

Forschungsvorhaben des DZSF zur Klimaanpassung im Eisenbahnwesen

Anpassungen an die Folgen des Klimawandel sind eine essenzielle Aufgabe. Der Artikel stellt Forschungsarbeiten des Deutschen Zentrums für Schienenverkehrsforschung in diesem Bereich vor.

CARINA HERRMANN

Die Auswirkungen des Klimawandels sind bereits heute zu spüren. So zeigen Klimaprojektionen, dass die Temperaturen bis zum Ende des Jahrhunderts steigen werden. Auch die Niederschlagsverteilung wird sich ändern. So werden zukünftig sowohl Dürre als auch Starkniederschläge zunehmen. Schon heute führen Extremwetterereignisse zu Schäden und Störungen an der Infrastruktur und im Eisenbahnbetrieb. Die zukünftigen Auswirkungen eines veränderten Klimas auf die Eisenbahninfrastruktur müssen daher erforscht und geeignete Lösungsansätze gefunden werden. Ziel ist, das Schienennetz gegenüber Naturgefahren und den Folgen des Klimawandels resilient zu gestalten.

Als Klimawandel wird die langfristige Veränderung des Klimas, die natürlichen oder anthropogenen Ursprungs sein kann, bezeichnet. Um diesem zu begegnen, müssen sowohl Klimaschutz als auch Klimaanpassung betrieben werden. Beides, Klimaschutz und Klimaanpassung, sind zwei Seiten derselben Medaille [1]. Mit Klimaschutz wird das Ziel verfolgt, den Ausstoß von klimarelevanten Treibhausgasen wie Kohlenstoffdioxid und Methan zu reduzieren, um entsprechend dem Vorsorgeprinzip ein Voranschreiten des Klimawandels zu minimieren. Dazu werden Strategien zur Dekarbonisierung des Schienenverkehrs, d.h. der Reduzierung der Kohlenstoffdioxidemissionen, wie beispielsweise durch die Entwicklung alternativer Antriebstechnologien und die Nutzung regenerativer Energien im Schienensektor entwickelt und wissenschaftlich begleitet. Auch die Steigerung der Energieeffizienz durch Automatisierung und Digitalisierung des Bahnverkehrs oder der Einsatz innovativer Materialien spielen dabei eine wichtige Rolle. Des Weiteren können Verkehrsverlagerungen auf den im Vergleich zu anderen Verkehrsträgern klimafreundlicheren Schienenverkehr einen Beitrag zum Klimaschutz leisten.

Bei der Klimaanpassung geht es dagegen um den vorsorgenden Umgang mit nicht mehr abwendbaren Folgen des Klimawandels und Extremwetterereignissen. Ziel ist hierbei, Ri-

Expositions-klasse	Beschreibung der Klassengrenzen
1	Abstand > aktuelle/zukünftige Baumhöhe mit 2 m-Unsicherheitsbereich
2	Abstand > aktuelle/zukünftige Baumhöhe ohne 2 m-Unsicherheitsbereich
3	Abstand < aktuelle/zukünftige Baumhöhe und außerhalb der 6 m-Freihaltungszone
4	Abstand < aktuelle/zukünftige Baumhöhe und innerhalb 6 m-Freihaltungszone

Tab. 1: Einteilung der Expositions-klassen von 1 (gering) bis 4 (hoch) für die Expositionsanalyse des Schienennetzes *Quelle: [6, 8]*

siken zu minimieren, Schäden zu vermeiden und Anpassungen an die zu erwartenden Veränderungen umzusetzen. Die Auswirkungen des Klimawandels und die Zunahme von Extremwetterereignissen stellen den Eisenbahnsektor vor große Herausforderungen. Für die Eisenbahninfrastruktur sind insbesondere Stürme sowie deren Auswirkungen, sowohl durch Baumstürze als auch Böschungsbrände und Starkregenereignisse, relevant. Starkregenereignisse können Sturzfluten bewirken sowie zu Flusshochwasser beitragen. Außerdem können sie ein Auslöser für Hang- und Böschungsrutschungen (gravitative Massenbewegungen) sein.

In diesem Beitrag werden Ergebnisse von Forschungsprojekten des Deutschen Zentrums für Schienenverkehrsforschung (DZSF) vorgestellt, die einen Beitrag zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels leisten. Es werden Gefährdungen für das deutsche Schienennetz aufgezeigt und Handlungsempfehlungen sowie sich daraus ableitende Anpassungen von Regelwerken skizziert. Ziel aller Forschungsprojekte ist es, einen Beitrag zur Erhöhung der Resilienz gegenüber den Folgen des Klimawandels zu leisten.

