21. Weiterbildungsseminar

FACHTAGUNG RUTSCHUNGEN

FOLGEN - FORSCHUNG - PRAXIS

- Das Starkregenprojekt Rheinland-Pfalz und Ahrtal
- Anwendung der InSAR-Technologie bei Oberflächenbewegungen
- Einsatz von Drohnen (UAV) zur präzisen Erfassung von Hangbewegungen im Kaukasus
- Sanierung einer Großrutschung in Brasilien
- Rutschungsforschung in Alaska – logistische Herausforderungen
- Rutschungen – schädliche Bodenveränderungen
- Verkehrssicherungspflicht bei Hangrutschungen: Haftungsfragen
- GIS-Workshop: Einsatz von UAV und DGM/DOM in GIS, Quantifizierung Trennflächengefüge, Steinschlagsimulationen mit Gravitation-Path-Model in SAGA-GIS
- Exkursion: Felssicherung der Felsenkirche in Idar-Oberstein und Sicherungen im Bereich des Besucherbergwerkes Steinkaulenberg

23. Mai bis 25. Mai 2023
Forschungsstelle Rutschungen an der
Johannes Gutenberg-Universität Mainz

JOHANNES GUTENBERG UNIVERSITÄT MAINZ

Forschungsstelle Rutschungen e.V.
an der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Zentrum für wissenschaftliche Weiterbildung
Johannes Gutenberg-Universität Mainz

www.geobrugg.com/tecco

GEOBRUGG®
BRUGG
Safety is our nature

Kostenloses Bemessungstool
www.mygeobrugg.com

TECCO® System getestet in Grossfeldversuchen

BÖSCHUNGSSICHERUNG MIT CE-KENNZEICHNUNG GEMÄSS EAD 23005-00-0106

Geobrugg AG | CH-8590 Romanshorn | www.geobrugg.com

Tagungsleitung:
Prof. Dr. Frieder Enzmann, Institut für Geowissenschaften, Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Redaktion und Lektorat:
Dr. Christine Kumerics, Forschungsstelle Rutschungen Mainz
Dr. Manuel Lauterbach, geo-international Dr. Johannes Feuerbach GmbH, Mainz

Organisation:
Dr. Christine Kumerics, Forschungsstelle Rutschungen Mainz

Für den Inhalt der Beiträge sind die jeweiligen Autoren verantwortlich.
Jede Form der Wiedergabe oder Vervielfältigung, auch auszugsweise, erfordert die schriftliche Zustimmung der Autoren.

Herausgeber:
F. Enzmann & M. Lauterbach: Fachtagung Rutschungen: Folgen - Forschung - Praxis,
21. Weiterbildungsseminar der Forschungsstelle Rutschungen; Mainz, Mai 2023

Alle Rechte am Werk liegen bei den Autoren

Forschungsstelle Rutschungen e.V.
an der Johannes Gutenberg-Universität
Mombacher Straße 49-53
D-55122 Mainz
Tel: +49 6131 387071
fsr@geo-international.info
www.forschungsstellerutschungen.de

1. Auflage
Herstellung: freeSPIRIT - das kreativhaus, D-53547 Breitscheid/Verscheid
Fotos/Graphiken: von den Autoren, soweit nicht anders angegeben
Titelbild: Gesicherte Felsböschung an der Felsenkirche in Idar-Oberstein
(Fotoaufnahme: T. Hagge-Kubat)

ISSN 2196-2863

FELDHAUS
BERGBAU
INGENIEURBAU
BAUUNTERNEHMUNG

FELDHAUS ist ein bundesweit agierendes Familienunternehmen. Stetige Anpassung an neue Märkte und nachhaltige Erfüllung der steigenden Anforderungen an Sicherheit, Ökologie und Ökonomie halten FELDHAUS fit für die vierte Generation.

Für die herausfordernden Projekte in den Bereichen Bergbau, Tunnel- und Ingenieurbau sowie Felssicherung suchen wir auch zukünftig Menschen, die mitgestalten. Informieren Sie sich auf unserer Internetseite – auch über die vielfältigen Ausbildungsmöglichkeiten im technischen und kaufmännischen Bereich.

feldhaus.com

Inhaltsverzeichnis

Vorwort 6
Die Forschungsstelle Rutschungen in Mainz 9
Autoren- und Referentenverzeichnis 10
Ausstellerverzeichnis 10
Anerkennung der Fortbildungsveranstaltung 11
Teilnahmebescheinigung 11
Teilnehmerverzeichnis 11

FACHBEITRÄGE
Seminarleitung:
Prof. Dr. Frieder Enzmann, Institut für Geowissenschaften, Johannes Gutenberg-Universität Mainz
und Forschungsstelle Rutschungen

1 Zwei Jahre nach der Flut – Das Starkregenprojekt und das Ahrtal ..... 12 - 18
M.SC. MARCEL BANASZAK U. JAN PHILIP HOFMANN, LANDESAMT FÜR GEOLOGIE
UND BERGBAU RHEINLAND-PFALZ UND FSR

2 Die Anwendung der InSAR-Technologie bei Massenbewegungen und anderen Oberflächenbewegungen ..... 20 - 23
DR. JAN ANDERSSOHN & DR. DIANA WALTER, beide Tre Altamira s.r.l., Milano (I)

3 Präzise Erfassung von Massenverlagerungen in unterschiedlichen räumlichen Skalen mit Drohnen im Kaukasus zum Aufbau eines Frühwarnsystems ..... 24 - 28
DR. HANS-PETER THAMM, AERODCS, KOBLENZ & B.SC. JEAN BOHÉ, JOHANNES GUTENBERG-UNIVERSITÄT MAINZ

4 Beispiele von Rutschungssanierungen in Brasilien – Dammsanierung im Bergbaubereich und Tagebau Sicherung bei Aguas Claras ..... 30 - 36
DIPL.-GEOL. EBERHARD GRÖNER, GEOBRUGG AG, ROMANSHORN (CH) U. FSR

5 Rutschungsforschung in Alaska – wissenschaftliche Fragestellungen und logistische Herausforderungen ..... 38 - 40
DR. ANJA DUFRESNE, ENGINEERING GEOLOGY AND HYDROGEOLOGY, RWTH AACHEN

6 Massenbewegungen als schädliche Bodenveränderungen ..... 42 - 44
PROF. DR. GEORG WIEBER, LANDESAMT FÜR GEOLOGIE UND BERGBAU RHEINLAND-PFALZ UND FSR

7 Verkehrssicherungspflicht bei Hangrutschungen: Haftungsfragen ..... 46 - 47
RA PETER HENNINGSEN, RECHTSANWALTSGESELLSCHAFT DORNBACH GMBH, MAINZ

Vorwort

Wir freuen uns, die Teilnehmer/innen, Mitarbeiter/innen von Ingenieur- und Planungsbüros, aus dem Verkehrswegebau, aus dem Tief-, Spezialtief- und Siedlungsbau sowie Tage- und Bergbau, aus Verwaltung und Flurbereinigung, von Herstellerunternehmen, von Fachverbänden und Hochschulen sowie unsere Mitglieder und Referenten/innen bei der Fachtagung Rutschungen 2023 in Mainz begrüßen zu dürfen.
Ebenso sind auch interessierte Studierende aus den Bereichen Geowissenschaften und Bauingenieurwesen immer herzlich willkommen. Wir hoffen, dass wir ihr Interesse an ingenieurgeologisch-geotechnischen Problemstellungen wecken können und sie sich künftig in einem spannenden Berufsfeld mit Wachstumschancen engagieren können.
Der Teilnehmerkreis aus einer Vielzahl von Bundesländern, und auch aus unseren Nachbarländern verdeutlicht, dass ein überregionales Interesse an der Fachveranstaltung besteht.
Die Fachtagung Rutschungen - 21. Weiterbildungsseminar – an der Johannes Gutenberg-Universität Mainz zur Thematik der Massenschwerebewegungen findet bereits im 21. Jahr statt und wird gemeinsam mit dem Zentrum für wissenschaftliche Weiterbildung der Universität Mainz (ZWW) veranstaltet.
Die große Anzahl der Teilnehmer/innen in den letzten Jahren spiegelt das Interesse an der Thematik gravitative Massenschwerebewegungen an Hängen und Böschungen wider.

Die Zielsetzung der Fachtagung ist, Ingenieuren/innen, Planern/innen, Geologen/innen und Mitarbeitern/innen von Unternehmen, Behörden und Hochschulen, die mit der Naturgefahr Massenschwerebewegungen konfrontiert werden, ein Basiswissen über die Ursachen und Folgen dieser Prozesse sowie für die effiziente Schadensminimierung zu vermitteln. Neueste Ergebnisse aus Wissenschaft und Praxis fließen in die Wissensvermittlung ein.

Im Rahmen eines eintägigen GIS-Workshops führt der Vorsitzende der Forschungsstelle Rutschungen am ersten Tag der Veranstaltung in spezielle GIS-Anwendungen ein und lässt die Teilnehmenden unter fachkundiger Anleitung ihre eigenen Modellierungen am Rechner durchführen.

Folgende Schwerpunkte werden den Teilnehmenden dann im Rahmen von Fachvorträgen und einer Geländeexkursion präsentiert:

- Ausgelöst durch das extreme Starkregenereignis vom 14.07.2021 kam es in unmittelbarer Folge zu einer der schwersten Flutkatastrophen im nördlichen Rheinland-Pfalz und im südlichen Nordrhein-Westfalen, die mindestens 180 Menschenleben forderte. Im Zuge des Forschungsprojektes "Vorsorgemaßnahmen gegenüber den Folgen von Starkregen" soll aus den beobachteten Erosions- und Massenbewegungsprozessen landesweit gefährdeten Flächen ausgewiesen und geeignete Vorsorgemaßnahmen abgeleitet werden. Projektbeteiligte berichten über die bisherigen Ergebnisse aus der Pilotphase.
- Flugzeug- und satellitengestützte Messverfahren zur Prozessierung hochauflösender Oberflächenmodelle für große Flächen werden aufgrund der technischen Weiterentwicklung und der Kosteneffektivität immer bedeutender. Zwei Mitarbeiter eines auf die Anwendung der Radarinterferometrie spezialisierten und weltweit operierenden Büros stellen den Teilnehmer/innen die Einsatzmöglichkeiten bei der Untersuchung von Hangrutschungen vor.
- Durch den Einsatz von speziellen Drohnen können Massenbewegungen zwischenzeitlich in Abhängigkeit vom Anwendungsziel in unterschiedlichen räumlichen Skalen präzise erfasst werden. Anhand von Projekten im Kaukasus wird der Aufbau eines Frühwarnsystems von Mitarbeitern eines Koblenzer Herstellers und Fernerkundungs-Dienstleister vorgestellt.
- Fortschreitende Bewegungen einer Großrutschung innerhalb einer Eisenmine im Tagebau im brasilianischen Bundesstaat Minas Gerais stellten den Betreiber bzw. dessen Nachsorgegesellschaft vor große Herausforderungen. Ein Schweizer Team aus einem Hersteller für Schutzbauten und einem Ingenieurbüro tragen über die Anforderungen und die Bauausführung der komplexen Sicherungsmaßnahmen zur Stabilisierung der Rutschmassen vor.
- Die unwirtlichen Regionen Alaskas stellen Forscher und Geologen aufgrund der extremen Witterungsbedingungen, der großen Abgeschiedenheit und schwierigen Zugänglichkeit vor große logistische Herausforderungen. Darüber wie die wissenschaftlichen Fragestellungen zu großen Bergstürzen in periglazialer Umgebung dennoch effizient bearbeitet werden können, berichtet eine wissenschaftliche Mitarbeiterin der RWTH Aachen.
- Rutschungen können durch die Massenverlagerungen schädliche Bodenveränderungen initiieren oder verstärken. Über die oftmals unterschätzten Auswirkungen referiert der scheidende Präsident des Landesamtes für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz als Koryphäe für dieses Fachgebiet.
- Ein Fachanwalt für Baurecht informiert über aktuelle Urteilsverkündungen zur Verkehrssicherungspflicht bei Hangrutsch- und Felssturzereignissen und gibt Empfehlungen im Umgang mit der Problematik.
- Im näheren Umfeld der stark touristisch frequentierten Felsenkirche in Idar-Oberstein mussten alte Schutzsysteme durch moderne Felssicherungseinbauten ersetzt und ergänzt werden. Für die Bauleistungen mussten aufgrund der schwierigen Andienung und den hohen Anforderungen insbesondere zur Arbeitssicherheit teils spezielle Lösungen entwickelt werden.

Auch die im Rahmen von geführten Touren öffentlich zugänglichen Edelsteinminen Steinkaulenberg und weitere touristische Einrichtungen erfordern ein angepasstes Schutzkonzept zur Gewährleistung eines dauerhaft sicheren Betriebs.
Im Zuge der abschließenden Geländeexkursion gibt ein Mitarbeiter des Landesamtes für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz umfassende Erläuterungen zu diesen beiden Exkursionspunkten.

Wir hoffen, dass wir damit für Sie wieder eine interessante Auswahl an Beiträgen zusammenstellen konnten.
Zudem bietet die Tagung neben der Weiterbildung ausreichend Spielraum für Erfahrungsaustausch,

Den Referenten/innen, Mitautoren/innen, der Tagungs- und Exkursionsleitung, den Mitarbeitern/innen der Universität Mainz und der Zentralstelle für wissenschaftliche Weiterbildung und unserer an der Organisation beteiligten Mitarbeiterin Dr. Christine Kumerics sowie allen anderen an der Organisation Mitwirkenden möchten wir unseren Dank aussprechen.

Allen Beteiligten wünschen wir eine erfolgreiche Fachtagung mit vielen neuen Eindrücken und Erkenntnissen.

Mainz, im Mai 2023

Dr. Manuel Lauterbach
(Geschäftsführer)

GUDELJ
Fels- & Böschungssicherung
Spezialtiefbau
info@gudelj.de | Tel.: 06507-6801 | www.gudelj.de

Die Forschungsstelle Rutschungen in Mainz

Hang- und Böschungsrutschungen nehmen weltweit infolge des Bevölkerungswachstums, des Ausbaus der Infrastrukturen sowie der globalen Klimaveränderung dramatisch zu. Die Entwicklung neuer Methoden im Umgang mit dem Phänomen Rutschungen werden immer dringlicher.
Auch in Rheinland-Pfalz, wo die Forschungsstelle Rutschungen ihren Sitz hat, verursachen die Folgen von Massenschwerebewegungen erhebliche wirtschaftliche Schäden an Straßen, Gebäuden und anderen Infrastrukturen. Durch Steinschläge, Felsstürze, Hangrutschungen und Murabgängen sind dabei oftmals auch Menschenleben unmittelbar gefährdet.

Ziele

Die Forschungsstelle Rutschungen e.V. wurde 1997 mit dem Ziel gegründet, das Wissen über Hang- und Böschungsbewegungen zu bündeln, verfügbar zu machen und effektive Lösungsmöglichkeiten bei der Sanierung und Stabilisierung von Rutschungen zu entwickeln.
Im Vordergrund steht dabei die interdisziplinäre, praxisnahe Forschung auf dem Gebiet der Schadensreduzierung und der Risikominderung, im Hinblick auf Daseinsvorsorge und Umweltschutz.
Ein weiteres Ziel ist, die unmittelbaren Auswirkungen sowie die langfristigen Folgewirkungen menschlicher Eingriffe in Hanglagen qualitativ und quantitativ zu erfassen und zu bewerten. Beispiele solcher Eingriffe sind Veränderungen der land- und forstwirtschaftlichen Nutzung, Flurbereinigungen, Bau von Verkehrswegen und Siedlungen sowie Änderungen in der Grundwasserführung.
Die Forschungsstelle Rutschungen arbeitet aktiv und koordinierend mit bei der Lösung von Hangstabilitäts- und Erosionsproblemen. Sie bringt Fachkenntnisse, Erfahrungen und Methoden in fachlichen Gremien ein. Sie berät und gibt Empfehlungen für Verwaltung und Gesetzgeber.

Profil

In der Forschungsstelle Rutschungen haben sich Wissenschaftler aus Forschung und Praxis der Fachdisziplinen Ingenieurgeologie, Hydrogeologie, Geomorphologie, Geophysik und Bauingenieurwesen vereinigt, um die unterschiedlichen Aspekte bei der Beurteilung von Hang- und Böschungsbewegungen zu sammeln und durch interdisziplinäre Zusammenarbeit neue Lösungsmöglichkeiten bei der Gefahrenabwehr und -beseitigung zu finden.
Durch die praxisnahe Forschungstätigkeit wird ein Beitrag zu einer umweltgerechten Planung von Baumaßnahmen und Infrastrukturen geleistet.
Aufgrund langjähriger Erfahrung der Mitarbeiter im In- und Ausland bildet die Forschungsstelle Rutschungen eine kompetente Anlauf- und Informationsstelle für Behörden, Ingenieurbüros und Privatpersonen.

Mitgliedschaften

Mitglied des Vereins kann jede natürliche Person werden, die ein den Zweck des Vereins berührendes Hochschul- oder Fachhochschulstudium abgeschlossen hat. Ebenso können wissenschaftliche Gesellschaften, Institute, Verbände, Fachfirmen und Behörden die juristische (unpersönliche) Mitgliedschaft erwerben.
Um einen Anreiz für den Erwerb der Mitgliedschaft zu schaffen, wurden die Beiträge zwischenzeitlich erheblich gesenkt. Der Beitrag für die Mitgliedschaft natürlicher Personen beträgt nur 90,- € im Jahr. Für juristische Personen bzw. Körperschaften/Firmen wird ein Mitgliedsbeitrag von mind. 250,- € erhoben. Für Doktoranden, Ruheständler und arbeitssuchende Mitglieder gilt der ermäßigte Jahresbeitrag in Höhe von 45,- €.
Mitglieder dürfen selbstverständlich kostenfrei an den Weiterbildungsveranstaltungen teilnehmen.

Aufgabengebiete

- Wissens- und Technologietransfer
- Aus- und Weiterbildung
- Öffentlichkeitsarbeit für Medien
- Vergabe und Mitbetreuung von wissenschaftlichen Arbeiten
- regionale Gefahren- und Risikoabschätzung:
  - Rutschungsursachen
  - Gefahrenkarten
  - Risikokarten
- praxisnahe Forschung:
  - Rutschungsursachen
  - Kinematik/Dynamik
  - Stabilisierungs-/Sanierungsmethoden
  - Messtechnik
- Expertensysteme
- Schnittstelle Forschung – Praxis
- Informationen zu umweltrelevanten Fragen bezüglich Standsicherheiten, Gestaltung und Rekultivierung von Böschungen an Verkehrswegen und Tagebauen im Planungs-, Ausführungs- und Unterhaltungsstadium
- Informationsstelle über Stabilisierungs- und Sanierungsmethoden bei Hang- und Böschungsrutschungen

Autoren- und Referentenverzeichnis

Dr. Jan Anderssohn
Tre Altamira s.r.l.
Carrer de Còsega 381-387
08037 Barcelona
Spanien
Tel.: +49 175 912 070 5
Mail: jan.anderssohn@tre-altamira.com

M.Sc. Marcel Banaszak
Landesamt für Geologie und Bergbau
Rheinland-Pfalz
Emy-Roeder-Str. 5
55129 Mainz
Mail: marcel.banaszak@lgb-rlp.de

Jean Bohé
Johannes Gutenberg-Universität Mainz
Institut für Geowissenschaften
J.-J.-Becher-Weg 21
55128 Mainz
Tel.: +49 261 291 989 424
Mail: jean.bohe@aerodcs.com

Dr. Anja Dufresne
RWTH-Aachen University
Engineering Geology and
Hydrogeology
Lochnerstr. 4-20
52064 Aachen
Tel.: +49 241 80 96779
Mail: dufresne@lih.rwth-aachen.de

RA Dr. Franz-Peter Gallois
Rechtsanwaltsgesellschaft Dornbach GmbH
Niederlassung Mainz
Fort Malakoff
Rheinstr. 4N
55116 Mainz
Tel.: +49 6131 2047880
Mail: pgallois@dornbach.de

Dipl.-Geol. Eberhard Gröner
Geobrugg AG
Aachstr. 11
8590 Romanshorn
Schweiz
Tel.: +41 71 466 81 79
Mail: eberhard.groener@geobrugg.com

RA Peter Henningsen
Rechtsanwaltsgesellschaft
Dornbach GmbH
Niederlassung Mainz
Fort Malakoff
Rheinstr. 4N
55116 Mainz
Tel.: +49 6131 2047880
Mail: phenningsen@dornbach.de

Jan Philip Hofmann
Landesamt für Geologie und Bergbau
Rheinland-Pfalz
Emy-Roeder-Str. 5
55129 Mainz
Tel.: +49 6131 9254 300
Mail: jan-philip.hofmann@lgb-rlp.de

Dr. Hans-Peter Thamm
aeroDCS GmbH
Bubenheimer Weg 23
D-56072 Koblenz
Tel.: +49 261 291 989 424
Mail: hpt@aerodcs.com

Dr. Diana Walter
Tre Altamira s.r.l.
Carrer de Còsega 381-387
08037 Barcelona
Spanien
Mail: diana.walter@tre-altamira.com

Prof. Dr. Georg Wieber
Landesamt für Geologie und Bergbau
Rheinland-Pfalz
Emy-Roeder-Str. 5
55129 Mainz
Tel.: +49 6131 9254 0
Mail: wieber@uni-mainz.de

Ausstellerverzeichnis

Dr. Bertges Vermessungstechnik
Flurstr. 7
D – 66887 Neunkirchen am Potzberg
Tel. +49 6385 925592
Mail: info@drbertges.de
www.drbertges.de

Geobrugg AG
Aachstr. 11
CH – 8590 Romanshorn
Tel. +41 466 8155
Mail: info@geobrugg.com
www.geobrugg.com

Trumer Schutzbauten GesmbH
Handelsstr. 6
A – 5431 Kuchl
Tel. +43 6244 20325
Mail: office@trumerschutzbauten.com
www.trumerschutzbauten.com

Anerkennung der Fortbildungsveranstaltung

Die Fachtagung Rutschungen: Folgen - Forschung - Praxis ist lt. Bescheid der Ingenieurkammer-Bau Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf, vom 22.03.2023/29.03.2023, unter folgenden Reg.-Nr. als Fortbildungsveranstaltung anerkannt:

Reg.-Nr.	**64746 (Tag 1), 64842 (Tag 2) u. 64747 (Tag 2 und 3)**
Veranstaltungsbezeichnung:	**Fachtagung Rutschungen: Folgen - Forschung - Praxis**
Bildungsträger:	**Forschungsstelle Rutschungen e.V. an der Johannes Gutenberg-Universität Mainz**

Datum Veranstaltung:	23.05.2023	24.05.2023	24. und 25.05.2023
Ort:	55128 Mainz	55128 Mainz	55128 Mainz
Fortbildungspunkte:	7,00	5,00	9,00

Teilnehmer:

- Beratende Ingenieure (§ 2 Abs. 1 FuWO)
- Ingenieure (§ 2 Abs. 1 FuWO)
- saSV für die Prüfung der Standsicherheit (§ 2 Abs. 2 FuWO)
- öbuvSV in diesem Sachgebiet (§ 2 Abs. 2 FuWO)
- qualifizierte Tragwerksplaner (§ 2 Abs. 2 FuWO)
- saSV für Erd- und Grundbau (§ 2 Abs. 2 FuWO)

Die Veranstaltung ist im Internet veröffentlicht unter:
www.ikbaunrw.de-Recht&Service-Seminarkalender

Teilnahmebescheinigung

Die Teilnahmebescheinigung wird den Teilnehmern/innen - sofern die Eintragung in das Teilnehmerverzeichnis der jeweiligen Veranstaltungstage erfolgt ist - nach Ende der Veranstaltung ausgestellt und zugesandt.

