

24. Weiterbildungsseminar

FACHTAGUNG RUTSCHUNGEN

FOLGEN - FORSCHUNG - PRAXIS



- Geotechnische Untersuchung einer reaktivierten Großrutschung im Ahrtal
- Anwendung der BIM-Methodik: Felssicherung Bremmer Calmont an der Mosel
- Klima im Wandel: beobachtete Trends und künftige Entwicklungen
- Anwendung der flächenhaften FE-Modellierung
- Geokunststoffbewehrte Erdkörper bei Hangrutschungen und Dämmen
- Bodenschutzrechtliche Haftung im Rahmen der Ausweisung von Bauflächen
- Sicherungspflicht und Haftung bei Wanderwegen
- Exkursion: Sicherung von Voreinschnitten und Aufweitungen von Bestandstunneln bei Fachingen und Cramberg an der DB-Strecke entlang der Lahn

27. und 28. Mai 2026

Forschungsstelle Rutschungen an der
Johannes Gutenberg-Universität Mainz



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



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,
24. Weiterbildungsseminar der Forschungsstelle Rutschungen; Mainz, April 2026

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: Abrissfläche und Rutschmassen einer Böschungsrutschung im Rheinischen Schiefergebirge, Rheinland-Pfalz.

(Fotoaufnahme: M. Lauterbach)

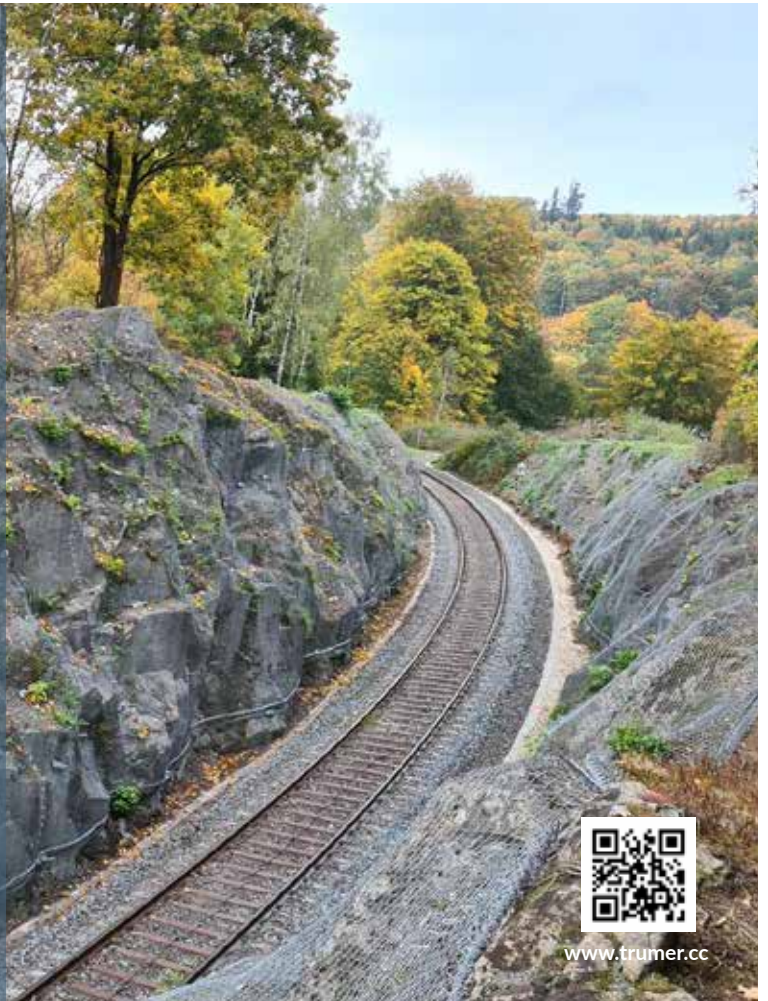
ISSN 2196-2863



TRUMER
Schutzbauten

Mit EBA Zulassung!

Hochfeste Viereckgeflechte
SIGMA 50/3.2 und HPN 60/4.6
Jetzt mit Zulassung durch das
Deutsche Eisenbahn Bundesamt
(EBA - Zulassung)



www.trumer.cc



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
www.sidla-schoenberger.de, info@sidla-schoenberger.de

Untergasse 10, D-55546 Volxheim, Tel. +49(0)67 03/96 02 36

Inhaltsverzeichnis

Vorwort.....	6
Die Forschungsstelle Rutschungen in Mainz.....	8
Autoren- und Referentenverzeichnis.....	9
Ausstellerverzeichnis.....	9
Anerkennung der Fortbildungsveranstaltung.....	10
Teilnahmebescheinigung.....	10
Teilnehmerverzeichnis.....	10

FACHBEITRÄGE

1 Geotechnische Untersuchung der durch die Flut 2021 reaktivierten Großrutschung in Müsch/Ahr	12 - 20
ANSGAR WEHINGER, DR. RAINER BELL, DR. TILL HELLENKAMP, DR. ANNA-SCHOCH-BAUMANN, PROF. DR. MICHAEL DIETZE	
2 Felssicherung Bremmer Calmont an der Mosel: Planung und Lebenszyklusbetrachtung mit der BIM-Methode	22 - 25
DIPL. ING. CHRISTIAN ERNST, WITT & PARTNER GEOPROJEKT, ERFURT, DEUTSCHLAND DIPL. GEOL. EBERHARD GRÖNER, GEOBRUGG AG, ROMANSHORN, SCHWEIZ	
3 Unser Klima im Wandel – beobachtete Trends und zukünftige Entwicklungen.....	26 - 29
DR. TANJA WINTERRATH, DEUTSCHER WETTERDIENST, ABT. HYDROMETEOROLOGIE, OFFENBACH	
4 Anwendung der flächenhaften FE-Modellierung.....	30 - 34
PROF. DR.-ING. MICHAEL ALBER, ALBER GEOMECHANIK, DORTMUND & DR. TILL HELLENKAMP, ROCTEC GMBH & CO. KG, HAMM	
5 Geokunststoffbewehrte Erdkörper als nachhaltige und effiziente Sanierungsmaßnahme bei Hangrutschungen und für die Errichtung von Schutzdämmen.....	36 - 40
SEBASTIAN SCHILLER MSC. GEOW., BERMÜLLER & CO GMBH, NÜRNBERG	
6 Fragen der bodenschutzrechtlichen Haftung im Rahmen der Ausweisung von Bauflächen	42 - 45
REGIERUNGSRAT ANDREAS DEDERICH, STRUKTUR- UND GENEHMIGUNGSDIREKTION NORD KOBLENZ, ZENTRALREFERAT WASSERWIRTSCHAFT, ABFALLWIRTSCHAFT UND BODENSCHUTZ	
7 Haftung auf Wanderwegen, Klettersteigen und sonstigen untergeordneten Wegen im Mittelgebirgsraum.....	46 - 47
RA DR. IUR. FRANZ-PETER GALLOIS & RA PETER HENNINGSEN	

Vorwort

Wir freuen uns, die Teilnehmer/innen, Mitarbeiter/innen von Ingenieur- und Planungsbüros, aus Verkehrswegebau und -unterhaltung, 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 2026 in Mainz begrüßen zu dürfen.

Auch interessierte Studierende aus den Bereichen Geowissenschaften und Bauingenieurwesen sind immer herzlich willkommen, um ihnen erste Begegnungen mit der späteren Berufspraxis zu ermöglichen. 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 - 24. Weiterbildungsseminar – an der Johannes Gutenberg-Universität Mainz zur Thematik der Massenschwerebewegungen findet bereits im 24. 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.

Eine maßgebliche 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.

Bei der diesjährigen Fachtagung haben wir am ersten Veranstaltungstag mit der Präsentation von Fachvorträgen den Fokus auf folgende Themen gelegt:

- Im Zuge der verheerenden Flut an der Ahr im Sommer 2021 wurden eine inaktive Großrutschung durch die an den Uferböschungen auftretenden angreifenden Kräfte reaktiviert. Eine Forschungsgruppe aus beteiligten Behörden, Universitäten und Ingenieurbüros informiert über die geotechnischen Untersuchungen und die bisherigen Ergebnisse.
- Die BIM-Methodik gewinnt zunehmend als Hilfsmittel in der vernetzten Bauplanung und Bauausführung an Bedeutung. Ein bei der Felssicherung am Bremmer Calmont beteiligtes Ingenieurbüro und ein Schutzsystemhersteller berichten über den Einsatz von BIM an der Untermosel.
- Eine Mitarbeiterin des Deutschen Wetterdienstes präsentiert neue Forschungsergebnisse über den Klimawandel, bislang beobachtete Trends und die daraus abzuleitenden künftigen Entwicklungen.
- Die FE-Methodik als klassisches numerisches Verfahren wird auch bei geotechnischen Fragestellungen immer mehr für flächenhafte Berechnungen angewendet. Zwei Ingenieurbüro-Leiter erläutern die komplexen Ansätze anhand von Praxisbeispielen.
- Geokunststoffbewehrte Erdkörper stellen als duktile Verbundsysteme eine nachhaltige und effiziente Sicherungsmaßnahme bei der Sanierung von Hangrutschungen und für die Errichtung von Schutzdämmen dar. Ein Mitarbeiter eines führenden Herstellers stellt die Anwendungsmöglichkeiten anhand von Beispielen aus der Baupraxis vor.
- Die Verursacherhaftung von Bauplanungsbehörden im Rahmen der Ausweisung von neuen Bauflächen stellt ein komplexes Rechtsgebiet dar. Ein Mitarbeiter der Bodenschutzbehörde Rheinland-Pfalz ordnet die aufkommenden Fragen in den Rechtsrahmen ein.
- Schließlich bewertet ein Rechtsanwalt die Haftung und Verkehrssicherungspflicht auf Wanderwegen, Klettersteigen und sonstigen untergeordneten Wegen im Mittelgebirgsraum.

Am zweiten Tag folgt die Begehung einer aktuellen Sanierungsmaßnahmen an zwei Tunnelbaustellen der Deutschen Bahn AG entlang der Lahntalstrecke im Rahmen einer Geländeexkursion. Die Exkursion wird von Ingenieuren des bauausführenden Spezialtiefbauunternehmens geführt. Vor Ort wird über die Planung und Bauausführung der zu sichernden Tunnелеinschnitte und der Aufweitung von bestehenden Bahntunneln unter laufendem Fahrbetrieb und den damit verbundenen Herausforderungen informiert.

Abschließend lassen wir die Tagung bei einem gemeinsamen Mittagessen auf einem nahegelegenen Hofgut im Taunus ausklingen.

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.

Durch die Wahl einzelner Module des Veranstaltungsprogramms und der Teilnahme in Präsenz oder virtuell am Gerät kann die Teilnahme flexibel an die individuellen Bedürfnisse angepasst werden.

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.

Gerne möchten wir abschließend darauf hinweisen, dass die Fachtagung Rutschungen als Weiterbildungsmaßnahme bei der Ingenieurkammer-Bau Nordrhein-Westfalen anerkannt ist und somit Fortbildungspunkte gesammelt werden können.

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

Mainz, im Mai 2026



Dr. Manuel Lauterbach
(Geschäftsführer)



PROBLEM: KORROSIVE UMGEBUNG

TECCO® STAINLESS sorgt unter allen
Bedingungen für stabile Böschungen



Geobrugg Spezialist:in vor Ort:
www.geobrugg.com/contacts

BRUGG
Geobrugg 
Safety is our nature

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, Neu- und Ausbau 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, Träger öffentlicher Belange 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, gestalten sich die Beiträge moderat. Der Beitrag für die Mitgliedschaft natürlicher Personen beträgt 90,- € im Jahr. Für juristische Personen bzw. Körperschaften/Firmen wird ein Mitgliedsbeitrag von mind. 500,- € erhoben.

Für Doktoranden, Ruheständler und arbeitssuchende Mitglieder gilt der ermäßigte Jahresbeitrag in Höhe von 45,- €.

Mitglieder dürfen selbstverständlich kostenfrei an den Weiterbildungsseminaren 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

Prof. Dr.-Ing. Michael Alber

Alber GeoMechanik
Brögerstr. 32
D – 44357 Dortmund
Tel: +49 231 28007636
Mail: info@alber-geomechanik.de

Andreas Dederichs

Struktur- und Genehmigungsdirektion Nord
Zentralreferat Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft,
Bodenschutz
Stresemannstr. 3-5
D – 56068 Koblenz
Tel: +49 261 120 2562
Mail: andreas.dederichs@sgdnord.rlp.de

Dipl.-Ing. Christian Ernst

w&p geoprojekt GmbH
Heinrich-Heine-Str. 8
D – 99423 Weimar
Tel: +49 3643 77 399 27
Mail: ernst@wittundpartner.com

RA Dr. iur. Franz Peter Gallois

Henningsen Matheis Partnerschaft von
Rechtsanwälten mbB
Uferstr. 57
D – 55116 Mainz
Tel: +49 6131 6336200
Mail: gallois@henningsenmatheis.de

Dipl.-Geol. Eberhard Gröner

Geobrugg AG
Head of Geotechnics Geohazard Solutions
Aachstr. 11
CH – 8590 Romanshorn
Tel: +41 71 4668157
Mail: eberhard.groener@geobrugg.com

Dr. Till Hellenkamp

RocTec GmbH & Co. KG
Am Sportplatz 17
D – 59069 Hamm
Tel: +49 173 7014 663
Mail: info@roc-tec.de

RA Peter Henningsen

Henningsen Matheis Partnerschaft von
Rechtsanwälten mbB
Uferstr. 57
D – 55116 Mainz
Tel: +49 6131 6336200
Mail: henningsen@henningsenmatheis.de

MSc. Geow. Sebastian Schiller

Bermüller & Co. GmbH
Rotterdammer Str. 7
D – 90451 Nürnberg
Tel: +49 911 64200 29
Mail: sebastian.schiller@beco-bermueller.de

Dr. Anna Schoch-Baumann

Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn
Institut für Geographie
Meckenheimer Allee 166
D – 53115 Bonn
Tel: +49 228 73 9806
Mail: schoch@uni-bonn.de

GD Ansgar Wehinger

Landesamt für Geologie und Bergbau
Rheinland-Pfalz
Emy-Roeder-Str. 5
D - 55129 Mainz
Tel: +49 6131 9254367
Mail: ansgar.wehinger@lgb-rlp.de

Dr. Tanja Winterrath

Deutscher Wetterdienst
Abt. Hydrometeorologie
Frankfurter Str. 135
D – 63067 Offenbach am Main
Tel: +49 69 80620
Mail: tanja.winterrath@dwd.de

Ausstellerverzeichnis

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 16.03.2026, Zeichen 723350, unter folgenden Reg.-Nr. als Fortbildungsveranstaltung anerkannt:

Reg.-Nr.	79688 (Tag 1) u. 79689 (Tag 2)
Veranstaltungsbezeichnung:	Fachtagung Rutschungen: Folgen - Forschung - Praxis
Bildungsträger:	Forschungsstelle Rutschungen e.V. an der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Datum Veranstaltung:	27.05.2026	28.05.2026
Ort:	55128 Mainz	55128 Mainz
Fortbildungspunkte:	6,00	5,00

Teilnehmer:	- Beratende Ingenieure (§ 2 Abs. 1 FuWO)
	- Ingenieure (§ 2 Abs. 1 FuWO)
	- saSV für Erd- und Grundbau (§ 2 Abs. 2 FuWO)
	- öbuvSV in diesem Sachgebiet (§ 2 Abs. 2 FuWO)

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.

geo-international · beratende Ingenieurgeologen



Erkunden

Beraten

Planen

Überwachen

Erkunden

Beraten

Planen

Überwachen

gi **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

gi



**STABILITÄT FÜR
IHRE BÖSCHUNG**

Kostenloses
Bemessungstool
www.mygeobrugg.com

TECCO®-System aus hochfestem Stahldraht



Geobrugg Spezialist:in vor Ort:
www.geobrugg.com/contacts

BRUGG
 Geobrugg

Safety is our nature

1 Geotechnische Untersuchung der durch die Flut 2021 reaktivierten Großrutschung in Müsch/Ahr

ANSGAR WEHINGER, DR. RAINER BELL, DR. TILL HELLENKAMP, DR. ANNA-SCHOCH-BAUMANN, PROF. DR. MICHAEL DIETZE

Kurzfassung

Das Extremhochwasser im Juli 2021 führte im Ahrtal zu erheblichen geomorphologischen Veränderungen einschließlich gravitativer Massenbewegungen. Der vorliegende Beitrag befasst sich mit einer Großrutschung östlich der Ortsgemeinde Müsch (Landkreis Ahrweiler) in einem engen Talabschnitt der Ahr. Auf der Grundlage verschiedener Untersuchungen wurden die aktuelle Aktivität und das Gefährdungspotenzial dieser tiefgründigen Rutschung geprüft und hieraus Handlungsempfehlungen abgeleitet.

Die Analyse basiert auf einem integrativen Ansatz aus Bohrungen, Inklino-meter- und geodätischen Messungen sowie geophysikalischen Verfahren (ERT, SRT, passive Seismik). Die Ergebnisse zeigen einen etwa 212 m langen und 90-115 m breiten Rutschkörper mit einer Fläche von 20.700 m² und einer Mächtigkeit von ca. 10-15 m. Das Gesamtvolumen der Rutschung beträgt etwa 207.000-310.000 m³. Während des Hochwassers wurde der Hangfuß um etwa 15 m Breite hangseits erodiert, was als Auslöser der Reaktivierung der Großrutschung zu bewerten ist.

Aktuelle Messungen belegen anhaltende Bewegungen sowie deren Abhängigkeit vom Wasserhaushalt. Insgesamt befindet sich der Hang in einem labilen bis instabilen Zustand. Insbesondere im Zusammenhang mit erneuten Starkregen- und Hochwasserereignissen können eine Beschleunigung der Hangbewegungen und weitere unkontrollierte Abbrüche/Nachrutschungen nicht ausgeschlossen werden. Als weitere Maßnahmen werden ein kontinuierliches Monitoring sowie technische Maßnahmen zur Reduktion der Hangfußerosion empfohlen.

Abstract

The extreme flood event in July 2021 led to significant geomorphological changes in the Ahr Valley, including gravitational mass movements. This paper focuses on a large landslide located east of the municipality of Müsch (Ahrweiler district) in a narrow section of the Ahr Valley. Based on various investigations, the current activity and hazard potential of this deep-seated landslide were assessed, and recommendations for action were derived.

The analysis is based on an integrative approach combining drilling, inclinometer and geodetic measurements, as well as geophysical methods

(ERT, SRT, passive seismics). The results indicate a landslide body approximately 212 m long and 90–115 m wide, with an area of 20,700 m² and a thickness of about 10-15 m. The total volume of the landslide is approximately 207,000-310,000 m³. During the flood, the base of the slope was eroded by about 15 m in width on the uphill side, which is considered the trigger for the reactivation of the large landslide.

Current measurements demonstrate ongoing movements and their dependence on the water balance. Overall, the slope is in a marginally stable to unstable condition. In particular, in connection with future heavy rainfall and flood events, an acceleration of slope movements as well as further uncontrolled collapses or subsequent landslides cannot be ruled out. Continuous monitoring and technical measures to reduce erosion at the slope base are recommended as further actions.

1. Thema

Das Hochwasserereignis im Juli 2021 führte im Ahrtal zu erheblichen geomorphologischen Veränderungen einschließlich gravitativer Massenbewegungen. Im Zuge des Hochwassers kam es insbesondere an Prallhängen zu massiven Ufererosionen. Durch die Reduzierung haltender Kräfte wurden Hanginstabilitäten ausgelöst oder reaktiviert.

Ein besonders markantes Beispiel stellt eine Großrutschung östlich der Ortslage Müsch dar. Der betroffene Hang war bereits vor dem Hochwasser von Hanginstabilitäten betroffen (fossile Rutschung). Durch die massive Hangfußerosion wurden die Kräfteverhältnisse in Hang gestört, was zu einer Reaktivierung der Rutschung führte (Abb. 1).

Die besondere Relevanz dieses Standortes ergibt sich aus dem möglichen Gefährdungspotenzial: Im Falle einer vollständigen Mobilisierung könnte der Rutschkörper das Tal quer verfüllen und die Ahr aufstauen. Ein solcher natürlicher Damm würde ein erhebliches Risiko für flussaufwärts gelegene Bereiche, wie die Ortsgemeinde Müsch, darstellen (Wenzel et al. 2024).

Der vorliegende Beitrag stellt die Untersuchungen und die Bewertung der Hangstabilität vor. Darüber hinaus soll aufgezeigt werden, welche Maßnahmen und Strategien für den weiteren Umgang mit der Situation geeignet sind. Hierzu wird ein integrativer Ansatz verfolgt, der geologische, geomorphologische, geotechnische und geophysikalische Untersuchungsmethoden kombiniert.



Abb. 1: Luftaufnahme vom 17.07.2021 mit Ansicht des infolge des Hochwassers erodierten Ahrufers der Rutschung südöstlich der Ortslage Müsch (Foto: A. Wehinger).

2. Situation

2.1 Topographie, anthropogener Einfluss und Hochwasser 2021

Das Untersuchungsgebiet liegt im oberen Einzugsgebiet der Ahr, etwa 3 km flussaufwärts von Antweiler und unmittelbar südöstlich der Ortslage Müsch. Die Ahr durchschneidet hier das Rheinische Schiefergebirge in einem engen, mäandrierenden Tal mit teils steilen Hängen und ausgeprägter Reliefenergie.

In dem hier untersuchten Hang ist die Geländeoberfläche sehr ungleichmäßig ausgebildet und durch wechselnde Hangneigungen sowie künstliche Einschnitte und Wegetrassen geprägt (Abb. 2). Die mittlere

Hangneigung beträgt im Bereich der Rutschung etwa 20°, Einzelböschungen im Hang weisen Neigungen von bis zu 42° und im Bereich des erodierten und nachgerutschten Ahrufers bis zu 60° auf. Der „untere“ Weg wird heute als Radweg genutzt. Ursprünglich verlief hier die Trasse der Ahrtalbahn und wurde im Jahr 1910 als Einschnitt hergestellt. Bereits im Rahmen des Aushubs des Bahneinschnitts kam es zu einer Rutschung östlich angrenzend an die hier untersuchte Rutschung, die mittels einer Stützmauer gesichert wurde (Draf 1912). Weiter ist ein ehemaliger Ablagerungsbereich (Deponie) im mittleren Hangbereich bekannt.

Die geomorphologische Entwicklung des Gebietes ist maßgeblich durch die tiefgreifende Einschneidung der Ahr geprägt. Im Pleistozän hat sich der Fluss in die anstehenden devonischen Gesteine eingeschnitten und dabei ein stark reliefiertes Tal mit steilen Hängen geschaffen.

