

Auswirkungen gravitativer Massenbewegungen auf den Schienenverkehr

Gravitative Massenbewegungen stellen eine bedeutende Gefahrenquelle für die Sicherheit des Schienenverkehrs dar und können große ökonomische Schäden verursachen. Vor dem Hintergrund des Klimawandels und einer damit einhergehenden zunehmenden Häufigkeit von Massenbewegungen auslösenden Ereignissen ist es von großer Bedeutung, das Schienennetz resilienter gegenüber dieser Naturgefahr zu gestalten.

1. Einführung

Gemäß der von Dikau & Glade (2003) entwickelten nationalen Gefahrenhinweiskarte sind etwa 10% der Fläche Deutschlands als durch Massenbewegungen gefährdet einzustufen. Jedoch treten die größten direkten und indirekten Schäden z. B. entlang von Verkehrswegen auf. Dabei können einzelne Ereignisse je nach Ausmaß und Lokalität überregionale und sogar internationale Auswirkungen auf die Verkehrsinfrastruktur haben. Der Felssturz in der Nähe von Kestert im Mittelrheintal (Bild 1) im März 2021 ist ein aktuelles Beispiel für ein solches Ereignis, das eine wochenlange Sperrung eines Abschnitts von Europas meist befahrener Güterzugstrecke zwischen Genua und Rotterdam sowie der parallel verlaufenden Bundesstraße B42 zur Folge hatte. Die mit dem Ereignis verknüpften wirtschaftlichen Schäden belaufen sich auf 20 bis 30 Millionen Euro (SWR 2021). Verglichen mit dem Straßenverkehr bergen Massenbewegungen identischer Größe für den Schienenverkehr aufgrund der festen Fahrspur, des längeren Bremswegs und der Zuglänge ein höheres Risiko für Schäden. Kenntnisse über gefährdete Bereiche entlang des Schienennetzes, über vorbeugende Maßnahmen und zu erwartende Änderungen in der Intensität und Häufigkeit von gravitativen Massenbewegungen im Zuge des Klimawandels sind daher von großer Bedeutung für einen resilienten Schienenverkehr.

Dieser Artikel gibt einen kurzen Überblick zu den Grundlagen und den auslösenden Faktoren von gravitativen Mas-

senbewegungen, geht speziell auf die Auswirkungen auf den Schienenverkehr ein und stellt drei Praxisbeispiele aus aktuellen Forschungsvorhaben zu gravitativen Massenbewegungen entlang des deutschen Schienennetzes vor.

2. Grundlagen gravitativer Massenbewegungen und auslösende Faktoren

Als gravitative Massenbewegungen werden hangabwärts gerichtete, bruchlose und bruchhafte Verlagerungen von Fels- und/oder Lockergestein unter der Wirkung der Schwerkraft bezeichnet. Diese vielfälti-

gen Prozesse lassen sich nach verschiedenen Kriterien klassifizieren: (1) Materialtyp der verlagerten Massen (Festgestein, Boden, Schlamm, fein- und grobkörniges Lockermaterial), (2) Bewegungsmechanismus (Fallen, Kippen, Gleiten, Fließen, komplexe Massenbewegung), (3) Geschwindigkeit der Bewegung (wenige Zentimeter pro



Dr. Sonja Szymczak

Wissenschaftliche Referentin beim Deutschen Zentrum für Schienenverkehrsforschung beim Eisenbahn-Bundesamt
SzymczakS@dzsf.bund.de



Frederick Bott, M. Sc

Wissenschaftlicher Referent beim Deutschen Zentrum für Schienenverkehrsforschung beim Eisenbahn-Bundesamt
BottF@dzsf.bund.de



Dr. Katharina Fricke

Wissenschaftliche Referentin für Fernerkundung beim Deutschen Zentrum für Schienenverkehrsforschung beim Eisenbahn-Bundesamt
FrickeK@dzsf.bund.de



Dr. Catherine Berger

Geschäftsleitung und Fachexpertin Naturgefahren bei geo7
catherine.berger@geo7.ch



Dr. Michael Rinderer

Fachexperte Naturgefahren bei geo7
michael.rinderer@geo7.ch



Dr. Stefan Jäger

CTO bei geomer GmbH
Stefan.Jaeger@geomer.de



Dipl.-Ing. Ludwig Wiesmeier

Fachbeauftragter für Tunnel- und Erdbauwerke bei der DB Netz AG
Ludwig.Wiesmeier@deutschebahn.com

