

KLIMAINDUZIERTE RISIKEN FÜR DIE STRASSENVERKEHRS- INFRASTRUKTUR

Analyse und Bewertung

Die RIVA-Methodik, ihre exemplarische Anwendung und
die Entwicklung einer GIS-basierten Anwenderlösung





Susanne Mayer, Michael Korn und Dr. Andreas Leupold sind für die Alfen Consult GmbH tätig. Alfen Consult berät und forscht für Verwaltungen, Forschungseinrichtungen und Unternehmen der öffentlichen Daseinsvorsorge zu ökonomischen, strategischen, wirtschaftlich-technischen und disziplinübergreifenden Fragen im Kontext der Bereitstellung öffentlicher Infrastruktur. Wesentliche Tätigkeitsschwerpunkte sind das Risikomanagement und die Entwicklung passgenau zugeschnittener Analysen und Bewertungsmodelle. Alfen Consult arbeitet interdisziplinär und führt verschiedene Wissensträger zusammen, um komplexe Fragen umfassend zu beleuchten.
info@alfen-consult.de

Das Klima und das daraus folgende lokale Wetter haben erheblichen Einfluss auf Dauerhaftigkeit und Zuverlässigkeit unserer Infrastruktur. Auch unsere Verkehrsinfrastruktur ist ungünstigen Einwirkungen von Klima und Wetter ausgesetzt. Der sich abzeichnende Klimawandel macht es dringend notwendig, klimainduzierte Risiken für Verkehrsinfrastrukturen systematisch zu beurteilen und dann geeignete Anpassungsstrategien zu entwickeln.

Im Forschungsprogramm „Adaptation der Straßenverkehrsinfrastruktur an den Klimawandel“ (AdSVIS) erarbeitete die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) deshalb verschiedene Konzepte, Methoden und Technologien zur Anpassung an den Klimawandel. Das Projekt „Risikoanalyse wichtiger Verkehrsachsen des Bundesfernstraßennetzes im Kontext des Klimawandels“ (RIVA) war das Herzstück dieses Programms. Alfen Consult bearbeitete das Projekt federführend, zusammen mit der Climate & Environment Consulting (CEC) Potsdam sowie dem Unternehmen Krebs und Kiefer Beratende Ingenieure für das Bauwesen.

Im Fokus des RIVA-Projekts standen Identifikation, Analyse und Bewertung klimainduzierter Risiken für das Bundesfernstraßennetz. Das Bundesautobahnnetz umfasste 2018 rund 13.000 km Straßen, das Bundesfernstraßennetz aus Bundesautobahnen und Bundesstraßen insgesamt etwa 51.000 km. Zentrales Anliegen war die Entwicklung einer für ein derart komplexes Straßennetz geeigneten Bewertungsmethodik und eines Pilotwerkzeugs, die perspektivisch Grundlage für eine Anwenderlösung sein können.

Fragen, die für die Entwicklung der RIVA-Methodik eine wesentliche Rolle spielten, waren insbesondere:

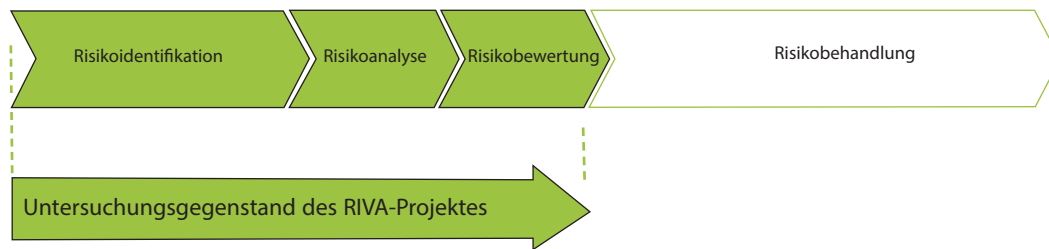
- Welche regionalen Klimaänderungen und Wetterereignisse können zukünftig auftreten? In welcher Ausprägung treten diese auf?
- Welche Elemente der Straßeninfrastruktur sind von welchen Klimaeinwirkungen (Klimaänderungen, Wetterereignissen) betroffen?
- Wie lässt sich die zukünftige Gefährdung der Infrastruktur und ihrer Elemente systematisch beurteilen? Welche Indikatoren lassen sich dafür heranziehen?
- Welche Wirkungen (Folgen) können entstehen, wenn sich Gefährdungen realisieren? Wie lassen sich diese systematisch in Hinblick auf ihre volkswirtschaftliche Bedeutung beurteilen?
- Wie ist auf Netzwerkebene, also im eher groben Maßstab, und mit der aktuellen Datenlage eine indikative Betrachtung der potenziellen Risiken möglich?

Als Grundlagen flossen grundsätzliche methodische Ansätze für Identifikation, Analyse und Bewertung von Risiken sowie Erkenntnisse aus einschlägigen ingenieur- und klimawissenschaftlichen Untersuchungen in das Projekt ein. Ausgehend von den Erkenntnissen dieser methodischen Annäherung und der Herausarbeitung der projektspezifischen Risiken erfolgte die Entwicklung der eigentlichen RIVA-Methodik.

Die nachfolgenden Erläuterungen zur Methodik und deren exemplarischer Anwendung folgen inhaltlich der Dokumentation des Projektes im Jahr 2017 erschienenen Forschungsbericht (Korn et al. 2017).

1 Untersuchungsgegenstand des RIVA-Projekts

Hauptphasen eines Risikomanagementprozesses



Quelle: verändert nach Korn et al. 2017: 22

Entwickelte Methodik

Elementar für die Entwicklung der RIVA-Methodik war die Herleitung und Systematisierung aller Aspekte, die in eine Bewertung einzubeziehen sind. Darüber hinaus galt es, geeignete Bezugsgrößen für einen Bewertungsvorgang, also Betrachtungseinheit und Betrachtungsmaßstab, festzulegen.

Für die Anwendungsfähigkeit der Methodik war es zudem unabdingbar, die verschiedenen Komponenten der Risiken sowie die wesentlichen Analyseschritte und Zwischenergebnisse in Einklang mit dem zugrundeliegenden Verständnis des Begriffes „Risiko“ explizit zu benennen und inhaltlich voneinander abzugrenzen. Die eindeutige Definition zentraler Begriffe ist Voraussetzung dafür, dass eine Methodik in ein Werkzeug überführt werden kann.

Zentrale Begriffe

Der RIVA-Methodik liegt das Verständnis von Risiko als Funktion von Ursache und Wirkung zugrunde. Der Begriff der Ursache umfasst im Kontext von RIVA alle Bereiche, aus denen in Bezug auf Risiken des Klimawandels potenziell eine Gefährdung für die Straßeninfrastruktur erwachsen kann.

Eine wesentliche Risikoursache sind Klimaänderungen. Diese zeigen sich als Veränderungen von Klimaparametern (z. B. saisonale Niederschlagsmengen, Anzahl von Frosttagen) oder veränderte Häufigkeiten oder Intensitäten von Extremwetterereignissen (z. B. Starkregenereignisse, Trockenperioden). Klimaänderungen werden im Kontext der RIVA-Methodik fachsprachlich als Klimaereignisse bezeichnet. Sie sind eine potenzielle Gefahr für die Straßeninfrastruktur.

Vom Auftreten einer Gefahr durch ein Klimaereignis in einer bestimmten Klimaregion – also einem größeren Gebiet mit weitgehend einheitlichem Makroklima – lässt sich jedoch noch nicht auf eine tatsächliche Gefährdung der dort befindlichen Infrastruktur Straße schließen. Stattdessen besteht ein Gefährdungspotenzial nur, wenn die Infrastruktur auch anfällig für eine Schädigung oder Funktionsstörung durch das betreffende Klimaereignis ist. Eine solche eventuelle Anfälligkeit wird durch Merkmale der Infrastruktur bestimmt und als Vulnerabilität bezeichnet.