Eisenbahn-Regelwerke und Klimawandel

Um sich einen Überblick über den möglichen Anpassungsbedarf von Regelwerken des Eisenbahnwesens in Bezug auf die Folgen des Klimawandels zu verschaffen, wurde das Projekt „Untersuchung der Regelwerke für den Bahnbetrieb auf Schwachstellen hinsichtlich des zu erwartenden Klimawandels“ [2] im Rahmen des Expertennetzwerkes des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr (BMDV) initiiert. Hierfür wurden insgesamt 130 relevante Regelwerke, Verordnungen und Nor-

men des Internationalen Eisenbahnverbandes (UIC), des Europäischen Komitees für Normung (CEN), des Deutschen Instituts für Normung (DIN) und Richtlinien der Deutschen Bahn AG (DB Ril) für die Bereiche Infrastruktur (59 Regelwerke inkl. 18 nationaler Anhänge), Energie und Sicherheit (19 Regelwerke) sowie Fahrzeuge (52 Regelwerke) intensiv untersucht. Es wurde eine systematische Prüfung für die Klimaeinflüsse Temperatur, Niederschlag, Wind und Blitzschlag durchgeführt. Klimarelevante Passagen wurden identifiziert, bewertet und der Anpassungsbedarf ermittelt. Die meisten Einträge enthält der Bereich Infrastruktur. Von den 59 Regelwerken wurden in 55 Regelwerken 1650 Einträge mit Bezug zum Klima gefunden. Abb. 1 zeigt, dass von diesen 1650 Einträgen 19 % einen hohen, 16 % einen mittleren, 34 % einen niedrigen und 20 % keinen Anpassungsbedarf haben. Im Bereich Energie und Sicherheit wurden 19 Regelwerke untersucht, von denen in 18 Regelwerken 102 Einträge erfasst wurden. Ein Großteil der Einträge weist dabei einen mittleren Anpassungsbedarf auf. Für den Bereich Fahrzeuge wurden insgesamt 52 Regelwerke untersucht, wovon in 23 Regelwerken kein Anpassungsbedarf ermittelt wurde. Von den insgesamt 133 gefundenen Einträgen wurden auch nur fünf mit einem hohen Anpassungsbedarf bewertet, die sich alle im Regelwerk „DIN EN 50125-1 Bahnanwendungen – Umweltbedingungen für Betriebsmittel“ befinden und darauf verweisen. Bei diesen Einträgen handelt es sich beispielsweise um die Regenmenge, Windgeschwindigkeit und die Dauer der Sonneneinstrahlung, die sich in Zukunft ändern könnten und daher eingehender betrachtet werden sollten. Für 60 % der Einträge wird nur ein niedriger

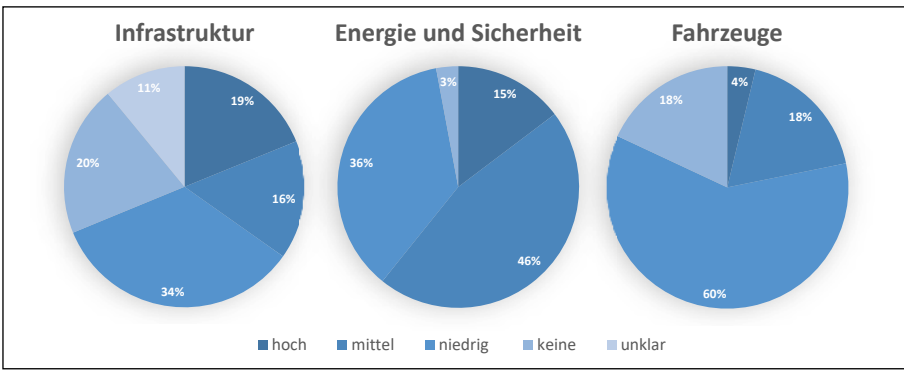


Abb. 1: Bewertung des Anpassungsbedarfes von ausgewählten Regelwerken für die Bereiche Infrastruktur (1650 Einträge), Energie und Sicherheit (102 Einträge), Fahrzeuge (133 Einträge)

Quelle: DZSF

Anpassungsbedarf gesehen. Aufgrund der hohen Anzahl der ermittelten Einträge und deren Bewertung hat die Anpassung der Infrastruktur an die Folgen des Klimawandels die höchste Priorität.

Auch im DIN sowie in der Deutschen Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik (DKE) und im Verband Deutscher Ingenieure (VDI) ist die Anpassung an den Klimawandel ein wichtiges Thema. Hierzu finden regelmäßige Veranstaltungen wie die kostenfreie „DIN/DKE/VDI-Frühstücksreihe: Klima und Normung“ [3] oder der Workshop „Auf welches Klima-Szenario müssen wir aus Vorsorgegründen vorbereitet sein?“ [4] statt. Im Rahmen des Workshops wurde diskutiert, welche Daten von Arbeitsgremien in verschiedenen Sektoren benötigt werden, in welcher Form die aus den Klimaprojektionen gelieferten Daten aufbereitet werden können und ob ein „Dokument zur Hilfestellung“ be-

nötigt wird, welches Anforderungen der Arbeitsgremien hinsichtlich Klimafolgenanpassung berücksichtigt.