Jahr bis 100 Meter pro Sekunde) und (4) Wassergehalt (trocken bis nass). Eine differenzierte Beschreibung und Bezeichnung von Ereignissen ist dabei von großer Bedeutung. Zum einen liegen den Prozessstypen unterschiedliche Auslösfaktoren zugrunde, zum anderen bedingen die jeweiligen Prozesse auch unterschiedliche Gefährdungspotenziale und Maßnahmenoptionen, um ein Ereignis zu verhindern oder dessen Auswirkungen zu reduzieren. Bezogen auf Verkehrswege kommt es durch Massenbewegungen am häufigsten zu einer Blockierung oder Zerstörung der Verkehrsinfrastruktur.

Massenbewegungen werden durch ein komplexes Wirkungsgefüge von verschiedenen natürlichen (z.B. Klima, Geologie, Vegetation) und anthropogenen Faktoren verursacht, die sich in vorbereitende, auslösende und kontrollierende Faktoren unterteilen lassen. Unter die vorbereitenden Faktoren (Disposition) fallen die Eigenschaften des Untergrundes und der Erdoberfläche, die die Auslösung einer Massenbewegung begünstigen oder erschweren (z.B. Sättigungsgrad des Bodenwassergehalts, Vegetationsbedeckung). Die auslösenden Faktoren (Trigger) sind solche, die dazu führen, dass ein Hang zu einem bestimmten Zeitpunkt von einem stabilen in einen instabilen Zustand überführt wird, sodass eine Massenbewegung auftritt. Hierzu zählen u.a. meteorologische Faktoren wie Starkniederschläge oder intensive Schneeschmelze. Die kontrollierenden Faktoren (z.B. Beschaffenheit des Untergrundes, Relief) bestimmen, welche Arten von Massenbewegungen stattfinden können.

3. Gravitative Massenbewegungen im Schienenumfeld

Das Umfeld der Eisenbahnstrecken ist in vielfältiger Weise anthropogen überprägt, sodass die natürliche Umgebung, ins-



1: Güterzug vor dem Felssturz in der Nähe von Kestert im Mittelrheintal

besondere die Hänge, oftmals nicht der naturräumlichen Grundausstattung des Gebietes entspricht. Baumaßnahmen, die zu einer Veränderung der Hanggeometrie führen, z.B. Hanganschnitte oder -anschüttungen, können die ursprüngliche Statik eines Hanges derartig stören, dass bereits während oder kurz nach dem Eingriff der künstliche Hang (Böschung) instabil wird. Meistens werden Böschungen jedoch erst im Laufe der Zeit durch die langfristige Wirkung von Verwitterungsprozessen und Niederschlagsereignissen instabil. Weiterhin wird der Hangwasserhaushalt im Schienenumfeld in vielfältiger Weise beeinflusst, beispielsweise durch Gleisentwässerung, Durchlässe von Fließgewässern und Hangdrainagen. Ebenso wirken sich Bodenverdichtung und Bodenversiegelung, Vegetationsänderungen und Änderungen in der Landnutzung auf das Abflussverhalten bzw. den Wasserhaushalt des Bodens aus. Vor allem in Tal-lagen verlaufen Verkehrswege häufig parallel und räumlich nah beieinander, sodass auch Baumaßnahmen an benachbarten Verkehrswegen und der Zustand dieser

Verkehrswege Auswirkungen auf die Hänge entlang der Schiene haben.

