

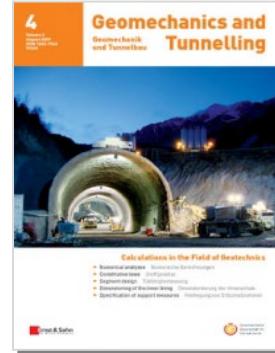
# Geomechanics and Tunnelling 05/2022

Anzeigenschluss  
09. September

Erscheinungsdatum  
06. Oktoberber 2022

Advertising Deadline  
September 9th

Publishing Date  
October 6th 2022



## Redaktionelle Themenvorschau und Beitragsübersicht

### **Beiträge vom 71. Geomechanik Kolloquium - Tagungsband Proceedings 71. Geomechanics Colloquium - Conference proceedings**

1.

Christian Höss, Franz Reiter, ÖBB Infrastruktur AG, Michael Binder, Passer & Partner ZT, Michael Hofmann, ILF, Martin Zmölnig, ÖSTU-STETTIN

#### **Neubau Bahnstromkraftwerk Obervellach II**

#### **Construction of Railway Power Plant Obervellach II**

Im Sinne des Klimaschutzes setzt die ÖBB Infrastruktur AG traditionell auf die nachhaltige Nutzung der Wasserkraft für die Bahnstromerzeugung. Nach ca. 100 Jahren Laufzeit werden die Bestandskraftwerke Obervellach I und Lassach durch die effizienteren Neuanlagen Obervellach II und Kaponig ersetzt. Mit der Ausbauleistung von 38 MW und einem Regelarbeitsvermögen von 125 GWh pro Jahr werden rund 30.000 Railjetfahrten von Villach nach Wien ermöglicht. Die planerischen Herausforderungen im Zuge der Einreichungs-, Ausschreibungs- und Ausführungsplanung lagen in der Komplexität des Gesamtprojektes. Vor allem die hydraulischen, geographischen, geologischen und ökologischen Rahmenbedingungen erforderten von allen Beteiligten eine fachübergreifende Zusammenarbeit in allen Planungsphasen. Ebenso fanden und finden im Zuge der Ausführung intensive Abstimmungen mit dem AN und der ÖBA statt. Ausgewählte Beispiele zur Planung sind im Kapitel 2 enthalten. Die Weitläufigkeit des Projektgebietes erfordert in der Ausführung eine ausgeklügelte Logistik. Speziell die Vortriebsarbeiten waren auf Grund des kleinen Ausbruchquerschnitts sowie der Stollenlänge herausfordernd. Als Besonderheit gilt der Einsatz eines „Full-Round Schalwagens“. Die Arbeiten entlang des Kraftabstiegs im unwegsamen Gelände erforderten besondere Aufmerksamkeit hinsichtlich der Arbeitssicherheit, da aufgrund des Terminplans Aushubarbeiten, Rohrverlegung und Betonarbeiten und letztlich auch Ausrüstungstätigkeiten parallel ablaufen müssen.

2.

Hans-Joachim Stech, HIC Holzhäuser Ingenieur Consult, Robert Achatz, Tractebel Hydroprojekt, Peter Strasser, Gabriella Caccavo, Geoconsult ZT, Karsten Thermann, Tractebel Engineering, Ulrich Gommel, Ingo Kamuf, EnBW

#### **Neubau des Pumpspeicherwerks Forbach**

#### **New construction of the Pumped Storage Plant Forbach**

Im Murgtal im Nordschwarzwald befindet sich das Rudolf-Fettweis-Werk der EnBW. Zur Erneuerung des Standortes ist der Neubau einer untertägigen Unterstufe geplant. Die im Projekt angetroffenen geologischen Verhältnisse bestehen aus der Formation des Forbach-Granits, in dem lokale Schwächezonen erkundet wurden. Angesicht der Ausdehnung des Projektgebietes kam ein 3D-Prognosemodell der Geologie zum Einsatz, um die Interpretation der räumlichen Lagebeziehung der Schwächezonen im Gebirge und die Orientierungen der neuen unterirdischen Anlagen entsprechend zu optimieren. Der Vermeidung öffentlicher Betroffenheiten wurde frühzeitig entgegengewirkt, sodass das Projekt eine ausgesprochen hohe Akzeptanz in der Öffentlichkeit genießt. Der vorliegende Beitrag stellt den aktuellen Stand im Projekt vor.

3.