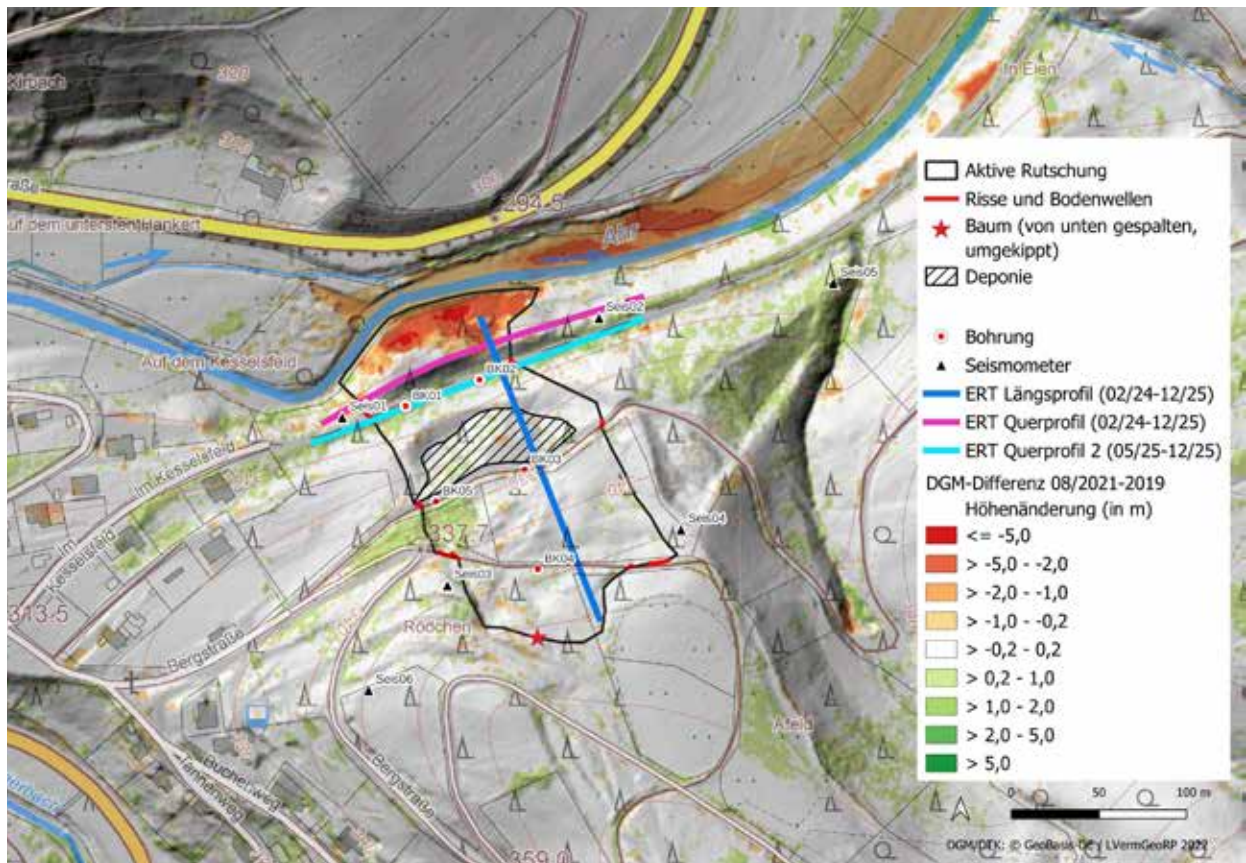


Abb. 2: Übersichtskarte der Rutschung bei Müsch mit LiDAR-Differenzmodell (Karte: Universität Bonn; Grundlage: LVermGeoRP).

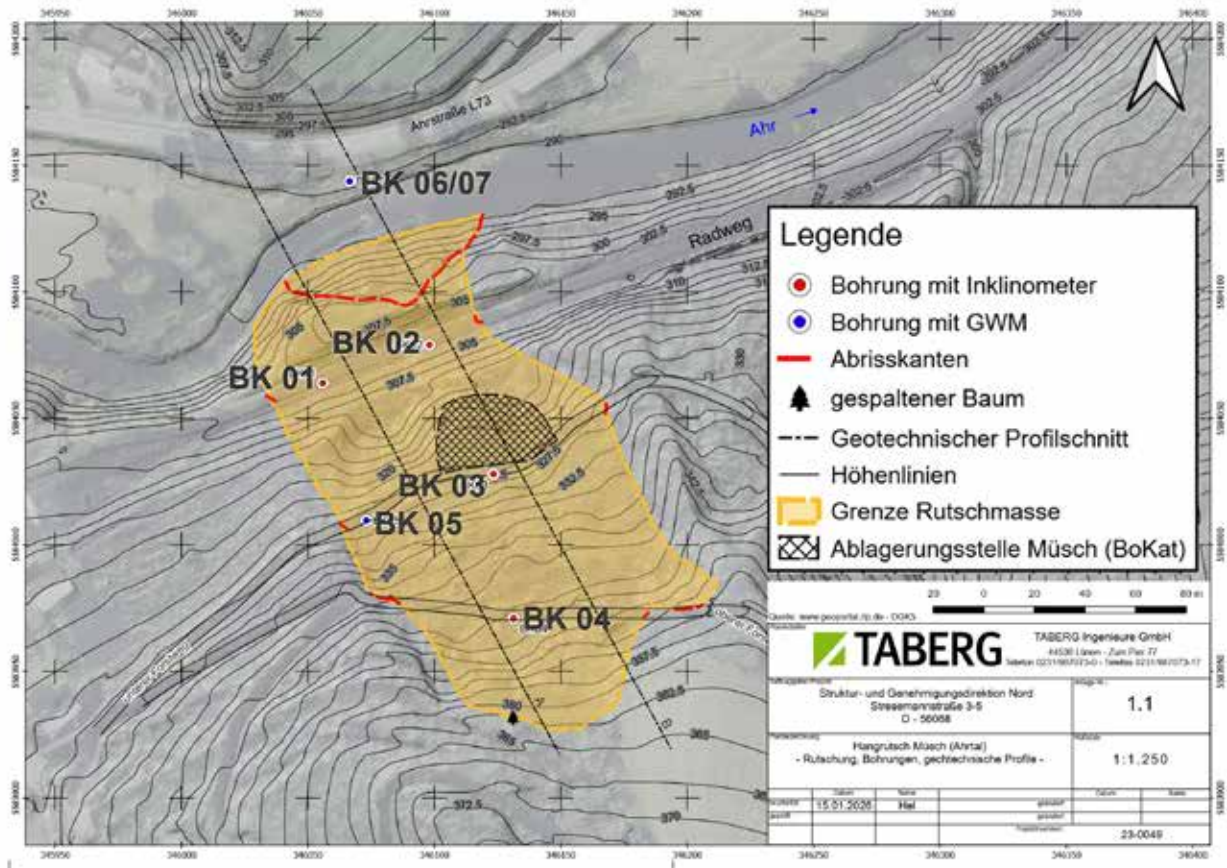


Abb. 3: Bohrplan und Vermessungsergebnisse von Müsch (Karte: TABERG Ingenieure; Grundlage: LVermGeoRP).

Die ausgeprägte Seiten- bzw. Ufererosion führt in Prallhangsituationen zu einer kontinuierlichen Unterschneidung der Hänge und stellt damit einen wesentlichen Faktor für Hanginstabilitäten dar.

Zwischen dem 14. und 15. Juli 2021 kam es in den Einzugsgebieten der Ahr zu Starkregenereignissen mit einer Niederschlagsmenge zwischen 100 und 150 l/m² in weniger als 24 Stunden. In der Folge entstand ein Hochwasser mit extremen Wasserständen und Folgen. Für den Ahrabschnitt unmittelbar flussabwärts von Müsch wurde eine Abflussmenge von etwa 495-645 m³/s abgeschätzt. Bei „normalen“ Witterungsbedingungen beträgt hier der mittlere Abfluss etwa 4,5 m³/s (Roggenkamp & Herget 2022). Die Auswertung der vor und nach dem Flutereignis erstellten digitalen Geländemodelle zeigt, dass das südliche Ufer der Ahr auf einer Länge von ca. 115 m und einer Breite bis ca. 15 m erodiert wurde (Wehinger 2022).

2.2 Geologie

Das Untersuchungsgebiet ist Teil des Rheinischen Schiefergebirges und Teil des nordöstlichen Eifelgebiets. Im Untergrund stehen die klastischen Serien der Trierbach-Schichten an, die dem Unter-Ems (Unterdevon) angehören. Die Trierbach-Schichten bestehen überwiegend aus hellen, quarzitisch gebundenen Fein- bis Mittelsandsteinen, in die in untergeordneten Anteilen Schluff- und Tonsteine eingeschaltet sind. Vereinzelt kommen auch kohlige Lagen vor. Das Ausgangsmaterial wurde in einem randmarinen bis fluviu-deltaisch geprägtem Milieu abgelagert (Elkohly 2025).

Diese Gesteine sind infolge der variskischen Gebirgsbildung gefaltet und von zahlreichen Trennflächen durchzogen, was ihre mechanischen Eigenschaften maßgeblich beeinflusst. Anschließend wurden die Gesteine im Mesozoikum und Tertiär tiefgründig verwittert. Die Schichtflächen fallen im Untersuchungsgebiet mit etwa 20° bis 30° nach Westen ein und stehen damit ungünstig zur Hangneigung, was die Ausbildung potenzieller Gleitflächen begünstigen kann.

Über dem Festgestein liegen Lockersedimente unterschiedlicher Herkunft. Im Hangbereich dominieren anthropogene, gravitative und solifluidale Ablagerungen mit einer Lösskomponente, während im Talbereich fluviatile Sedimente vorherrschen.

Ein entscheidender Faktor für die aktuelle Instabilität ist die fluviale Erosion am Hangfuß. Durch das Hochwasserereignis 2021 kam es zu einer massiven Seitenerosion der Ahr, wodurch der stabilisierende Widerstand im unteren Hangbereich reduziert wurde.

3. Untersuchungen

Zur Analyse der Großrutschung bei Müsch wurde ein integrativer Untersuchungsansatz verfolgt, der direkte Aufschlussverfahren, geotechnische Messungen sowie verschiedene geophysikalische Methoden kombiniert. Einerseits wurden vom Land Rheinland-Pfalz Untersuchungen zur Gefahreneermittlung durchgeführt. Konkret erfolgten Untersuchungen zur Feststellung „schädlicher Bodenveränderungen“ auf Grundlage der Bodenschutzgesetze durch die SGD Nord. Diese Untersuchungen wurden vom Landesamt für Geologie und Bergbau empfohlen und fachlich begleitet (Wehinger 2022). Zum anderen führten verschiedene Forschungseinrichtungen, wie die Universitäten Bonn und Göttingen sowie das Geoforschungszentrum Potsdam, geophysikalische Untersuchungen durch.

3.1 Bohrungen

Zur direkten Erkundung wurden im Auftrag der SGD Nord insgesamt fünf Kernbohrungen im Bereich der Rutschung (Bohrtiefen 40-70 m) und zwei Kernbohrungen am gegenüberliegenden Ahrufer (Bohrtiefen 15-30 m) niedergebracht (Abb. 3). Die Ergebnisse der Erkundung und Ursachenforschung zur Rutschung sind im Abschlussgutachten vom 26.02.2026 von TABERG Ingenieure dokumentiert (Scherbeck; Hellenkamp 2026).



Abb. 4:
Fotoaufnahme der
Kernbohrung 2: Die
Lockergesteinsauflage
(„Schicht 1“) ist an ihrer
Braunfärbung zu erkennen.
Darunter folgen die
Rutschmasse mit kataklas-
tischen Zonen („Schicht 2“)
sowie devonische Sand- bis
Tonsteine („Schicht 3“)
(Foto: A. Wehinger).

Im Zuge der Erkundung wurde folgender Aufbau des Rutschhangs ermittelt:

- „Schicht 1“: Lockergesteinsauflage mit kataklastischen Zonen
- „Schicht 2“: Rutschmasse mit kataklastischen Zonen
- „Schicht 3“: Sand- bis Tonsteine des Devons

Die Schichten werden wie folgt beschrieben:

„Schicht 1“: Die Lockergesteinsauflage weist in der Regel eine Mächtigkeit von ca. 6-8 m auf. Die Kornverteilung reicht von schluffigem Kies bis kiesigem Schluff mit wechselnden Sand- und Tonanteilen. Stellenweise können auch Steine und Blöcke eingelagert sein. Die Konsistenz ist meist halbfest und bei höheren Wassergehalten teils weich. Als kataklastische Zonen werden Abschnitte in den Bohrkernen beschrieben, in der Fels bzw. die Komponenten aus Fels scharfkantig sandig-kiesig zerbrochen sind.

„Schicht 2“: Die derzeit aktive Rutschung reicht bis ca. 10-15 m Tiefe. Das Material ist stark zerlegt und weit gestuft. Die Kornverteilung reicht vom Feinkorn bis zu Blöcken. Letztere sind Felskomponenten. Im Einzelnen kann die Schicht 2 nicht immer eindeutig zum Liegenden oder Hangenden abgrenzt werden.

„Schicht 3“: Ab etwa 15 m Tiefe steht der unterlagernde Fels aus Sandsteinen mit eingeschalteten Tonsteinen an. Die braunen Sandsteine sind meist mittel- bis grobkörnig und quarzitisch gebunden. Die Tonsteine sind eher dünnbankig und graublau bis dunkelgrau ausgeprägt. Auch in dieser Schicht zeigen die Bohrkern e etliche Schwäche zonen (u.a. kataklastische Zonen und stark verwitterte Zonen), welche potentielle Gleitflächen darstellen.

Die derzeit aktive Hauptgleitfläche liegt laut der Untersuchungsergebnisse in etwa 10-15 m Tiefe im Übergangsbereich zwischen Lockermaterial und verwittertem Festgestein. Diese Interpretation wird durch die Inklinometermessungen und die geophysikalische Messungen konsistent gestützt.

Die Abbildung 4 zeigt exemplarisch die Fotoaufnahme der Kernbohrung 2.

3.2 Bodenbewegungen (Inklinometer und geodätische Messungen)

Zur Erfassung der Hangbewegungen werden Inklinometer und geodätische Messverfahren eingesetzt bzw. vorbereitet.

Vier Kernbohrungen wurden zu Inklinometermessstellen ausgebaut. An allen Messstellen wurde eine aktive Gleitfläche ermittelt. Die Ausbaudaten und die Lage der Gleitfläche sind in der Tabelle 1 dokumentiert.

Tab. 1: Ausbaudaten und Tiefenlagen der Gleitfugen in den Inklinometermessstellen. Die Messungen haben zum Ergebnis, dass der gesamt Hang in Bewegung ist, wobei die Gleitfläche in einer Tiefe von 6,8 m (Oberhang) bis 13,4 m (Unterhang) nachgewiesen wurde.

Messstelle	GOF [+ m NN]	POK [+ m NN]	Lage der Gleitfläche [m u POK]	Lage der Gleitfläche [+ m NN]	Position im Hang
INK 1	303,7	303,5	13,4	290,1	Unterhang
INK 2	303,6	303,4	12,3	291,1	Unterhang
INK 3	324,9	324,7	10,0	314,7	Mittelhang
INK 4	345,3	345,1	6,8	338,3	Oberhang

Zur Überwachung der Rutschaktivität wurden außerdem insgesamt 44 geodätische Messpunkte eingerichtet. Die Messungen erfolgen mit einem Tachymetersystem durch das Vermessungsbüro Buchholz im Auftrag der SGD Nord. Der Messturnus beträgt zwei bis vier Wochen. Insgesamt wurden folgende Ergebnisse erzielt:

- Auch hier wurde eine Bewegung für den gesamten Hang nachgewiesen. Aufgrund der hohen Bewegungsraten, sind ausgeprägte Schäden mit bloßem Auge an den Rutschungsgrenzen, u.a. den Wegen und im obersten Bereich des Hanges an einem gespaltenen Baum, zu erkennen.
- Im Zeitraum April 2024 bis Dezember 2025 wurden horizontale Bewegungen im Bereich des Radwegs bis 0,25 m (Pkt. 2003) und im Bereich des unteren Forstwegs bis 0,28 m (Pkt. 3003) ermittelt.
- Die Bewegungsgeschwindigkeit variiert zeitlich. Im Maximum wurde eine Geschwindigkeit von 2,2 mm/d ermittelt. Ein vollständiger Stillstand der Rutschung wurde im gesamten Messzeitraum nicht ermittelt.

- Die zeitliche Entwicklung der Bewegungen zeigt eine klare Korrelation mit hydrologischen Bedingungen: Eine Zunahme der Aktivität wurde zwischen April und Juli 2024 beobachtet, gefolgt von einer Abschwächung bei einsetzender Austrocknung der oberflächennahen Schichten.
- Im Hangfußbereich besteht infolge der Prallhangerosion durch das Hochwasser vom Juli 2021 ein übersteiltes Relief. Hier nachbrechende bzw. rutschende Schollen weisen eine teils noch höhere Deformation auf. Dieser Bereich ist geotechnisch von der Gesamtrutschung separat zu betrachten.

3.3 Geoelektrische und seismische Messungen der Universitäten Bonn und Göttingen/RWTH Aachen (ERT & SRT)

Zur flächenhaften Erkundung wurden geoelektrische und seismische Verfahren (ERT = Electrical Resistivity Tomography, SRT = seismische Refraktionstomographie) eingesetzt. An einem Quer- und dem Längsprofil wurden monatliche ERT-Messungen von 02/2024-12/2025 und am zweiten Querprofil von 05/2025-12/2025 durchgeführt (time-lapse Monitoring; Elektrodenabstand: 2,5 m; Array: Gradient). Einfache SRT-Messungen ergänzen diese. Hohe elektrische Widerstände (schlecht leitend) weisen auf Festgestein mit niedrigem Verwitterungsgrad und wenigen Störungen bzw. eine geringe Bodenfeuchte hin. Niedrige elektrische Widerstände (gut leitend) können durch ein feinkörniges und damit feuchteres Sediment oder stärker verwittertes und gestörtes Gestein verursacht sein. Da sich die lithologischen Bedingungen in diesem kurzen Zeitraum nicht stark verändern, können Veränderungen im Widerstand bzw. der Leitfähigkeit als Veränderungen der Untergrundhydrologie interpretiert werden. Höhere Widerstände bedeuten Austrocknung, wohingegen niedrigere Widerstände eine Durchfeuchtung des Untergrunds anzeigen. Die Ergebnisse zeigen (Bell et al. 2025, Abb. 5):

- Innerhalb des Rutschkörpers besteht eine räumlich differenzierte Feuchteverteilung. Bis in eine Tiefe von etwa 10-15 m sind witterungs-

bedingte Feuchteänderungen nachweisbar. Diese zeigen sich im darunterliegenden „Festgestein“ deutlich weniger.

- In den Messprofilen sind strukturelle Grenzflächen erkennbar, die mit den Gleitflächen der Inklinometermessungen korrespondieren. Somit ergänzen die Ergebnisse der indirekten, geophysikalischen Untersuchungen die direkten Ergebnisse der Bohrungen und Inklinometermessungen ideal und stützen die Extrapolation in die Fläche zur Volumenberechnung.
- Die multitemporalen Analysen des ERT-Monitorings zeigen eine saisonale Dynamik. Die Dynamik der Untergrundhydrologie stimmt weitgehend mit den meteorologischen Einflüssen (v.a. Niederschlag) und den Hangaktivitäten überein. Es zeigt sich, dass zu Beginn der Messreihe eine Durchfeuchtung und anschließend in den Sommermonaten eine sehr ausgeprägte Austrocknung des Untergrunds im Bereich der Rutschung stattfand. Im Jahr 2025 zeigte sich insgesamt, dass es deutlich trockener war. Dies spiegelt sich in den Bewegungsraten wider und deutet auf einen starken Einfluss von Wasser in Bezug auf die Hanginstabilität hin.
- Die seismischen Untersuchungen (SRT) bestätigen die aus der ERT abgeleiteten Ergebnisse: Im Lockermaterial sind die Geschwindigkeiten gering und im tieferen Bereich des Rutschkörpers sind mittlere Geschwindigkeiten zu finden. Höhere Geschwindigkeiten wurden im untersten Bereich „Festgestein“ gemessen.

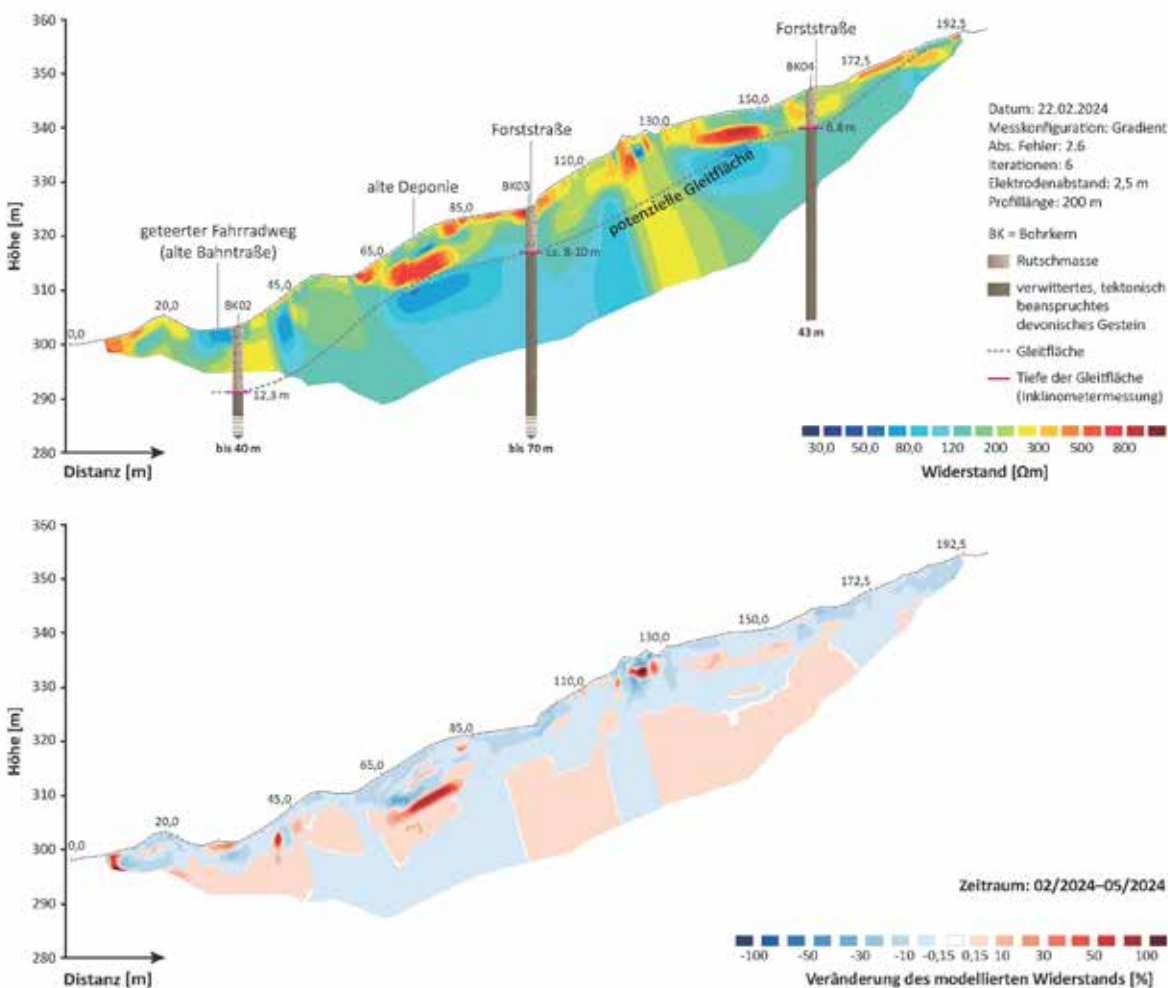


Abb. 5: ERT-Längsprofil der Rutschung mit Darstellung der Infrastruktur (Lage siehe Abb. 2), der Bohrkerne BK02, 03 und 04 sowie der potenziellen Lage der Gleitfläche (oben). Die untere Abbildung zeigt die Veränderung des modellierten Widerstands [%] über den Zeitraum Februar 2024 bis Mai 2024 (unten).