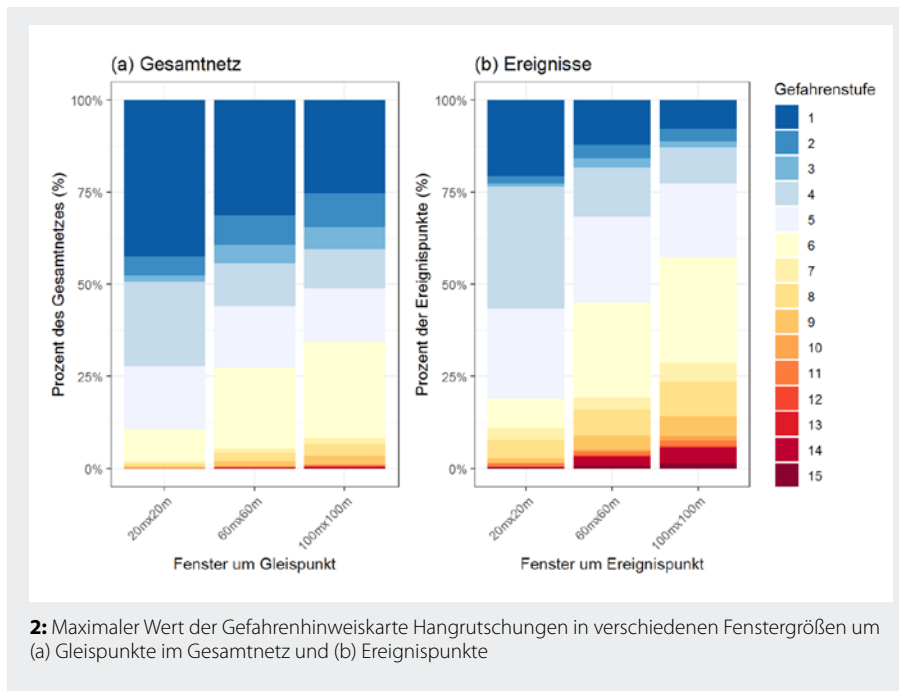
Massenbewegungen können zu Schäden am Unter- und Oberbau führen sowie Dämme und Böschungen destabilisieren. Oberleitungsschäden werden hauptsächlich durch Sturzprozesse verursacht, während Gleislagefehler überwiegend bei tiefgründigen Rutschungen oder Sackungen auftreten. Je nach Ausmaß der Schäden und der Stabilitätsverhältnisse nach einem Ereignis ist eine Streckensperrung notwendig. Besonders bei spontanen oder schwer vorhersagbaren Ereignissen wie beispielsweise Felsstürzen oder Murgängen besteht zusätzlich die Gefahr von Zugentgleisungen, wie beispielsweise 2011 bei einem Erdbeben in St. Goar (FAZ 2011).

4. Praxisbeispiele von Forschungsvorhaben zu gravitativen Massenbewegungen entlang des deutschen Schienennetzes

In der Beurteilung von Naturgefahren hat sich ein differenziertes Vorgehen auf zwei verschiedenen Maßstabs- bzw. Detaillierungsstufen etabliert: die Hinweisstufe und die Detailstufe. Auf der Stufe der Hinweisstufe wird für ein größeres Gebiet überblicksmäßig auf eine mögliche Gefährdung durch einen Gefahrenprozess hingewiesen. Dies geschieht auf Basis von flächendeckend vorliegenden Informationen zu Topographie, Flächennutzung und Geologie, weshalb die Berechnungen meist ohne großräumige Validierung vor Ort durchgeführt werden. Dadurch ist es möglich, sich mit verhältnismäßig geringem Aufwand flächendeckend einen Überblick über die Gefährdungssituation zu verschaffen, die unterschiedlichen Gefahrenstellen zu pri-

Infobox: Definitionen im Text erwähnter gravitativer Massenbewegungsarten

Felssturz	Absturz von Felsmassen mittlerer Dimensionen, die im Gelände deutlich zu erkennende Sturzbahnen hinterlassen.
Hangrutschung	Hangabwärts gerichteter Transport von Lockersedimenten oder geklüfteten Felsmassen auf einer hangparallelen oder rotationsförmigen Gleitfläche.
Hangmure	Massenbewegung, die aufgrund von Instabilitäten in steilen Hangbereichen und erhöhten Hangwasserspiegeln entsteht und sich über den Hang bis maximal an den Hangfuß oder in das nächste Gerinne ergießt.
Murgang	Massenbewegung aus durchtränktem Schutt, der sich nach starken Niederschlägen oder Schneeschmelze in Mittel- und Hochgebirgen in vorgegebenen Tiefenlinien schubartig oder kontinuierlich mit hoher Geschwindigkeit zu Tal bewegt.



orisieren und darauf basierend Ressourcen effizient einzusetzen. Auf der Detailstufe wird für einzelne Einzugsgebiete oder Hangbereiche eine detaillierte Gefahrenbeurteilung, basierend auf Felderhebungen sowie komplexeren, numerischen Modellen, erstellt. Die Simulationsergebnisse müssen vor Ort plausibilisiert werden, denn auch detaillierte, komplexe Modelle sind eine vereinfachte Abbildung der Wirklichkeit. Die folgenden Beispiele stellen aktuelle Forschungen zu Massenbewegungen entlang des deutschen Schienennetzes auf beiden Stufen vor.