Roland Schorn, ARGE PSW Limberg III, Christian Rieder, Verbund PSW Limberg III, Andreas Hager, Marti Tunnel AG

#### **Projekt Pumpspeicherkraftwerk Limberg III – besondere Herausforderungen an die Logistik sowie die Vortriebssysteme einer Großbaustelle im Hochgebirge**

**Limberg III pumped storage power plant project "Particular challenges for the logistics and the excavation systems of a large construction site in the high mountain**



Wilhelm Ernst & Sohn – Verlag für Architektur und technische Wissenschaften  
GmbH & Co. KG, Rotherstraße 21, D- 10245 Berlin

## regions

Das Verbund Projekt Pumpspeicherwerk Limberg III wird aktuell im Bereich der Kraftwerksgruppe Kaprun/Salzach realisiert. Die Vorarbeiten haben am 6. April 2021 begonnen, die Hauptbauarbeiten befinden sich seit 7. Jänner 2022 in Bau, die Inbetriebsetzung der Gesamtanlage ist Ende 2025 geplant. Kaprun hat eine lange Geschichte im Kraftwerksbau. Die Errichtung der Speicherkraftwerke Kaprun in den 1950er Jahren zählen zu den herausragenden Ingenieurleistungen und sind ein Symbol für den Wiederaufbau Österreichs nach dem 2. Weltkrieg. Die seit den 1950er Jahren bestehenden Kraftwerksanlagen der Haupt- und Oberstufe wurden in der Folge ständig erweitert. In den Jahren 2006 bis 2011 wurden die Jahresspeicher Mooserboden und Wasserfallboden um das Pumpspeicherwerk Limberg II erweitert. Aktuell erweitert Verbund die Kraftwerksgruppe Kaprun/Salzach um das Pumpspeicherwerk Limberg III, welches bauartgleich zu Limberg II realisiert wird. Neben den schwierigen logistischen Herausforderungen dieser Hochgebirgsbaustelle wird im Bericht auf die Vortriebssysteme eingegangen.

## 4.

Peter Herzog, Jürgen Voringer, Walter Kühner, Franz Reiter, Georg Lang

### **Das ÖBB-Kraftwerk Tauernmoos - Energiespeicher für die Bahn**

#### **The pumped storage hydro power station Tauernmoos**

Die ÖBB-Infrastruktur AG begann 2004 mit den ersten Studien für den Bau eines Pumpspeicherkraftwerks zwischen den zwei größten Stauseen der bestehenden Kraftwerksgruppe Stubachtal im Salzburger Pinzgau. In einer Kaverne werden zwei reversible Pumpturbinen-Maschinensätze samt Volumrichter mit einer Gesamtleistung von 170MW und einem maximalen Durchfluss von 80 m<sup>3</sup>/s vorgesehen. Der Bau des 335 Millionen Euro teuren Projekts begann 2020 und dauert bis Herbst 2025. Neben einer 50.000 m<sup>3</sup> großen Kaverne wurden auch 11,5 km Tunnel- und Stollen für das Projekt aufgefahren, weitgehend in standfesten Gneisen. Deutlich schwieriger gestaltet sich beispielsweise der Bau der Ein- und Auslaufbauwerke in den beiden Hochgebirgsstauseen, hier kann nur im Hochwinter bei abgesenktem Seepegel gearbeitet werden. Da auch die restlichen Bauarbeiten in einer Höhe von 1.500 m ü.A. bis 2.250 m ü.A. in alpinem Gelände stattfinden, wird die ausführende Baufirma wiederkehrend vor die damit verbundenen Probleme wie Schnee, Kälte, Wind, Vermurungen und die damit verbundenen Logistikschwierigkeiten gestellt. Trotz der Herausforderungen konnten die Ausbruchsarbeiten im Sommer 2022 bereits abgeschlossen werden. Das Hauptaugenmerk liegt derzeit im Ausbau der Kaverne, hier laufen bis Herbst 2023 die Betonarbeiten, danach folgt die Installation von Maschinenbau, Elektro- und Leittechnik.