3.4 Mikroseismische Messungen (passive Seismik)

Die Rutschung wurde über 4,5 Jahre mittels passiver Seismik überwacht (Dietze et al 2025; Abb. 6). Um die Rutschmasse herum wurden 4 bis 5 kontinuierlich messende Stationen aufgebaut (4,5-Hz-Geophone, 200 Hz Messfrequenz), die im mehrmonatlichen Rhythmus ausgelesen wurden. Die Ergebnisse zeigen eine Konzentration der Mikroseismizität im Bereich der Rutschung und zunehmend an den Rändern dieser. Im Schnitt wurden 6,7 seismische Ereignisse pro Tag detektiert, die klar auf versagende Felsbrücken im Untergrund hindeuten. Allerdings zeigen die Ereignisse einen

nichtlinearen Verlauf. Die Anzahl seismischer Ereignisse war im 2022 deutlich größer (ca. 12,9 Ereignisse pro Tag) als in den nachfolgenden Jahren (ca. 3,3 Ereignisse pro Tag). Dies wird so gedeutet, dass sich zunächst die Gleitfläche ausbilden musste, welches u.a. durch Aufbrechen von Felsbrücken viele seismische Ereignisse hervorrief. Nachfolgend reagierte die Rutschmasse als homogene Einheit, welches eine geringere Seismizität induzierte. Weiter konnte mit dieser Methode nachgewiesen werden, dass der gesamte Rutschhang mobilisiert wurde – und das schon lange bevor sich die Risse auf dem mittleren und oberen Forstweg zeigten.

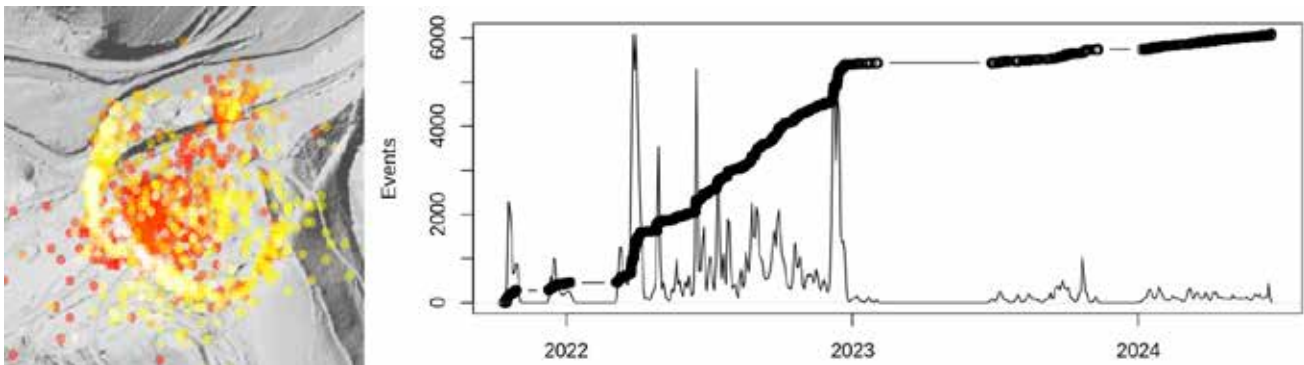


Abb. 6: Karte mit Lage der Epizentren mikroseismischer Aktivität, Farbskala von Rot (2021) nach Weiß (2025) entsprechend der Installationsdauer. Rechts: Zeitlicher Verlauf der Mikroseismizität einschl. Summenkurve (Grafik: M. Dietze).

4. Beurteilung der Situation / Hangstabilität

4.1 Modellierung der Hangstabilität

Die Modellierung der Hangstabilität basiert auf den Ergebnissen der Erkundung (siehe oben):

Berücksichtigt wurden (Scherbeck; Hellenkamp 2026):

- Während des Hochwasserereignisses 2021 wurden der Hangfuß in einer Breite von etwa 15 m erodiert, was als maßgeblicher Auslöser der Reaktivierung gilt.
- Der Rutschkörper weist eine Breite von 90-115 m auf und reicht vom Niveau der Ahr auf + 289 m NN bis zu einer Höhe von + 362 m NN. Die flache Länge der Rutschung beträgt somit 212 m. Die Generalneigung der Gleitfläche entspricht der Hangneigung von etwa 20°. Die Mächtigkeit der Rutschung beträgt etwa 10-15 m. Das Gesamtvolumen der Rutschung beträgt etwa 207.000 – 310.000 m³.
- Im Untergrund ist eine dreigliedrige Schichtenfolge aus Lockergestein über Rutschmasse über Festgestein vorhanden.
- Die Modellierung erfolgte durch eine schrittweise Reduktion der Scherparameter (SSR-Verfahren) mit dem Programmsystem RS 2 (2D-FE) der Firma Rocscience, das auf der Finite-Elemente-Methode basiert. Über den ermittelten SSR-Faktor kann das Wertepaar aus Reibungswinkel

und Kohäsion im Grenzgleichgewicht ermittelt werden (Abb. 7). In einem zweiten Schritt wurde die Auswirkung einer schrittweisen Erosion des Böschungsfußes in das Modell integriert. Dabei wurde als Folge einer fortschreitenden Prallhangerosion im Zuge eines Hochwassers rechnerisch ein sukzessiver Abtrag des Böschungsfußes in 5 m breiten „Scheiben“ angenommen (Szenarienanalyse).

Die Ergebnisse der Modellierungen ergaben folgende SRF (shear strength reduction factor) und Scherparameter (Reibungswinkel ϕ_B und Kohäsion c_B) (Scherbeck; Hellenkamp 2026):

- Profil A: $SRF = 1,05$; $\phi_B = 33,4^\circ$; $c_B = 23,8 \text{ kN/m}^2$
- Profil B: $SRF = 1,2$; $\phi_B = 30,3^\circ$; $c_B = 20,8 \text{ kN/m}^2$
- Da beide SRF nahe 1 liegen, kann gefolgert werden, dass sich der Hang im aktuellen Zustand im Grenzgleichgewicht befindet.
- Die über die Modellierungen ermittelte Rutschungsgeometrie wird durch die Inklinometermessungen prinzipiell bestätigt.
- Die Szenarienanalyse (sukzessiver Abtrag des Böschungsfußes) zeigt, dass bis zu einem Abtrag von ca. 30 m Breite von der aktuellen Böschungsfrente keine nennenswerte Zunahme der Verschiebungen festzustellen ist. Rechnerisch ergibt sich erst bei einem Abtrag von 45 m ein schlagartiger Anstieg der Verformung. Das grundsätzliche Szenario, dass sich die Böschungsbewegung bei einem sukzessiven Abtrag des Böschungsfußes beschleunigen kann, wurde damit nachgewiesen.
- Methodenbedingt sind sämtliche genannten Zahlen als Orientierungswerte zu betrachten.

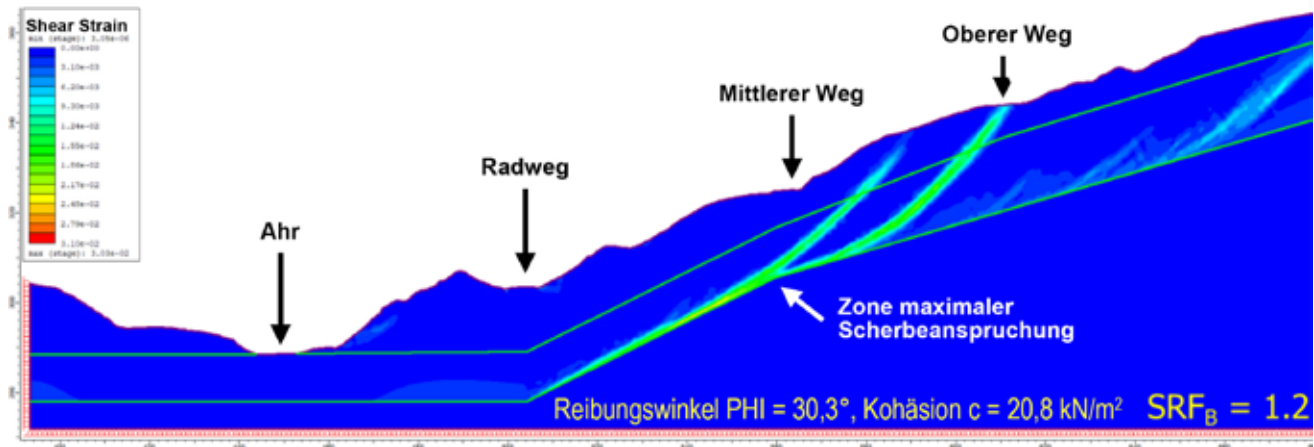


Abb. 7: Exemplarische Ergebnisdarstellung der SSR-Berechnung für einen Längsschnitt durch den Rutschhang mit Darstellung der Zonen maximaler Scherbeanspruchung (Bild: Scherbeck; Hellenkamp 2026).

4.2 Beurteilung

Die Ergebnisse der durchgeführten Untersuchungen zeigen eindeutig, dass es sich bei der Rutschung bei Müsch um eine tiefgründige, komplexe Hanginstabilität mit einer Mächtigkeit von etwa 10-15 m und einem Volumen von rund 207.000 – 310.000 m³ handelt. Der Rutschkörper befindet sich aktuell in einem labilen bis instabilen Zustand.

Zentral für die Beurteilung ist die Rolle der Hangfußerosion infolge des Hochwassers 2021. Durch die massive Hangfußerosion wurden die Kräfteverhältnisse in Hang gestört, was zu einer Reaktivierung einer bereits vorhandenen Rutschung führte. Die laufende messtechnische Überwachung bestätigt anhaltende Hangbewegungen.

Außer der Schwächung des Hangfußes stellt der Wasserhaushalt im Untergrund ein weiterer entscheidender Faktor dar. Geophysikalische Messungen belegen, dass die heterogene Rutschmasse bis zur Gleitfläche (ca. 10–15 m Tiefe) sehr starken hydrologischen Veränderungen durch unterschiedliche Witterungsbedingungen unterliegt, wodurch in feuchten Phasen erhöhte Porenwasserdrücke und eine Reduktion der Scherfestigkeit auftreten. Die zeitlich verzögerten Bewegungen nach dem Hochwasser deuten darauf hin, dass der Hang sich weiterhin in einem Anpassungsprozess befindet. Insgesamt ergibt sich eine hohe Sensitivität gegenüber Niederschlägen und weiteren Erosionsprozessen.

Anthropogene Einflüsse, insbesondere durch die ehemalige Bahntrasse und die lokale Deponie, führen zusätzlich zu inhomogenen Materialverhältnissen und können die Stabilität lokal weiter herabsetzen.

Aufgrund der Dimensionen der Rutschung besteht grundsätzlich das Risiko, dass bei einer weiteren Destabilisierung größere Hangbereiche mobilisiert werden und es im Extremfall zu einer Teilverfüllung des Talquerschnitts kommen kann. Ein solches Szenario ist derzeit nicht unmittelbar zu erwarten, aber aus ingenieurgeologischer Sicht als plausibel und relevant für die Gefährdungsbeurteilung einzustufen.

Zusammenfassend ist der Hang bei der derzeitigen Situation als dauerhaft instabiles System zu bewerten, dessen weitere Entwicklung maßgeblich von hydrologischen und fluvialen Prozessen abhängt. Eine kontinuierliche Beobachtung und vorsorgende Bewertung sind daher zwingend erforderlich.

5. Weitere Vorgehensweise und Schlussbemerkungen

Die anhaltenden Bewegungen werden ohne die Ergreifung von stabilisierenden Maßnahmen nicht zum Stehen kommen. Im Falle erneuter Hochwasserereignisse ist mit einer Schadensausweitung zu rechnen. Eine weitergehende Mobilisierung mit teilweiser Talverfüllung stellt ein Extremszenario dar, kann jedoch nicht völlig ausgeschlossen werden und sollte in der Planung berücksichtigt werden.

Daraus ergibt sich die Notwendigkeit weiterer Maßnahmen. Hierzu wurde in Abstimmung mit dem LGB ein abgestuftes Vorgehen vorgeschlagen (Scherbeck; Hellenkamp 2026).

- **Monitoring:** Aufgrund des vorliegenden statischen Grenzgleichgewicht des Hanges ist eine kontinuierliche Überwachung unerlässlich. Das bestehende Monitoring sollte fortgeführt werden. Das heißt, dass die geodätischen Messungen fortzusetzen sind. Die Inklinometermessungen sind solange fortzuführen, wie die Messstellen noch funktionsfähig sind. Ziel ist die frühzeitige Erkennung von Beschleunigungen und die bessere Verknüpfung von Hangbewegungen mit hydro-meteorologischen Einflüssen.
- **Stabilisierung / Erosionsschutz des Hangfußes:** Die Hangfußerosion stellt den zentralen Destabilisierungsfaktor dar. Entsprechend sollten Maßnahmen zur Verhinderung weiterer Erosion prioritär umgesetzt werden. Die konkreten Maßnahmen sind im Rahmen einer Fachplanung bzw. eines Varianten- und Kostenvergleichs zu ermitteln. Als Mindestmaßnahme ist ein Erosionsschutz für das Prallhangufer vorzusehen. Eine mögliche Lösung kann beispielsweise der Bau einer Stützkonstruktion nach dem Prinzip der bewehrten Erde sein. Weiter können wasserwirtschaftliche Maßnahmen zur Verringerung der direkten Anströmung des Prallhangs im Hochwasserfall eine sinnvolle Ergänzung darstellen.
- **Reduktion von Wasser im Hang:** Da eine erhöhte Bodenfeuchte die Hangstabilität wesentlich beeinflussen, sind Maßnahmen zur Entwässerung und Kontrolle der Wasserverhältnisse sinnvoll. Das heißt, dass die Vorzugsfließwege des Oberflächen- und Niederschlagswasser im Hang soweit zu steuern sind, damit eine Versickerung des Wassers im Hang begrenzt wird. Konkret können zur Lenkung des Oberflächenabflusses vorhandene Wege mit Randdämmen ausgestattet und gezielt Abflussrinnen zur Ahr gebaut werden.

Zur Festlegung der weiteren Vorgehensweise erfolgt eine Fachplanung auf Basis der vorliegenden Untersuchungen.

Literaturverzeichnis

Bell, R.; Schoch-Baumann, A.; Dietze, M.; Schrott, L. (2025): Electrical Resistivity Tomography (ERT) Moisture Monitoring on the Müsch Landslide (Ahr valley, Germany). EGU General Assembly 2025, 1 p. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu25-17256>

Dietze, M.; Gonzalez, L.F.; Bell, R.; Schrott, L.; Hovius, N. (2025): Strong daily landslide cracking activity – Does traffic drive slope failure?. EGU General Assembly 2025, 1 p. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu25-8438>

Draf, J. (1912): Die neue Bahnstrecke Ahrtal – Kylltal.- Eifelvereinsblatt, 13. Jahrgang, Nr. 6, S. 123-127, Bonn.

Elkholy, H. (2025): Erläuterungen zur Geologischen Kartierung zwischen Antweiler (TK25, Bl. 5506 Aremberg) und Dorsel/Eifel (TK25, Bl. 5606 Üxheim) im Rahmen des Projektes „Vorsorgemaßnahmen gegen die Folgen von Starkregenereignissen.- Kartierung im Auftrag des LGB, 69 S., 6 Anl. [unveröff.].

Roggenkamp, T.; Herget, J. (2022): Projektbericht: Hochwasser der Ahr im Juli 2021 – Abflussschätzung und Einordnung. Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, 66, Heft 1, S. 40-49 Bonn.

Scherbeck, R.; Hellenkamp, T. (2026): Hangrutsch östlich des Ortes 53533 Müsch an der Ahr – Geotechnisch-ingenieurgeologische Erkundung und Ursachenforschung zur Rutschung – Abschlussgutachten mit Bewertung der Gefährdungslage und Aufzeigen von Gegenmaßnahmen.- 47 S., 7 Anl., TABERG Ingenieure Lünen [unveröff.].

Wehinger, A. (2022): Hangrutschung bei Müsch nach dem Jahrhunderthochwasser im Ahrtal - Ingenieurgeologische Stellungnahme vom 11.04.2022.- 5 S., Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz Mainz [unveröff.].

Wenzel, T.; Bell, R.; Dietze, M.; Schrott, L. (2024): Persisten post-flood hillslope activity posing a potential landslide dam hazard in the Ahr valley, Germany.- Environmental Sciences Europe (2024) 36:158, 12 p., Springer. <https://doi.org/10.1186/s12302-024-00985-8>



smart**ROCK**

FELS- SICHERUNG GOES BIM.

- BIM-5D Modellierung
- UAV-Fotogrammetrie
- Digitale Gebirgskartierung
- 3D-Gefährdungsanalyse
- Planung & Bauausführung
- Inspektion & Wartung



TRIGIS
Die Welt der Geodaten
A SOCOTEC COMPANY

witt & partner
felsprojekt

BRUGG
Geobrugg

smartrock.wittundpartner.com

2 Felssicherung Bremmer Calmont an der Mosel: Planung und Lebenszyklusbetrachtung mit der BIM-Methode

DIPL. ING. CHRISTIAN ERNST, WITT & PARTNER GEOPROJEKT, ERFURT, DEUTSCHLAND
DIPL. GEOL. EBERHARD GRÖNER, GEOBRUGG AG, ROMANSHORN, SCHWEIZ

Vorwort

Gegenstand des Vortrages sind die Ergebnisse des mFUND-Forschungsprojekts "smartROCK – Planung, Bau und Überwachung von Schutzbauwerken gegen Steinschlaggefahren mit der BIM-Methodik". Ziel des FuE-Projektes war es, die für den gesamten Bauwerkszyklus eines Sicherungsbauwerkes passenden BIM-fähigen Methoden und Modelle zu entwickeln und exemplarisch an einem Demonstrator zu erproben.



An dem FuE-Verbundvorhaben smartROCK waren die witt & partner geoprojekt GmbH, die Trigis GeoServices GmbH und die Geobrugg AG (CH) beteiligt. Als Praxispartner wurde der Landesbetrieb Mobilität in Cochem (Rheinland-Pfalz) gewonnen.

Projektüberblick

Ziel von "smartROCK" ist es, allgemeingültige und passfähige Grundlagen für die Risikobewertung von Steinschlag- und Felssturzgefahren und darauf aufbauend Planungs- und Bauprozesse sowie digitale Anwendungen zur Überwachung von Sicherungsbauwerken mit der BIM-Methodik an einem "Digitalen Zwilling" zu entwickeln. Damit soll zukünftig eine zielgerichtete digitale Erfassung, Bewertung und Sicherung vor alpinen Naturgefahren ermöglicht und so zu einer verbesserten Gefahrenabwehr und mehr Sicherheit auf der Verkehrsinfrastruktur (Straße, Schiene, Wasserstraße) beigetragen werden.



Abb. 1: BIM-Bauwerkszyklus

Für den gesamten Bauwerkszyklus eines Sicherungsbauwerkes gegen Steinschlaggefährdung wurden die entsprechenden BIM-fähigen Methoden und Fach-/Teilmodelle (Geländevermessung, Gebirgskartierung, Standsicherheitsanalyse, Steinschlagsimulationen, Planung, Bau, Überwachung und Unterhaltung) entwickelt und exemplarisch an zwei Sicherungsbauwerken, dem sog. Demonstrator, erprobt. Die Ergebnisse wurden in einem umfangreichen Forschungsbericht und unter: <https://www.smartrock.wittundpartner.com> veröffentlicht.

Vermessung und Digitales Geländemodell

Zur photogrammetrischen Erfassung des schwer zugänglichen rund 15 Hektar großen Steilhangs am Bremmer Calmont wurde ein unbemanntes Flugsystem (UAS) eingesetzt (Abb. 2). Ziel war die Erstellung eines DGMs inklusive fotografischer Texturen.

Bei der Erfassung mussten zahlreiche Schutzzonen wie Vogelschutz-, FFH- und Landschaftsschutzgebiete beachtet werden, wofür entsprechende Genehmigungen eingeholt wurden. In der ersten Messkampagne wurde der gesamte Hang photogrammetrisch aufgenommen, nach der erfolgten Risikoanalyse wurde die kritische Felsformation oberhalb des Demonstrator Bereichs detaillierter vermessen. Eine besondere Herausforderung stellte die starke Hangneigung dar, weshalb sowohl Nadir- als auch Oblique-Aufnahmen notwendig waren. Die Flugplanung der zweiten Messkampagne erfolgte auf Basis des DGMs der ersten Messkampagne. Die Auswertung der Daten erfolgte mittels Agisoft Metashape, wobei



Abb. 2: Vermessung des Projektgebietes mit unbemanntem Flugsystem (UAS)

durch automatische und manuelle Filter ein präzises digitales Geländemodell erzeugt wurde. Aus den Rohdaten der fotogrammetrischen Punktwolke wurden ein 3D-Oberflächennetz (3D-Mesh), ein digitales Geländemodell (DGM) sowie ein texturiertes 3D-Modell (TLS-Modell) erzeugt (Abb. 3). Des Weiteren wurde anhand der Bestandsdaten die Stützmauer und der Bestandszaun am Hangfuß in Autodesk® Revit modelliert.