4.1. Gefahrenhinweiskarte Hangrutschungen

Im Rahmen eines Forschungsprojekts des Eisenbahn-Bundesamtes (EBA) wurde eine ingenieurgeologische Gefahrenhinweiskarte zu Hang- und Böschungsrutschungen entlang des deutschen Schienennetzes erstellt (EBA 2018). Basierend auf den Inputparametern Hangneigung, Gesteinsklüftung und Vegetationsbedeckung wurde jedes 20 m x 20 m große Pixel im Schienenumfeld einer Gefahrenstufe von 1 (sehr niedrige Gefährdung) bis 15 (sehr hohe Gefährdung) zugeordnet. Mithilfe dieser Karte können somit Bereiche in der Nähe des Schienennetzes identifiziert werden, die eine erhöhte Gefahr für die Entstehung von Hang- und Böschungsrutschungen aufweisen. Die höchsten Gefahrenstufen (10-15) nehmen zwar nur einen geringen

Anteil des Gesamtnetzes ein (unter 1%) (Bild 2), jedoch gibt es einzelne Strecken, wo sie besonders häufig auftreten, v.a. Strecken in den Mittelgebirgen entlang von Flusstälern (z.B. Rhein, Mosel, Nahe). Teilweise haben diese Strecken eine hohe Bedeutung für das bundesweite oder europäische Schienennetz (z.B. Mittelrheintal), sodass hier selbst kleinere Ereignisse Auswirkungen auf das Gesamtnetz haben können. Der größte Teil des Streckennetzes weist nur geringe Gefährdungen auf (Gefahrenstufen 1-5) (Bild 2a). In unmittelbarer Umgebung des Schienennetzes (20 m-Fenster um die Gleisstrecke) beträgt der Anteil gut 90 %, bei einer großräumigeren Betrachtung (60 m-Fenster) 66 %.

Für eine erste großräumige Validierung der Gefahrenhinweiskarte wurden 418 Massenbewegungsereignisse aus der DB-Schadensdatenbank verwendet, die im Zeitraum 2013-2021 aufgetreten sind. Die Verteilung der Gefährdungsklassifikation an Punkten mit Ereignissen ist anders als die Verteilung im Gesamtnetz (Bild 2b). Hier nehmen die höchsten Gefahrenstufen (10-15) einen größeren Anteil ein (5 % beim 20 m-Fenster, 9 % beim 60 m-Fenster, 9 % beim 100 m-Fenster). Besonders stark sind bei 60 und 100 m die mittleren Stufen (6-9) vertreten mit 40 bzw. 49 %. Somit liegen fast die Hälfte (bei 60 m) bzw. über die Hälfte (bei 100 m) der Ereignispunkte in Bereichen, die eine mittlere bis hohe Gefährdung gegenüber Massenbewegungen aufweisen. Dieses Ergebnis