Ein tatsächliches Gefährdungspotenzial besteht folglich nur, wenn eine entsprechende Ausprägung eines Klimaereignisses (Gefahr) und eine diesbezügliche Vulnerabilität (Anfälligkeit) der Infrastruktur zusammentreffen. Im Kontext des RIVA-Projekts sind also sowohl das Klima als auch die Vulnerabilität der Infrastruktur Risikoursachen. Aus diesen beiden

Ursachekomponenten lässt sich das Gefährdungspotenzial für eine konkrete Straßeninfrastruktur in einer bestimmten Klimaregion herleiten.

Ebenso wichtig wie das Verständnis von Ursachen ist das wirkungsbezogene Verständnis klimainduzierter Risiken. Denn bei deren Bewertung muss auch die Art und Weise berücksichtigt werden, wie sie sich potenziell auswirken. Im Kontext der RIVA-Methodik spielt dabei die betriebs- und volkswirtschaftliche Perspektive die wesentliche Rolle. Der Begriff der Wirkung bezieht sich daher auf wirtschaftliche Risikofolgen. Die berücksichtigten Wirkungsweisen umfassen Risikofolgen in Form von Kosten für die eigentliche Infrastruktur (Betreiberkosten für Ersatzinvestitionen, Erhaltung und Betriebsdienst) und volkswirtschaftliche Konsequenzen aus Unfällen und Verkehrsbehinderungen (Nutzerkosten).

Aus den verschiedenen Wirkungsweisen als Komponenten der Wirkung lässt sich für eine konkrete Straßeninfrastruktur ein Wirkungspotenzial herleiten. Es beschreibt abstrakt, wie sich ein betrachtetes Risiko potenziell auswirkt, unabhängig vom Gefährdungspotenzial. Es berücksichtigt folglich nicht, in welchem Ausmaß sich ein Risiko aufgrund des Gefährdungspotenzials für eine konkrete Straßeninfrastruktur in einer bestimmten Klimaregion potenziell darstellt.

Aus dem Gefährdungspotenzial als Maß der Ursachen und dem Wirkungspotenzial als Maß der Wirkungen erfolgt die Ableitung des Risikopotenzials. Es ist demnach das Maß für die potenzielle Auswirkung (den potenziellen Schaden) eines betrachteten Risikos unter Berücksichtigung des Gefährdungspotenzials für eine konkrete Straßeninfrastruktur in einer bestimmten Klimaregion.

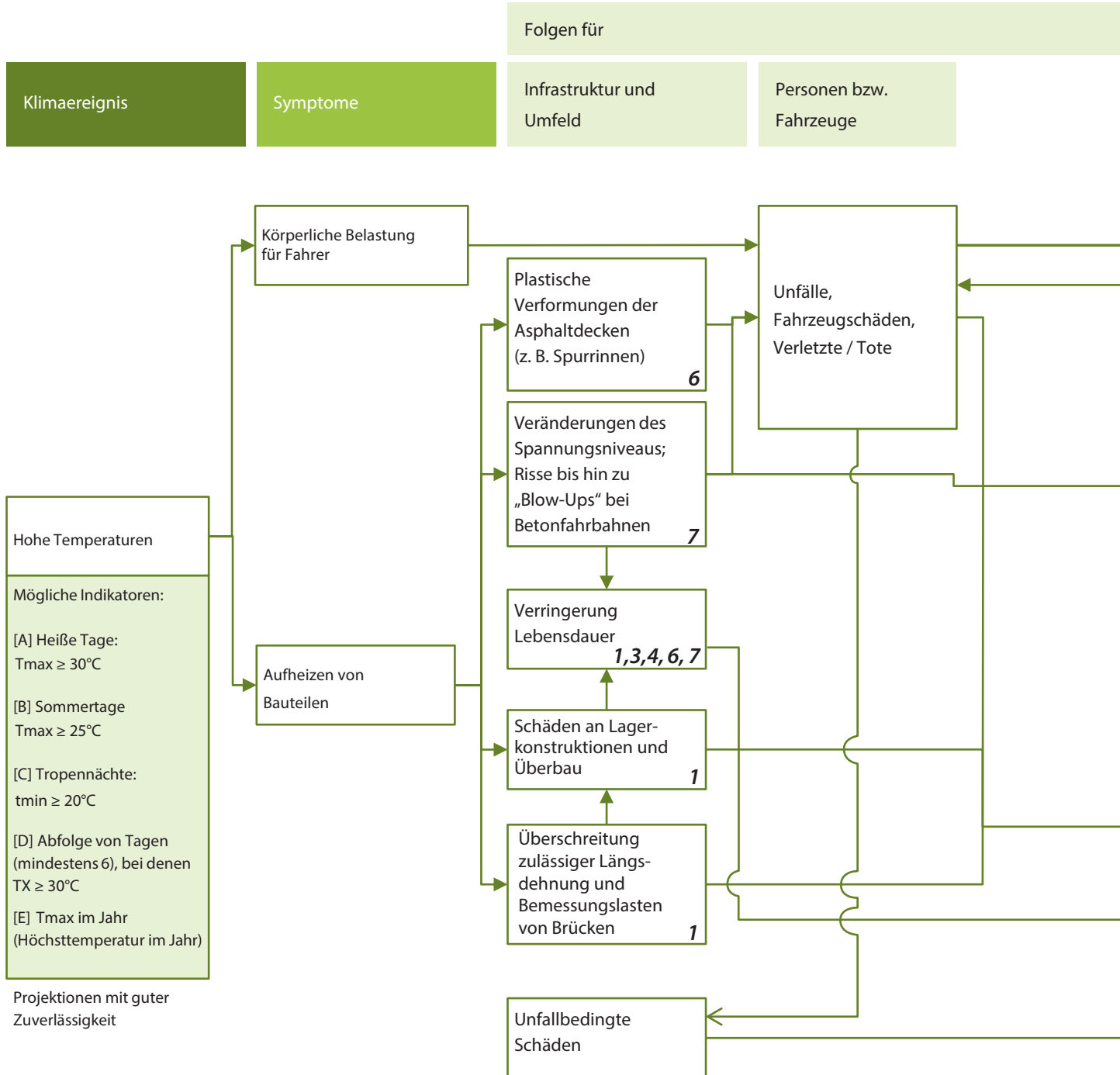
Systematik des Indikatorenmodells

Die RIVA-Methodik wurde als hierarchisches Indikatorenmodell entwickelt. Grundlage des theoretischen Konzepts sind Erkenntnisse aus der Identifikation und Analyse von Ursachen, Wirkungen und Ursache-Wirkungs-Zusammenhängen (Ursache-Wirkungs-Ketten) der zu betrachtenden Risiken sowie die Systematisierung der Indikatoren, mit dem sich diese beschreiben lassen. Abbildung 2 zeigt ein Beispiel einer Ursache-Wirkungs-Kette.

Die Systematisierung der Indikatoren im hierarchischen Indikatorenmodell beruht auf der Zuordnung zu Sphären und der daran anknüpfenden Gliederung nach inhaltlichen Dimensionen.