Abb. 3: Ausschnitt aus dem TLS-Modell

Projektspezifische BIM-Grundlagen

Zu Beginn des Forschungsprojektes wurden die BIM-Kerndokumente erarbeitet. Hierzu gehören die AIA (Auftraggeber-Informationsanforderungen) und der BAP (BIM-Abwicklungsplan). Die AIA beschreiben die Anforderungen des Auftraggebers an die Informationslieferungen des Auftragnehmers zur Erreichung der definierten BIM-Ziele und -Anwendungsfälle gemäß BIM Deutschland. Der BAP dokumentiert die nach Vertragsschluss gemeinsam von der Auftragnehmerseite erarbeitete und mit dem Auftraggeber abgestimmte Vorgehensweise zur Lieferung von Informationen und Daten und zur Erfüllung der vertraglich vereinbarten AIA. Diese Kerndokumente dienen als Grundlage für weitere Felssicherungsprojekte mit der BIM-Methode.

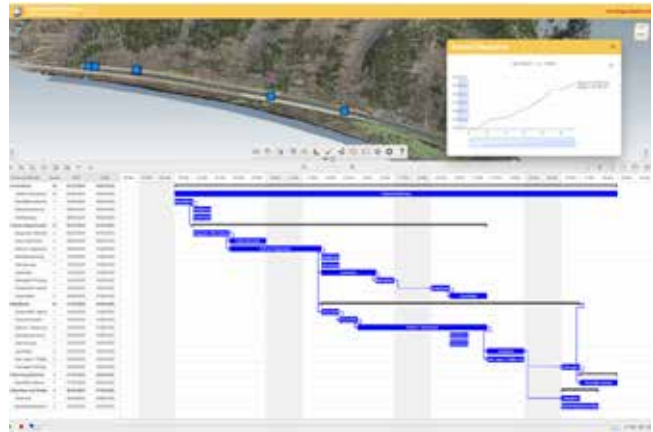


Abb. 4: CDE-Plattform (us.BIM) mit Gantt-Diagramm (BIM5D: Kosten-Zeit-Planung)

Als gemeinsame Datenumgebung wurde im Rahmen des Forschungsprojekts eine CDE angeschafft. Im Vorfeld wurde hierfür ein mehrstufiger Evaluierungsprozess durchgeführt. In diesem wurden die Bedarfe ermittelt und gewichtet. Anschließend wurden 12 Programme hinsichtlich dieser Kriterien bewertet.

Gebirgskartierung und Gefährdungsanalyse

Im Rahmen des Forschungsprojekts wurden die Felddaten gemäß Wiedenmann et al. (2023) mithilfe der GIS-basierten Applikation QField erfasst. Hierfür wurden zu Beginn die notwendigen Parameter definiert, das passende Kartenmaterial eingearbeitet und die Erfassungsmatrix am PC generiert. Anschließend wurden im Feld Oberflächenparameter und Blockgrößen mithilfe der App dokumentiert. Im Ergebnis können die koordinatengetreuen Risikostellen am PC ausgelesen und für die Durchführung der Standsicherheitsanalyse weiterverwendet werden.

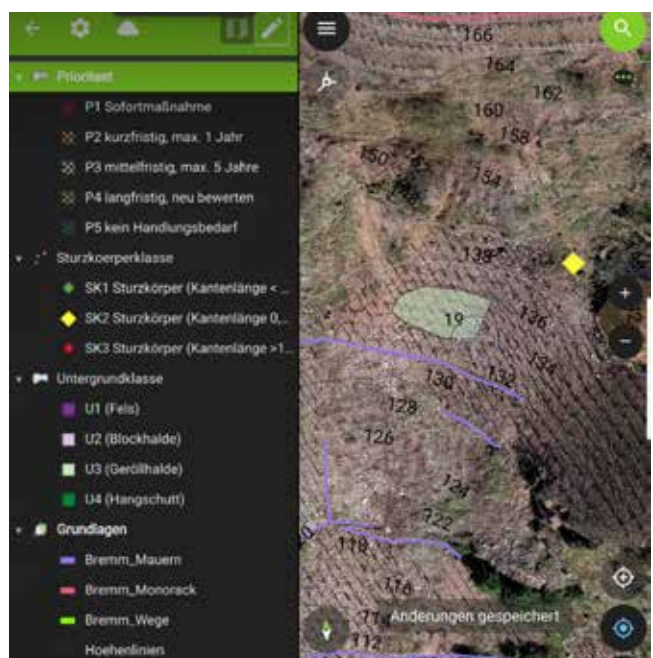


Abb. 5: Digitale Gebirgskartierung mit GIS-basierter QField-App

Auf Basis der erfassten Daten wurde das Risikopotential bewertet und geeignete Maßnahmen empfohlen. Für die Analyse wurden dreidimensionale Steinschlagsimulationen mit Rockyfor3D v5.2.15 (Dorren et al. (2025)) auf Basis des erstellten DGMs durchgeführt (Abb. 6). Anhand des DGMs erfolgte zudem eine Trennflächen- und Bruchkörperanalyse, die mit den Felddaten verglichen wurde.

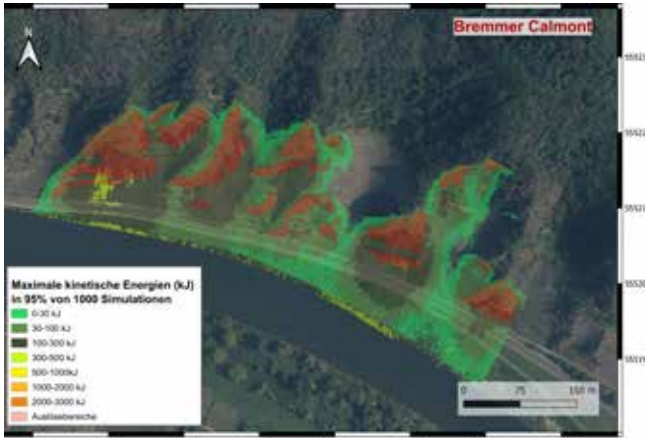


Abb. 6: Ergebnisse der 3D-Steinschlagsimulationen mit Rockyfor3D

Planung der Sicherungsmaßnahmen

Entsprechend der in den Anwendungsfällen definierten Detailgrade wurden die Elemente der Steinschlagschutzzäune als Bauteilgruppen modelliert. Die Detailgrade und mitzuführenden Attribute wurden innerhalb der Forschungsgruppe abgestimmt und sind im LOIN-Anhang definiert. Somit stehen für die gängigsten Zauntypen Revit-Bauteile mit standardisierten Eigenschaftssätzen zur Verfügung. Zur Erhöhung des Detailgrades im Zuge des Phasenübergangs werden die Bauteile in Revit aktualisiert. Ein neuerliches Modellieren ist nicht notwendig. Die Zaunachse wurde anhand des DGMs in Civil3D erstellt und ist mit dem Revit-Modell verknüpft. Somit werden Anpassungen der Achse und Stützpunkte im Revit rasch aktualisiert. Das Geotechnische-Bauwerk-Modell (GBM) besteht aus verschiedenen Teilfachmodellen. Die Teilmodelle wurden mit unterschiedlicher Autorensoftware erstellt und in der CDE zusammengeführt (Abb. 7).



Abb. 7: Geotechnisches-Bauwerk-Modell (GBM) in der CDE-Umgebung

Umsetzung am Demonstrator

Für die Umsetzung der dreidimensionalen Planung wurden dem Bauunternehmen die Bohransatzpunkte als räumliche Koordinaten geliefert. Mithilfe eines GNSS-Systems, welches für die Lafette konfiguriert wurde, war es möglich die Bohransatzpunkte koordinatengetreu anzufahren (Abb. 6).



Abb. 8: Koordinatengetreues Ansteuern der Bohransatzpunkte mittels einer GPS-gestützten Bohrlafette

Der Baufortschritt wurde ebenfalls mit einem GNSS-System aufgenommen und anschließend das Baumodell aktualisiert. Die für den Bauablauf relevanten Dokumente und Aufmaße wurden auf der CDE abgelegt, sodass der Baufortschritt für alle Projektpartner transparent war. Die fertiggestellten Bauteile wurden im Baumodell durch das Bauunternehmen farblich gekennzeichnet und die Attribute eingepflegt. Somit wurde eine optische Kontrolle des Baufortschritts ermöglicht. Zur Dokumentation des Bestands wurde eine fotogrammetrische Vermessung durchgeführt und das Bestandsmodell mit dem Baumodell abgeglichen (Abb. 9).



Abb. 9: Farbliche Kennzeichnung des Bautenstands (grün – Mikropfähle hergestellt; rot – Mikropfähle noch nicht hergestellt)

Inspektions- und Überwachungskonzept

Durch die Entwicklung eines Inspektions- und Überwachungskonzeptes mit einer angepassten Messkampagne zeigen wir, wie die Funktionsweise der Sicherungsmaßnahmen überprüft und das Gefährdungspotential regelmäßig überwacht werden kann. Entsprechende Parameter und deren Schwankungsbreiten bzw. Grenzwerte wurden hierfür festgelegt.

Für den Modellhang wurden die speziellen Messaufgaben mit der entsprechenden Mess- und Sensortechnik ausgewählt, der Einbau der Sensortechnik (Abb. 10) geplant und das Messkonzept für die Überwachung der Betriebsphase entwickelt.



Abb. 10: Geobrugg GUARD zur Fernüberwachung am Steinschlagschutzzaun, oben rechts

Dieses Messkonzept wird modellhaft am Modellhang umgesetzt, die regelmäßig geplanten Messungen und Auswertungen werden im Rahmen des Modellvorhabens durchgeführt. Die Messdaten werden entsprechend ausgewertet, um darauf aufbauend die Sicherungsmaßnahmen gezielt zu überwachen. Diese Überwachungsmethodik ist im Betriebsmodell integriert, um den Lebenszyklus des Bauwerkes mit der BIM-Methodik insgesamt abbilden zu können.

Lebenszyklusbetrachtung

Für die Betreiber von Verkehrsinfrastruktur sind Betrachtungen des Lebenszyklus von Bauwerken von großer Bedeutung. Zum einen können so regelmäßige Reparaturen eingeplant werden und eine Abschätzung der zu erwartenden Nutzungsdauer. Beides dient dazu frühzeitig Finanzmittel für die Erhaltung und beim Ende des Lebenszyklus der Bauwerke Gelder zur Verfügung zu stellen.

Mit unserem BIM Forschungsprojekt stellen wir dem Bauherrn alle Daten zur Verfügung für eine Lebenszyklusbetrachtung. Mit diesen Daten wird der Bauherr in die Lage versetzt die Planungssicherheit zu erhöhen. Zum einen, wann Bauwerksinspektionen erforderlich sind bzw. Intervalle für die Inspektion angepasst werden können. Zum anderen, wann Reparaturen erforderlich sind bis zu einer Abschätzung, wann das Bauwerk sein Lebensende erreicht hat. Bei detaillierter Planung ist davon auszugehen, dass das Lebensende durch die Korrosivität der Umgebung bestimmt werden kann. In der EN ISO 12944-2 wird die atmosphärische Korrosivität in 6 Kategorien eingeteilt und bestimmte Abtragraten Zink zugeordnet. Hinzu kommen noch Abtragraten für Wasser und Boden, bei denen die Werte über eine Analytik ermittelt werden müssen. Ein Abgleich mit der Sensorik macht eine Einordnung der Nutzungsdauer möglich.



Abb. 11: Gruppenfoto der beteiligten Fachexperten beim Projektabschlussstreffen.

Ausblick

Angesichts der wachsenden Herausforderungen durch alpine Naturgefahren zeigt sich, dass eine Weiterentwicklung der Planungsprozesse notwendig ist. Zukünftig wird es entscheidend sein, digitale Erfassungsmethoden und modellgestützte Planungen von Schutzmaßnahmen konsequent zu nutzen, um sowohl die Effizienz als auch die Qualität zu steigern. Die Förderung interdisziplinärer Zusammenarbeit sowie die Bereitstellung standardisierter Datenformate stellen dabei zentrale Voraussetzungen dar. Die hier vorgestellten Methoden und Prozesse markieren einen wesentlichen Schritt in Richtung einer nachhaltigeren und sichereren Bewältigung alpiner Naturgefahren und eröffnen neue Perspektiven für Forschung und Praxis.

Literaturverzeichnis

Jabyedoff, M. et al. (2024). *Toward the assessment of the rockfall sources hazard failure using 3D point clouds and remote sensing techniques*. University of Lausanne

Dorren, L., & Schaller, Ch. (2025). *In-depth revision of RF3D – the story behind version 6.0*. Bern: ecorisQ

Ernst, Ch. et al. (2021). *GeoRiS-Geotechnische Risikoanalyse steinschlaggefährdeter Felshänge unter Anwendung photogrammetrischer Messverfahren*. Weimar: w&p geoprojekt GmbH

Wiedenmann, J. et al. (2023). *Standardisierte und effiziente Methode zur Auswahl und Dimensionierung von Felssicherung am Beispiel eines großen Hangs im Südschwarzwald*. Freiburg: LGRB

Bundesfachabteilung Spezialtiefbau im Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V. (2019). *Technisches Positionspapier BIM im Spezialtiefbau*. Berlin

3 Unser Klima im Wandel – beobachtete Trends und zukünftige Entwicklungen

DR. TANJA WINTERRATH, DEUTSCHER WETTERDIENST, ABT. HYDROMETEOROLOGIE, OFFENBACH

Einleitung

Das Klima auf der Erde befindet sich im Wandel. Der vom Menschen verursachte Klimawandel bewirkt eine schnelle Veränderung der klimatischen Verhältnisse – weltweit ebenso wie in Deutschland. Die Zunahme der Temperatur ist unbestreitbar und zeigt sich robust in den Beobachtungsdaten. Ohne eine stringente Klimaschutzpolitik, die negative Emissionen umfasst, erwarten wir eine weitere Zunahme der globalen Mitteltemperatur und damit einhergehend auch Änderungen weiterer meteorologischer Parameter. Der folgende Text setzt den Fokus auf Hitze, Frost und Niederschlag – wichtige Variablen im Kontext geologischer Prozesse wie Rutschungen.

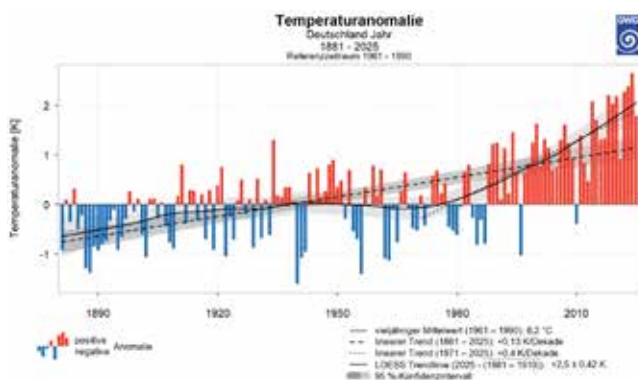


Abb. 1: Zeitreihe der Anomalien der Jahresmitteltemperaturen in Deutschland zwischen 1881 und 2025.

Temperatur

Seit 1881 steigt die Temperatur im deutschlandweiten Mittel mit einem linearen Trend von 0,13 Kelvin (K) pro Dekade an. In den letzten Jahrzehnten hat sich der Trend verstärkt. Um dieses Verhalten besser abbilden zu können, verwendet der Deutsche Wetterdienst (DWD) den LOESS-Filter – eine lokale lineare Regression. Mit diesem Verfahren ergibt sich für das Jahr 2025 eine Temperaturzunahme im Vergleich zum klimatologischen Mittel der Jahre 1881-1910 von 2,5 K $\pm$ 0,42 K (Abbildung 1).

Mit einer Jahresmitteltemperatur von 10,0 °C lag das vergangene Jahr 2025 damit in Deutschland weiterhin deutlich über den klimatologischen Referenzwerten früherer Jahrzehnte. Im globalen Maßstab zeigte sich ein ähnliches Bild: Nach Angaben internationaler Klimadienste gehörte 2025 weltweit zu den drei wärmsten Jahren seit Beginn der Messungen.

Klimamodelle des DWD-Referenzensembles projizieren für das Hochemissionsszenario RCP 8.5 eine weitere Zunahme der globalen Mitteltemperatur bis zum Ende des Jahrhunderts um mehrere Kelvin. Entsprechend ist das 2-Grad-Ziel nur zu erreichen, wenn Klimaschutzmaßnahmen konsequent umgesetzt werden und zudem der Atmosphäre CO₂ entzogen wird.

Heiße Tage und Frosttage

Eine Erhöhung der mittleren Temperatur führt zu einer erhöhten Wahrscheinlichkeit für das Auftreten sehr hoher Temperaturen (Hitze) und auf der anderen Seite einer niedrigeren Wahrscheinlichkeit für das Eintreten sehr kalter Temperaturen. Um diesen Effekt mit Zahlen zu unterlegen, arbeitet der DWD mit Kenntagen: An einem Heißen Tag überschreitet die maximale Temperatur den Wert von 30 °C; an einem Frosttag liegt die Minimaltemperatur unter dem Gefrierpunkt.

Seit 1951 hat die Zahl der Heißen Tage in Deutschland um etwa 9 Tage zugenommen (Mittelwert 1961-1990 = 4,2 Tage), während die Zahl der Frosttage beständig abnimmt. Die Klimamodelle projizieren ohne strikten Klimaschutz eine Fortsetzung des Trends.

Einfluss des Klimawandels auf Starkregenereignisse weltweit: Sachstand gemäß IPCC

Die fortschreitende Erderwärmung wirkt sich auch auf den atmosphärischen Wasserkreislauf und somit auch auf die Eigenschaften der Niederschläge aus. Die höheren Temperaturen führen zu erhöhter Verdunstung, wodurch mehr Wasserdampf in die Luft gebracht wird. Zudem kann wärmere Luft mehr Wasserdampf aufnehmen. Dieser Zusammenhang wird durch die Clausius-Clapeyron-Gleichung beschrieben, die besagt, dass die Aufnahmefähigkeit der Luft für Wasserdampf um etwa 7 % pro °C zunimmt, wenn man davon ausgeht, dass die relative Luftfeuchtigkeit konstant bleibt. Auf globaler Ebene trifft die Annahme einer näherungsweise konstant bleibenden relativen Feuchte in etwa zu, aber nicht unbedingt auf regionaler Ebene (Douville et al., 2021). In der Konsequenz aus diesen Prozessen kann der Klimawandel also zu einer Veränderung wichtiger Merkmale des Wasserkreislaufs wie der Niederschlagsintensität, aber auch der Dauer und Häufigkeit von Niederschlägen führen (siehe dazu auch Trenberth et al., 2003), insbesondere auf regionaler Ebene. Die Frage, wie sich der Klimawandel auf Starkniederschläge auswirkt, ist daher Thema vieler wissenschaftlicher Studien in vielen Regionen der Welt. Der letzte Sachstandsbericht des Weltklimarats (IPCC, Kapitel 11 der Arbeitsgruppe 1: Seneviratne et al., 2021) fasst auf dieser Basis den Kenntnisstand wie folgt zusammen (dabei wird gemäß dem üblichen IPCC-Sprachgebrauch mit dem Begriff „wahrscheinlich“ ein Ergebnis beschrieben, das eine Wahrscheinlichkeit von > 66 % hat):

Global betrachtet ergibt sich, dass für die meisten Landregionen mit guter Beobachtungsabdeckung die Häufigkeit und die Intensität von Starkniederschlagsereignissen wahrscheinlich zugenommen haben. Insbesondere haben die Starkniederschläge wahrscheinlich auf den drei Kontinenten Nordamerika, Europa und Asien zugenommen. Mit mindestens mittlerem Vertrauen wurden regionale Zunahmen in der Häufigkeit und/oder Intensität von Starkniederschlägen für fast die Hälfte der betrachteten Regionen beobachtet. Für einige Regionen, insbesondere Afrika, kann aufgrund der Datenlage keine sichere Schlussfolgerung gezogen werden.

Der menschliche Einfluss, insbesondere aufgrund der Treibhausgasemissionen, ist wahrscheinlich die Hauptursache für die beobachtete globale Intensivierung von Starkniederschlägen über den Landregionen. Es ist wahrscheinlich, dass der vom Menschen verursachte Klimawandel zur beobachteten Intensivierung von Starkniederschlägen auf der kontinentalen Skala in Nordamerika, Europa und Asien beigetragen hat.

Starkniederschläge werden mit zunehmender globaler Erwärmung im Allgemeinen häufiger und intensiver werden. Bei einer globalen Erwärmung von 4 °C im Vergleich zum vorindustriellen Niveau würden sehr seltene (z. B. einmal in 10 oder mehr Jahren) Starkniederschlagsereignisse häufiger und intensiver als in der jüngsten Vergangenheit auftreten, und zwar auf globaler Ebene (praktisch sicher) und auf allen Kontinenten. Die Zunahme der Häufigkeit und Intensität ist für die meisten Kontinente extrem wahrscheinlich.

Auf globaler Ebene wird die Intensivierung von Starkniederschlägen der Zunahme der maximalen Feuchtigkeitsmenge folgen, die die Atmosphäre bei Erwärmung aufnehmen kann (hohes Vertrauen), also etwa 7 % pro 1 °C globaler Erwärmung. Die Zunahme der Häufigkeit von Starkniederschlagsereignissen wird bei selteneren Ereignissen höher ausfallen (hohes Vertrauen), wobei sich die Häufigkeit von 10- bzw. 50-jährlichen Ereignissen im Vergleich zur jüngsten Vergangenheit bei 4 °C globaler Erwärmung wahrscheinlich verdoppeln bzw. verdreifachen wird. Die Zunahme der Intensität extremer Niederschläge auf regionaler Ebene wird, abhängig vom Ausmaß der regionalen Erwärmung, Veränderungen der atmosphärischen Zirkulation und der Sturmdynamik, variieren.

In weiterer Konsequenz wird die prognostizierte Zunahme der Intensität extremer Niederschläge zu einer Zunahme der Häufigkeit und des Ausmaßes von pluvialen Überschwemmungen (Oberflächenwasser und Sturzfluten) führen (hohes Vertrauen), da diese Überschwemmungen aus Niederschlagsintensitäten resultieren, die die Kapazität natürlicher und künstlicher Abflusssysteme übersteigen.

Der mittlere Niederschlag in Deutschland

Die jährlichen Niederschlagsmengen in Deutschland unterliegen sowohl räumlich als auch zeitlich starken Schwankungen. Auf dem Gebiet der Bundesrepublik liegen beispielsweise große klimatische Unterschiede zwischen den trockenen Regionen Sachsen-Anhalts und dem regenreichen Voralpenland. Zudem wechseln sich trockene und feuchte Jahre ab. Insgesamt sind Aussagen zu Trends im Niederschlagsgeschehen daher schwieriger zu treffen als für die Temperatur. Langjährige Stationsbeobachtungen zeigen eine leichte Zunahme des Niederschlags im bundesweiten Mittel. Klimaprojektionen deuten auf eine Fortführung des Trends hin. Dabei treten die Zunahmen insbesondere im Winter auf, während der Niederschlag im Sommer eher gleichbleibend bis abnehmend ist.