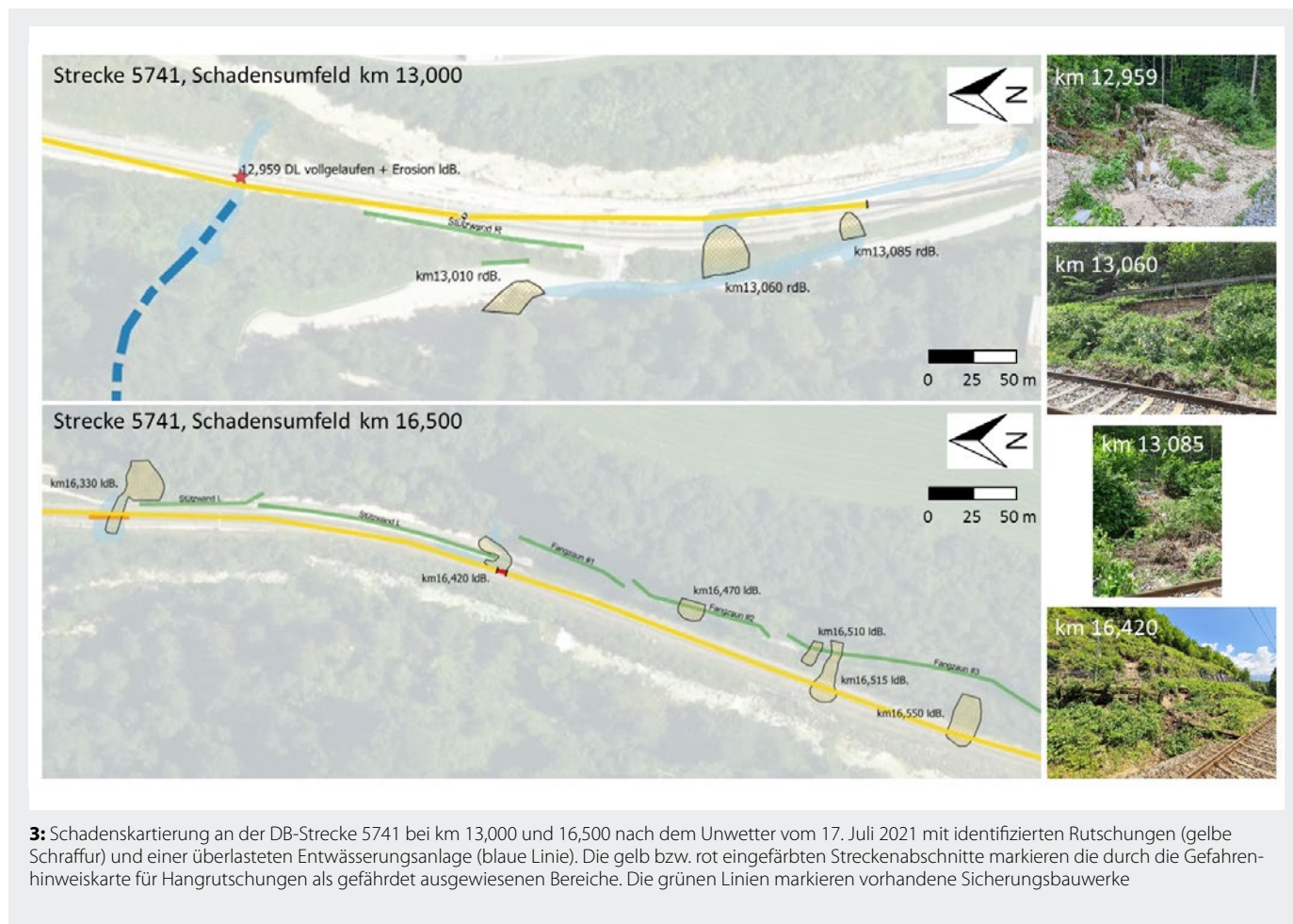
bestätigt das Potenzial der Gefahrenhinweiskarte, für Hang- und Böschungsrutschungen anfällige Gebiete korrekt zu identifizieren.

4.2. Validierung der Gefahrenhinweiskarte Hangrutschungen im Gelände

Im Zusammenhang mit dem Tief „Bernd“ traten in Deutschland Mitte Juli 2021 regional sehr ausgeprägte Starkregenereignisse auf, unter anderem im Ahrtal, in Sachsen sowie im Südosten Bayerns. Nach bereits mehreren Starkregenepisoden sorgte ein Ausläufer dieses Tiefs auf ca. 8 km Länge am und im näheren Umfeld der DB-Strecke zwischen Bf Hallthurm und Bf Berchtesgaden (DB-Strecke 5741) für umfangreiche Schäden an der Infrastruktur. Die Aufnahme der Schäden und Prozesse an den Streckenabschnitten km 12,9-13,1 sowie km 16,3-16,7 diente einer ereignisbasierten Validierung der Gefahrenhinweiskarte aus Kap. 4.1.