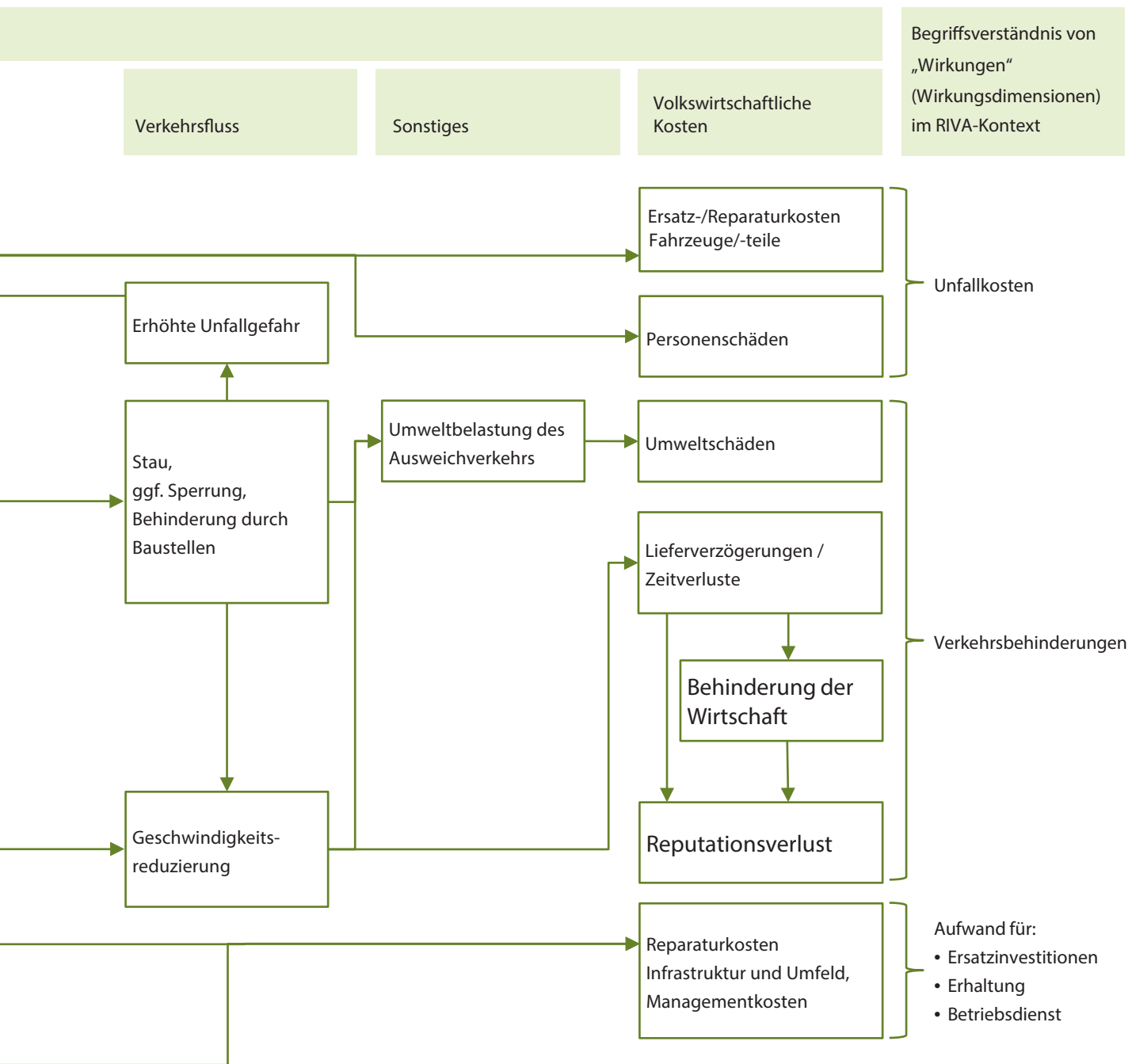
2

Beispiel einer Ursache-Wirkungs-Kette; Klimaereignis „Hohe Temperaturen“



Risikoelemente Nummern:

1 – Brücken | 2 – Durchlässe | 3 – Tunnel und Tröge | 4 – Stützbauwerke, Hang- und Felsicherung | 5 – Böschungen | 6 – Fahrbahn-Asphalt | 8 – Ausstattung, Verkehrszeichenbrücken, Lärmschutz | 9 – Entwässerung (Ableitungssysteme) | 10 – Entwässerung (Behandlungssysteme) |



7 – Fahrbahn-Beton
 11 – Verkehrsteilnehmer

Quelle: verändert nach Korn et al., S. 27

Sphären

Ausgehend vom Anliegen der RIVA-Methodik, der Betrachtung klimainduzierter Risiken für die Straßeninfrastruktur und dem Verständnis des RIVA-Risikobegriffs bildet das Indikatorenmodell zwei Sphären-Paare ab. Alle Indikatoren lassen sich demnach zum einen entweder der Sphäre „Merkmale des Klimas“, oder der Sphäre „Merkmale der Infrastruktur“ und zum anderen entweder der Sphäre „Ursachen“, oder der Sphäre „Wirkungen“ zuordnen.

Dimensionen

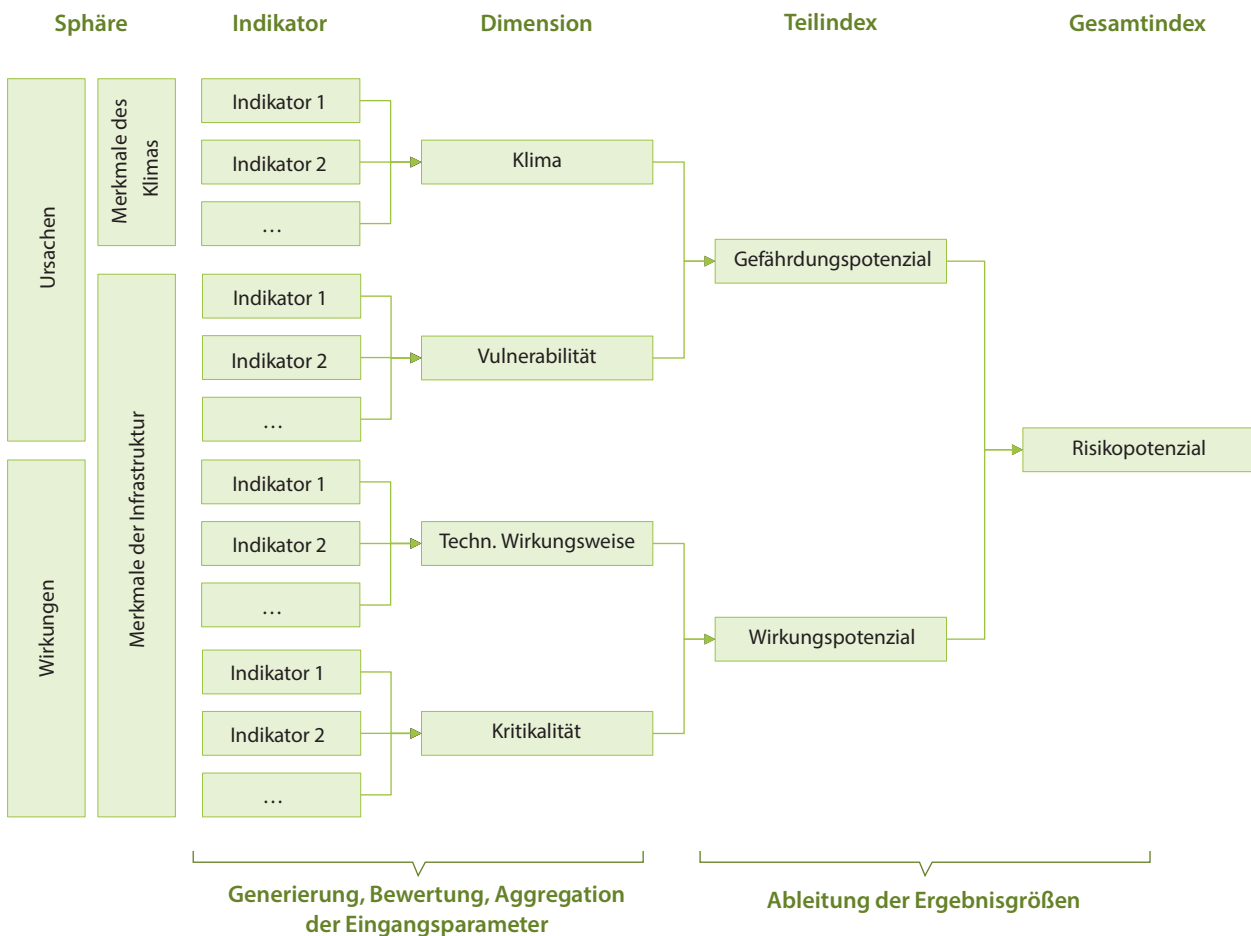
Alle Indikatoren werden einer der Dimensionen Klima, Vulnerabilität, Technische Wirkungsweise oder Kritikalität zugeordnet.

