

Reihe KLIMOPASS-Berichte

Projektnr.: 4500188608/23

Entwicklung modellhafter Anpassungsstrategien  
der regionalen Straßeninfrastruktur in  
der Metropolregion Stuttgart  
an den Klimawandel

von Vogt, J., Keller, S. und Atzl, A.

Gefördert im Rahmen des Forschungsprogramms KLIMOPASS –  
Klimawandel und modellhafte Anpassung in Baden-Württemberg  
Grundlagenforschung regionale Klimafolgen  
aus Mitteln der Zukunftsoffensive III

März 2016

**KLIMOPASS**

**– Klimawandel und modellhafte Anpassung in Baden-Württemberg**



Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT

<b>HERAUSGEBER</b>	LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg Postfach 100163, 76231 Karlsruhe
<b>KONTAKT</b> <b>KLIMOPASS</b>	Dr. Kai Höpker, Daniel Schulz-Engler Referat Medienübergreifende Umweltbeobachtung, Klimawandel; Tel.:0721/56001465, <a href="mailto:klimopass@lubw.bwl.de">klimopass@lubw.bwl.de</a>
<b>BEARBEITUNG UND VERANTWORTLICH FÜR DEN INHALT</b>	Prof. Joachim Vogt, Sina Keller, Andreas Atzl, Institut für Städtebau und Landesplanung (ISL), Karlsruher Institut für Technologie (KIT) Kaiserstraße 12 76131 Karlsruhe
<b>BEZUG</b>	<a href="http://www.fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/91063/">http://www.fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/91063/</a> ID Umweltbeobachtung U83-W03-N28
<b>STAND</b>	März 2016, Internetausgabe März 2016

Verantwortlich für den Inhalt sind die Autorinnen und Autoren. Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie für die Beachtung privater Rechte Dritter. Die in den Beiträgen geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit denen des Herausgebers übereinstimmen.

Nachdruck für kommerzielle Zwecke - auch auszugsweise - ist nur mit Zustimmung der LUBW unter Quellenangabe und Überlassung von Belegexemplaren gestattet.

# Inhaltsverzeichnis

<b><u>1</u></b>	<b><u>AUFGABE DES FORSCHUNGSPROJEKTES KLIMOPASS-AKLIM</u></b>	
<b><u>2</u></b>	<b><u>AUFBEREITUNG VON INFRASTRUKTURDATEN IM RAUM STUTT GART</u></b>	<b><u>3</u></b>
2.1	Kritische Infrastruktur und normativ-rechtliche Grundlagen	3
2.2	Aufbereitung des Bestands und der Zuständigkeit der Straßen- und Schieneninfrastruktur im Untersuchungsraum	6
<b><u>3</u></b>	<b><u>SZENARIENANALYSE</u></b>	<b><u>12</u></b>
3.1	Prognose von Veränderungen der Infrastruktur in der Zukunft	12
3.2	Szenarien für die erwarteten Veränderungen entscheidender Klimaparameter in der Modellregion	17
<b><u>4</u></b>	<b><u>ABSCHÄTZUNG DER VULNERABILITÄT IN BEZUG AUF DEN KLIMAWANDEL</u></b>	<b><u>20</u></b>
4.1	Stand der Forschung zur Vulnerabilität von Energie- und Verkehrsinfrastrukturen unter den Annahmen des erwarteten Klimawandels	20
4.2	Empirische Erhebung zur Infrastruktur-Anpassung an den Klimawandel	26
4.2.1	Zielsetzung und Methode der qualitativen Expertenbefragung	26
4.2.2	Zielsetzung und Methode der standardisierten Erhebung	30
4.2.3	Ergebnisse der qualitativen Expertenbefragung	31
4.2.4	Ergebnisse der standardisierten Erhebung	48
4.3	Datenbasierte Analyse klimatischer Gefahren auf Autobahnen – modellhaft für eine Komponente der Verkehrsinfrastruktur in der Metropolregion Stuttgart	58
4.3.1	Zielsetzung und Methode der datenbasierten Analyse klimatischer Gefahren	58
4.3.2	Ergebnis I: Zukünftige Gefahren im Vergleich zum Referenzzeitraum	66
4.3.3	Ergebnis II: Darstellung ausgewählter modellierter Gefahren an einigen Glättemeldeanlage in der Metropolregion Stuttgart	74
<b><u>5</u></b>	<b><u>EMPFEHLUNGEN ZUR ANPASSUNG AN DEN KLIMAWANDEL</u></b>	<b><u>92</u></b>
<b><u>6</u></b>	<b><u>FAZIT UND AUSBLICK</u></b>	<b><u>119</u></b>
	<b><u>ANHANG</u></b>	<b><u>122</u></b>



# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Systemischer Ansatz nach Atzl & Keller (2013): KRITIS-Framework.....	3
Abbildung 2: Zustandswerte von Autobahnen, Bundesstraßen und Landesstraßen .....	7
Abbildung 3: Prognostizierte Entwicklung der CO <sub>2</sub> -Emissionen im Verkehrsbereich im Energie- szenario BW .....	16
Abbildung 4: Prognostizierte Entwicklung des Energieverbrauchs im Verkehrsbereich im Energie- szenario BW .....	16
Abbildung 5: Klimaschutz-Stellen und Abdeckung von Maßnahmen-Kategorien in den Stadtkreisen und Großen Kreisstädten der Metropolregion Stuttgart.....	50
Abbildung 6: Klimaanpassungsstellen und Abdeckung von Maßnahmen-Kategorien in den Stadtkreisen und Großen Kreisstädten der Metropolregion Stuttgart .....	52
Abbildung 7: Abdeckung von Einzelmaßnahmen mit inhaltlichem Bezug zur Klimaanpassung des Verkehrssektors in den Stadtkreisen und Großen Kreisstädten der Metropolregion Stuttgart.....	57
Abbildung 8: Standorte der Glättemeldeanlagen an den Autobahnen in der Metropolregion Stuttgart.....	60
Abbildung 9: Glättegefahr 3A „Regen auf warmer Fahrbahn“ im Referenzzeitraum 1971 bis 2000 .....	75
Abbildung 10: Glättegefahr 3A „Regen auf warmer Fahrbahn“ in der nahen Zukunft 2021 bis 2050 .....	76
Abbildung 11: Glättegefahr 3A „Regen auf warmer Fahrbahn“ an der Station AK Stuttgart A (Autobahn A8) im Referenzzeitraum 1971-2000.....	77
Abbildung 12: Glättegefahr 3A „Regen auf warmer Fahrbahn“ an der Station AK Stuttgart A (Autobahn A8) in der nahen Zukunft 2021-2050.....	78
Abbildung 13: Glättegefahr 5 „Raureif mit geringer Sichtweite“ im Referenzzeitraum 1971 bis 2000 .....	79
Abbildung 14: Glättegefahr 5 „Raureif mit geringer Sichtweite“ in der nahen Zukunft 2021 bis 2050 .....	80
Abbildung 15: Glättegefahr 5 „Raureif mit geringer Sichtweite“ an der Station Wolfskopf (A6) im Referenzzeitraum 1971-2000.. .....	82
Abbildung 16: Glättegefahr 5 „Raureif mit geringer Sichtweit“ an der Station Wolfskopf (Autobahn A6) in der nahen Zukunft 2021-2050.....	83
Abbildung 17: „Heftiger Starkregen“ im Referenzzeitraum 1971 bis 2000 .....	84
Abbildung 18: „Heftiger Starkregen“ in der nahen Zukunft 2021 bis 2050 .....	85
Abbildung 19: „Hitzegefahr III-B“ im Referenzzeitraum 1971 bis 2000.....	88
Abbildung 20: „Hitzegefahr III-B“ in der nahen Zukunft 2021 bis 2050.....	89
Abbildung 21: Hitzegefahr III-B ( $T_{Luft} > 32^{\circ}C$ & $T_{Belag} > 46^{\circ}C$ )an der Station Stuttgart 4 (Autobahn A8) im Referenzzeitraum 1971-2000 .....	90

Abbildung 22: Hitzegefahr III-B ( $T_{\text{Luft}} > 32^{\circ}\text{C}$ & $T_{\text{Belag}} > 46^{\circ}\text{C}$ ) an der Station Stuttgart 4 (Autobahn A8) in der nahen Zukunft 2021-2050. ....	91
Abbildung 23: Erhaltungsmanagement für 2014 auf Grundlage der Zustandserfassung und -bewertung 2011 auf Bundesstraßen .....	123
Abbildung 24: Erhaltungsmanagement für 2014 auf Grundlage der Zustandserfassung und -bewertung 2012 auf Landesstraßen .....	124
Abbildung 25: Übersichtskarte: Schienennetz in der Region Stuttgart .....	125
Abbildung 26: Übersichtskarte: Versorgungsleitungen in der Verband Region Stuttgart. Anmerkung aus Verband Region Stuttgart (2009) .....	126

# Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Zusammenfassung: Bestand Straßen- und Schienennetz in Baden-Württemberg insbesondere in der Region Stuttgart.....	10
Tabelle 2:	Überblick zum Stand der Forschung zur Vulnerabilität von Energie- und Verkehrsinfrastruktur gegenüber dem Klimawandel in der Metropolregion Stuttgart.....	23
Tabelle 3:	Übersicht über die Anzahl der befragten Experten nach Art der Gebietskörperschaft/der Verwaltungsebene und Größe der Gebietskörperschaft (N=34) .....	29
Tabelle 4:	Übersicht über die Anzahl der befragten Experten nach Art der Gebietskörperschaft/der Verwaltungsebene und Fachgebiet der Experten (N=34).....	29
Tabelle 5:	Übersicht über die Anzahl der befragten Experten nach Fachgebiet der Experten und Größe der Gebietskörperschaft (N=34) .....	30
Tabelle 6:	Barrieren der Anpassung des Verkehrssektors an den Klimawandel nach Organisations-Merkmalen nach Expertenmeinung .....	33
Tabelle 7:	Anreize zur Anpassung des Verkehrssektors an den Klimawandel nach Organisations-Merkmalen nach Expertenmeinung .....	37
Tabelle 8:	Von Experten geäußerter Handlungsbedarf zur Anpassung des Verkehrssektors an den Klimawandel (Eigene Darstellung) .....	47
Tabelle 9:	Anteil Städte und Kreise in Baden-Württemberg und der Metropolregion Stuttgart mit einer ausdrücklich für Klimaschutz zuständigen Stelle nach Jahrzehnt der Stelleneinrichtung.....	49
Tabelle 10:	Anteil Städte und Kreise in Baden-Württemberg und der Metropolregion Stuttgart mit einer ausdrücklich für Klimaanpassung zuständigen Stelle nach Jahrzehnt der Stelleneinrichtung.....	51
Tabelle 11:	Anzahl der Kommunen in Baden-Württemberg und der Metropolregion Stuttgart mit Maßnahmen in den Bereichen Klimaschutz, Anpassungs-Strategie sowie Maßnahmen mit inhaltlichem Bezug zur Anpassung der Verkehrsinfrastruktur.....	54
Tabelle 12:	Potentielle Gefahren für Straßeninfrastruktur in der Metropolregion Stuttgart. Klassifikation mit Beschreibung der Ursachen .....	64
Tabelle 13:	Vergleich der Glätte-Gefahren zwischen dem Referenzzeitraum 1971 bis 2000 und der nahen Zukunft 2021 bis 2050 .....	68
Tabelle 14:	Vergleich der Starkniederschlags- und Hitze-Gefahren zwischen dem Referenzzeitraum 1971 bis 2000 und der nahen Zukunft 2021 bis 2050 .....	70
Tabelle 15:	Vergleich der Wind-Gefahren zwischen dem Referenzzeitraum 1971 bis 2000 und der nahen Zukunft 2021 bis 2050 .....	72
Tabelle 16:	Zielgruppen-spezifische Empfehlungen zur Anpassung der Autobahnen an den Klimawandel.....	94

Tabelle 17:	Zielgruppen-spezifische Empfehlungen zur Anpassung der Bundesstraßen an den Klimawandel.....	100
Tabelle 18:	Zielgruppen-spezifische Empfehlungen zur Anpassung der Landesstraßen an den Klimawandel.....	105
Tabelle 19:	Zielgruppen-spezifische Empfehlungen zur Anpassung der Kreis- und kommunalen Straßen an den Klimawandel .....	110
Tabelle 20:	Zielgruppen-spezifische Empfehlungen zur Anpassung der Schieneninfrastruktur an den Klimawandel .....	115

# 1 Aufgabe des Forschungsprojektes

## KLIMOPASS-AKLIM

Die Auswirkungen des Klimawandels sind regional unterschiedlich. Bis 2100 wird in Deutschland beispielsweise ein Temperaturanstieg um zwei bis vier Grad prognostiziert (WBGU, 2009, S. 2). Diese Prognose bezieht sich auf den Referenzzeitraum von 1961 bis 1990 und basiert u.a. auf den getroffenen Annahmen der möglichen Entwicklung der Treibhausgasemissionsentwicklung. Diese Prognosen zeigen eine erhebliche Beschleunigung zurückliegender Klimaänderungen. In Baden-Württemberg erhöhte sich die Jahresmitteltemperatur von acht Grad Celsius auf über neun Grad Celsius im Zeitraum 1901 bis 2012. Das Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft stellt fest, dass die Höchstniederschläge im Winter um etwa 35 Prozent zugenommen und die Anzahl der Schneetage in den tiefer gelegenen Regionen um 30 bis 40 Prozent abgenommen haben (Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg & Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, 2012, S. 7). Unter Betrachtung der regionalen Klimaprojektionsmodelle sind die Zunahme der Lufttemperatur, die Erhöhung der Niederschlagsmenge im Winter sowie eine Veränderung der Klimaextreme je nach Region in Baden-Württemberg unterschiedlich ausgeprägt (Wagner, 2013b, S. 36ff).

Das KLIMOPASS-Teilprojekt des Instituts für Meteorologie und Klimatologie (IMK) am Karlsruher Institut für Technologie errechnet Ensembles hoch aufgelöster regionaler Klimasimulationen, um die regionalen Klimaänderungen in Baden-Württemberg und die damit verbundenen Auswirkungen zu analysieren. Diese Simulationen dienen als Grundlage zur Abschätzung des Klimawandels, um letztlich Anpassungsmaßnahmen daraus ableiten zu können. In dem KLIMOPASS-AKLIM Teilprojekt werden aufbauend auf einzelnen Klimadatensätzen des IMKS Auswirkungen des Klimawandels und damit verbundenen Veränderungen von Gefahren für Verkehrsinfrastrukturen und mit diesen verknüpfte Energieinfrastrukturen am Beispiel der Metropolregion Stuttgart untersucht. Die Metropolregion wurde als Bezugsraum gewählt, obwohl nur Aussagen über die Fläche des Verbands Region Stuttgart angestrebt wurden, da insbesondere die randlich gelegenen Gebiete des Verbands Region Stuttgart nur sinnvoll mit Datensätzen von Messstandorten zu modellieren sind, welche außerhalb der Region liegen. Dies ist in der flächenhaften Modellierung von Verwaltungseinheiten regelmäßig erforderlich. Aus diesem Grunde wurden auch die sozialwissenschaftlichen Teile dieser Untersuchung auf die Metropolregion Stuttgart bezogen.

Die Metropolregion Stuttgart umfasst die Landeshauptstadt Stuttgart, die fünf Landkreise Böblingen, Esslingen, Göppingen und Ludwigsburg als zentralen Verdichtungsraum sowie die Regionen Nordschwarzwald, Neckar-Alb, Ostwürttemberg und Heilbronn-Franken als Randzonen des Verdichtungsraumes, Verdichtungsgebiete im ländlichen Raum und ländlichen Raum (Verband Region Stuttgart, 2010). Beachtung finden die in der Metropolregion vorhandenen Straßen- und Schienennetze. Die Energieinfrastruktur ist in diesem Zusammenhang von zweifacher zentraler Bedeutung. Erstens müssen im Rahmen der Energiewende auch die für Mobilität genutzten Verkehrsinfrastrukturen an den Klimawandel angepasst werden. Zweitens ist die Auseinandersetzung mit der Energiewende und damit dem Klimawandel ein wesentlicher Anreiz für öffentliche Akteure, sich auch mit dem Thema Klimawandel-Anpassung auseinanderzusetzen. Die zukünftige Entwicklung des Klimawandels in der Metropolregion Stuttgart und die zukünftige Veränderung dieser Infrastrukturkomponenten stellen die Grundlage der eigentlichen Analyse von Gefahren für die Verkehrsinfrastrukturen dar.

Kernstück dieses Forschungsprojekts bildet ein interdisziplinärer Modellansatz zur Untersuchung der Veränderung von Gefahren für Verkehrsinfrastrukturen. Dieser Ansatz verknüpft die planerisch-sozialwissenschaftlichen Untersuchungen mit dem mathematischen Modell und führt dadurch eine Analyse aus zwei Perspektiven zusammen. Aus den Untersuchungsergebnissen des sozialwissenschaftlichen und planungsbezogenen Teils und der mathematischen Modellierung von exemplarischen Gefahren für Autobahnen werden Anpassungsstrategien und –maßnahmen abgeleitet. Diese sind, basierend auf den Zuständigkeiten im Verkehrsbereich, Zielgruppen-spezifisch und modellhaft für die Straßen- und Schieneninfrastruktur aufbereitet. Daher werden darauf aufbauend die Möglichkeiten der Übertragung des Ansatzes auf andere Regionen dargestellt.

Die folgenden Kapitel erläutern die schrittweise Vorgehensweise zur Entwicklung des KLIMOPASS-AKLIM-Ansatzes. Kapitel 2 gibt einen Überblick über den theoretischen Rahmen sowie Struktur, Zustand und relevante Akteure der Verkehrsinfrastruktur in der Metropolregion Stuttgart. Kapitel 3 widmet sich der erwarteten zukünftigen Entwicklung der Verkehrsinfrastruktur und stellt den Bezug zur zukünftigen Entwicklung der Energieinfrastruktur her. Außerdem werden in Kapitel 3 die für KLIMOPASS-AKLIM relevanten Szenarien zur Veränderung des Klimas dargestellt. In Kapitel 4 findet sich mit dem Ergebnisteil das Kernstück der Projektergebnisse. Das Kapitel beginnt mit einem Überblick über den Stand der Forschung zur Vulnerabilität kritischer Infrastruktur insgesamt sowie der Verkehrsinfrastruktur im Speziellen. Anschließend folgt ein Abschnitt mit der Darstellung der Methodik und der Ergebnisse des planerisch-sozialwissenschaftlichen Teils von KLIMOPASS-AKLIM. Im anschließenden Abschnitt werden die Methodik und Ergebnisse des naturwissenschaftlich-mathematischen Teils dargestellt. Kapitel 5 führt die Ergebnisse zusammen und gibt, bezogen auf einige modellhafte Typen von Verkehrsinfrastruktur, Zielgruppen-spezifische Empfehlungen zur Anpassung der Verkehrsinfrastruktur an den Klimawandel.

# 2 Aufbereitung von Infrastrukturdaten im Raum Stuttgart

## 2.1 Kritische Infrastruktur und normativ-rechtliche Grundlagen

Atzl & Keller (2013) haben das in Abbildung 1 dargestellte KRITIS-Framework entwickelt. Dieses bildet die Grundlage für die Identifizierung der Prozesse und Wechselwirkungen zwischen den drei Systemen – kritische Infrastruktur, naturräumliche Umwelt und soziale Umwelt – und letztlich der Bewertung von Klimawandel-Risiken für Infrastrukturen bzw. Infrastruktursectoren. Das KRITIS-Framework abstrahiert und vereinfacht in der Realität ablaufende Prozesse und Wechselwirkungen in einem Modell.

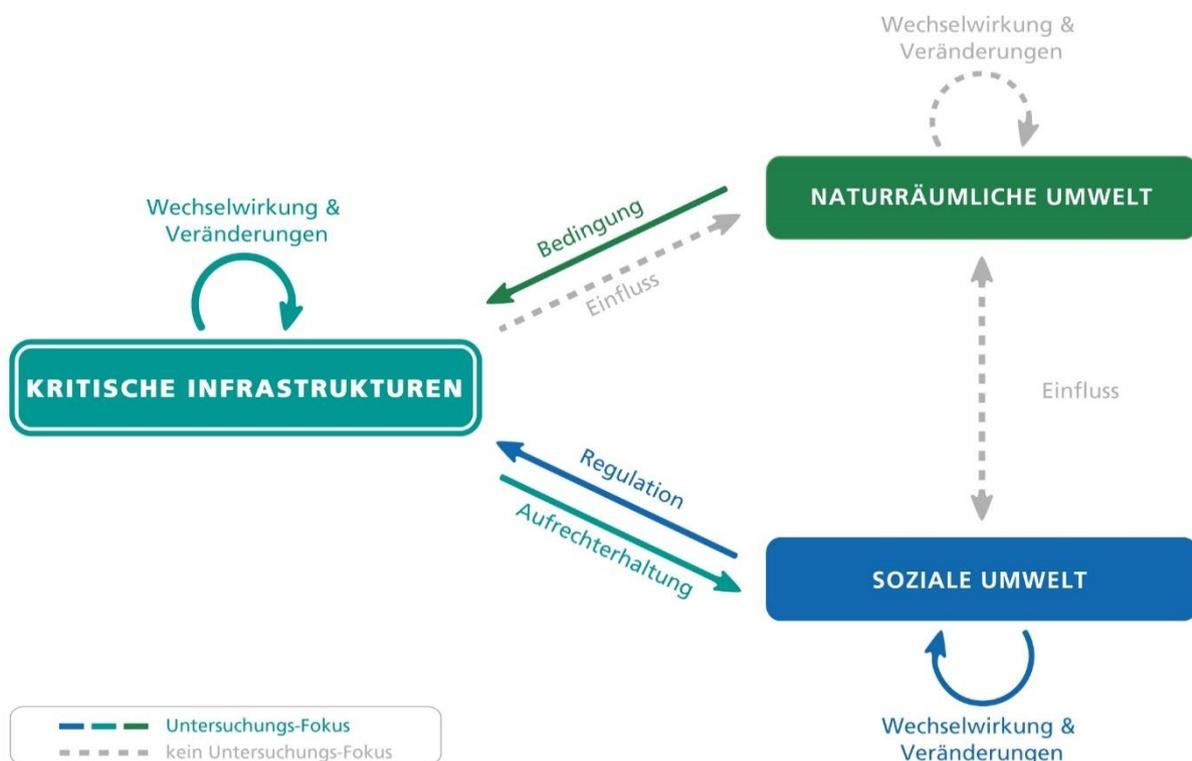


Abbildung 1: Systemischer Ansatz nach Atzl & Keller (2013): KRITIS-Framework

Das KRITIS-Framework als systemischer Ansatz versteht Infrastruktur als System (Wang, Hong & Chen, 2012; Rinaldi, Peerenboom & Kelly, 2001; Utne, Hokstad & Vatn, 2011). Einerseits definiert die naturräumliche Umwelt die physischen Bedingungen für das System der kritischen Infrastruktur. Andererseits regulieren Handlungen, Akteure und Strukturen der sozialen Umwelt die kritische Infrastruktur. In Bezug auf das Forschungskonzept von KLIMOPASS-AKLIM gilt es, jene Bedingungen aus der naturräumlichen Umwelt, die aufgrund des Klimawandels eine Gefahr für die Infrastruktur darstellen können, zu identifizieren und ggf. zu modellieren. Gleichzeitig finden Regulationsprozesse von Infrastruktursystemen aus der sozialen Umwelt statt. Die Identifikation dieser naturräumlichen und sozialen Prozesse hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf Infrastruktursysteme erlaubt die Formulierung von Empfehlungen für unterschiedliche Fachplanungen und Ebenen zur Anpassung von Infrastrukturen an den Klimawandel.

Kritische Infrastruktur im systemischen Ansatz von KLIMOPASS-AKLIM (Abbildung 1) beinhaltet alle technischen und organisatorischen Strukturen, die notwendig sind, um die Funktionen in der sozialen Umwelt aufrecht zu erhalten (Atzl & Keller, 2013, S. 31). Das System der kritischen Infrastruktur erschafft andere Systeme und Prozesse (Rinaldi et al., 2001, S. 12). Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Infrastruktursektoren sowie -komponenten und Kaskadeneffekte von einer Infrastruktur zu einer anderen, insbesondere bei einem Infrastrukturausfall, kennzeichnen kritische Infrastruktur als ein komplexes System (Rinaldi et al., 2001). Utne et al. (2011) beschreiben Verbindungen zwischen Infrastrukturen sowohl von physischem, virtuellem, logischem wie auch geographischem Charakter. Änderungen einer Infrastrukturkomponente oder Veränderungen innerhalb eines Infrastruktursektors können direkte sowie indirekte Effekte auf andere Infrastrukturkomponenten und Infrastruktursektoren haben (Wang et al., 2012).

Unter den kritischen Infrastrukturen, die im Projekt KLIMOPASS-AKLIM untersucht werden, werden großräumige Netzinfrastrukturen in der Metropolregion Stuttgart mit regionaler und überregionaler Bedeutung verstanden. Die föderale Struktur des deutschen Planungssystems und die Heterogenität der Akteure in Infrastrukturplanung, -bau, -betrieb und -erhaltung erfordern die Berücksichtigung unterschiedlicher Ebenen von den Kommunen bis zum Bund, sowie Fachplanungen von der Umweltplanung bis zur Straßenplanung, für die Analyse der Klimawandel-Auswirkungen und der Anpassung. Im Rahmen der Studie zeigte sich, dass die Bereitschaft zur Kooperation und Datenbereitstellung insbesondere bei öffentlich-rechtlichen Akteuren, die im deutschen Verkehrssektor eine wichtige Rolle spielen, relativ ausgeprägt ist. Der Energiesektor wird hingegen stärker von privaten bzw. privatwirtschaftlichen Akteuren dominiert. Wie sich zu Beginn des Projekts zeigte, stößt die Beforschung sensibler Bereiche wie dem Gefahrenmanagement sowohl in der Daten- wie auch in Informationsweitergabe rasch an Grenzen. Als Resultat dieser Datenlage, und da die Auswirkungen des Klimawandels auf den Energiesektor in einem weiteren Teilprojekt von KLIMOPASS ausführlich behandelt werden, konzentriert KLIMOPASS-AKLIM sich im System kritische Infrastruktur modellhaft auf den Sektor der Verkehrsinfrastruktur. Im vorliegenden Bericht behandeln die Autoren daher fortan die Verkehrsinfrastruktur als einen zentralen Sektor der kritischen Infrastruktur. Energieinfrastrukturen werden an Stellen berücksichtigt, an denen Überschneidungsbereiche mit dem Verkehrssektor existieren. Dies ist beispielsweise im Bereich der Straßentechnik der Fall, ebenso im Fall der E-Mobilität, die trotz ihrer ursprünglichen Herkunft aus dem Bereich der Klimawandel-Minderung für die Anpassung eine Rolle spielt.