Im Abschnitt km 12,9-13,1 kam es nach den Starkregenereignissen zu starkem Bodeneintrag in den Oberbau (km 12,959), zu einer Rutschung an der bahnparallel höhergelegenen Straße (km 13,010) sowie zu zwei Böschungsrutschen in den Gleisbereich (km 13,060 und km 13,085) (Bild 3). Die Bahnstrecke verläuft hier in Anschnittslage mit einer zum Fluss hin befestigten Uferböschung und einer ca. 4-8 m höhergelegenen, bahnparallel ansteigenden asphaltierten Gemeindestraße rechts der Bahn (rdB.). Bereits vorhandene Sicherungsmaßnahmen umfassen Stützbauwerke, rückverankerte Drahtnetze und rückverankerte Spritzbetonflächen. Ein Straßendurchlass mit Schachteinlauf leitet planmäßig das im hangseitigen Straßengraben gesammelte Oberflächenwasser in den Bahngraben rdB. Ein bei km 12,959 auf die Bahnlinie von rdB. zulaufender stark wasserführender Graben ist bereits mit einem Geschiebeauffangbecken vor dem Einlauf am Bahndurchlass versehen. Die hohe Ergiebigkeit der Niederschläge und das durch Wasserströmung mobilisierte Geröll- und Rutschmaterial überlastete die vorhandenen Entwässerungsanlagen bzw. führte zu einer Füllung und Überströmung des Geschiebeauffangbeckens am Graben. Das nun oberflächlich abfließende Wasser-/Bodengemisch schwächte in Folge die Bahnböschungen rdB. und löste in den bislang ungesicherten Bereichen zwei Rutschungen aus, die mit ca. 20 m³ Bodenmaterial in den Gleisbereich niedergingen (Bild 3).

In der Gefahrenhinweiskarte für Hangrutschungen wird der Gleisabschnitt von km



12,740-13,090 auf einer Länge von 350m als durch Hangrutschungen gefährdet identifiziert. In den südlichen 140m konnte eine sehr hohe Übereinstimmung der Gefahrenhinweiskarte mit den sich eingestellten Schadensbildern festgestellt werden. Insbesondere die sehr steilen Anschnittböschungen von Straße und Schiene auf engem Raum erhöhen trotz diverser Entwässerungs- und Sicherungsvorkehrungen das Schadensrisiko bei Starkregenereignissen.

Ein weiterer im Juli 2021 geschädigter Streckenabschnitt führt durch die sog. „Tristamschlucht“ bei km 16,3-16,7. Auch hier befindet sich die Bahnlinie in Anschnittlage. Mehrere Einrichtungen gegen Steinschlag (Stütz- und Schutzanlagen) waren gegen die Steinschlaggefährdung angeordnet und wirksam. Durch die Starkregenereignisse wurden jedoch die Lockergesteinsmassen in Hangmitte und am Hangfuß ldB. mobilisiert und rutschten teils auch unter die Fangzäune dem Gleisbereich zu (Bild 3).

Zusammenfassend lässt sich eine hohe Übereinstimmung der als potenziell ge-

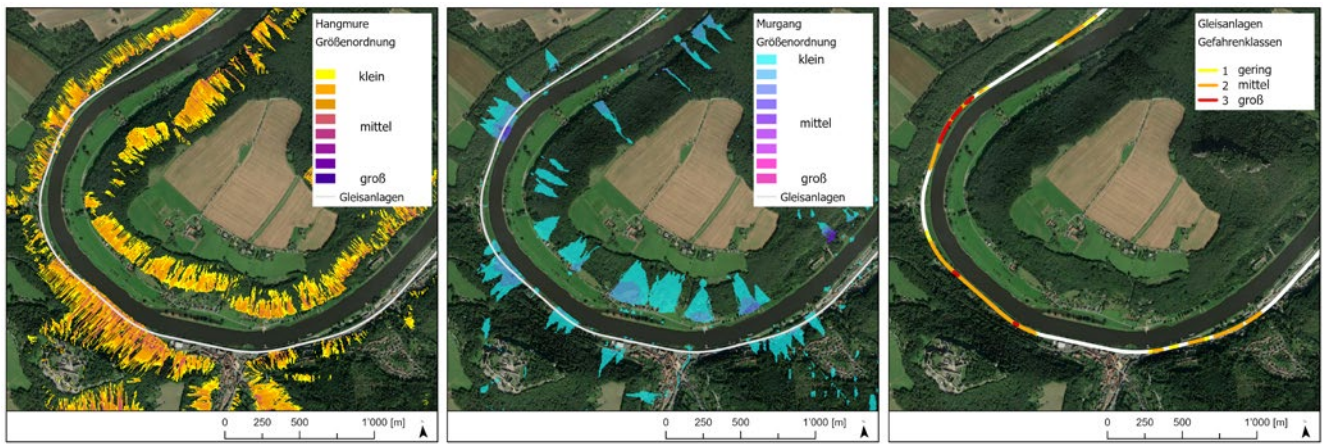
fährdet ausgewiesenen Streckenabschnitte der Gefahrenhinweiskarte für Hangrutschungen mit den im Juli 2021 tatsächlich eingetretenen und lagerichtig dokumentierten Schadstellen im Umfeld der Bahnstrecke 5741 feststellen. Trotz umfangreich vorhandener baulicher Sicherungsanlagen gegen Steinschlag und Hangrutschungen wurden durch die Starkregenereignisse Böschungsrutsche und Erosion ausgelöst.