Neben der Berücksichtigung des Klimawandels in Normen und Regelwerken ist es auch essenziell, Gefahrenhinweiskarten für die Gegenwart und die Zukunft zu erstellen.

Gefährdung durch Sturm und Sturmwurf

Die räumliche Verteilung der mittleren und extremen Windgeschwindigkeiten bleibt nach bisherigen Klimaprojektionsauswertungen in der Zukunft sehr ähnlich wie in der Gegenwart. Allerdings können Veränderungen der Klimaparameter, welche die Vitalität und die Vegetationsperiode der Bäume beeinflussen, zukünftig die Wirkung von Sturmereignissen modifizieren [5]. Stürme und daraus resultierende Baumstürze (Sturmwurf) auf Gleise stellen ein hohes Gefährdungspotenzial für den Schienenverkehr und die Schieneninfrastruktur dar.

Zur Ermittlung der Gefährdung durch Sturmwurf wurde ein geeignetes Werkzeug für ein Geoinformationssystem (GIS-Tool) entwickelt [6], mit dem Einzelbäume entlang des deutschen Schienennetzes identifiziert werden können [7]. Hierfür werden frei verfügbare Geodaten und Luftbildbefliegungen einzelner Bundesländer genutzt. Durch Ermittlung von Position und Höhe der Bäume wird das Gefährdungspotenzial bei Eintreten von Sturmwurfereignissen ermittelt.

Ein Baum stellt im Zusammenhang mit Sturmwurf eine potenzielle Gefahr dar, wenn seine Höhe den Abstand zur Infrastruktur beziehungsweise zum Infrastrukturelement überschreitet. Die Gefährdung kann hierbei durch die Baumhöhe bei der Datenerfassung dargestellt werden. Darüber hinaus kann auch die aktuelle beziehungsweise zukünftige Gefährdung unter Verwendung der modellierten maximalen Wachstumshöhen dargestellt werden. Bei einem Abstand des erfassten Baumes zum Gleis, der größer als die aktuelle oder zukünftige Wuchshöhe ist, ist die Gefährdung für die Infrastruktur gering (Expositionsklassen 1 und 2). Dabei bezieht sich der 2 m-Unsicherheitsbereich auf mögliche Unsicherheiten bei der Wachstumssimulation, die sich beispielsweise je nach Baumart oder -alter unterscheiden. Die höchste Gefährdung für die Schieneninfrastruktur und den Verkehr geht von Bäumen aus, deren Höhe größer als ihr Abstand zum Gleis ist. Hierbei wird unterschieden, ob sich der Baum inner- oder außerhalb der Freihaltungszone befindet (Expositionsklassen 3 und 4). Die Freihaltungszone bezeichnet den gleisnahen Bereich bis zu 6 m beidseitig von der Gleismitte, innerhalb dessen die Vegetation jährlich zurückge-