Ausgehend vom System der naturräumlichen Umwelt wirkt der Klimawandel als ein Prozess jenes Systems nach dem KRITIS-Ansatz (Abbildung 1) zunächst in der naturräumlichen Umwelt. Durch die Veränderung der Prozesse innerhalb dieses Systems können Gefahren entstehen, die wiederum kritische Infrastrukturen beeinflussen. Wie Abbildung 1 darstellt, definieren die Prozesse der natürlichen Umwelt die Bedingungen für den Bau, Betrieb und die Weiterentwicklung von Infrastrukturen. Das naturräumliche System beinhaltet u.a. die Bestandteile Topographie, Klimatologie, Geomorphologie, Boden und Vegetation. Stärker ausdifferenzierte Elemente wie zum Beispiel Temperatur, Niederschlag und Relief charakterisieren die einzelnen Bestandteile des naturräumlichen Systems (Keller & Atzl, 2014, S. 228). Gegenstand der Forschung in KLIMOPASS-AKLIM ist der Bestandteil Klima. Dieser beinhaltet über eine definierte Zeitspanne Änderungssignale, die den Klimawandel charakterisieren. Spezifische Klima- oder Wettersignale resultieren aus einer Kombination von Klimaelementen wie Luftdruck, Lufttemperatur, Luftfeuchte, Bewölkungsgrad und Niederschlag und variieren von Ort zu Ort sowie auf verschiedenen räumlichen Auflösungen (Gares, Sherman & Nordstrom, 1994, S. 5; Burton, Kates & White, 1993). Die einzelnen Systemelemente sind voneinander abhängig und beeinflussen sich wechselseitig (Atzl & Keller, 2013, S. 32). Das komplexe System der naturräumlichen Umwelt verändert folglich seine Struktur sowohl im Laufe der Zeit als auch über den geographischen Raum hinweg. Massey (1999, S. 264) bezeichnet diese Eigenschaft als „Space-Time“. Keller und Atzl (2014) beschreiben, inwiefern die Veränderungen natürlicher Prozesse und deren mögliche Grenzüberschreitung Systeme beeinflussen, die wesentlich für die Gesellschaft sind. Natürliche

Prozesse sind solche, die in der naturräumlichen Umwelt ablaufen. Sie sind oftmals von Menschen beeinflusst (Becker, Jahn & Hummel, 2006, S. 174ff). In der Abstraktion dieser Prozesse in einem systemischen Ansatz wird eine Definition zugrunde gelegt, die natürliche Prozesse aus der Entstehung im System der naturräumlichen Umwelt versteht. Natürliche Prozesse können zu Gefahren und Katastrophen für kritische Infrastrukturen sowie die soziale Umwelt führen (Keller & Atzl, 2014, § 2). Letztlich können aufgrund veränderter Klimawandelsignale Gefahren für Verkehrsinfrastrukturen abnehmen, gleichbleiben oder zunehmen.

Je nach Systemkomponente reicht die Nutzungsdauer von Verkehrsinfrastruktursystemen von einem Jahrzehnt bis zu einem Vierteljahrhundert. So gehen die Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen (Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, 2012) von einem Nutzungszeitraum der Gesamtbefestigung von Verkehrsflächen in der Regel von 30 Jahren aus. In der Praxis liegen die Nutzungszeiträume über diesen 30 Jahren. Die vom Bundestag 2013 eingesetzte „Kommission Nachhaltige Verkehrsinfrastrukturfinanzierung“ des ehemaligen Verkehrsministers Bodewig (Bodewig-Kommission) stellt fest, dass rund 65 Prozent aller Brücken im Zeitraum 1965 bis 1985 gebaut worden sind (Kommission "Nachhaltige Verkehrsinfrastrukturfinanzierung", 2013, S. 8). Im Jahr 2014 haben damit die neuesten dieser Bauwerke ihren geplanten Nutzungszeitraum (beinahe) erreicht. Ausgehend von der Abschreibungsdauer kann jedoch insbesondere bei Brückenbauwerken von deutlich höheren Nutzungszeiträumen ausgegangen werden. Der Abschreibungszeitraum für Tunnel- und Brückenbauwerke im Straßen- und Schienennetz liegt nach der Abschreibungstabelle für allgemein verwendbare Anlagegüter, Wirtschaftszweig Personen- und Güterbeförderung (im Straßen- und Schienenverkehr) bei 75 Jahren (Bundesministerium der Finanzen, 1998). Die Abschreibungszeiträume nicht-baulicher Infrastrukturkomponenten wie z.B. Bussen und Bahnen liegen mit sechs bzw. 15 bis 20 Jahren deutlich unter 75 Jahren. Insgesamt zeigt sich, dass eine Berücksichtigung zukünftiger Veränderungen der Rahmenbedingungen der Verkehrsinfrastruktur notwendig ist. Diese Einbeziehung zukünftiger Veränderungen zu gewährleisten, ist eine Aufgabe der Akteure aus Infrastrukturplanung, Bau und Betrieb. Diese Akteursgruppe ist in Abbildung 1 in der sozialen Umwelt berücksichtigt.

Das Bewusstsein für die Notwendigkeit einer vorausschauenden und funktionssichernden Infrastrukturplanung ergibt sich auch aus der europäischen Diskussion um kritische Infrastrukturen (Atzl & Keller, 2013, S. 28). Diese entwickelte sich als Ergebnis der Anschläge vom 11. September 2001 in New York. Weitere wichtige Aspekte in der Diskussion um kritische Infrastrukturen waren ein aufkommender gesellschaftlicher Diskurs um klimatische Extremereignisse und die zunehmende Verwundbarkeit von Infrastrukturen aufgrund des erhöhten Digitalisierungsgrades (Atzl, Lerch, Luxen, Urban & Lackner, 2012, S. 57ff). Im Jahr 2005 veröffentlichte die EU-Kommission ein Grünbuch zum Schutz Europäischer kritischer Infrastrukturen (European Commission, 2005) als Grundlage für den Gesetzgebungsprozess. Drei Jahre später wurde die EU-Direktive zum Schutz Europäischer kritischer Infrastrukturen (European Commission, 2008) vom Europäischen Rat verabschiedet. Die Direktive umfasst nicht nur technische Infrastruktursysteme, sondern alle Systeme und Komponenten, die wichtige soziale Funktionen wie Gesundheit, Sicherheit und ökonomisches und ökologisches Wohlergehen der Bevölkerung sicherstellen (European Commission, 2008, §§ 2(a)). Als Europäische kritische Infrastrukturen werden im gleichen Absatz jene definiert, aus deren Unterbrechung oder Ausfall gravierende Folgen für einen Mitgliedsstaat resultieren würden. Die Nationale Strategie zum Schutz kritischer Infrastrukturen (KRITIS-Strategie: Bundesministerium des Innern, 2009) bündelt seit 2009 die auf nationaler Ebene in Deutschland vorhandenen und geplanten Maßnahmen zum Schutz kritischer Infrastrukturen. Diese KRITIS-Strategie stellt neben der Terrorabwehr den Schutz der Infrastruktur vor den Auswirkungen des Klimawandels bzw. Naturgefahren in den Vordergrund (Bundesministerium des Innern, 2009, S. 10). Die Definition konkreter Schutzmaßnahmen findet akteurs- und fachspezifisch anhand weiterer Programme, Pläne, Handlungsempfehlungen, aber auch technischer Normen und Standards statt (Bundesministerium des Innern, 2009, S. 16f).

Insgesamt verdeutlichen die genannten Dokumente, dass die Berücksichtigung zukünftiger klimatischer Entwicklungen aufgrund der zu erwartenden Klimaveränderungen in Kombination mit der langen Nutzungsdauer und den damit verbundenen Planungszeiträumen für technische Infrastruktursysteme dringend notwendig ist. Die im Zentrum des Projekts KLIMOPASS-AKLIM stehende technische Verkehrsinfrastruktur gliedert sich zunächst in die Bereiche Straßeninfrastruktur, Schieneninfrastruktur, Wasserwege und Flugverkehrsinfrastruktur. Die Zuständigkeiten für die Planung, den Bau, den Betrieb und den Erhalt dieser Infrastruktursysteme teilen sich unterschiedliche Verwaltungsebenen und private Akteure.

## **2.2 Aufbereitung des Bestands und der Zuständigkeit der Straßen- und Schieneninfrastruktur im Untersuchungsraum**

Die folgenden Abschnitte geben einen Überblick über die in Baden-Württemberg vorhandene Verkehrsinfrastruktur und die für Planung, Bau und Betrieb wichtigen Akteure. Die genannten Akteure sind insbesondere für den planerisch-sozialwissenschaftlichen Teil von KLIMOPASS-AKLIM von Bedeutung. Tabelle 1 fasst die wesentlichen Aspekte zum Bestand des Straßen- und Schienennetzes für die Metropolregion Stuttgart zusammen.

Das Straßennetz von Baden-Württemberg umfasst ca. 1.000 Kilometer Autobahnen und zusammengefasst 26.500 Kilometer Bundes-, Landes- und Kreisstraßen (Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr Baden-Württemberg, 2010, S. 37). Während die Straßenbaulast für Autobahnen und Bundesstraßen beim Bund liegt, tragen Kommunen mit mehr als 80.000 Einwohnern nach § 5 (2) FStrG die Straßenbaulast für Ortsdurchfahrten. Alle Gemeinden wiederum tragen die Baulast für Gehwege und Parkplätze (§ 5 (3) FStrG). Die Baulast für Landesstraßen liegt nach § 43 (1) und (2) StrG beim Land. Land- und Stadtkreise halten die Baulast für Kreisstraßen. Bei diesen Straßentypen liegt die Straßenbaulast für Ortsdurchfahrten ab einer Einwohnerzahl von 30.000 und unabhängig von der Einwohnerzahl für Gehwege und Parkplätze bei den Gemeinden (§ 43 (3) und (4) StrG).

Die Planung und Linienführung der Bundesfernstraßen obliegt nach § 16 (1) FStrG dem Bund im Benehmen mit den Ländern. Darüber hinaus sind die Gemeinden als Träger der Bauleitplanung in die Planung von Verkehrsinfrastrukturen eingebunden. Die Regierungspräsidien sind in Baden-Württemberg als höhere Straßenbaubehörden (§ 50 (2) StrG) zuständig für die Verkehrssteuerung, -überwachung und weitere operative Aufgaben an den Autobahnen und Bundesstraßen sowie nach § 50 (3) StrG Straßenbaubehörde für Straßen mit Baulast beim Land. Das Regierungspräsidium Tübingen erfüllt darüber hinaus für das ganze Bundesland „zentral wahrzunehmende Aufgaben im Straßenwesen“ (§ 51 a (1) Nr. 2 StrG).

Insgesamt sind die Zuständigkeiten für die Planung, den Bau und den Betrieb der Straßeninfrastruktur geprägt von einer Aufteilung der Zuständigkeiten zwischen den horizontalen Verwaltungsebenen. Das in Kapitel 4 näher erläuterte empirische Design für den raumplanerischen Teil des Projekts KLIMOPASS-AKLIM berücksichtigt diese Vielfalt an Akteuren. Auch die in Kapitel 5 dargestellten Empfehlungen zur Anpassung adressieren aus diesem Grund unterschiedliche horizontale Ebenen.

Nach dem Generalverkehrsplan von Baden-Württemberg von 2010 ist das Straßennetz „Verkehrsträger Nummer Eins“ (Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr Baden-Württemberg, 2010, S. 46) für Baden-Württemberg. Der größte Anteil des Güterverkehrs wird über das Straßennetz abgewickelt und begründet den hohen Stellenwert der Straßeninfrastruktur. Im Vergleich zum Bundesdurchschnitt liegt die Verkehrsbelastung der Straßeninfrastruktur in Baden-Württemberg höher (Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr Baden-Württemberg, 2010, S. 37). Die Autobahnen sind um ein Fünftel und die Landesstraßen um die Hälfte mehr belastet als der Bundesdurchschnitt. In der Metropolregion Stuttgart trifft die hohe Belastung auf den Autobahnen (vgl. Tabelle 1) insbesondere die A8 und A81. Diese gehören, wie

fast alle Autobahnen in Baden-Württemberg und in der Metropolregion Stuttgart, zum transeuropäischen Straßennetz (TERN) der EU (Ministerium für Verkehr und Infrastruktur, 2010, S. 51).

Der bauliche Zustand der Straßen wird einheitlich durch einen Straßenzustandswert quantifiziert. Für das Projekt KLIMOPASS-AKLIM ist er insofern relevant, als bei ohnehin anstehenden Erneuerungsmaßnahmen möglicherweise notwendige bauliche Anpassungen an den Klimawandel im gleichen Zuge erfolgen könnten. Messfahrzeuge erfassen den Gebrauchswert aus allgemeinen Unebenheiten, fiktiver Wassertiefe sowie Griffigkeit und den Substanzwert aus der Spurrinnentiefe, Risse sowie Flickstellen (Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg, 2013a, S. 7). Letztlich errechnet sich der Straßenzustandswert aus Substanzwert und Gebrauchswert. Angelegt werden bundesweit einheitliche Kriterien zur Bewertung des Zustands von Straßen, wobei 1,0 die Bestnote ist. Der Straßenzustandswert der Autobahnen in Baden-Württemberg lag bei der Zustandserfassung von Straßen 2008 im Schnitt nach Angaben Ministeriums für Umwelt, Naturschutz und Verkehr Baden-Württembergs (2010) bei 2,1 (Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr Baden-Württemberg, 2010, S. 57). Die Bundesstraßen erhielten die Note 2,7. Die Landesstraßen wurden mit der Note 3,1 bewertet. Rund die Hälfte aller Landesstraßen wurden bzw. werden als in einem sehr guten bis mittelmäßigen Zustand geführt. Abbildung 2 gibt einen Überblick zu den Anteilen der Autobahnen, Bundesstraßen sowie Landesstraßen in Baden-Württemberg in Prozent an den Zustandsnotenklassen „sehr gut“ bis „sehr schlecht“.

	Gesamtwert nach Zustandsnotenklassen			
	1,0 bis 1,5 sehr gut	1,5 bis 3,5 gut bis mittelmäßig	3,5 bis 4,5 schlecht	4,5 bis 5,0 sehr schlecht
<b>ZEB BAB 2009</b>	51,9 %	24,7 %	12,2 %	11,2 %
<b>ZEB BStr 2011</b>	33,5 %	28,9 %	17,5 %	20,0 %
<b>ZEB LStr 2012</b>	21,8 %	29,6 %	20,8 %	27,8 %

**Abbildung 2: Zustandswerte von Autobahnen, Bundesstraßen und Landesstraßen.**

Quelle: Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg, 2013a, S. 36, verändert.

Mehr als drei Viertel der Autobahnen in Baden-Württemberg wurden 2009 als sehr gut bis mittelmäßig eingestuft. Bei den Bundesstraßen sind es etwa 60 Prozent, die in dieser Zustandsnotenklasse klassifiziert wurden. Die Landesstraßen sind mit der Hälfte aller Straßen in der sehr guten bis mittelmäßigen Klasse. Im Vergleich zu dem vergangenen Zustandsbewertungszeitraum 2008 ergibt sich eine Verschlechterung der Straßenzustände bei den Landesstraßen in Baden-Württemberg von 2,9 (2010) auf 3,1 (2012).

Das Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg weist in seinem Bericht „Erhaltungsmanagement an den Bundes- und Landesstraßen in Baden-Württemberg“ (2013a) darauf hin, dass

*„ausschlaggebend für diese Zustandsentwicklung [...] neben der Zunahme des durchschnittlichen Alters der Infrastrukturanlagen, [...] [der] meteorologischen Randbedingungen [...] und [den] bautechnologischen Aspekten insbesondere die in den vergangenen Jahren nicht ausreichenden Finanzmittel zur Umsetzung aller notwendiger Erhaltungsmaßnahmen“ (Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg, 2013a, S. 1)*

sein. Eine Zunahme im Bereich des Schwerverkehrs mache sich an der erhöhten Belastung von Straßen und Brücken bemerkbar (Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg, 2013a, S. 1). Bis 2013 wurden die Mittel für Sanierungsarbeiten im Bereich der Straßen in Abhängigkeit der Straßenlänge an

Regierungspräsidien ausgegeben (Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg, 2013a, S. 5). Seit 2013 erfolgt die Verteilung anhand von Dringlichkeitslisten, die auf Kriterien wie Straßenzustand, Verkehrsbelastung und Verkehrsfläche basieren. Abbildung 24 im Anhang zeigt den Kartenausschnitt zum Erhaltungsmanagement für 2014 auf Grundlage der Zustandserfassung und -bewertung 2011 auf Bundesstraßen für die Metropolregion Stuttgart. Eine weitere Karte mit dem Erhaltungsmanagement für 2014 auf Landesstraßen in Baden-Württemberg folgt in Abbildung 24. Abschnitte werden in sogenannte Abschnittsklassen unterteilt. Jeder Auswertungsabschnitt von 100 Metern erhält entsprechend seines ermittelten Substanz- und Gebrauchswertes eine Zuordnung zu einer Dringlichkeitsklasse (Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg, 2013a, S. 6). Anhand des modifizierten Substanzwertes und des modifizierten Gebrauchswertes können in der Dringlichkeitsmatrix (siehe Abbildung 23 und Abbildung 24, Legende rechts unten) insgesamt neun verschiedene Dringlichkeitsklassen resultieren. Dringlichkeitsklasse 1 bedeutet, dass beide Werte über dem kritischen Schwellenwert liegen und die Sanierung des Straßenabschnitts priorisiert wird (Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg, 2013a, S. 7). Durch diese Klassifizierung ergibt sich im Erhaltungsmanagement für Straßen eine bedarfsorientierte Mittelzuteilung. Die Zustandsbewertung für Autobahnen in Baden-Württemberg erfolgte 2013. Deren Ergebnisse befinden sich zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Berichtes in der Abstimmung und sollen nach Auskunft des Verkehrsministeriums Ende 2014 vorliegen. Die genannten Quellen zeigen, dass in den kommenden Jahren in erheblichem Umfang Straßeninfrastruktur erneuert werden muss. In Anbetracht der erwähnten langen Nutzungszeiten dieser Infrastruktur bietet es sich an, bei diesen ohnehin notwendigen Maßnahmen bereits die in den nachfolgenden Kapiteln entwickelten Empfehlungen zur Klimawandel-Anpassung zu berücksichtigen.

Das Schienennetz von Baden-Württemberg erstreckt sich über eine Länge von 3.500 Kilometer. Netzseitig ist dabei in der Metropolregion Stuttgart im Wesentlichen zwischen dem Stadtbahnnetz, deren Eigentümerin und Betreiberin die Stuttgarter Straßenbahnen AG ist, sowie dem Schienennetz der DB Netz AG, auf welchem der S-Bahn-Verkehr, der überregionale Nahverkehr und der Fernverkehr abgewickelt werden, zu unterscheiden (siehe Abbildung 25 im Anhang). Aufgabenträger des Schienenpersonennahverkehrs ist nach § 6 (2) ÖPNVG das Land Baden-Württemberg. Seit 1996 übernimmt die Nahverkehrsgesellschaft Baden-Württemberg die „Finanzierung, Planung und Koordination des Schienenpersonennahverkehrs“ (Nahverkehrsgesellschaft Baden-Württemberg, 2014) im Auftrag des Landes. Aufgabenträger für die „regional bedeutsamen Schienennahverkehre mit Ausgangs- und Endpunkt innerhalb des Verbandsgebiets“ (§ 4 (1) GVRs) ist der Verband Region Stuttgart (VRS). Dies beinhaltet die S-Bahn Stuttgart sowie zwei Nebenstrecken (Verband Region Stuttgart, 2014b). Der VRS ist darüber hinaus für die Regionalverkehrsplanung innerhalb des Verbandsgebiets zuständig (§ 3 (1) GVRs). Finanziert aus Mitteln der zum Verkehrs- und Tarifverbund Stuttgart gehörenden Gebietskörperschaften bestellt der Verband Region Stuttgart den S-Bahn-Verkehr, derzeit bei der DB Regio AG (Verband Region Stuttgart, 2014a). Der Busverkehr innerhalb des Untersuchungsgebietes liegt hingegen in der Zuständigkeit der Landkreise. Allerdings werden dem Verband Region Stuttgart im ÖPNV-Pakt aus dem Jahr 2014 das Recht zur Einrichtung von Expressbuslinien, sowie weitere Rahmgebungskompetenzen im ÖPNV eingeräumt (Land Baden-Württemberg, Verband Region Stuttgart, Landeshauptstadt Stuttgart & Verbundlandkreise in der Region Stuttgart, 2014). Insgesamt zeigt sich im Schienenverkehr bzw. im damit eng zusammen hängenden Öffentlichen Personenverkehr eine noch stärkere Heterogenität der für Planung, Bau und Betrieb zuständigen Akteure als im Straßenverkehr. Hier spielen neben dem Land einerseits die Landkreise als Aufgabenträger für den Busverkehr eine Rolle. Zudem ist der Verband Region Stuttgart als Aufgabenträger des S-Bahn-Verkehrs wichtiger Akteur. Hinzu kommen die SSB, die DB Netz sowie die DB Regio im Bereich des Nahverkehrs sowie die DB Station & Services AG, welche die Bahnhöfe und Haltepunkte betreibt und die DB Fernverkehr als Betreiberin der Fernverkehrslinien. Wie in Kapitel 4 noch näher erläutert wird, wurde auch hier für die empirische Erhebung für den raumplanerischen Teil des Projekts ein breites Spektrum an Akteuren angefragt.

Trotz einer Reaktivierung einiger stillgelegter Strecken in den 1990er Jahren ist für das Schienennetz ein bedarfsgerechter Ausbau erforderlich aufgrund der Zunahme an Nah-, Fern-, und Güterzügen (Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr Baden-Württemberg, 2010, S. 37). Seit 2010 verfügen alle Oberzentren außer Heilbronn über einen Fernverkehrsanschluss (Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr Baden-Württemberg, 2010, S. 104). Abbildung 25 im Anhang gibt einen Überblick über das Schienennetz innerhalb des Verbands Region Stuttgart. Der Zustand der Schieneninfrastruktur wird von der DB Netz im jährlichen Infrastrukturzustands- und Entwicklungsbericht (Deutsche Bahn AG, 2013 und DB Netze, 2013) erläutert. Dabei konstatiert die Bodewig-Kommission im Schienenbereich wie bei der Verkehrsinfrastruktur insgesamt eine Unterfinanzierung in den vergangenen Jahren insbesondere auf Nebenstrecken (Kommission "Nachhaltige Verkehrsinfrastrukturfinanzierung", 2013, S. 13). In der Region Stuttgart führte eine sinkende Zuverlässigkeit des S-Bahn-Systems ab dem Jahr 2013 auf der Stammstrecke im Stadtzentrum Stuttgarts zu Diskussionen über die zukünftige Entwicklung des Schienennetzes in der Region. So hat sich der Verkehrsausschuss der Regionalversammlung im Juni 2014 mit diesem Thema beschäftigt. Als wesentliche Ursachen für die Probleme wurden von der DB Netz Probleme mit der Zugfolge, aber auch geplante Einschränkungen aufgrund von Bauarbeiten genannt (DB Netze, 2013, S. 4). Neben dem erforderlichen bedarfsgerechten Ausbau wird vermehrt der Ausbau von Hochgeschwindigkeitstrassen innerhalb des Verbands Region Stuttgart realisiert (vgl. Abbildung 26 im Anhang). Analog zum Bereich der Straßeninfrastruktur bietet es sich auch im Schienennetz an, im Zuge ohnehin geplanter Veränderungen, Sanierungen und Erweiterungen der Infrastruktur die in den späteren Kapiteln entwickelten Empfehlungen zur Anpassung der Infrastruktur an den Klimawandel aufzugreifen.

Wie bereits erläutert, wird die Energieinfrastruktur im Rahmen dieses Projektes nur an den Schnittstellen zur Verkehrsinfrastruktur behandelt. Während des Projektverlaufs hat sich gezeigt, dass trotz der unterschiedlichen Herausforderungen im Bereich der Klimawandel-Minderung und der Klimawandel-Anpassung das Thema Energiewende auch für die Anpassung der Verkehrsinfrastruktur eine Rolle spielt. Wie in Kapitel 4 noch näher ausgeführt wird, wirkt die Tatsache, dass sich Gebietskörperschaften und Behörden mit dem Thema Klimawandel überhaupt auseinandersetzen, auch als Anreiz für die Auseinandersetzung mit der Klimawandel-Anpassung. Entscheidend für die Anpassung sind also in erster Linie die energiepolitischen Ziele für die Zukunft, denn diese führen zu einer Auseinandersetzung mit klimawandelrelevanten Themen bei Gebietskörperschaften und Behörden. Diese auf die zukünftige Entwicklung gerichteten Ziele werden im nachfolgenden Kapitel 3 erläutert.

Tabelle 1: Überblick zum Straßen- und Schienennetz in Baden-Württemberg insbesondere in der Region Stuttgart

Überblick	Straßennetz von Baden-Württemberg und der Region Stuttgart			Schienennetz von Baden-Württemberg	
	Autobahnen	Bundesstraßen	Landesstraßen (Kreisstraßen)		
	1.000 Kilometer	26.500 Kilometer			3.500 Kilometer Streckennetz
	Hauptverkehrsträger				
<b>Verkehrsbelastung im Vergleich zum Bundesdurchschnitt</b>	Um ein Fünftel höher Durchschnittl. täglicher Verkehr 2005: 57.000 Kfz pro Tag	Um fast die Hälfte höher Durchschnittl. täglicher Verkehr 2005: 13.000 Kfz pro Tag	Landesstraßen: Um die Hälfte höher Durchschnittl. Belastung 2005: 4.800 Kfz pro Tag mit 90 % Pkw-Verkehr	Hohe Zahl an verkehrenden Nah-, Fern- und Güterzügen	
<b>Zustand</b>	Straßenzustandswert 2008: 2,1	Straßenzustandswert 2008: 2,7	Straßenzustandswert 2008: 3,1	Detaillierte Informationen: (Deutsche Bahn AG, 2013) und (DB Netze, 2013)	
<b>Ausbau- und Neubau</b>	<i>Konjunkturpaket II von 2009 bis 2011: + 103.2 Mio. €</i>			<i>Erforderlicher bedarfsgerechter Ausbau:</i> - Vermehrter Ausbau von Hochgeschwindigkeitsstrecken in der Region Stuttgart - Aus- und Neubau sowie Trassensicherungen vgl. Karte 24 im Anhang  <i>Schwerpunkt der Innovationstätigkeiten 2011/2012 in der Region Stuttgart:</i> - Stuttgart-Ulm-Augsburg mit Vorhaben Stuttgart 21 und Neubaustrecke bis 2021 - Karlsruhe-Stuttgart-Nürnberg-Leipzig/Dresden  <i>Sich in Planung befindend:</i> - Ausbau Strecke Stuttgart-Singen-BGr DE/CH mit Kosten von 162 Mio. €	
<b>Erhaltungsmanagement gesamt</b>	Zustandserfassung auf den Autobahnen erfolgte 2013. Ergebnisse befinden sich in der Abstimmung.	<i>Bis 2013:</i> Erhaltungszustand der Straßen und Verkehrsbelastung nicht ausreichend berücksichtigt  <i>Ab 2013:</i> Verteilung der Haushaltsmittel anhand von Kriterien: - Dringlichkeitslisten zur Festlegung jährlicher Bauprogramme - Bedarfsorientierte Zuteilung  <i>Kriterien:</i> - Grundlage sind Zustandserfassung und Bewertung der Bundesstraßen (ZEB 2011) - Kartenausschnitt für die Region Stuttgart im Anhang Abb. 23	<i>Kriterien:</i> - Grundlage sind Zustandserfassung und Bewertung der Landesstraßen (ZEB 2012) - Kartenausschnitt für die Region Stuttgart im Anhang Abb.24		
<b>Anschlüsse</b>				Seit 2010 verfügen alle Oberzentren außer Heilbronn über Fernverkehrsanschluss	

In Anlehnung an: Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr Baden-Württemberg, 2010, S. 37, 46, 53, 57; Bundesministerium für Verkehr, 2012, S. 4, 35; Bundesministerium für Verkehr, 2012, S. 30ff; Heller Ingenieurgesellschaft mbH, 2013b; Heller Ingenieurgesellschaft mbH, 2013a und Verband Region Stuttgart, 2009, Karte 14.