Beobachteter Extremniederschlag

Als extreme Niederschläge gelten seltene Ereignisse, die potenziell schadensträchtig sind. Der Deutsche Wetterdienst unterscheidet aktuell in seinem Warnwesen zwischen Starkregen und Dauerregen. Als Starkniederschlag bezeichnet man große Niederschlagsmengen, die in einem kurzen Zeitintervall fallen, während Dauerregen eine geringere Intensität aufweisen, aber über einen längeren Zeitraum große Niederschlagsmengen akkumulieren und ebenso schadensrelevant sein können.

Physikalische Grundprinzipien legen nahe, dass der fortschreitende Klimawandel Auswirkungen auf Häufigkeit und Eigenschaften von Starkniederschlägen hat. Der letzte Sachstandsbericht des IPCC schlussfolgert für Landregionen mit guter Beobachtungsabdeckung, dass weltweit für die meisten Regionen Häufigkeit und Intensität wahrscheinlich zugenommen haben. Für Deutschland stehen zur Bewertung vieljährige Stationsmessreihen sowie seit dem Jahr 2001 flächendeckende Radarbeobachtungen zur Verfügung. Auswertungen beider Datenquellen lassen vielerorts eine Tendenz zur Zunahme von Starkregen erkennen. Im Fall der Stationsdaten ist diese Zunahme aber für viele Stationen derzeit nicht statistisch signifikant. Um die Extremereignisse in ihrer Charakteristik besser erfassen zu können, erstellt der DWD auf Basis der Radardaten den Starkregenereigniskatalog (CatRaRE, www.dwd.de/catrare), der alle Starkregenereignisse, die in Deutschland seit 2001 aufgetreten sind, dokumentiert und mit Attributen wie Intensität, Fläche und Dauerstufe charakterisiert. Abbildung 2 zeigt die jährliche Anzahl (oben) sowie die Fläche (unten) der Extremniederschlagsereignisse in Deutschland, aufgeschlüsselt nach den analysierten Dauerstufen.



Abb. 2: Jährliche Anzahl (oben) und Fläche (unten) der Extremereignisse des Starkregenkatalogs CatRaRE für Dauerstufen zwischen einer und 72 Stunden.

Abbildung 3 zeigt die Auswertung der Trends in der Anzahl und Fläche der Ereignisse von 2001 bis 2024. Während im Nordwesten Deutschland eher eine Abnahme zu erkennen ist, zeigt sich im Rest Deutschlands verbreitet eine Zunahme, insbesondere in Süddeutschland. Auf Basis der Radardaten kann die Auswertung nur für einen vergleichsweise kurzen Zeitraum durchgeführt werden, der eine eindeutige Zuordnung zum Klimawandel nicht zulässt.

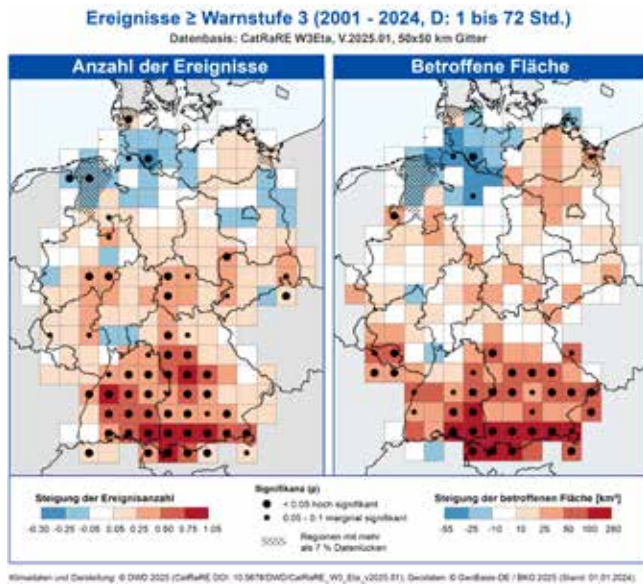


Abb. 3: Änderung der Anzahl und Fläche der Extremniederschlagsereignisse aus CatRaRE zwischen 2001 und 2024. Aufgrund der Kürze der Zeitreihe ist auch für die signifikanten Trends keine eindeutige Zuordnung zum Klimawandel möglich.

Starkregen in Deutschland – die Zukunft

Um die Auswirkungen weiter steigender Treibhausgaskonzentrationen auf die zukünftige Klimaentwicklung abzuschätzen, kommen Klimamodelle zum Einsatz, die u. a. abhängig von ihrer räumlichen Auflösung die physikalischen Prozesse der Atmosphäre in unterschiedlichem Detaillierungsgrad berücksichtigen. Durch die Verbesserung der räumlichen Auflösung bis auf wenige Kilometer ist es inzwischen möglich, Konvektionsprozesse explizit in den Modellen zu simulieren (sogenannte „konvektionserlaubende Modelle“) und somit die zugrundeliegenden Prozesse der intensiven Niederschlagsereignisse besser zu berücksichtigen. In der Kooperation KLIWA wurde ein kleines Ensemble solcher konvektionserlaubenden Projektionen über Süddeutschland für das Ende des 21. Jahrhunderts ausgewertet (KLIWA 2024, Voigt 2025). Die Auswertungen haben u. a. ergeben, dass Starkniederschläge in der betrachteten Region im Klima der Zukunft über alle untersuchten Dauerstufen (1 bis 72 Stunden) häufiger auftreten bzw. intensiver werden. Dabei ist der absolute Anstieg der einstündigen Niederschlagsintensität bei selteneren Ereignissen am größten. Die Sommer der Zukunft werden trockener, und der Anteil der Starkniederschläge am sommerlichen Niederschlag steigt. Die Bandbreite der Änderungssignale ist dabei allerdings groß. Auswertungen der einzelnen Simulationen des KLIWA-Ensembles mit weiterführenden Details finden sich in den Veröffentlichungen, die in der Referenzenliste von KLIWA (2024) zusammengestellt sind.

Attributionsuntersuchung zum Starkregenereignis im Sommer 2021 in Deutschland

Neben der generellen langfristigen Entwicklung stellt sich nach einzelnen extremen Ereignissen auch die Frage, ob ein Zusammenhang zum fortschreitenden Klimawandel besteht. Diese Frage wird im Rahmen der Attributionsforschung untersucht. Im Fall von temperaturbezogenen Extremereignissen kann in den Attributionsstudien meist ein eindeutiger Zusammenhang hergestellt werden. Bei Niederschlagsereignissen sind die Ergebnisse oft mit größeren Unsicherheiten verbunden, und es ist nur möglich, großflächigere Ereignisse zu untersuchen. Eine solche Attributionsstudie wurde von der Gruppe World Weather Attribution (World Weather Attribution – Exploring the contribution of climate change to extreme weather events www.worldweatherattribution.org) unter Beteiligung des DWD durchgeführt: Vom 12. bis 15. Juli 2021 traten in verschiedenen Teilen Westeuropas extreme Regenfälle mit regional mehr als 100 Liter Regen pro Quadratmeter an einem einzigen Tag auf. Durch Überschwemmungen als Folge des Starkregens kamen in Deutschland und Belgien über 200 Menschen ums Leben, und es wurden erhebliche Schäden verursacht, insbesondere auch im Ahrtal. Um eine Einschätzung des Einflusses des Klimawandels zu liefern, wurde analysiert, wie wahrscheinlich es ist, dass sich derartige Starkregenfälle in Westeuropa (betrachtet wurde eine Region, die Teile von Frankreich, Westdeutschland, Belgien, den Niederlanden, Luxemburg und der Schweiz umfasst) ereignen und inwiefern dies durch die weltweit steigenden Temperaturen beeinflusst wird. Für diese erweiterte Region wurde festgestellt, dass sich die maximale Niederschlagsmenge durch den menschengemachten Anteil am Klimawandel zwischen 3 und 19 Prozent sowie die Eintrittswahrscheinlichkeit für das Ereignis um einen Faktor zwischen 1,2 und 9 erhöht haben (Tradowsky et al., 2023).

Zusammenfassung und Fazit

Der Klimawandel ist Realität. Beobachtung belegen die Zunahme der Temperatur sowohl global als auch in Deutschland. Klimamodelle projizieren eine weitere Zunahme der Temperaturen für dieses Jahrhundert. Damit einhergehend steigt die Anzahl der Hitzetage, während die Anzahl der Frosttage abnimmt. Unser physikalisches Verständnis der atmosphärischen Prozesse legt nahe, dass der fortschreitende Klimawandel Auswirkungen auf Häufigkeit und Eigenschaften von Starkregenereignissen hat (Trenberth et al., 2003). Der letzte Sachstandsbericht des Weltklimarats IPCC aus dem Jahr 2021 schlussfolgert auf Basis der vorhandenen Studien, dass weltweit für die meisten Landregionen mit guter Beobachtungsabdeckung die Häufigkeit und die Intensität von Starkniederschlagsereignissen wahrscheinlich bereits zugenommen haben. Auswertungen erster konvektionserlaubender Klimasimulationen für den süddeutschen Raum deuten darauf hin, dass im Klima der Zukunft häufigere bzw. intensivere Starkniederschläge erwartet werden können. Attributionsstudien zu Starkregenereignissen in Deutschland liefern ebenfalls Hinweise auf einen Einfluss des Klimawandels auf Intensität und Eintrittswahrscheinlichkeit von extremen Niederschlagsereignissen.

Informationsportale

Der DWD stellt den Bürgerinnen und Bürger umfangreiche Informationen zu aktuellen Wetterereignissen und Warnungen, Gefährdungen durch Wetterereignisse sowie klimatologische Auswertungen zur Verfügung. Hierzu stehen zwei Portale zur Verfügung, die insbesondere umfangreiche Informationen und Daten zu Starkregen bündeln:

Das **Naturgefahrenportal** (www.naturgefahrenportal.de) ist eine gemeinsame Entwicklung des DWD, weiterer Bundes- und Landesbehörden. Es bietet umfassende Informationen zu verschiedenen Naturgefahren, von aktuellen Warnungen vor bevorstehenden Ereignissen über die Einschätzung der allgemeinen Gefährdung am Standort bis hin zu Handlungsempfehlungen, wie man sich vor Naturgefahren schützen kann. Zu den verschiedenen Bereichen des Naturgefahrenportals finden sich zudem hilfreiche Hintergrundinformationen.

Das **LAWA-Starkregenportal** wird im Auftrag der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) und mit Unterstützung des Deutschen Wetterdienstes (DWD) betrieben, um Starkregenereignisse deutschlandweit einheitlich zu erfassen und zu dokumentieren. Dargestellt werden umfangreiche Informationen zum aktuellen Niederschlagsgeschehen, zu vergangenen Ereignissen und zu geeigneten Vorsorgemaßnahmen.

men. Außerdem besteht die Möglichkeit für die Nutzenden, selbst Schäden und Auswirkungen von Starkregenereignissen einzutragen. Wichtige Datengrundlage des Portals ist der Starkregenereigniskatalog (CatRaRE) des DWD.

Schlussbemerkung und Literatur

Große Teile des Textes zum Thema Starkregen basieren auf Kaspar et al, 2025, das eine umfangreiche Zusammenfassung des Wissensstands zu Niederschlagstrends und der Entwicklung von Starkniederschlägen in Deutschland beinhaltet und regelmäßig vom Deutschen Wetterdienst überarbeitet und aktualisiert wird. Die Referenzen der hier zitierten Literatur sind diesem Dokument zu entnehmen:

Kaspar, F., Deutschländer, T., Junghänel, T., Lengfeld, K., Ostermüller, J., Palarz, A., Rauthe, M., Rustemeier, E., Walawender, E., Winterrath, T., Ziese, M.: *Niederschlagstrends und Entwicklung der Starkniederschläge in Deutschland (Stand 2025), Bericht des Deutschen Wetterdienstes, 2025.*




TRUMER
Schutzbauten

Jetzt zugelassen!

Alle Trumer Viereckgeflechte, verfügen über eine Europäische Technische Bewertung (ETA) und einer Environmental Product Declaration (EPD)



www.trumer.cc

4 Anwendung der flächenhaften FE-Modellierung

PROF. DR.-ING. MICHAEL ALBER, ALBER GEOMECHANIK, DORTMUND &
DR. TILL HELLENKAMP, ROCTEC GMBH & CO. KG, HAMM

Zur Beurteilung der Standsicherheit von Böschungen oder Rutschhängen wird meist auf DIN 4084 (Gelände- und Böschungsbruch) zurückgegriffen. Hier werden Einwirkungen (Eigenlasten des Gleitkörpers, externe Lasten, Wasserdruck) mit den Widerständen des Materials in der Gleitfuge verglichen. Die Geometrie der Scherfuge wird als Gleitkreis oder als gebrochene Gleitfuge angenommen. Ein alternatives Verfahren stellt die Finite-Elemente-Modellierung (FE-Modellierung) in Verbindung mit Abminderung der Scherparameter (Φ -Reduktion) dar (Schanz, 2006). In diesem SSR-Verfahren (Shear-Strength-Reduction) werden die beiden Scherparameter Kohäsion c und Reibungswinkel Φ von einem hohen Startwert schrittweise gleichmäßig abgemindert, bis die FE-Berechnung nicht mehr konvergiert. Durch die Abminderung der Scherparameter ergeben sich plastische Verformungen im Modell und die potenziellen Gleitfugen lassen sich durch Schubverzerrungen visualisieren.

Für diese Methode sind neben den üblichen Kennwerten (Wichte γ , Kohäsion c , Reibungswinkel Φ) auch noch das Steifemodul (Gebirgsverformungsmodul) zu definieren. Das FE-Netz sollte fein genug sein, um die Scherfugen genau abzubilden. Externe Lasten, Anker, Wasserdruck oder selbst Klüfte lassen sich im Modell gut abbilden. Die FE-Berechnungen können in 2D (klassische Schnittberechnungen) wie auch in 3D ausgeführt werden. Letzteres ist v.a. bei Böschungen und Hängen mit starkem Relief wichtig. Im Folgenden wird das Verfahren in 2D visualisiert. Die Hanggeometrie kann z.B. aus dem DGM1 extrahiert werden. Zielt die Fragestellung auf eine tiefe Gleitfuge ab, ist darauf zu achten, dass keine übersteilten Oberflächen präsent sind. Diese würden zuerst versagen und die Berechnungen stoppen. In dem Beispiel weist der Hang drei Schichten mit den folgenden Startkennwerten (Tabelle 1) für die ersten beiden Schichten auf. In der FE-Berechnung werden nun schrittweise die Scherparameter mit dem Reduktionsfaktor SRF so lange abgemindert $[(\tan \Phi)/\text{SRF}]$ und c'/SRF , bis das Modell instabil wird und die Lösung nicht mehr konvergiert. Der kritische Abminderungsfaktor ist hier $\text{SRF} = 1,6$ [-]. Damit können Scherparameter, bei denen sich Scherfugen ausbilden abgeschätzt werden (Tab. 1). Das geotechnische Modell sowie die Ausbildung der Scherfuge ist in den Abbildungen 1 und 2 dargestellt.

Tab. 1: Materialkennwerte

	Schicht 1	Schicht 2	Schicht 3
Material	S/G, stark tonig, fest	G, tonig, fest	Tonschiefer
Wichte	21 kN/m ³	22 kN/m ³	26 kN/m ³
Kohäsion c	30 kPa	20 kPa	500 kPa
Reibungsw. φ	30°	30°	35°
Steifemodul	200 MN/m ²	150 MN/m ²	5000 MN/m ²
kritische Scherparameter	c_{krit} 18,7 kPa φ_{krit} 19,8°	c_{krit} 12,5 kPa φ_{krit} 19,8°	

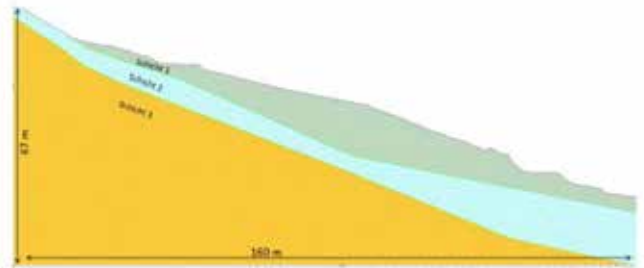


Abb. 1: Modell des Rutschhangs.

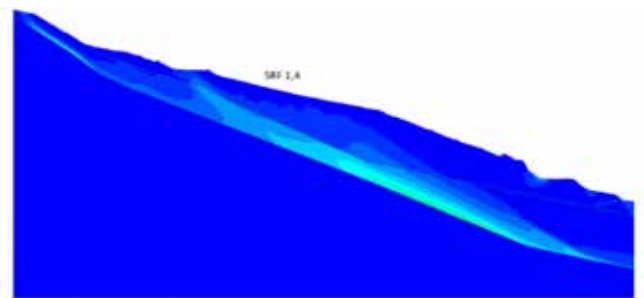


Abb. 2: Erste Ausbildung von Gleitfugen bei SRF 1,4.

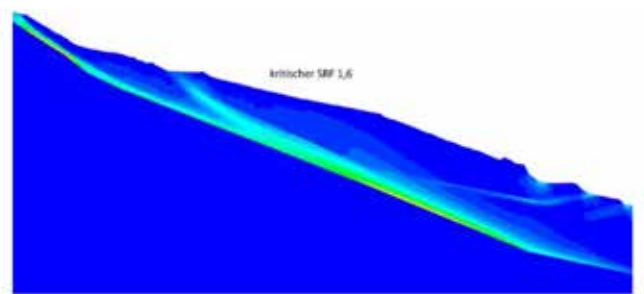


Abb. 3: Rutschung bei SRF 1,6.

Voraussetzungen zur Modellbildung

Zur geotechnischen Abschätzung der Ursache von Großrutschungen ist ein möglichst genaues ingenieurgeologisches Modell der örtlichen Situation erforderlich, das der 2D/3D-FE-Berechnung zugrunde gelegt wird. Das ingenieurgeologische Modell besteht dabei grundsätzlich aus zwei Komponenten, einer geometrischen (geologischen) und einer geotechnischen Komponente.

Geometrisches Modell

Der geometrische (geologische) Teil des Modells beschreibt dabei die räumlichen Randbedingungen des Modells. Dazu sind die Oberfläche des Hanges, die geologischen Schichtgrenzen und Grund- bzw. Schichtwasserstände erforderlich. Für die Oberfläche ist das öffentlich verfügbare DGM1 mit einer Rasterweite von 1 m ausreichend. Für den Schichtenaufbau sind Kernbohrungen mit ggf. bohrlochoptischen Aufnahmen und ergänzenden geophysikalische Erkundungsmethoden notwendig. Kartierungen mit der Aufnahme von natürlichen Aufschlüssen und Schürfen sollten zusätzlich ausgeführt werden. Je nach Fragestellung ist auch ein Trennflächennetzwerk zu definieren.

Geotechnisches Modell

Auf Grundlage des geologischen Modells werden die geotechnischen Eigenschaften den einzelnen Schichten oder Homogenbereichen zugewiesen. Für Lockergesteine sind dies Wichte γ , das Steifemodul E_s , Kohäsion c und Reibungswinkel ϕ . Für Festgebirge die Wichte, die Gebirgsfestigkeit (Mohr-Coulomb oder Hoek-Brown) und das Gebirgsverformungsmodul E_G . Sollen Trennflächen einbezogen werden, so ist ein entsprechender Reibungswinkel und v.a. die Kluftschersteifigkeit k_s zu definieren.

Wichtig bei der SSR-Methode ist es, dass für alle Schichten, die Gleitfugen ausbilden können, die Restscherfestigkeiten definiert werden müssen. Für Rutschungshänge ist meist das unterliegende Festgestein als rein elastisch anzunehmen. Weiterhin ist ein ausreichend hoher Startwert für die Scherfestigkeit zu definieren, damit das Modell nicht schon bei der ersten Berechnung Gleitfugen ausbildet. Auf die Strategie der Wahl der Startwerte wird im folgenden Beispiel eingegangen.

Besonderheiten des FE-Ansatzes und Wahl zwischen 2D und 3D-Modell

Für die Modellierung dürfen ausschließlich Volumenkräfte (body force) für die verschiedenen Materialien angesetzt sowie ein gravitatives Spannungsfeld verwendet werden. Dazu ist noch die Poissonzahl ν zur Implementierung des Seitendrucks zu definieren.

Die Geometrie des Hanges und/oder die lokalen/externen Lasten entscheiden über einen 2D oder 3D Ansatz. Für einen im Streichen ebenen Hang ist sicher ein 2D Ansatz genügend. Sind jedoch ein starkes Hangrelief, lokale Einschnitte oder externe Lasten zu berücksichtigen, ist ein 3D Modell angebracht.

Beispiel Rutschung im Keuper

Keuperhänge neigen zu Rutschungen (LGRB Ba-Wü, 2026). Im folgenden Beispiel wird das Potenzial für eine Rutschung an einer großen Böschung im Gipskeuper an einer wichtigen Verkehrsverbindung demonstriert.

Die Höhe des untersuchten Hanges von der Verkehrsverbindung bis zum Gipfel beträgt ca. 63 m, die Hangneigung liegt bei 26° . Die Morphologie aus dem DGM1 ist in Abbildung 4 dargestellt und umfasst fasst ca. 1,2 km². Die maximale Teufe der Rutschung und somit die der plastischen Schichten wird auf 40 m begrenzt. Darunter steht „elastischer Keuper“ an. Die geotechnischen Kennwerte wurden aus Wichter (1980) entnommen.

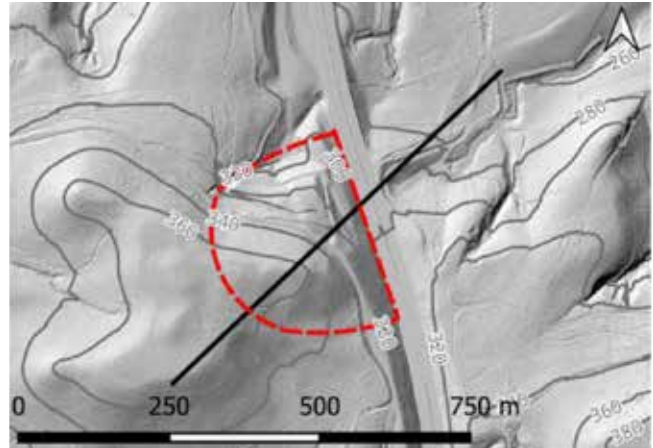


Abb. 4: Schummerungskarte und Bereich der potenziellen Rutschung (roter Bereich) mit Schnittachse (schwarz).

