Logik, Doku Mess-/ Umweltdaten, Meldungen,	Funk, LAN, Datensätze Datenstrom	Meldekette mit Quittierung + Eskalation	SIL1 SIL2

4 Zusammenfassung und Ausblick

Monitoring bezeichnet die systematische Erfassung, Messung oder Beobachtung eines Vorgangs oder Prozesses mittels technischer Hilfsmittel. Das Monitoring von Schutzbauwerken und -flächen stellt eine ergänzende Maßnahme zum technischen und organisatorischen Schutz dar. Mit diesen Maßnahmen gewährleisten die ÖBB-Infra die Sicherheit und die hohe Verfügbarkeit des Bahnstreckennetzes. Gemäß den Vorgaben der EU-Richtlinie 2004/49/EG sowie dem Eisenbahngesetz sind Bahnbetreiber dazu verpflichtet, bei Monitoringsystemen Aspekte des funktionalen Sicherheitsmanagements zu

beachten. Bei der Konzeption solcher Systeme sind daher neben den bahnspezifischen Besonderheiten insbesondere die Vorgaben des Safety-Integrity-Levels (SIL) gemäß EN 50129 [9] zu berücksichtigen. Darüber hinaus werden hohe Ausfallssicherheit, sichere Datenübertragung durch redundante Kommunikationswege sowie eine hohe IT-Sicherheit gefordert. Der Bereich Fachwegtechnik der ÖBB-Infrastruktur AG setzt verschiedene Monitoringsysteme ein, darunter Systeme für Condition Monitoring (CM), für Structural Health Monitoring (SHM), für Prozessmonitoring (PM) und Frühwarnsysteme (EWS). Angesichts des Klimawandels und veränderter Gefährdungsszenarien gewinnen diese Monitoringsysteme im Vergleich zu den strukturellen Schutzmaßnahmen, mit einer Lebensdauer von 50 bis 80 Jahren, aufgrund ihrer Flexibilität bei wechselnden Bedingungen zunehmend an Bedeutung. Aufgrund der zunehmenden Häufung von Extremwetterereignissen und sich wandelnden Gefährdungsszenarien ist in Zukunft mit einer verstärkten Anwendung solcher Systeme zu rechnen. Die Entwicklung zeigt, dass die Integration neuer Sensortechnologien, Echtzeitinformationen sowie komplexer Datenanalysen zu einer signifikanten Steigerung der Flexibilität und Zuverlässigkeit von Monitoringsystemen führt. Nichtsdestotrotz wird die Gewährleistung von IT-Sicherheit und Zuverlässigkeit auch zukünftig eine zentrale Herausforderung darstellen.

Literatur

- [1] ÖBB-Holding AG (2024): ÖBB kompakt 2024/2025 – Zahlen Daten Fakten. Wien. Verfügbar unter: <https://bericht.oebb.at/dam/jcr:82ee717b-7b35-4d0e-855e-ecde9fbd985c/oebb-zahlen-daten-fakten-2024-2025.pdf>
- [2] Eisenbahngesetz (1957): (BGBl. Nr. 60/1957, zuletzt geändert durch BGBl. Nr. 125/2006). §§ 43, 45. Verfügbar unter: <https://ris.bka.gv.at>
- [3] ONR 24810: Technischer Steinschlagschutz – Begriffe, Einwirkungen, Bemessung und konstruktive Durchbildung, Überwachung und Instandhaltung. Wien
- [4] Forstgesetz (1975): (BGBl. Nr. 440/1975, zuletzt geändert durch BGBl. I Nr. 83/2004). § 21. Verfügbar unter: <https://www.ris.bka.gv.at>

- [5] Wikipedia (2025): Monitoring. In: Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. Verfügbar unter: <https://de.wikipedia.org/wiki/Monitoring> (aufgerufen am 17.11.2025)
- [6] Golser, J.; Steiner, W. (2021): International and European Standards for Geotechnical Monitoring and Instrumentation. *Geomechanics and Tunnelling* 14, No. 1, pp. 63–77. <https://doi.org/10.1002/geot.202000047>
- [7] Europäisches Parlament und Rat. (2004): Richtlinie 2004/49/EG über Eisenbahnsicherheit. Verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX:32004L0049>
- [8] Europäische Kommission. (2013): Durchführungsverordnung (EU) Nr. 402/2013. Verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX:32013R0402>
- [9] IEC 61508 (2010): Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems. Verfügbar unter: <https://webstore.iec.ch/publication/5517>
- [10] CENELEC EN 50126-2 (2017): Railway Applications – The Specification and Demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS). CENELEC, Brüssel, 2017
- [11] CENELEC EN 50129 (2018): Railway Applications – Safety-related Electronic Systems for Signalling. CENELEC, Brüssel, 2018
- [12] DBV-Merkblatt „Brückenmonitoring“ (2018): Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E.V., Berlin
- [13] DGZfP Merkblatt B 09 (2022): Dauerüberwachung von Ingenieurbauwerken. Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung (DGZfP), Berlin
- [14] ÖBB-Infrastruktur AG (2025): ETCS Zugbeeinflussung. Dokumente und Daten zum European Train Control System (ETCS) und ERTMS. Verfügbar unter: <https://infrastruktur.oebb.at/de/geschaeftpartner/schiennetz/dokumente-und-daten/etcs-zugbeeinflussung> (aufgerufen am 17.11.2025)
- [15] ISO/IEC Guide 99 (2007): International Vocabulary of Metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM), International Organization for Standardization and International Electrotechnical Commission, Geneva, December 2007.
- [16] Wedel, F.; Pitters, S.; Hille, F.; Herrmann, R.; Schneider, R. (2024): Leitfaden – Strategischer Einsatz von Monitoring für Ingenieurbauwerke (FE 15.0707/2022/