## 5.

Markus Schwalt, Maggia Ingenieurunternehmung AG, Daniel Stolz, Schluchseewerk AG

### **Kraftwerk Witznau, Verpressversuche zur Ertüchtigung des Druckstollen**

#### **Witznau power station, grouting tests for upgrading the headrace tunnel**

Nach abgeplatzten Betonteilen im Druckstollen sollte dieser abschnittsweise ertüchtigt und für die weiteren Jahre fit gemacht werden. Da wenig Informationen über den Zustand des Stollens und die Ursache der Abplatzung vorlagen, wurden mögliche Schadensbilder und Ursachen analysiert und Injektionen in Kombination mit einer Betonsanierung als Ertüchtigungsmaßnahme definiert. Innerhalb einer Betriebspause von ca. 2 Monaten wurden im Juni 2020 Zementinjektionen in Verpressversuchen in verschiedenen Varianten getestet, um deren Eignung festzustellen, bzw. die Parameter und auszuführenden Arbeiten zu optimieren. Die Versuche und dabei gemachten Untersuchungen haben interessante Erkenntnisse über den Zustand des Stollens an den Tag gebracht. Die Injektionen erfolgten bei niedrigem Druck, wurden in verschiedenen Abständen und Bohrtiefen ausgeführt und dabei wichtige Parameter für die spätere Ausführung getestet und Optimierungen ermöglicht. Die Porösität der Auskleidung konnte dabei wesentlich reduziert und damit die Qualität der Schale verbessert werden. Mit einer Vorher-nachher-messung mit Georadar konnte die Verbesserung der Auskleidung durch die Injektion nachgewiesen werden. Eine bemerkenswerte Erkenntnis ist die Kombination aus verhältnismäßig bescheidener Qualität des Auskleidungsbetons, welche dem Bau während des 2. Weltkriegs geschuldet ist, mit der praktisch ungerissenen und relativ dichten Auskleidung. Es zeugt von einer hohen Baukunst, dass mit den damals verfügbaren Mitteln so dauerhafte Bauwerke erstellt werden konnten.

## 6.

Sebastian Perzlmaier, Michael Holzmann, Steffen Bauer, TIWAG

### **Zur Gründung des 140 m hohen Staudammes Kühtai im Längental**

#### **Foundation of the 140 m high Kühtai Dam in the Längental**

Der Staudamm Kühtai ist ein Schüttdamm mit zentralem Erdkern. Die Kerndichtung gründet auf Fels, der durch Profilieren, Plombieren und Injizieren von der Oberfläche (Flächenschirm) vergütet wird. Zur Freilegung der Kernaufstandsfläche war ein großer Voraushub erforderlich, mit dem erst nach Umleitung des Längentalbaches durch den späteren Grundablassstollen begonnen

werden konnte. Die luft- und wasserseitigen Stützkörper gründen auf der ausreichend tragfähigen verbleibenden Überlagerung. Unter dem Kern verläuft im Fels ein Kontrollstollen, welcher der Aufnahme von Messeinrichtungen sowie der zeitlichen Entkopplung von Dammschüttung und Tiefenschirminjektion dient. Abweichend vom Ausschreibungsprojekt wird der Kontrollstollen je Talseite als Kombination aus zwei konventionell vorgetriebenen Stollen und zwei Raise Boring Schächten hergestellt. Zur Verbindung der Stollen und Schächte sind auf halber Dammhöhe Verbindungsbauswerk aus Stahlbeton vorgesehen, auf denen der Erdkern wie auf einem Kontrollgang in Künnetenbauweise gründet. Diese Anpassung ist einerseits das Resultat einer im Zuge der Vorarbeiten 2019 aufgeschlossenen geologischen Störung, welche die Kernaufstandsfläche in der orographisch linken Talflanke quert. Andererseits kann durch den Entfall der beiden langen konventionellen Schächte der bauzeitliche Zwang aufgelöst werden, welcher sich aus der Forderung ergibt, mit dem Flächenschirm erst nach Abschluss der konventionellen Vortriebe unter dem Damm zu beginnen.

7.

Giedrius Zirgulis, Ojas Arun Chaudhari, RISE Research, Alli Nejad Ghafar, Implenia Sverige AB

#### **Entwicklung einer dynamischen Mörtelinjektion in Labor- und Feldversuchen**

#### **Development of dynamic grouting under laboratory and field conditions**

Wenn es um unterirdische Strukturen geht, führt das Eindringen von Wasser aus den umgebenden Formationen zu mehreren Umwelt-, Wirtschafts- und Nachhaltigkeitsproblemen. Zur Erzielung der Abdichtung erfolgt die Verpressung von Gesteinsbrüchen. Heutzutage ist der ausgeübte Druck bei Injektionsarbeiten, die üblicherweise bei fast allen Tunnel- und unterirdischen Infrastrukturprojekten durchgeführt werden, statisch. Diese Art des angelegten Drucks könnte für große Bruchöffnungen > 100 µm geeignet sein, aber es wurde anerkannt, dass es schwierig ist, eine ausreichende Durchdringung durch kleinere Öffnungen zu erreichen, wo eine Filtration von Zementpartikeln beginnt.

Es wird bereits geforscht, um dieses Problem zu lösen, indem dynamischer Injektionsdruck anstelle von statischem angewendet wird. Es wurde nachgewiesen, dass dieser Ansatz die gebildeten Filterkuchen erodiert und die Durchdringbarkeit des Mörtels in Rissen unter 100 µm verbessert.

