

## Abschätzung der Risiken von Hang- und Böschungsrutschungen durch die Zunahme von Extremwetterereignissen

FA 89.238

Forschungsstelle: Forschungsstelle Rutschungen e. V.,  
Mainz

Bearbeiter: Kumerics, C./Krauter, E./  
Feuerbach, J./Lauterbach, M.

Auftraggeber: Bundesanstalt für Straßenwesen,  
Bergisch Gladbach

Abschluss: November 2011

### 1 Aufgabenstellung

Vor dem Hintergrund der erwarteten zukünftigen Klimaentwicklung mit veränderten Temperatur- und Niederschlagsverhältnissen wird das Gefährdungspotenzial für Schutzgüter durch Böschungsrutschungen möglicherweise ansteigen. Bei der Abschätzung des Gefährdungspotenzials werden Ausmaß und Eintrittswahrscheinlichkeit bestimmter unerwünschter Ereignisse (= Gefahrenpotenzial) sowie die Auftreffwahrscheinlichkeit auf ein bestimmtes Objekt berücksichtigt. Für den Neu- und Ausbau von Bundesfernstraßen und für die Unterhaltung des bestehenden Straßennetzes können sich hieraus zwangsläufig höhere Risiken ergeben. Rutschungen können Straßensperrungen erforderlich machen und zur Zerstörung von Straßen und ihren Einbauten führen, was Unterbrechungen im Straßennetz mit sich bringt. Für eine zukünftige bundesweite Risikoeinschätzung in Hinblick auf das Bundesfernstraßennetz sollen vorhandene Daten von Rutschereignissen unter Berücksichtigung der erwarteten Klimaänderungen auf der Grundlage von modellierten Klimadaten interpretiert werden. Dabei sind regionale Unterschiede und zeitabhängige Eintrittswahrscheinlichkeiten von Rutschungen zu berücksichtigen.

An regionaltypischen Fallbeispielen bereits eingetretener Rutschungen soll exemplarisch eine Bewertung der Verursachung und der klimatischen Einwirkungen durchgeführt werden. Darauf aufbauend wird unter der Einbeziehung von weiteren rutschungsrelevanten Faktoren eine Abschätzung für die zukünftige zeitabhängige Eintrittswahrscheinlichkeit von Rutschungen in diesen Regionen gegeben. Somit wird auch eine Einschätzung für das zukünftige Gefährdungspotenzial entlang des dortigen Bundesfernstraßennetzes möglich.

### 2 Ausgangslage

Die zukünftige Klimaentwicklung lässt unter dem Aspekt der globalen Temperaturerwärmung für das kontinentale Europa nördlich der Alpen die Zunahme milder Winter und der Winterniederschläge sowie die Zunahme von Extremwetterereignissen mit Starkniederschlägen erwarten (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, IPCC, 2007). Durch diese Klimaveränderung in Deutschland kann es in Zukunft zu einer Zunahme von Böschungsrutschungen kommen. Höhere und andersartig verteilte Niederschläge werden die vielfältige Wirkungsweise des Wassers als eine der wichtigsten auslösenden Faktoren von Rutschungen stark beeinflussen. So vermindert beispielsweise ein erhöhter Poren- oder Klufwasserdruck die Standsicherheit von Böschungen deutlich.

Die Klimaänderungen werden durch den künftigen Anstieg von Rutschereignissen somit auch teils nachhaltige Auswirkungen auf das Bundesfernstraßennetz besitzen. Die verschütteten oder abgerutschten Straßenabschnitte in den letzten Jahren haben dies bereits schon deutlich aufgezeigt (Rutschungsdatenbank Rheinland-Pfalz).

### 3 Untersuchungsmethodik

Anhand einer exemplarischen Auswahl von drei regionaltypischen Fallbeispielen aus der Mittelgebirgs- und Hügellandschaft wurde eine Bewertung hinsichtlich der Verursachung der dort bereits eingetretenen Rutschereignisse im besonderen Hinblick auf klimatologische Einflussgrößen und ihren Auswirkungen durchgeführt.

Die detaillierte klimatologische Ursachenanalyse der Rutschereignisse der drei Fallbeispiele erfolgte mittels der Wetterdaten des Deutschen Wetterdienstes. Dabei wurde der Schwerpunkt der Betrachtung auf die Witterungsverhältnisse der Monate vor einem Ereignis als auch auf die Jahresniederschläge ein bis zwei Jahre zuvor gelegt. Dieser Zeitraum wurde aufgrund von Beobachtungen der klimatischen Bedingungen von bereits eingetretenen Rutschungen gewählt.