Teilnehmerverzeichnis

Das Teilnehmerverzeichnis lag zum Zeitpunkt der Drucklegung des Tagungsbandes noch nicht vor.
Im Anschluss an die Veranstaltung wird das Verzeichnis den Teilnehmern/innen zugesandt.

1 Zwei Jahre nach der Flut – Das Starkregenprojekt und das Ahrtal

MARCEL BANASZAK, JAN PHILIP HOFMANN, ANSGAR WEHINGER,
LANDESAMT FÜR GEOLOGIE UND BERGBAU RHEINLAND-PFALZ, MAINZ
PROF. DR. FRIEDER ENZMANN, JOHANNES GUTENBERG-UNIVERSITÄT MAINZ

1 Einleitung

Die Flutkatastrophe im Ahrtal zeigt nachhaltig, dass Extremwetterereignisse in deutschen Mittelgebirgen neben Überschwemmungen auch gravitative Massenbewegungen auslösen können, die große Schäden an Infrastruktur verursachen und eine Gefahr für Bevölkerung und Einsatzkräfte darstellen.
Vor dem Hintergrund einer Aufarbeitung und eines Verstehens der stattgefundenen Prozesse sowie eines nachhaltigen Wiederaufbaus gilt es auch, den Prozessen der gravitativen Massenbewegungen die notwendige Aufmerksamkeit zu widmen, um die Resilienz der Region gegenüber Starkregenereignissen verlässlich zu erhöhen.

Als Reaktion auf die Flutkatastrophe 2021 im Ahrtal wird gemeinsam vom Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz (LGB) und dem Institut für Geowissenschaften der Johannes Gutenberg-Universität (JGU) Mainz das Projekt „Vorsorgemaßnahmen gegen die Folgen von Starkregen“ durchgeführt (das „Starkregenprojekt“). Die Bearbeitung erfolgt im Auftrag des Ministeriums für Verkehr, Wirtschaft, Landwirtschaft und Weinbau (MVWLW).

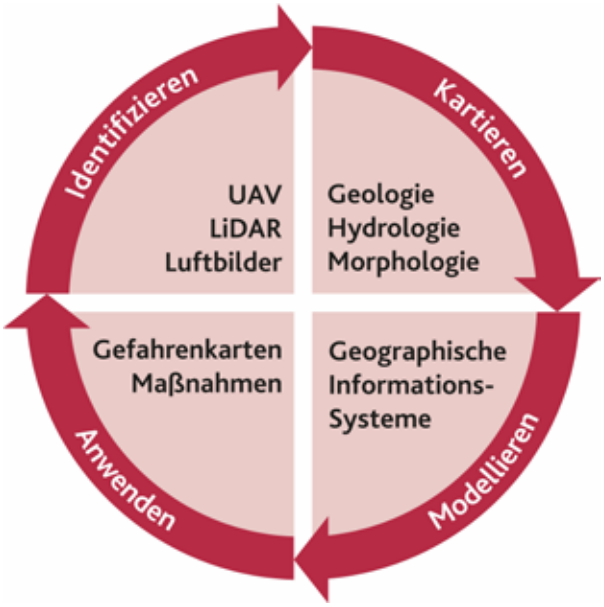

Abb. 1: Arbeitsschritte im Starkregenprojekt.

2 Projektziele

Im Starkregenprojekt wird daran gearbeitet, durch den gemeinsamen Einsatz integrativer Geländeaufnahmen und spezialisierter Computermodellierungen jene Bereiche zu identifizieren, in denen sich bei Starkregenereignissen gravitative Massenbewegungen ereignen können.

Die Pilotphase endete im April 2023 und soll in einer dreijährigen Hauptphase fortgesetzt werden. Dabei stehen folgende Projektziele im Vordergrund:

1. Erfassung geologischer Ursachen und Kartierung von Schäden infolge von Massenbewegungen
2. Modellierung von Massenbewegungen und Erosion
3. Erstellung von Gefahren- und Risikokarten
4. Entwickeln von Präventionsmaßnahmen
5. Weiterentwicklung der Modellierungsansätze
6. Entwicklung und Bereitstellung von Fachinformations- und Beratungssystemen
7. Entwicklung von Monitoringmaßnahmen

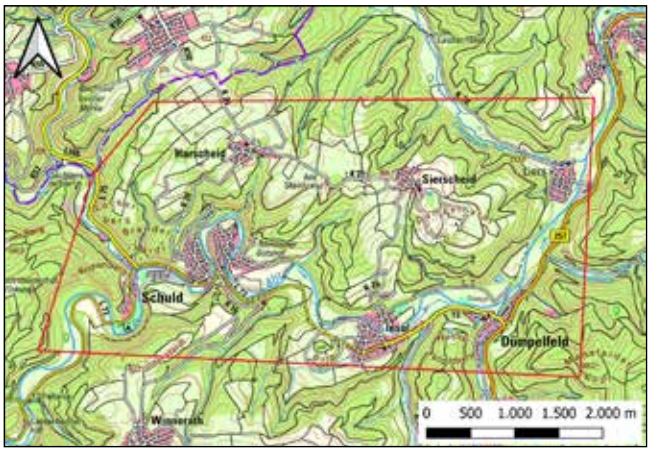

Abb. 2: Lage und Ausdehnung der gewählten Pilotregion im Ahrtal.

Innerhalb der Pilotphase wurden verschiedene Ansätze zur Transport- und Strömungsmodellierung in einem Pilotgebiet getestet und eingesetzt, während zudem eine detaillierte geologische Kartierung stattfand. Als Pilotgebiet wurde die Region um die Ortschaften Schuld, Insul und Sierscheid gewählt, da hier eine Vielzahl an Einzelprozessen in dem etwa 17 km² großen Gebiet aufgetreten sind (Abb. 2). In der Pilotphase wurden primär die ersten beiden Projektziele bearbeitet. Das heißt, dass Methoden zur Modellierung der stattgefundenen Prozesse, wie Oberflächenabfluss, Erosion und Massenbewegungen entwickelt und mit den Ergebnissen der Geländeaufnahmen und Kartierungen validiert wurden.

3 Kartierung

Die geologische Kartierung dient dem Lückenschluss zwischen dem Verständnis von hydrologischen und morphologischen Ursachen und folgt der These, dass die Geologie als weitere Komponente für das Auslösen von Massenbewegungen ursächlich ist. Deswegen wurde einerseits das devonische Grundgebirge sowie das tektonische Inventar und andererseits die quartären Lockergesteine (Lithologie, Mächtigkeit) und die aufgetretenen Massenbewegungen detailliert kartiert. Die Kartierungen erfolgten im Werkvertrag im Auftrag des LGB durch Dr. Hassan Elkholy und Dipl.-Geol. Klaus Kurz.

Ergebnisse der Kartierung

Neben einer „klassischen" Geologischen Karte der Region wurde auch eine Karte der Deckschichtmächtigkeit erstellt (Abb. 3). Entgegen der weit verbreiteten Annahme, dass in den Hanglagen in der Regel nur eine geringmächtige Lockergesteinsdecke auf dem devonischen Grundgebirge lagert, wurden in den Nebentälern und Rinnenstrukturen häufig mehrere Meter mächtige Deckschichten durch verschiedene aufgetretene Massenbewegungen aufgeschlossen. Nicht selten sind hier 3 bis 6 m mächtige Pakete aus Hangschutt o. ä. anstehend, lokal bis zu 8 m. Dieses Lockermaterial kann in Form von Rutschungen, Hangmuren und Muren während eines solchen Extremereignisses mobilisiert werden. Durch die Kartierungen ist deutlich geworden, dass bei solchen Ereignissen in diesem Gebiet erheblich mehr Material als zuvor angenommen mobilisiert und in die Vorfluter verlagert werden kann. Massenbewegungen wie diese und die häufigen und teils massiven Prallhangerosionen wurden ebenfalls kartiert und in die Rutschungsdatenbank des LGB integriert. Dieser Datensatz enthält allein im Ahrtal etwa 300 Einträge bestätigter Massenbewegungen und dient als unverzichtbares Werkzeug bei der Validierung der Ergebnisse der Modellrechnungen.

Gemeinsam mit unerwartet hohen Deckschichtmächtigkeiten wurden primär auf Grundlage von ALS (airborne laser scanning) basierten Digitalen Geländemodellen etwa 20 fossile (Groß)Rutschungen identifiziert. Zumindest im Fall der fossilen Großrutschung bei Müsch ist von einer Reaktivierung der Gleitbewegung infolge des weitreichenden Abtrags am Rutschungsfuß in Folge massiver Prallhangerosion auszugehen.

Die geologische Kartierung der Pilotregion wurde durch geophysikalische Methoden unterstützt und erweitert: Zur flächendeckenden Kartierung der Deckschichtmächtigkeit wurde im Rahmen einer Kooperation zwischen dem Institut für Geowissenschaften der JGU Mainz und der HydroGeophysics Group der Universität Aarhus (Dänemark) die Durchführung einer Messkampagne mit dem tTEM-Verfahren (towed transient electromagnetic system) umgesetzt (Maurya et al. 2020).

Hierbei wird eine Sender-Empfänger-Einheit von einem Quadbike gezogen und liefert tiefensensible Messungen des elektrischen Widerstands (Abb. 4). Der Einsatz in einer Mittelgebirgsregion diente ganz im Sinne der wissenschaftlichen Zielsetzung als Testlauf der Weiterentwicklung geoelektrischer Verfahren. Ursprünglich liegt das Einsatzgebiet in flachem Terrain zur flächenhaften Kartierung von oberflächennahen Grundwasserleitern. Die hohe Geländegängigkeit ermöglicht dabei jedoch auch den Einsatz bei anspruchsvollerer Topographie. Insbesondere die hohe Messgeschwindigkeit und gute Mobilität des Systems haben sich als große Vorteile gegenüber stationären Messverfahren erwiesen. Innerhalb von nur drei Geländetagen konnten so weite Teile der Region um die Ortslage Sierscheid untersucht werden.

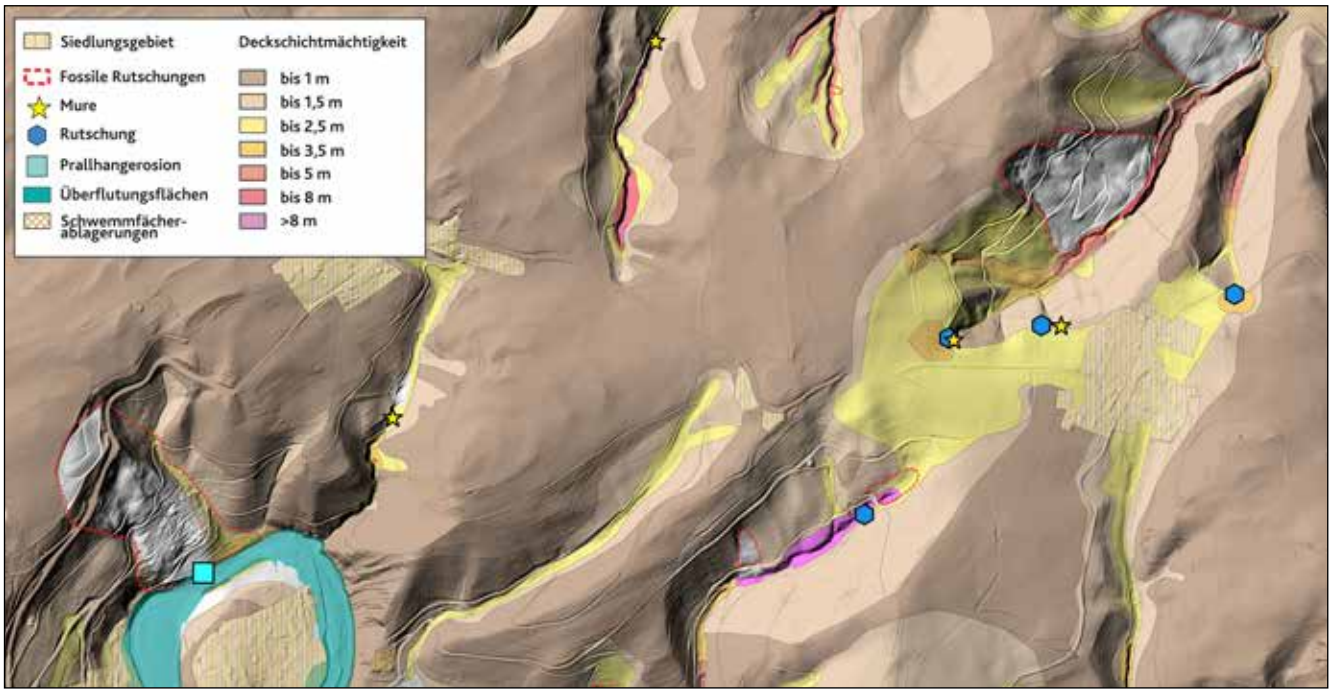

Abb. 3: Kartendarstellung der ermittelten Deckschichtmächtigkeiten, kartierten Massenbewegungen und Lokalisation von drei fossilen Großrutschungen.

Hierdurch konnten sowohl Übergangsbereiche von beispielsweise Hang- zu Gerinnelage und jene Bereiche mit geringer Aufschlussdichte besser erkundet werden.
Vorläufige Auswertungen der Kartierung zeigen eine hohe räumliche und tiefenabhängige Variabilität des Widerstandes und lassen Rückschlüsse auf Strukturen des Untergrundes zu. Von besonderem Interesse hierbei sind die Strukturen im Bereich der fossilen Rutschungen.

Abb. 4: Messapparatur des tTEM-Verfahren.

4. Ziele der Modellierung

Primäres Ziel der Modellierungen ist es, die während des Starkregens im Jahr 2021 aufgetretenen Massenbewegungen nachzubilden. Durch die daraus resultierenden Modelle soll das Verständnis von Massenbewegungen bei Starkregen in deutschen Mittelgebirgen verbessert werden. Auf Basis der Modellierung werden verschiedene Kenngrößen ermittelt, die im Zusammenhang mit der Entstehung und Ausbreitung von Massenbewegungen stehen. Diese Kenngrößen ermöglichen gemeinsam mit den Ergebnissen der Modellierungen eine Beurteilung der Risiko- und Gefahrenlage an für Massenbewegungen anfälligen Bereichen. Hierdurch wird zukünftig sowohl die Planung von Bau- und Sicherungsmaßnahmen als auch von Monitoringmaßnahmen an gefährdeten Stellen effizienter möglich. Im Folgenden werden die einzelnen Methoden für die wichtigsten Massenbewegungen des Projektes sowie die zugehörigen Eingangsdaten kurz vorgestellt.

Abb. 5: Typen von Massenbewegungen

Verwendete Daten

Bei den verwendeten Daten wird zwischen Rohdaten, weiterverarbeiteten Daten und Daten zur Validierung unterschieden. In den Modellierungen dieser Studie werden dabei folgende Rohdaten verwendet:

- ALS Daten (DGM)
- Geologische Kartierung
- Kartierung der Lockergesteine

Basierend auf diesen Rohdaten werden weitere abgeleitete Daten erzeugt:

- Topographische Kennwerte wie Neigung, Richtung, TWI, Reliefenergien, u. v. a.
- Ableitungen δx und δy der Hangneigung
- ALS-Differenz

Die Validierung der Modellierungen erfolgt neben der Geländeaufnahme auch über die ALS-Differenz Modelle und den Luftbildern nach der Flut.

5. Massenbewegungen und Modellierungen

Die Abbildung 5 illustriert verschiedene Typen von Massenbewegungen, die im Rahmen der Projektbearbeitung modelliert werden sollen. Zusätzlich zu obigen Massenbewegungen werden auch die während der Flut aufgetretenen Prallhangerosionen untersucht. Die Grundlagen der Modellierungen für dieses Gebiet wurden u.a. bei Enzmann et al., 2022 publiziert.

Hangmuren und Muren

Bei Hangmuren handelt es sich um spontane flachgründige Rutschungen. Diese ereignen sich in der Lockergesteins- oder Verwitterungsdecke von Hängen. Das betroffene Material verflüssigt sich dabei plötzlich und geht in eine Fließbewegung über, was bei Entwicklung hoher Geschwindigkeiten

zu erheblichen Schäden führen kann. Im Unterschied zu Muren sind Hangmuren nicht an vorhandene Rinnen gebunden. Gemeinsamer wesentlicher Auslöser ist die Entstehung im Zusammenhang mit Starkregen und vorheriger bodenhydraulischer Historie (Bodenwassersättigung). Eine Mure wird als ein sich talwärts bewegendes Gemisch aus Feststoffen und Wasser verstanden. Muren sind zumindest im oberen Hangbereich an morphologisch entwickelte Rinnen bzw. Tiefenlinien gebunden (Wehinger et al. 2022).

Wie zuvor beschrieben werden sowohl Muren als auch Hangmuren von einem vorhandenen Oberflächenabfluss ausgelöst. Für die Modellierung müssen daher verschiedene Aspekte berücksichtigt werden. Neben dem eigentlichen gravitativen Prozess der Massenbewegung müssen für die Modellierung auch die initialen Startzellen ermittelt werden. Für die Modellierung werden die Programme SAGA GIS (Conrad et al. 2015) und GRASS GIS (GRASS Development Team 2022) verwendet. Der mehrstufige Prozess wird nachstehend kurz erläutert und auf die möglichen Einflussgrößen eingegangen. Der Prozess kann in drei verschiedene Schritte unterteilt werden:

1. Oberflächenabflussmodellierung
2. Ermittlung der Startzellen
3. Modellierung der Murgänge

1. Die Modellierung des Oberflächenabflusses erfolgt mit der Funktion r.sim.water des Programms GRASS GIS (Mitasova et al. 2004). Die Basis des Modells bildet ein hochaufgelöstes DGM. Dabei können die Menge und die Dauer des Niederschlages sowie weitere Parameter wie beispielsweise Oberflächenrauhigkeits (nach Manning-Strickler) und Infiltration implementiert werden.
2. Auf Basis des DGM und der daraus abgeleiteten Hangneigung werden mittels der Formel nach Tognacca (1999) mögliche Startzellen für Murgänge in SAGA GIS berechnet.
3. Mit dem Modul Gravitational Process Path Model (GPP) (Wichmann 2017) im Programm SAGA GIS werden auf Basis der in Schritt 2 ermittelten Startzellen die potentiellen Runout-Verläufe von Murgangsereignissen simuliert.

Für die Modellierung von Murgängen haben sich in dieser Studie bis jetzt folgende Kennwerte als bedeutend herausgestellt:

- Menge des Oberflächenabflusses resultierend aus den Niederschlägen über die Zeit
- Korngrößen und -verteilung des transportierten Materials
- Gleitreibung (μ) der sich bewegenden Murgangsmasse
- Innere Reibung der Murgangsmasse
- Mächtigkeit der potentiell mobilisierbaren Massen

Das Ergebnis eines Modellierungsdurchgangs durch GPP in SAGA GIS besteht aus verschiedenen Rasterkarten zum Runout, der maximalen Geschwindigkeit, die Mächtigkeit der Ablagerungen und die Stopppositionen der einzelnen Iterationen. Im letzten Fall bedeutet der Wert pro Pixel, dass der Pixel x Mal als Endposition im Modell erreicht wurde. Je höher also der Wert, desto größer die Wahrscheinlichkeit, dass es zu einer (Teil-)Ablagerung des Materials an dieser Stelle kommt. Das Ergebnis einer solchen Murgangsmodellierung ist beispielhaft für eine Mure in Hönnigen demonstriert (Abb. 6). Die Machbarkeit, Praktikabilität und Validierung dieser Methoden wurde durch die beteiligten Arbeitsgruppen publiziert (Hagge-Kubat et al. 2021).