LRB). Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Bergisch Gladbach. Verfügbar unter: Prädiktives Infrastrukturmanagement - Strategischer Einsatz von Monitoring für Ingenieurbauwerke – BASt

- [17] ISO 17359 (2018): Condition Monitoring and Diagnostics of Machines – General Guidelines. International Organization for Standardization (ISO), Genf, 201
- [18] Farrar, C.R.; Worden, K. (2007): An Introduction to Structural Health Monitoring. Philosophical Transactions of the Royal Society A, 365(1851), 303–315

Überwachung von Steinschlagnetzen: Einblicke in innovative Monitoring-Technologien

Sebastian Averdunk^{1*}, Gernot Stelzer¹, Roland Schmidt²,
Johann Golser²

¹ Trumer Schutzbauten GmbH, Bad Vigaun

² Geodata Messtechnik GmbH, Leoben

* Vortragender: s.averdunk@trumer.cc

1 Einleitung und Motivation

Nationale Regelwerke wie zum Beispiel die ONR 24810 sehen zumindest jährliche Inspektionen von Steinschlagschutznetzen vor, um deren Zustand zu erfassen und zu bewerten. Sofern erforderlich werden hieraus geeignete Maßnahmen zur Wartung, Instandhaltung oder Erneuerung umgesetzt. In der Zeit zwischen Ereignis und vollständiger Wiederherstellung ist der Wirkungsgrad des Schutzsystems eingeschränkt gegeben. Diese Zeit wird auch als Mean Down Time (MDT) bezeichnet (siehe Abbildung 1). Vor diesem Hinter-

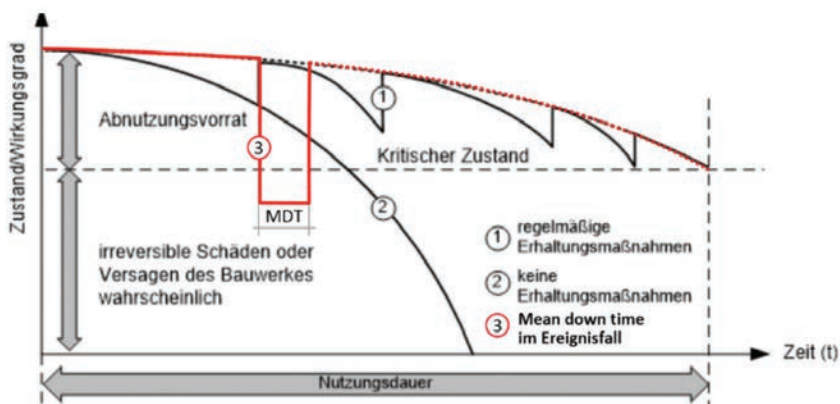


Abb. 1: Modifizierte Darstellung zum Erhaltungszustand von Schutzbauwerken nach ONR 24810

grund ist die Entwicklung innovativer Monitoring-Technologien zur automatisierten Zustandserfassung und Reduktion der MDT von großem Interesse.

2 Entwicklung eines Monitoring-Systems

Aus dieser Motivation wurde in Zusammenarbeit ein zuverlässiges Monitoring-System für Schutzbauwerke entwickelt. Zuverlässigkeit ist dabei das zentrale Kriterium, weshalb der Sensor TIM (Trumer Impact Monitoring) auf Redundanz und intelligente Methoden setzt. Die Sensorik umfasst Beschleunigungs-, Neigungs- und vier Reißleinsensoren und ist für alle Schutzsysteme geeignet, die Vibrationen oder Verschiebungen erfahren (z. B. Steinschlagschutznetze, Lawinenfangnetze, Murnetze). Eine integrierte Kamera liefert visuelle Informationen für die Bewertung. Eine drahtlose Funkverbindung bildet ein autarkes System, unabhängig von externer Stromversorgung oder Mobilfunk am Bauwerksstandort. Erst am entfernten Gateway wird die Versorgung, optional per Photovoltaik, sichergestellt. Dank stromsparender Sensoren wird eine Batterielebensdauer von über zehn Jahren erreicht. Nur im Ereignisfall startet der Sensor eine dreiachsige, hochfrequente Messung. Die Daten werden via LoRaWAN ans Gateway und weiter an eine zentrale Plattform übertragen. Ein Algorithmus analysiert die Daten in Sekundenbruchteilen und benachrichtigt bei Übereinstimmung mit definierten Kriterien einen Nutzerkreis via SMS oder E-Mail. In der Plattform werden Zustand und Ereignisse jedes Bauwerks übersichtlich visualisiert.

3 Erprobung und Praxistests

Das System hat die Entwicklungsphase erfolgreich abgeschlossen. Labortests (u. a. Wasserdichtigkeit, Batteriespannung, Funkreichweite, Reißleinen-Auszugskraft) bestätigten die berechneten Werte. Zusätzlich wurden 1:1-Feldversuche im Schrägwurfverfahren durchgeführt, bei denen Betonblöcke von 100 bis 3.200 kg mit 90 km/h in Schutznetze einschlugen. Das System detektier-

te die Einschläge und versandte Benachrichtigungen binnen Sekunden. Seit Herbst 2023 laufen Langzeittests in Leoben. In Steyring kommt das System seit Frühling 2025 zur Überwachung eines Steinschlagschutznetzes zur Anwendung.