In Hinblick auf die zukünftige klimatische Entwicklung in den drei ausgewählten Regionen wurden rutschungsrelevante Klimaparameter aus der CERA-Datenbank des regionalen Klimamodells REMO ausgewählt und ausgewertet.

Es wurde eine Trendbetrachtung hinsichtlich der klimatischen Veränderungen in diesen Gebieten und der damit verbundenen Auswirkung auf die mögliche zukünftige Rutschungszunahme vorgenommen und dabei regionale Unterschiede herausgestellt.

Für eine zeitliche Einstufung der Eintrittswahrscheinlichkeit von Rutschungen wurde ein klimatisch-ingenieurgeologisches Modell entwickelt und auf die drei Fallbeispiele angewendet. Dabei wurden die Klimaparameter aus dem Klimamodell mit dem rutschungsrelevanten ingenieurgeologischen Parameter Böschungsneigung mittels einer rasterbasierten grafischen Darstellung verschnitten und korreliert. Die Böschungsneigung stellt neben den geomorphometrischen Parametern Exposition und Oberflächenwölbung den wichtigsten Parameter der Reliefgeometrie dar. Hiermit können sekundäre Parameter (Standfestigkeit etc.) abgeleitet werden. Diese Darstellung erfolgte anhand des digitalen Geländemodells als Abbild des Geländereiefs, in das sowohl die grafische Darstellung der zukünftigen klimatischen Veränderungen als auch der verschiedenen Böschungsneigungen einfließen. Zusätzlich wurde das digitale Bundesfernstraßennetz und ein digitales Punktekataster von Rutschereignissen mit in das Modell integriert.

Auf diese Weise soll eine grafische Ausweisung von Gefährdungsbereichen hinsichtlich der zeitabhängigen Rutschungsgefährdung entlang des Bundesfernstraßennetzes ermöglicht werden.

### 4 Untersuchungsergebnisse

#### 4.1 Modellgebiete

Die drei ausgewählten regionaltypischen Fallbeispiele stammen aus Regionen, die laut bisheriger Untersuchungen für Rutschungen anfällig sind. So stammt ein Beispiel, die Altmündener Wand, aus Südniedersachsen, in der Nähe von Hannoversch Münden, im Mittleren Buntsandsteingebiet. Die anderen beiden Untersuchungsgebiete Pünderich und Wißberg stammen aus SW-Deutschland, aus Rheinland-Pfalz, wobei ersteres an der Mosel, im Rheinischen Schiefergebirge, gelegen ist und der Wißberg südwestlich von Mainz, in der tertiären Hügellandschaft Rheinhessens.

Die Beispiele wurden ausgewählt, da sie über einen längeren Zeitraum gut dokumentiert sind. Auch lassen sich dort Rut-

schungsphänomene erkennen, die im Zusammenhang mit Witterungsbedingungen (Niederschlag, Temperatur) stehen, wodurch sie für die weitere Betrachtung hinsichtlich der projizierten Klimaänderung und der damit möglicherweise verbundenen zunehmenden Rutschungsgefahr prädestiniert sind.

## 4.2 Klimaentwicklung

Die Rutschereignisse der Fallbeispiele wurden mit real gemessenen Niederschlags- und Temperaturdaten (Beobachtungsdaten) des Deutschen Wetterdienstes korreliert und Zusammenhänge herausgestellt. Dabei wurden sowohl der Rutschungszeitpunkt als auch der Zeitraum vor einem Rutschereignis berücksichtigt.

In Hinblick auf eine Abschätzung der zukünftigen Klimaentwicklung in den drei Regionen und der damit möglicherweise verbundenen Zunahme von Rutschungen wurden Klimaparameter aus dem regionalen Klimamodell REMO verwendet. Dabei wurden die Parameter (Stark-)Niederschlag, und Frost (s. a. Tab. 1) aus dem Szenariolauf A1B ausgewählt, die sich bereits bei der Analyse mittels der Beobachtungsdaten als rutschungsrelevant herausgestellt haben.