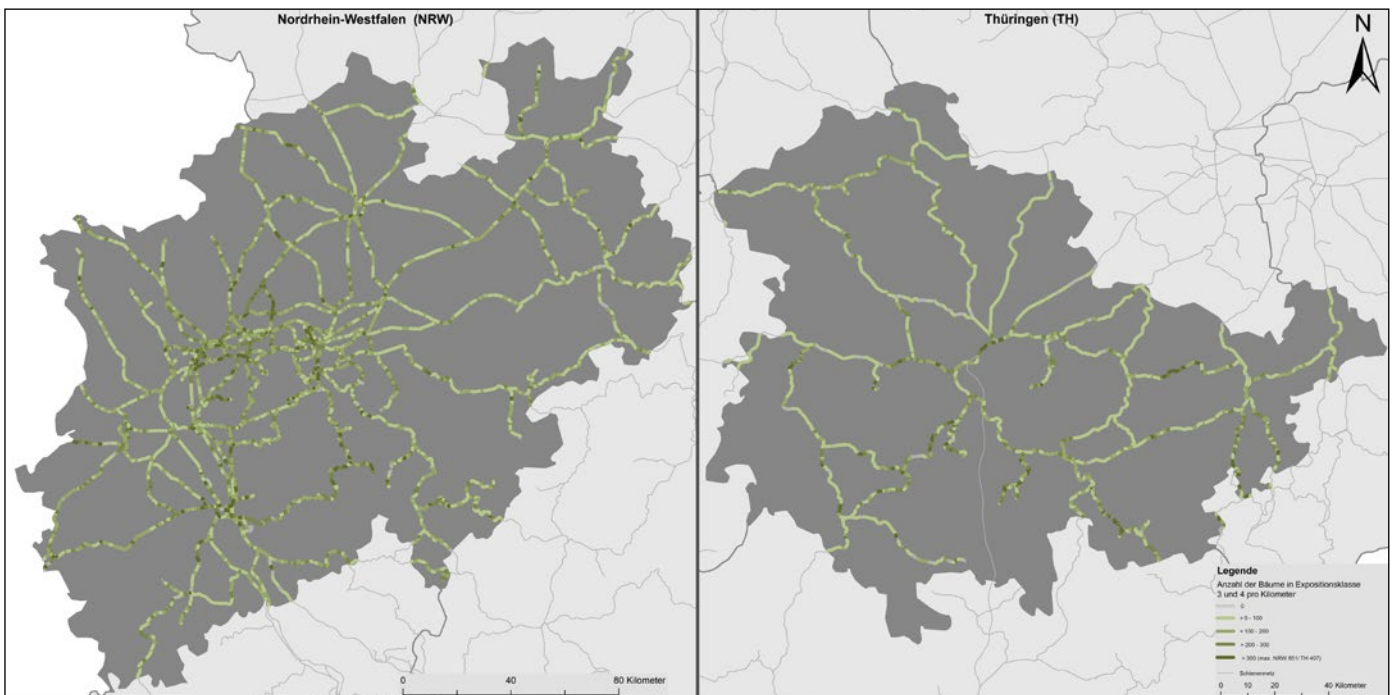


Abb. 2: Expositionskarten zu Sturmwurf für Nordrhein-Westfalen und Thüringen

Quelle: DZSF

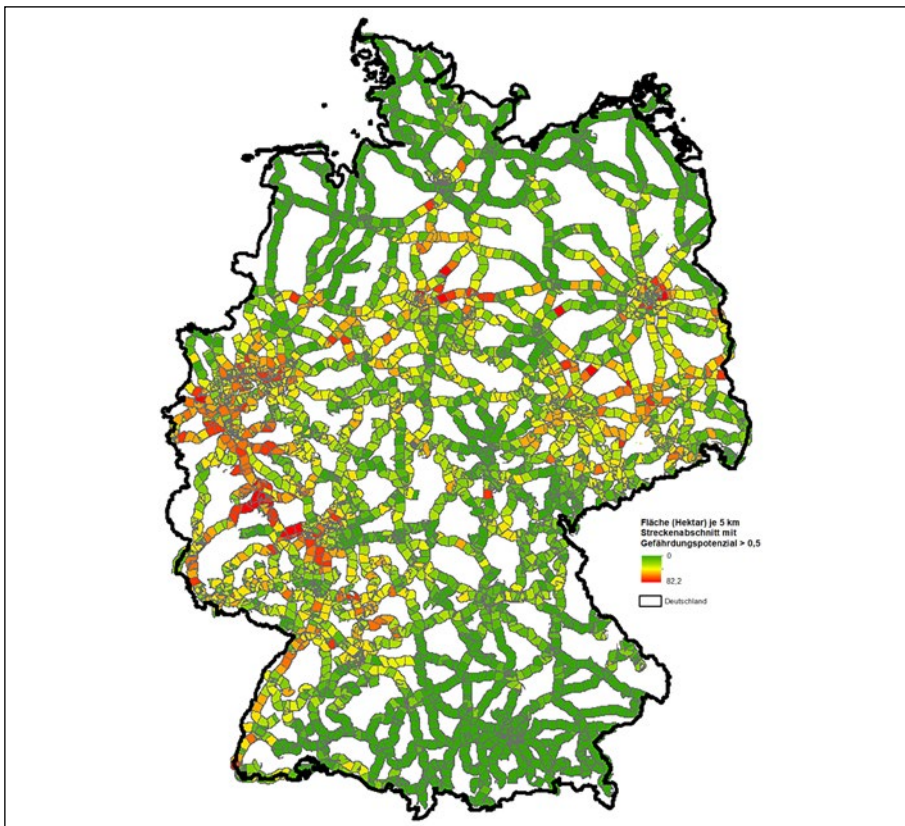


Abb. 3: Gefährdungspotenzial für Böschungsbrände entlang des deutschen Schienennetzes für die Gegenwart [9] Quelle: LUP GmbH

schnitten wird, um freie Sicht auf Signale zu gewährleisten.

Weitere Attribute, die in die Expositionsanalyse einfließen, sind: die mittlere Windgeschwindigkeit, der topographische Expositionsindex (Topex), welcher die Windanfälligkeit bezogen auf die Topographie der Umgebung beschreibt, sowie Bodentyp, Baumart (Unterscheidung nach Laub-/Nadelbäumen) und -vitalität. In Nordrhein-Westfalen liegen beispielsweise 7 % der 1 km langen Schienenabschnitte in der höchsten Expositionsklasse. Bisher sind mit dem GIS-Tool aufgrund der Datenverfügbarkeit Expositionsarten für das Schienennetz in Nordrhein-Westfalen und Thüringen erstellt worden (Abb. 2). Für 2024 ist geplant, das Tool bundesweit mittels Nutzung eines hochaufgelösten Digitalen Geländemodells (DGM1) anzuwenden.