4 Fazit und Ausblick

Das neuartige TIM-System ermöglicht eine zuverlässige und energiesparende Überwachung von Schutznetzen und ergänzt die klassische Inspektion um wertvolle Informationen. Durch die integrierte Kamera ist bereits aus der Ferne eine Grobinspektion möglich. Eine frühzeitige Ereignisdetektion ermöglicht eine rasche Instandhaltung und verkürzt somit die MDT signifikant. Eine Kombination mit weiteren Sensoren (z. B. Fissurometer, Extensometer, ARGOS-DF-Sensoren) ist möglich. Die Verwendung des Sensors in einem Alarmsystem ist prinzipiell möglich, jedoch sind Gefährdungsszenarien umfassender zu analysieren um ein geeignetes Alarmierungskonzept zu erarbeiten.



Abb. 2: Trumer Impact Monitoring Montage an einem Steinschlagschutzzaun bei Salzburg

GEODATA

ÜBERWACHT. BEURTEILT. WARNT. ALAMIERT!

Naturgefahren sind dynamisch und meist unvorhersehbar. Wir machen sie messbar und liefern Daten als Grundlage für fundierte Entscheidungen - **Präzise und in Echtzeit!**

Erfassung und Monitoring

- Kluftüberwachung & Verschiebungsmessung
- Kluftwasser-, Grundwasser- & Porenwasserdruck
- Geodätische 3D-Überwachung & GNSS
- Laserscanning & Drohnenbefliegungen
- Erschütterungsmessungen, Seismik & Geophysik

Digitale Lösungen – GeodataHub

- Online-Zugriff in Echtzeit
- Automatische Protokollierung
- Intelligente Auswertung
- Frühwarnsysteme



NATURGEFAHREN MONITORING
Risiken erkennen - Gefahren verstehen - Leben schützen

GEODATA SURVEYING & MONITORING GROUP

Hans-Kudlich-Strasse 28 | 8700 Leoben, Austria

office@geodata.com | www.geodata.com

Block 4

Fernerkundung – Überwachung

Vorsitz Direktor DI Fabio de Polo

Agentur für Bevölkerungsschutz, Funktionsbereich

Wildbachverbauung, Bozen (IT)

Entwicklung eines Monitoring- und Frühwarnsystems für flach-gründige Rutschungen in den Anden (Medellín, Kolumbien)

Kurosch Thuro^{1*}, Tamara Breuninger^{1,2}, Moritz Gamperl^{1,3},
John Singer⁴

¹ Lehrstuhl für Ingenieurgeologie, Technische Universität München (D)

² Baugeologisches Büro Bauer, München (D)

³ INGEOTEC, Schrobenhausen (D)

⁴ AlpGeotech, München (D)

* Vortragender: thuro@tum.de

In Hochgebirgslagen sind rutschgefährdete Hänge eher die Regel als die Ausnahme. Um in solchen Regionen flächendeckende Frühwarnsysteme für die Bevölkerung herzustellen, müssten große Summen aufgewendet werden. Daher sollten kostengünstige und effektive Systeme entwickelt werden, die in der Lage sind, die Schutzziele für die Bevölkerung zu erreichen. Der vorliegende Beitrag beschreibt ein solches Frühwarnsystem (FWS), das für eine informelle Siedlung am Rande der Großstadt Medellín, Kolumbien, entwickelt wurde sowie die dafür notwendigen ingenieurgeologischen Voruntersuchungen. Auf der Basis der ingenieurgeologischen Kartierung der Phänomene und geoelektrischen Profile wurde eine Prozesskarte erstellt, vier Bohrungen abgeteuft und aufgenommen, sowie fels- und bodenmechanische Labortests an den Gesteinen durchgeführt. Die daraus resultierende Gefahrenbewertung war die Grundlage für die Konzeption eines passenden Geosensornetzwerks.

Das auf Internet-of-Things (IoT) Geräten basierende Geosensornetzwerk kommuniziert über ein LoRa (Long Range) Kommunikationsprotokoll. Die einzelnen Sensoren sind darüber mit mehreren Gateways verbunden, die die Daten sammeln und sie über ein Mobilfunknetz an einen Online-Server übertragen. Die aus dem Monitoring resultierenden Warnungen werden in unter-

schiedlichen Alarm-Levels ausgegeben, die über eine Smartphone-App an die Bevölkerung kommuniziert wird. Schulungen und Evakuierungstrainings führen dazu, dass die Bevölkerung in der Lage ist, auf die Warnungen adäquat zu reagieren.