## 3 Szenarienanalyse

Die Prognose von Veränderungen der Infrastruktur und der zu erwartenden Veränderungen entscheidender Klimaparameter in der Modellregion dienen als Überblick. Vor dem Hintergrund dieser Szenarien können die Veränderungen der klimatischen Gefahren für Straßeninfrastrukturen aus Kapitel 4 eingeordnet werden.

### 3.1 Prognose von Veränderungen der Infrastruktur in der Zukunft

Grundlage für die im folgenden Abschnitt erläuterten Annahmen zur zukünftigen Entwicklung der Verkehrsinfrastruktur sind im Wesentlichen der Generalverkehrsplan Baden-Württemberg 2010 (Ministerium für Verkehr und Infrastruktur, 2010) und die Verkehrsverflechtungsprognose 2030, Los 3 (Intraplan Consult, 2014), welche im Sommer 2014 vorgelegt wurde. Diese prognostiziert, auf Basis von Quell-Ziel-Matrizen, die Belastung der Straßen-, Schienen-, Wasser-, und Luftverkehrsinfrastruktur aufgrund sich verändernder Verkehrsleistung und Verkehrsaufkommens.<sup>1</sup> Der Generalverkehrsplan geht weniger detailliert auf die Prognosen ein, bezieht sich jedoch auf Baden-Württemberg und enthält im Gegensatz zum derzeitigen Stand der Verkehrsverflechtungsprognose auch einige Infrastruktur-bezogene Prognosen.

Die Verkehrsverflechtungsprognose wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und Digitale Infrastruktur (BMVI) erstellt. Grundlage der Prognose waren Annahmen zur zukünftigen Entwicklung von Strukturdaten aus den Bereichen Wirtschaft, Bevölkerung, Mobilitätskosten und Verkehrsangebot (Intraplan Consult, 2014, S. 15). Die Veränderung dieser sozio-ökonomischen Strukturdaten wurde in Los 1 entwickelt (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, 2012). Grundlage der Quell-Ziel-Matrix sind Landkreise und Kreisfreie Städte/Stadtkreise (Intraplan Consult, 2014, S. 23), welche anhand netztopologischer, statistischer und raumstruktureller Kriterien verfeinert wurden (Intraplan Consult, 2014, S. 48ff). Für die Region Stuttgart liegt eine feinere Auflösung als die Landkreis-Ebene vor (Intraplan Consult, 2014, S. 52). Quell-Zielverbindungen mit dem Ausland wurden auf Basis der NUTS-Einteilung höher aggregiert berücksichtigt (Intraplan Consult, 2014, S. 24f).

In der Verkehrsverflechtungsprognose wird als Grundlage der zukünftigen Entwicklung der Infrastrukturen des Bundes der derzeit gültige Bundesverkehrswegeplan 2003 (Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, 2003) angegeben (Intraplan Consult, 2014, S. 171). Dabei wird eine Realisierung aller Maßnahmen des vordringlichen Bedarfs angenommen (Intraplan Consult, 2014, S. 172). Im Raum Stuttgart wird als Maßnahme mit besonderer verkehrlicher Wirkung der Ausbau der Autobahn A8 von Karlsruhe über Stuttgart nach Ulm und München genannt, insbesondere der geplante Neubau im Bereich des Alaufstiegs (Intraplan Consult, 2014, S. 173). Im Schienennetz

---

<sup>1</sup> Das Verkehrsaufkommen wird in der Einheit „Personenfahrten bzw. transportierte Massen (Tonnen)“ erfasst. [...] Die Verkehrsleistung, also die Personenfahrten nach Fahrtentfernung bzw. das Transportaufkommen nach Transportentfernung, wird [...] nach der Entfernung zwischen [...] [Quelle und Ziel] berechnet.“ Intraplan Consult (2014, S. 19).

wird bezüglich der Metropolregion Stuttgart insbesondere von der Neubaustrecke Stuttgart-Ulm mit dem Projekt Stuttgart 21 eine hohe verkehrliche Wirkung erwartet (Intraplan Consult, 2014, S. 175)

Vorliegend wird nicht im Detail auf die weiteren Annahmen zu Rahmenbedingungen der Verkehrsverflechtungsprognose eingegangen werden. Von großer Bedeutung für das Verständnis der Prognose ist allerdings die Art der Berücksichtigung von Nutzerkosten für unterschiedliche Verkehrsträger. Hierbei handelt es sich nicht um eine Trendfortschreibung. Stattdessen wurden in Erwartung einer zukünftigen Ausrichtung der Verkehrspolitik und der entsprechenden Anreizsysteme an Umweltaspekten und nachhaltiger Energiepolitik „die Annahmen für die Nutzerkosten der umweltverträglicheren Verkehrsträger [...] am unteren Rand und der der weniger umweltverträglichen Verkehrsträger [...] am oberen Rand der jeweils erwartbaren Bandbreite gesetzt“ (Intraplan Consult, 2014, S. 184). Hier zeigt sich deutlich die bereits erwähnte Schnittstelle zwischen den energiepolitischen Rahmenbedingungen und der zukünftigen Entwicklung der Verkehrsinfrastruktur. Darauf weisen auch die Autoren der Prognose explizit hin, wenn sie schreiben:

*„Somit beschreiben diese Prämissen keine „Trendszenarien“, sondern setzen einen umweltpolitisch ambitionierten Gestaltungswillen voraus. Sie erfordern eine anspruchsvolle, aber realistische Gestaltung der zukünftigen verkehrspolitischen Leitlinien. Insgesamt setzt das Annahmengerüst ein spürbares umwelt- und energiepolitisches Handeln voraus, welches deutlich über den geltenden Status quo hinausgeht“ (Intraplan Consult, 2014, S. 184).*

Aus diesem Grund wird am Ende dieses Kapitels auf die konkreten energiepolitischen Ziele der Landesregierung von Baden-Württemberg eingegangen. Die Autoren der Verkehrsverflechtungsprognose weisen ausdrücklich darauf hin, dass sich aus den im Folgenden skizzierten, bisher vorliegenden Prognosen zur Verkehrsentwicklung zwischen dem Jahr 2010 und dem Jahr 2030 keine unmittelbaren Rückschlüsse auf die Veränderungen der Belastung der Verkehrsinfrastruktur ziehen lassen (Intraplan Consult, 2014, S. 1258). Hierzu, so die Autoren der Prognose, müssen auch der Durchgangsverkehr und die Fahrweiten berücksichtigt werden. Dies wird erst bei der noch erfolgenden Umlegung der Verflechtungsprognose auf die einzelnen Infrastruktursysteme (Straße, Schiene) in den Losen 4 und 5 geschehen. Da diese Rückschlüsse zum Zeitpunkt des Verfassens dieses Berichtes noch nicht vorliegen, werden die Annahmen der Verkehrsverflechtungsprognose hier dennoch kurz vorgestellt, ergänzt um Prognosen, welche dem Generalverkehrsplan des Landes Baden-Württemberg zugrunde liegen. Dieser trifft auch Aussagen über die zukünftig erwartete Auslastung der Infrastrukturen.

Im Personenverkehr der Metropolregion Stuttgart ist mit einer Zunahme des Quell- und Binnenverkehrs aller Verkehrsträger zwischen 2010 und 2030 zu rechnen. Der Generalverkehrsplan Baden-Württemberg erwartet für Baden-Württemberg zwischen 2004 und 2025 eine Steigerungsrate des Verkehrs oberhalb des Bundesdurchschnittes (Ministerium für Verkehr und Infrastruktur, 2010, S. 31). Besonders deutlich wird dieses prognostizierte Wachstum für den motorisierten Verkehr (Intraplan Consult, 2014, S. 1261). Im Öffentlichen Schienenpersonenverkehr wird dabei insbesondere auf die Angebotseffekte durch den Neubau der Strecke Stuttgart-Ulm und das Projekt Stuttgart 21 verwiesen (Intraplan Consult, 2014, S. 236). Der Generalverkehrsplan Baden-Württemberg geht von einer Zunahme des Schienenpersonenverkehrs an der Verkehrsleistung aus, wobei aufgrund der Demografie mit einem Rückgang der Bus- und Stadtbahnnutzung zu rechnen ist (Ministerium für Verkehr und Infrastruktur, 2010, S. 32). Die Differenzierung nach Fahrtzwecken in der Verkehrsverflechtungsprognose zeigt, dass im Untersuchungsraum eine stärkere Zunahme des disponiblen, privaten Quell- und Binnenverkehrs im Vergleich zum indisponiblen, geschäftlichen Verkehrs zu erwarten ist (Intraplan Consult, 2014, S. 265ff).

Im Güterverkehr wird insgesamt ein deutlich höheres Wachstum der Transportleistung im Vergleich zum Transportaufkommen prognostiziert – die durchschnittlichen Wege pro Transport steigen demnach um etwa 17 % an (Intraplan Consult, 2014, S. 287). Der größten Anteil an der Zunahme wird mit 74 % der Transportleistungen (bzw. 80 % des Transportaufkommens) im Straßengüterverkehr erwartet. Zugleich führt eine Zunahme der kombinierten Verkehre (KV-Verkehre) zu einem leichten Rückgang des Marktanteils am Transportaufkommen sowie einem deutlicheren Rückgang des Marktanteils an der Transportleistung des Straßengüterverkehrs (Intraplan Consult, 2014, S. 288f, Ministerium für Verkehr und Infrastruktur, 2010, S. 35). Im grenzüberschreitenden Transitverkehr im Jahr 2010 hat die Transitstrecke durch den Großraum Stuttgart den höchsten Anteil am gesamten Transitverkehr der Bundesrepublik (Intraplan Consult, 2014, S. 316). Sie wird allerdings im Vergleich zu anderen Relationen geringere Steigerungsraten haben. Insgesamt wird im Generalverkehrsplan des Landes aber mit einer Steigerung des Transportaufkommens um etwa ein Drittel und der Transportleistung „um etwas mehr als zwei Drittel“ gerechnet (Ministerium für Verkehr und Infrastruktur, 2010, S. 34).

Bezogen auf die Infrastruktur erwartet der Generalverkehrsplan Baden-Württemberg bis 2025 eine deutliche Zunahme der durchschnittlichen Verkehrsstärke auf allen Straßen im Vergleich zum Referenzjahr 2005. Insbesondere die Zunahme des Straßengüterverkehrs wird demnach zu einer Steigerung der mittleren Querschnittsbelastung der Autobahnen in Baden-Württemberg um etwa ein Viertel führen (Ministerium für Verkehr und Infrastruktur, 2010, S. 38). Im Schienenverkehrsnetz wird auf der bereits erwähnten Verbindung zwischen Rhein-Main-Gebiet über Stuttgart nach München eine Verdoppelung der Zugzahlen im Güterverkehr angenommen. Aufgrund veränderter Güterstrukturen steigt dabei das Transportaufkommen stärker als die Transportleistung. Im Schienenpersonenverkehr erwartet der Generalverkehrsplan eine Steigerung, darunter eine Erhöhung des täglichen Fahrtenaufkommens im Nahverkehr um etwa zehn Prozent (Ministerium für Verkehr und Infrastruktur, 2010, S. 38). Auch in den Bereichen Binnenschifffahrt und Luftverkehr, welche aufgrund ihres geringen Anteils am Modal Split in diesem Bericht nicht näher betrachtet werden, rechnet der Generalverkehrsplan mit Steigerungen und der Notwendigkeit des Ausbaus der Infrastruktur (Ministerium für Verkehr und Infrastruktur, 2010, S. 38).

Da die wirtschaftliche Entwicklung von den Autoren der Verkehrsverflechtungsprognose als zentrale Eingangsvariable betrachtet wird, wurden neben dem hier dargestellten mittleren Szenario zwei weitere Szenarien mit stärkerem und schwächerem Wachstum gerechnet. Dabei zeigt sich eine höhere Varianz der Verkehrsleistung im Vergleich zum Verkehrsaufkommen (Intraplan Consult, 2014, S. 365). Im Szenario mit geringerem Wirtschaftswachstum wird ein leichter Verkehrsrückgang angenommen. Diese Szenarien werden jedoch in der Prognose nicht regional differenziert dargestellt und lassen daher wenig Aussagen über die Entwicklung im Raum Stuttgart zu.

Bei der Betrachtung des verkehrlichen Energieverbrauchs kommt die Verkehrsverflechtungsprognose zu dem Schluss, dass die von der Bundesregierung gewünschte Minderung des Energieverbrauchs und damit des Ausstoßes von Treibhausgasen zwischen 2005 und 2020 (spätestens) im Jahr 2030 erreicht wird (Intraplan Consult, 2014, S. 359). Allerdings, so die Autoren, seien „einige zentrale Prämissen, z.B. hinsichtlich der Entwicklung der Antriebsartenstruktur der Pkw, als optimistisch zu beachten“ (Intraplan Consult, 2014, S. 363). Im Gegensatz dazu geht der Generalverkehrsplan des Landes Baden-Württemberg zwar auch von einer Minderung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes durch den Personenverkehr bis 2025 von etwa zehn Prozent aus. Nach Aussage des Integrierten Energie- und Klimakonzeptes (Landesregierung Baden-Württemberg, 2014, S. 101) werden diese jedoch in den zugrunde liegenden Prognosen durch die Zunahmen von Emissionen aus dem Güterverkehr kompensiert.

Wie aus der Stellungnahme des Verkehrsministeriums Baden-Württemberg zum Bundesverkehrswegeplan 2015 (Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg, 2013b, S. 2) deutlich wird, findet derzeit ein Paradigmenwechsel im Bereich der Infrastrukturentwicklung statt. Der Erhalt und die Sanierung bestehender Straßen rücken dabei stärker als bislang in den Vordergrund. Aus- und Neubauten von Straßen sollen hingegen nur noch zielgerichtet der Beseitigung bestehender Engpässe dienen (Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg, 2013b, S. 1).

In Baden-Württemberg soll nach dem Willen der Landesregierung neben der reinen Infrastruktur-Entwicklung die intelligente Vernetzung von Verkehrsträgern gefördert und „das politische Leitbild nachhaltige Mobilität [...] auch in den späteren Ausbaugesetzen“ (Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg, 2013b, S. 2) verankert werden. Vergleicht man diesen Anspruch mit dem 2010 unter der vorherigen Landesregierung erschienenen Generalverkehrsplan (Ministerium für Verkehr und Infrastruktur, 2010), so finden sich auch in diesem in erster Linie infrastruktur-spezifische Ansätze. Wie sich auch in der empirischen Erhebung zur Anpassung der Verkehrsinfrastruktur an den Klimawandel im Rahmen von KLIMOPASS-AKLIM gezeigt hat, steht die Umsetzung einer integrierten, vernetzten und nachhaltigen Mobilität also noch am Anfang. Wie bereits erläutert, basiert die Verkehrsverflechtungsprognose jedoch auf der Annahme, dass umwelt- und energiepolitische Fragen in der Verkehrspolitik eine steigende Bedeutung einnehmen. Die von der Landesregierung formulierten Ansprüche an die zukünftige Verkehrsinfrastrukturentwicklung sind aus dieser Perspektive formuliert. Hierzu zählen auch die energiepolitischen Ziele der Landesregierung.

Wie bereits erwähnt, ist die Auseinandersetzung mit dem Thema Klimawandel in den Gebietskörperschaften aufgrund der Energiewende auch Anreiz dafür, dass das Thema Klimawandel-Anpassung stärker Berücksichtigung findet. Daher, und aufgrund der Überschneidungsbereiche zwischen Verkehrs- und Energieinfrastruktur, werden die energiepolitischen Ziele des Landes im Folgenden kurz skizziert. Diese ergeben sich im Wesentlichen aus dem 2013 verabschiedeten Klimaschutzgesetz Baden-Württemberg (KSG BW) sowie dem im Juli 2014 verabschiedeten integrierten Energie- und Klimaschutzkonzept Baden-Württemberg (IEKK, Landesregierung Baden-Württemberg, 2014).

Nach § 4 (1) KSWG BW sollen die Treibhausgas-Emissionen in Baden-Württemberg bis zum Jahr 2020 im Vergleich zum Referenzzeitraum 1990 um mindestens 25 % reduziert werden. Bis zum Jahr 2050 wird eine Reduktion der Emissionen um 90 % angestrebt. Darüber hinaus sollen „die unvermeidbaren Auswirkungen des Klimawandels [...] im Rahmen einer landesweiten Anpassungsstrategie“ (§ 4 (2) KSWG BW) begrenzt werden. Während die Landesverwaltung nach § 7 (2) KSWG BW bis zum Jahr 2040 „weitgehend klimaneutral“ organisiert sein soll, erfüllen die Gemeinden diese „Vorbildfunktion [...] in eigener Verantwortung“ (§ 7 (4) KSWG BW) mit Unterstützung durch und nach Vereinbarung mit dem Land.

Der Verkehrssektor soll nach Beschluss der Landesregierung bis zum Jahr 2020 gegenüber 1990 etwa 20 bis 50 % weniger Kohlendioxid emittieren. Um das im Klimaschutzgesetz festgelegte Ziel der Reduktion von 90 % bis 2050 in allen Sektoren zu erreichen, müsste der Ausstoß im Verkehrssektor in diesem Zeitraum um 70 % verringert werden (Landesregierung Baden-Württemberg, 2014, S. 102). Die Abbildungen 3 und 4 stellen die Entwicklung der Emissionen und des Energieverbrauchs im Verkehrssektor dar, welche auf Basis des dem Integrierte Energie- und Klimaschutzkonzeptes zugrundeliegenden Ziel-Szenarios im Rahmen eines Gutachtens vom Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg berechnet wurden (Schmidt et al., 2011).

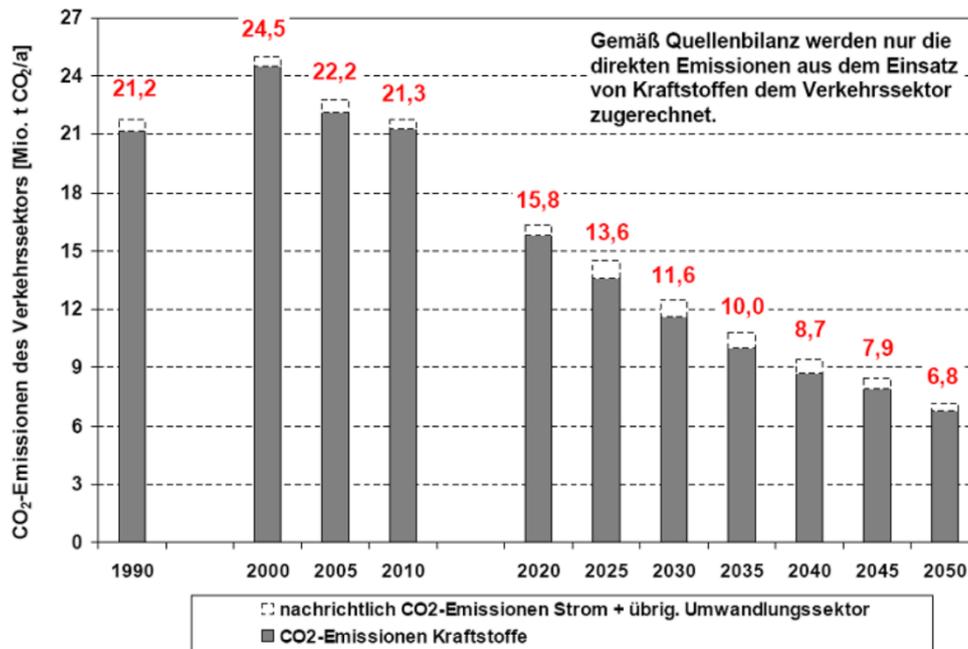


Abbildung 3: Angestrebte Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Verkehrsbereich im Energieszenario BW. Quelle: Landesregierung Baden-Württemberg, 2014, S. 102 nach Schmidt et al., 2011, S. 46.

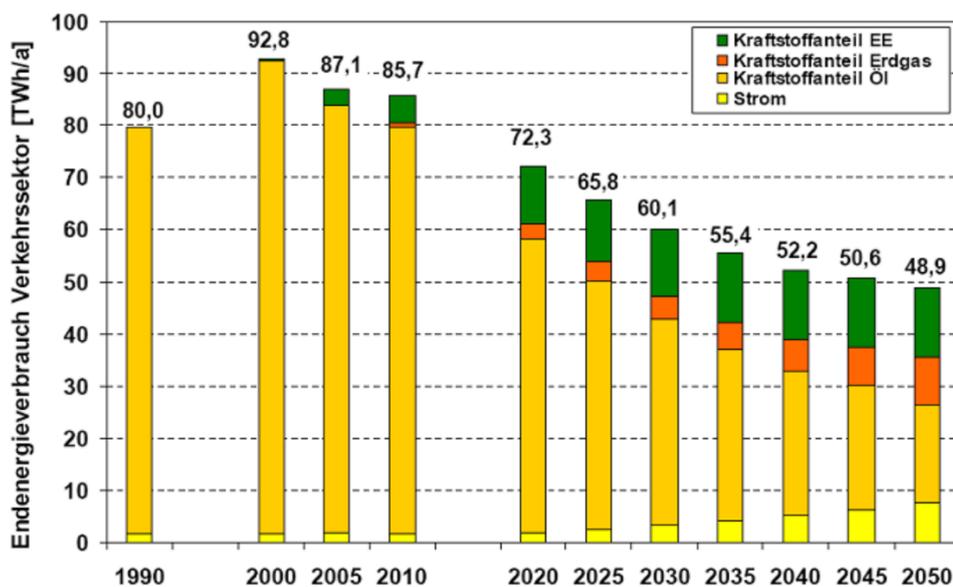


Abbildung 4: Angestrebte Entwicklung des Energieverbrauchs im Verkehrsbereich im Energieszenario BW. Quelle: Landesregierung Baden-Württemberg, 2014, S. 103 nach Schmidt et al., 2011, S. 45.

Deutlicher als der Generalverkehrsplan aus dem Jahr 2010 formuliert das Integrierte Energie- und Klimaschutzgesetz die Notwendigkeit einer „neue[n] Kultur der Mobilität“ (Landesregierung Baden-Württemberg, 2014, S. 102). Als Maßnahmen hierzu werden die Vermeidung von Verkehr, bzw. die Kompensation durch Nahversorgung oder Kommunikationstechnologien genannt, aber auch die

Weiterentwicklung von Fahrradverkehr und Öffentlichem Verkehr sowie technische Innovationen in Infrastruktur und Fahrzeuge (Landesregierung Baden-Württemberg, 2014, S. 103f). Die Veränderung der Mobilitätsmuster, also des Verhaltens der Bevölkerung, soll danach über neue Möglichkeiten, also Anreize oder Infrastrukturen, erreicht werden. Die Landesregierung hat hierzu ein konkretisierendes Maßnahmenpaket entwickelt (siehe Landesregierung Baden-Württemberg, 2014, S. 105ff).

Einige der genannten Maßnahmen sind auch in Hinblick auf die Klimawandel-Anpassung relevant. So sollen durch verbessertes Straßenverkehrsmanagement Straßenüberlastungen und Staus vermieden werden (Landesregierung Baden-Württemberg, 2014, S. 107f). Ein solches Straßenverkehrsmanagement bietet auch Vorteile im Hinblick auf den Umgang mit Auswirkungen von Extremereignissen auf Straßen (siehe Kapitel 4). Auch Geschwindigkeitsbeschränkungen auf Straßen (Landesregierung Baden-Württemberg, 2014, S. 106) und kurze Wege (Landesregierung Baden-Württemberg, 2014, S. 112) können die Verwundbarkeit gegenüber klimatischen Extremereignissen verringern.

Zielkonflikte kann es hingegen bei der stärkeren Verknüpfung von Verkehrsmitteln (Landesregierung Baden-Württemberg, 2014, S. 119) und der Förderung des kombinierten Verkehrs geben (Landesregierung Baden-Württemberg, 2014, S. 120). In diesen Bereichen kommt es in erster Linie darauf an, ob mit einer stärkeren Kombination und intelligenten Verknüpfung von Verkehrsträgern eine höhere gegenseitige Abhängigkeit der einzelnen Infrastruktursysteme sowie eine stärkere Abhängigkeit von Informations- und Kommunikationsinfrastrukturen einhergehen. Im Grundsatz lässt sich diese Frage zurückführen auf den Zielkonflikt zwischen effizienter Ressourcennutzung als Maßnahme zur Klimawandel-Minderung einerseits und der Bereitstellung von Redundanzen zur Anpassung an eine höhere Variabilität des natürlichen Systems andererseits. Zugleich kann eine dezentrale Energie- und Verkehrsstruktur Redundanz erhöhen. Der genannte Zielkonflikt wird daher bei Bedarf maßnahmen-spezifisch in den folgenden Kapiteln thematisiert.

### **3.2 Szenarien für die erwarteten Veränderungen entscheidender Klimaparameter in der Modellregion**

Szenarien zur Veränderung regionaler Klimaparameter in der Metropolregion Stuttgart können aus den „klimatischen Leitplanken“ des Berichts „Zukünftige Klimaentwicklung in Baden-Württemberg“ (Wagner, 2013a) abgeleitet werden. Basierend auf der Analyse von 24 Klimaprojektionen in einem Ensemble-Ansatz wurde das Klimaänderungssignal zwischen den Zeiträumen 1971 bis 2000 und 2021 bis 2050 analysiert. Eine statistische Auswertung stellt die Bandbreite der zu erwartenden Veränderungen der Klimaparameter Temperatur, Niederschlag, Globalstrahlung und Windgeschwindigkeit dar. Die „klimatischen Leitplanken“ definieren die verschiedenen Werte statistisch bereinigt. Ziel war es, diese Studie als Grundlage für Vulnerabilitätsanalysen und Ableitungen von Anpassungsmaßnahmen zu nutzen (Wagner, 2013b, S. 7). Durch die statistische Bewertung der angegebenen Werte in Kombination mit dem Ensemble-Ansatz kann die Zuverlässigkeit und Belastbarkeit der Änderungssignale dargelegt werden. Zukünftig zu erwarten ist eine Temperaturzunahme. In Bezug auf den Klimaparameter Niederschlag – betrachtet für ganz Baden-Württemberg – ist die Richtungssicherheit weniger deutlich als bei dem Klimaparameter Temperatur (Wagner, 2013b, S. 7). Die Globalstrahlung wird sich in der Zukunft weniger stark verändern. Dies gilt auch für die Änderungstendenzen in der Windgeschwindigkeit. Detaillierte Darstellungen der Veränderungen der einzelnen Klimaparameter finden sich im KLIMOPASS-Bericht des Institut für Meteorologie und Klimatologie des KIT

„Ensembles hochaufgelöster Klimasimulationen zur Analyse regionale Klimaänderungen in Baden-Württemberg und ihre Auswirkungen – RegEns BaWü“ (Kapitel 4 und 5).