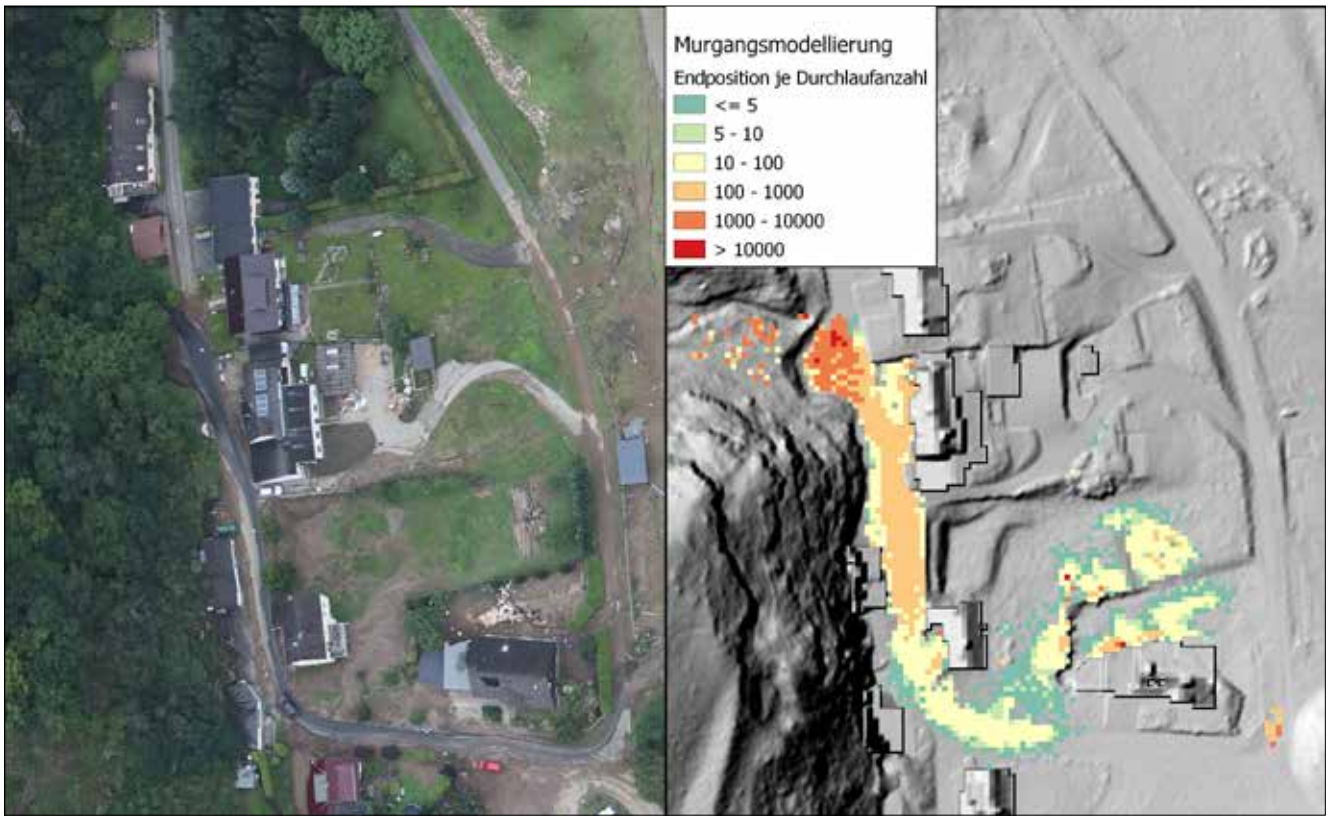

Abb. 6 : Luftbild einer Mure aus Hönningen (Luftbild © DLR 2021) und die zugehörige Murgangsmodellierung

Steinschlag und Felssturz

Bei der Modellierung von Steinschlägen und Felsstürzen wird in dieser Studie ähnlich zu den Muren / Hangmuren das GPP Modul von SAGA GIS verwendet. Dieser Ansatz wurde bereits erfolgreich im MABEIS-Projekt eingesetzt (Hagge-Kubat et al. 2021). Durch die Verwendung eines anderen Bewegungsansatzes im Algorithmus ist es möglich, verschiedene Sturzprozesse zu modellieren. Die Abb. 7 zeigt ein Beispiel für eine Steinschlag-/ Felsturzmodellierung. Für die Modellierung von Steinschlägen / Felsstürzen sind dabei unter anderem folgende Eingangsgrößen von Bedeutung:

- Die Ermittlung der Startzellen
- Energiereduktion beim Ersteinschlag/ Vegetation
- Reibung zwischen Sturzkörper und Untergrund

Neben den verschiedenen Eingangsgrößen sind bei Felssturz / Steinschlagmodellen auch Details wichtig, die nicht im klassischen DGM enthalten sind. Die Ablenkung der bewegten Körper durch Baumstämme in bewaldeten Gebieten wird durch ein spezielles Vegetationsraster abgeleitet, das aus den ersten Laserpulsen der ALS-Rohdaten erzeugt wird: Durch eine modifizierte Watershed-Segmentation können die Positionen der Stämme unter Wald berechnet und diese ins DGM eingefügt werden.

Prallhangerosion

Die Prallhangerosionen, die während der Ahrtalflut aufgetreten sind, werden im bisher verfolgten Ansatz hauptsächlich über eine Modellierung der Fließgeschwindigkeit nachvollzogen. Für diese Modellierung wird das vom U.S. Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center entwickelte Programm HEC-RAS verwendet (US Army Corps of Engineers 2008). HEC-RAS ermöglicht es, unstetige Strömungen mittels ein- bis zweidimensionaler Finite-Elemente-Methoden in komplexen Flusssystemen zu modellieren. Neben dem DGM können auch Brücken und andere Hindernisse hydrodynamisch angenähert in das Modell mit eingebunden werden. Dies ermöglicht eine Aussage über die Strömungsgeschwindigkeiten an der Grenze zwischen Fließ- und Uferbereich sowie zu Aufstaueffekten. Über die so ermittelten Strömungsgeschwindigkeiten kann die auf den Uferaufbau wirkende Kraft berechnet und eine Aussage über die Gefährdung einer Prallhang- bzw. Ufererosion getroffen werden. Zurzeit werden im Starkregenprojekt aber nur DGM-Daten als Grundlage verwendet, die Ergebnisse sind allerdings als vielversprechend zu interpretieren. Die Abb. 8 zeigt beispielhaft eine HEC-RAS-Modellierung im Bereich Schuld im Vergleich zu tatsächlich aufgetretenen Erosionserscheinungen.

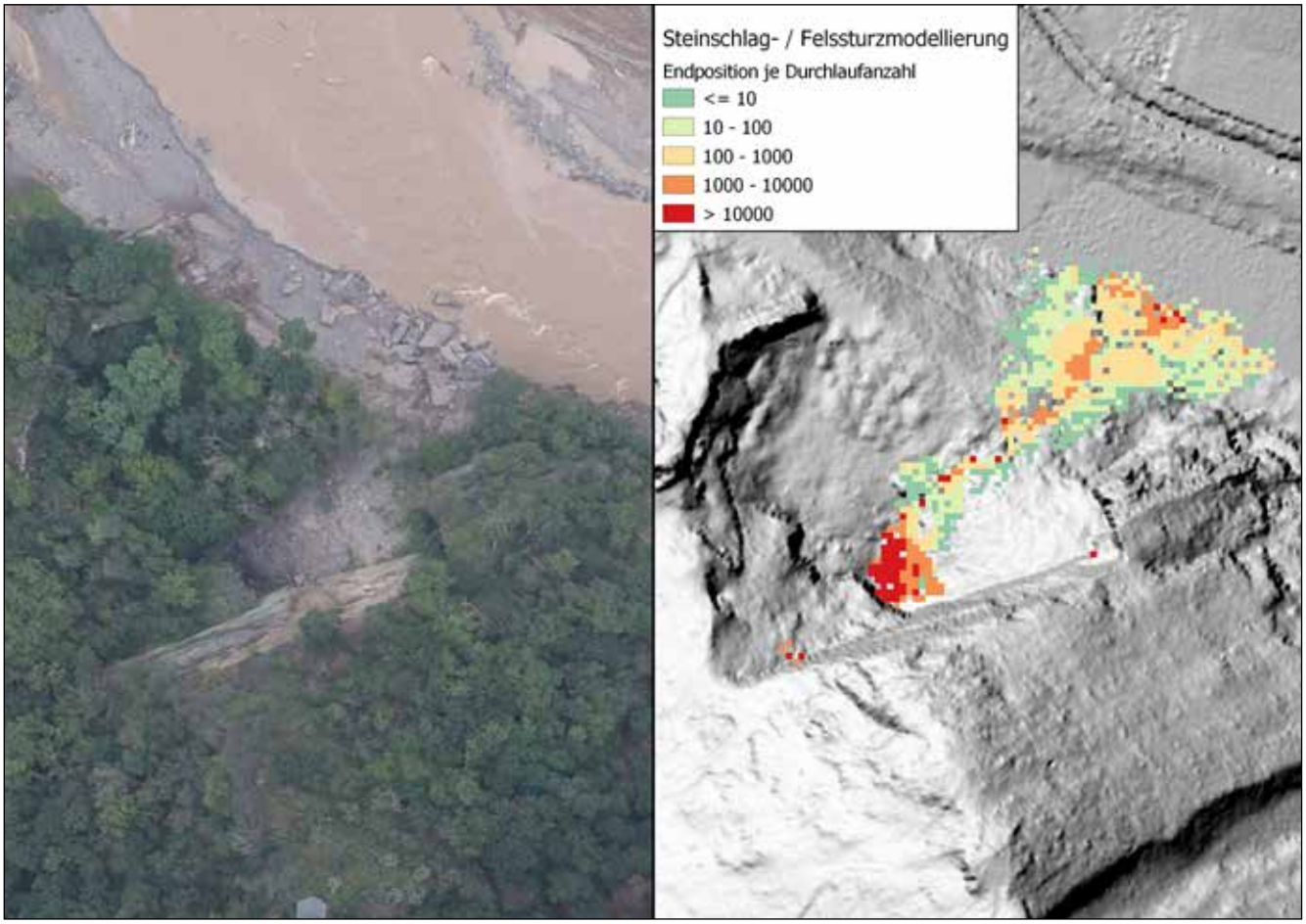

Abb. 7: Felssturz gegenüber der Bunten Kuh bei Walporzheim (Luftbild © DLR 2021) sowie die zugehörige Felssturzmodellierung

6. Ausblick

Innerhalb der Hauptphase wird die konsequente Weiterentwicklung der flächendeckenden Modellierungen im Vordergrund stehen, um hieraus Gefahren- und Risikokarten zu entwickeln. Diese dienen dann als Grundlage für ein Fachinformations- und Beratungssystem. Hiermit sollen effektive Präventionsmaßnahmen entwickelt und Kommunen und Planungsträger unterstützt werden. Weiter wird eine Zusammenarbeit mit den gleichermaßen involvierten Fachbehörden des Landes sowie Forschungseinrichtungen angestrebt.

Während der Hauptphase sind innerhalb des Pilotgebiets noch direkte Aufschlüsse (Rammkernsondierungen und Schürfe) vorgesehen, um eine verbesserte Auswertung und Interpretation der tTEM-Daten zu gewährleisten. Außerdem sollen die über die Modellierungen aus dem Ahrtal entwickelten Methoden auch für andere Mittelgebirgsregionen von Rheinland-Pfalz angewandt werden.

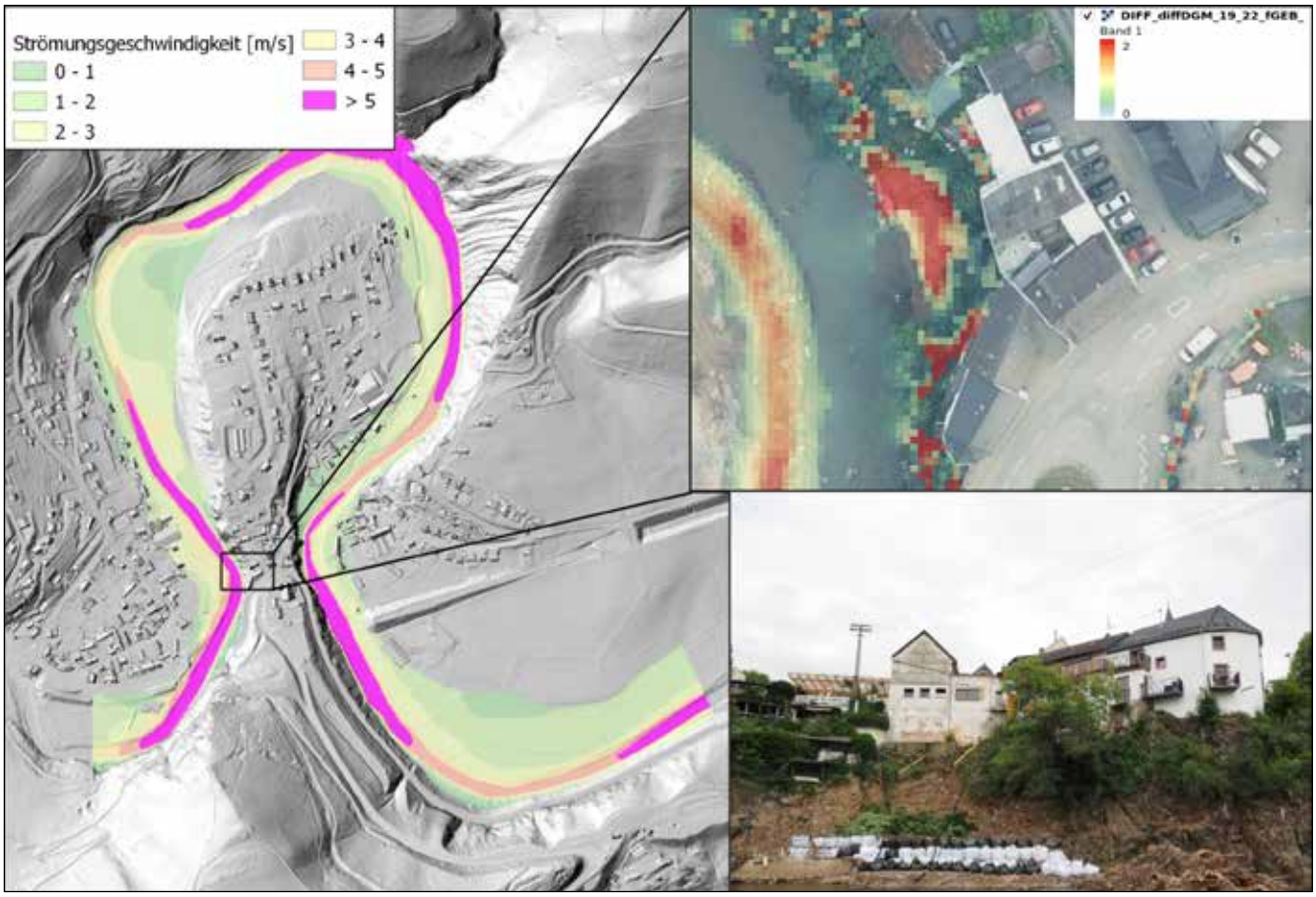

Abb. 8: Prallhangerosion bei Schuld, ALS-Differenz, Modellierung und Aufnahme einer Sofortsicherung mit Bigbags.

Literaturverzeichnis

Conrad, O.; Bechtel, B.; Bock, M.; Dietrich, H.; Fischer, E.; Gerlitz, L. et al. (2015): System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4. In: *Geosci. Model Dev.* 8 (7), S. 1991–2007. DOI: 10.5194/gmd-8-1991-2015.

Elkholy, H. (2023): Bericht zur Geologischen Kartierung im Raum Schuld/Ahr (TK25, Bl. 5507 Hönningen) im Rahmen des Projektes „Vorsorgemaßnahmen gegen die Folgen von Starkregenereignissen“ Devonisches Grundgebirge. LGB Mainz (unveröff.).

GRASS Development Team (2022): Geographic Resources Analysis Support System (GRASS GIS) Software, Version 8.2. USA: Open Source Geospatial Foundation. Online verfügbar unter https://grass.osgeo.org.

Hagge-Kubat, T.; Süßer, P.; Enzmann, F.; Wehinger, A. (2021): Modellierung der Felssturzgefährdung am Mittelrhein- und Moseltal 49, S. 197–220. DOI: 10.23689/FIDGEO-5739.

Kurz, K. (2023): Bericht zur Lockergesteinskartierung (15.08. – 15.12.2022) im Ahrtal - Projekt „ Vorsorgemaßnahmen gegen die Folgen von Starkregenereignissen“. LGB Mainz (unveröff.).

Maurya, P. K.; Christiansen, A. V.; Pedersen, J.; Auken, E. (2020): High resolution 3D subsurface mapping using a towed transient electromagnetic system – tTEM: case studies. In: *Near Surface Geophysics* 18 (3), S. 249–259. DOI: 10.1002/nsg.12094.

Mitasova, H.; Thaxton, C.; Hofierka, J.; McLaughlin, R.; Moore, A.; Mitas, L. (2004): Path sampling method for modeling overland water flow, sediment transport, and short term terrain evolution in Open Source GIS. In: Computational Methods in Water Resources: Volume 2, Proceedings of the XVth International Conference on Computational Methods in Water Resources, Bd. 55: Elsevier (Developments in Water Science), S. 1479–1490.

Tognacca, C. (1999): Beitrag zur Untersuchung der Entstehungsmechanismen von Murgängen: VAW (Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie an der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich).

US Army Corps of Engineers (2008): HEC-RAS. Version Davis 4.0: Hydrologic Engineering Center.

Wehinger, A.; Rogall, M.; Enzmann, F. (2022): Massenbewegungen im Ahrtal als Folge des Starkregens und der Flut - Eine erste Bestandsaufnahme. In: Johannes Feuerbach und Michael Lauterbach (Hg.): Fachtagung Rutschungen. Folgen - Forschung - Praxis. Forschungsstelle Rutschungen (20), S. 10–18.

Enzmann, F.; Hagge-Kubat, T.; Süßer, P.; Kersten, M. (2022): GIS-gestützte Modellierungsansätze zu Auslöseprozessen von Massenbewegungen nach der Flut im Ahrtal. In: Johannes Feuerbach und Michael Lauterbach (Hg.): Fachtagung Rutschungen. Folgen - Forschung - Praxis. Forschungsstelle Rutschungen (20), S. 20–25.

Wichmann, V. (2017): The Gravitational Process Path (GPP) model (v1.0) – a GIS-based simulation framework for gravitational processes. In: *Geosci. Model Dev.* 10 (9), S. 3309–3327. DOI: 10.5194/gmd-10-3309-2017.

SIDLA & SCHÖNBERGER
Spezialtiefbau GmbH

Fleiß. Sachverstand. Erfindergeist.

Wir bauen zuverlässig und beraten Sie souverän.

Unser Leistungsspektrum: Böschungsstabilisierungen im HZV (EBA-Zulassung) • tiefgründige Bodenverfestigungen und Dichtwandherstellungen im FMI (EBA-Zulassungen) • Stützmauersanierungen • Spritzbetonarbeiten • Anker, Pfähle, Nägel • Felssicherungen • Randwegkonstruktionen (EBA-Zulassung).

Die von uns entwickelten Hydro-Zementationsverfahren (HZV) und Fräs-Misch-Injektionsverfahren (FMI) sind patentierte Systeme im modernen Spezialtiefbau.

Iggensbacher Str. 40, D-94508 Schöllnach, Tel. +49(0)99 03/9 31 80 | Untergasse 10, D-55546 Volxheim, Tel. +49(0)67 03/96 02 36
www.sidla-schoenberger.de, info@sidla-schoenberger.de

EXZELLENTE INGENIEURLEISTUNGEN FÜR FELSSICHERUNG UND STEINSCHLAGSCHUTZ

DR. SPANG
Ingenieurgesellschaft für Bauwesen, Geologie und Umwelttechnik mbH

- Hang - und Böschungssicherheit
- Steinschlagschutz
- Rockfall-Software
- Felsbau
- Tunnelbau
- Brückenbau
- Umwelttechnik
- Wasserbau
- Naturschutz
- Beweissicherung
- Ingenieurgeologie
- Hydrogeologie
- Geotechnik
- Spezialtiefbau
- Altbergbau
- Altlastensanierung

Telefon: 02302–91402 0 – www.dr-spang.de

Berlin - Esslingen - Frankfurt - Freiberg - Hamburg - Kufstein AT - München - Naumburg - Nürnberg - Witten

2 Die Anwendung der InSAR-Technologie bei Massenbewegungen und anderen Oberflächenbewegungen

DR. JAN ANDERSSOHN & DR. DIANA WALTER, BEIDE TRE ALTAMIRA S.L.U., BARCELONA (ES)

1. Einleitung

Seit der Jahrtausendwende ist die InSAR-Technologie (Interferometric Synthetic Apertur Radar) sukzessiv aus der Forschung in die operationelle Anwendung übergegangen. Eine Vielzahl von universitären Ausgründungen verschiedener Unternehmen sowie öffentliche Dienstleistungen zeugen von diesem Transformationsprozess. Dank der zunehmenden Anzahl verfügbarer Satellitendaten können operationelle Dienstleistungen zur Erfassung und Überwachung von Bodenbewegungen (Oberflächenverformungen) gewährleistet werden. Beispielhaft dafür stehen die beiden öffentlichen Web-Portale zur Nutzung InSAR basierter Bodenbewegungsmessungen: European Ground Motion Service (EGMS) und BodenBewegungsdienst Deutschland (BBD). Diese stehen für alle Nutzer kostenfrei zur Verfügung und demonstrieren das Potential solcher Messungen auf nationaler und europäischer Ebene (vgl. Abbildung 1 und Abbildung 2).

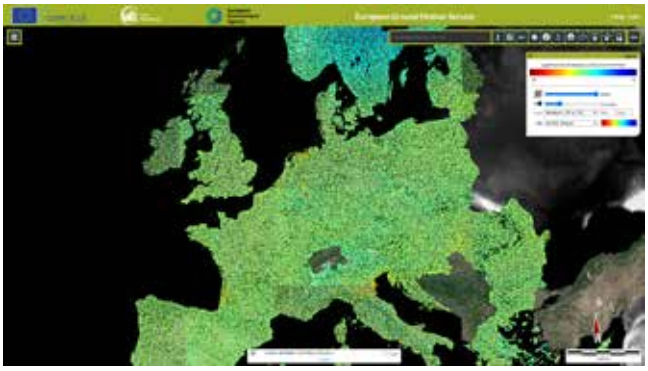

Abbildung 1: Web-Applikation des EGMS, 2023.

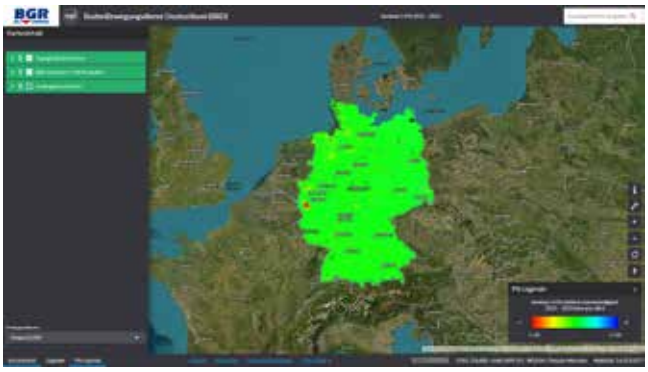

Abbildung 2: Web-Applikation des BBD, 2023.

Über diese kostenfreien Dienste hinaus, haben sich erweiterte industrielle Dienstleistungen zur Bereitstellung von InSAR basierten Bodenbewegungsmessungen, mit entsprechender fachlicher Betreuung etabliert.
In dem breiten Anwendungsspektrum dieser Messungen stellt das Monitoring von Massenbewegungen eine typische Anwendung dar. Ziel ist es, satellitenbasierte Messungen über Massenbewegungen bereitzustellen und diese komplementär mit anderen Messungen und Informationen zu verwenden, um ein vertieftes Prozessverständnis von Massenbewegungen zu erhalten.