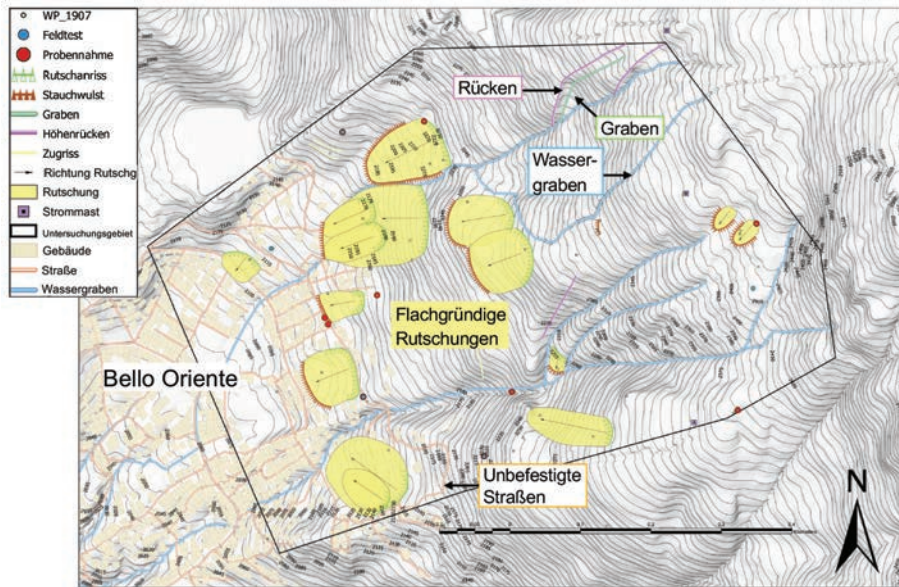


Abbildung 1, Bello Oriente, Medellín, Kolumbien – Karte der Phänomene

Entwicklung eines Monitoring- und Frühwarnsystems für flach-gründige Rutschungen

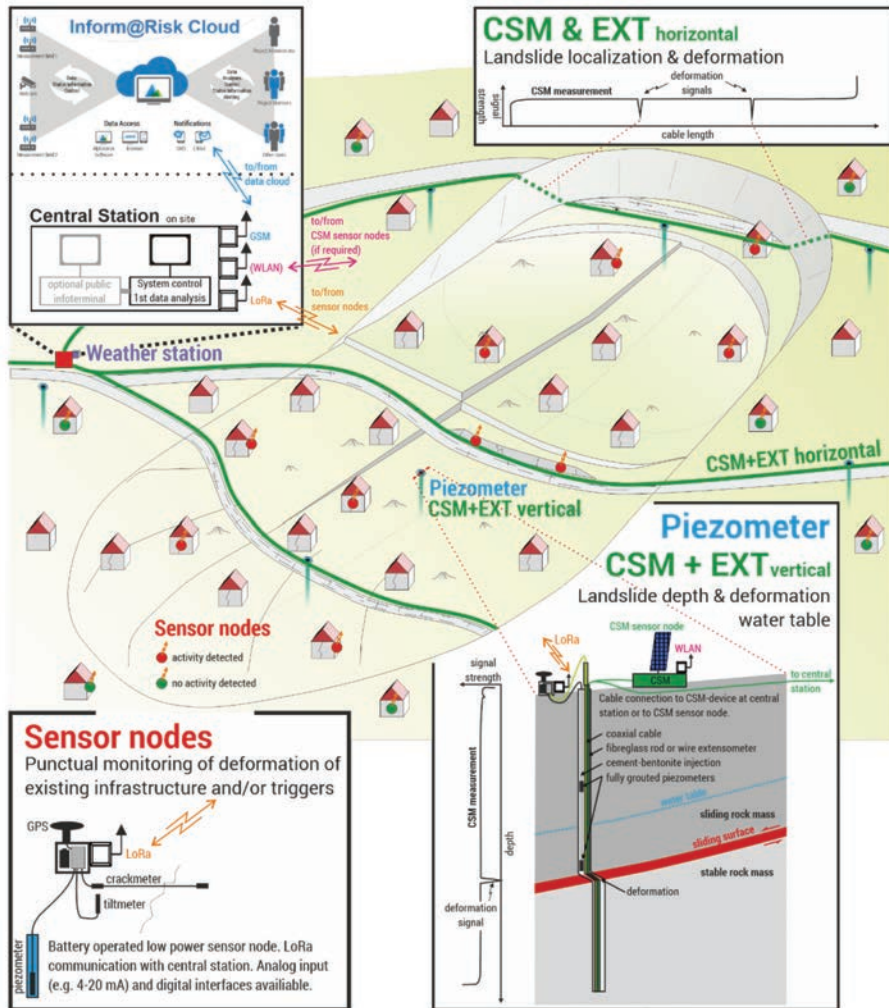


Abbildung 2, Layout des Monitoring- und Frühwarnsystems in Bello Oriente, Medellín, Kolumbien

Praxisbeispiele der photogrammetrischen Trennflächenanalyse im Planungsprozess für Sicherungsbauwerke

Anne Hormes^{1*}, Simeon Kreher², Steffen Wachtel²,
Tobias Bode², Christian Ernst^{1,2}

¹ w&p felsprojekt GmbH, Innsbruck (A)

² witt&partner geoprojekt GmbH, Weimar, Erfurt & Hannover (D)

* Vortragende: Anne Hormes, info@felprojekt.at

1 Einleitung

In komplexen Fels- und Hangsystemen stoßen konventionelle 2D-Planungsmethoden zunehmend an ihre Grenzen. Die Integration von digitalen Zwillingen und 3D-Photogrammetrie in die geotechnische Praxis eröffnet neue Möglichkeiten für präzisere Planung, Ausführung und Überwachung von Felsicherungsmaßnahmen. Der vorliegende Beitrag stellt den aktuellen Stand der Technik sowie zwei umfangreiche Praxisbeispiele vor, die den Mehrwert dieser Technologien demonstrieren.