KLIMOPASS-AKLIM nutzt die Klimadaten, die vom Institut für Meteorologie und Klimatologie des KIT zur Verfügung gestellt wurden (KIT, 2014a; KIT, 2014b). Diese Daten stammen aus neuen Rechnungen regionaler Klimaprojektionen in Baden-Württemberg. Wesentlich ist hierbei, dass es sich nicht um statistische Daten handelt, die ein Änderungssignal über zwei 30-jährige Zeiträume darlegen, sondern die Werte im Stunden- bzw. Drei-Stunden-Takt beinhalten. Diese zeitliche Auflösung ist für die Modellierung der klimatisch ausgelösten Gefahren im Straßennetz wesentlich. Dennoch ist es hilfreich, eine Einordnung des Klimawandels in Baden-Württemberg durch eine Zusammenstellung der Änderung wesentlicher Klimaparameter zu erhalten, um mit diesem Hintergrundwissen die in Kapitel 4 dargestellten Gefahren zu interpretieren. Im folgenden Abschnitt findet sich eine Zusammenfassung wesentlicher Klimaparameter und deren als „zufriedenstellend“ bewerteter generierter Werte aus den „klimatischen Leitplanken“ (Wagner, 2013a, S. 16ff) der Veränderung zwischen dem 30-jährigen Referenzzeitraum 1971 bis 2000 und dem Zeitraum der nahen Zukunft 2021 bis 2050.

Die Kennzahlen der Temperatur weisen ein starkes Klimasignal auf (Wagner, 2013b, S. 16). Alle regionalen Klimaprojektionen errechnen aufgrund der vorgegebenen Randbedingungen der Szenarien eine Temperaturzunahme in der Zukunft. Nach dem Delta-Change-Verfahren wird eine Zunahme der Jahresmitteltemperatur von +1,1 K für die nahe Zukunft auf etwa 9,5 °C in Baden-Württemberg erwartet (Wagner, 2013a, S. 66). In einem Worst-Case-Szenario der SRES-Emissionsszenarien ergibt sich eine Jahresmitteltemperatur von 10,1 °C für die nahe Zukunft (Wagner, 2013b, S. 17). Kaum bis keine Veränderung zeigen die Simulationen der mittleren Windgeschwindigkeit auf (Wagner, 2013b, S. 18). Hingegen wird für die nahe Zukunft eine Zunahme der Anzahl der Tage mit Starkniederschlag zu erwarten sein (Wagner, 2013b, S. 21). Tage mit Starkniederschlag definieren sich in diesem Zusammenhang als Tage, an denen der gefallene Niederschlag in Millimetern höher als der Schwellenwert 25 ist (Wagner, 2013b, S. 21). Die zukünftigen Niederschlagssummen im Gesamtjahr werden laut LUBW (2013) (Wagner, 2013b, S. 27) ein geringes Änderungssignal zwischen Referenzzeitraum und naher Zukunft aufweisen. Potentielle Gefährdungen durch den Klimawandel für Straßen- und Schieneninfrastruktur werden in Kapitel 4.1 aufgeführt.

Das KLIMOPASS-AKLIM Projekt nutzt für die Modellierung der Klimaparameter getriggerte Gefahren für das Straßennetz (hier: für die Autobahnen) COSMO CLM Daten, die durch ECHAM6 SRES-Szenario angetrieben werden. Vorläufer des ECHAM6 Globalklimamodells – das ECHAM5 Modell – wurde u.a. als eines der 24 Klimaprojektionen im Ensemble-Ansatz für die Erstellung der Kennzahlen der klimatischen Leitplanken für Baden-Württemberg genutzt. Die regionalen Klimadaten stammen aus den Klimasimulationen des KLIMOPASS-Teilprojektes des Instituts für Meteorologie und Klimatologie (IMK) am KIT. In ihrem Teilprojekt „RegEns BaWü“ beschreiben das IMK-KIT die Klimadatengenerierung und statistische Validierung sowie die BIAS-Korrektur der Daten. Zudem erfolgt ein Ausblick über die Veränderung der Klimaextreme im zukünftigen Zeitraum.

Die Klimadaten des KLIMOPASS-AKLIM Projektes weisen eine räumliche Auflösung von 7,5 km Rastern auf. Die zeitliche Auflösung beträgt im Schnitt eine bis drei Zeitstunden. Der Referenzzeitraum 1971 bis 2000 beinhaltet ECHAM6-Klimadaten. Der zukünftige Zeitraum nutzt ebenfalls ECHAM6-Klimadaten, die auf dem RCP 8.5 Emissionsszenario basieren. RCP 8.5 („Representative Concentration Pathways“) sind die aktuellen IPCC-Emissionsszenarien für den Fünften Sachstandsbericht des 2013 (publ. 2014), die den zusätzlichen Energiegehalt der Atmosphäre über den möglichen Verlauf der Strahlung angeben (Moss, Mustafa, Brinkman & Calvo, 2008, S. xiii). Die Trends der

RCP-Szenarien liegen im Bereich der IPCC SRES-Szenarien, z.B. A1B. Somit sind die beiden Datensätze des Referenzzeitraumes und des zukünftigen Zeitraumes vergleichbar. KLIMOPASS-AKLIM nutzt in der Modellierung der Gefahren keine Ensemble-Datensätze. Die beiden Klimadaten-sätze beschreiben jeweils ein Emissionsszenario. Aus diesem errechnet sich der Klimawandel der Modellierung. Das Klimaänderungssignal ist teilweise in den Werten der Klimaparameter aus den beiden Zeiträumen enthalten. Die detaillierte Beschreibung der beiden Datensätze findet sich im Bericht des Projektpartners IMK im Kapitel 3.

# 4 Abschätzung der Vulnerabilität in Bezug auf den Klimawandel

## 4.1 Stand der Forschung zur Vulnerabilität von Energie- und Verkehrsinfrastrukturen unter den Annahmen des erwarteten Klimawandels

Die aus wissenschaftlicher Perspektive abgeleiteten Notwendigkeiten und Möglichkeiten von Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel werden erst dann in tatsächlichen Maßnahmen umgesetzt werden, wenn sie von den Akteuren der Raum- und Fachplanung – auch auf den jeweils unteren Verwaltungsebenen - als Aufgabe wahrgenommen werden oder wenn ein entsprechender gesetzlicher Auftrag vorliegt. In der gegenwärtigen Situation ist es daher zunächst erforderlich zu klären, ob und ggf. in welchem Umfang die Akteure dieses Thema wahrnehmen und für ihren Zuständigkeitsbereich eine Handlungsnotwendigkeit daraus ableiten. Dieses Kapitel bringt dazu das von Atzl & Keller (2013) entwickelte KRITIS-Framework mit Ansätze aus der Vulnerabilitätsforschung im Bereich Verkehrs- und Energieinfrastruktur zusammen und bereitet für die Analyse und Darstellung der Projektergebnisse den theoretischen Rahmen.

Der Klimawandel stellt für das natürliche und für soziale System ein Risiko dar, da er auf genau diese Systeme stellenweise negativ wirkt (Parry, Canziani, Palutikof, van der Linden & Hanson, 2007, S. 976; Deutsche Bundesregierung, 2008, S. 15). Folgt man den Kategorien des hier verwendeten systemischen KRITIS-Framework, ist der Klimawandel, ob natürlichen oder anthropogenen Ursprungs, ein Prozess, der in der naturräumlichen Umwelt abläuft und diese verändert. Auswirkungen des Klimawandels auf andere Systeme entstehen demnach, wenn dieser Prozess die Systemgrenzen der natürlichen Umwelt überschreitet (Keller & Atzl, 2014, S. 229). Negative Auswirkungen für das System der kritischen Infrastruktur bedeuten gleichzeitig negative Auswirkungen auf die soziale Umwelt. Dies liegt in der Funktion des Systems kritischer Infrastruktur begründet, der Aufrechterhaltung von Funktionen der sozialen Umwelt zu dienen. Diese können im Falle einer negativen Wirkung durch den Klimawandel auf Infrastruktursysteme in ihrer Funktion beeinträchtigt werden. Die Vulnerabilität der (Sub-)Systeme der naturräumlichen Umwelt, kritischen Infrastruktur und sozialen Umwelt stellt die Anfälligkeit dieser Systeme gegenüber den negativen Auswirkungen des Klimawandels dar (Bundesregierung, 2011, S. 6). Die individuelle Bewältigungskapazität (engl. „coping capacity“) stellt die Fähigkeit eines Systems dar, die negativen Wirkungen des Klimawandels abzufangen. Fehlt diese Bewältigungskapazität oder ist sie eingeschränkt, kann die Funktion des Systems entscheidend gestört werden. Trifft die Störung auf das System der kritischen Infrastruktur zu, kann diese ihre Aufgabe der Aufrechterhaltung gesellschaftlicher Prozesse nicht mehr erfüllen, und somit wirkt sich der Klimawandel auch negativ auf das soziale System aus (Keller & Atzl, 2014, S. 229). Eine Gefährdung durch den Klimawandel für die Systeme der naturräumlichen Umwelt, kritischen Infrastruktur und sozialen Umwelt besteht, sobald negative Auswirkungen des Klimawandels mit den vulnerablen Zuständen der Systeme zusammenwirken. (vgl. Sobiech, 2013, S. 50). Reicht die Bewältigungskapazität eines Systems nicht aus, um negative Wirkungen eines anderen Systems auszugleichen (= hohe Vulnerabilität), kann dies zu Katastrophen führen (Temesgen, Mohammed & Korme, 2001, S. 665; Keller & Atzl, 2014, S. 229ff. Ab welchem Punkt die Bewältigungskapazität

nicht mehr ausreichend ist, ist letztlich Frage gesellschaftlicher Wahrnehmung und Konventionen (Atzl & Keller, 2013, S. 34).

Anpassung an den Klimawandel bedeutet im KRITIS-Framework, einerseits die Verletzlichkeit der Systeme sowohl der naturräumlichen Umwelt, in der klimatische Veränderungen systemisch entstehen, wie auch der kritischen Infrastruktur und der sozialen Umwelt gegenüber den Folgen des Klimawandels zu verringern. Andererseits muss die Bewältigungsfähigkeit in Form geeigneter Anpassungsstrategien der Systeme erhalten und gesteigert werden (Deutsche Bundesregierung, 2008, S. 4). Die Bundesregierung (2008) gibt in ihrer „Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS)“ eine Richtung zur nationalen Anpassung und damit verbunden Verringerung der Verletzlichkeit gegenüber dem Klimawandel in zehn verschiedenen Handlungsfeldern vor (Deutsche Bundesregierung, 2008, S. 15). Wesentlich ist hierbei, dass „eine Strategie zur Anpassung an den Klimawandel [...] in Anerkennung der engen Zusammenhänge zu anderen Entwicklungen sowie möglichen Wechselwirkungen [...]“ (Bundesregierung, 2008, S. 15) untersucht und gestaltet werden muss.

Verkehrs- und Energieinfrastruktur sind zwei von zehn Handlungsfeldern in der DAS (Deutsche Bundesregierung, 2008, S. 44). Die Funktion von Energieanlagen und -einrichtungen kann durch extreme Wetterereignisse sowie Hoch- und Niedrigwasser auch in Verbindung mit Starkniederschlägen sowie durch Stürme beeinträchtigt werden (Deutsche Bundesregierung, 2008, S. 34).

Als Folge „extremer Wetterlagen, [...] Schnee, Eis, Nebel, Hagel, Hitzewellen, Stürme, Hoch- und Niedrigwasser in Flüssen oder auch Starkregen [...]“ werden Behinderungen auf den Straßen- und Schienenwegen erwartet. Im Bereich Verkehr können Niederschläge zu einer nassen Fahrbahn und schlechten Sichtverhältnissen führen (Deutsche Bundesregierung, 2008, S. 37). Im Bereich des Straßennetzes können insbesondere jegliche Formen von Niederschlägen Unfälle verursachen (Koetse & Rietveld, 2009, S. 37). Lang anhaltende Hitze schadet der Straßeninfrastruktur, denn hohe Belagstemperaturen weichen den Fahrbahnbelag auf und bedingen u.a. Spurrillen (Deutsche Bundesregierung, 2008, S. 37; Savonis, Burkett & Potter, 2008, S. 1T-1ff). Neben den Schäden an der Infrastruktur kommt es auch zu Gefahren für die Infrastruktur-Nutzung. Glätte, Schnee und hohe Niederschläge erhöhen die Kollisionsgefahr auf Straßen (Dalziell & Nicholson, 2001, S. 159f; Andrey, Mills, Leahy & Suggett, 2003, S. 323). Des Weiteren wird die Nutzung der Straße durch Sperrungen, Teilsperren und verschlechterte Fahrbedingungen eingeschränkt (Andrey et al., 2003, S. 323; Keller & Atzl, 2014). Diese Einschränkungen bis hin zur Totalsperrung wirken sich auf weitere Straßen und andere Infrastrukturen aus. Peterson (2008) fasst zusammen, dass die Veränderung der Klimaextreme große Auswirkungen auf den Transport- und Verkehrssektor haben (Peterson, McGuirk, Houston, Horvitz & Wehner, S. 2). Diese Auswirkungen betreffen die Fahrzeuge, die Netzinfrastuktur und in der weiteren Konsequenz die Funktionsfähigkeit der Infrastruktur und damit das soziale System. Einen Überblick zu den anhand der ausgewerteten Literatur zu erwartenden klimatischen Veränderungen in Deutschland und der Metropolregion Stuttgart und den potentiellen Folgen für die Straßen-, Schienen- und Energieinfrastruktur mit Überschneidungsbereich zu Verkehrsinfrastruktur gibt Tabelle 2.

Petermann et al. (2011) stellen in ihrer Studie „Blackout“ (Petermann, Bradke, Lüllmann, Poetzsch & Riehm, 2011) für das Büro für Technikfolgenabschätzung den Zusammenhang zwischen einem potentiellen Ausfall im Energiesektor zu anderen Infrastrukturektoren, u.a. der Verkehrsinfrastruktur, dar. Die aufgezeigte Verkettung von Dysfunktionalitäten innerhalb des Systems der kritischen Infrastruktur erfasst deren Vulnerabilität exemplarisch. Tritt ein langandauernder und regional übergreifender Stromausfall beispielsweise als Folge eines heftigen Extremwetterereignisse ein, würden die elektrischen betriebenen Elemente im Straßen- und Schienennetz im Moment des Stromaus-

falles oder kurze Zeit später ausfallen (Petermann et al., 2011, S. 12). Zum einen sind die Transportmittel selbst betroffen. Zum anderen jegliche Steuerungs- und Organisationseinheiten, die für die Funktion der Transportmittel genutzt werden. Besonders abhängig von der Stromzufuhr seien jegliche Schieneninfrastrukturkomponenten. Neben den stillstehenden Bahnen sind vor auch große Teile des innerstädtischen Straßennetzes dysfunktional. Lediglich der Autobahnverkehr wäre laut Petermann (2011, S. 12) nicht über die gesamte Dauer des Stromausfalles stillgelegt.

Die Forschungsprojekte der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) beschäftigen sich insbesondere mit den Auswirkungen des Klimawandels auf verschiedene Komponenten der Straßeninfrastruktur (Auerbach, Hermann & Krieger, 2014, S. 5). Ziel ist es, die Vulnerabilität der Straßeninfrastruktur gegenüber den negativen Folgen des Klimawandels zu verringern. Zusammengefasst werden die Ergebnisse aus etwas sieben Projekten in einer Strategie zur „Adaption der Straßeninfrastruktur an den Klimawandel“ (AdSVIS) (Auerbach et al., 2014, S. 5). Der Fokus dieser Teilprojekte liegt, dem Handlungsfeld „Verkehr/Verkehrsinfrastruktur“ aus der DAS folgend, in der Anpassung der Entwässerungsinfrastruktur an höhere Niederschlagsintensitäten und in der Anpassung von Straßenbelägen an zunehmende Hitze durch modifizierte Baustoffe (Auerbach et al., 2014, S. 2). Die zunächst für die erste Jahreshälfte 2014 erwarteten Ergebnisse aus den Teilprojekten der AdVIS liegen derzeit noch nicht vor. Nach Auskunft der BASt wird insbesondere im Bereich der Modellierung von Belagstemperaturen und Belagszuständen mehr Zeit benötigt.

**Tabelle 2: Überblick zum Stand der Forschung zur Vulnerabilität von Energie- und Verkehrsinfrastruktur gegenüber dem Klimawandel in der Metropolregion Stuttgart (vgl. Keller, 2015, S. 48)**

Zu erwartende Klimaänderungen in Deutschland und Baden-Württemberg mit potentiellen Folgen für:			
	Verkehrsinfrastruktur (KLIMOPASS-AKLIM: Straßen- und Schienennetz)	Energieinfrastruktur mit Überschneidungsbereich zu Verkehrsinfrastruktur	Referenz
<b>Zunahme der Anzahl der Hitzetage</b>	<p><b>Straßeninfrastruktur</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Material- und Struktur-schäden</li> <li>- Verformungen an Straßenbelägen, z.B. Spurrillen</li> <li>- TRB (2008, S. 117): Schäden am Asphalt in Form von Aufweichungen und Verflüssigung ab Lufttemperatur &gt; 32 °C</li> <li>- Savnois et al. (2008, S. 4ff): Potentielle Schäden am Belag sowie Stahl- und Betonbrücken bei Überschreitung der Auslegungstemperatur von 46 °C bis 53 °C</li> <li>- Brücken sind besonders anfällig durch thermische Expansion</li> <li>- Gefahr für Verkehrssicherheit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Insbesondere bei sog. „Jahrhundertsommern“ wie z.B. 2003. Temporäre Kühlung von Kraftwerken aufgrund zu hoher Wassertemperaturen der Flüsse bzw. niedriger Pegelstände</li> <li>- Anstieg der Nachfrage von Energie für den Betrieb von z.B. Klimaanlage</li> <li>- <b>Worst-Case-Szenario</b> Abschalten von Energiekraftwerken wie z.B. 2009 in Frankreich</li> <li>- <b>Potentiell positiver Effekt</b> Anstieg der Erträge aus erneuerbaren Energie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hoffmann &amp; Rotter, S. 4ff</li> <li>- Transportation Research Board, 2008, S. 117f</li> <li>- Savonis et al., 2008, S. 4ff</li> <li>- Trinks, Hiete, Comes &amp; Schultmann, 2012, S. 207f</li> <li>- New York Academy of Sciences, 2010, § 4</li> <li>- Rübhelke &amp; Vögele, 2011, S. 53</li> </ul>
	<p><b>Schieneninfrastruktur</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Material- und Struktur-schäden</li> <li>- Verformungen an Schienen</li> <li>- TRS (2008, S. 118): Schwellenwert für Verformungen: Lufttemperatur &gt; 43 °C</li> <li>- Schwankende Temperaturen/einzelne heiße Tage im Frühjahr sind belastend</li> <li>- Gefahr der Zugentgleisung</li> </ul>		

Zu erwartende Klimaänderungen in Deutschland und Baden-Württemberg mit potentiellen Folgen für:			
	Verkehrsinfrastruktur (KLIMOPASS-AKLIM: Straßen- und Schienennetz)	Energieinfrastruktur mit Überschneidungsbereich zu Verkehrsinfrastruktur	Referenz
Abnahme der Anzahl der Frosttage	<b>Straßeninfrastruktur</b> - Potentiell weniger Straßenschäden	- Potentiell geringere Nachfrage an Wärmeenergie	- Hoffmann & Rotter, S. 5
Zunahme der Starkregenereignisse	<b>Straßeninfrastruktur</b> - Erhöhte Gefahr von Überschwemmungen - Erhöhte Gefahr für Erdbeben können zu Teilsperren, Sperrungen und Zerstörung führen - Herabsenkung der Fahrsicherheit führt zu erhöhtem Kollisionsrisiko  <b>Schieneninfrastruktur</b> - Erhöhte Gefahr von Überschwemmungen - Unterspülung von Gleisen - Erhöhte Gefahr für Erdbeben können zu Teilsperren, Sperrungen und Zerstörung führen - Absenkung der Fahrsicherheit - Potentielle Überschwemmungen auch von U-Bahnnetzen und Tunneln	- Potentielles Anschwellen von Flüssen hat einen direkten Effekt auf nahe Energiekraftwerke - Potentielle Effekte auf die Ölversorgunginfrastruktur, wenn Transportwege gesperrt sind	- The Rail Safety and Standards Board, 2004, S. 15 - Zebisch et al., 2005, S. 151 - Transportation Research Board, 2008, S. 117f

Zu erwartende Klimaänderungen in Deutschland und Baden-Württemberg mit potentiellen Folgen für:			
	Verkehrsinfrastruktur (KLIMOPASS-AKLIM: Straßen- und Schienennetz)	Energieinfrastruktur mit Überschneidungsbereich zu Verkehrsinfrastruktur	Referenz
<b>Zunahme von starken Stürmen</b>	<b><i>Straßeninfrastruktur</i></b> - Potentielle Schäden an Verkehrsschildern und Brücken können zur Minderung der Sicherheit der Straßeninfrastruktur führen - Erhöhtes Risiko durch umstürzende Bäume	- Mögliche Schäden an hochragenden Energieanlagen wie Oberleitungen - Zunahme der Gewitteraktivität führt zu potentiellen Elektrizitätsausfällen - Windenergieanlagen müssten bei zu extremen Winden abgeschaltet werden	- Heymann, 2007, S. 12 - Zebisch et al., 2005, S. 151 - Transportation Research Board, 2008, S. 117f
	<b><i>Schieneninfrastruktur</i></b> - Ausfall elektrischer Infrastruktur wie Bahnen		

## 4.2 Empirische Erhebung zur Infrastruktur-Anpassung an den Klimawandel

Ziel des raumplanerisch-sozialwissenschaftlichen Teils von KLIMOPASS-AKLIM war es, zwei grundlegende Beiträge zur Abschätzung der Vulnerabilität der Verkehrsinfrastruktur gegenüber dem Klimawandel zu leisten. Erstens sollte ein Überblick über die bereits heute bestehenden Maßnahmen und Notwendigkeiten bei den zuständigen Akteuren (vgl. Kapitel 2) gewonnen werden. Zweitens sollten Barrieren und Anreize für die Anpassung an den Klimawandel aus der Perspektive befragter Akteure identifiziert werden. Dies ist wichtig, weil die Fähigkeit zur Anpassung in direktem Zusammenhang mit der im vorhergehenden Abschnitt erläuterten Bewältigungskapazität und damit der Vulnerabilität gegenüber dem Klimawandel steht.

Das empirische Vorgehen zur Erreichung dieser Analyseziele kombiniert zwei Erhebungsmethoden, eine qualitative Befragung fachlicher Experten und eine standardisierte Erhebung zum Stand der Klimawandel-Anpassung bei den Kommunen.

Eine Expertenbefragung in Form einer qualitativen Erhebung auf unterschiedlichen Verwaltungsebenen soll primär die Wahrnehmungen und Bewertungen der Akteure in den Fokus nehmen. In der qualitativen – auch rekonstruktiven (vgl. Bohnsack 2014) – Sozialforschung geht es nicht um die formale Steuerung von Akteuren eines Sachbereiches durch Zielvorgaben und ihre Umsetzung, sondern darum, wie Akteure diese wahrnehmen und bewerten, weil dies entscheidend für ihr Verständnis der formalen Steuerung, ihre Anwendung und damit ihr Handeln auf der jeweiligen handlungsebene ist, beispielsweise in den Priorisierungen. Qualitative Sozialforschung wird daher komplementär zur formalen Analyse der Aufbau- und Ablauforganisation der Verwaltung betrieben.

### 4.2.1 Zielsetzung und Methode der qualitativen Expertenbefragung

In einer ersten empirischen Phase wurde exploriert, in welcher Form Klimawandel-Anpassung der Verkehrsinfrastruktur in Baden-Württemberg stattfindet. Diese explorative Phase fand in der ersten Jahreshälfte 2013 statt. Ausgewählt wurden hierzu Experten aus den beiden breit gefächerten Feldern Verkehr und Infrastruktur einerseits und Umwelt, Klima und Energie andererseits. Hinzu kamen Experten aus den Bereichen Stadt- und Regionalplanung, da sich hier Schnittfelder sowohl mit dem Verkehr als auch mit Umweltthemen ergeben. Befragt wurden in dieser Phase insgesamt zehn Experten, darunter jeweils zwei auf Ebene einer Bundes-Einrichtung, auf Ebene von Regierungspräsidien, auf Ebene von Regionalverbänden, auf Ebene von kreisfreien Städten und auf Ebene von Großen Kreisstädten. Ziel dieser Erhebung war es, einen Überblick über die Überschneidung zwischen den Bereichen Verkehrs- und Infrastrukturplanung einerseits und Klimawandel-Anpassung andererseits zu gewinnen. Der Auswahlprozess erfolgte einerseits durch den Befrager, der Experten der betreffenden Ebene ansprechen musste, und dann durch die Angefragten selbst, die sich entweder zu einem solchen Interview bereit erklärten oder dies – aus unterschiedlichen Gründen – ablehnten.

Die in dieser ersten Phase gewonnenen Erkenntnisse flossen anschließend in einen überarbeiteten Interviewleitfaden ein. Auf Basis dieses Leitfadens wurden ab der zweiten Jahreshälfte 2013 qualitative Interviews mit weiteren 24 Experten aus den genannten Bereichen geführt. Grundlage für die Auswahl

der Experten ist eine theoriegeleitete Stichprobe, der eine Einteilung aller Landkreise, Stadtkreise und Großen Kreisstädte nach vier Kriterien vorausging:

1. Räumlicher Schwerpunkt der Zuständigkeit in der Metropolregion Stuttgart (etwa 50% der Experten) und möglichst ausgeglichene Streuung der übrigen Experten im restlichen Baden-Württemberg;
2. Größe der Gebietskörperschaften bezüglich ihrer Einwohnerzahl (Stadtkreise, Große Kreisstädte) bzw. Einwohnerzahl und Anzahl der Kommunen (Landkreise) im Vergleich zu anderen Gebietskörperschaften gleichen Typs in Baden-Württemberg;
3. Zentralität der Gebietskörperschaften auf Basis der EUROSTAT-Klassifikationen in periphere oder städtische Räume (Eurostat, 2001, S. 3);
4. Einteilung der Gebietskörperschaften als Bergregion nach der EUROSTAT-Klassifikation für mountain regions (Eurostat, 2001, S. 8).