2. InSAR-Technologie zur Erfassung von Massenbewegungen

Die InSAR-Technologie (Radarinterferometrie) steht für die interferometrische Prozessierung von mindestens zwei Radaraufnahmen (z. B. Satellitenszenen). Als Ergebnis können Höhenmodelle oder, unter Verwendung von einer Vielzahl von Radaraufnahmen (Datenstapel), Zeitreihen von Bodenbewegungen der Erdoberfläche und der mit ihr verbunden Objekte ermittelt werden.
Die notwendigen Radaraufnahmen werden in einem Schrägsicht-Aufnahmeverfahren gewonnen. Dies geschieht in dem ein Satellit die Erde umkreist und einen bestimmten Teil der Erdoberfläche erfasst. Dafür werden elektromagnetische Wellen mit einer Wellenlänge im Radarbereich unter einem bestimmten Blickwinkel vom Satelliten zur Erdoberfläche ausgesendet. Das an der Erdoberfläche bzw. an Objekten reflektierte/zurückgestreute Radarsignal wird vom Satelliten wieder empfangen und aufgezeichnet. Durch kontinuierliche wiederholende Radaraufnahmen (z. B. alle 11 Tage) können Weglängendifferenzen zwischen dem Satelliten und den Bodenpunkten ermittelt werden (Zeitreihen). Daraus ergeben sich dann die finalen Bodenbewegungsmessungen (Abbildung 3).

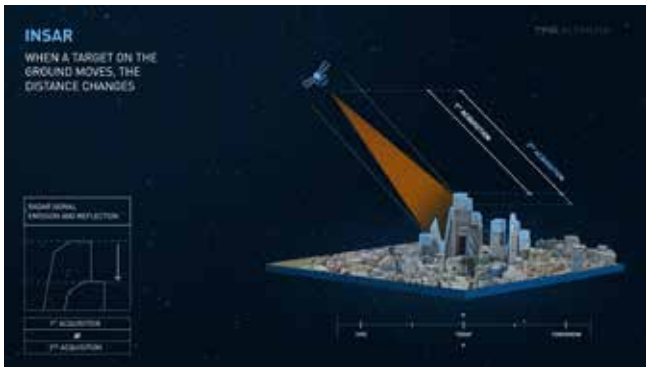

Abbildung 3: Vereinfachte Darstellung des Schrägsicht-Aufnahmeverfahrens eines Radarsatelliten (© TRE ALTAMIRA).

Die von einem Radarsensor ausgesandten elektromagnetischen Impulse (Radarsignale) werden an Teilen von der Erdoberfläche und den darauf befindlichen Objekten zum Sensor zurückreflektiert. Diese rückstreuenden Oberflächenelemente bzw. Objekte an der Erdoberfläche werden auch als Rückstreuer (engl. scatterer) bezeichnet. Es wird zwischen zwei verschiedenen Signalreflexionen unterschieden (vgl. Abbildung 4)

- Punktstreuer oder Persistent Scatterer (PS), bei denen die Messung von einem stark reflektierenden Objekt (z. B. einem Gebäudeteil) innerhalb der Auflösungszelle dominiert wird, dessen Rückstreusignal über den Betrachtungszeitraum physikalisch unverändert ist.
- Flächenstreuer oder Distributed Scatterer (DS), bei denen viele Rückstreuelemente innerhalb einer Auflösungszelle verteilt sind, die ein geringes, aber homogenes Rückstreusignal aufweisen (z. B. vegetationsfreie, unbebaute Flächen).

Die PS entstehen oft durch Reflexionen an anthropogenen Strukturen, welche eine starke (dominierende) gleichbleibende Rückstreuung des Radarsignals im Laufe des Untersuchungszeitraums hervorrufen. Die DS zeichnen sich durch räumlich ähnliche (flächenhafte) Rückstreueigenschaft aus und werden oft von Flächen gleicher Rauigkeit/Oberflächeneigenschaft hervorgerufen. TRE ALTAMIRA hat 2010 den patentierten Auswertealgorithmus SqueeSAR® entwickelt, mit dem PS und DS in einer gemeinsamen Auswertung ermittelt werden können.

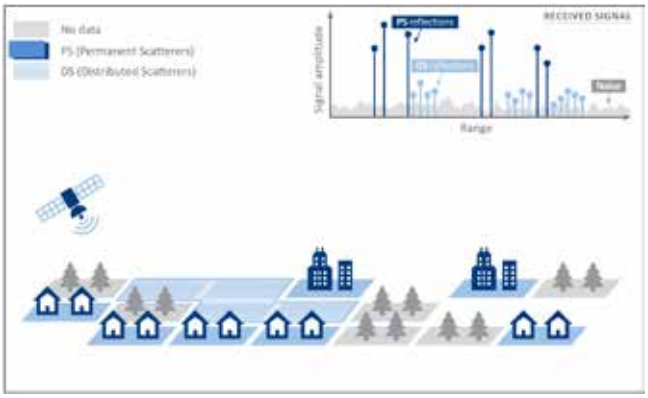

Abbildung 4: Schematische Darstellung der möglichen Rückstreuer innerhalb der Auflösungszellen (© TRE ALTAMIRA).

Für Flächen mit starker Veränderung der physikalischen Reflexionseigenschaft im Untersuchungszeitraum (z. B. Vegetation) können keine brauchbaren Rückstreuer ermittelt werden. Im Zuge einer interferometrischen Auswertung können aus den brauchbaren Rückstreuern (PS/DS) Messpunkte abgeleitet werden (Abbildung 5).

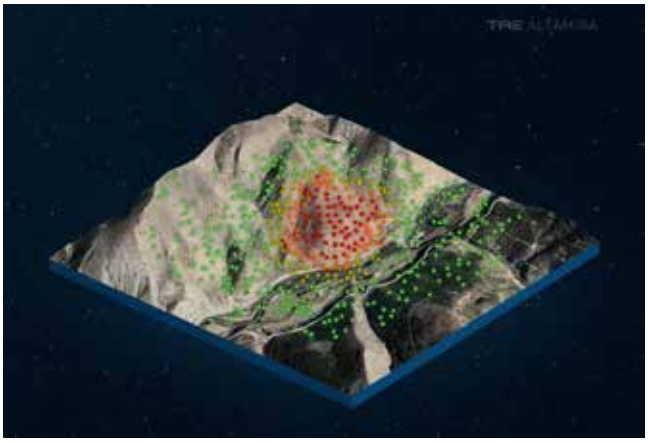

Abbildung 5: Künstlerische Darstellung von Messpunkten für eine Hangrutschung.

Die Lage und Anordnung der Messpunkte richtet sich nach der notwendigen unveränderten Reflexionseigenschaft der Oberflächenelemente. Für jeden finalen Messpunkt ist eine Zeitreihe der Bodenbewegung für den Untersuchungszeitraum verfügbar (Abbildung 6).

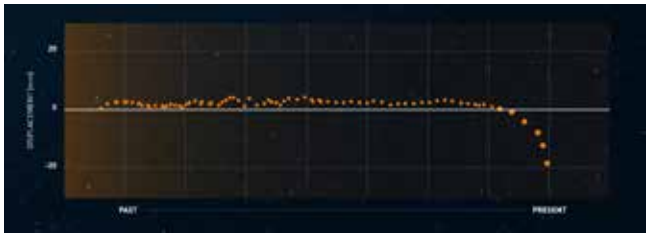

Abbildung 6: Beispielhafte Zeitreihe einer Hangrutschung mit Beschleunigung.

Für die Erfassung und Überwachung von Hangrutschungen spielen weitere Faktoren der InSAR-Technologie eine wesentliche Rolle.
Gängige Radarsatelliten fliegen in polaren Umlaufbahnen und erfassen die Geländeoberfläche unter einem bestimmten Blickwinkel. Es stehen maßgeblich zwei Aufnahmegeometrien zur Verfügung, Ascending (Abbildung 7) und Descending (Abbildung 8). Die eindimensionale Messung der Weglängendifferenzen findet in der Satellitenblickrichtung statt (engl. line-of-sight, LOS).

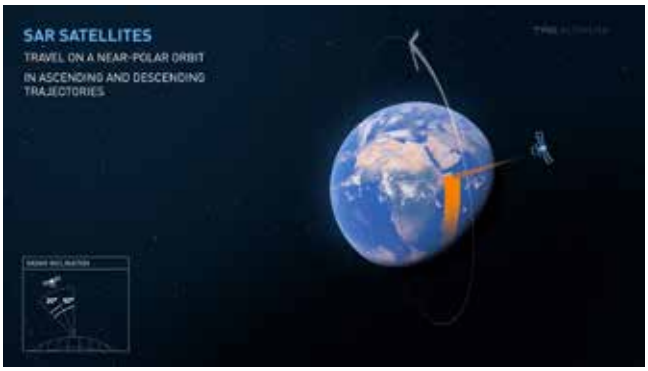

Abbildung 7: Graphische Darstellung der Ascending Aufnahmegeometrie.

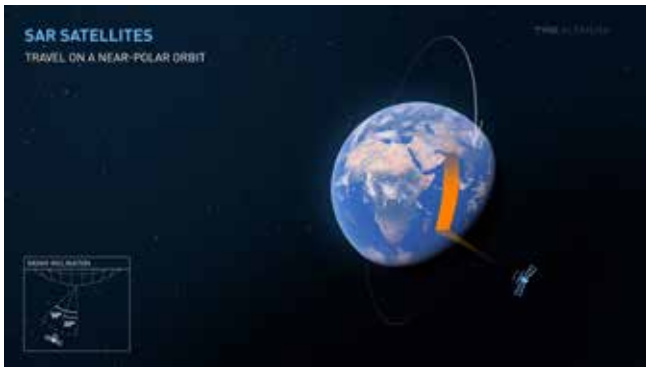

Abbildung 8: Graphische Darstellung der Descending Aufnahmegeometrie.

Unter der Verwendung von Ascending und Descending Messungen können die abgeleiteten eindimensionalen Messungen in zweidimensionale Messungen transformiert werden (2D-Dekomposition). Das Ergebnis sind vertikale und Ost-West gerichtete horizontale Bodenbewegungskomponenten (Abbildung 9).

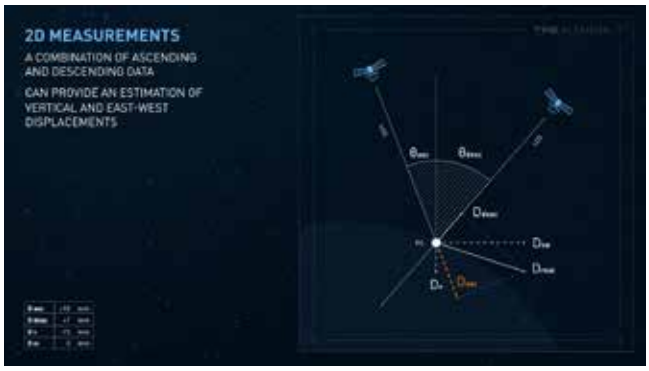

Abbildung 9: 2D-Dekomposition der LOS Messungen.

.

Die Orientierung einer Hangrutschung im Raum (Streichen und Fallen) und die Schrägsicht-Aufnahmegeometrie sind entscheidende Parameter für die Ableitung sinnvoller Bodenbewegungsmessungen von Hangrutschungen. Die Existenz von Vegetation an der Oberfläche einer Massenbewegung ist eine der größten Einschränkungen für die InSAR-Technologie. Die unterschiedlichen Radarsatelliten operieren mit unterschiedlichen Radarwellenlängen. Typischerweise werden Daten im X-, C- und L-Band aufgenommen (Abbildung 10).

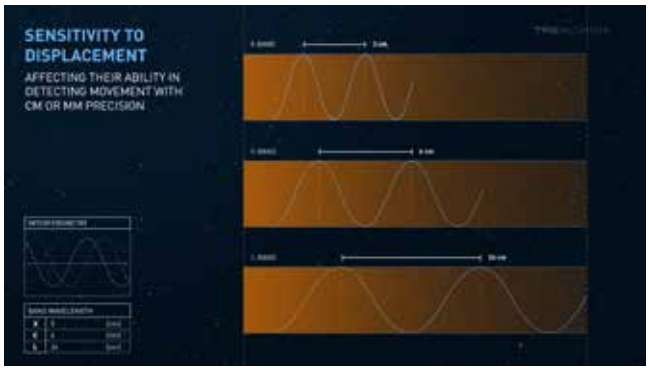

Abbildung 10: Unterschiedliche Wellenlängen des X-, C- und L-Bandes.

.

Die Wellenlänge bestimmt maßgeblich wie das Radarsignal an der Oberfläche reflektiert wird. Je länger die Wellenlänge ist, umso besser kann das Radarsignal Vegetation durchdringen und am Boden wiederum reflektiert werden (Abbildung 11).

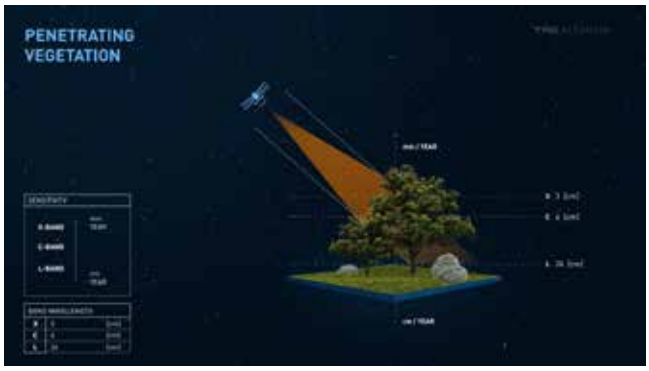

Abbildung 11: Durchdringung der Vegetation mit verschiedenen Wellenlängen.

Der Grad der Überdeckung einer Massenbewegung durch Vegetation ist daher ein wesentliches Kriterium zur Wahl der Satellitenaufnahmen. Während Massenbewegungen frei von Vegetation mit dem X- und C-Band erfasst werden können (Abbildung 12), müssen für vegetationsreiche Gebiete L-Band Daten genutzt werden (Abbildung 13).

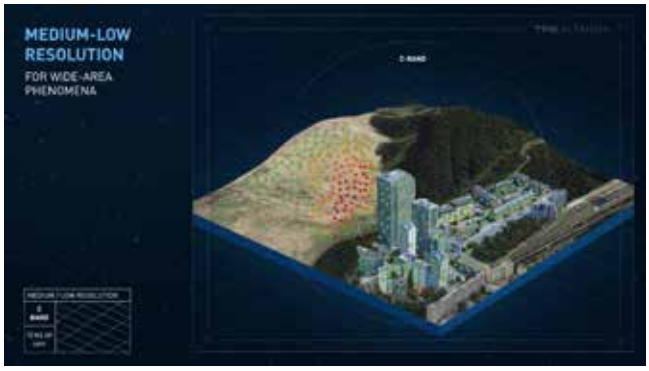

Abbildung 12: Schematische Darstellung einer Erfassung eines vegetationsfreien Hangrutsches mittels C-Band Daten.

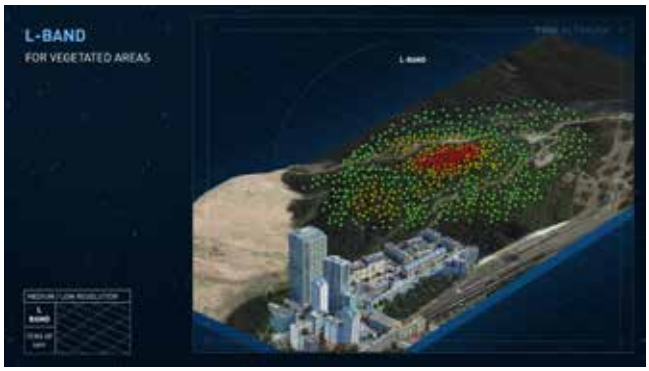

Abbildung 13: Schematische Darstellung einer Erfassung eines vegetationsreichen Hangrutsches mittels L-Band Daten.

Neben den oben genannten Faktoren spielt die Charakteristik einer Massenbewegung eine weitere wesentliche Rolle. Muren, Felsstürze, Hangrutschungen und Kriechhänge verhalten sich in Raum und Zeit sehr unterschiedlich. Generell kann festgehalten werden, dass mit der InSAR-Technologie nur Massenbewegungen erfasst und überwacht werden können, welche nicht abrupt (z. B. Felssturz) und extremdynamisch (z. B. Mure) stattfinden. Sprich es kommen nur Massenbewegungen in Frage, welche sich in Raum und Zeit messtechnisch nachvollziehbar bewegen, wie in den folgenden Beispielen gezeigt wird.

3. Beispiele

Die Erfassung und Überwachung von Hangrutschungen ist und bleibt eine besondere Herausforderung für die InSAR-Technologie, bedingt durch die vorgegebene Schrägsicht-Aufnahmegeometrie in Zusammenhang mit Bewegungsrichtung, durch die Bedeckung mit Vegetation und der teilweise hohen Dynamik der Massenbewegung.
Im Folgenden werden erfolgreiche Beispiele zur Erfassung und Überwachung mittels SqueeSAR® vorgestellt.
In Abbildung 14 ist das Ergebnis einer interferometrischen Auswertung von hochauflösenden TerraSAR-X Satellitendaten dargestellt. Deutlich ist der Bereich der Rutschung anhand der rötlich eingefärbten Messpunkte zu erkennen. Die korrespondierenden Zeitreihen der Messpunkte liefern zusätzlich Information über den zeitlichen Verlauf der Rutschung.

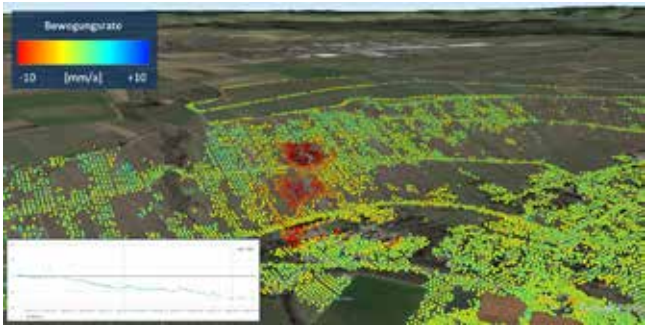

Abbildung 14: Beispiel einer Überwachung einer Hangrutschung mit hochauflösenden TerraSAR-X Daten (X-Band).

Abbildung 15 zeigt das Ergebnis für eine Überwachung eines Hangrutsches mittels C-Band (Sentinel-1) Daten in den Alpen. Besondere Herausforderung in diesem Gebiet ist die Existenz von Vegetation und Schnee in den Wintermonaten. Zwei prominente Hangrutschungen sind deutlich zu erkennen. Die Hangrutschung im Westen weist geringere Bewegungsgeschwindigkeiten im Vergleich zu dem im Osten detektierten Rutschungsbereich auf. Jedoch wird das Gefährdungsrisiko im Osten höher eingestuft, aufgrund der Einwirkungen im besiedelten, bebauten Bereich.

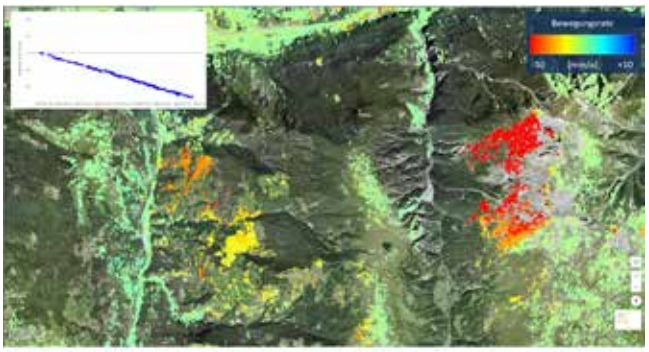

Abbildung 15: Beispiel einer Überwachung einer Hangrutschung mit Sentinel-1 Daten (C-Band) mit einer Bodenauflösung von 5 m x 20 m.

In Abbildung 16 ist das Ergebnis einer Auswertung mittels L-Band Daten dargestellt. Bedingt durch die dichte Vegetation konnten mittels C-Band fast keine Messpunkte erzielt werden. Erst die Verwendung von L-Band Daten ermöglicht eine sinnvolle Überwachung der Hangrutschung am östlichen Ufer des Stausees.

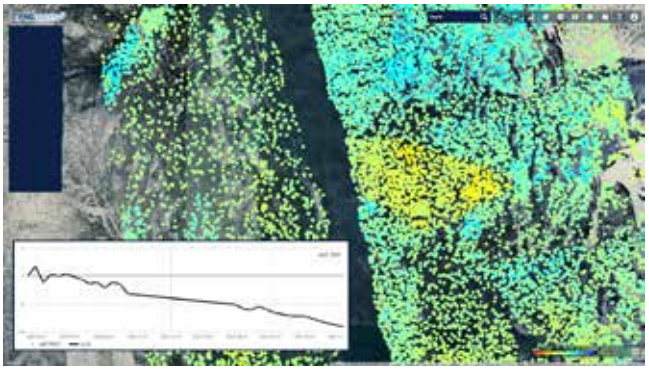

Abbildung 16: Beispiel einer Überwachung einer Hangrutschung mit mittel aufgelösten ALOS-2 Daten (L-Band).

4. Zusammenfassung

Obige Beispiele demonstrieren das Potential der InSAR-Technologie zur Erfassung und Überwachung von Hangrutschungen mittels Radarsatelliten. Trotz der beschriebenen technischen Herausforderungen liefern die satellitengestützten Messungen wertvolle Informationen über die räumlich-zeitliche Entwicklung von Hangrutschungen. Diese können mit zusätzlichen Messungen und Informationen verschnitten werden, um vertiefte Prozessverständnisse solcher Massenbewegungen zu erlangen. Bedingt durch die Verfügbarkeit von Satellitendaten in den jeweiligen Satellitendatenarchiven können auch retrospektiv Hangrutschungen identifiziert und analysiert werden. Die fortlaufenden Satellitenaufnahmen ermöglichen ein kontinuierliches Monitoring zur Gefahrenabwehr. Ebenso können die Auswirkungen von Gegenmaßnahmen mittels der InSAR-Technologie in Raum und Zeit beurteilt werden.

Neben diesem Anwendungsfeld zur Erfassung und Überwachungen von Massenbewegungen stell TRE ALTAMIRA InSAR basierte Messungen für weitere Anwendungen wie z.B. Bergbau, Tiefbau, Tunnelbau, Infrastrukturmonitoring und Dammüberwachungen global bereit.