2 Vorteile digitaler Zwillinge in der Felssicherung

Digitale Zwillinge bieten gegenüber traditionellen Planungsmethoden mehrere wesentliche Vorteile. Georeferenzierte 3D-Modelle liefern zentimetergenaue Ist-Zustände, die sowohl für die Planung als auch für die Bestandsdokumentation verwendet werden können. Die räumliche Trennflächenanalyse auf Basis realitätsnaher Geometrien ermöglicht präzisere Stabilitätsbewertungen als klassische Linienzählverfahren, die lediglich zweidimensionale Informationen entlang von Aufschlusslinien erfassen.

Ein weiterer Vorteil liegt in der virtuellen Sicherungsplanung: Sicherungsbauwerke können direkt im 3D-Modell geplant, visualisiert und hinsichtlich ihrer räumlichen Anordnung optimiert werden. Dies ist besonders bei komplexen Geländebeziehungen von Bedeutung, wo mehrere Sicherungselemente räumlich koordiniert werden müssen. Darüber hinaus ermöglichen digitale Zwillinge die kontinuierliche Erfassung von Bauwerksänderungen über den gesamten Lebenszyklus der Infrastruktur, wodurch eine langfristige Dokumentation und ein nachhaltiges Schutzbauten-Management unterstützt werden.

3 Methodik der 3D-Photogrammetrie

3.1 Datenerfassung mit PPK-Drohnen

Für die geotechnische Vermessung werden PPK-Drohnen (Post Processing Kinematics) eingesetzt, die mit hochpräzisen GNSS-Antennen ausgestattet sind. Zur Lagekorrektur werden GNSS-Korrekturdaten aus APOS (Austrian Positioning System) in Österreich bzw. SAPOS in Deutschland verwendet. Diese Systeme nutzen GNSS-Signale mit identischen Zeitstempeln zur Lage- und Höhenkorrektur, wodurch eine Genauigkeit von 1 cm horizontal und 2-5 cm vertikal erreicht wird.

3.2 Extraktion geotechnischer Parameter

Neben der geometrischen Erfassung von Trennflächen können aus den 3D-Punktwolken auch Bemessungsblockgrößen, Kluftlängen und Kluftabstände extrahiert werden, die für die Gefahrenanalyse nach ONR 24810 erforderlich sind. Die Trennflächendaten werden zusätzlich im Gelände validiert, um die Qualität der digitalen Analyse sicherzustellen.

3.3 Discrete Fracture Network (DFN) Analysis

Ein besonderes Potenzial bietet die Discrete Fracture Network (DFN) Analysis, eine Methode zur dreidimensionalen Darstellung von Bruchsystemen im Gestein. Dabei werden einzelne Klüfte als Geometrien mit Position, Orientierung und Länge modelliert. Im Gegensatz zu sichtbaren Trennflächen an der Gesteinsoberfläche werden die Klüfte probabilistisch ins Gesteinsinnere erweitert, wodurch volumetrische Modelle der potenziellen Blockgrößen möglich werden.

Durch die DFN-Analyse können die Schnittpunkte der Brüche genutzt werden, um ein dreidimensionales Netzwerk zu definieren, aus dem sich geschlossene Volumen – also Gesteinsblöcke – ableiten lassen. Die Bruchflächen fungieren dabei als Begrenzungsflächen dieser Blöcke und somit können sowohl Bruchkörpergeometrien generiert als auch Bemessungsblockgrößen aller möglichen Bruchkörper berechnet werden.

Wie Illeditsch und Preh (2024) feststellten, werden bei reinen Geländeaufnahmen häufig nur große Blockgrößen erfasst, was sich auf die Perzentile der Bemessungsblockgrößenverteilung auswirkt. Die Vernachlässigung vieler kleiner Blöcke in einer Blockgrößenverteilung führt zu größeren P95-P98-Werten. Die DFN-Analyse ermöglicht hier eine vollständigere statistische Erfassung.

4 Praxisbeispiel: Felsenkirche – Sicherung eines Kulturdenkmals

4.1 Ausgangssituation

Ein besonders anspruchsvolles Projekt war die Sicherung einer historischen Felsenkirche mit einem sensiblen Gewölbe aus dem 15. Jahrhundert in Idar-Oberstein, Rheinland-Pfalz. Über dem Kirchenraum befindet sich eine mehrere Meter hohe Felspartie mit kritischen Trennflächen. Häufige Steinschlagereignisse und die Zerstörung des Kirchendachs machten eine detaillierte

Felserkundung nach DIN EN ISO 14689 und die Planung angepasster Sicherungsmaßnahmen erforderlich.

4.2 Geologische und strukturelle Verhältnisse

Die Punktwolke musste zunächst von Vegetation gefiltert werden, was manuell und mittels Machine-Learning-Methoden in CloudCompare erfolgte. Die strukturelle Analyse zeigte, dass die maßgeblichen Trennflächen im Felsüberhang der Kirche wesentlich von denen der restlichen Felswand abweichen (Abbildung 1). Die Trennflächen weisen firstparallele Kluftöffnungen von 0,5 bis 20 cm auf.