Die Dimensionen Klima und Vulnerabilität bilden die Sphäre der Ursachen ab. Die Dimension Klima umfasst alle in die Methodik einfließenden Klimaindikatoren. Merkmale des Klimas spielen für zu betrachtende Risiken ausschließlich als Ursachen eine Rolle. Ebenfalls ursachenbezogen sind jene Merkmale der Infrastruktur, die sich der Dimension Vulnerabilität zuordnen lassen. Entsprechende Indikatoren dieser Dimension beschreiben Merkmale in Bezug auf individuelle Lage und Trassierung, bauliche und konstruktive Merkmale oder zum Beispiel auch verkehrliche Belastung.

Merkmale der Infrastruktur bestimmen jedoch auch, wie sich Risiken potenziell auswirken. Sie beeinflussen entweder die grundsätzliche technische Art und Weise der Wirkungen

3

Grundstruktur des hierarchischen RIVA-Indikatorenmodells



Quelle: verändert nach Korn et al., S. 29

oder sie beeinflussen das Ausmaß der verkehrlichen Wirkungen. Für Indikatoren der entsprechenden Sphäre Wirkungen werden daher die beiden Dimensionen Technische Wirkungsweise und Kritikalität unterschieden. Die Dimension Technische Wirkungsweise umfasst dabei Indikatoren für Infrastrukturmerkmale, die die grundsätzliche technische Art der Wirkungen beeinflussen. Der Begriff Kritikalität beschreibt wiederum, welche Bedeutung einer Infrastruktur beigemessen wird in Bezug auf die Konsequenzen, die sich aus einer Funktionsstörung für die Verkehrs- und Warenströme und damit für die Gesellschaft ergeben. Die Kritikalität umfasst Indikatoren der verkehrlichen Bedeutung einer Infrastruktur.

Ergebnisgrößen

Das Indikatorenmodell verknüpft die Informationen von Einzelindikatoren über mathematische Verknüpfungen systematisch, um thematische Zusammenhänge abzubilden und Informationen zu kombinieren und zu verdichten.

Auswahl und Operationalisierung der Indikatoren fußen auf den Erkenntnissen aus Identifikation und Analyse der Risiken und Ursache-Wirkungs-Ketten. Durch Aggregation (Kombination) von Einzelindikatoren erfolgt die Ableitung von Indizes als zusammengesetzte Indikatoren der jeweiligen Dimensionen.

Aus den Indikatoren der Ursachensphäre (Dimensionen Klima und Vulnerabilität) lässt sich über die Aggregation der Informationen ein Index für das Gefährdungspotenzial ableiten. Die Indikatoren der Wirkungssphäre (Dimensionen Technische Wirkungsweise und Kritikalität) führen durch Aggregation der Informationen zur Ableitung eines Index für das Wirkungspotenzial. Aus der Kombination dieser beiden Teilindizes entsteht schließlich ein Index für das Risikopotenzial. Dieser Index ist die finale Ergebnisgröße des RIVA-Indikatorenmodells. Er verknüpft alle Indikatorinformationen der Ursachen- und der Wirkungssphäre.

Abbildung 3 zeigt die Grundstruktur des RIVA-Indikatorenmodells. Deutlich werden die Zuordnung der Indikatoren zum Sphären-Paar „Ursachen“ und „Wirkungen“ und zum Sphären-Paar „Merkmale des Klimas“ und „Merkmale der Infrastruktur“, die Gliederung in die vier Dimensionen Klima, Vulnerabilität, Technische Wirkungsweise und Kritikalität sowie die als Indizes abgeleiteten drei wesentlichen Ergebnisgrößen Gefährdungspotenzial, Wirkungspotenzial und Risikopotenzial.

Betrachtungseinheit

Straßeninfrastruktur besteht aus verschiedenen Elementen, die unterschiedlichen Risiken ausgesetzt sind. Sie werden als Risikoelemente bezeichnet und umfassen ortsfeste Elemente wie Brücken, Tunnel, Böschungen, Fahrbahnen oder Ableitungssysteme für Regenwasser sowie die Verkehrsteilnehmer (Personen und Fahrzeuge). Risikoelemente können entweder selbst Schaden erleiden oder durch ihr – gegebenenfalls temporäres – Funktionsversagen zu Schäden oder Beeinträchtigungen an anderen Risikoelementen führen.

Risikoidentifikation und -analyse zeigten, dass klimabedingte Schäden und Einschränkungen an Risikoelementen nicht immer nur durch genau eine bestimmte Art von Klimaereignis hervorgerufen werden können, sondern oft verschiedene Klimaereignisse – gegebenenfalls auch in Kombination – eine wesentliche Rolle spielen.

Zentrale Betrachtungseinheit der RIVA-Methodik ist deshalb die Schadensbildkategorie (SBK). Eine Schadensbildkategorie umfasst für ein bestimmtes Risikoelement typische Erscheinungsformen von Schäden (und Einschränkungen), die durch bestimmte Klimaereignisse verursacht werden können. Im RIVA-Projekt wurden zunächst 32 technische und drei verkehrsteilnehmerbezogene Schadensbildkategorien identifiziert.

Verschiedene Klimaereignisse (oder Kombinationen) können an einem Risikoelement ähnliche Schadensbilder bewirken. Ein Beispiel hierfür sind oftmals temperaturbedingte Schäden und Einschränkungen resultierend aus Ereignissen hoher oder niedriger Temperaturen. Dennoch werden hier zwei Schadensbildkategorien unterschieden. Zum einen, weil für hohe und niedrige Temperaturereignisse in der Klimaprojektion gegenläufige Entwicklungen erwartet werden. Eine gemeinsame Schadensbildkategorie würde dann also zu Fehlinterpretationen führen, wenn sich Effekte gegenseitig aufheben. Zum anderen ist zu berücksichtigen, dass sich die Vulnerabilitätsindikatoren eines Risikoelements in Bezug auf die Gefährdung durch hohe oder niedrige Temperaturen voneinander unterscheiden können.

Für jeden Streckenabschnitt lassen sich die Ergebnisgrößen je Schadensbildkategorie ermitteln. Dazu fließen für jede Schadensbildkategorie spezifische Indikatoren (Merkmalsparameter) ein, die Merkmale des Klimas, der Vulnerabilität der Infrastruktur und SBK-spezifische Merkmale der Wirkungen umfassen (vgl. Abb. 3). SBK-unabhängige Indikatoren

der Wirkungen und der Kritikalität fließen je Streckenabschnitt ein.