Gefährdung durch Böschungsbrände

Extrem heiße Sommer wie 2003, 2015, 2018 und 2019 werden in Zukunft zum Normalzustand werden. Die geringen Niederschläge werden zwar auch zukünftig noch als extrem bezeichnet werden, allerdings wird die durch die heißeren Bedingungen erhöhte Verdunstung langfristig zu einer höheren Dürreintensität in Deutschland führen [8]. Das begünstigt die Entstehung von Böschungsbränden, die ebenfalls eine große Gefahr für die Schieneninfrastruktur darstellen. Bei langanhaltender Dürre kann bereits ein Funke genügen, um ein

Brandereignis zu verursachen und den Bahnverkehr eines Streckenabschnitts zu stoppen. Daher wurde mittels fernerkundungsbasierter Analysen eine Gefährdungsabschätzung für Böschungsbrände für die Gegenwart und die Zukunft entwickelt.

Durch eine umfassende Recherche und durch Expertenworkshops werden Einflussfaktoren für Böschungsbrände und deren Bezug zur Schieneninfrastruktur sowie deren Datenverfügbarkeit ermittelt. Einflussfaktoren für

Böschungsbrände sind die Topographie (Geländehöhe, Hangneigung und -ausrichtung), die Vegetation (Art, Vitalität und Wassergehalt sowie Grünvolumen), die Meteorologie (Wind, Temperatur, Niederschlag und relative Luftfeuchtigkeit) und eisenbahnspezifische Einflussfaktoren (Bremsvorgänge bei Zügen, Oberleitungen und Abstände zu Siedlungsgebieten). Für die Gefährdungsabschätzung wird die Maximum-Entropie-Methode verwendet. Dabei handelt es sich um ein statistisches Modell zur Vorhersage von Wahrscheinlichkeitsverteilungen auf Basis begrenzter Informationen [10]. In Abb. 3 ist das Gefährdungspotenzial für Böschungsbrände entlang des deutschen Schienennetzes für die Gegenwart dargestellt. Die Methodik wird anschließend auf zukunftsprojizierte meteorologische Daten übertragen.

Ein angepasstes Vegetationsmanagement stellt die vorbeugende Maßnahme zur Minimierung der Gefährdung durch Böschungsbrände und Sturmwurf dar. Für Sturmwurf existiert bereits eine ausführliche Richtlinie [11], die sich unter anderem an Leitbildern innerhalb der Stabilisierungszone orientiert. Die Ableitung von Handlungsempfehlungen zur Vermeidung von Böschungsbränden wird durch eine große Schnittmenge zum Vegetationsmanagement gegen Sturmwurfgefahr erleichtert. Besonders die Betrachtung der Rückschnittzone und damit des Offenlands ist zur Vermeidung von Böschungsbränden wichtig. Neben dem erheblichen Pflegeaufwand ist besonders die Akkumulation von trockener Biomasse nach der Pflege zu vermeiden. Neben der Rückschnittzone wird auch die Betrachtung der Stabilisierungszone empfohlen, da Böschungsbrände auch außerhalb der Rückschnittzone entstehen oder sich ausgehend von dieser ausbreiten können. Die Ausarbeitung exemplarischer Handlungsempfehlungen für das Vegetationsmanagement stellt eine Verbindung der gewonnenen Informationen zur Praxis her.