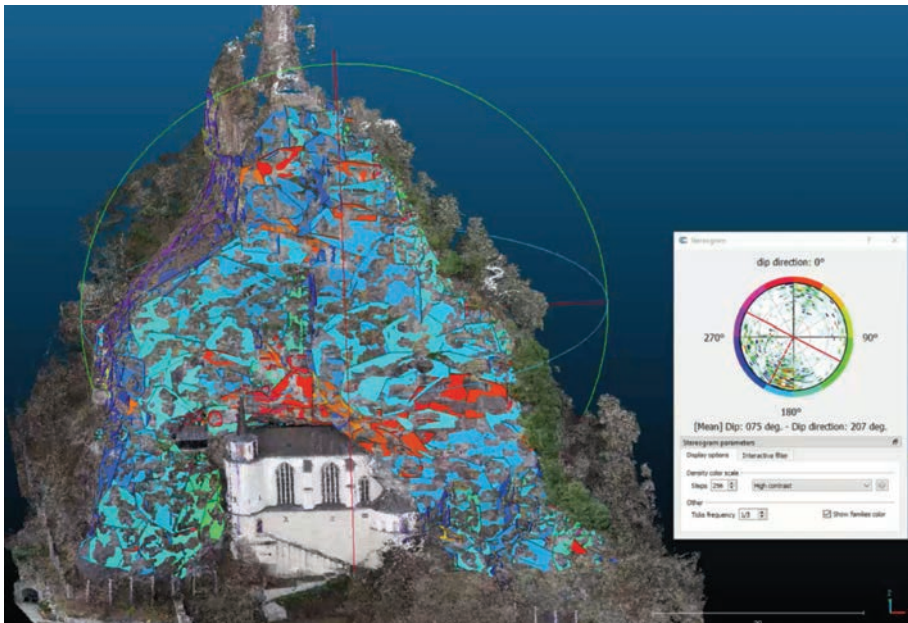


Abbildung 1, Trennflächen im Gewölbe der Felsenkirche fallen mit rund 45° nach Norden ein, während die Trennflächen im Rest der Felswand überwiegend nach Süden und Südwesten ausgerichtet sind.

Zur Bestimmung der Gebirgskennwerte wurden neun Kernbohrungen vom hängenden Seil durchgeführt. Diese zeigten eine tiefgründige Entfestigungszone mit Verwitterungsgraden VE bis zu 1 m Tiefe. Der Andesit ist stark durch thermodynamische und hydrothermale Prozesse verwittert. Im Bereich des Kirchengewölbes beträgt die Druckfestigkeit lediglich 40 MPa bei Verwitterungsgrad VE und 100 MPa bei VAVU, mit einer Zugfestigkeit von 5 MPa.

4.3 Planung und Bemessung

Ein maximaler Bemessungsblock von 2 m³ weist eine Gewichtskraft von $F(G,k) = 53 \text{ kN}$ auf, die anteilig durch die Sicherungselemente abgetragen werden muss. Zur Berechnung der globalen Wandstabilität nach DIN EN 1997-1 wurden numerische Analysen mit dem FE-Modell PLAXIS durchgeführt (Abbildung 2). Das Stoffgesetz nach Hoek-Brown wurde verwendet, dessen nichtlineares Versagenskriterium das Spannungs-Verformungsverhalten des Gebirges über den gesamten Spannungsbereich in einem homogenen Analogiemodell mit isotropen Festigkeitseigenschaften beschreibt.

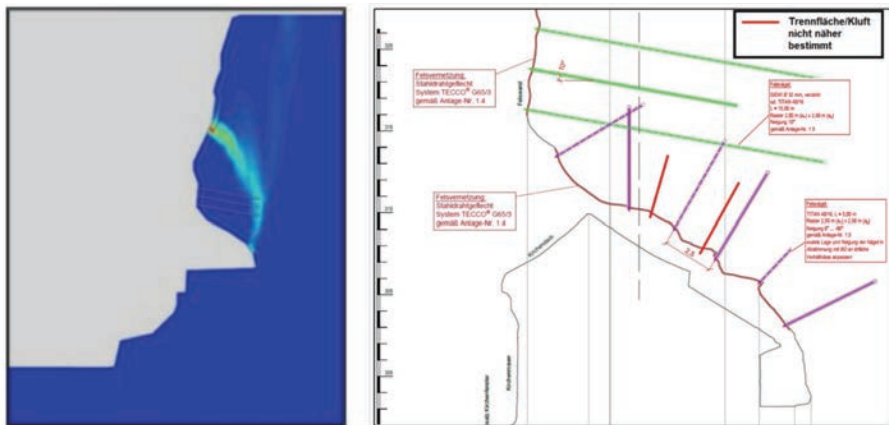


Abbildung 2. Numerische Analyse des Kirchengewölbes in Plaxis und Ausführungsplan der Rohrschirmkonstruktion

Als Sicherungselemente wurden 15 m lange Felsnägel TITAN 40/16 mit 10° Neigung zur Horizontalen nach unten als „embedded beam rows“ in das Berechnungsmodell implementiert (Abbildung 3). Der berechnete Sicherheitsfaktor SF wurde in allen untersuchten Lastfällen mit $> 1,4$ als ausreichend nachgewiesen. Die innere Tragfähigkeit der GEWI-Stäbe ($\varnothing 32$ mm, verzinkt, $l = 15$ m) beträgt 402 kN bei einem Bemessungswiderstand von 349 kN. Die äußere Tragfähigkeit des Verpresskörpers liegt bei 214 bzw. 270 kN bei Verbundlängen von 1,90 bzw. 2,00 m.

4.4 Ausführung

Die zwei Hauptklüfte, die über dem gesamten 27 m langen Kirchendach verlaufen, wurden mit mehreren 15 m langen Felsnägeln gesichert. Die Bohrungen erfolgten vom hängenden Seil aus im Imlochhammer-Bohrverfahren unter Beobachtung von Wasseraustritten, wobei nur der Einbau von 80 cm langen Bauteilen möglich war.