Die Methodik sieht für alle Indikatoren Ausprägungsstufen in einer vierstufigen Skala vor, wobei sich die Ausprägungsstufen SBK-abhängig unterscheiden können.

Ausprägungsstufen und Schwellenwertbereiche werden für jeden Indikator spezifisch festgelegt. Für die Dimension Vulnerabilität beispielsweise erfolgt dies anhand der Einschätzung, bei welcher Ausprägung einer Eigenschaft eines konkreten Infrastrukturelementes von einer „geringen“, „mittleren“, „hohen“ oder „sehr hohen“ Anfälligkeit gegenüber einem bestimmten Klimaereignis ausgegangen werden kann. Die Indikatoren werden gewichtet, um unterschiedlichen Einflussgraden Rechnung zu tragen.

Die Methodik ermöglicht zudem, andere oder weitere Schadensbildkategorien zu definieren sowie Indikatorensets, Ausprägungsstufen und Wichtungen zu modifizieren. Auf diese Weise lassen sich untersuchungsspezifische Anpassun-

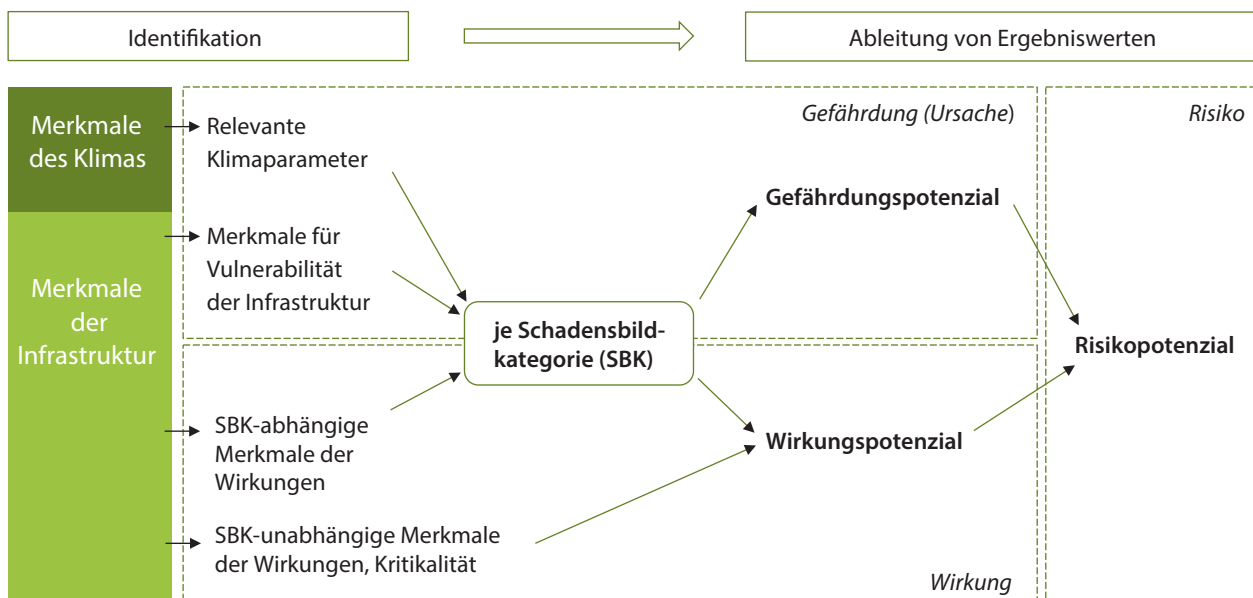
gen vornehmen und neue Forschungserkenntnisse einbeziehen.

Betrachtungsmaßstab und Datengrundlagen

Die RIVA-Methodik wurde für die Betrachtung von klima-induzierten Risiken für das Netz der Bundesfernstraßen entwickelt. Die Ergebnisgrößen werden strukturiert nach Risikoelementen und ihren jeweiligen Schadensbildkategorien je Streckenabschnitt generiert. Für RIVA wurde als ein Streckenabschnitt der verkehrswirksame Abschnitt zwischen zwei Netzknoten (z. B. Anschlussstellen) definiert. Anderweitig definierte Abschnittslängen wären jedoch ebenso abbildbar. Die RIVA-Methodik ermöglicht eine netzweite Risikobetrachtung unter Nutzung standardisiert erhobener und digitalisierter Daten. Dazu gehören Zustandsdaten des Streckenoberbaus, Bestands- und Aufbaudaten, topografische Daten, Verkehrsdaten und ähnliche Datenquellen. Für den Bereich der Bundesfernstraßen wurden insbesondere folgende Datenquellen herangezogen: IT-ZEB, BISStra, SIB-Bauwerke, SVZ2005, digitales Geländemodell.

4

Betrachtungseinheit Schadensbildkategorie (SBK) und Einfließen der SBK-abhängigen Merkmale (vereinfacht)



Quelle: verändert nach Korn et al., S. 31

RIVA-Pilotwerkzeug und die Risikobewertung von 1.200 km Bundesfernstraßen

Um die Praxistauglichkeit der RIVA-Methodik zu testen, erarbeitete das RIVA-Projektteam auf Basis der entwickelten Methodik ein modular aufgebautes Pilotwerkzeug und testete es exemplarisch an neun Untersuchungsstrecken mit insgesamt rund 1.200 km Länge.

Die Analysen erfolgten für die vier Betrachtungszeiträume 1971–2000 (Beobachtungszeitraum), 2011–2040, 2041–2070 und 2071–2100 (Projektzeiträume). Für die neun Untersuchungsstrecken waren Klimadaten und -projektionen aus elf Klimaregionen einzubeziehen.

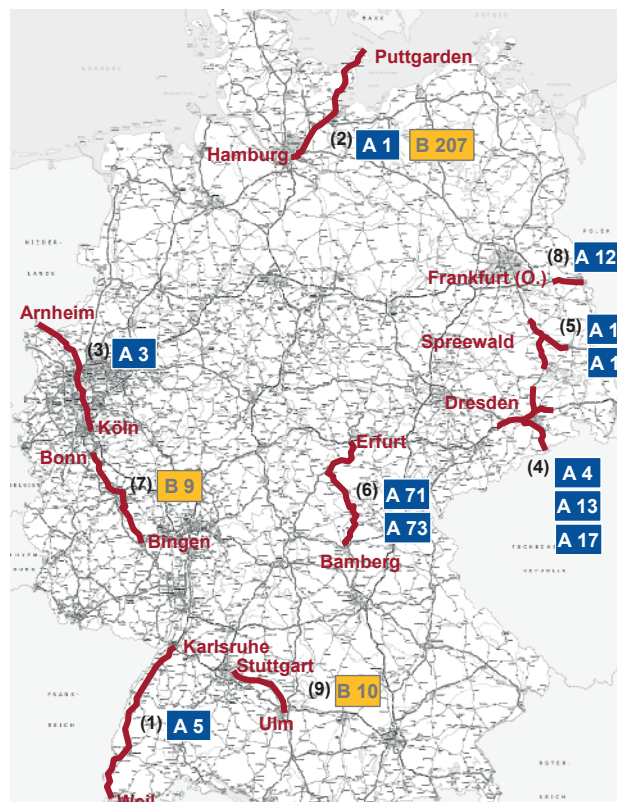
Die Untersuchungsstrecken repräsentierten unterschiedliche klimatische und geografische Bedingungen, hohe und niedrige Verkehrsbelastungen, verschiedene Bauweisen sowie unterschiedliche Erhaltungszustände und Alter.