Diese Forschung konzentriert sich auf niederfrequente rechteckige Druckimpulse als Alternative zu anderen Methoden. Ziel ist es, die Mörtelausbreitung in Mikrorissen (insbesondere in Öffnungen <70 µm) zu verbessern. Während der Untersuchung wurde ein Prototyp einer dynamischen Injektionsanlage gebaut und unter Laborbedingungen getestet. Der vier Meter lange Variable Aperture Long Slot (VALS) wurde in den Experimenten verwendet, um Gesteinsbrüche zu simulieren. Der Test zeigte eine bessere Eindringfähigkeit des Mörtels unter Verwendung des dynamischen Druckansatzes. Zum jetzigen Zeitpunkt der Erstellung dieses Dokuments werden Vorbereitungsarbeiten für den Feldtest der Prototypausrüstung im SKB Hard Rock Laboratory (HRL) in Äspö, Schweden, durchgeführt.

8.

Philipp Maroschek, Iorian Rathenböck, eguna GmbH, Florian Weber, Züblin Spezialtiefbau, Florian Özkoral, ARGE U2-17-21

#### **Automatisierte Steuerung und Ausführung von Kompensationsinjektionen**

#### **Automated control and execution of compensation grouting**

Baumaßnahmen wie der Neubau einer U-Bahn können umfassende Maßnahmen zur Setzungskompensation für Bestandsobjekte erforderlich machen. Für eine baubegleitende Kontrolle ist ein umfassendes Monitoringsystem mittels Schlauchwaagen, Tachy- und Tiltmeter und entsprechendem Datenmanagementsystem unerlässlich. Mit Hilfe von Hebungs injektionen wird sichergestellt, dass die in der Nähe der Baustelle gelegenen Gebäude nicht durch die Folgen der Baumaßnahmen beeinträchtigt werden. Dazu werden mit einem speziellen Bohrsystem Manschettenrohre in engem Raster unter den Objekten eingebaut. Die Injektionsmanschetten werden per Doppelpacker mit einer Zementsuspension beaufschlagt, um eine Vorverfestigung zu erreichen, die Kontaktinjektion. Tritt in Folge eine Setzung auf, beispielsweise durch den Tunnelvortrieb, kann mit einer Hebungs injektion reagiert werden. Auf Basis der Datenlage der Schlauchwaagen erstellt das Datenmanagementsystem automatisch einen Handlungsvorschlag für die erforderlichen Maßnahmen, welcher nach Überprüfung und Freigabe durch die Bauleitung, direkt an die Injektionsanlage übermittelt wird. Der Geräteführer wählt die Manschette aus und startet den Injektionsprozess, welcher vollautomatisch ausgeführt wird. Jeder Injektionsvorgang wird aufgezeichnet, in das Datenmanagementsystem übertragen, in Echtzeit analysiert, überprüft und visualisiert. Alle Projektbeteiligten können die Daten jederzeit über die Webplattform einsehen und umfassende Informationen einholen.

9.

Johannes Gollegger, EPC TBM The Follo Line Project

**Erfahrungen von vorauseilenden und Abdichtungsdichtungsinjektionen beim Follo Line Projekt**

**Experience from pre-excavation and leakage closing injections obtained in the Follo Line Project**

Immer mehr Projekte verwenden einschalige Tübbingauskleidungen zur Felssicherung sowie zum Wasser- und Frostschutz. Sofern der potentielle Wasserdruk nicht sehr hoch ist, über mehrere hundert Meter, werden diese Bauwerke normalerweise als undrainierte, vollständig wasserdichte Tunnel gebaut. Das Follo Line Projekt führte während des Vortriebes umfangreiche vorauseilende Injektionen durch, um das Eindringen von Wasser während des Baus zu reduzieren und investierte viel in Injektionen, um Leckstellen nach Abschluss der Vortriebsarbeiten zu schließen. Dieser Beitrag diskutiert die verschiedenen Injektionsarten und reflektiert kritisch den Einsatz einschaliger Auskleidungen für Tunnel mit hohem Wasserdruk.

10.