Aufgrund der geringen Häufigkeit peripherer Räume und von Bergregionen innerhalb Baden-Württembergs konnten nur zwei Bergregionen und nur ein mittel-zentraler Raum in der Stichprobe berücksichtigt werden. Tabelle 3 gibt einen Überblick über die Anzahl Experten aus verschiedenen Arten von Gebietskörperschaften bzw. Verwaltungsebenen und der Größe. Die Zuständigkeit der befragten Experten auf Bundesebene bezieht sich auf ganz Baden-Württemberg, die der befragten Institution im Schienenverkehr auf große Teile von Baden-Württemberg. Daher war bei diesen eine Einteilung nach Größe nicht möglich.

Insgesamt zeigt sich, dass mittlere und große Gebietskörperschaften in der Stichprobe überwiegen. Dies hat methodische Gründe, die bereits auf ein zentrales Ergebnis der Erhebung hinweisen. Bei kleinen Gebietskörperschaften war es erheblich schwerer, Ansprechpartner für die von KLIMOPASS-AKLIM verfolgte Fragestellung ausfindig zu machen. Auch waren die Rücklaufquoten auf Interviewanfragen hier geringer. Gleichermäßen zeigt sich, dass Landkreise im Vergleich zu Stadtkreisen und Großen Kreisstädten weniger stark vertreten sind. Auch hier war die Rücklaufquote geringer. Als Ursache kommt in Frage, dass die untersuchten Themen (Verkehrsplanung, Umweltplanung, Klima und Energie) in der Zuständigkeit eher bei den Kommunen angesiedelt sind. Die Landkreise wurden dennoch berücksichtigt, da sie, wie in Kapitel 2 erläutert, als Aufgabenträger überörtlicher Busverkehre und Straßenbaulastträger wichtige Akteure im Bereich der Verkehrsinfrastruktur darstellen. Dieses Muster bestätigt sich auch in Tabelle 4, welche die Anzahl der Experten in den Gebietskörperschaften nach Fachbereichen darstellt. Die Mehrzahl der Interviews bei den Landkreisen wurde im Bereich Straßenbau und Straßentechnik geführt. Bei den Gebietskörperschaften mit kommunalen Aufgaben (Stadtkreise und Große Kreisstädte) fanden hingegen mehr Gespräche sowohl aus den Bereichen Verkehrsplanung (in einigen Fällen mit Überschneidung zum Bereich Straßenbau/Straßentechnik) sowie Umwelt, Klima und Energie statt.

Zuletzt ist der geringe Rücklauf an Organisationen aus dem Bereich Schienenverkehr zu erwähnen. Auch hier wurden erheblich mehr Institutionen angefragt. Zwar haben die meisten dieser, häufig privatwirtschaftlich organisierten, Institutionen geantwortet. Allerdings gab es mehrere Absagen für ein Interview mit der Begründung mangelnder Zeit und Personalressourcen. Bemerkenswert ist dies

insbesondere in Hinblick darauf, dass sich in einem Experteninterview im Bereich Schienenverkehr durchaus ein Handlungsbedarf bezüglich der Anpassung an den Klimawandel gezeigt hat.

Um das Ziel der offenen Thematisierung auch subjektiver Bewertungen und Kritik einzubeziehen, musste strikte Vertraulichkeit zugesichert werden. Die Interviews wurden zwar für die Transkription und Auswertung aufgezeichnet, befinden sich jedoch unter Verschluss. Es wurde zugesagt, dass sie – auch nicht anonymisiert – an Dritte weiter gegeben werden, da aus den Antworten eindeutige Rückschlüsse auf die Position und damit den Namen des Interviewten möglich sind.

**Tabelle 3: Übersicht über die Anzahl der befragten Experten nach Art der Gebietskörperschaft/ der Verwaltungsebene und Größe der Gebietskörperschaft (N=34). Eigene Darstellung.**

Anzahl und Art der Gebietskörperschaften nach Größe	klein	mittel	groß	k.A.	Gesamt
Bundesanstalt	0	0	0	2	2
Regierungspräsidium	0	0	2	0	2
Regionalverband	0	0	5	0	5
Schienenverkehr	0	0	1	1	2
Landkreis	2	1	2	0	5
Stadtkreis	0	0	9	0	9
Große Kreisstadt	0	7	2	0	9
<b>Gesamt</b>	<b>2</b>	<b>8</b>	<b>21</b>	<b>3</b>	<b>34</b>

**Tabelle 4: Übersicht über die Anzahl der befragten Experten nach Art der Gebietskörperschaft/ der Verwaltungsebene und Fachgebiet der Experten (N=34). Eigene Darstellung.**

Anzahl und Art der Gebietskörperschaften nach Fachbereich	Stadt/Regionalplanung	Umwelt, Klima, Energie	Infrastruktur	Verkehrsplanung	Gesamt
Bundesanstalt	0	0	2	0	2
Regierungspräsidium	0	0	2	0	2
Regionalverband	1	1	2	1	5
Schienenverkehr	0	0	1	1	2
Landkreis	0	1	4	0	5
Stadtkreis	0	5	1	3	9
Große Kreisstadt	1	4	1	3	9
<b>Gesamt</b>	<b>2</b>	<b>11</b>	<b>13</b>	<b>8</b>	<b>34</b>

Vervollständigt wird der deskriptive Überblick über die Stichprobe durch Tabelle 5. Diese gibt einen Überblick über die Verteilung der Experten nach ihren Fachgebieten und der Größe der Gebietskörperschaft(en) ihres Zuständigkeitsbereiches. Wie zu erkennen ist, war es bei den großen und mittleren Gebietskörperschaften möglich, eine einigermaßen ausgeglichene Streuung zwischen den Bereichen Stadt/Regionalplanung und Umwelt, Klima, Energie einerseits und den Bereichen Infrastruktur und Verkehrsplanung andererseits zu erreichen. Aufgrund der bereits erwähnten, insgesamt geringen Beteiligung kleiner Gebietskörperschaften ist dies hier nicht gelungen. Wie bereits erläutert, ist dies ein Indikator für bestehende Barrieren zur Klimawandel-Anpassung, welche im folgenden Abschnitt noch erläutert werden. Die Auswertung der Experteninterviews fand basierend auf den Methoden von Mayring (2010) und Gläser/Laudel (2009) statt. Grundlage für die Code-Entwicklung ist die Organisa-

tionstheorie (Kieser & Walgenbach, 2003 und Scott, op. 1998), ergänzt um Komponenten des Riskscares-Konzepts von Müller-Mahn und Everts (Müller-Mahn & Everts, 2013, S. 35).<sup>2</sup>

**Tabelle 5: Übersicht über die Anzahl der befragten Experten nach Fachgebiet der Experten und Größe der Gebietskörperschaft (N=34). Eigene Darstellung**

Anzahl Art Fachbereich nach Größe Gebietskörperschaft	klein	mittel	groß	k.A.	Gesamt
Stadt-/Regionalplanung	0	1	1	0	2
Umwelt, Klima und Energie	0	3	8	0	11
Infrastruktur	2	2	6	3	13
Verkehrsplanung	0	2	6	0	8
<b>Gesamt</b>	<b>2</b>	<b>8</b>	<b>21</b>	<b>3</b>	<b>34</b>

#### 4.2.2 Zielsetzung und Methode der standardisierten Erhebung

Nach Abschluss der der qualitativen Phase und Auswertung der geführten Experten-Interviews wurde ab Frühjahr 2014 eine ergänzende, standardisierte Erhebung durchgeführt. Hierzu wurden alle Landkreise, Stadtkreise und Großen Kreisstädte in Baden-Württemberg gebeten, einen standardisierten Fragebogen auszufüllen. Ziel war es, die in der qualitativen Phase erhobenen, aus Datenschutzgründen anonymisierten Informationen von Experten zu ergänzen um raumscharfe Überblicksdaten der Gebietskörperschaften.

Um die öffentliche Nutzbarkeit der Daten sicherzustellen, wurden von den genannten Gebietskörperschaften jeweils die Ansprechpartner für Presse- und Öffentlichkeitsarbeit ermittelt. Bei Fehlen eines solchen Ansprechpartners wurde alternativ auf die Büros der Oberbürgermeister bzw. Landräte zurückgegriffen. Im Anschreiben zum Fragebogen wurde ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die Daten in einem geographischen Informationssystem aufbereitet werden und dazu dienen, einen Überblick über den Stand der Klimawandel-Anpassung in Baden-Württemberg zu geben. Auf vereinzelt Nachfrage nach der Weiterverarbeitung wurde stets erneut darauf hingewiesen, dass die Daten in einem Geographischen Informationssystem raumscharf weiterverarbeitet und auch öffentlich gemacht werden.

Auf diese Weise wurden insgesamt 44 Land- und Stadtkreise sowie 93 Große Kreisstädte in Baden-Württemberg zur Teilnahme aufgefordert. Dieser Fragebogen wurde sowohl als Online-Fragebogen auf den Seiten des KIT-Instituts für Regionalwissenschaft/Institut für Städtebau und Landesplanung, als auch im Rahmen einer Post-Verschickung bereitgestellt. Um Mehrfach- und Falscheintragungen zu

<sup>2</sup> Eine stärkere Detaillierung der verwendeten theoretischen und methodischen Konzepte übersteigt den Rahmen dieses anwendungs-orientierten Berichts. Diese sind nach Erscheinen in der Dissertationsschrift von Andreas Atzl zu finden.

vermeiden, erhielt jede Gebietskörperschaft einen eindeutigen Zugangsschlüssel, über welchen sie sich vor Ausfüllen des Online-Fragebogens identifizieren musste.

Der Fragebogen gliedert sich in drei Frageblöcke. In Block 1 werden Informationen zum Bereich Klimaschutz in der Gebietskörperschaft erfasst. Gefragt wurde nach zuständigen Stellen für dieses Thema, nach der Finanzierung der entsprechenden Stellen sowie nach Aktivitäten der Gebietskörperschaft im Bereich Klimaschutz im vergangenen Jahr. Der Grund für die Berücksichtigung eines Fragenblocks zum Thema Klimaschutz ist, dass die grundsätzliche Befassung einer Gebietskörperschaft mit dem Themenfeld Klimawandel einen Anreiz darstellt, auch das Thema Klimawandel-Anpassung zu behandeln. Äquivalent zu den genannten Detailfragen wurden in den beiden folgenden Fragenblöcken die gleichen Informationen für die Bereiche Klimawandel-Anpassung und Verkehrsplanung/-entwicklung abgefragt. Im Fragenblock zum Verkehrssektor wurden insbesondere Modellprojekte mit Bezug zu Energie- und Klimathemen, aber auch Fragen in Hinblick auf Redundanz veränderte bauliche und betriebliche Standards abgefragt. In allen drei Fragenblöcken hatten die Gebietskörperschaften die Möglichkeit, freie Ergänzungen zu den Antwortvorgaben vorzunehmen.

Die Rücklaufquote für Baden-Württemberg liegt mit 73 ausgefüllten Fragebögen (von 137 Anfragen) bei 53 %, was als sehr gut zu bewerten ist. Dabei liegt der Rücklauf aus den Großen Kreisstädten mit 55 % (51 Fragebögen von 91 Anfragen) etwas höher als bei den Stadt- und Landkreisen mit 50 % (22 Fragebögen von 44 Anfragen). Ein ähnliches Bild ergibt sich für die Städte und Kreise in der Metropolregion Stuttgart. Hier liegt der Rücklauf mit insgesamt 29 ausgefüllten Fragebögen (von 55 Anfragen) bei 53 %. Auch in der Metropolregion liegt der Rücklauf aus den Großen Kreisstädten mit 55 % (23 Fragebögen von 42 Anfragen) höher als bei den Stadt- und Landkreisen mit 46 % (6 Fragebögen von 13 Anfragen). Insbesondere die geringe absolute Zahl an Daten der Stadt- und Landkreise im Untersuchungsraum zeigt, dass es angemessen war, die Erhebung für ganz Baden-Württemberg durchzuführen. Während die Ergebnisse für die Metropolregion Stuttgart zur kartographischen Darstellung für die Untersuchungsregion herangezogen werden, werden diese ergänzt um die absolut deutlich größere Stichprobe für ganz Baden-Württemberg. Aufgrund der dennoch geringen Größe der Grundgesamtheit von 137 Großen Kreisstädten, Stadt- und Landkreisen und der damit verbundenen Validitäts-Probleme konzentriert sich die quantitative Auswertung der Daten in Abschnitt 4.2.4 auf deskriptive statistische Werte.

### 4.2.3 Ergebnisse der qualitativen Expertenbefragung

Die Identifikation von Barrieren und Anreizen zur Anpassung der Verkehrsinfrastruktur an den Klimawandel war die zentrale Zielsetzung der qualitativen Expertenbefragung. Für diesen Bericht müssen die gewonnenen Informationen nachvollziehbar bleiben und zugleich übersichtlich zusammengefasst werden. Zudem muss gewährleistet werden, dass die Anonymität der befragten Experten gewahrt bleibt. Um dies zu erreichen, wurden die im Rahmen der Codierung erstellten, zusammenfassenden Exzerpte der Experteninterviews in einem weiteren Schritt erneut auf ihre Kernaussagen zusammengefasst. Anschließend wurden drei Tabellen erstellt, welche die Grundlage für die folgenden Erläuterungen darstellen.

Tabelle 6 gibt einen Überblick über die von Experten geäußerten Barrieren bei der Anpassung des Verkehrssektors an den Klimawandel. Tabelle 7 enthält die gleiche Information für die Anreize. Teilweise wurden von den Experten Einschränkungen oder Differenzierungen vorgenommen, welche in der Tabelle nicht darstellbar waren. Diese, wie auch weitere ergänzende Informationen auf Basis

der Interviews, werden bei Bedarf im Text erläutert. Sofern im Folgenden keine anderen Quellen genannt werden, beziehen sich die Aussagen also auf die codierten, qualitativen Erhebungsdaten der Experteninterviews. Die Quellen der jeweiligen Expertenaussagen sind auf Basis der Zusammenfassung der Kernaussagen angegeben. Das Kürzel BAR bezieht sich dabei auf die Exzerpt-Zusammenfassung der Barrieren und ANR auf die Zusammenfassung der Anreize. Außerdem sind für alle genannten Barrieren und Anreize die Zielgruppen angegeben, für welche diese besonders relevant sind. Da, wie in den vorhergehenden Kapiteln erläutert, der Zugang zu Experten privater Unternehmen nur in Einzelfällen möglich war, beschränken sich die Empfehlungen auf die verschiedenen Ebenen der öffentlichen Verwaltung. Tabelle 8 ergänzt die Anreize und Barrieren um konkreten Handlungsbedarf, welcher von den Experten bei der Klimawandel-Anpassung der Verkehrsinfrastruktur gesehen wurde, unabhängig von der Einschätzung der Befragter und Auswerter. Dieser Handlungsbedarf wurde, wie auch die in Kapitel 5 erfolgende Formulierung von Empfehlungen, anhand vierer Handlungsbereiche zur Klimawandel-Anpassung strukturiert. Die Quellen sind auch hier auf Basis der Exzerpt-Zusammenfassung mit dem Kürzel HAN angegeben.

Grundsätzlich lassen sich die gegebenen Empfehlungen auf öffentliche Eigenbetriebe übertragen. Empfehlungen für den Schutz kritischer Infrastrukturen durch private Unternehmen empfiehlt sich ein Blick in das Basisschutzkonzept des Bundes (Bundesministerium des Innern, 2005). Die einzelnen Zielgruppen werden über die farbigen Symbole differenziert nach allgemeiner Relevanz (für alle Zielgruppen), dem Bund, dem Land (inkl. der Regierungspräsidien), den Regionalverbänden, den Landkreisen, sowie einerseits großen Kommunen, hier zusammengefasst als Stadtkreise und Große Kreisstädte sowie andererseits kleinen Kommunen, hier zusammengefasst als kleine Städte und Kommunen. Die Barrieren und Anreize in Tabellen 6 und 7 wurden anhand von sechs Organisationsmerkmalen strukturiert. Als siebtes Element zur Strukturierung kamen Barrieren und Anreize hinzu, welche sich aus Infrastruktur selbst ergeben. Die Ergebnisse für diese insgesamt sieben Arten von Barrieren und Anreizen werden im Folgenden erläutert.

Die vorhandenen **Organisationsstrukturen** (Tabelle 6, Spalte 1) in Planung, Bau und Betrieb der Verkehrsinfrastruktur tragen wesentlich dazu bei, dass Klimawandel-Anpassung bislang nur selten stattfindet. So hat sich im Zuge der Interviews gezeigt, dass die Verkehrsplanung die Zuständigkeit für dieses Thema entweder mit Verweis auf den Klimabezug bei den Umweltämtern gesehen hat, oder mit Verweis auf die baulichen Auswirkungen bei den Tiefbauämtern. Es bestand demnach ein vorwiegend technisches Verständnis der Klimawandel-Anpassung. Dies entspricht der Steuerung durch Richtlinien für Planung, Bau und Unterhalt, in welche auf technischem Wege Anpassungsmaßnahmen erfolgen. Bei den Tiefbauämtern hat sich insgesamt ein heterogenes Bild ergeben. Während in größeren Kommunen Klimawandel-Anpassung der baulichen Strukturen – und darunter auch der Straßen – bereits thematisiert wurde, konnten insbesondere kleinere und viele mittlere Kommunen und Landkreise mit diesem Thema nichts anfangen. Hier zeigt sich ein Problem, auf welches im Handlungsbereich „Ressourcen Information“ noch näher eingegangen wird: Der Mangel an strategischer Planung. Dass dies nicht nur kleinere Kommunen und Landkreise betrifft zeigt die Aussage eines Experten, dass strategische Planung auf Ebene der Regierungspräsidien heute kaum noch vorgesehen sei.

**Tabelle 6: Barrieren der Anpassung des Verkehrssektors an den Klimawandel nach Organisations-Merkmalen nach Expertenmeinung (Eigene Darstellung).**

Organisations-Strukturen	Zielsetzungen	Organisationale Umwelt	Ressourcen Geld/Personal	Ressourcen Information	Organisationskultur	Infrastruktur
<p>Verkehrsplaner sehen Zuständigkeit vorwiegend im Bereich der Bau- bzw. Umweltämter (BAR 15, 17)</p> <p>LK S K</p>	<p>Klimawandel-Anpassung wird nicht als im eigenen Fachbereich (Verkehr) relevant betrachtet (BAR 13)</p> <p>A</p>	<p>Nur in wenigen großen Kommunen sind Anpassungskonzepte vorhanden (BAR 10f)</p> <p>LK K</p>	<p>Keine zusätzlichen Stellen/Finanzierung für Anpassung (BAR 4, 10, 16, 21)</p> <p>L LK S K</p>	<p>Kein Zugang zu Hangrutschungsrisiken, daher keine Vorsorge möglich (BAR 2)</p> <p>LK S K</p>	<p>Mangel an Strategischer Planung in kleinen Kommunen (BAR 2)</p> <p>K</p>	<p>Ausbau im Bestand führt dazu, dass Grundsatzfragen der Infrastruktur-Führung etc. weniger relevant sind (BAR 2)</p> <p>A</p>
<p>Strategische Planung auf RP-Ebene nicht vorgesehen (BAR 2)</p> <p>L</p>	<p>Klima-Themen sind nicht Kern der Verkehrsplanung, daher eher über Hinweise von außen (BAR 15)</p> <p>LK S K</p>	<p>Der Einfluss von Kommunen auf private Akteure ist sehr beschränkt (BAR 21)</p> <p>S K</p>	<p>Mangel an qualifiziertem Personal (BAR 12) bzw. nur einzelne zuständige Personen (BAR 17)</p> <p>LK S K</p>	<p>Es gibt in Baden-Württemberg keine „Tradition“ der Strukturierten Erfassung von Extremereignissen (BAR 20)</p> <p>L</p>	<p>Städtebauliche Beratung wurde früher von Kreisen geleistet, Funktion fehlt heute (BAR 10)</p> <p>L LK</p>	<p>Über Richtlinien kann der Bestand nur eingeschränkt erreicht werden (BAR 4)</p> <p>A</p>
<p>Aktionsplan Anpassung wurde über IMA organisiert, Fachbehörden des Bundes waren nicht wesentlich beteiligt (BAR 9)</p> <p>B</p>	<p>Wirtschaftliche Entwicklung steht bei Verkehrsprojekten im Vordergrund (BAR 2)</p> <p>A</p>	<p>Auf Ebene der Bundesländer finden fast keine Anpassungs-Aktivitäten im Verkehrssektor statt (BAR 9)</p> <p>A</p>	<p>Finanzielle Anreize erzeugen teilweise mehr Kosten als sie Kommunen Nutzen bringen (BAR 13)</p> <p>S K</p>	<p>Zur Priorisierung bedarf es einer Monetarisierung der Risiken (BAR 8)</p> <p>A</p>	<p>Energieberater häufig stark technisch orientiert (z.B. Heizung) (BAR 12)</p> <p>A</p>	
<p>Externe Vergabe von Aufträgen ohne Prüfung Durchführbarkeit (z.B. Indikator-Entwicklung) (BAR 5)</p> <p>A</p>	<p>Sektorübergreifender Ansatz der DAS „schert alles über einen Kamm“, führt zu fachlich fragwürdigen Indikatoren (BAR 4, 8)</p> <p>A</p>	<p>Projekte/Maßnahmen werden skeptisch gesehen wenn sie noch nicht häufig durchgeführt wurden (BAR 18)</p> <p>A</p>	<p>Konzeptionelle Verkehrsplanung wird teilweise abgebaut (BAR 14, 18)</p> <p>L LK S K</p>	<p>Verzögerungen bei der Bereitstellung von Klimadaten des DWD führen zu Projekt-Verzögerungen (BAR 6)</p> <p>B</p>	<p>Anpassung schlechter vermittelbar als kurzfristige Maßnahmen (BAR 16)</p> <p>A</p>	

Organisations-Strukturen	Zielsetzungen	Organisationale Umwelt	Ressourcen Geld/Personal	Ressourcen Information	Organisationskultur	Infrastruktur
	<p>Entwicklung von Schadensbildklassen für einzelne Klimasignale ist unabhängig von sektorübergreifenden Indikatoren der DAS (BAR 7)</p> <p><b>A</b></p>		<p>Beratung von Kommunen ist Kür-Aufgabe aufgrund mangelnder Ressourcen (BAR 10)</p> <p><b>R</b></p>	<p>Relevanz wird im Verkehrsministerium derzeit eher gering eingeschätzt, jedoch auf noch geringer Datengrundlage (BAR 6)</p> <p><b>B</b></p>	<p>Unterschiede in Terminologien zwischen Risiko-Community und Straßenbau-Community führt zu Inkonsistenz (BAR 7)</p> <p><b>A</b></p>	
	<p>Zielkonflikt zwischen Anforderungen Bevölkerung, fachlichen Erfordernissen, politischen Wünschen (BAR 12)</p> <p><b>A</b></p>		<p>Für DAS-Aktivitäten des Bundes existiert kein eigenes Budget (BAR 9), für einige Bundes-Projekte fehlt das Budget (BAR 4)</p> <p><b>B</b></p>	<p>Fehlendes Wissen zum Kausalzusammenhang &amp; Gegeneffekten (Beispiele Blow-Ups, Spurrillen, sinkende Konzentration) (BAR 4, 5, 19)</p> <p><b>A</b></p>	<p>Derzeit kein Asset Management auf Straßen des Bundes (wie in CH, NL, Skandinavien), sondern Bedarfsmeldungen (BAR 8)</p> <p><b>B</b></p>	
	<p>Bisher wenige Ereignisse, daher ist Vorsorge nicht rational (BAR 2)</p> <p><b>LK S K</b></p>		<p>Personalmangel bei Bundes-/Landesstraßen → zusätzliche Mittel können nicht umgesetzt werden (BAR 3)</p> <p><b>B L</b></p>	<p>Nennung konkreter Zahlen zur Vulnerabilität fraglich, Tendenz geht zu Bewertung "relativ über die Fläche" je nach regionalen Klimaänderungen (BAR 6)</p> <p><b>A</b></p>	<p>Grundsätzliche Skepsis, über Verkehrsinfrastruktur etwas zur Anpassung beitragen zu können (BAR 12, 13)</p> <p><b>A</b></p>	
	<p>Anpassung wird als vorwiegend technisches Thema betrachtet, nicht als Verhaltens-Thema (BAR 14)</p> <p><b>A</b></p>		<p>Zunahme der Bürgerbeteiligung bindet Ressourcen (BAR 12, 13)</p> <p><b>A</b></p>	<p>Meteorologische Daten sind bislang als Basis wenig vorhanden, bislang nur grobe Trends möglich (BAR 6)</p> <p><b>A</b></p>	<p>Komplexität der Aufgaben/des Themas macht es unattraktiv und wenig greifbar (BAR 16, 18)</p> <p><b>A</b></p>	

Organisations-Strukturen	Zielsetzungen	Organisationale Umwelt	Ressourcen Geld/Personal	Ressourcen Information	Organisationskultur	Infrastruktur
			<p>Wirtschaftlichkeit erfordert, dass Maßnahmen mit höherem Handlungsdruck evtl. priorisiert werden (BAR 18)</p> <p style="text-align: center;">A</p>	<p>Wissen über mögliche Anpassungsprobleme im Bereich Energie- und Verkehrsinfrastruktur gering/vage (BAR 10)</p> <p style="text-align: center;">A</p>	<p>Fehlende politische Unterstützung für Klimawandel-Themen (BAR 17-18, 20, 21)</p> <p style="text-align: center;">A</p>	
				<p>Geringe Präzision und zeitliches Eintreten erst in Zukunft erschweren Rechtfertigung (BAR 11, 19)</p> <p style="text-align: center;">A</p>	<p>Entscheidungen werden häufig erst unter dem Druck von Ereignissen getroffen (BAR 18, 20)</p> <p style="text-align: center;">A</p>	
				<p>Der Mangel an belastbaren Informationen als Ergebnisse geringer derzeitiger Betroffenheit der Betreiber (BAR 16)</p> <p style="text-align: center;">A</p>	<p>Vorbehalte gegen Thema wegen Gefahr der "Resignation" gegenüber Klimawandel (BAR 21)</p> <p style="text-align: center;">A</p>	

*Zielgruppen:*

**A** Allgemein

**B** Bund

**L** Land

**R** Regionalverbände

**LK** Landkreise

**S** Stadtkreise/Große Kreisstädte

**K** Kleine Städte/Kommunen

**Tabelle 7: Anreize zur Anpassung des Verkehrssektors an den Klimawandel nach Organisations-Merkmalen nach Expertenmeinung (Eigene Darstellung)**