4.3. Gefahrenhinweiskarte Hangmuren und Murgänge

Ergänzend zu der Gefahrenhinweiskarte Hangrutschungen (Kap. 4.1) wurde zwischen 2020 und 2022 im Auftrag des DZSF von der Biertergemeinschaft geo7 AG und geomer GmbH eine Gefahrenhinweiskarte für Hangmuren und Murgänge erarbeitet (DZSF in press). Dabei wurde der gesamte Prozessraum mit Anrissbereichen, Fließwegen und Ablagerungsbereichen betrachtet und die beiden Typen von Massenbewegungen prozessnah entlang des bundesweiten Schienennetzes simuliert.

Mit einem Hangstabilitätsmodell und einem digitalen Höhenmodell (Auflösung 5 m) wurde eine Karte der potenziellen Anrissbereiche von Hangmuren und Murgängen auf Hinweisstufe bei einem definierten Bemessungsereignis (100-jähriger 24h-Niederschlag, KOSTRA-Datensatz des Deutschen Wetterdienstes), generiert. Ausgehend von den modellierten Anrissbereichen wurden auf Detailstufe Hangmuren- und Murgangssimulationen für die Reichweiten, Fließwege und Ausbreitung durchgeführt. Die Modelle wurden anhand von drei Pilotregionen (Elbsandsteingebirge, Voralpen, Sauerland) entwickelt und die Simulationsergebnisse durch Geländebegehungen validiert.

Bild 4 zeigt die simulierten Hangmuren und Murgänge für einen Kartenausschnitt bei Königstein in der Pilotregion Elbsandsteingebirge. Zu erkennen sind die flächig an den Hängen ausgewiesenen Hangmuren (Bild 4, links) und die in steilen Gerinnen potenziell möglichen Murgänge (Bild 4, Mitte) mit den charakteristischen Fließwegen und Prozessräumen an den Schwemm-



4: Simulierte Hangmuren (links), Murgänge (Mitte) und die aus beiden Simulationen abgeleitete Gefahrenklassifizierung (rechts) für die Gleisanlagen an der DB-Strecke 6240 bei Königstein, Pilotregion Elbsandsteingebirge (Hintergrundinformation: Esri, Maxar, Earthstar Geographics)

kegeln. Die großflächige Ausprägung der Prozessräume resultiert daraus, dass die gezeigten Flächen das Potenzial aller möglichen Hangmuren und Murgänge darstellen. Es ist jedoch sehr unwahrscheinlich, dass bei einem Niederschlagsereignis an allen Stellen gleichzeitig Hangmuren und Murgänge auftreten. Weiterhin zeigen die Kartenausschnitte, dass die Modelle in der Lage sind, feine topographische Strukturen wie Bahndämme und Geländeeinschnitte korrekt zu berücksichtigen.