Hannes Hauer, Manuel Entfellner, Helmut Wannenmacher, Implenia Österreich, Svend Passmann, Thorsten Kratz, Thyssen Schachtbau, Zafer Ekici, Christine Peintner, Andreas Puttinger, IGT, Thomas Hofmann, ÖBB

**Die Bohr- und Injektionsarbeiten des Bauloses SBT 1.1 - Tunnel Gloggnitz**

**The drilling and grouting works at contract SBT 1.1 - Tunnel Gloggnitz**

Der Semmering-Basistunnel (SBT) mit einer Gesamtlänge von 27,3 km ist eines der wichtigsten Bauprojekte des Baltisch-Adriatischen Eisenbahnkorridors. Der Basistunnel durchtönt die Ausläufer der Ostalpen und verbindet die beiden Bundesländer Niederösterreich und Steiermark. Aufgrund der komplexen Randbedingungen kommen umfangreiche und neuartige Injektionen zum Einsatz. Das primäre Injektionsziel ist eine Verringerung der Gebirgsdurchlässigkeit und Reduktion der Wasserzutritte (Spitzenwasserzutritte im Vortriebsbereich von bis zu 300 l/s), sowie abschnittsweise eine Gebirgsverbesserung. Basierend auf der Injektionsplanung wurden spezifische Bohr- und Injektionsverfahren mit diversen Injektionsmaterialien für die Abdichtung und Vergütung der stark wasserführenden Gebirgsbereiche des Grassberg und Otterstock entwickelt. Die Innovationen umfassen u.a. die Entwicklung eines Standrohrpackers und ein verrohrtes Bohrsystem mit Injektionsventilen zur Verhinderung von Erosion entlang des Bohrstranges für den Einsatz bei instabilen Bohrlochverhältnissen. Die kombinierte Zement/Polyurethan-Suspension (Hybridmörtel) erlaubt einen erweiterten ökonomischen Einsatz von Zementsuspensionen.

11.

Phil Buschendorf, Boley Geotechnik, Joshua Schorr, Pena Olarte Andres Alfonso, TUM

**Berechnung der Versagenswahrscheinlichkeit von Böschungen unter Berücksichtigung der Bodenvariabilität**

**Calculation of the failure probability of slopes with consideration of the soil variability**

Der Boden ist ein heterogenes Dreiphasensystem mit variierenden mechanischen Eigenschaften und wird meistens zu einem Baugrundmodell mit homogenen Schichten abstrahiert. Die Grundlagen sind dabei punktuelle Sondierungen/Bohrungen. Zur Beschreibung des Aufbaus der nicht untersuchten Zwischenbereiche werden Annahmen getroffen und die allgemeine Streuung der Bodenkennwerte wird in den Schichten nicht berücksichtigt, was zu Unsicherheiten führt. Um die natürliche Variabilität des Bodens direkt in die Bemessungen einbeziehen zu können, werden einzelne oder mehrere Schichten mit unterschiedlichen Parameterkombinationen abgebildet. Bei einer ausreichenden Anzahl wird statistisch davon ausgegangen, dass alle möglichen Verteilungen der Kennwerte betrachtet worden sind. Mit einer Monte Carlo Simulation kann anschließend die Versagenswahrscheinlichkeit der Böschungssituation ermittelt werden. Dieses Vorgehen wird im Bereich der Geotechnik als Random Finite Elemente Methode (RFEM) bezeichnet. Im Zuge einer Masterarbeit wurde die technische Umsetzung des Verfahrens untersucht. Dieses wurde für die Stabilitätsberechnung einer theoretischen Modellböschung herangezogen und mit den Ergebnissen des Lamellenverfahrens und der Strength Reduction Finite Elemente Methode (SRFEM) verglichen. Letztere diente auch zur Identifizierung der maßgebenden Abbruchkriterien für die FE-Analysen und musste zusätzlich implementiert werden.

12.

B. Schneider-Muntau, X. Dai, W. Fellin, Universität Innsbruck

**Einfluss des Berechnungsansatzes auf numerische Untersuchungen von Hangrutschungen**

**Influence of the computational approach on numerical investigations on landslides**

Berechnungsansätze, Scherfestigkeitsansätze, Materialparameter und äußere Einflüsse haben einen deutlichen Einfluss auf die Ergebnisse von Standsicherheitsuntersuchungen. Dieser Einfluss kann als Einfluss auf den Sicherheitsfaktor in Sensitivitätsanalysen quantifiziert werden. Erwartungsgemäß führen eine geringere Scherfestigkeit des Bodens oder eine stärkere Durchströmung

eines Hanges zu geringeren Sicherheitsfaktoren. Bei beiden hier betrachteten Fallbeispielen zeigt sich, dass die Sensitivität des Sicherheitsfaktors auf einen Parameter nicht immer für denselben Parameter am höchsten ist. Dieser damit maßgebendste Parameter hängt nämlich von den Randbedingungen und der Geometrie der Rutschung ab. Neben dem Sicherheitsfaktor beeinflussen die oben genannten Parameter auch stark die Geometrie des Versagensmechanismus. So zeigen hier vor allem unterschiedliche Durchlässigkeitsbeiwerte bei geschichtetem Boden und die Berücksichtigung einer nichtlinearen Scherfestigkeit deutliche Änderungen in der Versagensgeometrie. Für eine Validierung einer Modellierung einer Hangrutschung ist daher neben einem entsprechenden Sicherheitsfaktor auch die modellierte Bruchkörpergeometrie heranzuziehen.