3 Präzise Erfassung von Massenverlagerungen in unterschiedlichen räumlichen Skalen mit Drohnen im Kaukasus zum Aufbau eines Frühwarnsystems

DR. HANS-PETER THAMM & JEAN BOHÉ, AERODCS GMBH

Problemstellung und Zielsetzung

In der georgischen Provinz Swanetien, einer gebirgigen Region im Kaukasus (Abb. 1), treten zum Teil gravierende Massenbewegungen auf, was u.a. in der tektonischen Konvergenz und der daraus resultierenden aktiven Gebirgsbildung begründet liegt (Tibaldi et al. 2019). Diese Massenbewegungen können zu zahlreichen Toten und der Zerstörung von Häusern und Infrastruktur führen. Durch den Klimawandel, welcher zu einem Rückzug der Gletscher, dem Auftauen der Permafrostböden und einem veränderten Niederschlagsregimes führt, erhöht sich das Auftreten von Massenverlagerungen in der Region. Gegenwärtig fehlt es vor Ort an einer methodischen Vorgehensweise zur Erfassung und Bewertung von Massenbewegungen sowie an entsprechenden Sicherheitsmaßnahmen, welche durch zunehmenden Tourismus und einer dadurch verstärkten Bautätigkeit immer wichtiger werden.
Deshalb wurde das Projekt SwanRisk vom BMBF gefördert, in dem Experten unterschiedlicher Fachrichtungen zusammenarbeiten, um numerisch-geotechnische Risikomodelle zur Beurteilung von Hangstabilitäten und Felssturzgefährdungen zu entwickeln. Ein weiteres Ziel sind die Erstellung von ingenieurtechnischen Lösungskonzepten für zukünftige Baumaßnahmen in risikobehafteten Hangbereichen, sowie die (Weiter-) Entwicklung eines wartungsarmen Monitoring- und Frühwarnsystems für sicherheitsrelevante Massenverlagerungen.
Als Grundlage für diese Arbeiten wird eine hochauflösende, quantitative Erfassung von Massenverlagerungen für unterschiedliche Zeitpunkte benötigt. Sie soll dem allgemeinen Prozessverständnis, der Kalibrierung und Validierung der Modelle sowie der Planung von technischen Maßnahmen und deren Erfolgskontrolle dienen.

Abb. 1: Untersuchungsgebiet des Forschungsprojekts SwanRisk in Swanetien, Georgien.

Herkömmliche Methoden der präzisen Aufnahme von Rutschungen, wie terrestrische Vermessung oder Luftbilder aus bemannten Flugzeugen sind sehr teuer und/oder sehr zeitaufwendig, was eine frequente Wiederholung von Aufnahmen erschwert (Niethammer et al. 2011). Der technische Fortschritt der letzten Jahre ermöglichte die Entwicklung von Drohnen, mit denen Luftbilder in einer sehr hohen räumlichen Auflösung effizient und kostengünstig aufgenommen werden können. Aus diesen Aufnahmen können Orthophotos und digitale Geländemodelle berechnet werden. Der Vergleich dieser Produkte, aufgenommen zu unterschiedlichen Zeitpunkten, erlaubt eine räumliche Analyse der verlagerten Massen (Cucchiaro et al. 2018). Auch können Strukturen, die auf ein hohes Rutschungsrisiko hinweisen u.a. an schwer zugänglichen oder gefährlichen Stellen erkannt werden (Turner et al. 2015).

Methodik

Da die zu untersuchenden Einzugsgebiete eine Fläche von einigen Quadratkilometern einnehmen, kamen eine VTOL (vertical take-off and landing) Starrflügeldrohne und eine Kopterdrohne zum Einsatz. Für die Überblicksbefliegungen wurde eine Trinity F90+ von Quantum Systems eingesetzt (Abb. 2), Detailaufnahmen wurden mit einer DJI Phantom 4 Pro aufgenommen (Abb. 4).

Abb. 2: Die VTOL Starrflügeldrohne Trinity F90+ von Quantum Systems.

Die Drohne hat ein Abfluggewicht von 5 kg, eine Flügelspannweite von 2,6 m und ist mit einer optischen Vollformatkamera mit 42 Megapixeln ausgestattet.
Die Positionsbestimmung der Drohne erfolgt über ein differentielles GPS mit Bodenstation. Mithilfe eines integrierten Autopiloten wird die in der Flugplanungssoftware definierte Fläche mit der gewünschten räumlichen Bodenauflösung von 2 cm x 2 cm oder 4 cm x 4 cm und der notwendigen räumlichen Überlappung der Fotos, welche in Flugrichtung 80% und zwischen den Flugstreifen 60% beträgt, automatisch beflogen.
Als Senkrechtstarter benötigt die Trinity F90+ als Start- und Landebahn eine freie Fläche von ca. 10 m x 10 m, was im gebirgigen und schwer zugänglichen Gelände einen Vorteil darstellt.
Die Flugdauer im Hochgebirge beträgt, je nach Windgeschwindigkeit ca. 60 min. Die Fotos werden auf einer Speicherkarte abgelegt und im Post-Processing wird die präzise Raumlage der jeweiligen Aufnahmezentren in die Metadaten geschrieben.

Je nach Flughöhe über Grund, Höhe des Untersuchungsgebiets und der Windverhältnisse, können bis zu 400 ha pro Stunde aufgenommen werden. Automatisches Terrainfollowing, bei dem eine vordefinierte Höhe über Grund gehalten wird, sorgt dafür, dass die Aufnahmen konstant bleiben.
Da in jedem Batteriepack der Trinity, 3 Akkus von jeweils unter 100 Wh Kapazität untergebracht sind, dürfen sie im Flugzeug im Handgepäck befördert werden, was ein großer Vorteil ist, da somit das aufwendige Versenden der Akkus als Gefahrgut entfällt.

Abb. 4: Quadrokopter DJI Phantom P4 Pro RTK.

Der für Detailuntersuchungen eingesetzte Quadrocopter Phantom 4 Pro (P4) verfügt über eine kardanisch aufgehängte, optische Kamera mit einem 2/3 Zoll Sensor und 20 Megapixel (Abb. 4).
Die P4 ist mit einem RTK-System ausgestattet, das als Bezugspunkt mit einer Bodenstation kommuniziert, deren Position mit einem differentiellen GPS mit einer Genauigkeit von besser als 1,5 cm eingemessen wird. Die Flugzeit der P4 im Hochgebirge beträgt max. 20 min. Der Flugpfad kann über eine Flugplanungssoftware vorgegeben werden und wird vom Autopiloten der P4 abgeflogen. Da die Kamera neig- und schwenkbar ist, sind auch horizontale Aufnahmen von Felswänden und sogar Überhängen möglich.

Abb. 3: Unterschiede in der räumlichen Auflösung der VTOL-Drohne Trinity (200 m über Grund) und des Kopters Phantom 4 (30 m über Grund).

Für eine präzise Georeferenzierung wurden entweder Referenzpunke markiert oder Referenzplatten ausgelegt und mit einem differentiellen GPS mit einer Genauigkeit von unter 1,5 cm eingemessen (vgl. Abb. 5). Die Messpunkte dienen im Post-Processing zur Kontrolle der Echtzeit-Verortung und helfen bei der Rekonstruktion der Szenerie.

Abb. 5: Präzises Einmessen von Messpunkten.

Post-Processing

Mit der Structure-from-Motion (SfM) Photogrammetrie-Software Agisoft Metashape können die mittels Drohnen aufgenommenen Bilder zu 3D-Punktwolken berechnet werden. Diese dienen als Grundlage für die Erstellung von digitalen Geländemodellen und Orthomosaiken (Thamm et al. 2008). Structure-from-Motion Photogrammetrie stellt eine effiziente und kostengünstige Alternative zu Laser Scanning dar, mit der sich hochauflösende Daten über Geländetopographien gewinnen lassen (Cucchiaro et al. 2018).

Die räumliche Verortung der erstellten 3D-Modelle erfolgt im besten Fall automatisiert mithilfe der GPS-Informationen, die während des Flugs erstellt werden. Sollten die GPS-Informationen nicht vorliegen, fehlerhaft oder ungenau sein, müssen die 3D-Punktwolken mittels der im Feld eingemessenen Passpunkte georeferenziert werden, bevor präzise digitale Geländemodelle erstellt werden können, welche die Voraussetzung für weitere Analysen, wie z.B. der Change Detection, sind (Huntley et al. 2022).

Um morphologische Veränderungen sichtbar zu machen, müssen zwei digitale Geländemodelle desselben Gebiets zu unterschiedlichen Zeitpunkten verglichen werden. Wird das ältere DGM vom neueren abgezogen, werden die Veränderungen der Topographie deutlich und können in GIS analysiert werden.

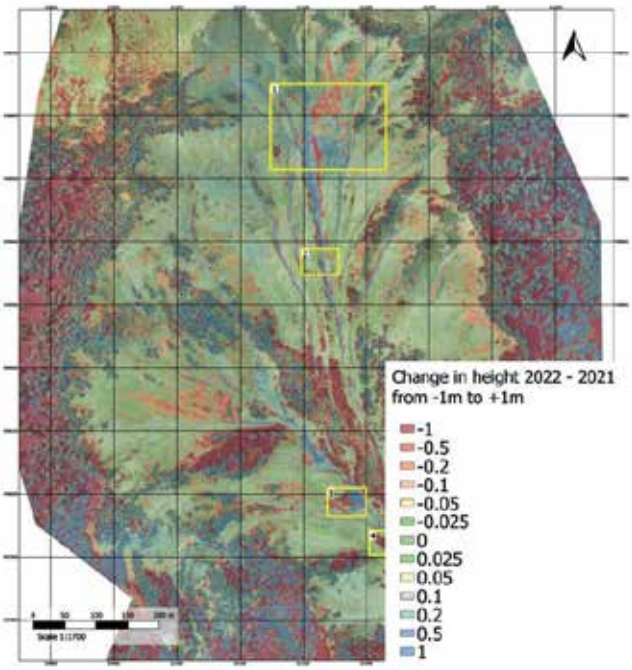

Abb. 6: Abtragungen (rot) und Auffüllungen (blau) im Einzugsgebiet Lenjieri zwischen 2021 und 2022.

Ergebnisse der VTOL-Daten

Als beispielhafte großflächige Untersuchungsgebiete werden im Folgenden Lenjieri und Zhabeshi vorgestellt, die beide in den Jahren 2021 und 2022 mit der VTOL-Drohne beflogen wurden.

Das Untersuchungsgebiet Lenjieri ist stark von Murgängen gefährdet, die hauptsächlich im Juli und vor allem im August auftreten (TU Bergakademie Freiberg 2022). Nach einem Vergleich der digitalen Geländemodelle sind in Abbildung 6 deutliche Massenverlagerungen von bis zu über 1 Meter erkennbar. Neben teilweise großflächigen Rutschungen fallen vor allem die Rinnenstrukturen im Untersuchungsgebiet auf, die durch erodiertes Material aufgefüllt werden.

Im Untersuchungsgebiet Zhabeshi sind deutlich stärkere Veränderungen aufgefallen. Wie stark diese ausgeprägt sind, zeigt die Change Detection in Abbildung 7. Hier sind Abtragungen und Auffüllungen von über 15 m Höhendifferenz in einem Jahr zu erkennen. Bereits durch den Vergleich der optischen Orthomosaike von 2021 und 2022 (Abb. 8 und 9) werden starke morphologische Veränderungen deutlich.

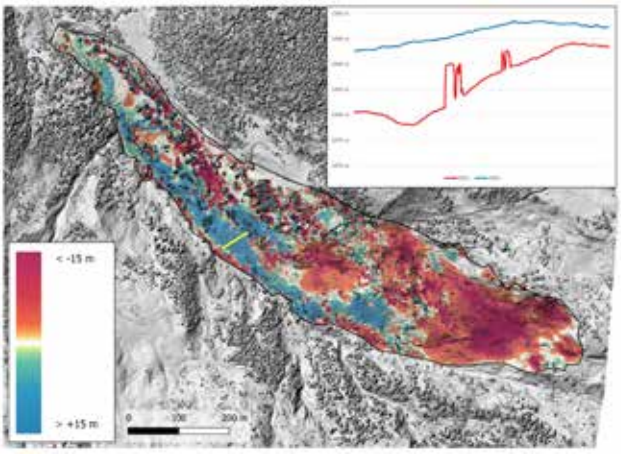

Abb. 7: Erosion (rote Bereiche) und Aufschüttung (blaue Bereiche) im Untersuchungsgebiet Zhabeshi mit Höhendifferenzen von über 15 m (gelbe Linie).

Die hier erkennbaren Massenbewegungen stellen eine bedrohliche Situation für die angrenzende Ortschaft Zhabeshi dar. Deshalb werden nun technische Frühwarnsysteme installiert, die bei einer Verlagerung Warnungen z.B. über Telefon oder Internet aussenden.

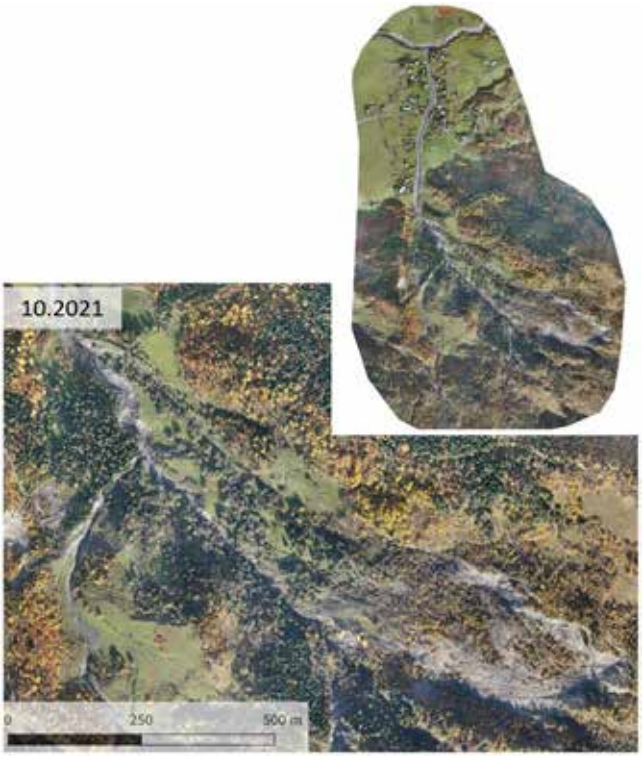

Abb. 8: Orthomosaik des Untersuchungsgebiets Zhabeshi aus VTOL-Drohnenaufnahmen von Oktober 2021.

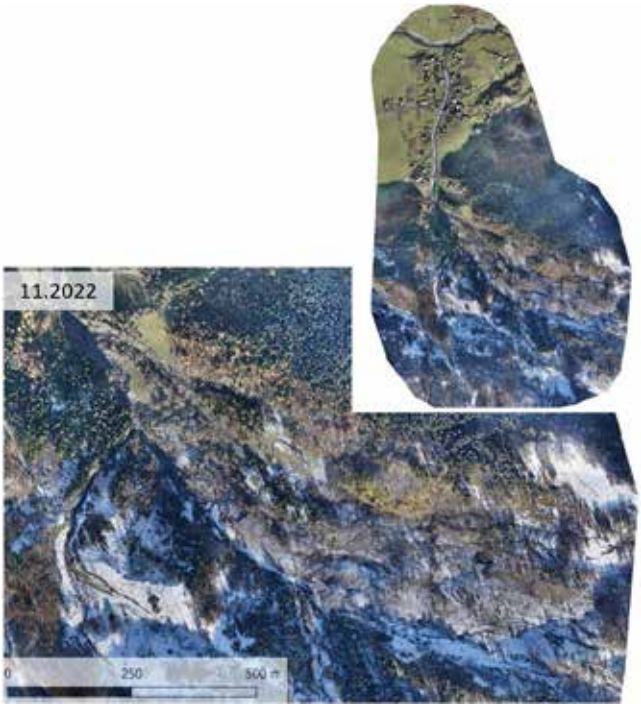

Abb. 9: Orthomosaik des Untersuchungsgebiets Zhabeshi aus VTOL-Drohnenaufnahmen von November 2022.

Ergebnisse der Kopter-Daten

Während die VTOL-Starrflügeldrohne zur Aufnahme großer Flächen verwendet wird, liegt die Stärke der Kopterdrohne bei Nahaufnahmen, auch aus mehreren Blickwinkeln. Durch die Befliegung von Felswänden an der Straße zwischen den Städten Mestia und Kutaissi, konnte ein detailreiches 3D-Modell erstellt werden. Voraussetzung für eine erfolgreiche Georeferenzierung war das Vermessen zahlreicher Referenzpunkte, zum Teil an der senkrechten Felswand. Da die Straße stark durch Felsstürze gefährdet ist und sie die einzige Verbindung zwischen den beiden Städten bildet, ist eine Risikoanalyse notwendig. Das erstellte 3D-Modell wird für die geologische Kartierung des Fallens und Streichens der Schichten und Störungen genutzt (TU Bergakademie Freiberg 2022). Dadurch kann eine Expertenanalyse kostengünstig vereinfacht und beschleunigt werden.

Abb. 10: Detailansicht der georeferenzierten 3D-Punktwolke erstellt in Agisoft Metashape aus Kopter-Aufnahmen in einer hohen räumlichen Auflösung von 0,4 cm x 0,4 cm, dargestellt in Cloud Compare.

Zusammenfassung

Drohnen bieten faszinierende Möglichkeiten zur räumlich hochpräzisen Erfassung und Erstellung von Orthophotos und digitalen Geländemodellen. Dadurch lassen sich Massenverlagerungen auch für größere Gebiete, selbst in schwer zugänglichen Gegenden, analysieren. Die Ergebnisse fördern das Prozessverständnis und können zur Modellbildung, zur Kalibrierung und Validierung als auch zum Aufbau von Frühwarnsystemen verwendet werden.

Ein Nachteil von photogrammetrischen Aufnahmen ist die Schwierigkeit die Vegetation aus dem digitalen Geländemodell herauszurechnen. Artefakte der Veränderung aufgrund unterschiedlicher Bewuchsstadien der Vegetation, fallen bei der Veränderungsdetektion stark auf (Abb. 6). LiDAR (Light Detection And Ranging) -Daten könnten zur Klassifikation von Vegetation und Boden besser geeignet sein. Im Moment sind LiDAR-Systeme für Drohnen noch sehr teuer und werden daher nur selten eingesetzt. Kopterdrohnen sind sehr gut geeignet für eine präzise Erfassung geologischen Strukturen auch an Steilhängen. Dadurch kann die Kartierung des Fallens und Streichens sowie der Störungen deutlich effizienter durchgeführt werden.

Ein großer Vorteil von Drohnen im Gegensatz zu bspw. Flugzeugen oder Helikoptern ist eine schnelle und kostengünstige Mobilisierung, die Beobachtungen in einem kurzen Zeitintervall ermöglicht. Zudem kann eine geeignet hohe Auflösung erreicht werden, was einen Vorteil gegenüber Satellitenaufnahmen darstellt.

Literatur

Cucchiaro S., E. Maset, A. Fusiello and F. Cazorzi (2018): 4D-SFM Photogrammetry for monitoring sediment dynamics in a debris-flow catchment: Software testing and results comparison. In: The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLII-2, 2018.

Huntley, D., D. Rotheram-Clarke, R. MacLeod, R. Cocking, P. LeSueur, B. Lakeland and A. Wilson (2022): Scalable Platform for UAV Flight Operations, Data Capture, Cloud Processing and Image Rendering of Landslide Hazards and Surface Change Detection for Disaster-Risk Reduction. In: Progress in Landslide Research and Technology Volume 1 Issue 2, 2022, Springer.

Niethammer, U., S. Rothmund, U. Schwaderer, J. Zeman and M. Joswig (2011): Open Source Image-Processing Tools for Low-Cost UAV-Based Landslide Investigations. In: The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XXXVI-II-1/C22, 2011.

Thamm, H.P., Whitton, M.. Hendrikse, J.H.M. (2008). Derivation of digital terrain models in a very high spatial and temporal resolution with a remote controlled ultra light air vehicle. Geophysical Research Abstracts, 10.

Tibaldi, A., P. Oppizzi, J. Gierke, T. Oommen, N. Tsereteli and Z. Gogoladze (2019): Landslides near Enguri dam (Caucasus, Georgia) and possible seismotectonic effects. In: Natural Hazards and Earth System Sciences 19, 71-91.

TU Bergakademie Freiberg (2022): SwanRisk – Massenbewegungen in Swanetien (Georgien). Aktuelles. Internet: https://svaneti-geohazard.de/aktuelles.html (28.03.2023).

Turner, D., A. Lucieer and S.M. de Jong (2015): Time Series Analysis of Landslide Dynamics Using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV). In: Remote Sensing, 2015, Issue 7, 1736 – 1757.

TRUMER Schutzbauten

Schutz vor Naturgefahren

Trumer Schutzbauten GmbH
Königswarterstrasse 70
90762 Fürth

www.trumer.cc

4 Beispiele von Rutschungssanierungen in Brasilien – Dammsanierung im Bergbaubereich und Tagebau Sicherung bei Aguas Claras

DIPL. GEOL. EBERHARD GRÖNER UND M.SC. GEOL. HELENE LANTER, BEIDE GEOBRUGG AG (CH) UND FSR, DIPL. GEOLOGE ETH / SIA DANIEL TOBLER GEOTEST AG (CH)
ENG. D.SC. FELIPE GOBBI GEOBRUGG AG BRASILIEN

Einleitung

In diesem Vortrag gehen wir auf die Sanierung und Stabilisierung einer «Grossrutschung» im Tagebau einer Mine in Brasilien nahe der Stadt Nova Lima im Bundesstaat Minas Gerais (MG) ein.

Der Betrieb der Grube Mineração Águas Claras (MAC) begann 1973 durch die Mineração Reunidas do Brasil. Später ist der Betrieb an den Bergbaukonzern VALE (https://vale.com/what-we-do) mit allen Rechten und Pflichten übergegangen. Die Hauptvererzung in der MAC besteht aus Hämatit und Itabirit. Der Abbau wurde nach 25 Jahren im November 2002 eingestellt (Abb. 1 und Abb. 2). In dieser Zeit wurden insgesamt etwa 290 Millionen Tonnen Eisenerz gefördert.

Schon während des Abbaus, am 29. April 1992, kam es zu einer Massenbewegung an der Böschung im westlichen Teil der Grube. Diese Massenbewegung wurde als „Grossrutschung", bei der etwa zwei Millionen Tonnen Material mobilisiert und bis zu 500 m weit transportiert wurden, beschrieben. Die Rutschung ereignete sich insbesondere zwischen dem kieselhaltigen Itabirit und den mittleren Itabiritschichten. Die damals durchgeführten Untersuchungen ergaben, dass die Globalstabilität nicht kritisch war (Figueiredo Ferraz, 1992 Franca P., 1997 Costa T., 2008). Allerdings führten Erosionsprozesse und weitere lokale Instabilitäten an der Oberfläche (bis ca. 2 m Tiefe) zu einer fortschreitenden Destabilisierung. Infolgedessen war die Stabilität und die Geometrie der Gipfelregion, der Serra do Curral gefährdet. Diese gilt als historisches und kulturelles Erbe im Bundesstaat Minas Gerais und ist deshalb schützenswert und zu erhalten.

Im Jahr 2003 wurde von VALE eine Studie zur Entwicklung eines Konzeptes für die Hangsanierung begonnen. Wichtige Aspekte waren u. a. die Machbarkeit und Ausführbarkeit, Sicherheit, Wirtschaftlichkeit und Umweltauflagen. Es dauerte bis 2007, bis die Vorplanung fertiggestellt wurde. Im Jahr 2013 wurde der Vertrag für die Arbeiten unterzeichnet. Die Sicherungsarbeiten dauerten von 2014 bis 2016.