Unter Berücksichtigung dieser Parameter erfolgte eine Korrelation zwischen den Beobachtungsdaten und den Klimamodell-daten für heutiges Klima (Kontrolllauf). Anhand des Vergleiches der Parameterwerte aus dem Kontrolllauf und dem entsprechenden Szenariolauf wurde eine erste Trendbetrachtung hinsichtlich der zukünftigen Klimaänderung in der jeweiligen Region der einzelnen Fallbeispiele vorgenommen. Dabei wurde die Kontrolllauf-Zeitperiode 1961–1990 als Referenzzeitraum gewählt und mit den Perioden 2021–2050 und 2071–2100 aus dem Szenariolauf korreliert.

Bei den Ergebnissen ist der Trend in Hinblick auf die Klimaänderung in allen drei Untersuchungsgebieten gleich, allerdings ist die Varianz bei den einzelnen Klimaparametern unterschiedlich (Tab. 1).

Die Betrachtung der zukünftigen Klimaentwicklung zeigt in allen drei Untersuchungsgebieten folgendes Bild:

- Anstieg der Niederschlagsmengen in den Winterhalbjahren,
- Abnahme der Niederschlagsmengen in den Sommerhalbjahren,
- deutliche Zunahme der Starkniederschlagsereignisse in den Winterhalbjahren,
- Zunahme der Starkniederschlagsereignisse in den Sommerhalbjahren,
- deutliche Abnahme von Frostperioden und Frosttagen.

## 4.3 Mögliche Auswirkung auf Rutschungen

Diese klimatische Entwicklung wird sich auf die Eintrittswahrscheinlichkeit und das Schadensausmaß von Rutschungen wie folgt auswirken:

Im Fall von Lockergesteinsböschungen:

- Zunahme von oberflächennahen Rutschungen, Schlamm- und Schuttströmen durch die Zunahme an Starkniederschlagsereignissen im Sommerhalbjahr
- Anstieg der Rutschungshäufigkeit gegen Ende des Winterhalbjahres aufgrund geänderter Frostbedingungen und verstärkter Versickerung der Niederschläge in den Boden und der damit verbundenen längerfristigen Erhöhung des Wassergehaltes im Untergrund, was zu einer Verminderung der rückhaltenden Kräfte führt und letztendlich zur Auslösung von Rutschungen in den Deckschichten und der Auflockerungszone des Festgesteins.

**Tab. 1: Prozentuale Abweichungen der Szenariolauf-Zeitperioden 2021–2050 und 2071–2100 von der Kontrolllauf-Zeitperiode 1961–1990 (langjähriges Mittel). Positives Vorzeichen bedeutet eine Zunahme und negatives Vorzeichen eine Abnahme**

<b>Pünderich</b>	<b>2021–2050</b>	<b>2071–2100</b>
Niederschlag Winter	+ 8%	+ 17%
Niederschlag Sommer	– 4%	– 15%
Starkniederschlagsereignisse	+ 9%	+ 59%
Starkniederschlagsereignisse	+ 5%	+ 1%
Frostperioden	– 18%	– 94%
Frosttage	– 31%	– 86%
<b>Wißberg</b>	<b>2021–2050</b>	<b>2071–2100</b>
Niederschlag Winter	+ 11%	+ 24%
Niederschlag Sommer	– 5%	– 12%
Starkniederschlagsereignisse	+ 40%	+ 86%
Starkniederschlagsereignisse	+ 1%	+ 10%
Frostperioden	– 4%	– 95%
Frosttage	– 39%	– 86%
<b>Altmündener Wand</b>	<b>2021–2050</b>	<b>2071–2100</b>
Niederschlag Winter	+ 7%	+ 13%
Niederschlag Sommer	– 2%	– 13%
Starkniederschlagsereignisse Winter	+ 3%	+ 10%
Starkniederschlagsereignisse Sommer	+ 7%	+ 9%
Frostperioden	– 21%	– 79%
Frosttage	– 30%	– 78%

Im Fall von Festgesteinsböschungen:

- Reduzierung der Häufigkeit von Frostereignissen kann sich bei Festgesteinsböschungen generell dahingehend auswirken, dass Frostsprengungsprozesse abnehmen. Bei der isolierten Betrachtung des Klimatelements Frost müsste unter diesen Voraussetzungen im Winterhalbjahr sogar von einem Rückgang der Rutschungen im Sinne von Steinschlag-, Felssturz- und Bergsturzereignissen ausgegangen werden. Auf der anderen Seite würde der vermehrte Niederschlag im Winterhalbjahr mit niedriger Verdunstungsrate zu einer Zunahme von Verwitterungs- und Erosionsprozessen führen und damit letztendlich zu einer Destabilisierung des Gesteinsverbandes beitragen. Eine Abschätzung der Entwicklung von gravitativen Massenbewegungen kann daher nur unter Betrachtung und Bewertung möglichst vieler die Bewegungen aktivierenden bzw. steuernden Klimafaktoren erfolgen.

## 4.4 Modellentwicklung zur Gefährdungsabschätzung

### 4.4.1 Grundlagen

Da sich viele Böschungen nahe dem Grenzgleichgewicht befinden, kommt gerade dem Umstand eine große Bedeutung zu, dass sich die die Stabilität beeinflussenden klimatischen Veränderungen regional zeitlich verzögert einstellen werden.

Aus diesem Grund wird eine Ausweisung regionaler Gefährdungsbereiche in Hinblick auf zeitabhängige Eintrittswahrscheinlichkeiten von Rutschungen entlang des Bundesfernstraßennetzes angestrebt.

Diese Einschätzung wird mittels eines grafischen klimatischen ingenieurgeologischen Modellansatzes vorgenommen, wobei Gefährdungsklassen hinsichtlich der zeitabhängigen Rutschungsanfälligkeit entlang des Bundesfernstraßennetzes empirisch-statistisch ermittelt werden.

Für die Analyse wurde für die drei Fallbeispiele jeweils ein Modellgebiet von neun Gitterboxen verwendet, wobei jede davon eine Abmessung von etwa 10 km x 10 km besitzt (Bild 1).

Um die zukünftige klimatische Veränderung bis zum Jahr 2100 aufzuzeigen, wurde der Betrachtungszeitraum in sieben 30-jährige Zeitperioden unterteilt: 2011–2040, 2021–2050, 2031–2060, 2041–2070, 2051–2080, 2061–2090, 2071–2100 und grafisch visualisiert (Bild 2).

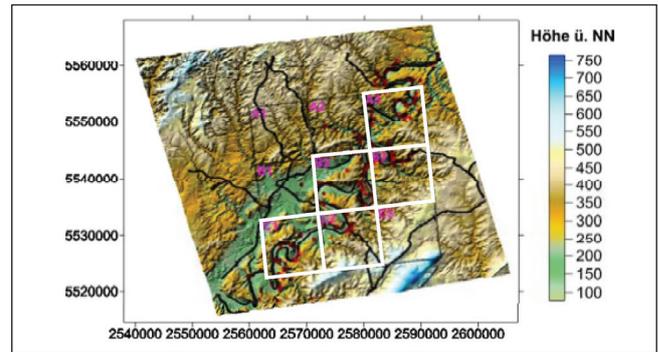
Durch die Korrelation der jeweiligen Szenario-Zeitperioden mit dem ausgewählten langjährigen Mittel 1971–2000 des Kontrolllaufes wurde für jede Gitterbox der prozentuale Änderungswert für die Klimaparameter Niederschlag im Winterhalbjahr, Starkniederschlagsereignisse im Winter- und Sommerhalbjahr, Jahresniederschlag, Frostperioden und -tage bestimmt und bezüglich seiner rutschungsauslösenden Relevanz empirisch eingestuft. Die grafische Darstellung dieser Einstufung in den Modellen erfolgt mittels einer definierten Farbgebung (Bild 3). Für die Modellbetrachtung wurde ebenso der ingenieurgeologische Parameter Böschungsneigung einbezogen, da die Steilheit einer Böschung für die Abschätzung von möglichen Rutschungen entlang des Bundesfernstraßennetzes von großer Bedeutung ist. Dabei wurde eine Klassifizierung der Böschungsneigung in fünf Gruppen vorgenommen:

- $\leq 5^\circ$  extreme Flachböschungen im Lockergestein,
- $> 5^\circ - 24^\circ$  Flachböschungen im Lockergestein,
- $> 24^\circ - 35^\circ$  Straßenböschungen, einschl. Regelneigung 1:1,5,
- $> 35^\circ - 50^\circ$  mäßig steile Böschungen,
- $> 50^\circ - 90^\circ$  Steilböschungen, Festgesteinsböschungen.

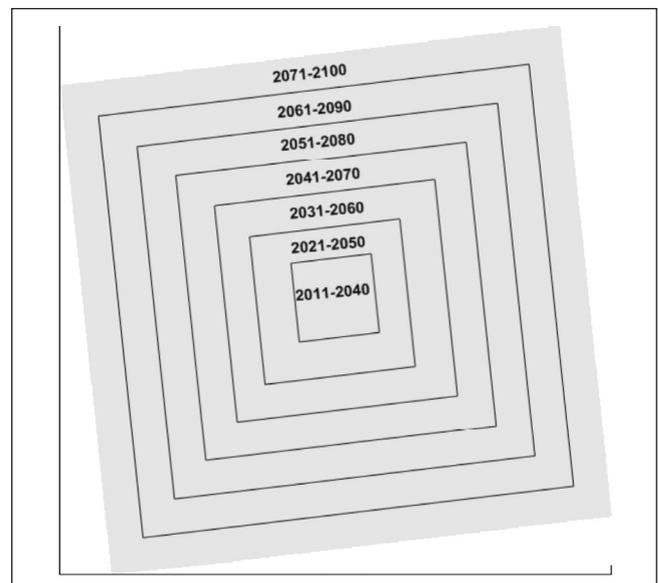
Basierend auf dem digitalen Geländemodell (DGM 25, Maßstab 1:25 000) und der Computersoftware Surfer9 zur Visualisierung reeller algebraischer Geometrie in Echtzeit wurden die Böschungsneigungen berechnet und grafisch mittels einer definierten Farbgebung visualisiert (Bild 3).

Auch wurde ein digitales Punktekataster von bereits eingetretenen Rutschungen, soweit Daten darüber vorlagen, in die Modelle integriert, um eine Rutschungsanfälligkeit bzw. -häufigkeit regional-statistisch zu ermitteln und somit die Vulnerabilität der Regionen aufzuzeigen.

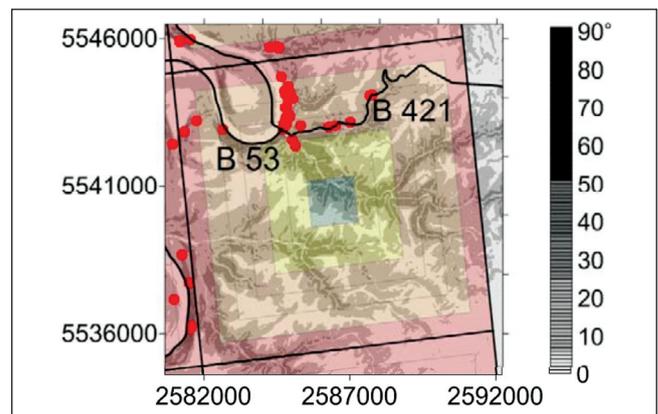
Eine Verschneidung des digitalen Geländemodells eines Modellgebietes mit dem entsprechenden digitalen Bundesfernstraßennetz ermöglichte, nur die für Rutschungen relevanten Flächen herauszufiltern.



**Bild 1:** 3D-Modell des Fallbeispiels Pünderich. Dargestellt ist das Geländehöhenprofil (Höhe m ü. NN), die Gitterboxübersicht von A1 bis C3 (weiße Gitterboxen) für die Analyse ausgewählte Gitterboxen, das Bundesfernstraßennetz und das Rutschkataster (rote Punkte)



**Bild 2:** Grafische Darstellung der Zeitperioden innerhalb einer Gitterbox



**Bild 3:** Ausschnitt aus dem Modellgebiet Pünderich. Dargestellt ist eine Gitterbox (B3) mit der Bundesstraße B 421 und B 53, dem Punktekataster von Rutschereignissen und der mittels Graustufen dargestellten Klassifikation der Böschungsneigung. Zudem ist die Klimaentwicklung über die nächsten 90 Jahre in Bezug auf Frosttage und der damit verbundenen Einstufung des Gefährdungspotenzials (grün = gering, gelb = mäßig, orange = hoch, rot = sehr hoch) zu erkennen

## 4.4.2 Zeitliche Gefährdungsabschätzung

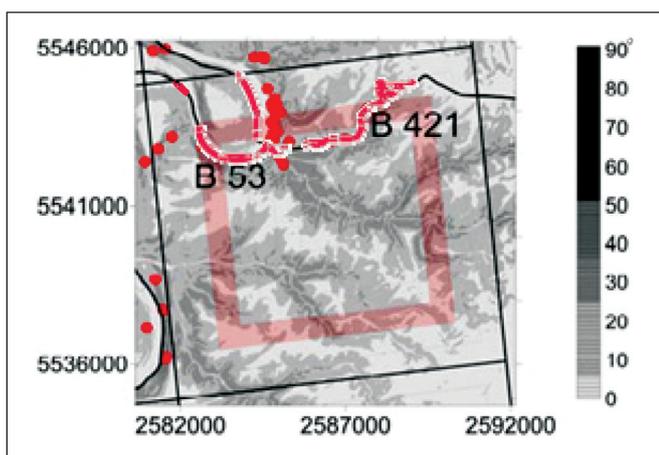
Die prozentualen Änderungswerte der einzelnen Klimaparameter für jede Zeitperiode wurden entsprechend ihres Gefährdungspotenzials bezüglich der Auslösung von Rutschungen in gering, mäßig, hoch und sehr hoch eingestuft, wobei auf Erfahrungswerte zurückgegriffen wurde (Bild 3). Auf diese Weise wurde eine grafische Übersicht über die Veränderung der einzelnen Klimaparameter bis zum Jahr 2100 möglich.

Zur Abschätzung des Gefährdungspotenzials entlang der in Frage kommenden Bundesfernstraßen, muss die Interaktion der verschiedenen Parameter und der Jahreszeit berücksichtigt werden. Daher wurden die Klimaparameter zum einen jahreszeitlich (Sommer- und Winterhalbjahr) und zum anderen über das ganze Jahr zusammengefasst, bewertet und eingestuft, wobei sowohl die jeweiligen prozentualen Abweichungswerte als auch die Gewichtung aus ingenieur-geologischer Sicht berücksichtigt wurden.

Im nächsten Schritt wurde die jeweilige zeitabhängige Einstufung des klimatischen Gefährdungspotenzials mit der Existenz von rutschungsanfälligen Böschungen entlang der Straße korreliert. Auf diese Weise ist eine grafische Ausweisung von potenziellen zukünftigen Gefährdungsbereichen entlang der Straße möglich (Bild 4).

Die Analyse für alle drei Modellgebiete zeigt, dass einige Regionen (Gitterboxen) in den drei Modellgebieten aufgrund der dortigen klimatischen Entwicklung und der vorherrschenden ingenieur-geologischen Gegebenheiten über die nächsten 90 Jahre hinsichtlich des Eintretens von Rutschungen gefährdeter als andere Regionen sind, was sich dementsprechend auf die Bundesfernstraßen auswirken wird. Andere Regionen sind wiederum erst ab der zweiten Jahrhunderthälfte als kritisch anzusehen.

Über das Sommerhalbjahr gesehen ist das Gefährdungspotenzial hinsichtlich potenzieller Rutschungen entlang der Bundesfernstraßen im Modellgebiet Wißberg im Vergleich zu den anderen beiden Gebieten am höchsten einzustufen, da mehrere Zeitperioden in drei Gitterboxen als sehr hoch gefährdet eingestuft wurden. Im Modellgebiet Pünderich betrifft diese Einstufung zwei Gitterboxen. Im Gegensatz dazu ist nur die Zeitperiode 2041–2070 in einer Gitterbox im Modellgebiet Altmündener Wand als sehr hoch gefährdet einzuschätzen.



**Bild 4:** Ausschnitt aus dem Modellgebiet Pünderich. Dargestellt ist eine Gitterbox (B3) mit der Bundesstraße B 421 und B 53, dem Punktekataster von Rutschereignissen, der klimatischen Einstufung des Gefährdungspotenzials (rot = sehr hoch) in der Zeitperiode 2051–2080 des im Winterhalbjahr, der Böschungsneigung (Graustufen) und den potentiell gefährdeten Straßenabschnitten (hellrot)

In allen drei Fällen nimmt das Gefährdungspotenzial gegen Ende des Jahrhunderts wieder ab, d. h., der Zeitraum zwischen 2011 und 2080 ist aus klimatischer Sicht kritischer einzustufen und somit auch die Gefährdung rutschungsanfälliger Böschungen.

Über das Winterhalbjahr zeigt die Region um den Wißberg, gefolgt von den Modellgebieten Pünderich und Altmündener Wand generell in den nächsten Jahrzehnten ein häufigeres Auftreten von sehr hohen Gefährdungspotenzialen. So könnten Straßenabschnitte innerhalb von drei Gitterboxen im Modellgebiet Wißberg und im Modellgebiet Pünderich innerhalb von zwei Gitterboxen Rutschungen bis zum Jahr 2100 durchgehend sehr hoch gefährdet sein. Für das Gebiet um die Altmündener Wand sind erst ab der zweiten Jahrhunderthälfte möglicherweise höhere Risiken für Straßenbereiche auszumachen.

Bei Betrachtung aller drei Modellgebiete über das Winterhalbjahr ist zu erkennen, dass alle relevanten Gitterboxen ein sehr hohes Gefährdungspotenzial ab der zweiten Jahrhunderthälfte aufweisen. D. h., die unter ingenieurgeologischen Gesichtspunkten ausgewählten Böschungen innerhalb dieser Gebiete sind potenziell rutschungsgefährdet.

Die Betrachtung über das gesamte Jahr, d. h., unter Einbeziehung aller Klimaparameter, auch des Jahresniederschlags, zeigt für die Modellgebiete Wißberg und Pünderich ein ähnliches Bild wie im Winterhalbjahr. Im Modellgebiet Altmündener Wand wirkt sich hingegen bis zur Mitte des Jahrhunderts die zusätzliche Einbeziehung der Klimaparameter Starkniederschlagsereignisse im Sommerhalbjahr und der Jahresniederschlag dahingehend aus, dass z. T. Zeitperioden in einer Gitterbox eine nächst höhere Einstufung in Bezug auf das Gefährdungspotenzial erhalten.

Bei der Modellbetrachtung zur Abschätzung des zukünftigen Gefährdungspotenzials entlang der Bundesstraßen und Bundesautobahnen ist jedoch auch darauf hinzuweisen, dass bestimmte Faktoren unberücksichtigt bleiben. So zum Beispiel die Tatsache, dass die Prognose für das potenzielle Rutschungsrisiko für die Zeiträume nach Abgang sämtlicher rutschgefährdeter Bodenmassen nicht mehr zutreffen würde, da sich der betreffende Böschungsabschnitt dadurch selbst "stabilisiert" und damit die Eintrittswahrscheinlichkeit einer erneuten Rutschung an der gleichen Stelle zu einem späteren Zeitpunkt unwahrscheinlicher macht.

## 5 Folgerungen für die Praxis

Bei der in diesem Projektvorhaben ersten Abschätzung einer möglichen Zunahme von Rutschungen und deren Auswirkung auf das Bundesfernstraßennetz in ausgewählten Gebieten ist darauf hinzuweisen, dass die Aussagen auf einem ersten Modellansatz basieren, der sich neben der Berücksichtigung diverser Klimaparameter auf die Böschungsneigung beschränkt.

Durch die Berücksichtigung weiterer rutschungsrelevanter Parameter wie Geologie (boden- und felsmechanische Parameter), Exposition, Grundwasserverhältnisse, Vegetation etc. muss das Modell noch weiter ausgearbeitet und verfeinert werden. Zudem beruht die Abschätzung auf einem bestimmten zukünftigen Klimaszenario, d. h., auch nur bei Eintritt dieses Szenarios würde die Risikoeinschätzung entlang des Bundesfernstraßennetzes zutragen kommen.

Das Ergebnis des Forschungsprojektes zeigt, dass die angewendete Vorgehensweise zur Abschätzung des Gefährdungspotenzials durch Rutschungen entlang des Bundesfernstraßennetzes unter klimatischen und morphologischen Gesichtspunkten erfolgversprechend ist. Daher ist es empfehlenswert, die begonnene Modellbetrachtung anhand weiterer Fallbeispiele fortzuführen und zu intensivieren, damit das Netz von regionaltypischen Informationen verdichtet werden kann.

Das Fernziel sollte daher die Entwicklung eines Modells sein, in das sowohl der Trend der Klimaänderung bis zum Jahr 2100 als auch weitere bereits erwähnte rutschungsrelevante Parameter mit einfließen sollten und das für die Benutzer grafisch anschaulich visualisiert werden kann. Verknüpft mit einem Rutschungsereigniskataster und dem digitalen Bundesfernstraßennetz kann auf diese Weise eine bundesweite Risikokarte für das Bundesfernstraßennetz entwickelt werden, aus der potenzielle rutschungsgefährdete Straßenabschnitte mit der dazu gehörigen Kilometrierung für bestimmte Zeiträume ermittelt und entsprechend ihres Gefährdungsgrades farblich visualisiert werden können.

Diese Risikokarte kann dazu herangezogen werden, rutschungsgefährdete Böschungen zu lokalisieren, die dann im nächsten Schritt näher untersucht und überwacht werden könnten. Somit wäre es möglich, mit Hilfe rechtzeitig ausgeführter Anpassungsmaßnahmen Rutschungen und daraus resultierende Schäden zu minimieren bzw. auch zu vermeiden und (Folge-)Kosten zu reduzieren.

## 6 Literatur

- Becker, M. (2005): Entwicklung von computergestützten Hangstabilitätsmodellen zur Erstellung einer Gefahrenhinweiskarte für die Region Rheinhessen. Dissertation, Johannes Gutenberg-Universität Mainz
- Damm, B. (2005): Gravitative Massenbewegungen in Südniedersachsen. Die Altmündener Wand – Analyse und Bewertung eines Rutschungsstandortes. – Z. Geomorph. N.F., Suppl.-Bd. 138: 189–209
- Damm, B. & Pflum, S. (2004): Geomorphologische Naturgefahren und Raumplanung – Bewertungsprobleme am Beispiel von Rutschgefahren in Südniedersachsen. Z. Geomorph. N.F., Suppl.-Bd. 135: 127–146
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2007): Climate Change 2007: The Physical Science Basis. [Solomon, S. et al. (Hrsg.)] Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York
- Jacob, D., Goettel, H., Kotlarski, S., Lorenz, P. & Siek, K. (2008): Klimaauswirkungen und Anpassung in Deutschland – Phase 1: Erstellung regionaler Klimaszenarien für Deutschland, Climate Change, Umweltbundesamt
- Krauter, E. & Lauterbach, M. (2004): Systematische Bestandsaufnahme – Abschätzung des Gefahrenpotenzials durch Steinerschlag, Felssturz und Rutschung sowie Empfehlung erforderlicher Sicherungsmaßnahmen – an der DB-Strecke Koblenz-Perl (3010) zwischen Bahn-km 61,6 und 62,1, geo-international, Mainz, unveröffentlicht
- Krauter, E. (2001): Kontrollmaßnahmen im Bereich der Rutschung Pünderich an der DB-Strecke Koblenz-Perl (3010) zwischen Bahn-km 61,600 u. 62,100: Beschreibung der automatischen Hangüberwachungsanlage Pünderich, geo-international, Mainz, unveröffentlicht
- Krauter, E. (2001): Phänomenologie natürlicher Böschungen (Hänge) und ihrer Massenbewegungen. in: SMOLTCZYK, U. (Hrsg.): Grundbau-Taschenbuch, Teil 1, 6. Aufl., Ernst & Sohn, Berlin
- Krauter, E. (1980): Möglichkeiten der Klassifizierung und Sanierung von Rutschungen. In: Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen: Schriftenreihe der Arbeitsgruppe "Erd- und Grundbau"; H. 3, S. 83–88, Kirschbaum, Bonn-Bad Godesberg
- Lauterbach, M. & Feuerbach, J. (2010): Ingenieurgeologisch-geotechnischer Zwischenbericht: Kontrollmaßnahmen im Bereich der Rutschung Pünderich an der DB-Strecke Koblenz-Perl (3010) zwischen Bahn-km 61,600 u. 62,100, geo-international, Mainz, unveröffentlicht
- Matthesuis, H. J. (1994): Entwicklung eines Geotechnischen Informationssystems zur Kontrolle von Hangrutschungen, Dissertation, Johannes Gutenberg-Universität Mainz
- MULTILINGUAL LANDSLIDES GLOSSARY (1993): The International Geotechnical Societies UNESCO Working Party for World Landslide Inventory. The Canadian Geotechnical Society, BiTech Publishers Ltd.
- Steingötter, K. (1984): Hangstabilitäten im linksrheinischen Mainzer Becken – Ingenieurgeologische Untersuchungen und kartenmäßige Darstellung, Dissertation, Johannes Gutenberg-Universität Mainz
- REMO (2001) – Hinweise für Datennutzer, Max-Planck-Institut für Meteorologie, Hamburg

### Verwendete Daten

- Wetterdaten des Deutschen Wetterdienstes Offenbach
- Klimaparameter des Max-Planck-Institutes für Meteorologie, Hamburg
- Digitales Bundesfernstraßennetz aus dem Bundesinformationssystem Straße (BISStra), BAST
- Gitterdaten des digitalen Geländemodells DGM 25, Bundesanstalt für Kartographie und Geodäsie
- Rutschungsdatenbank Rheinland-Pfalz: in Kooperation der Forschungsstelle Rutschungen Mainz mit dem Landesamt für Geologie und Bergbau, Mainz