13.

Daniel Schröder, DMT, Thomas Gaisecker, RIEGL Laser Measurement Systems

#### **Die permanente dreidimensionale Datenerfassung geotechnischer Strukturen mittels webbasierter Anwendung terrestrischer LIDAR-Sensorik**

#### **The permanent three-dimensional data acquisition of geotechnical structures using web-based application of terrestrial LIDAR**

Im Rahmen des Forschungsprojekts i<sup>2</sup>MON - "Integrated Impact MONitoring for the detection of ground and surface displacements caused by coal mining" befasst sich der Hauptautor mit der Entwicklung eines integrierten Monitoring-Dienstes zur Identifikation und Bewertung von Boden- und Hangbewegungen im Zusammenhang mit dem Kohleabbau. Der Fokus liegt dabei auf der aus ingenieurgeodätischer Sicht korrekten Integration (Zuverlässigkeit, Genauigkeit und Integrität) eines Long-Range Laserscanners in ein kontinuierliches webbasiertes Monitoringsystem. In Zusammenarbeit mit der RIEGL Laser Measurement Systems GmbH ist eine webbasierte Anwendung terrestrischer Laserscanner zu einem operativ einsetzbaren Service der DMT GmbH & Co. KG gereift. Das System erlaubt mittels permanenter Installation im nahen Umfeld eines Überwachungsobjektes sowohl eine hohe zeitliche als auch hohe räumliche Auflösung bei der Messwerterfassung. In diesem Beitrag stellen die Autoren eine Systemintegration eines RIEGL VZ-2000i im Valsertal (Tirol) aus den Jahren 2020 und 2021 vor. Es wird dargestellt, wie der Laserscanner innerhalb einer webbasierten MonitoringPlattform wie DMT SAFEGUARD ferngesteuert werden kann. Darüber hinaus wird die Integration verschiedenster Sensorik (u.a. Totalstation, GNSS, geotechnische Sensorik, etc.) innerhalb eines Projektes in eine einheitliche, auf einem Web-Interface basierende Überwachungsplattform und die entsprechende Datenanalyse gezeigt.

14.

Roman Marte, TU Graz, Robert Hofmann, Universität Innsbruck

#### **Speicheranlagen und Wildbäche im Einflussbereich von langsam ablaufenden Großmassenbewegungen**

#### **Reservoirs and torrents influenced by slow moving landslides**

Langsam ablaufende Großmassenbewegungen sind ein in den Alpen häufig anzutreffendes Phänomen. Häufig beeinflussen derartige Großmassenbewegungen Siedlungsräume, Infrastrukturanlagen wie Verkehrswege oder Wasserspeicher aber auch Wildbäche und die damit verbundenen Verbauungen. Im gegenständlichen Beitrag wird anhand von zwei kurz vorgestellter Fallbeispiele ein System zur Entscheidungshilfe in der Bewertung und dem Umgang mit langsam ablaufenden Großmassenbewegungen vorgestellt.

15.

Michael Holzmann, Sebastian Perzlmaier, TIWAG

#### **Auswirkungen der außergewöhnlichen Schneeschmelze 2019 auf den Speicherhang**

#### **Impact of an exceptional rapid snow melt on the deformation characteristic of a rockslide interacting with a reservoir**

Die Einhänge des Speichers Gepatsch im hinteren Kaunertal zählen seit Inbetriebnahme des Kraftwerks Kaunertal im Jahr 1964 zu den am besten untersuchten und überwachten Hängen in den Alpen. Von den bekannten Massenbewegungssystemen zeigt nur die Hochmaisscholle in ihrer Deformationscharakteristik eine Abhängigkeit von der Speicherbewirtschaftung. Bis zum Jahr 2019 wurde keine Auswirkung aus Starkniederschlägen oder Schneeschmelze auf das Verformungsverhalten der Massenbewegungen nachgewiesen. Große akkumulierte Niederschlagsmengen im Winter 2018/2019 und die durch das kühle Frühjahr erst im Juni einsetzende exzessive Schneeschmelze generierten für die Hochmaisscholle eine Kombination aus tiefem Speicherstand und großem Grundwasserdargebot, was zu einer Zunahme der Bewegungsraten von mehreren Millimetern pro Woche führte. Bewegungsraten, welche seit Ende der Ersteinstauphase nicht mehr gemessen wurden. Als Reaktion darauf wurde durch die Verantwortlichen der TIWAG, unter Einbeziehung einer Expertengruppe und Abstimmung mit den zuständigen Behörden, die Speicherbewirtschaftung vorübergehend eingeschränkt. Die erhöhten Bewegungsraten der Hochmaisscholle nahmen nach Rückgang des Grundwasserdargebots und



Wilhelm Ernst & Sohn – Verlag für Architektur und technische Wissenschaften  
GmbH & Co. KG, Rotherstraße 21, D-10245 Berlin

konstantem Speicherstand in den Spätsommermonaten 2019 wieder auf das zu erwartende Maß ab.