Abb. 1: Foto der Mineração Águas Claras (MAC) im Jahr 1999. In der Bildmitte oben ist die Gipfelregion, der Serra do Curral zu sehen. Darunter der Rutschungsbereich. Im Hintergrund (oben rechts) sind die Ausläufer der Stadt Nova Lima zu erkennen.

Abb. 2: Ansicht ähnlich Abb. 1 der MAC jedoch im Jahr 2002.

Für die Planung dieser komplexen Sicherungsmassnahme wurde die Geotest AG aus der Schweiz durch VALE beauftragt. Im Planungszeitraum und während der späteren Bauausführung wurden regelmässig Besuche durch Mitarbeiter der Geotest AG vor Ort durchgeführt, um die Massnahme und fachgerechte Umsetzung zu begleiten.

Der Untersuchungsbereich

Aufgrund der geologischen Karte besteht die Grubenböschung ausschließlich aus schwach bis stark verwittertem Itabirit. Nach mehreren Begehungen vor Ort hat sich jedoch gezeigt, dass neben dem beschriebenen verwitterten auch kompakter Itabirit und kompakte Hämatitlinsen vorkommen.

Aufgrund der Geologie, des angewandten Abbauverfahrens und des Rutschungsereignisses von 1992 wurde die Rutschung in drei Bereiche unterteilt (Abb. 3):

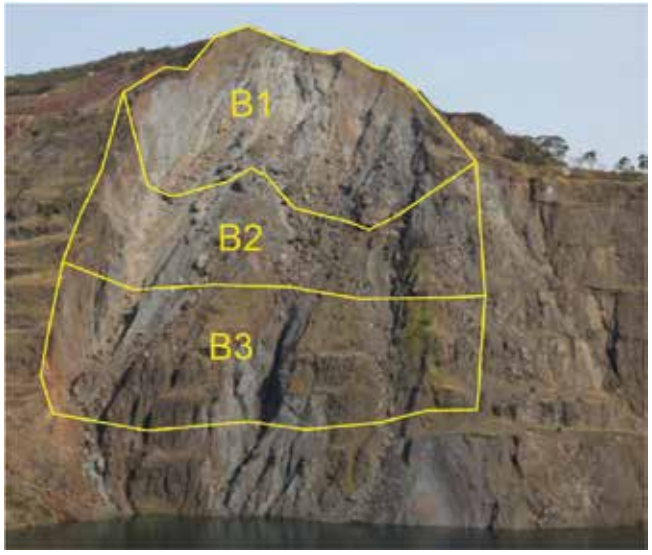

Abb. 3: Einteilung der Rutschung in drei Bereiche. B1: Laterithorizont und Festgestein. B2: Blockige Rutschmasse in feinkörniger Matrix. B3: Verwitterter Fels und Umlagerungssedimente.

Bereich 1 (B1): Er besteht aus dem Kammbereich der sich ungefähr von Höhe 1340 ü.NN. bis 1240 ü.NN. erstreckt und durch die Freilegung von Laterit an der Oberfläche (Canga) und dem Itabirit darunter kennzeichnet. Der Itabirit ist hangparallel wechselgelagert in brüchiger bis harter Ausprägung (Abb. 4).

Bereich 2 (B2): Dieser liegt unterhalb Bereich 1. Es herrschen Rutschungsablagerungen aus dem Jahr 1992 und den Folgejahren vor. In diesem Bereich befinden sich vielfach Blöcke im Meter bis zu 10m Bereich, die entweder im Hangschutt eingebettet sind oder durch die Erosion freigelegt wurden (Abb. 3 und Abb. 4).

Bereich 3 (B3): Er besteht im Wesentlichen aus Verwitterungsmaterial weitgehend in situ. In einzelnen Abschnitten gibt es feinkörnige Umlagerungen ähnlich Bereich 2.

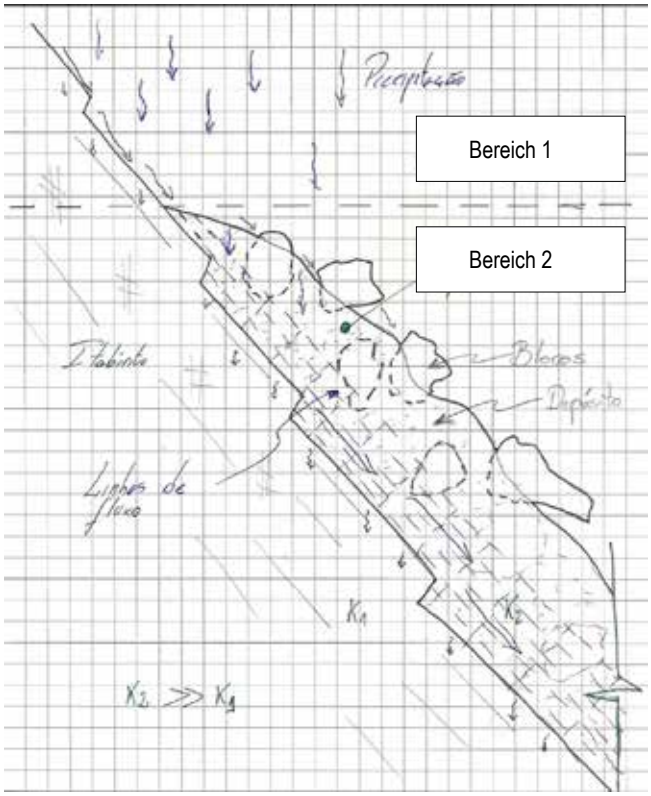

Abb. 4: Feldskizze zum besseren Verständnis der Situation vor Ort u nd zur Festlegung der Bereiche 1 und 2 und deren Bruchmechanismen.

Projektanforderungen

Die betreffende Böschung weist drei unterschiedliche Versagensbereiche auf (Abb. 3 und Abb. 4). Der Hang ist insgesamt mehr als 300 m hoch und hat Neigungen zwischen 35 und 70 Grad. Am Fuss der Böschung liegt ein See der einen Teil der alten Grube geflutet hat. Auf dem Kamm befindet sich der Serra Curral, der nur über Fusswege erreicht werden kann. Der Zugang zum Hang selbst konnte somit nur mit Hilfe von Seilzugangstechnik erfolgen. Alle am Projekt beteiligten mussten hierfür geschult sein und eine Höhenarbeiterzulassung haben.

Aus den Rahmenbedingungen ergab sich, dass die Begehungen und die Bauarbeiten zwingend von oben nach unten, ohne Einsatz von Gerüsten oder herkömmlichen Zugangsmethoden, durchgeführt werden mussten.
Im Jahr 2008 wurden die Böschungen zum ersten Mal von dem Schweizer Geologen Daniel Tobler (Geotest AG) eingehend inspiziert. Er kartierte den Hang und hat gemeinsam mit VALE die Vorplanung erstellt. Diese bestand aus einer Vernagelung von Lockergestein und Fels in Kombination mit einer Abdeckung aus hochfesten Geflechten und Netzen. Zusätzlich wurde ein Entwässerungssystem geplant, das aus unterirdischen Betonkanälen besteht. Ende 2013 schloss VALE das Ausschreibungsverfahren ab und beauftragte das Unternehmen Civil Master mit der Ausführung der Arbeiten. Anfang 2014 beauftragte VALE dann das Unternehmen FGS Geotecnia (https://www.fgsgeotecnia.com/), das zusammen mit den Schweizer

Unternehmen Geobrugg AG und Geotest AG (beide beratend) die Ausführungsplanung und die technische Überwachung der Arbeiten plante. Zu Beginn der Projektprüfung wurde festgestellt das die Erosion und anhaltender Steinschlag den Zustand des Hanges verändert hatte. Aufgrund dieser Gefährdungssituation wurde das Ausführungsprojekt zusammen mit der beauftragten Baufirma erstellt. Es wurde festgelegt, dass nur in einem Bereich von 20 m jeweils nach unten gearbeitet wird.

Neben den Anforderungen an die Gegebenheiten vor Ort ergeben sich weitere Herausforderungen aufgrund der grossen Fläche und dem begrenzten Zeitrahmen von 2 Jahren hier im Überblick:

i) 90.000 m² hochfeste TECCO Geflechte und SPIDER Netze (Abb. 5);
ii) 80.000 m Vernagelungen zur Befestigung der Netze und Geflechte und Entwässerungsrinnen (Abb. 5 und Abb. 6);
iii) erstellen eines Entwässerungsnetzes für Oberflächenwasser mit 2.700 m³ Stahlbeton (Abb. 6);
iv) Abbau von 10.000 m³ instabiler Felsblöcke (Abb. 7);
v) maschinelle und manuelle Reinigung von losem Material auf einer Fläche von 50.000 m²;
vi) sehr schwer zugängliche Bereiche;
vii) heterogene Eigenschaften des zu bohrenden und zu stabilisierenden Materials

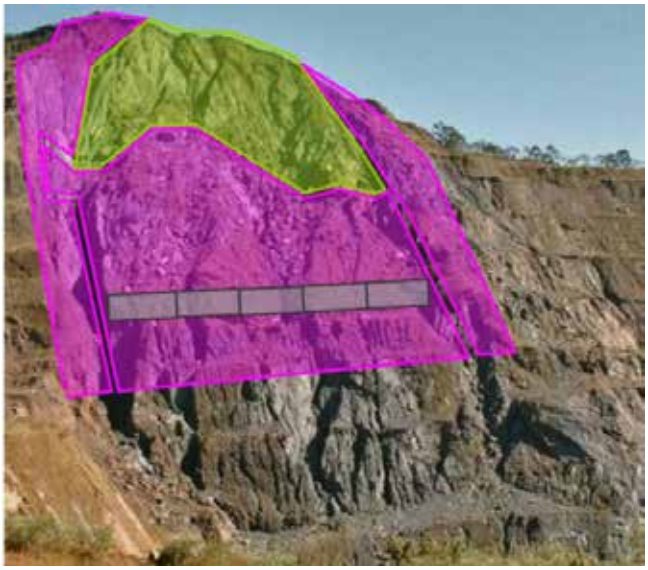

Abb. 5: Geplante Sicherungsmassnahmen im Rutschungsbereich. Grün sind die Sicherungsbereiche mit dem SPIDER Felssicherungssystem. Violett die Bereiche mit dem TECCO Böschungsstabilisierungssystem. Zusätzlich ist ein 100 kJ Steinschlagschutzzaun im unteren Bereich vorgesehen.

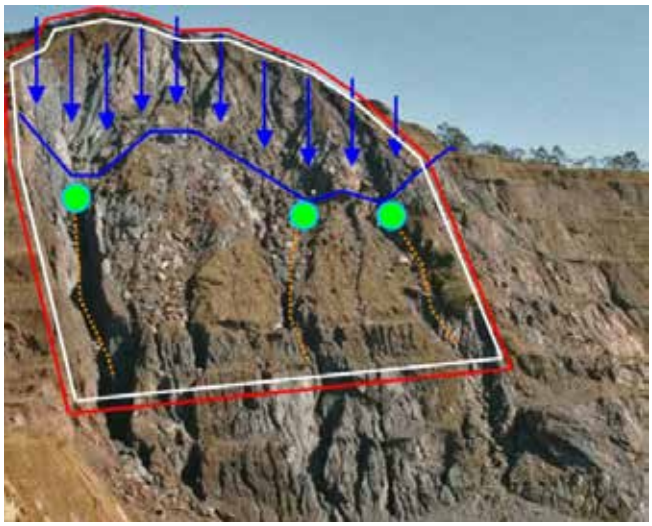

Abb. 6: Darstellung der Fassung von Oberflächenwasser (grüne Punkte) und den vorgesehenen Entwässerungsrinnen.

Abb. 7 Sicherungsarbeiten im Bereich 2 oben und Grössenverhältnis der instabilen Blöcke in den Rutschmassen.

Projekt und Ausführungsplanung

Aufgrund der komplexen Rahmenbedingungen wurde die Massnahme während der Baumassnahme an die Verhältnisse vor Ort angepasst. In Zusammenarbeit mit VALE wurde der Hang in 150 Bereiche eingeteilt und diese bezüglich Hangstabilität, Entwässerung und Feinstoffaustrag betrachtet. Ziel war es den Wartungsaufwand zu verringern. Um das Unterspülen der Rinnen zu verringern, wurden stattdessen geneigte Wassersammler entwickelt, deren Einmündungen in den Hauptkanal unterhalb der Stufen angebracht wurden. Dadurch wurde auch der Betonverbrauch reduziert und ein gleichmässiger Abfluss in den Wasserabläufen ermöglicht.

Charakterisierung und Dimensionierung der Bereiche

Bereich 1: Verschiedene Aspekte sind im Bereich 1 entscheidend. Zum einen das Vorkommen von brüchigem Itabirit mit cm / dm Mächtigkeit überlagert von kompaktem Itabirit. Dies führte zur Bildung von bis zu 4 m mächtigen Einheiten, die auf stark brüchigem Itabirit mit geringer Festigkeit lagern. Zum anderen treten Anrisse / Brüche innerhalb des kompakten Itabirit auf (Abb. 8).

Abb. 8: Foto aus dem Bereich 1 ohne Überlagerung. Hier ist das Trennflächengefüge zu erkennen. Die Anrisse rot gestrichelt führen zu einer bergseitigen Ablösung der Blöcke. Brüchiger Itabarit befindet sich zwischen den grün gestrichelten Linien und bildet die Gleitebene. Die laterale Abgrenzung der Blöcke erfolgt durch Trennflächen die in der Ansichtsebene zu erkennen sind.

Grundsätzlich handelt es sich um zwei subvertikale Trennflächen die in etwa rechtwinklig zueinander stehen (Abb. 8). Diese bilden zum einen den Abriss quer zur Rutschrichtung, zum anderen bedingen sie meist die Segmentierung der Blöcke in horizontaler Richtung. Auch liegt die Foliation parallel zur Rutschfläche. Eine Kipprüfung im Itabirit im Feld hat einen Reibungswinkel von 34º ergeben. Die Neigung der Foliation beträgt 35º. Es ist anzunehmen, dass der Widerstand auf der Trennflächengefüge rein kohäsiv ist, was unter bestimmten z.B. hydraulischen Voraussetzungen die Sicherheitsfaktoren unter Eins (Bruch) bringen würde.

Der in Tests ermittelte Zusammenhalt würde es rechtfertigen, dass die Neigung der Schichtung größer ist als die Neigung des inneren Reibungswinkels der Rutschungszone. In Kippversuchen hätten höhere Reibungswinkel ermittelt werden müssen. Durch die Kartierung der Rauheit von Gleitflächen wurde eine Anisotropie für diese Flächen ermittelt. Deshalb wurden für den Bereich 1 anisotrope Scherfestigkeits-parameter (ungünstig hangabwärts) und für die Bereiche 2 und 3 die Scherfestigkeitsparameter des tragfähigen Materials angenommen. An isolierten Stellen des Grats, an denen sich der Bruchmechanismus aufgrund des Vorhandenseins von Canga (stark kohäsiv aufgrund der Laterisierung) von einem planaren Bruch unterschied, wurden spezifische Retroanalysen durchgeführt, um die Scherfestigkeitsparameter dieser Stellen zu bestimmen.

Bereich 2: Wie in Abbildung 3 und 4 dargestellt, ist der Bereich 2 durch umgelagerte Rutschmassen gekennzeichnet. Dieses Material lagert sich auf dem Festgestein ab, das dieselben geotechnischen Eigenschaften hat wie im Bereich 1 beschrieben. Die in Bereich 1 ermittelten Bruchmechanismen werden durch die Auflast der Ablagerungen in Bereich 2 stabilisiert (Erhöhung der Kohäsion), so dass diese Mechanismen bei der Planung von Bereich 2 ausser Acht gelassen werden konnten. Die darüber liegenden Ablagerungen mussten jedoch stabilisiert werden (Abb. 7).

Abb. 9: Bis zu 10 m tief eingeschnittene Rinnen in den Itabarit. Überlagert von umgelagerten Felssturzmassen und umgelagerten Sedimenten.

Bei den Feldbegehungen wurde festgestellt, dass die hydraulische Leitfähigkeit des Ablagerungsmaterials (Lockergestein) wesentlich höher ist als die des anstehenden Gesteins. Dies bestätigte sich in Laborversuchen. Dadurch wird das Entstehen eines schwebenden Grundwasserspiegels innerhalb des Ablagerungsmaterials begünstigt.

Auf der Grundlage der ermittelten Versagensmechanismen wurde im Bereich 2 folgender Untersuchungsplan festgelegt:

i) Erkundungsbohrungen zur Bestimmung der Mächtigkeit der Ablagerung;
ii) Ausziehversuche zur Bestimmung der Mantelreibung sowohl im umgelagerten Material als auch im Festgestein;
iii) direkte Schertests am Ablagerungsmaterial zur Überprüfung der Scherfestigkeit;
iv) Tests zur hydraulischen Durchlässigkeit des Ablagerungsmaterials mit maximalen und minimalen Hohlraumverhältnissen.

Bei den Vorbereitungen für die Sicherungsmassnahmen im Bereich 2 übertrafen die durchgeführten Beräumungen und Sprengungen die ursprünglichen Projekterwartungen. Dies ist auf den Einsatz eines Schreitbaggers zurückzuführen. Er ist in der Lage an Hängen bei grossen Neigungen zu arbeiten. Die Beräumungsarbeiten führten zu geringeren Mächtigkeiten der Überdeckung und einer gleichmässigeren Oberfläche. So wurden die Arbeiten der Stabilisierungs- und Entwässerungssysteme vereinfacht.

Um die Grundwasserspannung im Bereich 2 zu reduzieren und die Sicherheit im Hinblick auf die Stabilität der Ablagerungen zu erhöhen, wurden im Bereich 2 subhorizontale Drainagen eingefügt. Auf der Grundlage der Bemessungsregenmenge wurden die unterirdischen Fliessbedingungen des Hanges simuliert. So wurde der Abstand der Deep Horizontal Drains (DHP) in Anhängigkeit der Überlagerungsmächtigkeit ermittelt.

Bereich 3: Die ursprünglichen Abbauböschungen wurden beibehalten und sind an den Stellen, an denen sich der Abfluss von Oberflächenwasser konzentriert, von tiefen Rinnen durchzogen. Diese Rinnen haben sich zwischen 2008 und 2013 um bis zu 10m eingetieft. Die Ablagerungen befinden sich hauptsächlich in den Rinnen, und wenn sie ausserhalb der Rinnen auftreten, ist ihre Mächtigkeit sehr gering (kleiner 2m). Die Gefährdung besteht im Wesentlichen in der Weiterentwicklung der Rinnen durch weitere Eintiefung an der Basis und dem Nachbrechen der Schulterbereiche. Zwischen den Rinnen sind die Instabilitäten selten.

Die geotechnische Planung im Bereich 3 basierte auf der Anwendung der Massnahmen aus den Bereichen 1 und 2. Ausnahme sind die Felswände der Rinnen (Gullys). Diese wurden aufgrund ihrer Höhe von bis zu 30 m einzeln bemessen. Es wurden keine Labortests durchgeführt, sondern nur Erkundungsbohrungen und Auszugversuche.

Vorerkundung

Vor dem Bau bestand die örtliche geotechnische Untersuchung im Wesentlichen aus Hanginspektionen, da der Zugang in den Hang für Bohrungen, Probenahmen und Ausziehversuche nicht sicher war. Die Verankerungslänge der Vernagelungen wurde im Vorprojekt im Jahr 2008 auf der Grundlage von Ausziehversuchen festgelegt, die ausserhalb des Rutschungsbereiches in ähnlicher Geologie liegen (Abb. 10).

Es wurden Erkundungsbohrungen mit baueigenem Bohrgerät durchgeführt, überwacht und protokolliert. Das Untersuchungsprogramm lässt sich wie folgt in Zahlen zusammenfassen:

i) mehr als 200 detaillierte Feldbegehungen/ Kartierungen;
ii) 69 Erkundungsbohrungen;
iii) 170 Ausziehversuche;
iv) 20 Kippversuche;
v) 12 direkte Scherversuche;
vi) 2 Versuche zur hydraulischen Leitfähigkeit;
vii) 2 instrumentierte Ausreissversuche.

Abb. 10: Beispiel für einen Ankerzugversuch ausserhalb des Sicherungsbereiches.

Als Teil der Ergebnisse der Untersuchungen wurden Pläne der Ablagerungen in jedem der 150 Teilgebiete des Projekts erstellt. Alle im Rahmen des Projekts generierten Informationen wurden allen Beteiligten (Auftraggeber, Bauunternehmen, Berater) vom Planer in einer Web-GIS-Umgebung zur Verfügung gestellt. Die mit mobilen Geräten aufgenommenen Feldinformationen wurden direkt in das System geladen.

Bauausführung

Eine grosse Herausforderung bei der Ausführung bestand darin, die strengen Sicherheits-, und Qualitätsstandards mit eingeschränktem Zugang einzuhalten. Es wurden Laufstege und Leitern strategisch positioniert (Abb. 11), wobei der Zugang zu den endgültigen Arbeitspositionen über Seile erfolgte.

Im Vorfeld wurden verschiedene Transportarten untersucht. Kräne, Seilbahnen, und Helikopter.

Abb. 11: Zuwegung zur Baustelle über Gerüste im Vordergrund. Im Hintergrund Bohr- und Verlegearbeiten.

Die Nutzung von Helikoptern hat sich als die effizienteste Methode erwiesen. Diese Montagetechnik wurde für Felssicherungen bis dahin in Brasilien noch nicht angewandt. Deshalb wurde ein lokales Unternehmen in der Montagetechnik ausgebildet.

Die Bohrungen wurden mit speziellen Geräten für dieses Gelände hergestellt. Es wurde mit Drehschlagbohren (Imlochhammer) und Verrohrung im Lockergestein gebohrt.

Als Injektionssystem wurde ein zentrales System mit 3 Kolbenpumpen mit einem Druck von bis zu 80 kg/cm² verwendet. So wurden Druckverluste in Verteilungsnetzen auf den mehr als 500 m Länge verringert. Für die Beräumung der Böschungen wurde ein Schreitbagger (Abb. 7) aus Europa importiert, der in der Lage ist, an Hängen mit bis zu 60º zu arbeiten.

Abb. 12: Überblick über die Sicherungen währende der Baumassnahme. Im oberen Bereich sind die Entwässerungsrinnen gut zu erkennen.

Dieses Gerät spielte auch eine wesentliche Rolle bei der Vorbereitung der Installation der Oberflächenentwässerung. Insgesamt wurden 2.700 m³ Entwässerungsrinnen betoniert (Abb. 12).