Organisations-Strukturen	Zielsetzungen	Organisationale Umwelt	Ressourcen Geld/ Personal	Ressourcen Information	Organisationskultur	Infrastruktur
<p>Klimaschutz-/ Energiemanager als Einstiegspunkt in die Befassung mit Klimathemen (ANR 6)</p> <p></p>	<p>Strategische Prozesse (Stadtentwicklungskonzept) begünstigen Auseinandersetzung (ANR 5)</p> <p></p>	<p>Einzelschritte: Modellprojekte große Kommunen → Standardinstrumente große Kommunen → Modellprojekte kleine Kommunen → Standardinstrumente kleine Kommunen (ANR 3)</p> <p></p>		<p>Kurze, knappe Informationsangebote mit Planungsbezug (ANR 7)</p> <p></p>	<p>Modellprojekte führen auch nach Laufzeit zu fortgeführten Kontakten (ANR 3)</p> <p></p>	<p>Offensichtliche Klimafolgen (z.B. in NL und CH) führen zur Berücksichtigung in Planungen (ANR 1-2)</p> <p></p>
	<p>Klimaschutzkonzepte in Mittelzentren als strategischer Ansatzpunkt (ANR 5, 7)</p> <p></p>	<p>Koordination von Kommunen für Modellprojekte (ANR 3)</p> <p></p>		<p>Definition von Mindeststandards zur Nutzung klimatische Daten durch den DWD (ANR 3)</p> <p></p>	<p>Energieautarkie als Einstiegspunkt in die Befassung mit Klimathemen (ANR 6)</p> <p></p>	<p>Auftreten von Ereignissen in räumlicher Nähe in Deutschland erhöht Aufmerksamkeit (ANR 5)</p> <p></p>
	<p>Klimaschutz ist durch formale Zuständigkeit für Planungsaufgaben derzeit „Kerngeschäft“ der Regionalverbände (ANR 6)</p> <p></p>			<p>Bestehende Prognosen für höheres Klima stoßen die strategische Diskussion an (ANR 2)</p> <p></p>	<p>Modellprojekte führen zu erster Auseinandersetzung mit Themen (ANR 5)</p> <p></p>	

Organisations-Strukturen	Zielsetzungen	Organisationale Umwelt	Ressourcen Geld/ Personal	Ressourcen Information	Organisationskultur	Infrastruktur
	Vermischung bzw. Synergien von Klimaschutz und -anpassung (ANR 6-7)  A					
	Schaffung formaler Instrumente (Bsp. Hochwassergefahrenkarten) zwingt zur Auseinandersetzung (ANR 5)  A					
	Formulierung von Anpassungszielen (DAS) führt zur Konkretisierung von Projektideen (ANR 3)  B					
	An heute existierende Problemlagen anknüpfende Maßnahmen einfacher zu rechtfertigen (ANR 4)  A					

*Zielgruppen:*

**A** Allgemein

**B** Bund

**L** Land

**R** Regionalverbände

**LK** Landkreise

**S** Stadtkreise/Große Kreisstädte

**K** Kleine Städte/Kommunen

Auf Bundesebene stellt sich die Problematik komplexer dar. So wurde zwar im Rahmen der Deutschen Anpassungsstrategie der Verkehrssektor adressiert. Der Aktionsplan Anpassung in diesem Bereich wurde jedoch – in der Einschätzung der Befragten - ohne wesentliche Beteiligung der fachlich zuständigen Bundesbehörde erstellt. Dies erfolgte erst im Anschluss an die Erstellung des Aktionsplans. Auch im Zusammenhang mit dem Aktionsplan Anpassung wurde angemerkt, dass teilweise Aufträge, beispielsweise zur Entwicklung von Indikatoren, ohne vorherige Prüfung der Umsetzbarkeit des Auftrags vergeben wurden. Ein Beispiel, welches weiter unten im Handlungsfeld „Ressourcen Information“ noch näher erläutert wird, ist die methodisch komplexe Entwicklung von Indikatoren für den Anpassungsbedarf. Als Anreiz (Tabelle 7, Spalte 1) für die Befassung einer Kommune mit der Anpassung an den Klimawandel kann hingegen die Einrichtung von Klimaschutz- oder Energiemanagern in einer Gebietskörperschaft wirken. Hier muss jedoch zwischen unterschiedlichen Ausrichtungen der Funktion Klimaschutz-/Energiemanager differenziert werden. So hat sich gezeigt, dass insbesondere in solchen Kommunen und Landkreisen, welche kein rein technisches Verständnis dieser Funktion haben, auch das Thema Klimawandel-Anpassung eher eine Rolle spielt. Fungiert ein Energie-/Klimaschutzmanager in erster Linie als Energieberater für kommunale Liegenschaften, ist dies eher nicht zu erkennen. Die Ursache hierfür dürfte in der breiteren thematischen Ausrichtung liegen, die Klimaschutz-/Energiemanager zwangsläufig einnehmen müssen, wenn Sie neben der reinen Einsparung/Effizienz kommunaler Liegenschaften auch darüber hinaus in das anpassungsbezogene planerische Handeln der Gebietskörperschaft wirken sollen. Grundsätzlich lässt sich aber als Ergebnis der Interviews feststellen, dass die prinzipielle Befassung einer Gebietskörperschaft mit dem Thema Klimawandel auch als Anreiz wirkt, dass das Thema Klimawandel-Anpassung handlungsrelevant wird. Dies liegt einerseits an der Informationslage. So werden die Wirkfolgen des Klimawandels eher thematisiert, wenn es Klimaschutzmanager gibt. Zudem bilden sich über den Themenbereich Klima und Energie Netzwerke, in denen Kommunen eher auf Modellprojekte auch im Bereich Klimawandel-Anpassung aufmerksam werden. Dies wird auch in der Analyse des Einflusses der Organisationskultur erneut aufgegriffen.

Damit ist nicht gesagt, dass keine wirksame Adaption an den Klimawandel erfolgt, z.B. über die genannten Normen und Richtlinien, sondern dass dies den zuständigen Stellen auf den unteren und mittleren Ebenen der Verwaltung (also nicht nur der Straßenbauverwaltung, sondern der Umwelt- und räumlichen Gesamtplanung, die hier in der Klimaanpassung koordinierend tätig ist) nicht bewusst ist.

Die **Zielsetzungen** sowohl von Gebietskörperschaften insgesamt, aber auch von Behörden und Fachplanungs-Abteilungen, sind ein weiteres Charakteristikum, welches als Barriere (Tabelle 6, Spalte 2) oder Anreiz (Tabelle 7, Spalte 2) fungieren kann. Auf Ebene der Fachplanung im Verkehr zeigen sich im Wesentlichen zwei Barrieren. So wurde häufig geäußert, dass Klimawandel-Anpassung für den eigenen Fachbereich der Verkehrsplanung nicht relevant oder nicht inhaltlicher Kern der eigenen Arbeit sei. Während Letzteres grundsätzlich richtig ist, stellt sich die Frage, inwiefern eine Bewertung der Relevanz derzeit überhaupt seriös möglich ist. Wie im Bereich „Ressourcen Information“ noch erläutert wird, existieren bezüglich des Verkehrssektors auf den adressierten Ebenen erhebliche Informationsdefizite zu den Wirkfolgen des Klimawandels. Bezieht man jedoch die in Kapitel 2 erläuterten langen Planungszeiträume insbesondere für bauliche Infrastrukturen mit ein, zeigt sich deutlich das hieraus bestehende Problem. Aufgrund der derzeitig als wenig relevant wahrgenommenen Bedeutung und fehlender Informationen über erfolgte Anpassungen wird die Bedeutung von Anpassungsmaßnahmen von fachlich zuständigen Akteuren unterschätzt. Hierdurch wiederum entsteht eine Rückwirkung auf Bereiche, in denen derartige Anpassungsmaßnahmen nicht existieren.

Eine weitere Barriere in Bezug auf die Zielsetzungen ergibt sich daraus, dass die wirtschaftliche Entwicklung – und hier die kurzfristige – häufig im Vordergrund steht, wenn es um die Begründung für Verkehrsprojekte geht. Insbesondere Themen mit einer schlechten Informationslage oder schlecht quantifizierbaren Entwicklungen fallen dabei im Zuge der Abwägung zwischen unterschiedlichen Alternativen hinten runter. Zugleich verwiesen einige Experten auch auf die begrenzten finanziellen und personellen Ressourcen, welche später noch näher erläutert werden. Diese machen eine Priorisierung grundsätzlich notwendig. Jedoch wurde durchgängig der Weg zur Durchführung dieser Priorisierung im Verkehrsbereich kritisch gesehen, wie im Bereich Organisationskultur noch ausgeführt wird. Auch wurde ein bestehender Zielkonflikt zwischen fachlichen Erfordernissen, Anforderungen durch die Bevölkerung und politischen Wünschen gesehen. Es ist wenig überraschend, dass während der Interviews mit Fachleuten die fachliche Perspektive als häufig nicht ausreichend berücksichtigt genannt wurde. Dies wurde besonders deutlich an Kritik, welche an den mit der Deutschen Anpassungsstrategie verbundenen Prozessen geäußert wurde. Es wurde als kritisch bewertet, dass durch den integrierten Ansatz der Anpassungsstrategie „alles über einen Kamm geschoren“ würde. Dies führe teilweise zu Anpassungs-Indikatoren, welche von Fachleuten als zweifelhaft betrachtet würden, wie im Bereich „Ressourcen Information“ noch näher erläutert wird. Auch sei der Aktionsplan Anpassung mit geringer Beteiligung der fachlich zuständigen Bundesbehörden entstanden. Im Ergebnis ist absehbar, dass sich die fachspezifischen Indikatoren für den Verkehrsbereich von jenen der Anpassungsstrategie unterscheiden werden. Hier zeigt sich die Schwierigkeit, einen Prozess einerseits fachübergreifend zu gestalten, zugleich aber spezifisches Wissen zu relevanten Bereichen in den Prozess einzubinden.

Andererseits lässt sich feststellen, dass die Erarbeitung der Deutschen Anpassungsstrategie und des Aktionsplans Anpassung dazu geführt haben, dass konkrete Projekte gestartet wurden, welche auch die Anpassung im Verkehrssektor zum Gegenstand haben. Insofern sind auch mit gewissen Barrieren behaftete Konzepte im Grundsatz mögliche Anreize für Veränderungsprozesse. Dies gilt auch insofern, als die DAS konkrete Anforderungen an die Behörden des Bundes formuliert, die zu erfüllen sind. Etwas Ähnliches zeigt sich auf Ebene der Regionalverbände im Bereich des Klimaschutzes. Hier ist durch die formale Zuständigkeit für die Ausweisung von Vorranggebieten für die Windenergienutzung bei gleichzeitiger Aufhebung der Restflächen als Ausschlussgebiete die Möglichkeit der Nutzung der Windenergie erheblich erweitert worden. Hinzu kommt, dass die Regionalverbände auch mit dem Thema Hochwasser befasst sind, welches auch Bezüge zur Klimawandel-Anpassung besitzt. In der Kombination dieser teilweise formalen Zuständigkeiten für klimabezogene Themen ergibt sich ein insgesamt breites Verständnis auch für die Klimawandel-Anpassung, welches sich im Rahmen der Interviews bei den Regionalverbänden gezeigt hat.

In diesem Zusammenhang ist es wichtig, auf die Funktion der Regionalverbände bei der Vernetzung von Kommunen und Landkreisen hinzuweisen. Denn ein weiterer Anreiz zur Anpassung an den Klimawandel ist die Existenz von strategischen Prozessen oder entsprechenden Stabsstellen, beispielsweise im Bereich der nachhaltigen Stadtentwicklung. Ober- und Mittelzentren können hierbei aufgrund ihrer besseren Ressourcen-Ausstattung eine Vorreiterrolle spielen. Damit derartige strategische, langfristige Planungsprozesse auch für kleinere Kommunen mit stärker begrenzten Personal- und finanziellen Ressourcen umsetzbar werden, braucht es Multiplikatoren. Die Regionalverbände bieten sich für diese Funktion an. Allerdings wurde auch hier von Experten darauf hingewiesen, dass es deutliche Unterschiede zwischen der personellen und finanziellen Ausstattung von Regionalverbänden gibt. So wurde in einem Gespräch die koordinierende Funktion im Bereich der Klimawandel-Anpassung als „Kür“ bezeichnet, welche mitunter hinter den Pflichtaufgaben zurückstehen muss. Aus

Sicht der Autoren könnte eine Stärkung der Regionalverbände, auch in ihren formalen Zuständigkeiten, verbunden mit der Bereitstellung bzw. Verlagerung entsprechender Mittel, zu einer Verbesserung der strategischen, langfristigen Planung auch der Klimawandel-Anpassung führen.

Unter der **organisationalen Umwelt** werden Akteure und Organisationen verstanden, welche sich im Umfeld einer Organisation bewegen. Die Abgrenzung zwischen Organisationsstrukturen und organisationaler Umwelt ist dabei abhängig von der Definition der jeweils betrachteten Organisation, die Übergänge sind fließend. Für diese Analyse werden die einzelnen Gebietskörperschaften jeweils als Organisation verstanden. Hierzu zählen sowohl andere Gebietskörperschaften bzw. Verwaltungsebenen auf der gleichen Ebene, oder auf höherer oder niedrigerer Raumbene, aber auch private Akteure wie Unternehmen. Grundsätzlich wurde bezüglich der Barrieren im Bereich der organisationalen Umwelt (Tabelle 6, Spalte 3) in der Erhebung deutlich, dass insgesamt nur sehr wenige Aktivitäten zur Anpassung der Verkehrsinfrastruktur stattfinden. Übereinstimmend berichteten die befragten Experten, dass dies sowohl für die Bundesländer insgesamt, als auch für die Mehrzahl der Kommunen und Landkreise in Baden-Württemberg gilt (siehe hierzu auch den nachfolgenden Abschnitt 4.2.4). Wenngleich die geringe Anzahl an Aktivitäten selbst wohl nicht der ausschlaggebende Grund hierfür ist (dies wäre ein Zirkelschluss), so wurde in den Interviews dennoch deutlich, dass die geringe Anzahl von Kommunen mit Anpassungskonzepten und –aktivitäten insbesondere für kleine und mittlere Gebietskörperschaften eine Barriere darstellt, selbst aktiv zu werden. Dies gilt unabhängig davon, ob dies von Kommunen als willkommene Legitimation für fehlende Anpassungsmaßnahmen genutzt wird oder ob Kommunen tatsächlich an der Umsetzung solcher Maßnahmen interessiert wären: es fehlt an konkreten Beispielen, welche Anpassungsprozesse mit welchen Effekten tatsächlich möglich sind. Ähnlich wurde die Problematik in Bezug auf private Akteure wahrgenommen in einer Gebietskörperschaft, die selber eher aktiv im Bereich Klimawandel-Anpassung ist. Es wurde allerdings auf den geringen Einfluss hingewiesen, den die Kommunen – je nach Konstellation – auf private Akteure wie Infrastrukturbetreiber, Verkehrsunternehmen und Logistiker haben.

In direktem Zusammenhang mit dieser „Mengenproblematik“ wurde in einem Interview ein schrittweises Vorgehen zur Lösung vorgeschlagen (Tabelle 7, Spalte 3). Der Gedanke ist, analog zur Implementierung von Maßnahmen zum Flächensparen in den 2000er Jahren, von einzelnen Modellprojekten in großen Kommunen zu Standardinstrumenten in großen Kommunen zu kommen. Diese könnten dann, erneut über Modellprojekte an die Erfordernisse kleinerer Kommunen angepasst und schließlich im letzten Schritt dort in das Standard-Repertoire übernommen werden. Dass dieses Vorgehen aus dem Kreise eines Regionalverbandes vorgeschlagen wurde, zeigt die koordinierende Rolle, welche Regionalverbände bei entsprechender Zuständigkeit und Ausstattung im eigenen Aufgabenverständnis spielen könnten.

Bereits mehrfach angesprochen wurden die **Ressourcen Geld und Personal** (Tabellen 6 und 7, Spalte 4), welche eine wichtige Rolle als Barriere spielen. Grundsätzlich lässt sich feststellen, dass in den Interviews durchgängig deutlich wurde, dass sich das Verhältnis zwischen Anforderungen und Ausstattung in den vergangenen Jahren verschlechtert hat. Konkret wurde immer wieder darauf hingewiesen, dass für die zusätzlichen Aufgaben im Bereich der Klimawandel-Anpassung keine zusätzlichen Mittel oder Stellen geschaffen würden. So sind auch die Maßnahmen des Bundes im Aktionsplan Anpassung nicht an ein Budget gekoppelt. Hinzu kommt, dass von einzelnen Gebietskörperschaften vakante Stellen und Schwierigkeiten bei der Besetzung mit qualifiziertem Personal bereits für die regulären Aufgaben genannt wurden. Im Bereich der Bundes- und Landesstraßen habe Personalknappheit im vergangenen Jahr außerdem dazu geführt, dass nicht alle theoretisch verfügbaren Mittel für die Verkehrsinfrastruktur verwendet werden konnten. Wie bereits erwähnt können auch

die Regionalverbände die Koordination und Unterstützung der Kommunen im Bereich Klimawandel-Anpassung nur in begrenztem Maße umsetzen. Darüber hinaus wird deutlich, dass die steigende Bürgerbeteiligung bei der Projektplanung zu erhöhtem Aufwand führt. Zuletzt führt die Anforderung der begrenzten Ressourcensituation dazu, dass andere Anforderungen wie die Anpassung an den demographischen Wandel oder Wanderungsprozesse der Bevölkerung höher priorisiert werden – auch weil ihre Wirkfolgen wesentlich näher liegen. Als Anreiz eine bessere Finanzausstattung zu empfehlen greift jedoch zu kurz. Wesentlicher ist, wofür entsprechende Gelder eingesetzt werden. Die in diesem Abschnitt genannten Anreize, insbesondere alle Aspekte strategischer und langfristiger Planung, der Koordination und Unterstützung von Gebietskörperschaften in Modellprojekten, aber insbesondere auch der Beschaffung und Bereitstellung belastbarer Daten zu den Wirkfolgen des Klimawandels sollten nach Ansicht der Experten hier im Vordergrund stehen. Die genannten Punkte sind im Übrigen weitgehend auch hilfreich für andere Anpassungsprozesse und Herausforderungen für die Verkehrsinfrastruktur.

Die **Ressource Information** hat sich im Projektverlauf als zentrale Einflussgröße für die Umsetzbarkeit einer Klimaanpassung herausgestellt. Sowohl im Rahmen des naturwissenschaftlich-mathematischen Teilprojekts (siehe Abschnitt 4.3), als auch als Ergebnis der Experteninterviews haben sich deutliche Defizite bei der Verfügbarkeit, der Zugänglichkeit und der validen Interpretierbarkeit von Daten gezeigt. Drei Bereiche lassen sich als Barrieren in Bezug auf die Ressource Information (Tabelle 6, Spalte 5) differenzieren. Erstens wird in einigen Bereichen ein Mangel an zugänglichen Basisdaten zur Situation der Verkehrsinfrastruktur, sowohl in Baden-Württemberg als auch bundesweit, bemängelt. Nicht für dieses Projekt war dies, wie in Abschnitt 4.3 beschrieben, eine Herausforderung. Auch Kommunen, Regierungspräsidien oder die Landespolizei verfügen nicht über strukturierte, leicht verfügbare Informationen beispielsweise zum Zustand der Verkehrsinfrastruktur in Bezug auf Beschädigungen aufgrund von Extremereignissen. Zwar erlauben die in Abschnitt 2 zitierten Bestandsbewertungen einen Blick auf den aktuellen Zustand, allerdings nicht auf die Ursachen dieses Zustandes. Auf Ebene der Straßen mit Baulast beim Bund existiert, ebenso wenig wie für Baden-Württemberg, ein Asset Management, wie auch im folgenden Abschnitt zur Organisationskultur noch erläutert wird.

Der zweite Bereich mit Informationsdefiziten betrifft Daten zu den klimatischen Bedingungen insbesondere in der Zukunft. Die heute vorliegenden räumlichen Auflösungen eignen sich nur bedingt für Ableitungen auf die Infrastruktur, da im für Bauwerke relevanten Maßstab von wenigen bis einigen hundert Metern zwangsläufig Interpolationsfehler entstehen. Daneben gibt es jedoch auch Einschränkungen der Zugänglichkeit von Daten, welche mit öffentlichen Mitteln erzeugt wurden. So liegen auf Landesebene 3D-Modelle für die zukünftige Gefahr von Massenbewegungen vor. Diese sind jedoch weder für dieses Forschungsprojekt zugänglich gewesen, noch stehen Sie den Kommunen zur Verfügung. Wenngleich die Gründe hierfür – mögliche Konflikte mit Kommunen und Eigentümern – nachvollziehbar sein mögen: Im Zuge der Erhebung wurde deutlich, dass der transparentere Umgang mit solchen Daten, wie er beispielsweise in den Niederlanden oder der Schweiz praktiziert wird, von vielen der Experten als gutes Beispiel gesehen wird.

Der dritte Bereich, in dem die Informationslage schwierig ist, sind die tatsächlichen Kausalzusammenhänge zur Bewertung von Wirkfolgen des Klimawandels. An einer Reihe von Beispielen wurde deutlich, dass in der Diskussion befindliche Indikatoren zur Abbildung des Anpassungsbedarfs der Verkehrsinfrastruktur an den Klimawandel nur eine geringe Validität besitzen. So waren eine Zeit lang beispielsweise Blow-ups in Betonfahrbahnen als mögliche Wirkfolgen des Klimawandels in der Diskussion. Letztlich wurde von Experten aber deutliche Skepsis an diesem Zusammenhang geäußert.

Ähnlich verhält es sich mit den – auch in diesem Bericht in Kapitel 5 thematisierten – Spurrillen aufgrund höherer Hitze des Asphalt. Wenngleich der Klimawandel hier vermutlich einen Beitrag leistet, ist unklar, wie hoch dieser Beitrag im Vergleich zu anderen Belastungen wie einer Zunahme des Schwerlastverkehrs, der Achslasten oder einer – auch genannten - Verschlechterung der Bitumen-Qualität einzustufen ist. Als weitere Beispiele für Indikatoren mit unklarer Validität genannt wurden ein erhöhter Streusalz-Einsatz als Indikator für verkehrlich schwierigere Winter (hier könnte auch eine gestiegene Servicequalität vorliegen) oder möglicherweise nachlassende Konzentration am Steuer in heißeren Sommern (in denen jedoch möglicherweise zugleich weniger Verkehrsaufkommen vorhanden ist). In Ergänzung dieser Einschätzung mitunter fragwürdiger Indikatoren wurde von Experten zudem kritisiert, dass es im Rahmen von Anpassungsmaßnahmen vorkomme, dass der zweite Schritt vor dem ersten gemacht werde. So stellt sich die Frage, welche Ergebnisse in Projekten zur Entwicklung von Indikatoren gewonnen werden können, wenn bereits Probleme bezüglich dem infrastrukturellen, klimatischen und kausalen Kenntnisstand existieren.

In der Folge dieses Mangels an Informationen und der Unsicherheit über Qualität und Belastbarkeit der vorhandenen Informationen ergeben sich auch Barrieren darin, Maßnahmen zur Anpassung der Verkehrsinfrastruktur an den Klimawandel rechtfertigen zu können. Dies gilt insbesondere dann, wenn diese Maßnahmen gegenüber anderen Maßnahmen bei begrenzten Ressourcen abgewogen werden müssen. Ein Beispiel sind Bewertungen von Trassenvarianten im Raumordnungsverfahren. Die Konsequenz sollte hingegen nicht sein, vollständig auf diese Maßnahmen zu verzichten. Wie aus den Empfehlungen in Abschnitt 5 deutlich wird, sollte es vielmehr darum gehen, die grundlegende Datenbasis zu stärken, vorhandene Informationen besser zugänglich zu machen und auf solche Maßnahmen zu setzen, die neben der Klimawandel-Anpassung auch zu anderen Zielen beitragen können. Denn grundsätzlich kann die Bereitstellung der Ressource Information als Anreiz (Tabelle 7, Spalte 5) für die bedarfsorientierte Anpassung der Verkehrsinfrastruktur an den Klimawandel fungieren. So haben die bereits bislang vorhandenen, noch recht unspezifischen Erwartungen eines Klimawandels ja die derzeitige Diskussion zu diesem Thema erst angestoßen. Die Definition von Mindeststandards für die Nutzung klimatischer Daten, aber auch die Bereitstellung valider Ergebnisse in knapper Form für Akteure der Infrastrukturplanung, dem –betrieb und der –entwicklung wurde von den Experten überwiegend als wünschenswert genannt.

Die **Organisationskultur** als mögliche Barriere oder Anreiz (Tabellen 6 und 7, Spalten 6) für die Klimawandel-Anpassung der Verkehrsinfrastruktur basiert im Wesentlichen auf dem Selbstverständnis, mit welchem eine Organisation sich einem Thema nähert. Neben den politischen Rahmenbedingungen einer Gebietskörperschaft spielte hierbei auch die Historie zur Auseinandersetzung mit bestimmten Themen oder bei der Durchführung von Projekten eine Rolle. Ein bereits angesprochener Aspekt ist dabei das Maß an strategischer Planung, welches neben den verfügbaren Ressourcen eben auch mit dem Selbstverständnis einer Gebietskörperschaft zusammenhängt. Hier wurde in der Erhebung deutlich, dass gerade bei kleineren Kommunen diese strategischen Aspekte nur eine geringe Rolle spielen. Darüber hinaus wurde von Experten geäußert, dass die Landkreise heute auch keine städtebauliche Beratung für die Kommunen mehr leisten – eine Funktion, die die Regionalverbände je nach Ausstattung nur begrenzt übernehmen könnten. Im Bereich Klimawandel-Anpassung kommt hinzu, dass es – zumindest stellenweise – Vorbehalte gegen das Thema gibt, weil hiermit die Gefahr einer Resignation gegenüber dem Klimawandel gesehen wird. Maßnahmen zur Abschwächung des Klimawandels und Anpassung an seine Folgen werden teilweise als alternative Konzepte gedeutet. Umgekehrt fanden auch Interviews in Gebietskörperschaften statt, in denen grundsätzlich die politische Unterstützung für die Auseinandersetzung mit Klimawandel-Themen gering ist. Zudem lässt

sich das Thema Anpassung, insbesondere wenn die konkreten Folgen nicht klar zu benennen sind, schlechter als andere im politischen Raum platzieren. Seine Komplexität macht das Thema insgesamt wenig greifbar und damit unattraktiv für politische Entscheidungen.

Neben diesen stärker politisch-gesellschaftlichen Aspekten wurde zudem in den Experteninterviews, aber auch im Zuge der Auseinandersetzung mit der vorhandenen Literatur, deutlich, wie getrennt voneinander beispielsweise die wissenschaftlichen Diskurse einerseits im Bereich Klimafolgenforschung oder auch Vulnerabilität gegenüber Extremereignissen und andererseits im Bereich Straßeninfrastruktur oder Straßenbau ablaufen. Die Terminologien für ähnliche Gegenstände unterscheiden sich, und es gibt nur begrenzten Austausch zwischen den entsprechenden Akteuren.