16.

Petra Drucker, CDM Smith Consult, Robert Hofmann, Universität Innsbruck, Harald Mayer, ASFINAG, Udo Stadelmann, tz baumanagement

#### **Stabilisierung eines Kriechhanges für den Sicherheitsausbau der S31 Burgenland Schnellstraße**

#### **Stabilization of a creeping slope for the widening of the S31 Burgenland expressway**

Im Zuge der Errichtung der S31 Burgenland Schnellstraße in den 1980er Jahren wurde im Bereich Sieggraben (Mittelburgenland) an der Einschnittsböschung E8, über eine Länge von rd. 200 m eine tiefgründige Massenbewegung aktiviert. Die hohe Bewegungsgeschwindigkeit der Rutschung konnte damals nur durch eine maßgebliche Hangabflachung beherrscht werden. Anfang der 2000er Jahre wurde zusätzlich eine Hangverdübelung in Verbindung mit einer tiefliegenden Drainage ausgeführt. Obwohl durch diese Maßnahmen eine Stabilisierung der Rutschung erreicht wurde, lagen mit den ursprünglichen Bewegungsbahnen diskrete Schwächezonen im Untergrund vor.

Für den Sicherheitsausbau der S31 in den Jahren 2018-2020 musste der Böschungsfuß bei E8 um bis zu rd. 6 m Breite zurückgesetzt werden. Durch diese Veränderung des bestehenden Spannungszustandes war zu befürchten, dass die bereits vorhandenen Gleitzonen reaktiviert werden könnten. Zur Aufrechterhaltung des Sicherheitsniveaus wurden daher bauliche Sicherungsmaßnahmen erforderlich, sowie ein Monitoringkonzept, zur Anwendung der Beobachtungsmethode während der Bauphase.

17.

Marco Filippini, NAGRA, Philippe Renard, Valentin Dall'Alba-Arnau, Alexis Neven, University of Neuchâtel Ringgold

#### **Probabilistische Prognose von Karstwasserzutritten beim Bau von Untertagebauwerken**

#### **Probabilistic prediction of karst water inflow during construction of underground structures**

In den letzten Jahrzehnten wurden verschiedene Methoden zur Prognose von Karstgefährdungen für den Untertagebau entwickelt. Diesen Methoden ist gemein, dass die prognostizierte Bandbreite von Wasserzutritten und die damit verbundene Prognosesicherheit für die planerische Umsetzung des Bauwerkes häufig ungenügend sind. Das liegt unter anderem an den oft lückenhaften Kenntnissen über das in einem Projektgebiet vorkommende Karströhrensystem, respektive der unzureichenden Vorhersagbarkeit der Lage von Karsthohlräumen und ihren Eigenschaften. Mit der vorgestellten Methode soll gezeigt werden, wie mit probabilistischen Methoden Verständnis- und Informationslücken geschlossen werden können. Die Methode basiert auf einer Kombination aus stochastisch generierten, pseudogenetischen Karströhrensystemen und einer hydraulischen Modellierung der hydrogeologischen Bedingungen unter Verwendung eines Monte-Carlo Ansatzes. Der Ansatz erlaubt es nicht nur eine plausible Bandbreite der zu erwartenden, karstbedingten Wassereintritte für die Planung von Untertagebauwerken abzuschätzen, sondern ermöglicht darüber hinaus, die Ereigniswahrscheinlichkeit eines Wasserzutritts zu bestimmen. Die resultierenden plausiblen und robusten Prognosen ermöglichen einen differenzierteren Umgang mit der Karstwassergefährdung während Bau- und Betriebsphase des Untertagebauwerkes. Das hat direkten Einfluss auf das Erkundungsprogramm. Konkret betrifft dies die Planung und Durchführung von Maßnahmen, die dem eigentlichen Bau vorausseilen, der Planung der Wasserhaltung und des Monitorings während der Bau- und Betriebsphase.

18.