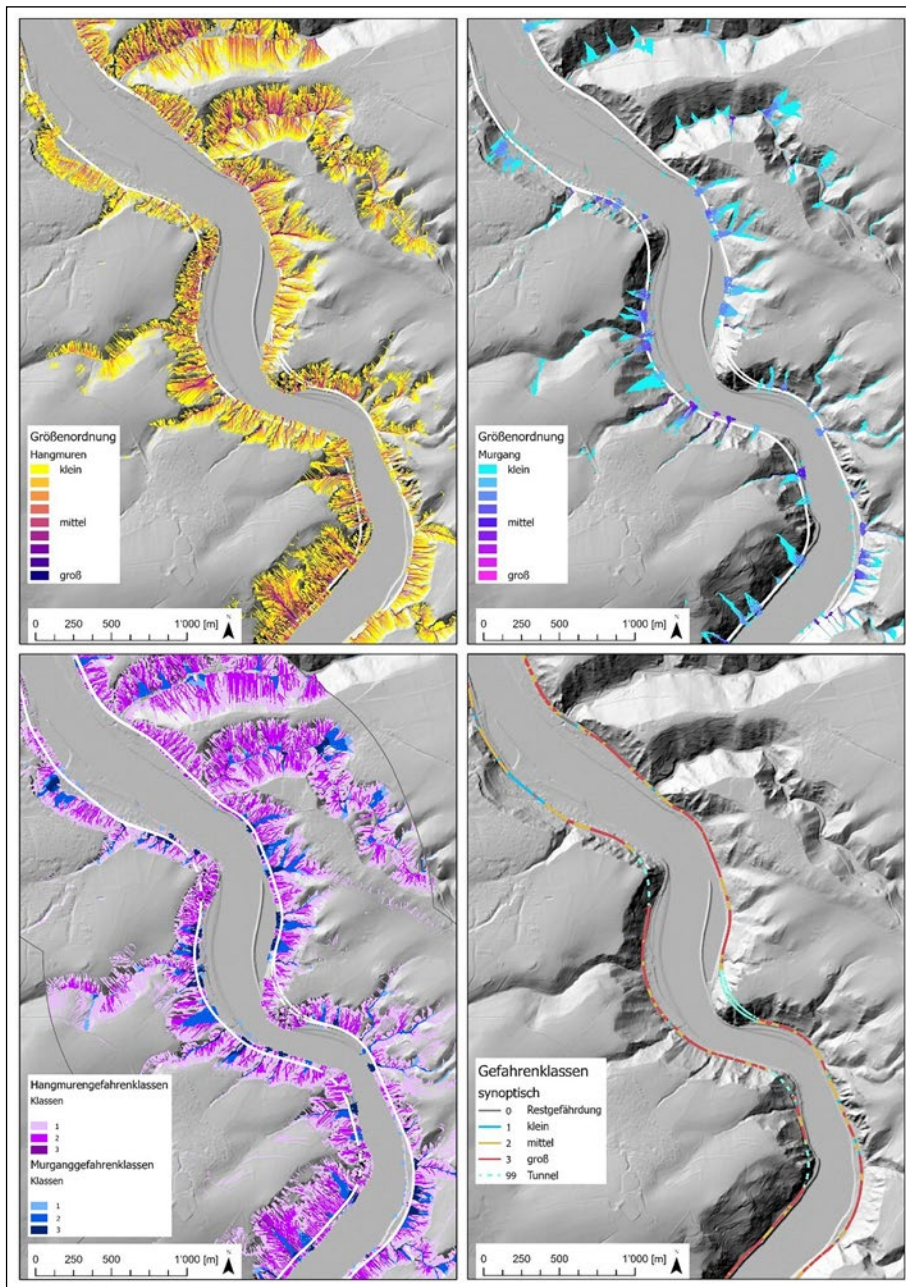


Abb. 4: Größenordnung der simulierten Hangmuren (oben links) und Murgänge (oben rechts) sowie die Gefahrenklassen für Hangmuren- und Murgänge (unten links) und die Gefahrenklassen übertragen auf das Schienennetz (unten rechts) für den Bereich Loreley, nördlich von Bingen, Bahnstrecke Nr. 3507 (weiße Linie) [20]

Quelle Geobasisdaten: GeoBasis-DE / BKG, 2021Quelle: geo7 AG, geomer GmbH

Gefährdung durch Starkregen

Starke Niederschlagsereignisse stellen durch ihr Sturzflut- und Hochwasserpotenzial eine enorme Herausforderung für den Schienenverkehr dar. Die Auswertungen der Klimaprojektionen zeigen, dass die Niederschlagsbedingungen in Deutschland zukünftig extremer werden und zum Ende des Jahrhunderts sowohl mit einer Zunahme der Häufigkeit als auch der Intensität von Stark- und Dauerregen zu rechnen ist [12]. Die aktuellen Forschungsarbeiten zur Thematik Starkregen werden ausführlich im Artikel „Auswirkungen von Starkregenereignissen auf den Schienenverkehr“ [13] in dieser EI-Ausgabe dargestellt.

Gefährdung durch Massenbewegungen

Gravitative Massenbewegungen können die Sicherheit im Schienenverkehr maßgeblich beeinträchtigen und hohe Schäden an der Schieneninfrastruktur verursachen. Zugausfälle und Umleitungen beschränken sich meist nicht nur auf die betroffene Strecke, sondern haben mitunter Auswirkungen auf den gesamten Bahnbetrieb. Im DZSF wurde im Rahmen des BMDV-Expertenetzwerks eine bundesweite ingenieur-geologische Gefahrenhinweiskarte für Hang- und Böschungsruutschungen für das deutsche Schienennetz erstellt [14, 15]. Diese Karte be-

rücksichtigt gravitative Massenbewegungen ohne Unterscheidung der unterschiedlichen Prozesse. Daher wurde ein Folgeprojekt [16] initiiert, welches vor allem Murgänge und Hangmuren detailliert betrachtet. Murgänge entstehen bei ausreichender Verfügbarkeit von Geschiebe und Wasser in steilen Gerinnen. Charakteristisch sind ein hoher Feststoffanteil, schubartiges Abfließen mit hohen Geschwindigkeiten und mitunter großen Einzelkomponenten im Frontbereich eines Murschubes [17]. Hangmuren hingegen sind eine Folge von Instabilitäten in steilen Hangbereichen und erhöhten Hangwasserspiegeln und ergießen sich als viskoplastisches Wasser-Feststoffgemisch über den Hang [18]. Aufgrund der unterschiedlichen Auslösungsmechanismen und Prozessräume werden Murgänge und Hangmuren mit verschiedenen Modellen betrachtet.