Nicht zuletzt ist auch das bereits ausgeführte Thema Datenverfügbarkeit und Transparenz von Entscheidungsprozessen mit der Organisationskultur verbunden. So wurde bereits der Mangel an Erfassung der Ursachen von Straßenschäden in Baden-Württemberg erwähnt. Darüber hinaus gibt es nach Experten-Auskunft auf Bundesebene derzeit kein Asset Management zur Priorisierung von Instandhaltungsmaßnahmen auf Basis definierter Kriterien, wie es beispielsweise in der Schweiz und den Niederlanden in einigen Bereichen vorhanden ist. Darüber hinaus wurde an einigen Stellen eine grundsätzliche Skepsis geäußert, über Maßnahmen im Zusammenhang mit der Verkehrsinfrastruktur überhaupt etwas zur Klimawandel-Anpassung beitragen zu können. Andererseits sind erwähnte positive Erfahrungen mit Modellprojekten, aber auch das Streben nach einer autarken Energieversorgung (welche dem Bereich der Organisationskultur zuzurechnen ist) mögliche Anreize für die Auseinandersetzung mit Klimawandel und in der Folge auch mit der Anpassung daran.

In Hinblick auf die Situation der **Infrastruktur** selbst (Tabellen 6 und 7, Spalten 7) spielt der derzeit geringe praktische Handlungsdruck eine Rolle. So müssen die mehrfach genannten „positiven“ Beispiele Niederlande und Schweiz mit anderen, teilweise erheblich stärkeren Natureinwirkungen auf ihre Infrastruktur umgehen. Dieser fehlende Handlungsdruck – in der Kombination mit allgemein geringer Datenlage – wurde in den Interviews als wesentliche Ursache für geringere Maßnahmen der Anpassung genannt. Auch die Tatsache, dass der Großteil der Aktivitäten an der Verkehrsinfrastruktur im Bestand stattfindet, kann dazu führen, dass grundsätzliche Überlegungen zu Struktur der Mobilität oder Verlauf von Trassen eine geringere Rolle spielen als bei Neubauten.

Neben der Auswertung und Analyse der Barrieren und Anreize gibt Tabelle 8 einen Überblick über den von den Experten im Rahmen der Erhebung geäußerten Handlungsbedarf zur Anpassung der Verkehrsinfrastruktur an den Klimawandel. Da viele der dort aufgeführten Punkte bereits in den vorhergehenden Abschnitten thematisiert wurden, werden im Folgenden nur noch neue Aspekte ergänzt. Ein solcher Aspekt in Bezug auf den Handlungsbedarf im Daten- und wissenstechnischen Bereich (Tabelle 8, Spalte 1) ist ein Vorschlag, sich bei Prognosen zur Vulnerabilität der Verkehrsinfrastruktur in Anbetracht der Datenlage eher auf Bewertungen „relativ über die Fläche“ zu beschränken. Der Gedanke ist, dass bei nur grob aufgelöst verfügbaren Informationen auch die Ableitungen daraus sich auf einen größer gewählten Raum beziehen sollten. So könnten beispielsweise die technisch-baulichen (Tabelle 8, Spalte 2) Regelwerke zur Straßeninfrastruktur auf Basis regionaler Klimaprojektionen räumlich differenziert (z.B. in Nord- und Süddeutschland) werden. In Bezug auf die Datensituation wurden außerdem spezifische Lücken benannt, die in absehbarer Zeit gefüllt werden könnten, beispielsweise durch die Entwicklung von Wirkmodellen für spezifische Infrastruktureile, die Berücksichtigung weiterer Ereignisarten und den Aufbau einer Serverinfrastruktur zur Kombination von Klima- und Infrastrukturdaten. Im technisch-baulichen Bereich wurden außerdem Veränderungen bei den Abständen von Straßeneinläufen, veränderte Straßenprofile zur einfacheren

Entwässerung und die Anpassung von Materialien an höhere Temperaturen genannt. Die Reduktion von Emissionen ist im Grundsatz ein Klimawandel-Vermeidungs-Thema. Sie ist hier dennoch aufgeführt, da die Trennung zwischen Klimawandel-Anpassung und Klimaschutz insbesondere von Experten aus dem Verkehrssektor selten gezogen wurde.

Betrieblich-organisatorisch (Tabelle 8, Spalte 3) wurden in erster Linie veränderte Rhythmen für die Wartung und Instandhaltung der Infrastruktur genannt, beispielsweise durch kürzere Abstände beim Grünschnitt oder Veränderungen im Winterdienst. In diesem Bereich wurde darauf hingewiesen, dass es sich am ehesten um die Intensivierung bestehender Maßnahmen anstelle gänzlich neuer Ansätze handeln dürfte. Ergänzungen bei den strukturell-planerischen Aspekten (Tabelle 8, Spalte 4) sind einerseits die Notwendigkeit für Bewusstseinsänderungen, beispielsweise zu den begrenzten Möglichkeiten der Vorsorge und technischer Lösungen. Zudem wurde der Bedarf gesehen, zukünftig stärker auf die Zuverlässigkeit von Transportketten zu achten, insbesondere wenn diese im kombinierten Verkehr stattfinden. Auch wurde darauf hingewiesen, dass die Anpassung der Verkehrsinfrastruktur kein abschließender Prozess ist. Auch wenn bestimmte Ziele erreicht sein werden, ist weiterhin mit Klimaveränderungen zu rechnen, welche einen kontinuierlichen Prozess erfordern werden.

Insgesamt zeigen die Auswertungen der Interviews ein sehr heterogenes Bild des Wissens um und der Bewertung von Klimawandel-Anpassungsmaßnahmen. Es erklärt sich nicht nur aus den fachlichen Provenienzen der jeweils Befragten, sondern auch aus politisch-gesellschaftlichen Rahmenbedingungen, welche die Planungs- und Verwaltungskultur der Gemeinde oder des Landkreises prägen. Je höher in der Verwaltungshierarchie positioniert, desto fachlich differenzierter sind die Verantwortungsbereiche, die Expertise und damit auch das Wissen um mögliche und realistische Anpassungsmaßnahmen im jeweiligen Zuständigkeitsbereich.

**Tabelle 8: Von Experten geäußerter Handlungsbedarf zur Anpassung des Verkehrssektors an den Klimawandel (Eigene Darstellung)**

Daten-wissenstechnisch	Technisch-baulich	Betrieblich-organisatorisch	Strukturell-planerisch
Umgang mit unklaren Kausalzusammenhängen und Indikatoren-Validitäten (z.B. Ursache Biomasse-Zuwachs, Spurrillen, Konzentration bei Hitze, Taumittel-Verwendung, Blow-Ups bei Beton) (HAN 3, 6, 7, 10)	Reduktion von Emissionen (HAN 2, 4, 5)	Aufstockung Personal bei Bundes-/Landesstraßen um strategische Planung zu ermöglichen (HAN 1-2)	Zunehmende Schwierigkeit finanzieller Vorsorge vor Elementarschäden (HAN 2-3)
Umgang mit Unsicherheit über Wirkfolgen (HAN 3)	Spurrillen (insbes. bei Stahlbrücken) (HAN 3)	Zunahme der Biomasse erfordert betriebliche Veränderungen im Grünschnitt (HAN 3, 7-8)	Sicherstellung von Transportketten bei Nutzung verschiedener Verkehrsträger (Kombi-Verkehr) (HAN 2)
Aufgrund schwieriger Detail-Prognosen eher Bewertungen "relativ über die Fläche" vornehmen (HAN 6)	Retentionsmaßnahmen an Vorflutern, insbesondere für Unteranlieger (HAN 4)	Anpassung Betrieb an stärkere Winterereignisse (HAN 3, 7-8) Zunahme der Biomasse erfordert betriebliche Veränderungen im Grünschnitt (HAN 3, 7-8)	Änderungen der Nutzungsstruktur potenziell gefährdeter Bereiche (HAN 4)
Downscaling meteorologischer Daten auf für Infrastruktur nutzbare Auflösungen (HAN 8)	An Starkniederschläge angepasste Entwässerungssysteme (z.B. Abstände Straßeneinläufe, V-Profile) (HAN 5)	In vielen Bereichen Intensivierung bestehender Maßnahmen anstelle umfangreicher Neuentwicklung (HAN 11)	Verstetigung des Anpassungsprozesses, da dieser bei sich weiter veränderndem Klima nicht abgeschlossen sein wird (HAN 8)
Entwicklung von Wirkmodellen für spezifische Infrastruktureile (Straßenkörper, Brücken-, Tunnelbauwerke) (HAN 8, 11)	Überarbeitung räumlich differenzierter technischer Regelwerke auf Basis regionaler Klimaprojektionen (HAN 7)		Verkürzung der 30-jährigen Bauzyklen (HAN 9)
Aufbau einer Serverinfrastruktur zur Verknüpfung Klimadaten mit Infrastrukturdaten der Länder (HAN 8)	Anpassungen der Hitzebeständigkeit von Asphalt (HAN 7)		Assett-Management zur transparenten Infrastruktur-Entwicklung auf Basis definierter Kriterien (Beispiel: Risikoabschätzung für Hangrutschungen in CH) (HAN 9)
Neben Anpassung an Starkniederschläge mittel- bis langfristig Berücksichtigung fluvialer Überflutungsereignisse (HAN 9)	Thermische Ausdehnung insbesondere älterer Brückenbauwerke (HAN 10)		Aufbau eines Bewusstseins in der Bevölkerung, insbesondere in Hinblick auf die begrenzten Möglichkeiten technischer Lösungen/Vorhersagen (HAN 10-11)
			Diskussion über Kosten-Nutzen-Verhältnis technischer Anpassungen insbesondere an Nebenstrecken (HAN 11)

#### 4.2.4 Ergebnisse der standardisierten Erhebung

Zentrale Zielsetzung der standardisierten Erhebung war es, einen Überblick über den Stand der auf kommunaler Ebene vorhandenen Klima-bezogenen Prozesse (Klimaschutz wie Klimaanpassung) zu erhalten, nachdem sich in der qualitativen Expertenbefragung die Existenz von Klimaschutzkonzepten und -verantwortlichkeiten als möglicher Anreiz auch zur Klimaanpassung gezeigt hat. Die Grundgesamtheit der Großen Kreisstädte, Stadtkreise und Landkreise (im Folgenden kurz „Städte und Kreise“) wurde dabei für ganz Baden-Württemberg gewählt um eine breitere Erhebungsbasis zu erhalten. Zur Auswertung wurden zwei Stichproben gebildet. Erstens werden die für ganz Baden-Württemberg eingegangenen Fragebögen ausgewertet. Zweitens bildet sich eine Unter-Stichprobe aller aus der Metropolregion Stuttgart eingegangenen Fragebögen. Den Kartendarstellungen in diesem Abschnitt sind auf den Untersuchungsraum des Projekts beschränkt. Ihnen liegt daher nur die Stichprobe der Metropolregion Stuttgart zugrunde. Für die deskriptive Statistik werden hingegen stets die Ergebnisse beider Stichproben ausgewertet. Dabei zeigen sich insgesamt nur geringe Unterschiede zwischen beiden Stichproben.

Bei den folgenden Auswertungen ist zu beachten, dass, wie in der deskriptiven Statistik üblich, als Grundlage für Prozentangaben stets die gültigen Werte gewählt werden. Zwar ist die Rücklaufquote der empirischen Befragung mit rund 50 % sehr hoch. Zudem weisen die beiden Stichproben Baden-Württemberg und Stuttgart ähnliche Werte auf, was ein Zeichen für die Kohärenz zwischen beiden Räumen darstellt. Allerdings ist anzunehmen, dass der Fragebogen tendenziell von solchen Städten und Kreisen ausgefüllt wurde, die in den Bereichen Klimaschutz und Klimaanpassung aktiver sind. Verzerrungen sind daher jedenfalls nicht auszuschließen.

Während also in den folgenden Tabellen die Angaben in absoluten Zahlen zumindest einen ersten Eindruck der Größenordnung vorhandener Konzepte und Maßnahmen geben, sind die prozentualen Angaben in erster Linie zum Vergleich jener Städte und Kreise geeignet, die sich an der Befragung beteiligt haben. Das betrifft beispielsweise die zeitliche Entwicklung der Schaffung von Stellen oder die Existenz unterschiedlicher Kategorien von Maßnahmen. Beide Arten von Angaben haben demnach ihre Berechtigung, sollten aber auch vor diesem Hintergrund interpretiert werden.

Die Darstellung der Ergebnisse gliedert sich im Wesentlichen in drei Teile. Zunächst wird ein räumlicher und zeitlicher Überblick gegeben, inwiefern die befragten Gebietskörperschaften eine Stelle (also eine Person, ein Amt oder eine Abteilung) haben, welche Klimaschutz als explizite Zuständigkeit hat. Anschließend folgt ein äquivalenter räumlicher und zeitlicher Überblick über die Schaffung bzw. Existenz einer Stelle, welche Klimaanpassung als explizite Zuständigkeit hat. Im dritten Teil werden die Kategorien erläutert, in welchen die befragten Städte und Kreise Maßnahmen in den Bereichen Klimaschutz und Klimaanpassung durchführen oder derzeit planen.

Bereits in den vorhergehenden Abschnitten wurde deutlich, dass Klimaanpassung und Klimaschutz häufig wenig trennscharf diskutiert werden. Weil zudem die Beschäftigung mit dem Thema Klimawandel in einer Gebietskörperschaft im Grundsatz ein Anreiz sein kann, auch das Thema Anpassung zu berücksichtigen, wurden die Städte und Kreise befragt, ob es eine Stelle gibt, die ausdrücklich für Klimaschutz zuständig ist. Wenn dies der Fall war, hat sich die Frage angeschlossen, seit wann diese Stelle existiert. Schließlich wurde auch danach gefragt, seit wann es grundsätzlich in der Gebietskörperschaft eine Stelle mit dieser Zuständigkeit gibt, um das Ergebnis nicht durch Umstrukturierungen zu verzerren.

Tabelle 9 fasst die Ergebnisse dieses Fragenblocks zusammen. Getrennt für die Stichproben Baden-Württemberg und Metropolregion Stuttgart wird die Zahl der Gebietskörperschaften angegeben, die entweder keine solche Stelle haben oder das Jahrzehnt, in dem eine solche Stelle erstmals geschaffen wurde. Die Karte in Abbildung 5 ergänzt diese tabellarische Darstellung um eine räumliche Verteilung in der Metropolregion Stuttgart. Dargestellt sind hier nur die Städte, nicht die Landkreise. Die Füllfarbe zeigt den Zeitraum an, seitdem es eine für Klimaschutz zuständige Stelle gibt. Die blauen Kreise stehen für die Anzahl der in den Städten abgedeckten Maßnahmenkategorien, diese Darstellung wird im letzten Teil dieses Kapitels näher erläutert.

Ein gutes Drittel (9 Gebietskörperschaften) der aus der Metropolregion Stuttgart antwortenden Städte und Kreise verfügt nicht über eine ausdrücklich für den Bereich Klimaschutz zuständige Stelle. Wie bereits angesprochen dürfte dieser Anteil in der non-response-Gruppe tendenziell höher liegen. Es lässt sich demnach feststellen, dass trotz vorhandener Förderprogramme, beispielsweise für durch den Bund finanzierte Klimaschutzmanager, das Thema Klimaschutz zum jetzigen Zeitpunkt nicht flächendeckend in den Städten und Kreisen verankert ist.

Bezüglich der Größe der Städte ist das Bild gemischt. So haben in der Metropolregion Stuttgart alle in der Stichprobe erfassten 7 Städte mit mehr als 35.000 Einwohnern eine entsprechende Zuständigkeit. Gemeinsam mit drei Landkreisen, die über eine Klimaschutz-Stelle verfügen, machen diese bereits gut ein Drittel (10 Gebietskörperschaften) der Gebietskörperschaften mit ausdrücklicher Zuständigkeit aus. Räumlich liegen die Schwerpunkte von Städten mit Klimaschutz-Stellen zum einen im direkten Umfeld der Landeshauptstadt Stuttgart und zum anderen entlang des Neckartals. Allerdings gibt es auch darüber hinaus eine Reihe weiterer Kommunen mit Klimaschutz-Stellen in anderen Teilen der Metropolregion.

Im Vergleich zu ganz Baden-Württemberg fällt auf, dass es die Zuständigkeit für Klimaschutz bereits länger gibt. So hat weit über die Hälfte der antwortenden Gebietskörperschaften (59 %) in der Metropolregion Stuttgart bereits vor 2011 eine entsprechende Stelle gehabt. In ganz Baden-Württemberg war es zu diesem Zeitpunkt nur knapp die Hälfte (46 %). Rechnet man den Zeitraum von 2011 bis 2014 auf ein Jahrzehnt hoch, werden seit den 1990er Jahren in weitgehend gleichbleibendem Maß Stellen mit der Zuständigkeit für Klimaschutz etabliert.

**Tabelle 9: Anteil Städte und Kreise in Baden-Württemberg und der Metropolregion Stuttgart mit einer ausdrücklich für Klimaschutz zuständigen Stelle nach Jahrzehnt der Stelleneinrichtung (eigene Erhebung).**

		Anzahl Städte und Kreise			
		Metropolregion Stuttgart (N=27)		Baden-Württemberg (N=70)	
		Absolut	Prozent	Absolut	Prozent
<b>keine Stelle mit ausdrücklicher Zuständigkeit für Klimaschutz</b>		9	33 %	27	39 %
<b>Stelle mit ausdrücklicher Zuständigkeit für Klimaschutz vorhanden seit dem Jahr</b>	<b>1980-1990</b>	4	15 %	7	10 %
	<b>1991-2000</b>	6	22 %	14	20 %
	<b>2001-2010</b>	6	22 %	11	16 %
	<b>2011-heute</b>	2	7 %	11	16 %

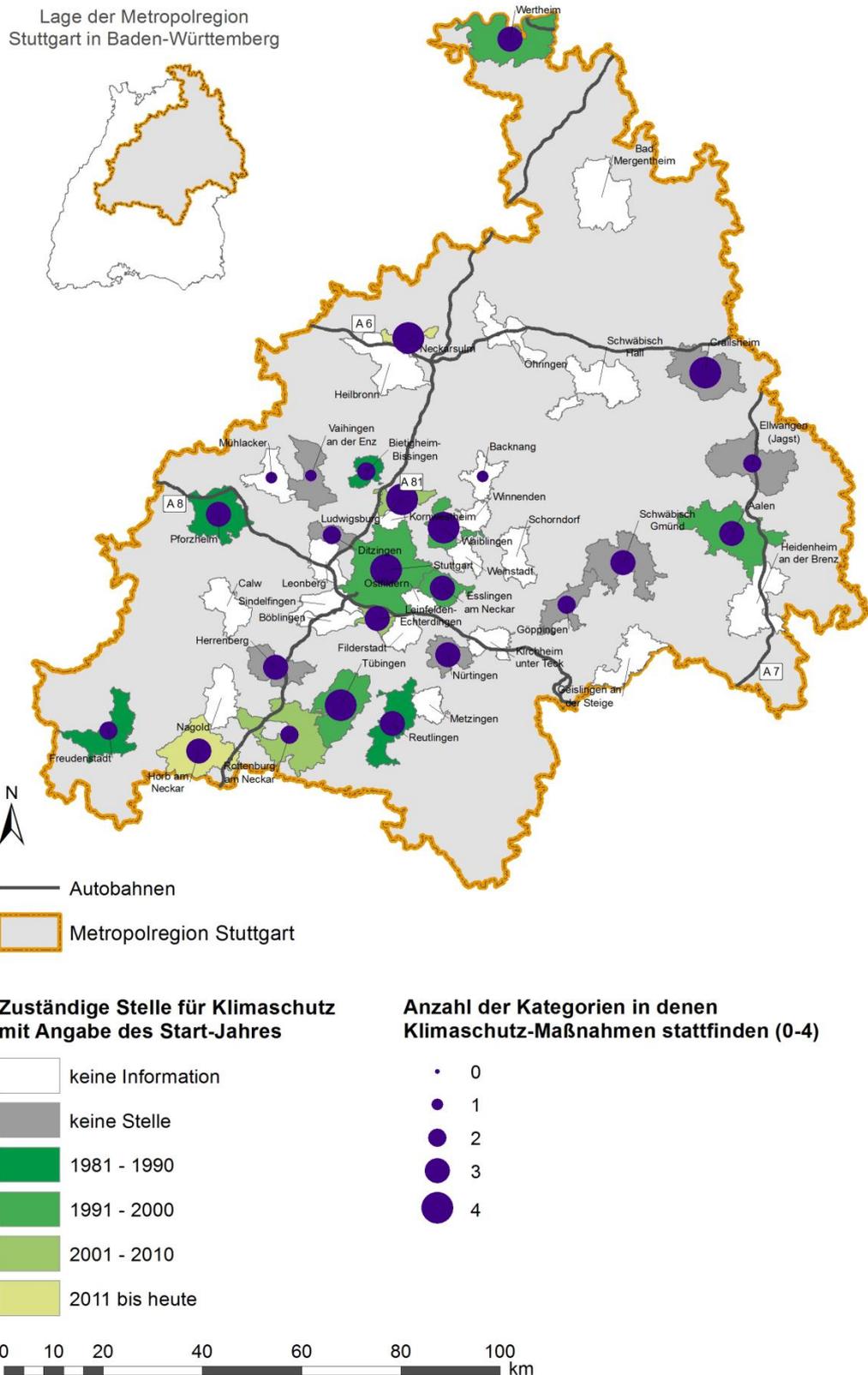


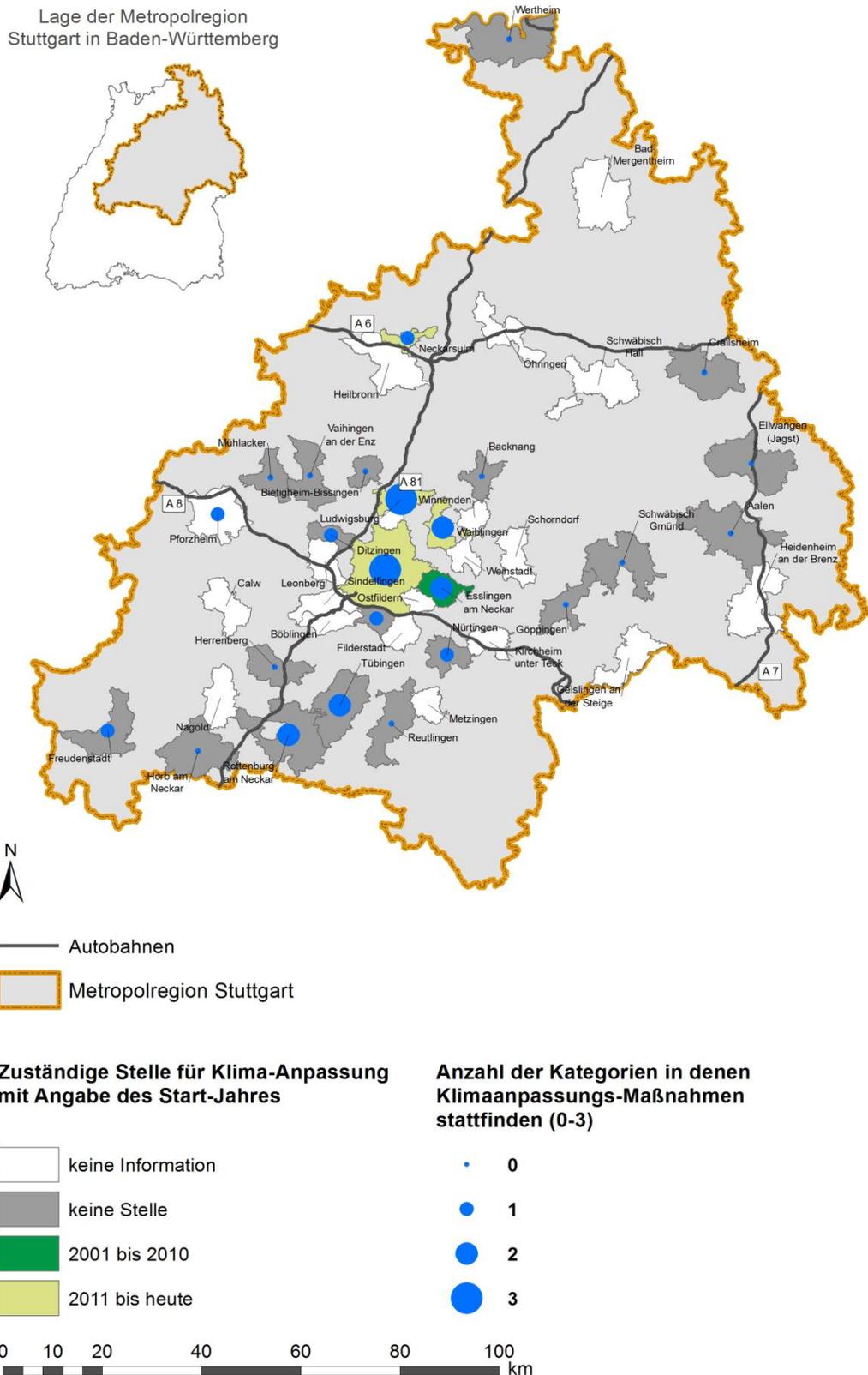
Abbildung 5: Klimaschutzstellen und Abdeckung von Maßnahmen-Kategorien in den Stadtkreisen und Großen Kreisstädten der Metropolregion Stuttgart.  
Eigene Karte, basierend auf eigener Erhebung. Datenquelle: Gebietsgrenzen Gemeinden: LGL, [www.lgl-bw.de](http://www.lgl-bw.de).

Äquivalent zur Frage nach der Existenz einer für Klimaschutz zuständigen Stelle wurden die Gebietskörperschaften auch zur Existenz einer ausdrücklich für Klimaanpassung zuständigen Stelle befragt. Die Fragenstruktur war analog zur bereits erläuterten. Zunächst wurde grundsätzlich nach der Existenz einer solchen Stelle gefragt, anschließend nach dem Jahr ihrer Schaffung und abschließend danach, seit wann diese Zuständigkeit grundsätzlich vorhanden ist. Wie im Bereich Klimaschutz wurden auch die Antworten im Bereich Klimaanpassung zusammengefasst. Tabelle 10 gibt analog zur vorhergehenden Tabelle einen Überblick über die Existenz und das zeitliche Aufkommen von Klimaanpassungs-Stellen. Die Karte in Abbildung 6 ergänzt dies um die räumliche Verteilung der Stellen bei Städten.

Im Gegensatz zum Klimaschutz ist das Thema Klimaanpassung in den Gebietskörperschaften bislang weitgehend ohne ausdrücklich dafür zuständige Stellen. In der Metropolregion Stuttgart geben gerade 5 Städte und keiner der befragten Landkreise an, eine für Klimaanpassung zuständige Stelle zu haben, das entspricht 18 % der befragten Gebietskörperschaften. Landesweit sind es mit 7 Städten und einem Landkreis (Sigmaringen) sogar nur 11 %. Der überwiegende Teil dieser Stellen (landesweit 5 von 8) wurde erst in den letzten zwei Jahren geschaffen. In der räumlichen Struktur innerhalb der Metropolregion zeigt sich mit vorhandenen Stellen zur Klimaanpassung in den Städten Neckarsulm, Esslingen, Stuttgart, Waiblingen und Ludwigsburg eine deutliche Konzentration auf das unmittelbare Umfeld der Landeshauptstadt Stuttgart und das Neckartal.