Die in die exemplarische Bewertung einbezogenen Schadensbildkategorien und das Gesamtbild über alle Untersuchungsstrecken zeigen, dass vor allem die Risikopotenziale in Zusammenhang mit hitzebedingten Schadensbildkategorien eine vergleichsweise deutliche Zunahme bis zum Projektionszeitraum 2071–2100 erfahren. Dazu gehören zum Beispiel hitzebedingte Schäden an Asphalt- oder an Betonfahrbahnen. Trotz ihrer Lage in unterschiedlichen Klimaregionen und unterschiedlichen Ausgangsniveaus der Risikopotenziale waren alle Untersuchungsstrecken davon betroffen. Demgegenüber ließ sich ein genereller Rückgang der frostbedingten Risikopotenziale ablesen. Niederschlagsbedingte Risikopotenziale hingen hingegen wesentlich von den individuellen Merkmalen der jeweiligen Infrastruktur und den klimatologischen Parametern in der jeweiligen Klimaregion ab. Ein eindeutiger Trend ließ sich nicht ausmachen.

Insgesamt waren insbesondere Zustand, Alter, Verkehrsbelastung und Bauweise wesentliche vulnerabilitätsbeeinflussende Merkmale der Straßeninfrastruktur. Zu berücksichtigen ist, dass sich die drei Aspekte Zustand, Alter und Verkehrsbelastung über die Zeit ändern und bei Infrastrukturelementen gleicher Art, Bauweise und Lage deutlich unterscheiden können. Dies kann zu deutlich unterschiedlichen Vulnerabilitätsbewertungen und damit auch Gefährdungspotenzialen führen. Insofern deuten die Ergebnisse der exemplarischen Untersuchungen darauf hin, dass geeignete Erhaltungsstrategien eine wesentliche Rolle für die Minderung klimainduzierter Risiken spielen. Die Integration der Sphäre der Wirkungen, also der Art und Weise potenzieller Wirkungen

5

Untersuchungsstrecken für die exemplarische Risikobewertung im RIVA-Projekt



Quelle: Korn et al., S. 30

sowie der Kritikalität der konkreten Infrastruktur, in den systematischen Bewertungsvorgang machte unterschiedliche Wirkungspotenziale für die verschiedenen Schadensbildkategorien und bezogen auf die einzelnen Streckenabschnitte sichtbar. Das ist ein wesentlicher Mehrwert der RIVA-Methodik: Im Gegensatz zu anderen Konzepten zur Risikobewertung, zum Beispiel dem des Umweltbundesamtes für eine Klimawirkungsanalyse, die ausschließlich oder hauptsächlich die Ursachensphäre berücksichtigen, erlaubt die RIVA-Methodik auch eine systematische Differenzierung der identifizierten potenziellen Risiken aus wirtschaftlicher Perspektive.

Entwicklung einer GIS-basierten Anwenderlösung

DeTECToR – Anwenderlösung auf Basis der RIVA-Methodik

Die Entwicklung einer GIS-basierten Anwenderlösung auf Basis der RIVA-Methodik und des Pilotwerkzeuges für die Bewertung von klimainduzierten Risiken für Straßen erfolgte im Projekt DeTECToR (Decision support tools for embedding climate change thinking on roads). Dabei handelt es sich um ein Forschungsprojekt im Auftrag der Conference of European Directors of Roads (CEDR). Die Ergebnisse erscheinen in Kürze (weitere Infos zum Projekt: TRL o. J.; DeTECToR 2018).

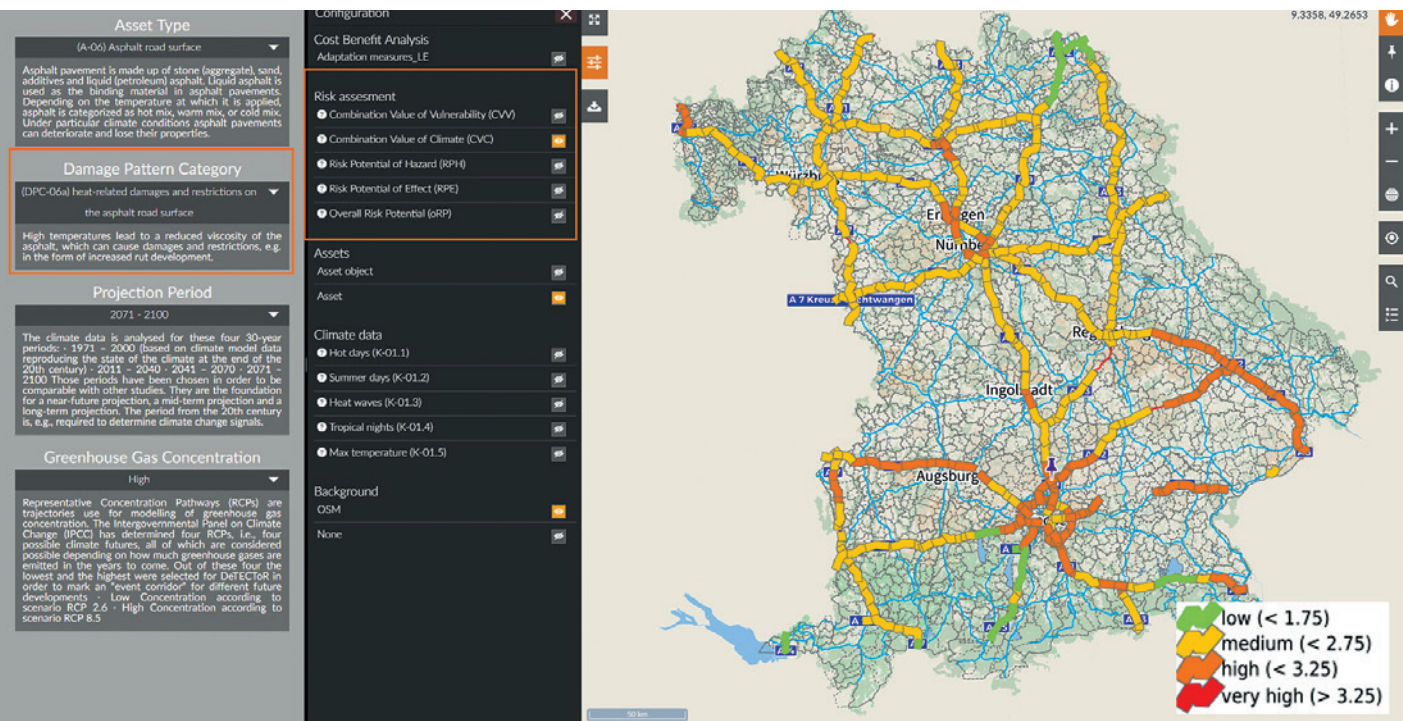
In DeTECToR fließen netzweit Klimadaten in einer Rastergröße von 12x12 km aus CORDEX (Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment) ein. Für Merkmalsparameter der Infrastruktur wird auf Datenbanken der Straßenbauverwaltungen abgestellt. Die Bewertungen werden aggregiert je Streckenabschnitt ausgegeben. Möglich ist jedoch auch eine Auswertung in detaillierterem Maßstab, zum Beispiel in 100-Meter-Abschnitten in Einklang mit dem Maßstab der Aufbaudatenbanken für Autobahnen, da die Berechnungen

entsprechend des Detaillierungsgrades der Grundlagendaten erfolgen.