Das Ergebnis der Simulationen ist die Gefahrenhinweiskarte für Hangmuren und Murgänge für das deutsche Schienennetz und die zugehörigen Prozessräume. In Abb. 4 sind für einen Ausschnitt im oberen Mittelrheintal bei der Loreley die Karte der Prozessräume für Hangmuren (oben links), für Murgänge (oben rechts), die Gefahrenklassen für Hangmuren und Murgänge (unten links) und die auf das Schienennetz übertragene Gefahrenklassifizierung (unten rechts) dargestellt. In der synoptischen Darstellung wurde bei einer Betroffenheit durch beide Prozesse jeweils die maßgebende Gefahrenklasse berücksichtigt. Diese Gefahrenklassen orientieren sich an der simulierten Größenordnung der Hangmuren und Murgänge. Der Analyse zufolge sind von den insgesamt untersuchten 34 170 km Gleisstrecke, 3172 km (9 %) durch Hangmuren oder Murgänge gefährdet. Untertunnelte Strecken wurden ausgeschlossen. Bestehende Schutzmaßnahmen und dadurch gesicherte Bereiche wurden in den Modellierungen auf Hinweistufe nicht berücksichtigt. Diese Berücksichtigung in Abhängigkeit von Art und Zustand der jeweiligen Maßnahme erfolgt üblicherweise erst auf Detailstufe. Die Modellansätze für Murgänge und Hangmuren sind so konzipiert, dass auch Veränderungen im Zuge des Klimawandels oder der Oberflächenbedeckung berücksichtigt werden könnten.

Fazit

Eine Übersicht über alle potenziell gefährdeten Streckenabschnitte für die jeweilige Naturgefahr schafft eine objektive Grundlage für die Priorisierung etwaiger Detailabklärungen sowie die Planung von Schutzmaßnahmen für besonders gefährdete Streckenabschnitte. Das Wissen über die Lage dieser potenziell gefährdeten Streckenabschnitte kann auch für das streckenverantwortliche Personal hilfreich sein, um bestimmte Strecken verstärkt zu kontrollieren. Insofern leistet die Gefahrenhinweiskarte einen entscheidenden Beitrag für eine koordinierte und ressourcenoptimierte Sicherung der Bahninfrastruktur in ganz Deutsch-

land. Alle Karten für gravitative Massenbewegungen, Flusshochwasser, Sturmwurf (derzeit nur für Nordrhein-Westfalen und Thüringen) sowie für Böschungsbrände werden auf dem Geoportal des EBA (<https://geoportal.eisenbahn-bundesamt.de>) (Abb. 5) sowie in der Mobilithek (<https://mobilithek.info>) (Abb. 6) des BMDV bereitgestellt. Die Gefahrenhinweiskarten sowie Anpassungen von Regelwerken an die Auswirkungen des Klimawandels sind präventive Maßnahmen zur Erhöhung der Resilienz gegenüber dem Klimawandel. ■