Alexander Zöhrer, Vincent Winter, Keller Grundbau, Anika Terbuch, Paul O'Leary, Negin Khalili-MotlaghKasmaei, Gernot Steiner, University of Leoben

#### **Qualitätsüberwachung bei der Bodenverbesserung mittels Tiefenrüttelverfahren - Ein Ansatz des hybriden maschinellen Lernens**

#### **Quality monitoring in vibro ground improvement - A hybrid machine learning approach**

In diesem Fachbeitrag wird ein neuer Ansatz für die Qualitätskontrolle der Tiefenrüttelverfahren mittels hybriden maschinellen Lernens vorgestellt. Als hybrides maschinelles Lernen wird die Kombination von klassischen analytischen Methoden mit Methoden des maschinellen Lernens beschrieben. Die Prozessüberwachung wird basierend auf einer instrumentierten Rütteltragraupe durchgeführt. Durch Berechnung von Leistungskennzahlen werden Elemente mit abweichenden Qualitätsmerkmale identifiziert. Unüberwachtes maschinelles Lernen wird auf die aufgenommenen Zeitreihen angewandt, da keine Grundwahrheit für jedes Element ermittelt werden kann. Durch die Kombination zweier unabhängiger Methoden, maschinelles Lernen und Klassifizierung mittels Leistungskennzahlen, wird das Risiko ein fehlerhaftes Element nicht zu erkennen, minimiert. Durch die Klassifizierung basierend auf maschinellem Lernen wird ein tieferes Prozessverständnis erlangt und es werden dadurch Anomalien erkannt, welche bei der Definition von Leistungskennzahlen nicht mit einbezogen wurden. Dadurch konnten neue Datenvorverarbeitungsmethoden abgeleitet werden, welche zu einer robusteren Klassifizierung führen. Es wurde gezeigt wie unüberwachtes maschinelles Lernen mittels eines



Wilhelm Ernst & Sohn – Verlag für Architektur und technische Wissenschaften  
GmbH & Co. KG, Rotherstraße 21, D- 10245 Berlin

„Variational Autoencoders“ mit mehreren Kanälen und „Long-Short-Term Memory“ Layern in einem Wissensentdeckungsprozess verwendet werden kann.

19.

Georg H. Erharder, Tom F. Hansen, Norwegian Geotechnical Institute

#### Towards optimized TBM cutter changing policies with reinforcement learning

In tunnel boring machine (TBM) excavation, cutter maintenance is necessary, but the time for it has to be minimized for efficiency. Although there is extensive literature on TBM cutter wear and predictive maintenance for different industrial applications, there is no optimized policy for cutter changes in TBM tunnelling today. This study aims to investigate the application of Reinforcement Learning (RL) – a branch of machine learning – for finding optimized policies for cutter changing that maximize the number of working cutters and minimize the maintenance effort. A simulation of a TBM excavation process is developed that focuses on the cutter wear and an agent that controls when cutters must be changed. The simulation uses generated parameters that indicate the cutter life, but the results could be transferred to real sensordata in future excavations once that level of development is reached. The paper presents the first results from this RL scenario which can give valuable insights into TBM excavation logistics and presents a challenging multi-action-selection RL problem.

20.

Fabian Walter, Małgorzata Chmiel, Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research

#### Data Science und maschinelles Lernen für gravitative Naturgefahren

##### Debris flows at Illgraben, Switzerland: from seismic wiggles to machine learning

Schnelle Detektion von Murgängen ist nötig um Warnungen auszugeben und Maßnahmen wie Strassenoder Gleissperrungen zu ergreifen. In diesem Beitrag präsentieren wir einen Überblick über veröffentlichte Studien am Illgraben, Schweiz, und zeigen wie seismische Messungen für Murgangüberwachung und - warnung verwendet werden können. Der Vorteil des seismischen Ansatzes ist, dass Murgansignale über weite Distanzen detektiert werden können und Messinstrumente innerhalb oder in der Nähe der meist schwer zugänglichen Gerinne nicht nötig sind. Wir zeigen, dass seismische Daten wichtige Informationen über Murgänge beinhalten, wie z.B. das Fließen der Murgangfront oder Korngrößen. Trotzdem bieten Algorithmen des Maschinellen Lernens, welche mit Beispieldaten statt mit physikalischen Prinzipien geeicht werden, die besten Ergebnisse für die Erkennung von Murgängen in kontinuierlichen seismischen Signalen. Solche Algorithmen bereiten den Weg für neue Ansätze zur Murgangwarnung, die auf Prinzipien der Datenwissenschaften beruhen statt auf Instrumentierung innerhalb von Gerinnen.

Berichte von Unternehmen zu Projekten und eingesetzten Produkten.



Wilhelm Ernst & Sohn – Verlag für Architektur und technische Wissenschaften  
GmbH & Co. KG, Rotherstraße 21, D- 10245 Berlin