Die Software wurde für hitze- und frostbedingte Schadensbildkategorien für das Autobahnnetz Österreichs, den Freistaat Bayern und Schottland getestet. Für Schottland erfolgte zudem eine Bewertung der Risiken in Zusammenhang mit dem Anstieg des Meeresspiegels und Sturmereignissen. Das in die Betrachtung einbezogene Streckennetz der drei Pilotregionen umfasste insgesamt 5.000 km Straßen.

Abbildung 6 zeigt eine Ebene der Benutzeroberfläche des webbasierten DeTECToR-Analysetools. Über Menüs erfolgt die Auswahl der zu betrachtenden Schadensbildkategorie, des Projektionszeitraums und des Emissionsszenarios sowie der zu generierenden Ergebnisgröße(n) und Teilindizes. Die Ergebnisse können in unterschiedlichen Detaillierungsgraden als Karten visualisiert und Klimaindikatoren als zusätzliche Layer eingeblendet werden (vgl. Abb. 7). Zudem ist eine tabellarische Zusammenstellung der Ergebnisse möglich.

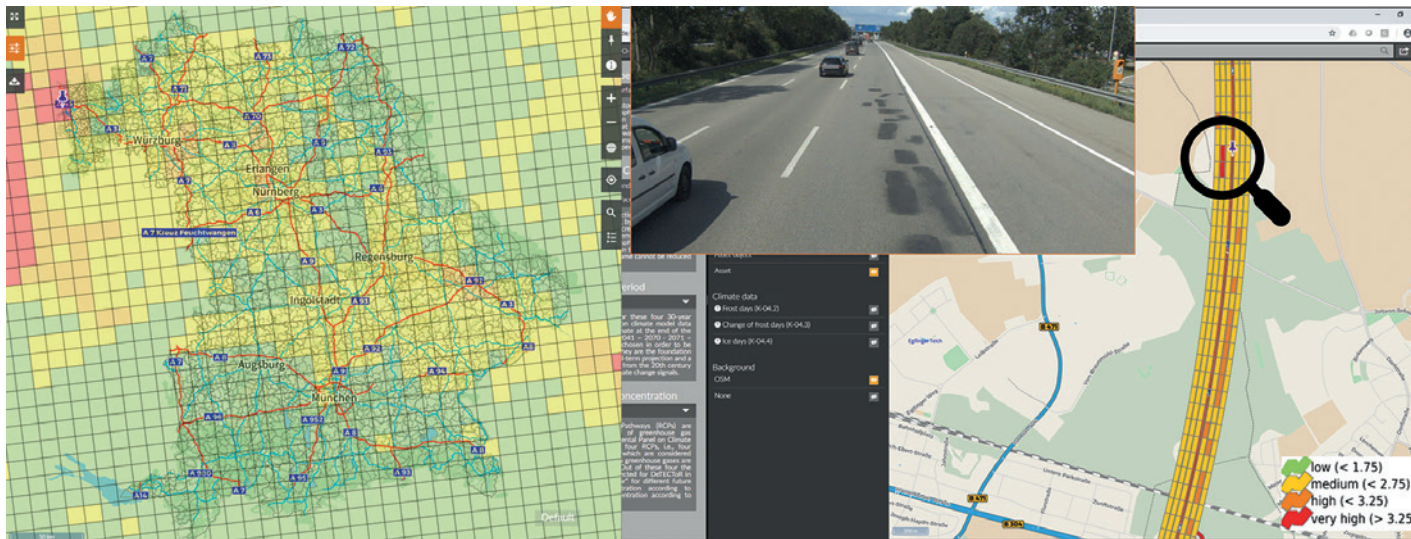
6 Ansicht webbasierte Oberfläche des DeTECToR-Analysetools



Quelle: DeTECToR 2018

7

Ansicht webbasierte Oberfläche des DeTECToR Analysetools – links: Layer tropische Nächte; rechts: Darstellung 100 m-Abschnitt



Quelle: DeTECToR 2018

Die DeTECToR-Software ist ausgelegt für eine Anwendung in verschiedenen Ländern und Regionen. Sie erlaubt zudem die Berücksichtigung neuer fachlicher Erkenntnisse und die Kalibrierung der Bewertungsroutinen und mathematischen Operationalisierungen.

Erweiterung um eine Kosten-Nutzen-Analyse

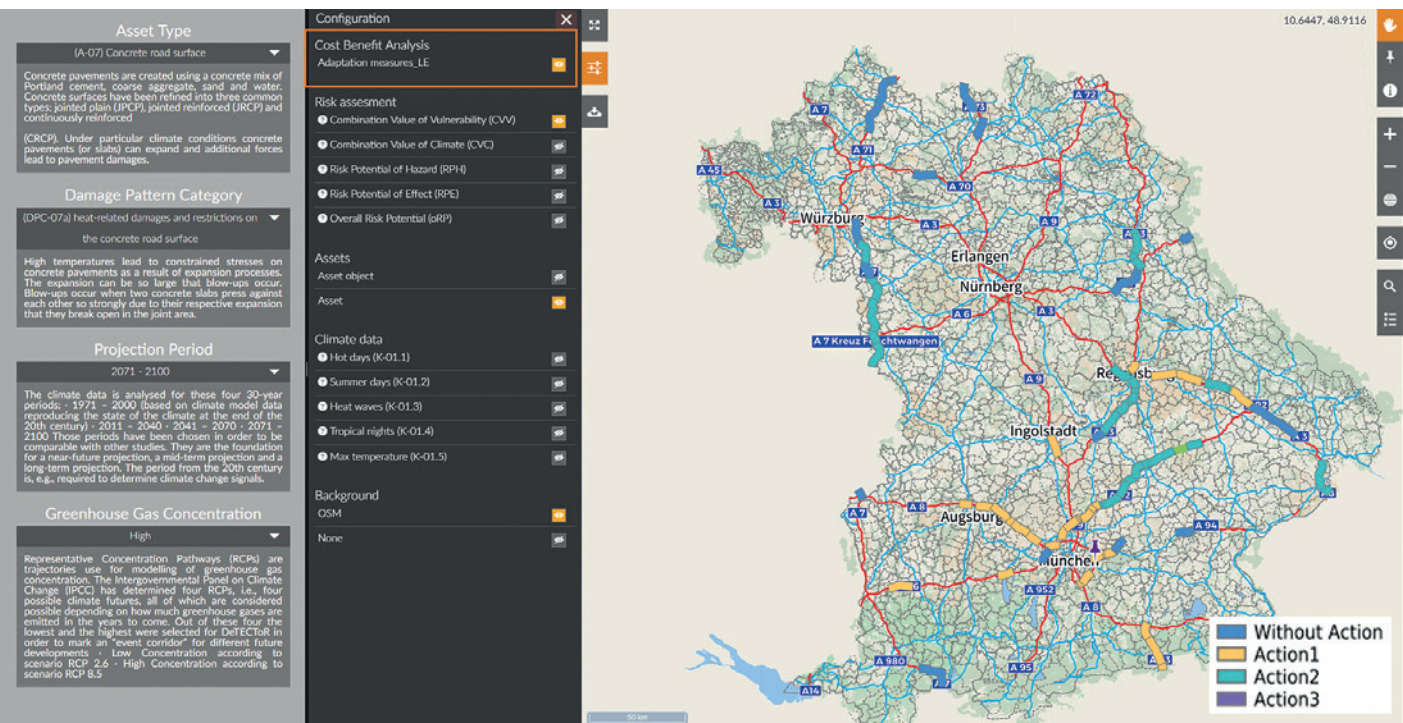
Die Risikobewertung nach der RIVA-Methodik wurde im Zuge des DeTECToR-Projekts um die Funktion einer Kosten-Nutzen-Analyse für den Vergleich möglicher Maßnahmen zur Risikobewältigung erweitert. Dadurch erlaubt die DeTECToR-Anwenderlösung für risikobehaftete Streckenabschnitte auch die Bewertung der direkten und indirekten Kosten oder Kostenersparnisse von bis zu drei Handlungsoptionen sowie der Option, keine Maßnahmen zu ergreifen (Null-Variante). Berücksichtigung finden sowohl direkte Kosten, zum Beispiel Kosten für die Reparatur der Infrastruktur, als auch indirekte Kosten, zum Beispiel Folgekosten von Verzögerungen im Verkehrsfluss.