Instrumentierung

Zur Bauüberwachung wurde eine strenge Qualitäts- und Prozesskontrolle durchgeführt. Es wurden mehr als 2.500 Betonproben geprüft. In täglichen Bauberichten wurden alle Tätigkeiten und Baustellenanweisungen an allen Arbeitstagen festgehalten. Es wurden Abnahmeverfahren für die Sicherungsbereiche eingeführt. Ausserdem wurde ein Massnahmenplan entwickelt für die Ausführungsphase, um das Funktionieren des Entwässerungssystems zu überwachen. Es wurden vier verschiedene Systeme installiert, die in der Lage sind, zuverlässige und kohärente Daten zu liefern, um die erforderlichen Validierungen durchzuführen.

System 1: bestehend aus zwei instrumentierten Auszugsversuchen. Die Auszugsversuche wurden mit zwei injizierten und zwei freien Messgeräten durchgeführt. Acht Kraftmessdosen wurden entlang des Ankers angebracht, so dass einzelne Messungen der lokalen Belastung vorgenommen werden konnten.

System 2: Vier instrumentierte Anker, ein Piezometer und eine Druckmesszelle gehören zu diesem System. Es wurde an einer Stelle installiert, an der die Mächtigkeit des abgelagerten Materials etwa 5 m beträgt. In der Mitte wurde eine Druckmesszelle installiert, um die Spannung (und Spannungsschwankungen) aufzuzeichnen.

System 3: Fünf Inklinometer mit unterschiedlichen Längen im Bereich 2 und in den Rinnen im Bereich 3.

System 4: Sechs Überwachungskameras zur Kontrolle der Entwässerungssysteme. Alle Systeme sind automatisiert und werden von Batterien gespeist, die an eine Fotovoltaikanlage angeschlossen sind. Als Ergebnis der Überwachung ist die Aufzeichnung des Wasserflusses innerhalb des Entwässerungssystems hervorzuheben, wodurch der "selbstreinigende" Charakter bestätigt werden konnte.

Zusammenfassung

In diesem Beitrag wurde die Planung und die Arbeiten zur Hangsicherung in der Mineração Águas Claras in Brasilien vorgestellt. Es wurde die Bedeutung der Durchführung von Kontrollen, der Überprüfung von Berechnungsparametern, der Validierung der Entwurfsplanung durch Instrumentierung und der Verbesserung der Baumethoden und der Baugeräte aufgezeigt. Diese Faktoren führten zu einer erfolgreichen Durchführung der Arbeiten und zu Einsparungen für den Auftraggeber. In einer vorläufigen Analyse wurden bei den Bauarbeiten Einsparungen bei den Bohrungen und Injektionen erzielt. Insgesamt kann festgestellt werden, dass sich der Aufwand für die Untersuchung, Kontrolle und Instrumentierung wirtschaftlich und in Bezug auf die Arbeitssicherheit gelohnt hat.

Literatur:

BVP, 2014. Readequação da região sul da cava – MAC. Mapa Geológico, Projeto Básico

FGS Engenharia Geotécnica e Ambiental (2014) Projeto executivo de estabilização do morro do patrimônio. Relatório técnico não publicado preparado para VALE.

Figueiredo Ferraz Consultoria e Engenharia de Projeto Ltda (1992) The Patrimônio Rockslide: A Geotechnical Analysis – Unpublished Report Prepared to MBR;

FRANCA P. R. B. (1997) Analysis of Slope Stability Using Limit Equilibrium and Numerical

Methods With Case Examples From The Águas Claras Mines, Brazil. Queen's University, Kingston, Ontário - Canadá. 204p.

GEOBRUGG/GEOTEST (2008) Projeto executivo MAC. Relatório técnico não publicado preparado para VALE.

VIEIRA DA COSTA, T.A. (2008). Resistência e Deformabilidade do Minério Hematítico Friável nas Minas da VALE/DIFL. Borda oeste do Quadrilátero Ferrífero - MG. Dissertação de Mestrado. UFOP. Ouro Preto – MG. 120p;

Felssicherung
und
Zaunbau
LET'S ROCK
für Sie im Auftrag der Sicherheit unterwegs
Königl
GmbH & Co. KG
Felssicherung und Zaunbau
Felssicherung
und
Zaunbau
Winterhäuser Straße 104 - 97084 Würzburg
Tel.: 0931 / 660 80 - 0 Fax: 0931/ 660 80 -20
www.koenigl.de

5 Rutschungsforschung in Alaska: wissenschaftliche Fragestellungen und logistische Herausforderungen

ANJA DUFRESNE, EMILIE LEMAIRE, POOYA HAMDI, FLORIAN AMANN
INGENIEURGEOLOGIE UND HYDROGEOLOGIE, RWTH-AACHEN UNIVERSITÄT, LOCHNERSTR. 4-20, 52064 AACHEN

Einführung

Südost- und Zentral-Alaska sind zwischen 62° und 55° nördlicher Breite gelegen, was in etwa den Färöern bis Schleswig-Holstein entspricht. Winter in Alaska können sich, anders als bei uns, von September bis in den Juni erstrecken und erst dann die Bergwelt in Höhenlagen von letzten Schneereste freigeben. Bis zu -10°C (weatherspark) fallen die Temperaturen im Winter auf der südlich der Hauptstadt Anchorage gelegenen Kenai Halbinsel. Die Sommer halten 10-17°C bereit. Die hauptsächlich von verwinkelten Küsten und Fjorden geprägte Landschaft ist Heimat zahlreicher Gletscher (~12% der weltweiten Gletscher, ausgenommen der Eisdecken von Grönland und der Antarktis; Pfeffer et al., 2014; Yang et al., 2020), die oft bis auf Meeresspiegel hinunterreichen. Wie weltweit beobachtbar, sind auch diese Gletscher von Rückzug und Abschmelzen (und damit einhergehende Veränderung der Eismächtigkeit) betroffen (Arendt et al., 2002; Larsen et al., 2015; Black and Kurtz, 2022). Besonders jene die in Seen enden erfuhren in den letzten Jahrzehnten den größten Massen- und Gebietsverlust relativ zu jenen, deren Terminus an Land oder in Kontakt zu Gezeitenwasser liegen (Tsutaki et al., 2013; Jones et al., 2016; Carrivick et al., 2020; Black and Kurtz, 2022; Yang et al., 2022). Steile Topographie und hohe Seismizität der Plattenkonvergenz der Pazifischen und Nord-Amerikanische Platte tragen ihren Teil zur Destabilisierung von Felshängen bei.

Unsere Forschungsgebiete liegen oberhalb der Gletscher Grewingk (südliche Kenai Halbinsel) und Portage (unweit Anchorage) [Abb 1]. Beide Gletscher haben sich über die letzten Jahrzehnte massiv zurückgezogen sowie an Eismächtigkeit verloren. Des Weiteren liegen beide Gletscher an Seen, die in den kurzen Sommermonaten gerne von Touristen besucht werden und im Winter Einheimische zum Eislaufen einladen.

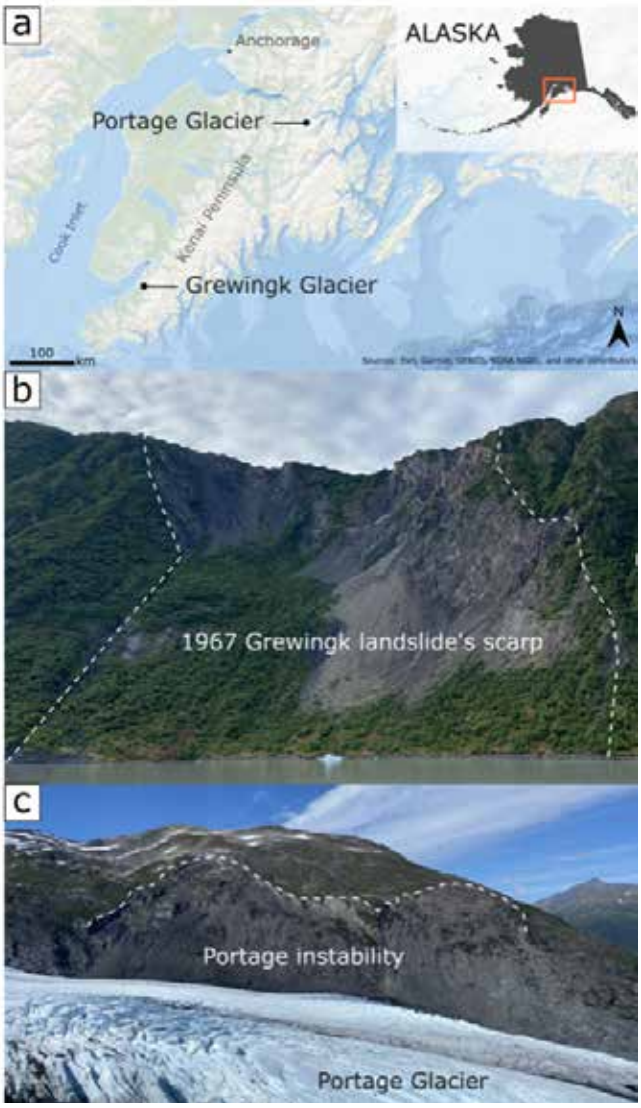

Figure 1. (a) Location map. (b) The 1967 failure scarp above Grewingk Lake. (c) Current instability above the terminus of Portage Glacier.

Grewingk: Wissenschaftliche Fragestellung

Am Grewingk kam es 1967 zum Versagen einer 22 Millionen Kubikmeter großen Felspartie, welche einen Tsunami auslöste, der bis circa 60 Meter über dem Seeniveau Bäume aus dem Felsen riss (Wiles and Calkin, 1992). Zeitlich korreliert dies grob mit dem Stand der Gletscherfront, die wenige Jahre zuvor noch direkt unterhalb des abgebrochenen Hangbereichs lag (Lemaire et al., eingereicht). Bei genauerer Betrachtung fällt allerdings auf, dass das Eis zu dem Zeitpunkt bereits beträchtlich in der Höhe geschrumpft war und keine Berührung zu dem Rutschkörper mehr hatte. Das Hangversagen selbst erfolgte in Sequenzen. Am höher gelegenen Steilhang kam es schon vor 1967 zu etwas kleineren Rutschungen. In dem Zeitraum ereigneten sich in der Region Erdbeben mit Magnituden von M > 5, sowie das Karfreitagsbeben von 1964 mit einer Magnitude von MW9,2 in Prince William Sound. Ob die Rutschmasse von 1967 in einem oder zwei Stürzen herunterkam konnten wir anhand von kinematischen und Auslaufmodellen nicht eindeutig klären, da beide Szenarien die heute bekannte Auslaufdistanz plausibel erklären können. Im Fall Grewingk spielten eine Reihe von Faktoren eine Rolle. Kontinuierliche Seismizität, Entfernung des Widerlagers am Hangfuß durch Reduzierung der Eismächtigkeit und damit Auflast, steile Hänge und die strukturgeologischen Gegebenheiten, welche einen Abbruch kinematisch denkbar machen.

Grewingk: Logistische Herausforderungen

Die Arbeiten am Grewingk Gletscher umfassten detaillierte strukturgeologische Vermessungen, Einmessung der als potentielle Rutschung identifizierten Masse per GNSS, Aufbau einer Wetterstation durch dortige Kollegen, Geländeaufnahmen per Drohnen-befliegung, Erkundung der Hänge vom See aus, sowie Laserscans von der anderen Seeseite aus. Die logistischen Herausforderungen nehmen zu, je näher wir dem Untersuchungsgebiet kommen. Von Frankfurt nach Anchorage ist es ein 10-Stunden Flug. Von dort mit einer kleineren Maschine und 45 Minuten Flugzeit bis nach Homer, der südlichsten Siedlung Alaskas und gemeinhin als „end of the road“ bezeichnet, da es von dort über Straßen nicht weitergeht. Stattdessen setzten wir mit dem Wassertaxi über die Kachemak Bay in 45-minütiger Fahrt vorbei an Ottern und zerklüfteten Küsten und wurden an einem unscheinbaren Strand, der der Anfang eines Wanderpfades bildet abgesetzt. Dort über Treppen und steile Serpentinen bis zum Scheideweg, von dem aus es links zum See (circa 1,5-2-stündigen Wanderung) und rechts zum Top der Alpine Ridge geht (circa 7 Stunden Wanderung). Bepackt mit Pack Rafts (aufblasbare, seetüchtige Kajaks), Paddeln, Laserscanner, Zelten, Bärenzaun, Bärenspray, Schaufeln, Akku-Bohrer (für Markierungen), sowie Verpflegung und Wasser geht es weiter. Sondergenehmigungen sind nötig, um in der empfindlichen Alpinen Landschaft Untersuchungen vornehmen zu dürfen, vor allem wenn diese Zelten und Anbringung von Markierungen beinhalten. Bei gutem Wetter ein anstrengendes aber schönes und lohnenswertes Unterfangen. Im Sommer 2022 dagegen hat es nahezu durchgängig geregnet. Im strömenden Regen und mit dem 26-kg schweren, etwa 90 000 € teuren Laserscanner ging es im aufblasbaren Kanu (was bei aller Misere auch noch ein Loch bekam und langsam volllief während unser Kollege mit vollem Tempo zum nächsten Landeplatz paddelte) zu dem 5 km den See hoch gelegenen Vermessungsort. Trotz dieses Einsatzes waren die Daten am Ende nicht verwertbar, da es durch den Regen zu viele Interferenzen gab.

Portage: Wissenschaftliche Fragestellung

Die Arbeiten am Portage Gletscher (in Kooperation mit der ETH Zürich und, wie schon am Grewingk Gletscher, mit Groundtruth Alaska, sowie lokalen Behörden und Universitäten) begannen in jenem verregneten Sommer 2022. Die dort aktuell aktiven Rutschgebiete oberhalb der Gletscherfront scheinen einen progressiven Verlauf entlang der Front zu haben und sind stark von den strukturgeologischen Verhältnissen kontrolliert. Während die Rutschung direkt oberhalb der Front wenig Versatz zeigt, weist die darauffolgende (und größere) Rutschung augenscheinlich akkumulierte Deformationen im Meterbereich auf. Auswertungen von InSAR Daten und vergleichende Punktwolken-analysen zeigen zudem weiterhin anhaltende Deformation.

Portage: Logistische Herausforderungen

Zwei Tage Ankommen, Jetlag überwinden, Batterien aufladen und Vorräte einkaufen waren geplant. Die Wettervorhersage sah leidlich aus, bis auf einen Tag, direkt nach Ankunft. Wir konnten den Helikopter auf den Tag umbuchen und verbrachten 10 Stunden, trotz Jetlag und Übermüdung, damit Laserscanaufnahmen zu machen, wobei der Helikopter uns zwischen den Stationen taxierte. Sowie structure-from-motion Aufnahmen bei ausgehängten Türen vom Helikopter aus entlang dem gesamten Rutschungshang und der direkten Umgebung für strukturgeologische Untersuchungen. Zelten auf dem Hang oberhalb der Rutschung war aufgrund der Wetterlage keine Option mehr. Stattdessen wieder mit Pack Raft, bzw. Helikopter an den Hang für Kompass-einmessungen. Dabei kam auch unser erst im Vorjahr gekauftes Satellitentelefon zum Einsatz, um dem Piloten, der aufgrund der tiefen Wolkendecke nicht zum oberen Hang fliegen konnte, den Ort der Abholung mitzuteilen. Ohne Helikopter wäre es ein langer und gefährlicher Rückweg entlang regennasser, rutschiger Felsmassen und durch dorniges Gestrüpp gewesen.

Resümee

Alaska bietet aufgrund der Fülle von Gletschern ideale Voraussetzungen für die Erforschung der Auswirkungen des Gletscherschwundes auf die Stabilität periglazialer Felsböschungen. Das Land hält allerdings aufgrund seiner Abgeschiedenheit und Witterungsbedingungen viele Überraschungen und Herausforderungen offen. Man ist gut beraten, viel Zeit und Geduld sowie ein gutes Buch mit im Gepäck zu haben.

Kontakt

dufresne@lih.rwth-aachen.de

Referenzen

Arendt AA, Echelmeyer KA, Harrison WD, Lingle CS, Valentine VB (2002). Rapid wastage of Alaska glaciers and their contribution to rising sea level. Science, 297,382–386.

Black T, Kurtz D (2023). Maritime glacier retreat and terminus area change in Kenai Fjords National Park, Alaska, between 1984 and 2021. Journal of Glaciology, 69(274), 251-265.

Carrivick JL, Tweed FS, Sutherland JL, Mallalieu J (2020). Toward numerical modeling of interactions between ice-marginal proglacial lakes and glaciers. Frontiers in Earth Sciences, 8, 577068.

Jones BM, Baughman CA, Romanovsky VE, Parsekian AD, Babcock EL, Stephani E, Kones MC, Grosse G, Berg EE (2016). Presence of rapidly degrading permafrost plateaus in southcentral Alaska. The Cryosphere, 10(6), 2673-2692.

Larsen CF, Burgess E, Arendt AA, O'Noeel S, Johnson AJ, Kienholz C (2015) Surface melt dominates Alaska glacier mass balance. Geophysical Research Letters 42, 5902–5908.

Lemaire, E., Dufresne, A., Hamdi, P., Higman, B., Wolken, G., Amann, F. (im Review). Back-analysis of the paraglacial slope failure at Grewingk Glacier and Lake, Alaska. Eingereicht bei Landslides.

https://weatherspark.com/y/215/Average-Weather-in-Kenai-Alaska-United-States-Year-Round

Pfeffer W, Arendt A, Bliss A, Bolch T, Cogley J, Gardner A, Hagen J-O, Hock R, Kaser G, Kienholz C, Miles ES, Moholdt G, Mölg N, Paul F, Radic V, Rastner P, Raup BH, Rich J, Sharp M, The Randolph Consortium (2014). The Randolph Glacier Inventory: A globally complete inventory of glaciers. Journal of Glaciology, 60(221), 537-552.

Tsutaki S, Sugiyama S, Nishimura D, Funk M (2013). Acceleration and flotation of a glacier terminus during formation of a proglacial lake in Rhonegletscher, Switzerland. Journal of Glaciology, 59, 559–570.

Wiles GC, Calkin PE (1992) Reconstruction of a debris-slide-initiated flood in the southern Kenai Mountains, Alaska. Geomorphology, 5, 535–546.

Yang R, Hock R, Kang S, Shangguan D, Guo W (2020). Glacier mass and area changes on the Kenai Peninsula, Alaska, 1986–2016. Journal of Glaciology, 66(258), 603–617.

Yang R, Hock R, Kang S, Guo W, Shangguan D, Jiang Z, Zhang Q (2022). Glacier Surface Speed Variations on the Kenai Peninsula, Alaska, 2014–2019. Journal of Geophysical Research, Earth Surface 127.

geo-international · beratende Ingenieurgeologen
Erkunden
Beraten
Planen
Überwachen
Erkunden
Beraten
Planen
Überwachen
geo-international Dr. Johannes Feuerbach GmbH Mombacher Straße 49 - 53 55 122 Mainz
Tel.: 06131 387071 - Fax: 06131 387076
e-mail: mail@geo-international.info
Internet: www.geo-international.info

6 Massenbewegungen als schädliche Bodenveränderungen

PROF. DR. GEORG WIEBER, FORSCHUNGSSTELLE RUTSCHUNGEN UND INSTITUT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN DER UNIVERSITÄT MAINZ

Zusammenfassung:

Voraussetzung zur Anwendung des BBodSchG bei Massenbewegungen ist, dass Bodenfunktionen beeinträchtigt sind, durch die Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen hervorgerufen werden. Bei Rutschungen oder Massenbewegungen sind das in erster Linie Nutzungsfunktionen (z.B. Siedlungs-, Infrastruktur etc.). In diesen Fällen sind die notwendigen Maßnahmen durch die zuständigen Bodenschutzbehörden zu veranlassen. In der Regel sind das in Rheinland-Pfalz die Struktur- und Genehmigungsdirektionen (SGD Nord und SGD Süd).

Abstract:

A prerequisite for the application of the BBodSchG in the case of mass movements is that soil functions are impaired which cause hazards, significant disadvantages or significant nuisances. In the case of landslides or mass movements, these are primarily utilization functions (e.g. settlement, infra¬structure, etc.). In these cases, the necessary measures are to be initiated by the responsible soil protection authorities. As a rule, these are in Rheinland-Pfalz the structural and approval directorates (SGD Nord and SGD Süd).

1. Einleitung:

In Rheinland-Pfalz kommt es insbesondere im Bereich der steil eingeschnittenen Flusstäler häufiger zu Massenbewegungen. In Zusammenarbeit mit der Universität Mainz, der Forschungsstelle Rutschungen, dem Landesamt für Mobilität und dem Landesamt für Geologie und Bergbau wird mit Förderung durch das Wirtschaftsministerium ein Massenbewegungskataster erarbeitet. Neben der Dokumentation von Rutschungsereignissen soll das Kataster Planungs- und Genehmigungsbehörden frühzeitig Informationen zu Gefährdungen durch Massenbewegungen liefern. Diese können Gefährdungen für die Infrastruktur (Verkehrswege, Gebäude etc.) darstellen. Beispielsweise kam es am 23. Dezember 2022 im Bereich des Mittelrheintales zwischen Oberwesel und Bacharach zu einem Hangrutsch, der zur Sperrung der rechtsrheinischen Bahnstrecke sowie der B 9 über mehrere Tage führte. Am 15.03.2021 war es bereits auf der gegenüber liegenden Rheinseite bei Kestert zu Massenbewegungen gekommen, die zur Sperrung der rechtsrheinischen Bahnstrecke sowie der B 42 führten.

Im Rahmen dieser Arbeit wird beschrieben, inwieweit die Regelungen des Bundesbodenschutzgesetzes (1998) sowie der Bodenschutz- und Altlastenverordnung (1999) einschlägig sind.

2. Rechtsgrundlagen: Das Bundesbodenschutzgesetz und die Bundesbodenschutzverordnung:

Das Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (BBodSchG, 1998) beschreibt den Zweck „nachhaltig die Funktionen des Bodens zu sichern oder wiederherzustellen“ (§ 1 BBodSchG). Die fachlichen Anforderungen sind in der Bundesbodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV,1999) festgelegt.

Als schädliche Bodenveränderungen werden Beeinträchtigungen der Bodenfunktionen definiert, die geeignet sind, Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen für den einzelnen oder die Allgemeinheit herbeizuführen (§ 2 Abs. 2 Ziffer3 BBodSchG). Dabei werden natürliche Funktionen, Funktionen als Archiv der Natur- und Kulturgeschichte sowie Nutzungsfunktionen (§ 2 Abs. 2 BBodSchG) unterschieden. Neben Beeinträchtigungen der Bodenfunktionen durch chemische Belastungen und/ oder stoffliche Einträge können aber auch physikalische Einwirkungen schädliche Bodenveränderungen hervorrufen.