Tab. 2: Materialkennwerte

Material	Keuper plastisch	Keuper elastisch
Wichte	23 kN/m ³	24 kN/m ³
Kohäsion c	50 kPa (0 - 100 kPa)	500 kPa
Reibungswinkel ϕ	$30^\circ - 35^\circ$	50°
Steifemodul	50 MN/m ²	1000 MN/m ²
Startwert	$c = 100 \text{ kPa}$ $\phi = 50^\circ$	N/A
Residualwerte	$c_r = 5 \text{ kPa}$ $\phi_r = 20^\circ$	N/A

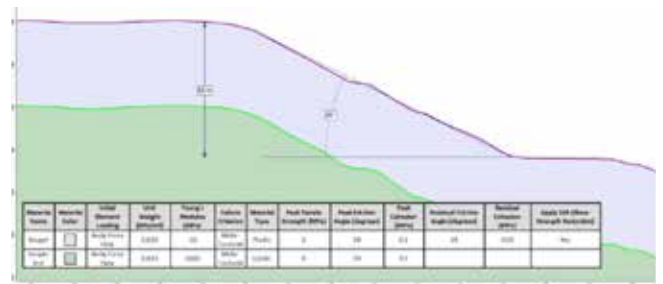
Dort werden alle relevanten Gebirgskennwerte (Tab. 2) aus Festigkeitsuntersuchen an Großbohrkernen zusammengefasst. Als Startwerte für die Reduktion der Scherfestigkeiten wurden die Werte aus Tabelle 2 verdoppelt.

Das numerische Modell ist in Abbildung 5 dargestellt. Wichtig ist eine ausreichend feine Vermaschung des plastischen Keupers. Im vorliegenden Fall weist das Modell 3,2 Mio. finite Elemente und 5,6 Mio. Berechnungspunkte auf.



Abb. 5: Vereinfachtes Schichtenmodell (Blick von Norden).

Entlang der Schnittachse wurden dieselben Berechnungen mit denselben Kennwerten (Tab. 2) in 2D durchgeführt. Das Modell ist in Abbildung 9 dargestellt, und die Entwicklung der Scherfuge ist in Abbildungen 10 und 11 visualisiert.



Überkritischer SRF 1.88
 $c = 53 \text{ kPa}$, $\phi = 25^\circ$

32

Ein Vergleich der 2D- mit 3D-Ergebnissen bzgl. des SRF in Abbildung 12 und der Scherparameter in Tabelle 3 zeigt, dass in 3D bei höheren Scherfestigkeiten der Hang ins Rutschen kommt. Dies ist darin begründet, dass der Rutschkörper an einem Geländevorsprung liegt. Damit liegt in 3D keine seitliche Einspannung vor und es sind höhere Scherfestigkeiten zum halten des Grenzgleichgewichts erforderlich. Bei der Anwendung des ebenen 2D Modells wird ein endloser langer Hang in dessen Streichen angenommen.

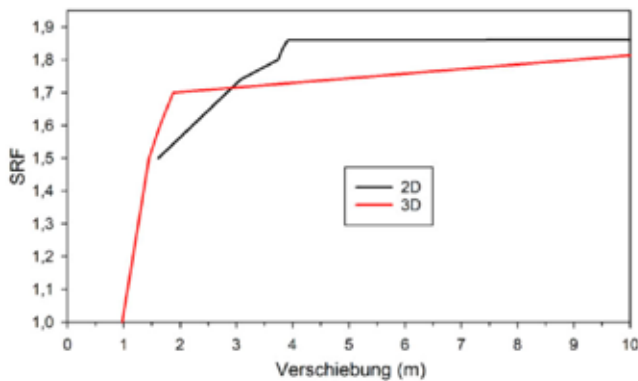


Abb. 12: Vergleich der Verschiebungen bei verschiedenen SRF in 2D und 3D.

Tab. 3: Kritische Scherparameter aus 2D- und 3D-Berechnungen.

Modell	2D	3D
SRF _{krit.}	1,86	1,9
Kohäsion $c_{krit.}$	53,7 kPa	58,8 kPa
Reibungswinkel $\phi_{krit.}$	25,1°	27,2°

Diskussion der SSR-Methode mit FE

Bei Verwendung dieser FE-Methode in Verbindung mit der SSR-Berechnung ist keine Annahme über die Lage oder Form der Versagensfläche (kreisförmig oder gebrochene Gleitfuge) anzusetzen. Die Methode eignet sich ebenfalls gut, um das progressive Versagen eines Hanges zu visualisieren. Bei korrekter Wahl der elastischen Parameter können die Verschiebungen und somit die Einwirkungen auf z.B. Stützelemente bzw. deren Beanspruchung abgeschätzt werden. Der SSR-Faktor entspricht dem herkömmlichen Sicherheitsbeiwert SF oder dem reziproken Ausnutzungsgrad μ im globalen Grenzgleichgewicht.

Teilsicherheitsbeiwerte können berücksichtigt werden und die Φ -c-Reduktion entspricht mit ihrer Abminderung der Bodenschersfestigkeit weitestgehend dem Nachweisverfahren 3 nach DIN 1054 (GEO-3).

Problematisch erscheint jedoch, dass die Scherparameter bei den FE-Berechnungen immer gleich abgemindert werden. Der SRF geht immer mit c /SRF und $(\tan \Phi)$ /SRF in die Abminderung ein. Bei bestimmten Bodenarten erscheint diese Abminderung unrealistisch. So reagiert z.B. ein GU/GT bei zunehmendem Wassergehalt mit einer Abminderung der Kohäsion c , während der Reibungswinkel Φ gleich bleibt oder weniger stark abnimmt.

Alternativ zu dem oben beschriebenen SSR-Verfahren können mit FE-Berechnungen gezielt bestimmte natürliche Einflüsse modelliert:

- Schrittweise Verringerung der Kohäsion durch Durchfeuchtung bzw. Änderung der Konsistenz. Damit kann z.B. ein erhöhter Wassergehalt durch Niederschlagsereignisse in ein Rechenmodell implementiert werden.
- Einfluss von Schichtwasser auf die Standsicherheit eines Hanges.
- Einfluss von Kluftwasserdruck auf die Standsicherheit von Böschungen, bei denen Trennflächen eine maßgebliche Bedeutung haben.

Wie auch bei allen Berechnungen in der Geotechnik hängt die Aussagekraft des FE-Ergebnisses von der zutreffenden Beschreibung des geologisch-geotechnischen Modells ab. Es wird ausdrücklich davor gewarnt, FE-Modelle zu überinterpretieren. Vor allem die 3D-Numerik scheint akkurate Geometrien von Verschiebungen und Dimensionen von Rutschungen zu liefern. Das Modell ist jedoch immer eine starke Abstraktion der realen Verhältnisse (garbage in – garbage out).

Eigene Erfahrungen mit FE-Methode bei Rutschungen

Neben dem zuvor genannten Beispiel zur Anwendung der FE-Methode aus Baden-Württemberg (LGRB Ba-Wü, 2026), wurde das beschriebene Vorgehen bei zwei Hangrutschsituation in Rheinland-Pfalz erfolgreich angewendet.

Im Raum Adenau konnte über die Kombination 3D und 2D FE-Berechnungen nicht nur das globale Spannungsfeld im Hang rückgeschlossen werden, sondern auch direkte Hinweise zur Ausprägung und Abgrenzung der Rutschung aus dem Modell entnommen werden. Die geologische Abgrenzung des Modells erfolgte über Kernbohrungen, mit denen der Aufbau des Rutschkörpers erkundet und Probenmaterial zur Abschätzung der Scherparameter auf Grundlage von Laborversuchen gewonnen wurde. Damit ist die Grundlage zum Aufbau des FE-Modells gelegt.

In Verbindung mit den ausgeführten geodätischen und geotechnischen Messungen wurden die Modellergebnisse zur Bewegung des Hanges und Tiefenlage der Gleichfläche bestätigt und das Modell auf diese Weise verifiziert.

Über die mittels 3D-FE-Berechnung abgeschätzte Spannungsverteilung im Hang konnte ein eindeutiger Zusammenhang von Baugrundeingriffen im Böschungsfuß zu den aufgetretenen Bewegungen des Hanges hergestellt werden.

Die Abbildung 13 zeigt schematisch die Auswirkungen eines Böschungseingriffs einer Baugrube auf die Verformung des Hanges. Im Ausgangszustand ist bei den gegebenen Scherparametern bei einem SRF = 1,25 die Situation noch stabil. Werden die Scherparameter um den SRF = 1,34 abgemindert kommt es zum Versagen des Hanges. Dabei ist nicht nur der direkte Bereich der Baugrube betroffen, sondern die Verformungen ziehen sich den Hang hinauf bis zu oberen Modellgrenze.

Durch die Ausführung der 2D-FE-Berechnung konnte zudem der Einfluss von sequentiell auftretendem Schichtenwasser auf den Rutschungskörper abgebildet werden. Auf diese Weise war es möglich den Einfluss des Wassers auf die Rutschung abzuschätzen und gezielte Empfehlungen zum weiteren Vorgehen mit einer zielgerichteten Erkundung von Schichtwasserhorizonten zu geben.

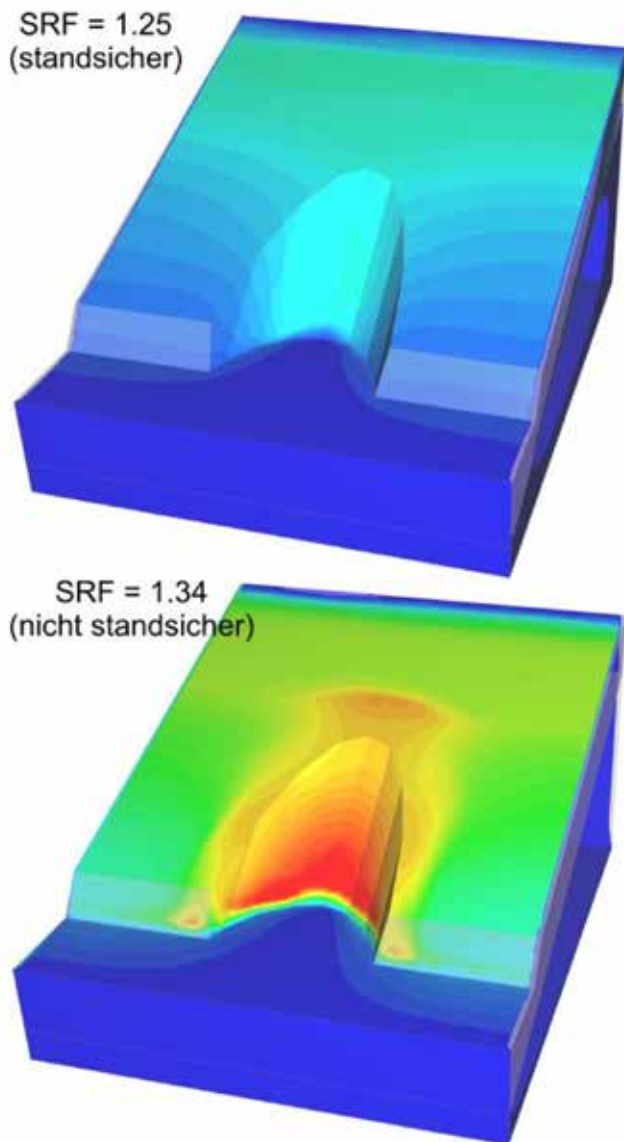


Abb. 13: Baugrundverformung als Ergebnis der Reduktion der Scherparameter im Rahmen der SSR im Fall eines Böschungseinschnitts (blau: kleine, rot: große Verformungen).

In Verbindung mit dem Flutereignis im Ahrtal im Jahr 2021 wurden entlang des Flusses Uferböschungen massiv erodiert. Im Bereich des Ortes Müsch kam es dabei zu einer massiven Ufererosion von ca. 15 m. Der lokal aufgehende fossile Rutschhang strebt in der Folge einem neuen Gleichgewichtszustand zu. Über Kernbohrungen wurde der Aufbau des Untergrundes ermittelt und Probenmaterial für die labortechnische Abschätzung der Boden- und Scherparameter gewonnen.

Die geodätisch erfassten Kriechbewegungen des Hanges in Verbindung mit den ausgeführten geotechnischen Messungen wurden am betreffenden Rutschhang durch geophysikalische Untersuchungen zu auftretenden Seismizität und geoelektrische Abschätzung der Feuchtigkeitsverteilung ergänzt.

Mit dem beschriebenen FE-Verfahren wurde die messtechnisch und geophysikalisch ermittelte Tiefenlage der Gleitfläche nachvollzogen. In einem Mehrstufigen 2D-FE-Modell wurde dann sukzessive der Böschungsfuß weiter abgetragen bzw. erodiert (im Modell entfernt). Damit konnte neben der Tiefenlage der sich ausbildenden Gleitfuge zusätzlich die sukzessive Zunahme des Deformationszustands des Hanges abgeschätzt werden.

Über ein Referenzprofil wurde die sukzessive Zunahme der Deformation des Modells ermittelt und ein kritischer Massenabtrag ermittelt, ab dem die Deformation nicht mehr linear, sondern dann exponentiell zunimmt (siehe Abbildung. 14).

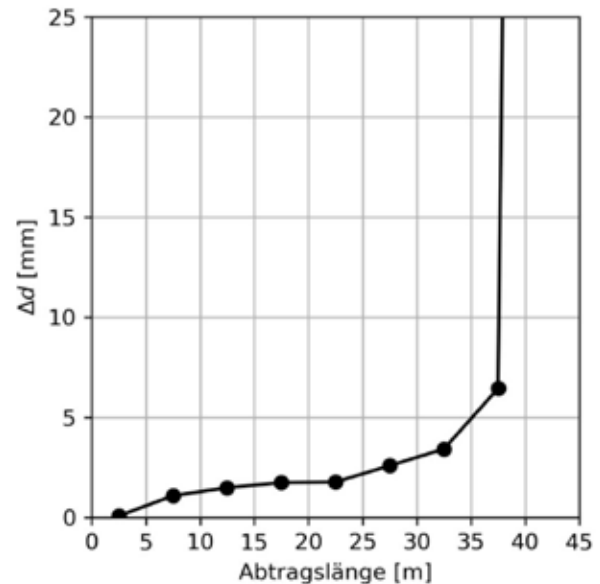


Abb. 14: Zunahme der Deformation des Modells über die Erosion am Böschungsfuß.

Ab dieser Stelle kann geotechnisch davon ausgegangen werden, dass eine Beschleunigung der Rutschung aus der permanenten Kriechbewegung erfolgt.

Der ermittelte Abtrag mit ca. 25 m hinter dem aktuellen Böschungsfuß liegt unter Berücksichtigung der natürlichen Unschärfe des Modells im Bereich eines realistischen Böschungsabtrags im Hochwasserfall (vgl. 15 m aus dem Jahr 2021).

Auf Grundlage der ausgeführten FE-Berechnung erfolgte damit eine Risikobewertung für den Rutschhang im Hochwasserfall. Die Empfehlung von Sicherungsmaßnahmen in Form eines Schutzes des Böschungsfußes vor weiterer Erosion ist damit auf Grundlage der FE-Berechnung nachgewiesen worden.

Literatur:

- [1] Schanz, T. (2006). Böschungsbruchberechnung –Berechnungsbeispiele. Beiblatt zu Empfehlung Nr. 4 des Arbeitskreises 1.6 „Numerik in der Geotechnik“. Geotechnik 29 (4), 369-374.
- [2] DGGT (2019): Informationen und Empfehlungen des Arbeitskreises 1.6 „Numerik in der Geotechnik“ Berechnung der Standsicherheit mit der FEM durch Reduzierung der Festigkeitsparameter. Geotechnik 42, Heft 2, pp. 88-97.
- [3] LGRB Baden-Württemberg (2026). Hangrutschungen in den Gesteinen des Mittelkeupers, Grenzbereich der Grabfeld-Formation zur Stuttgart-Formation. LGRB online.
- [4] Wichter, L. (1989). Festigkeitsuntersuchungen an Grossbohrkernen von Keupermergel und Anwendung auf eine Böschungsrutschung. Ver. Inst. Bodenmechanik Felsmechanik der Uni. Fridericiana Karlsruhe, Heft 84.

Sicherheit für Infrastruktur, Bauwerke und Menschen



Felssicherung



Spezialtiefbau



Erdbau

Überall dort, wo der Baugrund die Umsetzung Ihres Projekts vor Herausforderungen stellt oder Georisiken Menschen und Umwelt gefährden, entwickeln wir Lösungen. Ob Infrastruktur, Gewerbebauten oder komplexe Großprojekte: wir helfen Ihnen, Ihr Bauvorhaben sicher, termingerecht und wirtschaftlich umzusetzen.



www.gudelj.de

5 Geokunststoffbewehrte Erdkörper als nachhaltige und effiziente Sanierungsmaßnahme bei Hangrutschungen und für die Errichtung von Schutzdämmen

SEBASTIAN SCHILLER MSC. GEOW., BERMÜLLER & CO GMBH, NÜRNBERG

Einleitung

Die Gewährleistung der Standsicherheit von Böschungen und der Schutz kritischer Verkehrsinfrastruktur bilden ein Kernthema der Geotechnik. In den letzten Jahren hat sich das Anforderungsprofil an Böschungen und Schutzbauwerke jedoch signifikant verschärft. Ein wesentlicher Treiber dieser Entwicklung sind klimawandelbedingte Extremwetterereignisse, welche das Gefährdungspotenzial für Hanginstabilitäten, Steinschlag und Murgänge erhöhen (Krauter et al., 2012).

Parallel zu diesen naturräumlichen Veränderungen steht die Ingenieurpraxis vor der Herausforderung einer zunehmend verdichteten Infrastrukturlandschaft. Die dichte Besiedlung und die unmittelbare Nähe von und zu bestehenden Verkehrswegen oder Grundstücksgrenzen bedingen oft geometrisch optimierte, platzsparende Lösungen, die mit konventionellen, flach geneigten Erdbauwerken nicht mehr realisierbar sind. In diesem Kontext werden häufig massive Schwergewichtskonstruktionen oder starre Betonstützmauern in Betracht gezogen. Diese weisen jedoch spezifische technische Restriktionen auf: Als starre Systeme reagieren sie empfindlich auf differenzielle Setzungen des Untergrundes und führen häufig zu signifikanten Spannungskonzentrationen an der Bauwerksbasis.

Demgegenüber bieten geokunststoffbewehrte Erdkörper (KBE) ein hohes Maß an geotechnischer Resilienz. Als duktile Verbundsysteme können sie auftretende Verformungen schadlos aufnehmen und gewährleisten durch die flächige Lastabtragung der Bewehrungselemente eine gleichmäßigere Verteilung der Eigenlasten sowie dynamischer Einwirkungen (Brandl, 2018). Neben dieser technischen Flexibilität ermöglichen KBE-Systeme durch den potenziellen Einsatz von lokal verfügbaren Schüttmaterialien und dem damit verbundenen reduzierten Ressourcenaufwand eine ökologisch vorteilhafte Alternative mit einer signifikant optimierten CO₂-Bilanz gegenüber massiven Bauweisen (Ehrenberg et al., 2012).

Die nachfolgenden Projektbeispiele aus der Praxis belegen diese Vielseitigkeit und zeigen, wie mit KBE-Systemen maßgeschneiderte und nachhaltige Lösungen für den Schutz vor Naturgefahren selbst unter schwierigsten geotechnischen und logistischen Rahmenbedingungen realisiert werden.

Geokunststoff-Bewehrte Erde

Kunststoff-Bewehrte Erde ist ein Verbundkörper aus lagenweise geschüttetem und verdichtetem Füllmaterial mit eingelegten Bewehrungselementen. Das primäre Ziel dieser Bauweise ist es, durch die Aufnahme von Zugkräften in den Bewehrungen die Standsicherheit von Böschungen und Stützkonstruktionen zu gewährleisten, die steiler sind, als es die bodenmechanischen Kennwerte des Schüttmaterials zulassen würden. Durch die Interaktion zwischen dem Füllmaterial und der Bewehrung entsteht ein quasi-monolithischer Erdkörper mit signifikant verbesserten mechanischen Eigenschaften (Brandl, 2018).

Die Bemessung der bewehrten Schüttkörper erfolgt nach dem aktuellen Stand der Technik gemäß Eurocode 7 (DIN EN 1997-1:2009-09) dem Nationalen Anhang (DIN EN 1997-1/NA2010-12) sowie den ergänzenden Regelungen der DIN 1054:2021-04.

Systeme mit einer Bewehrung aus doppelt-ge drilltem, polymerummanteltem Stahldrahtgeflecht erfreuen sich einer stetig wachsenden Nachfrage. Die Gründe hierfür liegen in einer Kombination aus vorteilhaften Materialeigenschaften und praktischen Aspekten. Das Material ist extrem robust gegen mechanische Beschädigungen, chemisch wie biologisch beständig, unempfindlich gegen UV-Strahlung und sicher gegen Verbiss. Gleichzeitig ermöglichen diese Systeme durch ihren modularen Aufbau mit hohem Vormontagegrad einen schnellen Baufortschritt und bieten im Schadensfall, etwa durch Vandalismus oder Impaktereignisse, einfache Reparaturmöglichkeiten.

Bei den in den nachfolgenden Projektbeispielen verwendeten kunststoffummantelten Stahldrahtgeflechtes (Polymeric Coated Steel Woven Wire Mesh – PWM) handelt es sich um Bewehrungen, die aufgrund ihrer mechanischen Eigenschaften und ihres Interaktionsverhaltens mit dem Boden als flexible Bewehrungselemente gemäß DIN 1054:2021-04. einzustufen sind. Die Ermittlung des Materialwiderstandes des flexiblen Bewehrungselements erfolgt nach DIN 1054:2021-04 in Verbindung mit den Empfehlungen für den Entwurf und die Berechnung von Erdkörpern mit Bewehrungen aus Geokunststoffen (EBGEO).

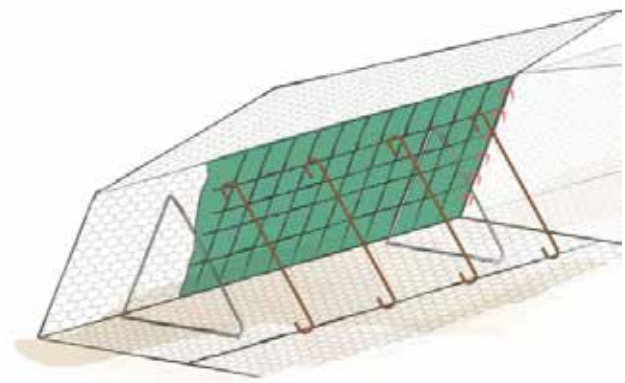


Abb. 1: Vormontiertes Kunststoff bewehrte Erde System. Ansicht von hinten. Quelle: Eigene Darstellung.

Anwendungsbeispiele aus der Praxis

Die Anwendung von bewehrte Erde Konstruktionen für die Sanierung und Sicherung von Hangrutschen und die Errichtung von Schutzwällen gegen alpine Naturgefahren soll nachfolgend an je zwei Projektbeispielen vorgestellt werden.

Böschungssanierung Braunsbach

Am 29.06.2016 führte eine stationäre Gewitterzellenlinie mit Starkniederschlägen von ca. 40 mm/h im Landkreis Schwäbisch-Hall zu katastrophalen Sturzfluten mit enormen Schäden im Ort Braunsbach, im Kochertal und dessen Seitentälern. Die Folgen umfassten die Beseitigung von 42.000 m³ Geröll aus dem Ort, die Instandsetzung von Gebäuden und den Ausbau des Wildbachs mit Geröllfängen. Ein zentraler Teil dieser umfassenden Wiederherstellungsmaßnahmen war die Sanierung der Landesstraße L 1036, deren Böschung von den Wassermassen auf langer Strecke weggerissen wurde.