Die Kosten-Nutzen-Analyse in DeTECToR bildet das Prinzip des Lebenszyklus-Ansatzes ab und betrachtet und bewertet Handlungsoptionen jeweils für einen Zeitraum von 30 Jahren. Das methodische Grundkonzept der Risikobewertung wurde deshalb dahingehend ergänzt, dass sich die je Kl-

maprojektionszeitraum generierten Bewertungsergebnisse auch auf jährliche Werte transformieren lassen. Bei den einfließenden Indikatoren der Vulnerabilität wird deshalb berücksichtigt, inwieweit diese über die Zeit unveränderlich sind oder Änderungen unterliegen.

Abbildung 8 zeigt die exemplarische Anwendung der Kosten-Nutzen-Analyse am Beispiel der Bewertung verschiedener Handlungsoptionen für eine bestimmte Schadensbildkategorie in einer Pilotregion. Für jeden Streckenabschnitt wird die Handlungsoption mit der geringsten Summe direkter und indirekter Kosten über einen Betrachtungszeitraum von 30 Jahren als vorteilhafteste ausgewiesen. Im Beispiel war in den südlichen Streckenabschnitten oftmals die Handlungsoption „Action 1“ am vorteilhaftesten, während sich im nördlichen Teil der Pilotregion überwiegend die Null-Variante als am vorteilhaftesten abzeichnete.

Die exemplarische Anwendung für die Pilotregionen zeigte, dass Kosten-Nutzen-Analysen im Anschluss an eine Risikobewertung und gezielt für die mit hohem Risiko beurteilten Streckenabschnitte durchgeführt werden sollten. Wichtig ist, dass Annahmen zu den direkten und indirekten Kosten streckenabschnittsspezifisch einfließen. Kosten-Nutzen-Analysen auf der Basis netzweiter Durchschnittswerte als Annahmen für direkte und indirekte Kosten erzeugen hingegen weniger aussagekräftige Ergebnisse.



Quelle: DeTECToR 2018

Folgerungen und Ausblick

Die Rückkopplung mit Netzverantwortlichen und Straßenbauverwaltungen sowohl im Zuge des RIVA-Projekts als auch des DeTECToR-Projekts zeigte, dass das Bewusstsein für klimainduzierte Risiken und für die Notwendigkeit ihrer systematischen Beurteilung für konkrete Straßennetze immer mehr zunimmt. Die RIVA-Methodik und die daraus entwickelte DeTECToR-Anwenderlösung schaffen umfänglich wichtige Voraussetzungen für solche Risikobetrachtungen.

Wesentlich ist, dass die RIVA-Methodik in einem hierarchischen Indikatorenmodell sowohl Ursache- als auch Wirkungssphäre klimainduzierter Risiken für Straßeninfrastruktur abbildet. Dazu werden Merkmale des Klimas und der Infrastruktur systematisch miteinander verschnitten und als zentrale Ergebnisgrößen Gefährdungs-, Wirkungs- und schließlich Risikopotenzialwerte ermittelt.

Die Verknüpfung der beiden Ursachendimensionen Klima und Vulnerabilität lässt Rückschlüsse auf die eigentliche

Gefährdung einer konkreten Infrastruktur zu. Gefährdungspotenziale bestehen folglich nur da, wo sich ändernde Klimaereignisse auf vulnerable Infrastrukturelemente treffen.

Mit den Wirkungsdimensionen Technische Wirkungsweise und Kritikalität lassen sich unterschiedliche Wirkungspotenziale der betrachteten Risiken für konkrete Infrastrukturabschnitte ableiten. Diese Möglichkeit einer systematischen Risikovalidierung in Hinblick auf Wirkungen, insbesondere in wirtschaftlicher Hinsicht, ist ein wichtiger Mehrwert der Methodik.

Das DeTECToR-Analysetool übersetzt die RIVA-Methodik in eine Anwenderlösung. Vorhandene Infrastrukturdaten können als Datengrundlagen in die Software einfließen. Sie ermöglicht eine abschnittsscharfe und indikative Risikobetrachtung für Straßennetze, strukturiert nach Risikoelementen und Schadensbildkategorien. Damit lassen sich Risiken im Netz verorten, den Elementen der Straßeninfrastruktur

zu- und nach ihrem grundsätzlichen Charakter einordnen. Durch den hierarchischen Aufbau der zugrundeliegenden Methodik sind anhand der jeweiligen Bewertungshistorie über die Teilindizes bis hinunter zu einzelnen Indikatoren für alle Risikodimensionen Rückschlüsse auf Risikotreiber möglich.

Die RIVA-Methodik und das darauf aufbauende DeTECToR-Analysetool ermöglichen aufgrund ihres hierarchischen und modularen Aufbaus zudem die Anpassung von Indikatorensets, Ausprägungsstufen und Wichtungen sowie die Modifikation abgebildeter Ursache-Wirkungs-Ketten. Auf diese Weise lassen sich Bandbreiten und Sensitivitäten betrachten, aber auch neue Erkenntnisse im Zuge von Forschungsfortschritt und Verbesserung von Datengrundlagen integrieren. Auch die Adaption der Methodik und des Tools für andere Infrastrukturen ist grundsätzlich möglich.

Die Ergebnisse der Risikobewertungen können Verantwortliche für Straßeninfrastruktur darin unterstützen, klimainduzierte Risiken aus der Gesamtschauerspektive hinsichtlich ihrer räumlichen, qualitativen und quantitativen sowie ins-

besondere auch ihrer wirtschaftlichen Bedeutung besser einzuschätzen. Sie können zum Beispiel wichtige Grundlage sein

- bei der Planung neuer Infrastrukturen,
- für die Identifikation und Priorisierung des Bedarfs für Maßnahmen zur Risikobehandlung (z. B. bei der Beurteilung des Anpassungsbedarfs für Richtlinien),
- bei der Entwicklung langfristiger Erhaltungs- und Betriebsstrategien,
- für den Vergleich unterschiedlicher Handlungsoptionen (z. B. bei Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen)
- sowie für die Identifikation im Detail zu untersuchender Straßenabschnitte.

Es gilt, die Vulnerabilität der Straßeninfrastruktur und die Wirkungen klimainduzierter Risiken möglichst zu minimieren und vorausschauend zu agieren.

Literatur

DeTECToR, 2018: CEDR-Call 2015 Final Conference Utrecht, 19. November 2018, DeTECToR-Workshop.

Korn, M.; Leupold, A.; Mayer, S.; Kreienkamp, F.; Spekat, A., 2017: RIVA – Risikoanalyse wichtiger Verkehrsachsen des Bundesfernstraßennetzes im Kontext des Klimawandels. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Reihe S: Straßenbau, Heft S. 109. Bundesanstalt für Straßenwesen (Hrsg.), Bergisch Gladbach: Fachverlag NW in der Carl Schünemann Verlag GmbH.

TRL, o. J.: Decision support tools for embedding climate change thinking on roads (DeTECToR). Zugriff: <https://detector.trl.co.uk> [abgerufen am 10.09.2019].