Abbildung 3, Einbau der Felsnägel im Kirchengewölbe der Felsenkirche

Für sechs weitere 5 m lange Überkopf-Felsnägel wurde von der Firma PSAlpin GmbH ein spezielles mechanisches Packersystem entwickelt, um eine Überkopf-Verpressung zu gewährleisten.

5 Praxisbeispiel 2: Monitoringkonzept an der B83

Entlang der B83 in Niedersachsen zwischen Hameln und Holzminden wurde eine der größten zusammenhängenden Felssicherungen der letzten 10 Jahre in Deutschland auf Grundlage von 3D-Vermessungen geplant und umgesetzt. Die zu sichernde Strecke erstreckt sich über ca. 2 km Länge in einem Weserprallhang mit bis zu 80 m hohen Felspartien.

5.1 Besondere Randbedingungen

Die besondere Herausforderung dieses Projekts waren die strengen Naturschutzaufgaben, die erforderten, dass die Sicherungsmaßnahmen auf das absolut notwendige Maß beschränkt werden. Der Bereich liegt in mehreren Schutzgebieten:

- NATURA 2000 (FFH-Gebiet ca. 11 ha, Vogelschutzgebiet „Sollingvorland“)
- Naturschutzgebiet „Mühlenberg bei Pegestorf“ nach § 23 BNatSchG
- Diverse Biotope nach § 30 BNatSchG, darunter Eichenmischwald, Ahorn-Lindenwald, natürliche Kalk- und Dolomittfelsfluren, Blaugras-Kalkfelsen, Laubgebüsch, Schutthalden, Kalkhöhlen und Buchenwälder trockenwarmer Kalkstandorte

Zudem sind geschützte Arten betroffen, darunter ein Uhu-Brutplatz im Hang sowie Lebensräume für Reptilien und Insekten im Felsschutt.

5.2 3D-Planung der Sicherungsmaßnahmen

Die Geländekomplexität machte eine 3D-Planung unerlässlich. Teilweise wurden drei Zauntrassen übereinander verschachtelt geplant, wobei nur eine 3D-Planung die detaillierte Auslegung der seitlichen, rück- und talseitigen Abspannungen ermöglichen (Abbildung 4). Die Planung der Zauntrassen erfolgte unter Berücksichtigung des Geländeverlaufs (Felsvorderkante, Geländesprünge) sowie unter Festlegung erforderlicher Entwässerungsrinnen.

Auch die Netzflächen wurden exakt in 3D geplant und alle Bauteile durchnummeriert, was für die spätere Kontrolle und Wartung der Bauwerke von großem Vorteil ist. Die 3D-Planung in diesem komplexen Gelände ermöglichte erst eine beschleunigte Bauausführung und die Minimierung der Sicherungsmaßnahmen auf die tatsächlich erforderlichen Bereiche.



Abbildung 4, 3D-Ausführungsplanung in Civil3D und Ausführung von verschachtelten Zauntrassen

5.3 Monitoringkonzept

Die Minimierung der Sicherungsmaßnahmen macht in großen Bereichen ein kontinuierliches Monitoring der ungesicherten Felsbereiche erforderlich. Für die Planung der Instrumentierung erwies sich der digitale Zwilling als unentbehrlich: Nur durch die dreidimensionale Visualisierung war es möglich, die verschiedenen Sensoren gezielt in den unverbauten Felspartien zu positionieren und die Messstellen optimal auf die jeweiligen Gefährdungsmechanismen abzustimmen.

Das entwickelte Monitoringkonzept kombiniert verschiedene Messverfahren: Extensometer zur Erfassung von Felsbewegungen in Klüften, Inklinometer zur Messung planar gleitender Felsschuppen sowie tachymetrische Kontrollmessungen an Reflektorspiegeln. Ergänzt werden diese lokalen punktuellen Messverfahren durch jährliche vollflächige UAV-Befliegungen zur digitalen Erfassung des Gesamtzustands. Ein Ereignismonitoring dokumentiert Steinschlagereignisse, während eine Wetterstation die Korrelation von Bewegungen mit Witterungseinflüssen ermöglicht.

Der digitale Zwilling dient dabei als zentrale Plattform für die Planung, Visualisierung und Auswertung aller Messdaten. Die präzise räumliche Zuordnung der Sensoren im 3D-Modell ermöglichte erst die gezielte Überwachung der kritischen ungesicherten Bereiche. Durch dieses auf den digitalen Zwilling gestützte Monitoringkonzept konnten die baulichen Eingriffe in den streng geschützten Hang auf das notwendige Minimum reduziert werden.

6 Fazit und Ausblick

Die vorgestellten Praxisbeispiele zeigen, dass 3D-digitale Zwillinge einen substanziellen Mehrwert in der Steinschlagschutz-Planung bieten. Sie verbessern nicht nur die geometrische Datengrundlage gegenüber konventionellen Methoden, sondern ermöglichen eine exakte räumliche Sicherungsplanung sowie ein kontinuierliches Lebenszyklus-Monitoring.

Die Sicherung der Felsenkirche demonstriert die Leistungsfähigkeit der Methode bei hochsensiblen Objekten, wo präzise Planung und Ausführung unerlässlich sind. Das Projekt an der B83 zeigt, wie 3D-Modelle bei komplexen Geländebeziehungen und strengen Umweltauflagen zur Optimierung von Sicherungsmaßnahmen und Monitoringkonzepten beitragen können.