Abb. 2: Zustand Sanierungsabschnitt nach der Sturzflut.
Quelle: Eigene Aufnahme.

Für diesen spezifischen Sanierungsabschnitt sah die ursprüngliche Entwurfsplanung eine aufwendige Kombination aus einer Winkelstützmauer und einer Bodenvernagelung vor.

Als wirtschaftliche und schnell umsetzbare Alternative wurde eine Böschungssicherung aus bewehrte Erde in Umschlagtechnik vorgeschlagen und letztlich auch umgesetzt.

Im höchsten Abschnitt wurde die 70° geneigte Wand mit einer Gesamthöhe von ca. 15 m aufgebaut. Die Bauweise ermöglichte eine flexible Anpassung an das Gelände, indem die Wand nach Osten hin mit Bermen aufgefächert wurde.



Abb. 3: Zustand Sanierungsabschnitt mit bewehrter Erde.
Quelle: Eigene Aufnahme.

Durch den hohen Grad an Vormontage des gewählten Systems aus kunststoffummantelten Stahldrahtgeflecht und die damit einhergehende einfache Handhabung konnte ein zügiger Baufortschritt gewährleistet werden. Durch den exakten Erdbau der ausführenden Firma konnte so in schneller Zeit eine selbst im Bauzustand optisch sehr ansprechende Böschungssicherung erstellt werden, welche sich im Laufe der Zeit durch eine standortgerechte Begrünung nahtlos in das Landschaftsbild einfügt.



Abb. 4: Zustand Sanierungsabschnitt mit bewehrter Erde mit Begrünung.
Quelle: Eigene Aufnahme.

Böschungssicherung Hachelstuhler Berg

Die Bundesstraße 15, eine verkehrsreiche Verbindungsachse zwischen Landshut und Rosenheim, war im Bereich des Hachelstuhler Bergs seit längerem durch Hanginstabilitäten in Folge einer Wechsellagerung aus tonigen Bodenschichten sowie Hang- und Schichtenwasserzutritten akut rutschungsgefährdet und wurde überwacht. Nach einem kleineren Rutschungsereignis 2020 wurde eine erste Sanierungsmaßnahme im Jahr 2021 durchgeführt, bei der die talseitige Fahrbahn durch eine auf Mikropfählen gegründete Betonfertigteilplatte gesichert wurde. Diese konnte aber keine nachhaltige Stabilität erzielen. In der Folge kam es im Jahr 2023 zu einem großflächigen Bruch der Böschung auf einer Länge von ca. 80 m.



Abb. 5: Rutschungsereignis 2023. Quelle: Dipl.-Ing. (FH) Matthias Schwalb, TAUW GmbH Niederlassung Regensburg

Der zu sichernde Straßendamm weist eine Böschungshöhe von knapp 6 m bei einer Neigung von 1:1,5 auf, wobei die Böschung mit einer flachen Neigung weiterläuft. Aufgrund der verkehrsstrukturellen Bedeutung der B15 konnte nur die ohnehin gesperrte Richtungsfahrbahn für den Bau verwendet werden.

Die gewählte Lösung war ein umfassendes Sanierungskonzept. Kernstück war die Errichtung eines talseitig vorgesetzten Dammwiderlagers als bewehrte Erde-Konstruktion mit einer Länge von ca. 100 m und einer Höhe von 6 m. Um die Ursache der Instabilität – den Wasserzutritt – zu beheben, wurde die Stützkonstruktion durch eine intensive, hang- und talseitige Tiefendrainierung des Untergrundes sowie eine vollständige Erneuerung der Oberflächenentwässerung ergänzt.

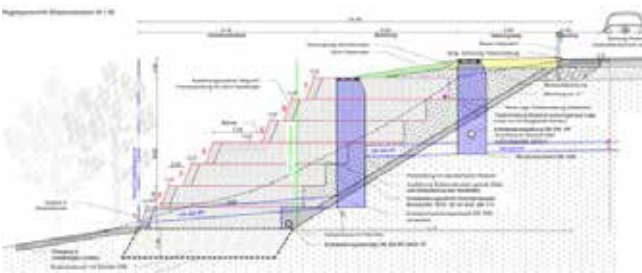


Abb. 6: Sanierungskonzept mit bewehrter Erde Konstruktion. Quelle: Dipl.-Ing. (FH) Matthias Schwalb, TAUW GmbH Niederlassung Regensburg

Entscheidend für die Verwendung des bewehrten Erde Systems war neben der Aufnahme und dem flächigen Abtrag der Verkehrslasten die mit der Bauweise einhergehende Systemflexibilität hinsichtlich der Geländemorphologie und den einzubauenden Entwässerungseinrichtungen. Trotz der extremen Einschränkungen durch die engen Grundstücksgrenzen, die schwierige Logistik und den laufenden Verkehr konnte die gesamte Böschungssicherung in einer bemerkenswert kurzen Bauzeit von nur 2,5 Monaten realisiert werden.



Abb. 7: Fertiggestellte Konstruktion mit Begrünung. Quelle: Dipl.-Ing. (FH) Matthias Schwalb, TAUW GmbH Niederlassung Regensburg

Schutzwall Loibl-Pass

Im April 2019 kam es auf der slowenischen Seite des Loibl-Passes, einem Grenzpass über die Karawanken zwischen Kärnten und Slowenien, zu einem Steinschlagereignis mit ca. 300 m³.

Aus Rückrechnung des Ereignisses und Modellierung potenzieller weiterer Felsstürze wurde eine Energie von ≥ 8.000 kJ errechnet.



Abb. 6: Sanierungskonzept mit bewehrter Erde Konstruktion. Quelle: Dipl.-Ing. (FH) Matthias Schwalb, TAUW GmbH Niederlassung Regensburg

Für die Sicherung der Passstraße wurde in der Folge die Verwendung eines bewehrten Erde Wallsystems mit 70° beidseitiger Frontneigung vorgeschlagen.

Die Abmessungen des Schutzwalls wurden mit 6 m Höhe, einer Länge von 180 m bei einer Kronenbreite von 1,99 m und einer Fußbreite von 5,86 m festgelegt.

Der aus dem vormontierten System aus polymerummantelten Stahldrahtgeflechtes hergestellte Wall kann Energien bis zu 20.000 kJ standhalten bei einer maximalen talseitigen Verformung von 1,34 m.



Abb. 9: Schutzwall während des Baus. Quelle: Maccaferri Central Europe s.r.o.

Unmittelbar nach der Fertigstellung stellte die Konstruktion ihre Praxistauglichkeit unter Beweis, als ein Felsblock von ca. 1,2 m³ in den Damm einschlug. Nach der Entfernung des Blockes konnte das lokal an der Front beschädigte Geflecht einfach instandgesetzt werden, indem neues Geflecht kraftschlüssig mit der bestehenden Struktur verklammert wurde. Diese einfache und schnelle Reparaturmöglichkeit ohne Beeinträchtigung der Gesamtstabilität stellt einen entscheidenden Vorteil dieses Bewehrungstypes dar.



Abb. 10: Schutzwall nach Fertigstellung. Quelle: Maccaferri Central Europe s.r.o.

Schutzwall B305 Weitsee

Nach einem Lawinenereignis im Jahr 2019, das die Bundesstraße B305 (Deutsche Alpenstraße) im Bereich Weitsee auf bis zu 9 m Höhe verschüttete, wurde der Bau eines Schutzdamms beschlossen. Die Konstruktion musste für einen Lawinendruck von 50 kPa ausgelegt werden. Die zentrale Herausforderung bestand darin, dass der verfügbare Platz nicht ausreichte, um einen konventionellen Damm aus bewehrter Erde zu errichten, der allein durch seine Masse die erforderliche Gleitsicherheit hätte aufbringen können.



Abb. 11: Drohnenaufnahme des Lawinenereignisses. Quelle Dr. Thomas Zumbrunnen

Es wurde daher eine innovative Hybridbauweise aus einem bewehrten Erde Damm mit integrierten vertikalen HEB-Stahlprofilen gewählt.

Das Funktionsprinzip dieser Hybridbauweise basiert auf der gezielten Aktivierung der Gewölbewirkung im Boden. Wenn die horizontale Lawinenlast auf die Konstruktion trifft, verformt sich der flexible bewehrte Erdkörper zwischen den starren HEB-Trägern minimal. Diese geringfügige Verformung reicht aus, damit das Erdmaterial ein horizontales "Gewölbe" zwischen den Stahlträgern ausbildet. Dieses Bodengewölbe leitet einen Großteil des Lawinendrucks direkt in die Stahlträger ab (Schiller et al., 2024).



Abb. 12: Drohnenaufnahme des Lawinenereignisses. Quelle Dr. Thomas Zumbrunnen

In modifizierter Form könnte dieser Ansatz zukünftig auch für den Schutz vor hochdynamischen Impaktereignissen wie Steinschlag Anwendung finden. Hierfür könnten die vertikalen Stahlträger "schwimmend", beispielsweise in einer Gründung aus Sand oder einem anderen dämpfenden Material, gelagert werden. Eine solche nachgiebige Bettung würde es dem System ermöglichen, die extremen, kurzzeitigen Aufprallenergien durch eine definierte Bremsverformung effektiv abzubauen.



Abb. 13: Fertiger Wall mit einsetzender Begrünung. Quelle Eigene Aufnahme.

Fazit

Die vorgestellten Praxisbeispiele belegen die Flexibilität und Leistungsfähigkeit von Stützkonstruktionen aus bewehrter Erde mit kunststoffummantelten Stahl Drahtgeflechten. Die Systeme ermöglichen maßgeschneiderte Lösungen für unterschiedlichste geotechnische Herausforderungen – von der Sanierung von Hangrutschungen, die Ertüchtigung rutschungsgefährdeter Böschungen bis hin zur Errichtung von Schutzbauten gegen alpine Naturgefahren bei einer gleichzeitig landschaftsverträglichen optischen Gestaltung.

Zudem besitzen sie neben wirtschaftlichen Vorteilen auch eine bessere CO₂-Bilanz gegenüber konventionellen Stützbauwerke aus Beton.

Literaturverzeichnis

Brandl, H. (2018). Stützbauwerke und konstruktive Hangsicherungen. In K.-J. Witt (Hrsg.), *Grundbautaschenbuch* (8. Aufl., Teil 3, S. 47–901). Ernst & Sohn.

Deutsches Institut für Normung e. V. (2009). Eurocode 7: *Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1: Allgemeine Regeln* (DIN EN 1997-1:2009-09). Beuth Verlag.

Deutsches Institut für Normung e. V. (2010). *Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1: Allgemeine Regeln* (DIN EN 1997-1/NA:2010-12). Beuth Verlag.

Deutsches Institut für Normung e. V. (2021). *Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau – Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-1* (DIN 1054:2021-04). Beuth Verlag.

Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e. V. (DGGT). (2010). *Empfehlungen für den Entwurf und die Berechnung von Erdkörpern mit Bewehrungen aus Geokunststoffen (EBGEO)* (2. Aufl.). Ernst & Sohn.

Ehrenberg, H., Mermet, J. P., Stucki, M., Büsser, S., Itten, R., Frischknecht, R., & Wallbaum, H. (2012). Comparative life cycle assessment of geosynthetics versus conventional construction materials: A study on behalf of the EAGM General. In *Proceedings of Eurogeo 5* (S. 87–91).

Krauter, E., Kumerics, C., Feuerbach, J., & Lauterbach, M. (2012). *Abschätzung der Risiken von Hang- und Böschungsrutschungen durch die Zunahme von Extremwetterereignissen* (Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Unterreihe Straßenbau, Heft 75).

Schiller, S., Zumbrennen, T., & Bussert, F. (2024). Geosynthetic reinforced dam with embedded HEB-beams. In *INTERPRAEVENT 2024 Conference Proceedings* (pp. 829–832). International Research Society Interpraevent.



IHRE SICHERHEIT STEHT BEI UNS IM FOKUS



Die Anforderungen an sichere und nachhaltige Lösungen im Umgang mit Rutschungen und instabilen Hängen wachsen stetig. Die FFS-Kühn GmbH steht seit Jahren für zuverlässige, technisch fundierte und praxisorientierte Lösungen in den Bereichen Hangsicherung, Spezialtiefbau und geotechnische Maßnahmen.

Mit umfassender Erfahrung, modernster Technik und einem hohen Qualitätsanspruch begleiten wir Projekte von der Planung bis zur Ausführung. Unser Fokus liegt dabei auf wirtschaftlichen, langlebigen und individuell abgestimmten Lösungen - auch unter anspruchsvollen geologischen Bedingungen

- Hang & Felssicherung
- Baugrubensicherung
- Mikropfahl-Gründungen
- Daueranker
- Verpresspfähle
- Überlagerungsbohrungen



6 Fragen der bodenschutzrechtlichen Haftung im Rahmen der Ausweisung von Bauflächen

REGIERUNGSRAT ANDREAS DEDERICH, STRUKTUR- UND GENEHMIGUNGSDIREKTION NORD KOBLENZ, ZENTRALREFERAT WASSERWIRTSCHAFT, ABFALLWIRTSCHAFT UND BODENSCHUTZ

In den vergangenen Jahren kam es mehrfach zu Hangrutschungen, Murgängen und vergleichbaren Vorfällen in Gebieten, die einer Wohn- oder Gewerbenutzung unterliegen.

Neben auch in internationalen Medien erörterten Ereignissen, wie etwa der Rutschung von Blatten im Lötschental (Schweiz), bei der im Mai 2025 ein ganzes Dorf evakuiert werden musste, kam es auch in Deutschland zu Vorfällen, in denen die Wohn- oder Gewerbenutzung durch Hangbewegungen erheblich beeinträchtigt wurde.

In solchen Fällen gilt es vor allem, Leib und Leben sowie, soweit möglich, auch das betroffene Hab und Gut vor weiteren Rutschungen zu schützen. Der Schutz von Wohn- und Gewerbeimmobilien umfasst regelmäßig sowohl die Eindämmung der akuten Rutschung als auch den nachhaltigen Schutz vor weiteren (Nach-)Rutschungen. Aufgrund der Dringlichkeit und der nachvollziehbaren Verunsicherung der jeweils Verpflichteten werden diese Maßnahmen regelmäßig durch die zuständige Behörde im Wege der Ersatzvornahme umgesetzt.

Im Rahmen der anschließenden Frage der Haftung und mithin der Kostentragung stellt sich für die betroffenen Eigentümerinnen und Eigentümer häufig die Frage, ob die Rutschungsanfälligkeit bei der Bauleitplanung berücksichtigt wurde und ob möglicherweise Ansprüche gegen die Bauplanungsbehörde bestehen. Daran anknüpfend stellt sich bei der zuständigen Bodenschutzbehörde die Frage der bodenschutzrechtlichen Haftung der Bauplanungsbehörde.

Soweit das Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG) anwendbar ist, wird die Hangrutschung mit Blick auf die Wohn- oder Gewerbenutzung regelmäßig als schädliche Bodenveränderung gem. § 2 Abs. 3 BBodSchG zu qualifizieren sein¹. Die notwendigen Maßnahmen, etwa Untersuchungen, Sanierungen oder Sicherungen, richten sich dann nach den Regelungen des Bodenschutzes, insbesondere des BBodSchG.

Damit sind auch die Regelungen bezüglich der bodenschutzrechtlichen Haftung einschlägig.

Die Möglichkeit einer bodenschutzrechtlichen Haftung der Bauplanungsbehörde nach dem BBodSchG bei Überplanungen von Altlasten, wurde von Fluck² ausführlich und äußerst lesenswert erörtert.

Im Folgenden soll nun betrachtet werden, ob die dort für Altlasten getroffenen Feststellungen auf Hangrutschungen als nicht stoffliche schädliche Bodenveränderungen übertragbar sind.

Rechtsrahmen der bodenschutzrechtlichen Haftung

Im Rahmen einer Hangrutschung sind neben einer orientierenden Untersuchung (§ 9 Abs. 1 BBodSchG) regelmäßig auch Gefährdungsabschätzungen (§ 9 Abs. 2 BBodSchG) sowie Sanierungsmaßnahmen (§ 4 Abs. 3 BBodSchG) erforderlich.

Die hierzu Verpflichteten und damit nach § 24 Abs. 1 BBodSchG als mögliche Kostenschuldner in Betracht kommenden Personen sind in § 4 Abs. 3, 5, 6 BBodSchG abschließend festgelegt.

Danach kommen als bodenschutzrechtlich zur Sanierung Verpflichtete der Verursacher einer schädlichen Bodenveränderung, dessen Gesamtrechtsnachfolger, der Grundstückseigentümer, der Inhaber der tatsächlichen Gewalt über ein Grundstück, derjenige, der aus handelsrechtlichem oder gesellschaftsrechtlichem Rechtsgrund für eine juristische Person einzustehen hat sowie der ehemalige Eigentümer in Betracht.

Vor diesem Hintergrund könnte die Bauplanungsbehörde grundsätzlich mehrere Haftungstatbestände erfüllen.

Die Bauleitplanung und somit die Ausweisung von Bauflächen in einem Bebauungsplan obliegt gem. §§ 1 Abs. 1, 3, 2 Abs. 1 Baugesetzbuch (BauGB) i.V.m. Art. 28 Abs. 2 Grundgesetz (GG) den Gemeinden und Städten.

Selbstverständlich können die Gemeinden auch Eigentümer oder Inhaber der tatsächlichen Gewalt über ein Grundstück sein. Dies ist jedoch regelmäßig spätestens zu Beginn einer wohnlichen bzw. gewerblichen Nutzung der Grundstücke nicht mehr der Fall. Sollte eine Hangrutschung unter Beeinträchtigung einer anderen normierten Bodenfunktion eine schädliche Bodenveränderung darstellen, ist die bodenschutzrechtliche Haftung der Gemeinde als Eigentümerin oder Inhaber der tatsächlichen Gewalt nach ordnungsgemäßem Ermessen in der Regel ohne erhebliche Komplikationen möglich.

Interessanter und rechtlich deutlich komplexer ist die Frage, ob die Gemeinde durch Fehler in der ihr obliegenden Bauleitplanung als Verursacherin nach § 4 Abs. 3 BBodSchG zu qualifizieren ist und somit Adressat einer bodenschutzrechtlichen Untersuchungs- und/oder Sanierungsanordnung sein kann.

¹ § 2 Abs. 3 BBodSchG: „Schädliche Bodenveränderungen im Sinne dieses Gesetzes sind Beeinträchtigungen der Bodenfunktionen, die geeignet sind, Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen für den einzelnen oder die Allgemeinheit.“ G

² Dr. Jürgen Fluck, „Fehlerhafte Überplanung von Altlasten – keine Verantwortung der Kommune nach dem BBodSchG“, Deutsches Verwaltungsblatt 2002, S. 375-381 Differenzierung insb. in § 6 LBodSchG.

Verursacherhaftung

Zur Beantwortung dieser Frage ist es ratsam, sich zunächst mit dem Verursacher im Sinne des Bodenschutzrechts zu befassen.

Der Verursacher als Störer im Bodenschutzrecht folgt den Grundsätzen der Verursacherhaftung aus dem allgemeinen Polizei- und Ordnungsrecht, nach § 4 Abs. 1 Polizei- und Ordnungsbehördengesetz Rheinland-Pfalz (POG).

In der überwiegenden Zahl der Fälle, insbesondere bei komplexen Ereignissen wie etwa Hangrutschungen, kommen mehrere vorhergehende Handlungen als möglicherweise haftungsbegründende Verursachungsstatbestände in Betracht.

Welcher Verursachungsbeitrag nun als Verursachung im Sinne des allgemeinen Ordnungsrechts und damit auch im bodenschutzrechtlichen Zusammenhang anzusehen ist, wird in Literatur und Rechtsprechung diskutiert.

Die Rechtsprechung folgt diesbezüglich im Bodenschutzrecht der aus dem allgemeinen Ordnungsrecht erwachsenen Theorie der unmittelbaren Verantwortung³.

Danach bestimmt sich der Störer anhand dessen, wer mit seinem Verhalten die Gefahrengrenze überschreitet und damit die unmittelbare Ursache für den Eintritt der Gefahr setzt. Ein solches Überschreiten der Gefahrengrenze kann sowohl in einem aktiven Tun, als auch in einem pflichtwidrigen Unterlassen liegen.

Als Ansatzpunkt einer möglichen Verursachung der Bauplanungsbehörde kommen insbesondere Fehler innerhalb der Planaufstellung in Betracht. So können etwa entgegen der bauplanerischen Grundsätze die gesunden Wohn- und Arbeitsverhältnisse (§ 1 Abs. 6 Nr. 1 BauGB) oder den Belangen des Umweltschutzes und deren Auswirkungen auf den Menschen (§§ 1 Abs. 7c, 1a Abs. 2 BauGB) Gebiete der Wohnbebauung zugeschrieben werden, die aufgrund der vorhandenen (hydro-)geologischen Situation hierfür kaum geeignet sind. So wurden in der Vergangenheit bereits Wohngebiete im Bereich ehemaliger Tongruben, auf und zwischen fossilen Großrutschungen oder ohne Betrachtung der gegebenen Hydrogeologie entsprechend ausgewiesen.

Inwieweit hierin Planungsfehler liegen und ob diese genügen, um die Gefahrenschwelle zu überschreiten, ist im Einzelfall zu prüfen.

Unter streng wörtlicher Anwendung der Theorie der unmittelbaren Verantwortung käme somit in der Praxis insbesondere der spätere potenzielle Bauherr oder Maßnahmenräger als Verursacher in Betracht.

Die Bauleitplanung geht in der Regel nicht mit erheblichen Einschnitten in die Bodenstruktur und die Hangstabilität einher⁴. Die weitaus erheblicheren Eingriffe in den Boden, die Hydrogeologie und die Hangstabilität insgesamt erfolgen in der Regel im Rahmen der tatsächlichen Bebauung, etwa durch Hangeinschnitte oder zusätzliche Belastungen durch bauliche Anlagen an der Hangoberkante. Diese Maßnahmen stellen somit begrifflich das letzte Glied der Kausalkette dar.

Hieraus wird in der Literatur teilweise gefolgert, dass fehlerhafte Bauleitplanung generell keine Verursacherhaftung der Bauplanungsbehörde

nach bodenschutzrechtlichen Grundsätzen begründet. Diese verallgemeinernde Ansicht wird jedoch der Komplexität des bestehenden Spannungsfeldes zwischen Bauplanungsrecht und Bodenschutzrecht kaum gerecht.

Wie bereits durch Fluck⁵ ausführlich erörtert, ist mit Blick auf die Zweigliedrigkeit des Begriffs der schädlichen Bodenveränderung eine differenzierte Auseinandersetzung mit der Frage erforderlich, wann welche Handlung die Gefahrenschwelle tatsächlich überschreitet.