Mit den in den Pilotregionen getesteten Modellen wurden in einem zweiten Schritt Hangmuren- und Murgangsimulationen entlang des bundesweiten Schienennetzes durchgeführt, anhand der Größenordnung der Hangmuren- bzw. Murgangfracht in Gefahrenklassen unterteilt und mit dem lagegenauen Schienennetz verschnitten (siehe Bild 4, rechts). Der methodisch einheitlich generierte Datensatz erlaubt es, sich einen Überblick über die Gefahrensituation entlang des bundesweiten Schienennetzes zu verschaffen und sogenannte Gefahren-Hot-Spots auf Hinweisstufe zu identifizieren. Für diese Hot-Spots können detailliertere Abklärungen zu den Naturgefahren erfolgen und angepasste ortsspezifische Schutzkonzepte entwickelt werden. Somit leistet diese neue Gefahrenhinweiskarte einen wichtigen Beitrag für die Gefahrenprävention, die Steuerung von finanziellen Ressourcen und die Priorisierung von Maßnahmen zur Sicherung der Bahninfrastruktur und des Bahnbetriebs in ganz Deutschland.

5. Fazit

Mit Hinblick auf den aktuellen Klimawandel ist davon auszugehen, dass meteorologische Ereignisse, die Massenbewegungen auslösen können, in Zukunft häufiger auftreten und somit potenziell auch mehr Massenbewegungen möglich sind. Daher ist es essentiell, das Bewusstsein und die Kenntnisse über diese Prozesse im Bahnsektor stärker zu verankern. Die vorgestellten Gefahrenhinweiskarten für Hangrutschungen bzw. Hangmuren und Murgänge können im Zuge der regelmäßigen Inspektion von Erdbauwerken und Böschungen entlang des deutschen Streckennetzes als wertvolle Vorab-Information herangezogen, bei Umbau und Instandhaltungsmaßnahmen als wichtiges Kriterium genutzt und zur Schärfung des Prozessverständnisses verwendet werden. Neben den Karten auf Hinweisstufe werden jedoch auch weiterhin die lokal anzutreffenden Umstände auf der Detailstufe beurteilt werden müssen. Denn die detaillierten lokalen Verhältnisse, aber auch vorhandene Stütz-, Sicherungs- und Entwässerungsanlagen werden in den Hinweiskarten nicht berücksichtigt. Zudem verändert sich das Umfeld von Bahnstrecken (Vegetation, Landnutzung, Bebauung, Relief) oder die Disposition für Naturereignisse (Klimawandel), was immer wieder eine Neubewertung der Sicherheit von Bahnanlagen verlangt. Ebenfalls ist es von großer Bedeutung, auftretende Ereignisse detailliert zu dokumentieren, um eine verlässliche Datenbasis zu generieren, die zur Validierung und Weiterentwicklung vorhandener Karten verwendet werden kann.

Literatur

- [1] Dikau, R., Glade, T. (2003): Nationale Gefahrenhinweiskarte gravitativer Massenbewegungen. In: Nationalatlas Bundesrepublik Deutschland – Relief, Boden und Wasser, 2002, 98-99.
- [2] DZSF (in press): Analysen zu schnellen wasserhaltigen Massenbewegungen. Bundesweite Untersuchungen zur Exposition des deutschen Schienennetzes und Modellierungen der räumlichen Ausbreitung. Berichte des Deutschen Zentrums für Schienenverkehrsforschung.
- [3] EBA (2018): Erstellung einer ingenieurgeologischen Gefahrenhinweiskarte zu Hang- und Böschungsrutschungen entlang des deutschen Schienennetzes. EBA-Forschungsbericht 2018-13, 127 Seiten.
- [4] FAZ (2011): Intercity bei St. Goar entgleist. Meldung vom 12.09.2011, <https://www.faz.net/aktuell/gesellschaft/ungluecke/bahnunfall-intercity-bei-st-goar-entgleist-11164662.html>, abgerufen am: 15.12.2022.
- [5] SWR (2021): B42 Kestert jetzt einspurig tagsüber frei. Meldung vom 19.04.2021, <https://www.swr.de/swraktuell/rheinland-pfalz/koblenz/bahnstrecke-kestert-nach-felssturz-wieder-geoefnet-100.html>, abgerufen am: 15.12.2022.

Summary

Effects of gravitational mass movement to the rail transport

Gravitational mass movements are a significant source of danger for the safety of the rail transport and can cause huge economical damages. Against the background of climate change, it is of most importance to design the rail network more resilient against this natural danger. In this article, the effects of gravitational mass movement to the rail transport are in focus and three practical examples from research projects on the German railway net are presented.