Die laufende Entwicklung automatisierter Auswerteverfahren, insbesondere zur Extraktion geotechnischer Parameter, wird die Effizienz der Methode weiter steigern. Die Integration von Discrete Fracture Network Analysen ermöglicht zunehmend realitätsnähere Blockgrößenverteilungen und damit präzisere Gefährdungsanalysen.

3D-digitale Zwillinge sind heute ein integraler Bestandteil zeitgemäßer Felssicherungsplanung – praxisnah, nachhaltig und präzise. Die Technologie hat sich vom experimentellen Stadium zur Standardmethode für anspruchsvolle geotechnische Projekte entwickelt.

Literatur

Illeditsch, M. and Preh, A., 2024. Determination of meaningful block sizes for rockfall modelling. *Natural Hazards*, 120(6), pp.5685-5710.

Österreichisches Normungsinstitut (ON). – ONR 24810:2021 – Technischer Steinschlagschutz: Begriffe, Einwirkungen, Bemessung und konstruktive Durchbildung, Überwachung und Instandhaltung. – Wien: Österreichisches Normungsinstitut, 2021.

DIN EN ISO 14689:2018-05, *Geotechnische Erkundung und Untersuchung– Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Fels (ISO 14689: 2017); Deutsche Fassung EN ISO 14689:2018.*

Der präzise Blick aus dem Weltall: InSAR-basierte Bauwerks- und Bodenüberwachung

Markus Keuschnig^{1,2}, Markus Dörfler¹

¹ AUGMENTERRA GmbH, Puch bei Hallein

² GEORESEARCH Forschungsgesellschaft mbH, Puch bei Hallein

* Vortragende: markus.keuschnig@augementerra.com

Die kontinuierliche Überwachung von Bauwerk- und Bodenbewegungen ist heute wichtiger denn je – sei es im Kontext des Klimawandels, zunehmender Extremwetterereignisse oder in dicht besiedelten Ballungsräumen. Klassische Messverfahren stoßen dabei schnell an ihre Grenzen: Sie sind punktuell, arbeitsintensiv und oft nur eingeschränkt skalierbar.

Moderne Fernerkundungstechnologien wie das satellitenbasierte InSAR (Interferometric Synthetic Aperture Radar) eröffnen hier neue Möglichkeiten. Sie erlauben eine flächendeckende, wetterunabhängige und millimetergenaue Erfassung von Bauwerks- und Bodenbewegungen – weltweit verfügbar und rückblickend über mehrere Jahre hinweg. InSAR liefert belastbare Entscheidungsgrundlagen für ein breites Anwendungsspektrum: vom geotechnischen Monitoring über das Infrastrukturmanagement bis hin zu risikoorientierten Bewertungen.

Die Weiterentwicklung der InSAR-Technologie und die Einführung neuer Satelliten mit höherer räumlicher und zeitlicher Auflösung – beispielsweise X- und L-Band-Sensoren – werden die Anwendungsmöglichkeiten in der Zukunft maßgeblich erweitern. Die zunehmende Automatisierung der Datenanalyse durch Künstliche Intelligenz und maschinelles Lernen wird die Effizienz und Genauigkeit bei der Erkennung von Bewegungsmustern signifikant steigern. Zudem bietet der Einsatz von Corner-Reflektoren (Abbildung 1) und die Integration von IoT-Sensorik, etwa Inklinometern, vielversprechende Perspektiven für eine noch genauere Überwachung und Validierung der Daten.



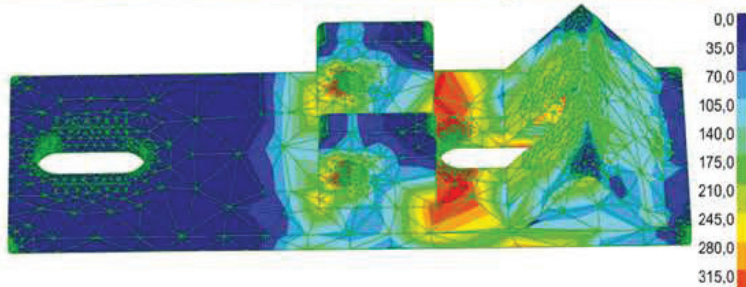
Abbildung 1, Corner Reflektoren als „intelligente“ Referenzpunkte (Foto: Ölschützen Stausee)

Der Trend und Forschungsbedarf gehen in Richtung „Echtzeit“-Überwachung und dynamischer Frühwarnsysteme, die es sowohl Behörden als auch Gemeinden ermöglichen, frühzeitig auf potenzielle Gefahren zu reagieren.



IHRE FRAGESTELLUNG IST UNSERE AUFGABE

Die **POTYKA & Partner ZT GmbH** hat sich auf die Lösung von statisch-konstruktiven Fragestellungen spezialisiert und erbringt Planungs-, Prüfungs- und Beratungsdienstleistungen überwiegend im Tief-, Grund- und Brückenbau. Es ist unser Ziel, mit Erfahrung, modernen Hilfsmitteln sowie der nötigen Innovationsfreude, technische Lösungen anzubieten, die den heutigen Bedürfnissen entsprechen, sich aber auch noch in vielen Jahren als gültige Antwort erweisen sollen. z.B. Prüfung Fußpunktverankerung Steinschlagschutz



WWW.POTYKA-PARTNER.AT
KONSTRUKTIV IST UNSERE STÄRKE

ISBN 978-3-99106-196-0



9 783991 061960