3. Schädliche Bodenveränderungen durch Bodenerosion

In § 8 (BBodSchV 1999) werden Anforderungen zur Gefahrenabwehr von schädlichen Bodenveränderungen auf Grund von Bodenerosion durch Wasser festgelegt.
(1) Von dem Vorliegen einer schädlichen Bodenveränderung auf Grund von Bodenerosion durch Wasser ist insbesondere dann auszugehen, wenn:

1. durch Oberflächenabfluss erhebliche Mengen Bodenmaterials aus einer Erosionsfläche geschwemmt wurden und
2. weitere Bodenabträge gemäß Nummer 1 zu erwarten sind.

(2) Anhaltspunkte für das Vorliegen einer schädlichen Bodenveränderung auf Grund von Bodenerosion durch Wasser ergeben sich insbesondere, wenn außerhalb der vermeintlichen Erosionsfläche gelegene Bereiche durch abgeschwemmtes Bodenmaterial befrachtet wurden.

(3) Bestehen Anhaltspunkte nach Absatz 2, ist zu ermitteln, ob eine schädliche Bodenveränderung auf Grund von Bodenerosion durch Wasser vorliegt. Ist feststellbar, auf welche Erosionsfläche die Bodenabschwemmung zurückgeführt werden kann und dass aus dieser erhebliche Mengen Bodenmaterials abgeschwemmt wurden, so ist zu prüfen, ob die Voraussetzungen des Absatzes 1 Nr. 2 erfüllt sind.

(4) Die Bewertung der Ergebnisse der Untersuchungen erfolgt einzelfallbezogen unter Berücksichtigung der Besonderheiten des Standortes. Weitere Bodenabträge sind zu erwarten, wenn
> 1. in den zurückliegenden Jahren bereits mehrfach erhebliche Mengen Bodenmaterials aus derselben Erosionsfläche geschwemmt wurden oder
> 2. sich aus den Standortdaten und den Daten über die langjährigen Niederschlagsverhältnisse des Gebietes ergibt, dass in einem Zeitraum von zehn Jahren mit hinreichender Wahrscheinlichkeit mit dem erneuten Eintritt von Bodenabträgen gemäß Absatz 1 Nr. 1 zu rechnen ist.

(5) Die weiteren Anforderungen an die Untersuchung und Bewertung von Flächen, bei denen der Verdacht einer schädlichen Bodenveränderung auf Grund von Bodenerosion durch Wasser vorliegt, sind in Anhang 4 bestimmt.

(6) Wird die Erosionsfläche landwirtschaftlich genutzt, ist der zuständigen Beratungsstelle gemäß § 17 des Bundes-Bodenschutzgesetzes die Gelegenheit zu geben, im Rahmen der Beratung geeignete erosionsmindernde Maßnahmen für die Nutzung der Erosionsfläche zu empfehlen. Bei Anordnungen ist Einvernehmen mit der zuständigen landwirtschaftlichen Fachbehörde herbeizuführen.

In Anhang 4 BBodSchV finden sich weitere Anforderungen zur Untersuchung und Bewertung von schädlichen Bodenveränderungen durch Bodenerosionen durch Wasser:

Bestehen Anhaltspunkte für das Vorliegen einer schädlichen Bodenveränderung auf Grund von Bodenerosion durch Wasser, so ist zunächst zu prüfen,

a) ob erhebliche Mengen Bodenmaterials aus der Erosionsfläche geschwemmt wurden und
b) auf welche Erosionsflächen und auf welche Verursacher die Bodenabschwemmung zurückzuführen ist. Hinweise für eine Identifikation der Erosionsfläche ergeben sich vor allem durch deutlich sichtbare Übertrittsstellen von Bodenmaterial von der Erosionsfläche zu den außerhalb der Erosionsfläche gelegenen und durch Bodenmaterial beeinträchtigten Bereichen. Weitere Hinweise ergeben sich aus dem Vorliegen deutlich sichtbarer Erosionsformen auf der Erosionsfläche. Bei der Prüfung gemäß Buchstabe a kann es erforderlich sein, die bei einem Erosionsereignis oder in Folge von Erosionsereignissen, die im Abstand von maximal wenigen Wochen nacheinander aufgetreten sind, von einer Verdachtsfläche abgeschwemmte Bodenmenge abzuschätzen. Dies kann mit Hilfe der "Kartieranleitung zur Erfassung aktueller Erosionsformen" (DVWK 1996) erfolgen. Für die Abschätzung der Wiedereintrittswahrscheinlichkeit von Bodenabträgen gemäß § 8 Abs. 1 sind insbesondere gebietsspezifische statistische Auswertungen langjähriger Niederschlagsaufzeichnungen des Deutschen Wetterdienstes heranzuziehen. Hierzu können auch Erosionsprognosemodelle als Hilfsmittel genutzt werden, soweit sie nachweislich geeignet sind, die aus den Erosionsflächen abgeschwemmten Bodenmengen bei konkret eingetretenen Erosionsereignissen mit hinreichender Genauigkeit abzuschätzen. Die Bedingungen für die Erwartung weiterer Bodenabträge gemäß § 8 Abs. 1 Nr. 2 sind in der Regel erfüllt, wenn innerhalb der letzten zehn Jahre mindestens in einem weiteren Fall erhebliche Mengen Bodenmaterials aus derselben Erosionsfläche geschwemmt wurden.

In der Mantelverordnung (2021) werden die Anforderungen für Ersatzbaustoffe und Bodenschutz novelliert. Sie tritt am 1.8.2023 in Kraft.

4. Rechtliche Einordnung und Vorgehensweise

In der Geologie wird unter Erosion der Abtrag von Locker- und Festgestein verstanden. Dabei kommt der natürlichen Erosion infolge von Verwitterung eine bedeutende Rolle zu. Die Definition von Boden gemäß BBodSchG sowie Boden im Sinne der wissenschaftlichen Bodenkunde unterscheiden sich dahingehend, dass Boden im Sinne des BBodSchG auch tiefere Böden umfasst, die Träger von Bodenfunktionen sind, d.h. Festgesteine. Gefahren durch Erosionen können also auch Gefahren durch Massenverlagerungen in geologischem Sinne umfassen (z.B. Großrutschungen, Felsstürze etc.). Voraussetzung ist allerdings, dass Bodenfunktionen beeinträchtigt werden und dadurch Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen hervorgerufen werden. Allerdings ist im BBodSchG eine Erosionsfläche definiert als Fläche, von der Bodenmaterial mit Oberflächenabfluss abgespült wird.

Unter Bodenfunktionen werden im Einzelnen verstanden (§ 2 Abs. 2 BBodSchG):

1. natürliche Funktionen als
a) Lebensgrundlage und Lebensraum für Menschen, Tiere, Pflanzen und Bodenorganismen,
b) Bestandteil des Naturhaushalts, insbesondere mit seinen Wasser- und Nährstoffkreisläufen,
c) Abbau-, Ausgleichs- und Aufbaumedium für stoffliche Einwirkungen auf Grund der Filter-, Puffer- und Stoffumwandlungseigenschaften, insbesondere auch zum Schutz des Grundwassers,

2. Funktionen als Archiv der Natur- und Kulturgeschichte sowie

3. Nutzungsfunktionen als
a) Rohstofflagerstätte,
b) Fläche für Siedlung und Erholung,
c) Standort für die land- und forstwirtschaftliche Nutzung,
d) Standort für sonstige wirtschaftliche und öffentliche Nutzungen, Verkehr, Ver- und Entsorgung.

Im Falle von Massenbewegungen in Form von (größeren) Rutschungen kann es sich um natürlich hervorgerufene Erosionsereignisse handeln, andererseits ist es aber auch häufig so, dass haltende Kräfte durch anthropogene Maßnahmen - wie Abgrabungen am Böschungsfuß - verringert wurden.

Gemäß den Vorgaben des BBodSchG ergibt sich folgende Vorgehensweise (Wieber, 2002):

a) Liegen der zuständigen Behörde Hinweise auf schädliche Bodenveränderungen oder Altlasten vor, so hat sie zunächst eine **(Erfassungs-) Bewertung** durchzuführen, ob es sich um eine Verdachtsfläche oder Altlast handelt.
b) Wird die Fläche von der zuständigen Behörde als Verdachtsfläche eingestuft, so soll sie zur Ermittlung des Sachverhalts geeignete Maßnahmen ergreifen (§ 9 Abs. 1 BBodSchG). In der Regel sind das **orientierende Untersuchungen**, die im Rahmen der Amtsermittlung durchzuführen sind (§ 3 Abs. 3 BBodSchV.
c) Bestätigt sich der Verdacht und es bestehen konkrete Anhaltspunkte einer schädlichen Bodenveränderung, kann die Behörde Untersuchungen zur Gefährdungsabschätzung anordnen (§ 9 Abs. 2 BBodSchG). Dabei handelt es sich in der Regel um Detailuntersuchungen gemäß § 2 Abs. 4 BBodSchV.
d) Die **Detailuntersuchungen** hat die zuständige Behörde zu bewerten und die daraus sich ergebenden notwendigen weiteren Maßnahmen zu veranlassen. Dies können z.B. Anordnungen zur Planung **(Sanierungsplanung)** und/oder Durchführung von **Sicherungs- oder Sanierungsmaßnahmen** sein.

5. Bedeutung:

Voraussetzung zur Anwendung des BBodSchG bei Massenbewegungen ist, dass Bodenfunktionen beeinträchtigt sind, durch die Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen hervorgerufen werden. Bei Rutschungen oder Massenbewegungen sind das in erster Linie Nutzungsfunktionen (z.B. Siedlungs-, Infrastruktur etc.). In diesen Fällen sind die notwendigen Maßnahmen durch die zuständigen Bodenschutzbehörden zu veranlassen. In der Regel sind das in Rheinland-Pfalz die Struktur- und Genehmigungsdirektionen (SGD Nord und SGD Süd). Diese rechtliche Sichtweise wurde mehrfach gerichtlich bestätigt z.B.:

- Az. 7 L 963/12.KO (Beschluss vom 04.12.2012)
- 4 K 101/15.KO (Urteil vom 07.04.2016)
- 4 K 761/19.KO (Urteil vom 29.10.2020)
- 1 A 10363/21.OVG (Urteil vom 12.07.2022)

Die zuständige Behörde beteiligt bei Fragen fachlicher Art die Fachberhörden (§13 LBodSchG). Im Fall von Massenbewegungen ist dies in der Regel das Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz.

Bei Planungen (z.B. Bauleitplanung) sind im Vorfeld der Genehmigungen die Träger öffentlicher Belange zu beteiligen und Hinweise auf mögliche den Planungen entgegen stehende Gefährdungen einzuholen. Den Bedenken der Fachbehörden ist im Vorfeld der Genehmigung nachzugehen. Mit Erlass von Bebauungsplänen wird Baurecht geschaffen und das Gebiet für bebaubar erklärt. In solchen Fällen ist es somit Aufgabe des Trägers der Bauleitplanung gesunde Wohn- und Arbeitsverhältnisse sowie Verkehrsicherungspflichen nachzukommen.

Steinschläge können zwar Gefährdungen darstellen, jedoch liegt keine Beeinträchtigung von Bodenfunktionen vor. Eine Anwendbarkeit für des BBodSchG ist somit nicht gegeben.

In Rheinland-Pfalz wurde intensiver untertägiger Erzbergbau betrieben. Bei durch ehemalige Bergbauanlagen verursachte Sackungen ist das BBodSchG meist nicht anwendbar, da es sich um technische Bauwerke und nicht um Beeinträchtigungen von Bodenfunktionen handelt. Gleiches gilt für Wasser- oder Schlammaustritte aus Bergwerksstollen.

Literatur:

BBodSchG (1998): Bundesbodenschutzgesetz, erlassen am 17.3.1998, letzte Änderung am 31. August 2015.

BBodSchV (1999): Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung, letzte Änderung am 31. August 2015.

LBodSchG – Landesbodenschutzgesetz - Rheinland-Pfalz vom 25. Juli 2005; GVBl. Nr. 16 vom 02.08.2005 S. 302

Mantelverordnung (2021): Verordnung zur Einführung einer Ersatzbaustoffverordnung, zur Neufassung des Bundesbodenschutz- und Altlastenverordnung und zur Änderung der Deponieverordnung und Gewerbeabfallverordnung vom 11.06.2021.

Wieber, G. (2002): Bodenverunreinigungen und Bodenschutz. – Universität Koblenz – Landau (Hrsg.): Anthropogene Einflüsse auf den Boden, 8, Studienbrief 1: 158 S., Koblenz.

- Baugrund
- Altlastensanierung
- Grundwasser
- Bodenverunreinigungen
- Hydrogeologie
- Deponien
- Rutschungssanierung
- Lagerstätten
- Grundbaulabor

GEOTECHNIK
Team Mainz GmbH
Ingenieurgeologen / Hydrogeologen

Nikolaus-Otto-Straße 6
D - 55129 Mainz
Tel. +49 6131 91 35 24 0
Fax +49 6131 91 35 24 44
www.geotechnik-mainz.de
mail@geotechnik-mainz.de

Verkehrssicherungspflicht bei Hangrutschungen: Haftungsfragen

RA PETER HENNINGSEN, RECHTSANWALTSGESELLSCHAFT DORNBACH GMBH, MAINZ

I. Einführung

Verkehrssicherungspflichten begegnen uns im täglichen Leben laufend. „Eltern haften für ihre Kinder“ ist in diesem Zusammenhang eine wohl allen geläufige, irrsinnige Phrase.
Auf den Kern ihres Zwecks reduziert kann man sagen, Verkehrssicherungspflichten dienen dazu, Schäden durch geeignete Maßnahmen zu vermeiden. Gerade bei Hangrutschungen kommt es regelmäßig zu hohen Schäden für den jeweiligen Unterlieger. Der nachfolgende Beitrag beleuchtet daher die Grundsätze zur Haftung im Rahmen der Verkehrssicherungspflichten und überträgt sie auf die von Hangrutschungen ausgehenden Gefahren.

II. Verkehrssicherungspflicht im Allgemeinen

Nach der herrschenden Rechtsprechung treffen Verkehrssicherungspflichten jeden, der eine von ihm zu verantwortende Gefahrenquelle für andere eröffnet. Auf Grund der Gefahrenquelle ist auf die Interessen der Gesamtheit Rücksicht zu nehmen, niemand darf zu schaden kommen (vgl. dazu schon das Urteil des Reichsgerichts vom 13.02.193 – Rep. VI. 349/02). Der Bundesgerichtshof hat daraus die heute übliche Definition entwickelt:

„Derjenige, der eine Gefahrenlage – gleich welcher Art – schafft, ist grundsätzlich verpflichtet, die notwendigen und zumutbaren Vorkehrungen zu treffen, um eine Schädigung anderer möglichst zu verhindern.“

Rechtsdogmatisch leitet man die Verkehrssicherungspflicht aus der deliktischen Haftung ab, nach der jeder haften kann. Das Deliktsrecht beschäftigt sich mit sogenannten „unerlaubte Handlungen“ und findet sich in den §§ 823 bis 852 BGB. Begeht jemand eine solche unerlaubte Handlung haftet er für den auf Grund dessen entstandenen Schaden. Dabei ist unerheblich, ob die Beteiligten durch einen Vertrag mit einander verbunden sind oder nicht. Unerlaubte Handlungen können grundsätzlich auch in einem Unterlassen bestehen, zum Beispiel im Unterlassen von Maßnahmen zur Gefahrenverhütung.

Wie aus den genannten Definitionen ersichtlich, unterliegt derjenige einer Verkehrssicherungspflicht, der in seinem Verantwortungsbereich eine Gefahrenlage schafft. Unerheblich ist, ob er sie durch eigenes Tun hervorruft oder etwa eine schon vorhandene Gefahr übernimmt. Wann eine solche Gefahrenlage vorliegt, hängt von den Umständen des Einzelfalls ab; als Faustformel lässt sich festhalten, dass bei ungehindertem Ablauf des zu erwartenden Geschehens mit hinreichender Wahrscheinlichkeit ein Schaden für Rechtsgüter Dritter eintreten wird.

Inhalt und Umfang der den Verantwortlichen dann treffenden Verkehrssicherungspflicht sind ebenso einzelfallabhängig. Klar ist, dass nicht jeder abstrakten Gefahr vorbeugend begegnet werden kann und dass eine Verkehrssicherung, die jede Schädigung ausschließt, eine lebensferne Vorstellung ist. Vielmehr ist der Verantwortliche auf Grund der Verkehrssicherungspflicht nur verpflichtet, diejenigen Vorkehrungen zu treffen, die geeignet sind, die Schädigung anderer tunlichst abzuwenden. Dabei soll der im Verkehr erforderlichen Sorgfalt genügt sein, wenn im Ergebnis derjenige Sicherheitsgrad erreicht ist, den die in dem entsprechenden Bereich herrschende Verkehrsauffassung für erforderlich hält. Ausreichend ist es, diejenigen Sicherheitsvorkehrungen zu treffen, die ein verständiger, umsichtiger, vorsichtiger und gewissenhafter Angehöriger der betroffenen Verkehrskreise für ausreichend halten darf, um andere Personen vor Schäden zu bewahren und die ihm den Umständen nach zuzumuten sind (so die ständige Rechtsprechung des Bundesgerichtshofs, zuletzt etwa BGH NJW-RR 2023, 95).

III. Verkehrssicherungspflicht in Hanglagen

Da also wie gesehen grundsätzlich für jede erdenkliche Gefahrenquelle eine Verkehrssicherungspflicht besteht, ist auch der Eigentümer eines Grundstücks verpflichtet, die von diesem Grundstück ausgehenden Gefahren in geeigneter Form abzuwenden. Welche Verkehrssicherungspflichten gelten aber bei Grundstücken an und in Hanglagen?

Das Saarländische Oberlandesgericht (Urteil vom 21.03.2006 – 4 U 113/05 –) hat in diesem Zusammenhang entschieden, dass dann grundsätzlich Vorkehrungen gegen einen Hangrutsch zu treffen sind.

Im konkreten Fall befanden sich am Fuß eines steilen Hangs Wohnhäuser; oberhalb des Hangs verlief ein (nicht öffentlich gewidmeter) Waldweg der Gemeinde. Weil der Weg in Folge fehlender Nutzung und Reinigung zunehmend verbuschte und auch der Wassergraben nicht mehr frei durchflossen werden konnte, staute sich während eines Regenfalls das Wasser so an, dass der unter dem Weg liegende Hang in die an seinem Fuß stehenden Wohnhäuser rutschte.
Das Gericht verurteilte daraufhin die Gemeinde zum Schadensersatz. Sie habe ihre privatrechtliche Verkehrssicherungspflicht verletzt, wonach sie verpflichtet war, weiter unten am Hang liegende Grundstücke vor Schädigungen durch abrutschende Erdmassen zu bewahren. Sie hätte den Weg regelmäßig kontrollieren und von Verunreinigungen säubern müssen, damit das Wasser nach wie vor ablaufen konnte. Weil sie das nicht tat und hierdurch kausal bedingt der Hangrutsch geschah, hafte die Gemeinde für die entstandenen Schäden.

Beim genaueren Betrachten der Entscheidung fällt auf, dass der Hangrutsch selbst nur kausale Folge der Verletzung der Verkehrssicherungspflicht war. Das heißt, schon im Vorfeld eines Hangrutsches sind im Rahmen der Verkehrssicherungspflicht Maßnahmen zu ergreifen, um einen Hangrutsch potenziell auslösende Zustände zu unterbinden. Neben Oberliegern, die wie hier etwa Wasser nicht ableiten, sind davon dann auch Unterlieger betroffen.

Wäre es auf Grund eines ungewöhnlich starken Regenfalls bei vorhandenen Verkehrssicherungsmaßnahmen zum Hangrutsch gekommen, wäre eine Haftung der Gemeinde ausgeschlossen. Der oben genannte verständige, umsichtige, vorsichtige und gewissenhafte Grundstückseigentümer muss mit dem Auftreten von katastrophenartigen Unwettern, die erfahrungsgemäß nur in sehr großen Zeitabständen auftreten („Jahrhundertereignisse") nicht rechnen und hierfür keine Vorkehrungen treffen (arg. e OLG Brandenburg, Urteil vom 04.10.2022 – 2 U 11/22 –).

Ein solches Jahrhundertereignis ist ein Fall von höherer Gewalt, also ein von außen durch elementare Naturkräfte oder Handlungen Dritter herbeigeführtes Ereignis, das unvorhersehbar ist und mit wirtschaftlich erträglichen Mitteln auch durch äußerste, nach der Sachlage zu erwartende Sorgfalt nicht verhütet oder unschädlich gemacht werden kann.

So verhält es sich auch mit dem Hangrutsch selbst. Wird er allein durch das Wirken von Naturkräften ausgelöst und tritt kein ursächliches Verhalten (ob durch Tun oder Unterlassen) des Eigentümers des Hanggrundstücks hinzu, so ist eine Haftung ausgeschlossen (vgl. OLG Stuttgart, Urteil vom 10.11.1986 – 13 U 239/84 –).

IV. Zusammenfassung

Zusammenfassend lässt sich festhalten:

Eigentümer von Grundstücken an und in Hanglagen sind mit Blick auf die Gefahr eines Hangrutsches besonderen Verkehrssicherungspflichten ausgesetzt. Sie müssen das Entstehen von Zuständen, die die Gefahr eines Hangrutsches begründen können, verhindern, soweit sie dies durch eigene Maßnahmen beeinflussen können. So sind Grundstücke etwa regelmäßig zu reinigen, wenn andernfalls ein geordneter Abfluss von anfallendem Oberflächenwasser gehindert wird. Auch hat der Eigentümer zu prüfen, ob es etwa bei geplanten Rodungen von Baumbeständen dazu kommen kann, dass sich die Festigkeit des Bodens verändert, sodass Hangrutschungen begünstigt werden.

Kommt es aber allein auf Grund von Naturereignissen zu einem Hangrutsch, besteht keine Haftung, weil eine Verkehrssicherungspflicht nicht verletzt ist.

Veranstalter

Forschungsstelle Rutschungen e.V.
an der Johannes Gutenberg-Universität
Mombacher Straße 49-53
D-55122 Mainz
Tel: +49 6131 387071
Fax: +49 6131 387076
fsr@geo-international.info
www.forschungsstellerutschungen.de

ISSN 2196-2863

JOHANNES GUTENBERG UNIVERSITÄT MAINZ

Forschungsstelle Rutschungen e.V.
an der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Zentrum für wissenschaftliche Weiterbildung
Johannes Gutenberg-Universität Mainz