Abb. 5:
QR-Code
GeoPortal.EBA



Abb. 6:
QR-Code
Mobilithek

QUELLEN

[1] Marx, A. (Hrsg): Klimaangepasst in Forschung und Politik, 2017, Springer Spektrum, Wiesbaden S. 4–12, DOI:10.1007/978-3-658-05578-3
 [2] Siefert, T.; Schütze, C.; Strohbach, M.; Fritze, E.; Neumann, H.; Scherrans, T.; Richter, F.; Györkö, G.: Untersuchung der Regelwerke für den Bahnbetrieb auf Schwachstellen hinsichtlich des zu erwartenden Klimawandels, 2019, Eisenbahn-Bundesamt (EBA), Bonn, DOI:10.48755/dzsf.210029.01
 [3] <https://www.din.de/de/din-und-seine-partner/termine/termine/klima-fruehstuecksreihe-staffel-2-907266>, 22.08.2023 um 11:00 Uhr
 [4] <https://www.vde.com/de/veranstaltungen/veranstaltungsuebersicht/veranstaltung-detailseite?id=22088&type=vde%7Cvdb>, 22.08.2023 um 11:00 Uhr
 [5] Bott, F.; Lohrengel, A.-F.; Forbriger, M.; Haller, M.; Jensen, C.; Löwe, P.; Ganske, A.; Herrmann, C.: Klimawirkungsanalyse des Bundesverkehrssystems im Kontext von Stürmen Schlussbericht des Schwerpunktthemas Sturmgefahren (SP 104) im Themenfeld 1 des BMVI-Expertenetzwerks, 2020, DOI:10.5675/ExpNBF2020.2020.05
 [6] Frick, A.; Stöckigt, B.; Wagner, K.: Ableitung des Baumbestandes entlang des deutschen Schienennetzes, 2021, Berichte des Deutschen Zentrums für Schienenverkehrsforschung (DZSF), Dresden, DOI:10.48755/dzsf.210007.01
 [7] Szymczak, S.; Bott, F.; Babeck, P.; Frick, A.; Stöckigt, B.; Wagner, K.: Estimating the hazard of tree fall along railway lines: a new GIS tool, 2022, Natural Hazards 112(3), S. 2237-2258, DOI:10.1007/s11069-022-05263-5
 [8] BMDV, Klimawandelfolgen und Anpassung – Zwischenbericht des Themenfeldes 1 im BMDV-Expertenetzwerk für den Zeitraum 2020–2022, 2023, Bonn/Berlin
 [9] Frick, A.; Wagner, K.; Stöckigt, B.: Sensitivitätsanalyse Vegetation entlang der Bundesverkehrswege bezüglich Sturmwurfgefahren und Böschungsbränden, 2023, Berichte des Deutschen Zentrums für Schienenverkehrsforschung (DZSF), Dresden, DOI:10.48755/dzsf.230009.01
 [10] Jaynes, E. T.: Information Theory and Statistical Mechanics, 1957, The Physical Review, 106(4), S. 620–630, DOI:10.1103/PhysRev.106.620
 [11] DB Netz AG: Richtlinie 882 „Landschaftspflege und Vegetationskontrolle“, 2019
 [12] Brienens, S.; Walter, A.; Brendel, C.; Fleischer, C.; Ganske, A.; Haller, M.; Helms, M.; Höpp, S.; Jensen, C.; Jochumsen, K.; Möller, J.; Krähenmann, S.; Nilson, E.; Rauthe, M.; Razafimaharo, C.; Rudolph, E.; Rybka, H.; Schade, N.; Stanley, K.: Klimawandelbedingte Änderungen in Atmosphäre und

Hydrosphäre: Schlussbericht des Schwerpunktthemas Szenarienbildung (SP-101) im Themenfeld 1 des BMVI-Expertenetzwerks, 2020, DOI:10.5675/ExpNBS2020.2020.02
 [13] Bott, F.; Szymczak, S.; Fricke, K.: Auswirkungen von Starkregenereignissen auf den Schienenverkehr, EI 11/2023, S. 48
 [14] Kallmeier, E.; Knobloch, A.; Hertwig, T.: Erstellung einer ingenieurgeologischen Gefahrenhinweiskarte zu Hang- und Böschungsruhrungen entlang des deutschen Schienennetzes, 2019, Eisenbahn-Bundesamt (EBA), Bonn, DOI:10.48755/dzsf.210024.01
 [15] Lohrengel, A.-F.; Brendel, C.; Herrmann, C.; Kirsten, J.; Forbriger, M.; Klose, M.; Stube, K.: Klimawirkungsanalyse des Bundesverkehrssystems im Kontext gravitativer Massenbewegungen – Schlussbericht des Schwerpunktthemas Hangruhrungen (SP-105) im Themenfeld 1 des BMVI-Expertenetzwerks, 2020, DOI:10.5675/ExpNLA2020.2020.06
 [16] Rinderer, M.; Berger, C.; Zimmermann, F.; Mertin, M.; Jäger, S.; Orłowski, K.: Analysen zu schnellen wasserhaltigen Massenbewegungen – Bundesweite Untersuchungen zur Exposition des deutschen Schienennetzes und Modellierungen der räumlichen Ausbreitung, in Veröffentlichung
 [17] Pierson, T. C.: Debris flow and landslide hazard assessment, in: Kresch, D. L.: Flood hazard assessment of the Hoh River at Olympic National Park Ranger Station, Washington, 1987, U.S. Geological Survey Water Resources Investigations Report 86-4198, S. 18–2
 [18] Costa, J. E.: Physical geomorphology of debris flows, in: Costa J. E.; Fleischer, P. J. (eds.): Developments and Applications of Geomorphology, 1984, Springer, Berlin, S. 268–317



Dipl.-Phys. Carina Herrmann
 Referentin für Klimafolgenforschung
 Deutsches Zentrum für
 Schienenverkehrsforschung beim
 Eisenbahn-Bundesamt, Bonn
 herrmann@dzsf.bund.de

26. Jahresfachtagung der

Eisenbahn-Sachverständigen



JETZT ANMELDEN

22. – 23. Februar 2024

Fulda, Kongress- und Kulturzentrum, Hotel Esperanto

Jetzt anmelden unter:
www.eurailpress.de/events



Veranstalter:



In Zusammenarbeit mit:

