

## Risikoanalyse wichtiger Verkehrsachsen des Bundesfernstraßennetzes im Kontext des Klimawandels

FA 9.147

Forschungsstellen: Alfen Consult GmbH, Leipzig  
 Climate & Environment Consulting Potsdam GmbH  
 Krebs und Kiefer, Beratende Ingenieure für das Bauwesen GmbH, Berlin

Bearbeiter: Korn, M. / Leupold, A. / Mayer, S. / Kreienkamp, F. / Spekat, A. / Fischer, K. / Guske, K. / Sorg, B.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bonn

Abschluss: April 2016

### 1 Problemstellung und Herangehensweise

Der durch den Menschen verursachte Klimawandel wird sich in den nächsten Jahrzehnten verstärken. Die Straßenverkehrsinfrastruktur und der Verkehr stehen daher vor großen Herausforderungen. Die Erfahrung zeigt, dass Schäden, verursacht durch extreme Wetterereignisse und veränderte Klimabedingungen, nicht nur zu erheblichen Reparaturkosten sondern auch aufgrund von Verkehrsstörungen zu hohen volkswirtschaftlichen Kosten führen. Es müssen daher Anpassungsstrategien für die Straßenverkehrsinfrastruktur an den Klimawandel entwickelt werden, um mögliche Schäden beziehungsweise Folgen zu minimieren.

Das Projekt "Risikoanalyse wichtiger Verkehrsachsen des Bundesfernstraßennetzes im Kontext des Klimawandels" bildet das Herzstück des Forschungsprogramms "Adaptation der Straßenverkehrsinfrastruktur an den Klimawandel – AdSVIS".

Im Fokus von RIVA stehen Identifikation, Analyse und Bewertung von Risiken für das Straßennetz der deutschen Hauptachsen im Transeuropäischen Netz (TEN) in Hinblick auf Klimaereignisse und deren Veränderung durch den Klimawandel.

RIVA knüpft thematisch an das ERA-NET ROAD Projekt RIMAROCC<sup>1</sup> an, in dessen Rahmen bereits konzeptionelle Grundlagen für eine Betrachtung von Risiken aus dem Klimawandel in Bezug auf die Straßenverkehrsinfrastruktur erarbeitet wurden. RIMAROCC erarbeitete aber noch nicht die eigentliche Methodik, die für eine systematische Betrachtung und Auswertung von großen Straßennetzen notwendig ist.

Die Entwicklung einer für ein derart komplexes Straßennetz – wie das deutsche Bundesautobahnnetz mit seinen 12 000 km Straßenlänge – geeigneten Methodik und eines Pilotwerkzeugs, die perspektivisch auch Basis für eine Anwenderlösung sein können, war deshalb zentrales Anliegen des RIVA-Projekts. Zehn Prozent des Netzes wurden dabei beispielhaft betrachtet.

Ausgangspunkte für die Entwicklung der Methodik, basierend auf einem hierarchischen Indikatorenmodell, sind Identifikation und Analyse der zu betrachtenden Risiken. Das Risiko wird als eine Funktion von Ursache und Wirkung beschrieben. Das Verständnis von Ursache-Wirkungs-Beziehungen der Risiken ist essenziell für die Entwicklung einer geeigneten und systematischen RIVA-Methodik zur Risikobewertung. Daher dienen komplexe Ursache-Wirkungs-Ketten (UWK) der systematischen Erfassung typischer durch das Klima verursachter Schäden/Einschränkungen. Innerhalb der UWK sind für jedes Klimaereignis die damit verbundenen möglichen Symptome sowie mögliche Folgen für die Infrastruktur und ihr unmittelbares Umfeld, für Verkehrsteilnehmer (Personen und Fahrzeuge), für den Verkehrsfluss und für sonstige Aspekte dargestellt. Abhängigkeiten und Folgebeziehungen werden verdeutlicht. So führen Schäden an der Infrastruktur häufig mittelbar auch zu Folgen in Form von Unfällen und Fahrzeugschäden und damit im weiteren Verlauf auch zu Behinderungen des Verkehrsflusses. Alle Teilketten münden schließlich in volkswirtschaftlichen Konsequenzen.

Die UWK sind Grundlage für die Ableitung von Schadensbildkategorien (SBK). Diese vereinen typische durch ein bestimmtes Klimaereignis induzierte Schadensbilder eines Risikoelements (siehe Tabelle 1). Die Schadensbildkategorie ist die zentrale inhaltliche Betrachtungseinheit der RIVA-Methodik.

Auf der Grundlage der Beschreibung des theoretischen Konzepts erfolgt eine Systematisierung der zu berücksichtigenden Indikatoren, die die Grundstruktur für das hierarchische Indikatorenmodell bilden. Diese Systematisierung erfolgte anhand der Zuordnung der Indikatoren zu Sphären und die daran anknüpfende Gliederung nach inhaltlichen Dimensionen (siehe Bild 1). Für die Dimensionen werden die relevanten Indikatoren bestimmt und durch deren Bezeichnung, Wichtung zu anderen Indikatoren und den jeweiligen Ausprägungsstufen beschrieben. Die Bestimmung der Indikatoren erfolgte in einem iterativen Prozess im Rahmen interdisziplinärer Experten-Workshops.

Die RIVA-Bewertungsmethodik soll Grundlage für eine spätere netzweite Bewertung, beispielsweise für die Auftragsverwaltungen der Länder, sein. Aus diesem Grund ist es wichtig, dass für die Bewertung auf automatisch auswertbare Informationen und Dokumentationen zurückgegriffen werden kann. Datenbanken der Länder oder des Bundes beziehungsweise der BAST, die die wesentlichen Informationen zu Strecken (beispielsweise IT-ZEB-Server) oder zu Ingenieurbauwerken (SIB-Bauwerke) erfassen, standen daher im Mittelpunkt. Jedoch wurden, wo notwendig, Indikatoren bestimmt, die noch nicht automatisch auswertbar sind (beispielsweise Indikatoren zur Lage (Trog- oder Dammlage) der Streckenabschnitte). Eine netzweite Bewertung und vollständige Berücksichtigung solcher Indikatoren wird folglich erst möglich, wenn die entsprechenden Datengrundlagen bereitgestellt werden können. Das im Rahmen von RIVA entwickelte Indikatorenset ist daher nicht als endgültig zu verstehen. Es ist vielmehr ein Starterset, das auf der Basis verbesserter Datengrundlagen und insbesondere weiterer Er-

<sup>1</sup> Bles, T. et al., 2010: Risk Management for Roads in a Changing Climate – A Guidebook to the RIMAROCC Method, ERA-NET ROAD

kenntnisse aus Forschung und Praxis angepasst und fortgeschrieben werden kann und muss.

## 2 Untersuchungsergebnisse

Innerhalb der RIVA-Methodik werden im theoretischen Konzept alle Indikatoren entweder der Sphäre der Ursachen oder der Sphäre der Wirkungen zugeordnet. Anknüpfend an die Zuordnung nach Sphären werden die Indikatoren nach inhaltlichen Dimensionen (Merkmale der Infrastruktur und des Klimas) gegliedert. Zur Sphäre der Ursachen zugeordnet sind die Dimensionen Klima und Vulnerabilität und zur Sphäre der Wirkungen die Dimensionen Technische Wirkungsweise und Kritikalität (siehe Bild 1).

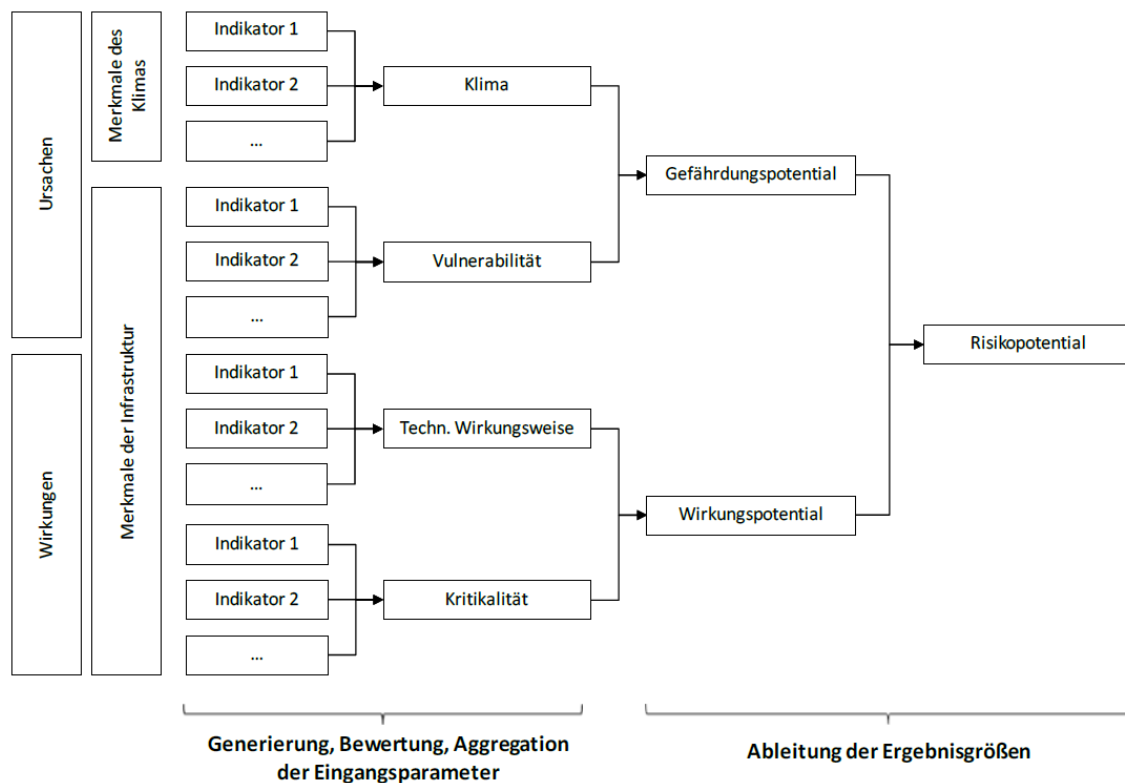
Die "Dimension Klima" spielt für zu betrachtende Risiken ausschließlich als Ursachen eine Rolle und umfasst alle in die Methodik einfließenden Klimaindikatoren.

Potenzielle Risiken können sich nur realisieren, wenn eine Infrastruktur vulnerabel (anfällig) für eine bestimmte klimabedingte Gefahr ist. Die "Dimension Vulnerabilität" umfasst alle in die RIVA-Methodik einfließenden Indikatoren für die Vulnerabilität der Infrastruktur (verkehrliche Belastung, Lage/Trassierung sowie bauliche beziehungsweise konstruktive Merkmale).

Die "Dimension Technische Wirkungsweise" umfasst alle in die Methodik einfließenden Indikatoren für Infrastrukturmerkmale, die die grundsätzliche technische Art und Weise der Wirkungen bestimmen. Hierzu gehören der Ersatzinvestitions-, der Erhaltungs- und der Betriebsdienstaufwand sowie die Unfallkosten und Umfang der Verkehrsbehinderungen.

Die "Dimension Kritikalität" umfasst alle in die Methodik einfließenden Indikatoren der verkehrlichen Bedeutung einer Infrastruktur, die das volkswirtschaftliche Ausmaß der verkehrlichen Wirkungen mit beeinflussen.

In hierarchischen Indikatorenmodellen werden die Informationen von Einzelindikatoren über mathematische Verknüpfungen systematisch zu einander in Beziehung gesetzt, damit thematische Zusammenhänge abgebildet und Informationen kombiniert werden. Über diese Aggregation (Kombination) von Einzelindikatoren erfolgt die Ableitung von Indizes als zusammengesetzte Indikatoren (siehe Bild 1). Diese werden jeweils für einen bestimmten Streckenabschnitt und je Schadensbildkategorie ermittelt. Folglich fließen für die Betrachtung eines Streckenabschnitts für jede Schadensbildkategorie spezifische Eingangsgrößen (Merkmalsparameter) ein. Diese umfassen Parameter für Merkmale des Klimas, Merkmale der Vulnerabilität der Infrastruktur und SBK-spezifische Merkmale der Wirkungen.



**Bild 1: Grundstruktur des hierarchischen RIVA-Indikatorenmodells**

Das RIVA-Projekt entwickelte einen methodischen Ansatz zur Betrachtung von Risiken für das Netz der Bundesfernstraßen (Netzebene). Daher wurde im Rahmen der RIVA-Methodik als Betrachtungsmaßstab das Netz in Streckenabschnitte (Abschnitt zwischen zwei Netzknoten) unterteilt.

Insgesamt wurde ein Katalog von 35 Schadensbildkategorien (zentrale inhaltliche Betrachtungseinheit der RIVA-Methodik) abgeleitet. Hiervon entfallen 32 auf ortsfeste Risikoelemente

und drei auf das mobile Risikoelement Verkehrsteilnehmer (siehe Tabelle 1). Den einzelnen Schadensbildkategorien werden Indikatoren zur Bewertung der vier Dimensionen zugeordnet.

Für die Risikobewertung werden die Indikatoren der vier Dimensionen schrittweise aggregiert. Diese Informationsverdichtung folgt der Grundstruktur des hierarchischen RIVA-Indikatorenmodells (siehe Bild 1).

Zentrale Ergebnisgrößen sind:

- Gefährdungspotenzial
- Wirkungspotenzial
- Risikopotenzial

Bei der schrittweisen Aggregation der Indikatorwerte für die Betrachtung einer Schadensbildkategorie an einem Strecken-

abschnitt werden in den Merkmalsdimensionen Zwischenwerte gebildet.

Diese umfassen

- Kombinationswert Klima
- Vulnerabilitätswert
- Werte für fünf Wirkungsweisen.

**Tabelle 1: Übersicht Schadenbildkategorie**

SBK-Nr.	Risikoelement	Beschreibung der Schadenbildkategorie
01a	Brücken	Hitzebedingte Schäden und Einschränkungen an Brücken
01b	Brücken	Frostbedingte Schäden und Einschränkungen an Brücken
01c	Brücken	Schäden und Einschränkungen an Brücken infolge Frost-Tau-Wechsel
01d	Brücken	Schäden und Einschränkungen an Brücken durch Hochwasser
01e	Brücken	Schäden und Einschränkungen an Brücken durch Starkwind
02a	Durchlässe	Schäden und Einschränkungen an Durchlässen durch Hochwasser
03a	Tunnel	Niederschlagsbedingte Schäden und Einschränkungen an Tunneln
03b	Tunnel	Hitzebedingte Schäden und Einschränkungen an Tunneln (Portalbereich)
03c	Tunnel	Frostbedingte Schäden und Einschränkungen an Tunneln (Portalbereich)
03d	Trogbauwerke	Niederschlagsbedingte Schäden und Einschränkungen an Trögen
03e	Trogbauwerke	Hitzebedingte Schäden und Einschränkungen an Trögen
03f	Trogbauwerke	Frostbedingte Schäden und Einschränkungen an Trögen
04a	Stützbauwerke, Hang- und Felssicherung	Hitzebedingte Schäden und Einschränkungen an Stützbauwerken, Hang- und Felssicherungen
04b	Stützbauwerke, Hang- und Felssicherung	Frostbedingte Schäden und Einschränkungen an Stützbauwerken, Hang- und Felssicherungen
04c	Stützbauwerke, Hang- und Felssicherung	Niederschlagsbedingte Schäden und Einschränkungen an Stützbauwerken, Hang- und Felssicherungen
05a	Böschungen	Schäden und Einschränkungen durch witterungsbedingte Böschungsrutschungen
06a	Fahrbahn – Asphalt	Hitzebedingte Schäden und Einschränkungen an Asphaltfahrbahnen
06b	Fahrbahn – Asphalt	Frostbedingte Schäden und Einschränkungen an Asphaltfahrbahnen
06c	Fahrbahn – Asphalt	Einschränkungen auf Asphaltfahrbahnen durch Hochwasser
06d	Fahrbahn – Asphalt	Einschränkungen auf Asphaltfahrbahnen durch ungenügenden Wasserabfluss (Aquaplaning)
06e	Fahrbahn – Asphalt	Einschränkungen auf Asphaltfahrbahnen durch Glätteereignisse
07a	Fahrbahn – Beton	Hitzebedingte Schäden und Einschränkungen an Betonfahrbahnen
07b	Fahrbahn – Beton	Frostbedingte Schäden und Einschränkungen an Betonfahrbahnen
07c	Fahrbahn – Beton	Einschränkungen auf Betonfahrbahnen durch Hochwasser
07d	Fahrbahn – Beton	Einschränkungen auf Betonfahrbahnen durch ungenügenden Wasserabfluss (Aquaplaning)
07e	Fahrbahn – Beton	Einschränkungen Betonfahrbahnen durch Glätteereignisse
08a	Ausstattung, Verkehrsbrücken, Lärmschutzw.	Schäden und Einschränkungen an Ausstattungselementen durch Starkwind
09a	Entwässerung (Ableitungssysteme)	Schäden und Einschränkungen durch Funktionsversagen der Ableitungssysteme bei Starkregen (Aquaplaning)
09b	Entwässerung (Ableitungssysteme)	Schäden und Einschränkungen durch Funktionsversagen der Entwässerung bei Schnee (Aquaplaning)
10a	Regenbecken	Schäden und Einschränkungen durch Funktionsversagen der Becken bei Starkregen
10b	Regenbecken	Schäden und Einschränkungen durch Funktionsversagen der Becken bei Trockenperioden
10c	Regenbecken	Schäden und Einschränkungen durch Funktionsversagen der Becken bei Schnee- und Frostereignissen
11a	Verkehrsteilnehmer	Belastungen der Verkehrsteilnehmer durch Hitze (Hitzestress)
11b	Verkehrsteilnehmer	Sichtbehinderungen der Verkehrsteilnehmer durch Starkregen
11c	Verkehrsteilnehmer	Gefährdung der Verkehrsteilnehmer durch Starkwinde

Der "Kombinationswert Klima" fasst für eine Schadensbildkategorie im betrachteten Streckenabschnitt alle Informationen der Dimension Klima zusammen. Er fließt in die Ableitung des Gefährdungspotenzials ein. Der Kombinationswert Klima wird durch die Aggregation der Einzelbewertungen der Klimaindikatoren für den zu betrachtenden Zeitraum (1971 – 2000, 2011 –

2040, 2041 – 2070, 2071 – 2100) gebildet und kann einen Wertebereich von 1 bis 4 annehmen (siehe Bild 2).

Der "Vulnerabilitätswert" fasst für eine Schadensbildkategorie im betrachteten Streckenabschnitt alle Informationen der Dimension Vulnerabilität zusammen. Der Vulnerabilitätswert für eine Schadensbildkategorie wird durch Aggregation der Einzel-

bewertungen der Vulnerabilitätsindikatoren gebildet und kann einen Wertebereich von 1 bis 4 annehmen (siehe Bild 3). Er fließt zusammen mit dem Kombinationswert Klima in die Ableitung des Gefährdungspotenzials ein.

Klimaindikator	Wert (2041-2070)	Ausprägungsstufen				Zuordnung	Wichtung	Kombiwert (2041-2070)
		niedrig	mittel	hoch	sehr hoch			
K-01.1 - Anzahl heißer Tage [d] im Jahr	15,58	X < 10	10 ≤ X < 20	20 ≤ X < 30	30 ≤ X	Mittel=2	25%	X =
K-01.2 - Anzahl Sommertage [d] im Jahr	49,07	X < 35	35 ≤ X < 50	50 ≤ X < 65	65 ≤ X	Mittel=2	20%	
K-01.3 - Anzahl [n] der Hitzeperioden pro Jahr	0,7	X < 1	1 ≤ X < 2	2 ≤ X < 3	3 ≤ X	Niedrig=1	30%	
K-01.4 - Anzahl der Tropennächte [d] im Jahr	5,02	X < 1	1 ≤ X < 3	3 ≤ X < 5	5 ≤ X	sehr hoch=4	5%	
K-01.5 - Höchsttemperatur in der Periode [Tmax in °C]	39,87	X < 33	33 ≤ X < 37	37 ≤ X < 41	41 ≤ X	Hoch=3	20%	
							100%	2,000

**Bild 2: Beispielrechnung – Bewertung und Aggregation Kombinationswert Klima (SBK 06a: Hitzebedingte Schäden und Einschränkungen)**

Vulnerabilitätsindikatoren	Wichtung angestrebt	Ausprägungsstufen				Anteile im Teilstück [befestigte Fläche Asphalt]				Wichtung umsetzbar	Vulnerabilitätswert
		niedrig	mittel	hoch	sehr hoch	1	2	3	4		
DTV-SV	25%	X < 4000	4000 ≤ X < 9000	9000 ≤ X < 12000	12000 ≤ X	100%	0%	0%	0%	27,8%	X =
Lage-Ausrichtung	10%	Bergregion und Nordhang	Bergregion und Osthang	Bergregion und Westhang	Flaches Land oder Bergregion und Südhang					0,0%	
Längsneigung	20%	X < 2%	2% ≤ X < 5%	5% ≤ X < 7%	7% ≤ X	81%	19%	0%	0%	22,2%	
Risse	5%	X < 2	2 ≤ X < 3	3 ≤ X < 4	4 ≤ X	57%	21%	14%	8%	5,6%	
Deckschichtart	15%		PA (OPA), MA (GA)	SMA, AC (AB)		0%	100%	0%	0%	16,7%	
Spurrinntiefe	10%	X < 4	4 ≤ X < 7	7 ≤ X < 10	10 ≤ X	89%	11%	0%	0%	11,1%	
Schichtdicken Asphalt-schicht in cm	15%	X ≥ 30	30 > X ≥ 25	25 > X ≥ 22	X < 22	0%	0%	0%	100%	16,7%	
										100,0%	1,760

**Bild 3: Beispielrechnung – Bewertung und Aggregation Vulnerabilitätswert (SBK 06a: Hitzebedingte Schäden und Einschränkungen)**

Für die Ableitung des Technischen Wirkungspotenzials werden fünf Wirkungsweisen für jede Schadensbildkategorie und betrachteten Streckenabschnitt entsprechend der angegebenen Gewichtung aggregiert:

- Ersatzinvestitionsaufwand (20 %)
- Erhaltungsaufwand (30 %)
- Betriebsdienstaufwand (5 %)
- Unfallkosten (10 %)
- Verkehrsbehinderungen (35 %)

Darüber hinaus ist eine getrennte Betrachtung von Betreiber- und Nutzerkosten möglich. Zur Ableitung des "Wirkungspotenzials Betreiberkosten" werden die Wirkungsweisen Ersatzinvestitionen, Erhaltungsaufwand und Betriebsdienstaufwand aggregiert.

Die Ableitung des "Wirkungspotenzials Nutzerkosten" erfolgt in der Zusammenführung der Wirkungsweisen Unfallkosten und Verkehrsbehinderungen.

Durch die Zusammenführung von Gefährdungs- und Wirkungspotenzial wird für den jeweils betrachteten Streckenabschnitt und die ausgewählten Schadensbildkategorien (Kombinationen möglich) das Risikopotenzial bestimmt. Das Risikopotenzial ist die finale Ergebnisgröße der RIVA-Bewertungsmethodik.

Für die Betrachtung der vom Forschungsgeber vorgegebenen Untersuchungsstrecken wurde anhand der erarbeiteten RIVA-Methodik ein Pilotwerkzeug auf MS-Excel-Basis entwickelt.

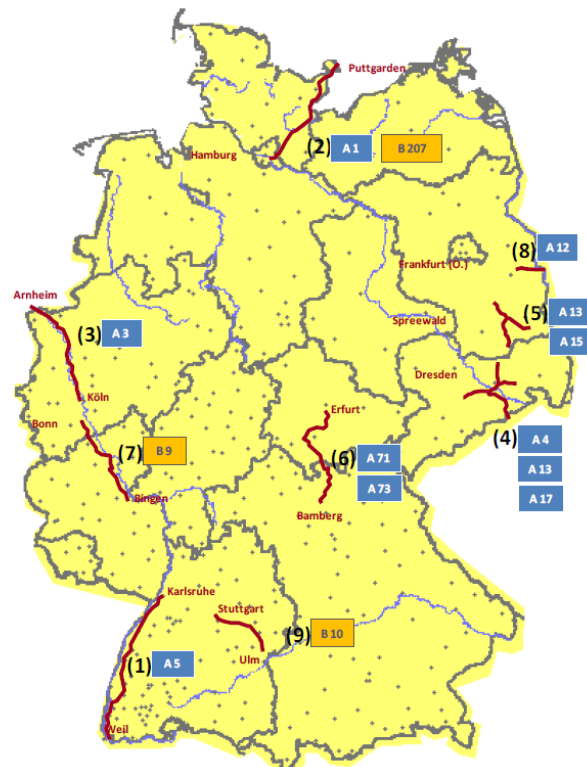
Für die beispielhafte Anwendung der RIVA-Methodik anhand des Pilotwerkzeugs wurden neun Untersuchungsstrecken unterschiedlicher Bauweisen, Alters, Verkehrsbelastung sowie Klimaregion ausgewählt. So konnten für konkrete Netzaus-

schnitte (271 Streckenabschnitte) die RIVA-Methodik erprobt, die zur Verfügung stehenden Datengrundlagen systematisch ausgewertet und Bewertungsergebnisse automatisch generiert werden. Neben den Datengrundlagen der Straßenverkehrsinfrastruktur wurden hierfür Klimaprojektionsdaten erstellt. Für eine möglichst gute Aktualität der gegenwärtigen Bezugsperiode unter der Randbedingung der Verfügbarkeit qualitätsgeprüfter Messdaten wurde die Periode 1971–2000 für die Gegenwart genutzt (Beobachtungswert). Die zukünftigen Klimaentwicklungen werden anhand von nicht-überlappenden 30-jährigen Perioden untersucht, deren letzte am Ende des 21. Jahrhunderts liegt, also 2011–2040, 2041–2070 und 2071–2100. Es kamen hierfür sowohl Vertreter der statischen als auch der dynamischen Regionalisierungsverfahren in einem Ensemble zum Einsatz, die ESD (Empirical Statistical Downscaling) WETTREG und STARS sowie zwei RCMs (Regional Climate Model) des Max-Planck-Instituts für Meteorologie (REMO) und die vom COSMO (Consortium for Small-Scale Modelling) betriebene Klima-Version des Local-Models (LM) des Deutschen Wetterdienstes (CCLM). Durch die Bereitstellung von Minimal-, Mittel- und Maximalwert der Klimaprojektionswerte der verwendeten Modelle können Bandbreiten der Klimaprojektionen als Ausdruck der Projektionsunsicherheiten auch in die Risikobetrachtung einfließen. Zur Grobübersicht der Klimaregion in Deutschland kann die Einteilung unter anderem in Naturräume zu Rate gezogen werden. Die meisten Untersuchungsstrecken befinden sich jeweils in einer Klimaregion, das heißt, das Klima in diesen ist hinreichend homogen. Ausnahmen sind die Regionen 6 (Thüringer Wald) und 9 (Schwäbische Alb), bei denen die Homogenität geringer ist, sodass diesen beiden Untersuchungsstrecken jeweils zwei Klimaregionen zugeordnet wurden (siehe Bild 4).

Das Pilotwerkzeug erfüllt damit nicht nur die Aufgabe der Betrachtung der Untersuchungsstrecken. Vielmehr veranschaulicht es auch, wie eine systematische Risikobetrachtung von Straßen auf Netzebene unter Nutzung netzweit erhobener Daten grundsätzlich erfolgen kann.

Anhand des Pilotwerkzeugs lässt sich demnach zeigen, welche funktionalen und methodischen Anforderungen eine zukünftige tatsächlich netzweit nutzbare Anwenderlösung (mindestens) erfüllen sollte.

Das Pilotwerkzeug besteht aus fünf Modulen; vier Grundmodulen (Klima, Vulnerabilität, Technische Wirkungsweise, Kritikalität) und einem Kernmodul. In den Grundmodulen werden technische Datengrundlagen und Klimaprojektionsdaten so aufbereitet und teilweise bereits aggregiert, dass im Ergebnis Indikatorwerte als Eingangsgrößen für die im Kernmodul stattfindende eigentliche Risikobetrachtung zur Verfügung stehen. Das Kernmodul liefert Werte für die drei zentralen Ergebnisgrößen Gefährdungs-, Wirkungs- und Risikopotenzial. In Bild 6 ist zudem dargestellt, wie innerhalb einer Anwenderlösung eine grafische Darstellung der Ergebnisgrößen erfolgen könnte.

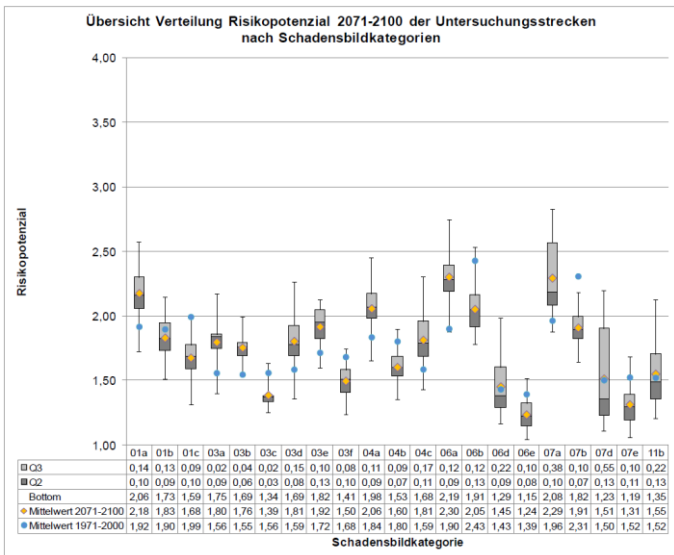


Nr.	Untersuchungsstrecke	Teilstrecken	Klimaregion
1	A 5 Karlsruhe – Basel	A 5: 46 AD Karlsruhe – A 5: 70 BGR Weil am Rhein	1
2	A 1/B 207 Hamburg – Puttgarden	B 207: 1 AS Fährhafen Puttgarden – A 1: 36 AD Hamburg Süd	2
3	A 3 Köln – Arnheim	A 3: 1 BG Elten-Autobahn – A 3: 28 AD Köln-Heumar	3
4	A 4/A 13/A 17 Dresden mit 60 km Umkreis	A 4: 74 AS Berbersdorf – A 4: 86 AS Ohorn	4
		A 13: 18 AS Ortrand – A 13: 23 AD Dresden-Nord	
		A 17: 1 AD Dresden-West – A 17: BGR D/CZ Grenzübergang	
5	A 13/A 15 AD Spreewald mit 60 km Umkreis	A 13: 6 AS Staakow – A 13: 15 AS Kletwitz	5
		A 15: 1 AD Spreewald – A 15: 4 AS Cottbus-West	
6	A 71/A 73 Erfurt – Bamberg	A 71: 12 AK Erfurt – A 71: 20 AD Suhl	6 (mit 61 nördlich und 62 südlich des Rennsteigs)
		A 73: 1 AD Suhl – A 73: 21 AK Bamberg	
7	B 9 Bonn – Wiesbaden	B 9: Bonn Potsdamer Platz – B 9/A 60: 13 AS Bingen-Ost	7
8	A 12 um Frankfurt (Oder)	A 12: 5 AS Fürstenwalde-Ost – A 12: 10 BGR Frankfurt (Oder)/Swiecke	8
9	B 10 Stuttgart – Ulm	B 10: Stuttgart, Kreuzung B 10/B 14 – B 10: Ulm, Kreuzung B 10/B 19/B 28	9 (mit 91 unterhalb und 92 oben auf der Hochebene)

**Bild 4: Untersuchungsstrecken und ihre Klimaregionen**

### 3 Folgerungen für die Praxis

Die exemplarischen Ergebnisse zeigen, dass insbesondere Risikopotenziale in Zusammenhang mit hitzebedingtem SBK (vergleiche hierzu auch Tabelle 1) und dabei besonders an Fahrbahnen zukünftig eine vergleichsweise deutliche Zunahme erfahren (siehe Bild 5). Zustand, Alter, Verkehrsbelastung sowie Bauweise stellen dabei wesentliche vulnerabilitätsbeeinflussende Merkmale der Infrastrukturelemente dar.



Das RIVA-Projekt leistet insgesamt einen wichtigen Beitrag zur Diskussion von Anpassungsbedarf und möglichen/notwendigen Maßnahmen in Zusammenhang mit den Risiken aus dem Klimawandel für die Straßenverkehrsinfrastruktur. Es analysiert ausgehend von regionalen Klimaprojektionsdaten sowie den Infrastruktur- und Verkehrsdaten die Ursache-Wirkungs-Ketten und stellt sie in Form der Schadensbildkategorien systematisch zur Verfügung. Es liefert sowohl die Methodik als auch ein Pilotwerkzeug für die strukturierte Risikobetrachtung eines Straßennetzes (des Netzes der Bundesfernstraßen) und ermöglicht so, Risiken aus der Perspektive der Gesamtschau hinsichtlich ihrer räumlichen, qualitativen und quantitativen, insbesondere aber auch ihrer wirtschaftlichen Bedeutung zu beurteilen. Das RIVA-Projekt unterstützt damit den Prozess der Sensibilisierung der Verantwortlichen und Entscheidungsträger, schafft wesentliche Grundlagen für weiterführende Untersuchungen und Entscheidungsfindungsprozesse und zeigt wichtigen Forschungsbedarf auf.

Bild 5: Übersicht Verteilung der Risikopotenziale der Untersuchungsstrecken

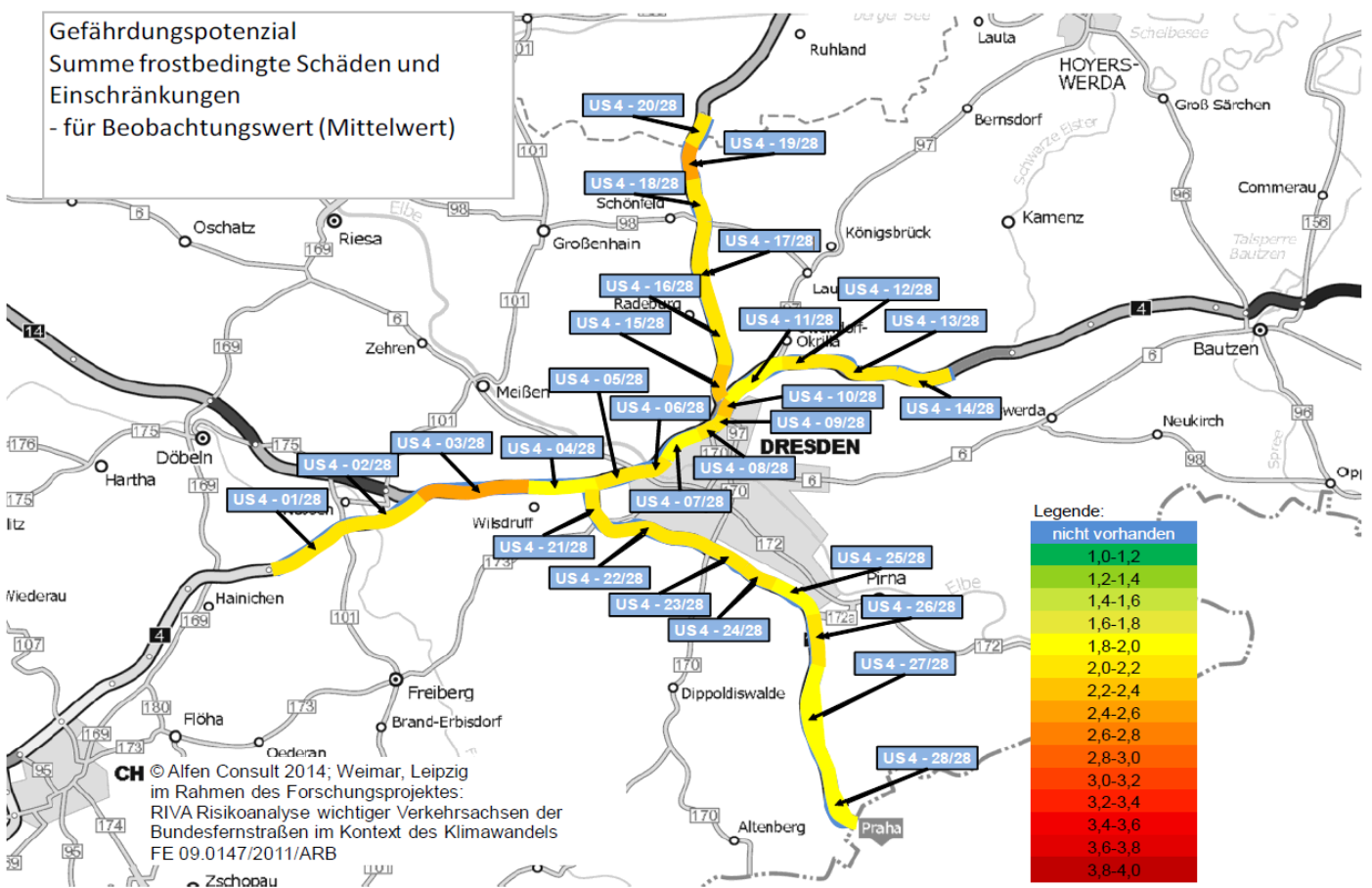


Bild 6: grafische Darstellung – Gesamtgefährdungspotenzial frostbedingter Schäden und Einschränkungen für den Beobachtungszeitraum