Zunächst stellt sich die Frage, welche Gefahr sich im konkreten Fall realisieren könnte und welchen Einfluss eine mögliche Bauleitplanung auf diese hat. Auch auf nicht mit Wohnbebauung versehenen Flächen kann es aufgrund verschiedenster Faktoren zu Hangrutschungen kommen. Diese können den Boden grundsätzlich auch in einer der gesetzlich definierten Funktionen beeinträchtigen (z.B. als Archivfunktion oder als Lebensraum für Tiere und Mikroorganismen etc.).

Wird dem Gebiet jedoch mittels Bauleitplanung eine weitere Funktion, etwa als Wohn- oder Gewerbefläche zugedacht, beeinflusst dies auch die Qualität der möglichen Gefahr für bestimmte Bodenfunktionen. Auch mit Blick auf die verfassungsrechtlich geschützten Rechtsgüter Leib und Leben (Art. 2 Abs. 2 GG) sowie das Eigentum (Art. 14 GG) führt die fehlerhafte Überplanung eines Rutschungsgebiets zu einer Verschärfung der Gefahr, sowohl qualitativ als auch quantitativ.

Kommt es in einem Gebiet, welches bauplanungsrechtlich keine Wohnnutzung vorsieht, zu einem Hangrutsch, kann ein solcher im Einzelfall potenziell auch die oben genannten Bodenfunktionen beeinträchtigen oder sich zufällig dort befindliche Personen verletzen. Diese Gefahr erweitert sich sowohl in ihrer möglichen Schadensqualität der betroffenen Rechtsgüter, wenn die Fläche Wohnbebauung vorsieht, als auch bezüglich der möglicherweise betroffenen Personen. Es kommt zu einer gemeinsamen oder auch additiven Kausalität der gegebenen Boden- und Hangmorphologie und der bauplanerischen Entscheidung.

So kann es zum Beispiel in einer nicht ordnungsgemäß stillgelegten Tongrube⁶ auch unabhängig von einer Bebauung zu einer Rutschung kommen.

Ohne Zulassung der Wohnbebauung im Bereich der Tongrube, hätte diese theoretisch trotzdem abrutschen können, jedoch wären hierdurch in aller Regel keine Personen- oder Sachwerte geschädigt worden.

Unter Zugrundelegung dieser Ausführungen kann die Bauplanungsbehörde im Einzelfall die maßgebliche Gefahrenschwelle durch fehlerhafte Planung überschreiten, wodurch eine bodenschutzrechtliche Haftung als Verursacher nach § 4 Abs. 3 BBodSchG nicht generell auszuschließen ist.

Betrachtung in der Rechtsprechung

Diese Ansicht hat bezogen auf Altlasten auch Zustimmung in der Rechtsprechung gefunden. In einem Urteil des Verwaltungsgerichts Gelsenkirchen⁷ wurde die Stadt Dortmund als Trägerin der Bauleitplanung aufgrund fehlerhafter Überplanung einer Altlast als Verursacher nach § 4 Abs. 3 BBodSchG zur Sanierung und Überwachung verpflichtet.

³ Vgl. OVG Münster BeckRS 2017, 133013

⁴ Ausnahmsweise kann es etwa durch die Errichtung von Straßen und Wegen zu bedeutenden Einschnitten kommen.

⁵ Siehe Fn.2.

⁶ Vereinfachte Darstellung im Zusammenhang mit einer tatsächlich eingetretenen Rutschung in RLP.

⁷ Vgl. VG Gelsenkirchen, NVwZ 1988, 1061ff.

Die der Entscheidung zugrundeliegende Ansicht konnte sich nicht vollständig durchsetzen. So entschied das Obergerverwaltungsgericht Münster 1996 in einem Fall betreffend einer überplanten Deponie, dass nicht die Bauplanungsbehörde, sondern der Eigentümer des betroffenen Wohnhauses nach bodenschutzrechtlichen Gesichtspunkten verpflichtet sei, in den betroffenen Kellerräumen Gaswarngeräte zu installieren⁸.

Auch wenn man der Entscheidung des Obergerverwaltungsgericht Münster als zutreffend folgen würde, führte dies nicht zu einer Haftungsbefreiung der zuständigen Bauplanungsbehörde. Der Bundesgerichtshof⁹ hat in zahlreichen Fällen einen Amtshaftungsanspruch des Geschädigten (i.d.R. Grundstückseigentümer) gegen die Amtsträger der Baubehörden nach Art. 34 GG i.V.m. § 839 BGB bestätigt. Diese Ansprüche können sowohl auf der fehlerhaften Bauleitplanung als auch auf der rechtswidrigen Erteilung von Baugenehmigungen beruhen.

Anwendung auf Hangrutschungen

Hieraus folgt die Frage, ob sich die oben dargestellten Ergebnisse zu stofflichen Beeinträchtigungen der Bodenfunktionen in Form von Altlasten auch auf schädliche Bodenveränderungen und konkret auf Hangrutschungen übertragen lassen.

Mit Blick auf den in § 4 Abs. 2 Nr. 5 BBodSchG legaldefinierten Altlastenbegriff¹⁰, handelt es sich bei diesen um einen Spezialfall der schädlichen Bodenveränderung¹¹.

Hieraus folgt jedoch keine generelle Übertragbarkeit der Erörterungen und Auslegungen von Altlasten auf schädliche Bodenveränderungen und mithin Hangrutschungen. Dies zeigt sich bereits daran, dass das BBodSchG selbst dahingehend eine Differenzierung vornimmt, dass mit §§ 11-16 BBodSchG ergänzende Regelungen für die Sanierung von Altlasten gegenüber schädlichen Bodenveränderungen geschaffen wurden. Auch das Landesbodenschutzgesetz RLP (LBodSchG) legt den Schluss nahe, dass eine differenzierte Betrachtung zwischen stofflichen und nicht-stofflichen schädlichen Bodenveränderungen angezeigt ist¹².

Wann eine solche differenzierte Betrachtung angezeigt ist und wann eine identische Behandlung von schädlichen Bodenveränderungen und Altlasten geboten ist ergibt sich regelmäßig bereits aus der Systematik und dem Wortlaut des jeweiligen Gesetzes. So sind etwa die Regelungen, welche lediglich auf die spezielleren Altlasten Anwendungen finden sollen im Dritten Teil des BBodSchG zusammengefasst.

Ist die betroffene Regelung nicht innerhalb dieses dritten Teils angesiedelt und findet sich auch kein anderer Hinweis in der Norm selbst, insbesondere in Sinn und Zweck oder Wortlaut, kann von einer einheitlichen Anwendbarkeit und rechtlichen Bewertung für schädliche Bodenveränderungen und Altlasten ausgegangen werden.

Die Verursacherhaftung ist in § 4 Abs. 3 BBodSchG, mithin außerhalb der Spezialregelungen für Altlasten, geregelt und spricht ausdrücklich von schädlichen Bodenveränderungen und Altlasten. Zudem ist nicht erkennbar, dass die allgemeine bodenschutzrechtliche Haftung aus § 4 Abs. 3 BBodSchG nach dem Willen des Gesetzgebers zwischen stofflichen und nicht-stofflichen schädlichen Bodenveränderungen differenziert betrachtet werden soll.

In Anbetracht dessen kann von einer Übertragbarkeit der oben dargelegten Feststellungen zur Verursacherhaftung der Bauplanungsbehörden ausgegangen werden.

Bedenken gegen Verursachungshaftung der Bauplanungsbehörde

Der zuvor erörterten Ansicht, dass die Bauplanungsbehörden als Verursacher nach § 4 Abs. 3 BBodSchG qualifiziert werden können, stehen einige Argumente entgegen, die bei genauer Betrachtung jedoch kaum überzeugen.

Zunächst könnte gegen eine Verursacherstellung eingewandt werden, dass die Bauleitplanung durch die zusätzliche Beachtung und Bewertung der Hangstabilität im Zusammenhang mit der vorgesehenen Nutzung weitaus komplexer würde. Dem ist entgegenzuhalten, dass die Bauplanungsbehörde bereits jetzt die gesunden Wohn- und Arbeitsverhältnisse, sowie die Belange des Bodens bei der Planung zu beachten hat. Hierzu gehört bei entsprechender Hanglage auch zwingend die Stabilität des Hanges. Es käme somit weder zu einer qualitativen noch zu einer quantitativen Aufgabenmehrung der Bauplanungsbehörde.

Auch die hiermit möglicherweise einhergehenden erhöhten Planungs- und Erschließungskosten stehen einer sorgfältigen Betrachtung der Hangsituation nicht entgegen. Diese können durch gestaffelte Untersuchungen und Bewertungen regelmäßig reduziert werden. Ebenso kann es im konkreten Schadensfall, der aufgrund fehlerhafter Bauleitplanung auftritt, zu weitaus höheren Kosten sowohl für die Bauplanungs- als auch für andere öffentliche Träger kommen. Zudem ist mit Blick auf das hohe Schutzgut der körperlichen Unversehrtheit eine Abwägung etwaiger Planungskosten verfassungsrechtlich nur schwer möglich.

Ebenso ginge mit der Möglichkeit der Verursacherhaftung der Bauplanungsbehörde keine erhebliche Haftungsschärfung einher. Wie bereits dargestellt, kann die fehlerhafte Bauleitplanung ohnehin einen Amtshaftungsanspruch nach § 839 BGB i.V.m. Art. 34 GG begründen. Es käme somit lediglich zu einer Verschiebung der Haftungsebenen. Der betroffene Bürger müsste etwaige Ansprüche nicht mehr auf dem Zivilrechtsweg geltend machen; die entsprechende Verpflichtung könnte seitens der Bodenschutzbehörde durchgesetzt werden. Dies würde dem betroffenen Bürger das Prozessrisiko abnehmen und seinem Grundrechtsschutz aus Art. 2 und 14 GG zugutekommen.

⁸ Vgl. OVG Münster, NVwZ 1997, 804ff.

⁹ Für viele: Vgl. BGH 13.07.1993, BGHZ 123, 191ff., 14.10.1993, BGHZ 123, 363ff.

¹⁰ Vgl. § 2 Abs. 5 BBodSchG: „Altlasten im Sinne dieses Gesetzes sind 1. stillgelegte Abfallbeseitigungsanlagen sowie sonstige Grundstücke, auf denen Abfälle behandelt, gelagert oder abgelagert worden sind (Altablagerungen), und 2. Grundstücke stillgelegter Anlagen und sonstige Grundstücke, auf denen mit umweltgefährdenden Stoffen umgegangen worden ist, ausgenommen Anlagen, deren Stilllegung einer Genehmigung nach dem Atomgesetz bedarf (Altstandorte), durch die schädliche Bodenveränderungen oder sonstige Gefahren für den einzelnen oder die Allgemeinheit hervorgerufen werden.“

¹¹ Vgl. Kotulla in Fluck/Frenz/Fischer/Franßen, Kreislaufwirtschaftsrecht, Abfallrecht und Bodenschutzrecht Band 6 BBodSchG § 2 Rn. 261.

¹² Differenzierung insb. in § 6 LBodSchG.

Insgesamt zeigt sich, dass es durchaus Kritikpunkte an einer Verursacherhaftung der Bauplanungsbehörden gibt, es jedoch lohnenswert erscheint, diese genau in den Blick zu nehmen und etwaige Konsequenzen abzuwägen.

Fazit

Abschließend lässt sich festhalten, dass das Spannungsfeld von Bauplanungsrecht und Bodenschutzrecht im Bereich der Altlasten bereits in Literatur und Rechtsprechung angekommen ist, eine entsprechende Übertragung auf nichtstoffliche schädliche Bodenveränderungen in Form von Hangrutschungen bisher jedoch ausblieb.

Dabei birgt die differenzierte Betrachtung einer möglichen Verursacherhaftung der Bauplanungsbehörden gewisse Potenziale. Zunächst könnte dies die Abgrenzung der bauplanerischen und bodenschutzrechtlichen Aufgaben und Verantwortlichkeiten erleichtern und schärfen. Zusätzlich könnte hiermit ein erweiterter Grundrechtsschutz der betroffenen Bürger einhergehen.

Mit Blick auf die durch den Klimawandel erhöhte Starkregen- und Hangrutschgefahr bleibt mit Spannung abzuwarten, inwieweit diese Thematik zukünftig in der Literatur und Rechtsprechung die notwendige Beachtung findet.



ROCKBLOCKER

Schutzbauwerk mieten

Flexible Lösung für temporären Steinschlagschutz -
schnell, sicher und technisch zuverlässig

www.rockblocker.de

7 Haftung auf Wanderwegen, Klettersteigen und sonstigen untergeordneten Wegen im Mittelgebirgsraum

**RA PETER HENNINGSEN, HENNINGSEN MATHEIS PARTNERSCHAFT
VON RECHTSANWÄLTEN MBB, MAINZ**

I. Einführung

Das Bewegen in der freien Natur wird immer beliebter. Gerade im Mittelgebirgsraum werden zahlreiche Wanderwege zur Förderung des Tourismus ausgewiesen, durch Wälder, Weinberge, Flusstäler und Klammern. Steile An- und Abstiege, atemberaubende Aussichten, Abenteuer. Aber auch wenn eine Route vom Tourismusverband, dem örtlichen Alpenverein, der Gemeinde oder Privaten ausgewiesen ist, ist das nicht immer ungefährlich. Kommt es zu Unfällen, stellt sich schnell die Frage nach der Haftung. Die Verantwortlichkeit ist auf den ersten Blick nicht immer ersichtlich. Wer wo in welchem Umfang auf Wanderwegen, Klettersteigen und sonstigen untergeordneten Wegen im Mittelgebirgsraum haftet, soll im Folgenden beleuchtet werden.

II. Allgemeines zur Haftung

Dritte haften für Schäden vereinfacht gesagt dann, wenn sie für den Schadenseintritt verantwortlich sind. Für den Wanderunfall auf Grund fehlender Fitness kann selbstredend kein Dritter verantwortlich gemacht werden. Sind es aber äußere Umstände, die zum Unfall führen, wie etwa ein herabfallender Ast, das Abrutschen des Hangs am Rand des Gehsteigs oder das Ausrutschen auf den nassen Felsen in einer Klamme, stellt sich die Frage, ob der Unfall nicht hätte verhindert werden können. Unser Zivilrecht kennt in diesem Zusammenhang die sogenannte Verkehrssicherungspflicht. Die Rechtsprechung hat zu ihr eine Faustformel gebildet:

„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.“

Klingt erstmal einfach, ist es aber nicht. Denn es muss geklärt werden, wen die Verkehrssicherungspflicht im konkreten Fall überhaupt trifft und wie weit sie reicht. Dabei sind insbesondere der rechtliche Status des Weges, seine Zweckbestimmung, seine Verkehrsbedeutung und auch die Art der Gefahrenquelle zu berücksichtigen. Denn eine Haftung kommt nur in Betracht, wenn die sich konkret verwirklichende Gefahr auch von der Verkehrssicherungspflicht erfasst ist. Denn sie umfasst auch nur diejenigen Maßnahmen, die ein umsichtiger und verständiger, in vernünftigen Grenzen vorsichtiger Mensch für notwendig und ausreichend hält, um Andere vor Schäden zu bewahren.

III. Wer ist verkehrssicherungspflichtig?

Auf Wegen gilt der Grundsatz, dass derjenige verkehrssicherungspflichtig ist, der den Weg unterhält. Der juristische Laie kennt noch öffentliche und private Wege. Tatsächlich geht die Einteilung aber noch weiter. So ist es möglich, dass Wege öffentlich gewidmet sind oder aber nicht gewidmet sind, sich aber im Eigentum der öffentlichen Hand befinden. Handelt es sich um einen gewidmeten Weg, richtet sich die Verkehrssicherungspflicht nach der Straßenbaulast. Wer sie trägt, ist in den Straßengesetzen der Länder geregelt. Für Rad- und Gehwege liegt sie in allen Bundesländern bei der Gemeinde.

Fehlt es an einer Widmung, kommt es – von eng umgrenzten Ausnahmefällen, bei denen der Verfügungsberechtigte die öffentliche Nutzung duldet, abgesehen – auf die Eigentumsverhältnisse an.

Die Verkehrssicherungspflicht trifft dann grundsätzlich den Grundstückseigentümer. Das gilt selbst dann, wenn Wanderwege von Dritten wie etwa Wander- oder Alpenvereinen ausgeschildert und markiert sind. Sie übernehmen die Verkehrssicherungspflicht nur dann, wenn sie ihnen vertraglich übertragen wird oder wenn sie eine faktische Betreiberstellung innehaben, weil die den Weg dauerhaft unterhalten und sichern (so OLG Karlsruhe, Beschluss vom 17. Januar 2022 – 25 U 417/21 –).

IV. Umfang der Haftung

Grundsätzlich gilt: Die Nutzung der freien Natur erfolgt auf eigene Gefahr (vgl. § 14 BWaldG und § 60 BNatSchG). Daraus folgt eine erhebliche Haftungsbegrenzung für Eigentümer und Wegehalter. Der Benutzer hat Verkehrsflächen grundsätzlich so hinzunehmen, wie sie sich ihm erkennbar darbieten und sich den örtlichen Verhältnissen anzupassen.

Von der Verkehrssicherungspflicht ausgenommen sind daher sogenannte waldtypische Gefahren, also Risiken, mit denen ein verständiger Benutzer rechnen muss. Zu diesen typischen Gefahren des Waldes und der freien Natur zählen solche, die sich aus der Natur oder der ordnungsgemäßen Bewirtschaftung des Waldes unter Beachtung der jeweiligen Zweckbestimmung ergeben, insbesondere die durch Naturereignisse wie Überschwemmung, Erdbeben, Steinschlag oder Geröll verursachten Wegschäden, Bodenunebenheiten, Wurzeln, auf dem Weg liegende Baumteile oder in den Luftraum hineinragende Äste (so BGH, Urteil vom 2. Oktober 2012 – VI ZR 311/11 –).

Der Verkehrssicherungspflichtige muss aber für atypische Gefahren vorsorgen. Das sind die bewusst geschaffenen Gefahrenquellen entlang des Wanderwegs, etwa Abbruchkanten eines Steinbruchbetriebs, Baugruben, Drahtzäune, aber auch Geländer, Halteseile und Brücken. An sie darf der Nutzer des Weges den Anspruch stellen, sie ohne Gefahr nutzen zu können. Diese Anlagen müssen verkehrssicher sein (vgl. etwa OLG Saarbrücken, Urteil vom 30. November 2017 – 4 U 19/17 –).

Aber Achtung: Trotz allem darf die Unterscheidung zwischen waldtypischen und -atypischen Gefahrenquellen nicht als Alles-oder-nichts-Entscheidung gedacht werden. Insbesondere dürfen die Verkehrspflichten des Waldbesitzers bei waldtypischen Gefahren nicht automatisch auf null reduziert werden. Gerade in Zeiten des Klimawandels, in denen viele Bäume durch hohe Temperaturen, Trockenheit und Schädlingsbefall geschädigt werden, ist es unverzichtbar, dass auch Waldbesitzer elementare deliktische Sorgfaltspflichten beachten.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass eine Haftung wegen Verletzung der Verkehrssicherungspflicht dann besteht, wenn ein durchschnittlicher Wanderer mit einer den Bodenverhältnissen angepassten Ausrüstung und der entsprechenden Vorsicht den Weg begeht und sich eine Gefahr realisiert, die trotz Anwendung der erforderlichen Sorgfalt für den Wanderer nicht erkennbar war. Bei Wanderwegen sind, wie auch bei sonstigen Wirtschafts- und Waldwegen, wegen der geringen Verkehrsbedeutung nur relativ geringe Anforderungen zu stellen; die Eigenverantwortlichkeit des Benutzers, sich selbst vor Schaden zu bewahren, tritt hier in den Vordergrund (so OLG Sachsen-Anhalt, Urteil vom 14. Juli 2006 – 10 U 24/06 –).

V. Sonderfall Klettersteige und Hochalpen?

Für Klettersteige gilt grundsätzlich nichts anderes. Ihre Zweckbestimmung und Frequentierung spielen keine Rolle, auch hier ist mit waldtypischen und der Natur innewohnenden Gefahren zu rechnen. Etwas anderes gilt, wenn künstliche Sicherungselemente wie Drahtseile, Tritthaken und Eisenstifte angebracht sind. Hier wird eine zusätzliche Gefahrenquelle geschaffen, die atypisch ist. Damit sind Pflichten zur regelmäßigen Kontrolle, Wartung und Instandhaltung dieser Anlagen verbunden.

Das gilt so auch im hochalpinen Gelände. Nur atypische Gefahren werden von der Verkehrssicherungspflicht erfasst. Es darf davon ausgegangen werden, dass Nutzer über geeignete Ausrüstung, Trittsicherheit und Schwindelfreiheit verfügen, schließlich begeben sie sich bewusst in die mit der Nutzung verbundenen Gefahren.

VI. Empfehlungen

Konkrete Empfehlungen für Sicherungsmaßnahmen, zu denen ein Verkehrssicherungspflichtiger verpflichtet ist, können aus juristischer Sicht kaum gegeben werden. Sie richten sich nach der konkreten Gefahrensituation und dem gewöhnlichen Benutzerkreis.

Man wird als Nutzer aber von demjenigen, der einen Wanderweg oder Klettersteig ausweist, erwarten können, dass jedenfalls die Markierungen vor Ort korrekt sind und dass auf die mit der Nutzung grundsätzlich verbundenen Gefahren hingewiesen wird. So können Warnschilder bei erheblichen, nicht ohne Weiteres zu erkennenden Gefahren aufgestellt werden; punktuell wird der Weg auch zu sichern oder – bei akuter Gefahr – zu sperren sein. Bei der Einschätzung kann jeweils auf die Erwartung eines durchschnittlichen Wanderers, bei dem man neben guter Kondition auch ein Maß an Erfahrung und Vorsicht voraussetzen kann, und die Erkennbarkeit der Gefahr abgestellt werden.

Grundsätzliche Empfehlungen können aber für Grundstückseigentümer und diejenigen, die Wanderwege und Klettersteige ausweisen, gegeben werden: So empfehlen sich zwischen den Beteiligten konkrete vertragliche Abreden, mit denen die Verkehrssicherungspflicht – und damit unter Umständen nicht unerhebliche Investitionen – eindeutig zugewiesen wird. So schützt sich der die Nutzung zulassende Grundstückseigentümer vor entsprechender Inanspruchnahme; umgekehrt lässt sich so die Bereitschaft der Grundstückseigentümer steigern, ihr Grundstück für die Ausweisung eines Wanderweges zur Verfügung zu stellen. Umfangreiche, in aller Regel gerichtliche Auseinandersetzungen mit mehreren möglichen Beteiligten und unklarem Ausgang lassen sich so vermeiden.



Veranstalter

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

ISSN 2196-2863