**Tabelle 10: Anteil Städte und Kreise in Baden-Württemberg und der Metropolregion Stuttgart mit einer ausdrücklich für Klimaanpassung zuständigen Stelle nach Jahrzehnt der Stelleneinrichtung (eigene Erhebung).**

		Anzahl Städte und Kreise			
		Metropolregion Stuttgart (N=28)		Baden-Württemberg (N=70)	
		Absolut	Prozent	Absolut	Prozent
<b>keine Stelle mit ausdrücklicher Zuständigkeit für Klimaanpassung</b>		23	82 %	62	89 %
<b>Stelle mit ausdrücklicher Zuständigkeit für Klimaanpassung vorhanden seit dem Jahr</b>	<b>2001-2010</b>	1	4 %	3	4 %
	<b>2011-heute</b>	4	14 %	5	7 %



**Abbildung 6: Klimaanpassungsstellen und Abdeckung von Maßnahmen-Kategorien in den Stadtkreisen und Großen Kreisstädten der Metropolregion Stuttgart.**  
Eigene Karte, basierend auf eigener Erhebung. Datenquelle: Gebietsgrenzen Gemeinden: LGL, [www.lgl-bw.de](http://www.lgl-bw.de).

Die Analyse von explizit genannten Zuständigkeiten und Stellen hat indikatorischen Charakter. Selbstverständlich kann damit nicht darauf geschlossen werden, dass die Themen in den anderen Städten keinerlei Bedeutung haben, doch steigt die relative Bedeutung in einer ressortierten Verwaltung stets mit der Definition eines eigenen Fachressorts, so dass dies als Indikator für die generell zugemessene Bedeutung gewertet werden kann.

Neben der Existenz von Stellen mit fachlicher Zuständigkeit wurde erhoben, ob und in welchen Bereichen im vergangenen Jahr Maßnahmen in den Bereichen Klimaschutz und Klimaanpassung stattgefunden haben oder für das kommende Jahr geplant sind. Hierzu wurden, basierend auf den qualitativen Experteninterviews, Antwortvorgaben entwickelt um die Breite möglicher Anpassungsmaßnahmen abzubilden. Zusätzlich bestand für die Gebietskörperschaften die Möglichkeit, weitere Arten von Anpassungsmaßnahmen zu ergänzen. Auf Basis der Antwortvorgaben und der von den Kommunen ergänzten Maßnahmen wurden die in Tabelle 11 in Spalte 2 dargestellten Kategorien von Maßnahmen gebildet.

Die in den hinteren vier Spalten von Tabelle 11 genannten Zahlen und Anteile beziehen sich nicht auf die Anzahl der Maßnahmen. Vielmehr stellen sie dar, von wie vielen der befragten Gebietskörperschaften der entsprechende Maßnahmenbereich grundsätzlich abgedeckt wird. Dies kann über nur eine oder über eine Reihe von Maßnahmen erfolgen. Der Grund für diese Art der Darstellung liegt in der Heterogenität insbesondere der von den Befragten ergänzten Maßnahmen. Der Umfang dessen, was als Maßnahme gesehen wurde, variierte sehr stark, sowohl in Bezug auf den zeitlichen Horizont als auch in Bezug auf die eingesetzten Mittel. Eine Aufzählung der Anzahl von Maßnahmen je Gebietskörperschaft war daher nicht übersichtlich und insbesondere nicht untereinander vergleichbar zu erstellen. Durch die in der Tabelle gewählte Darstellung lässt sich für jede Kategorie von Maßnahmen schnell ein erster Überblick gewinnen, welche Themen von den Gebietskörperschaften behandelt werden und welche nicht. Die Kategorien wurden nach den in Spalte 1 genannten drei Maßnahmenbereichen sortiert. In den Karten in den Abbildungen 5-7 repräsentiert die Größe der Punkte die Anzahl der Kategorien, welche im durch die Karte dargestellten Maßnahmenbereich von der Kommune umgesetzt werden oder geplant sind. Je größer der Punkt, desto mehr Themen im jeweiligen Maßnahmenbereich werden in der jeweiligen Stadt umgesetzt oder sind geplant.

Die Maßnahmen im Bereich Klimaschutz (Tabelle 11, Zeile 1-4 und Abbildung 5) wurden in vier Kategorien zusammengefasst. Die Kategorie „Energiemanagement/-beratung“ umfasst sowohl auf kommunale Liegenschaften bezogene Maßnahmen wie den Aufbau eines kommunalen Energiemanagements, die Durchführung von CO<sub>2</sub>-Bilanzierungen und die Gründung kommunaler Energieagenturen als auch auf Bürger bezogene Maßnahmen wie das Unterstützen oder Fördern von Energieberatungen. Die Kategorie „Nachhaltigkeitskonzept/-manager“ umfasst grundsätzlich die Auseinandersetzung einer Gebietskörperschaft mit dem Thema Nachhaltigkeit, beispielsweise durch Erarbeitung eines Nachhaltigkeitskonzepts, die Schaffung der Stelle eines Nachhaltigkeitsmanagers oder durch strukturierte Aktivitäten im Bereich nachhaltige Beschaffung. Die Kategorie „Klimaschutzkonzept/-arbeitskreis“ umfasst sowohl die Erstellung eines Klimaschutzkonzeptes in einer Gebietskörperschaft, als auch deren Vorbereitung bzw. Fortentwicklung in Arbeitskreisen. Die Kategorie „Sonstige Klimaschutz-Aktivitäten“ umfasst weitere Maßnahmen wie beispielsweise die Teilnahme an Forschungs- und Modellprojekten oder die Beteiligung am European Energy Award. Maßnahmen im Bereich Nachhaltiger Mobilität fallen hierunter, sofern sie einen direkten Bezug zu Energiethemen haben wie zum Beispiel bei der e-Mobilität.

**Tabelle 11: Anzahl der Kommunen in Baden-Württemberg und der Metropolregion Stuttgart mit Maßnahmen in den Bereichen Klimaschutz, Anpassungs-Strategie sowie Maßnahmen mit inhaltlichem Bezug zur Anpassung der Verkehrsinfrastruktur (eigene Erhebung).**

Maßnahmenbereich	Kategorien	Anzahl Städte und Kreise mit Maßnahmen in der Kategorie			
		Metropolregion Stuttgart (N=29)		Baden-Württemberg (N=73)	
		Absolut	Prozent	Absolut	Prozent
Maßnahmen im Bereich Klimaschutz	Energiemanagement/ -beratung	28	100 %	69	95 %
	Nachhaltigkeitskonzept/ -manager	12	43 %	29	40 %
	Klimaschutzkonzept/ -arbeitskreis	23	82 %	62	85 %
	Sonstige Klimaschutz- aktivitäten	16	57 %	44	60 %
Maßnahmen im Bereich Anpassungs-Strategie	Anpassungskonzept/ -arbeitskreis	5	18 %	12	16 %
	Formale Planungsinstrumente	6	21 %	17	23 %
	Sonstige Anpassungsmaßnahmen	9	32 %	22	30 %
Maßnahmen mit inhaltlichem Bezug zur Anpassung der Verkehrsinfrastruktur	Erhebung Ursachen Straßenschäden	21	75 %	46	63 %
	Beschattung/Klimatisierung im ÖPNV	19	68 %	46	63 %
	Bauliche Anpassung	8	29 %	19	26 %
	Betriebliche Anpassung	7	25 %	18	25 %

Es zeigt sich, dass das Thema Energiemanagement und –beratung in den Gebietskörperschaften in Baden-Württemberg angekommen ist. 100 % der befragten Städte und Kreise haben in dieser Kategorie Maßnahmen laufen oder geplant, in ganz Baden-Württemberg sind es 95 %. Anders stellt sich die Situation in der Kategorie „Nachhaltigkeitskonzept/-manager“ dar. In diesem Bereich finden in weniger als der Hälfte der befragten Gebietskörperschaften Maßnahmen statt. Hingegen geben über 80 % der befragten Gebietskörperschaften in beiden Stichproben an, ein Klimaschutzkonzept oder einen vorbereitenden, begleitenden oder weiterentwickelnden Arbeitskreis Klimaschutz bzw. Maßnahmen in diesem Bereich zu haben. Auch das Thema Klimaschutz ist demnach breit im Land präsent – sicher nicht zuletzt aufgrund der vorhandenen Fördermöglichkeiten. Deutlich über die Hälfte der befragten Gebietskörperschaften hat darüber hinaus weitere Maßnahmen im Bereich Klimaschutz in der Durchführung oder Planung. In Abbildung 5 lässt sich ablesen, dass die Umsetzung von Maßnahmen im Bereich Klimaschutz zum jetzigen Zeitpunkt nicht im direkten Zusammenhang damit steht, ob in einer Gebietskörperschaft eine Klimaschutz-Stelle existiert. Insbesondere die Bereiche „Energiemanagement und –beratung“ und „Klimaschutzkonzept/-arbeitskreis“ tragen hierzu bei. Dennoch zeigt sich auch, dass – von einer Ausnahme abgesehen (Crailsheim) – die Abdeckung aller

vier Maßnahmenbereiche und damit eine breite, Themen-übergreifende Umsetzung nur in Städten mit Klimaschutz-Stelle erfolgt.

Der zweite Maßnahmenbereich in Tabelle 11 (Zeilen 5-7) umfasst Maßnahmen im Bereich Anpassungs-Strategie. Die erste Kategorie in diesem Bereich sind Anpassungskonzepte oder Arbeitskreise zum Thema Klimawandel-Anpassung. Die zweite Kategorie „Formale Planungsinstrumente“ beinhaltet beispielsweise Planzeichen zu Hitzebelastung oder Überflutungsrisiken in den Flächennutzungsplänen. Unter „Sonstige Anpassungsmaßnahmen“ wurden Nennungen gefasst, die von den Befragten ergänzt wurden, jedoch andere Sektoren als den Verkehr spezifisch betreffen.

Anpassungskonzepte oder Arbeitskreise zur Anpassung werden nur von 16 bis 18 % (Baden-Württemberg bzw. Metropolregion Stuttgart) der befragten Gebietskörperschaften umgesetzt oder geplant. Diese Zahlen bestätigen die qualitativen Ergebnisse, dass Anpassungskonzepte in den Kommunen derzeit eher die Ausnahme sind. Mit knapp über 20 % etwas höher liegen die Werte bei den formalen Planungsinstrumenten. Hier dürften rechtliche Rahmenbedingungen wie die Hochwasser-Rahmenrichtlinie der EU zukünftig einen zunehmenden Einfluss haben. Die mit knapp einem Drittel der Gebietskörperschaften größte Abdeckung ergibt sich in der Kategorie „Sonstige Anpassungsmaßnahmen“. Hierbei handelt es sich im Wesentlichen um Maßnahmen aus den Bereichen Gesundheit und Wärmebelastung. Diese sind insbesondere in den Kommunen mit Tallagen, beispielsweise am Neckar im Raum Stuttgart, zunehmend in der Umsetzung, betreffen das Thema dieses Berichts jedoch nur am Rande. In Abbildung 6 ist erkennbar, dass ähnlich wie im Maßnahmenbereich Klimaschutz die Umsetzung von Maßnahmen nicht zwingend an die Existenz einer ausdrücklich zuständigen Stelle gekoppelt ist. So haben Tübingen und Rottenburg eine relativ breite Abdeckung der drei Kategorien ohne eine speziell für Anpassung zuständige Stelle. Deutlich stärker als im Maßnahmenbereich Klimaschutz ist jedoch auch zu erkennen, dass in der Regel Städte ohne eine solche Stelle nur eine geringe Abdeckung des Themenspektrums haben – jedenfalls auf der strategischen Ebene. Dass dort dennoch sektorspezifische Maßnahmen ohne konzeptionelle Verknüpfung mit dem Thema Klimawandelanpassung stattfinden können, zeigen die Ergebnisse für den dritten Maßnahmenbereich.

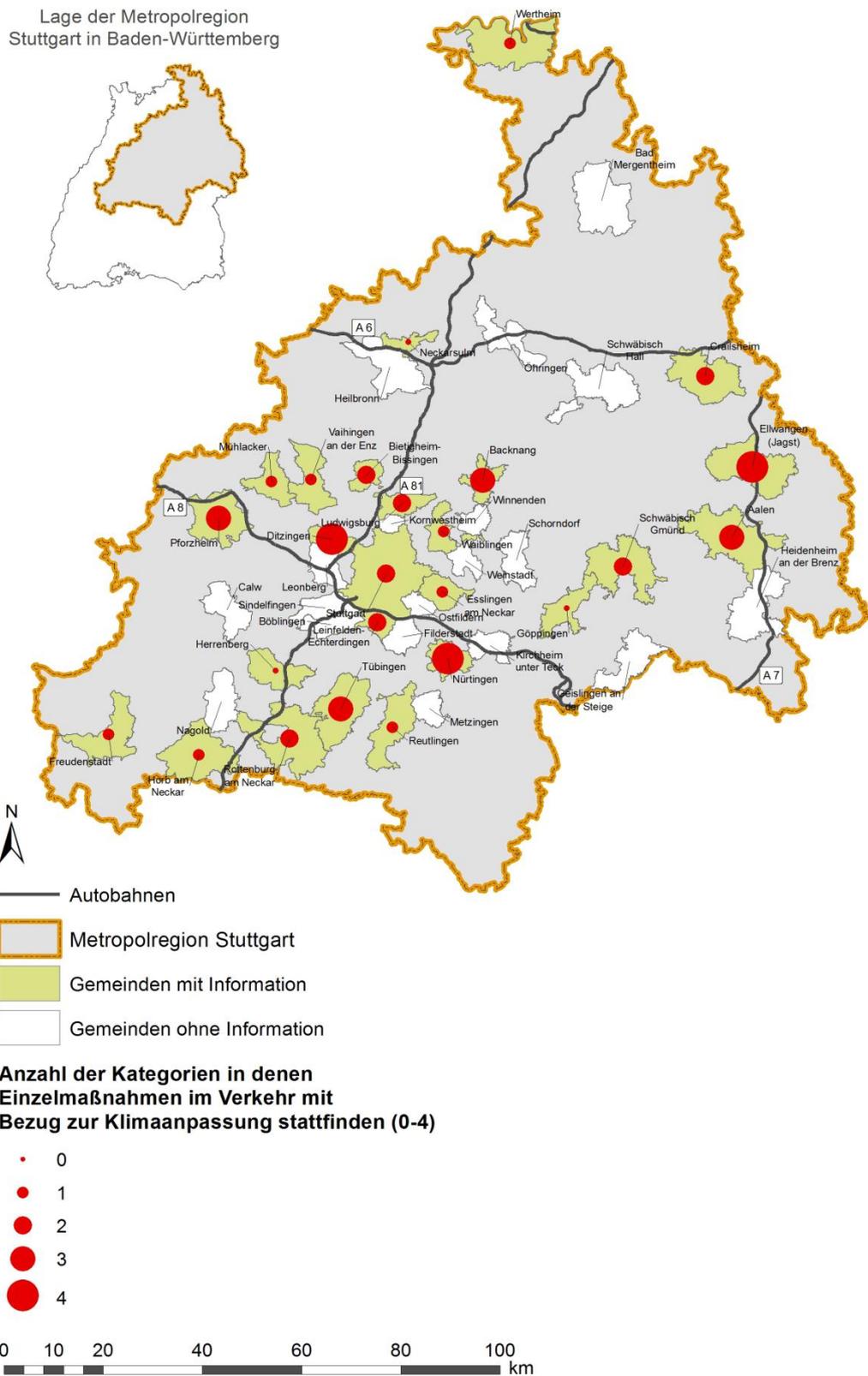
Dieser dritte Maßnahmenbereich (Tabelle 11, Zeilen 8-11 sowie Abbildung 7) umfasst ebenfalls Anpassungs-Maßnahmen, allerdings mit einem anderen Zuschnitt und einer anderen Genese. Der im Vorhergehenden erläuterte zweite Maßnahmenbereich umfasst Maßnahmen, die entweder allgemein die Entwicklung oder formalen Implementierung von Anpassungsmaßnahmen vorantreiben, oder - wie erwähnt - nicht-verkehrliche Sektoren betreffen. Im Gegensatz dazu wurden unter dem dritten Maßnahmenbereich Maßnahmen mit inhaltlichem Bezug zur Anpassung der Verkehrsinfrastruktur zusammengefasst. Das beinhaltet Maßnahmen, die zwar inhaltlich relevant für eine erfolgreiche Anpassung sind, die jedoch ohne einen ausdrücklichen Bezug zu diesem Thema in den Gebietskörperschaften umgesetzt oder schon längere Zeit vorhanden sind.

Die erste Kategorie in diesem Maßnahmenbereich ist die Erhebung und Dokumentation von Ursachen für Straßenschäden durch die befragten Gebietskörperschaften. Diese können indes auch völlig unabhängig von jeglicher Diskussion um Klimaanpassung erfolgen. Die zweite Kategorie umfasst die Beschattung von Haltestellen sowie die Klimatisierung von Fahrzeugen des ÖPNV. Insbesondere die Klimatisierung von Fahrzeugen ist auch hier eine Maßnahme, die nicht ausschließlich im Zusammenhang mit Klimaanpassung umgesetzt wird. Zuletzt fallen in diesen Bereich bauliche Maßnahmen zur Anpassung der Infrastruktur, beispielsweise eine Erhöhung von Abflusskapazitäten oder die Verwendung hitzebeständigerer Materialien für Fahrbahnoberflächen. In die Kategorie der betrieblichen Anpassung fallen Veränderungen bei der Häufigkeit des Grünschnitts auf Straßen oder der Streudiens-

te im Winter. Auch hier existieren inhaltliche Bezüge, ein Zusammenhang zwischen diesen Maßnahmen und einem bewussten Aufgreifen des Themas Klimaanpassung durch die Gebietskörperschaft muss aber nicht vorhanden sein.

Drei Viertel (75 %) der befragten Gebietskörperschaften in der Metropolregion Stuttgart geben an, die Ursachen von Straßenschäden zu erheben oder zu dokumentieren. In ganz Baden-Württemberg sind es immer noch etwas unter zwei Drittel (63 %). Das ist insbesondere bemerkenswert, da im Rahmen der qualitativen Experteninterviews das Fehlen dieser Informationen auf Landesebene als Defizit bezeichnet wurde. Möglicherweise ließen sich diese in der Fläche vorhandenen Informationen ja bündeln. Die Beschattung von Haltestellen oder Klimatisierung von Fahrzeugen des ÖPNV findet in ähnlichem Umfang in 63-68 % (Baden-Württemberg bzw. Metropolregion Stuttgart) der befragten Kommunen statt. Anders stellt sich die Situation bei den beiden letzten Kategorien dar, der baulichen und betrieblichen Anpassung. Hier finden nur in 25-29 % der befragten Gebietskörperschaften Maßnahmen statt. Während sich der betriebliche Bereich tendenziell schneller auf neue Gegebenheiten einstellen kann, sind bauliche Entscheidungen in der Regel langfristiger Art. Abbildung 7 lässt die Vermutung zu, dass derzeit andere Faktoren als eine strategische Anpassungs-Planung darüber entscheiden, ob Maßnahmen zur Anpassung des Verkehrssektors stattfinden oder nicht.

Eine Reihe möglicher Faktoren wurde im Zuge der Auswertung der qualitativen Experteninterviews als Barrieren und Anreize zur Klimawandel-Anpassung im Verkehrssektor benannt. Dieser Abschnitt zeigt, dass es zwar in der Mehrzahl der befragten Gebietskörperschaften eine grundsätzliche Auseinandersetzung mit dem Themengebiet Klimawandel gibt. Allerdings sind strategische Anpassungsprozesse derzeit noch die Ausnahme. Einzelne Maßnahmen finden bereits statt, häufig jedoch ohne dass sie im Sinne einer strategischen Planung eingesetzt würden. Ein Beispiel hierfür ist, dass es eine breite Erfassung der Ursachen von Straßenschäden auf kommunaler Ebene gibt. Diese werden jedoch nicht gebündelt, um darüber die Informationsbasis für die Abschätzung des zukünftigen Anpassungsbedarfs zu verbessern. Genau dieser zukünftige Anpassungsbedarf wird am Beispiel der Bundesautobahnen in den folgenden Abschnitten analysiert.



**Abbildung 7: Abdeckung Einzelmaßnahmen mit inhaltlichem Bezug zur Klimaanpassung des Verkehrssektors in den Stadtkreisen und Großen Kreisstädten der Metropolregion Stuttgart.**  
Eigene Karte, basierend auf eigener Erhebung. Datenquelle: Gebietsgrenzen Gemeinden: LGL, [www.lgl-bw.de](http://www.lgl-bw.de).

## 4.3 Datenbasierte Analyse klimatischer Gefahren auf Autobahnen – modellhaft für eine Komponente der Verkehrsinfrastruktur in der Metropolregion Stuttgart

Die Veränderungen der Klimaextreme haben potentiell erhebliche Auswirkungen auf die Verkehrsinfrastruktur (vgl. Kapitel 4.1). Wie auch im Rahmen der empirischen Erhebung deutlich geworden ist, gestaltet sich die Bewertung klimatischer Gefahren im Bereich der Verkehrsinfrastruktur schwierig. Vor allem tägliche Schwankungen der meteorologischen Parameter und das Auftreten von Extremereignissen in Kombination mit dem überlagernden Klima erzeugen eine Sensitivität der kritischen Infrastruktur gegenüber klimatischen Einflüssen, die eine Messbarkeit an spezifischen Indikatoren erschwert (Jaroszweski, 2010, S. 331).

### 4.3.1 Zielsetzung und Methode der datenbasierten Analyse klimatischer Gefahren

Im Kontext der modellhaften Entwicklung von Anpassungsmaßnahmen für Verkehrsinfrastruktur in der Metropolregion Stuttgart müssen die prognostizierten Auswirkungen des Klimawandels auf Verkehrsinfrastruktur detailliert abgeleitet werden. Potentielle Gefahren müssen identifiziert, näher analysiert und charakterisiert werden. Hierdurch kann für die Metropolregion Stuttgart das Ausmaß des Klimawandels und dessen Auswirkungen auf die Verkehrsinfrastruktur besser verstanden und abgeschätzt werden. Deshalb beschäftigt sich der naturwissenschaftliche und mathematische Teil im KLIMOPASS-AKLIM Projekt mit der Modellierung der potentiellen Gefahren des Klimawandels auf Verkehrsinfrastruktur, insbesondere auf Autobahnen, und letztlich mit der Analyse dieser Gefahren.

Modelliert wird ein Ursache-Wirkungsmodell (vgl. Keller, 2015). In diesem werden die Ursachen für ausgewählte Gefahren – verschiedenen Glätte-, Sturm-, Starkregentypen und Hitzegefahren auf Straßen (vgl. Tabelle 13 bis 15) – in einem Data-Mining-Ansatz modelliert. Neben den Klimaparametern aus den Klimadaten des IMK sind die Belagstemperaturen der Straßen erforderlich. Die Belagstemperaturen der Straßen werden von Sensoren je nach Sensortyp in verschiedenen Tiefen des Belags gemessen. Der Großteil der genutzten Daten in KLIMOPASS-AKLIM sind Messdaten aus Glättemeldeanlagen (GMA) der Autobahnen in Baden-Württemberg. Die Sensoren dieser Glättemeldeanlagen sind in ca. vier cm Tiefe in der obersten Straßendeckschicht verbaut und messen dort die „Oberflächenbelagstemperatur“. Die Kombination aus Klimadaten und Belagstemperatur fließt in ein dynamisches und numerisches Modell ein. Mit Hilfe dieses Modells können Zusammenhänge von ausgewählten Eingabeparametern und der Belagstemperatur modelliert werden. Gefahren auf Straßen können spezifiziert werden.

Die Glättemeldeanlagen in der Metropolregion Stuttgart zeichnen die Belagstemperatur, die Lufttemperatur und den Straßenzustand an ihrem jeweiligen Standpunkt auf. Einen Überblick zu den Standorten der Glättemeldeanlage in der Metropolregion Stuttgart gibt Abbildung 8. Der Straßenzustand wird hierbei definiert, ob der Straßenbelag „trocken“, „feucht“ oder „nass“ ist. Die Glättemeldeanlagen sollten in der Regel das ganze Jahr über Daten messen. Sie wurden ab der Mitte der 1990er Jahre in Deutschland verbaut. Die Anlagen in Baden-Württemberg zeichnen erst seit 2001 die erforderlichen Daten im Stundenrhythmus auf. Im KLIMOPASS-AKLIM Projekt wurden alle zur Verfügung stehenden Daten von Glättemeldeanlagen in der Metropolregion Stuttgart aufbereitet. Hierbei ist an die Daten ein Kriterium gelegt worden: Der Datenaufzeichnungszeitraum sollte, um die Regressionen statistisch abzusichern, annähernd zehn Jahre betragen. Einige der neu verbauten

Stationen zeichnen seit 2013 bzw. 2014 auf und können daher nicht berücksichtigt werden. Zudem ist in der Datenvorbereitung aufgefallen, dass der Großteil der Datensätze aus den Glättemeldeanlagen in der Metropolregion Stuttgart erhebliche Datenlücken aufweist. Der Straßenzustand wurde bei keiner der genutzten Stationen aufgezeichnet und die Belags- und Lufttemperatur hat über einige Sommermonate ebenfalls Datenlücken. Die entsprechenden Daten stammen aus Glättemeldeanlagen, die auf Autobahnen verbaut wurden (DWD, 2014). Somit wird der Modellansatz exemplarisch für Autobahnen dargelegt. In Kapitel 5.2. wird erläutert, wie die Übertragbarkeit dieses Ansatzes auf andere Straßen- und Schieneninfrastruktur möglich ist.

Lage der Metropolregion  
Stuttgart in Baden-Württemberg



Abbildung 8: Standorte der Glättemeldealagen an den Autobahnen in der Metropolregion Stuttgart.  
Eigene Karte basierend auf den Datensätzen: DWD, 2014 und ESRI, 2005.

Im folgenden Abschnitt wird dieser Modellansatz exemplarisch an Datensätzen aus Glättemeldealagen von Autobahnen in der Metropolregion Stuttgart erläutert.

Für den Referenzzeitraum 1971 bis 2000 gibt es keine kontinuierlichen Aufzeichnungen über Belagstemperaturen. Um die Gefahren auf Autobahnen für den Referenzzeitraum und die nahe Zukunft modellieren zu können, wird die Belagstemperatur als eine Eingangsgröße benötigt. Ein erster Schritt des KLIMOPASS-AKLIM Modellierungsansatz besteht darin, über einen Data-Mining-Ansatz eine Regressionsgleichung für jede der GMA-Stationen zur Berechnung der Belagstemperatur zu errechnen. Aufgrund der großen Datenmengen mit stündlichen Messwerten seitens der GMA-Station und seitens der Klimadaten ist der Data-Mining-Ansatz für diese Problemstellung geeignet, da er auf die Suche nach Zusammenhängen (Regression) in großen Datenmengen zielt (Mikut, 2009, S. 27). In dem MATLAB GUI Gaitcad (vgl. Mikut, Burmeister, Braun & Reischl) wurden die Datensätze aufbereitet und die Regressionen der Belagstemperatur für jede GMA-Station modelliert. Die dynamische Modellierung greift aus den 14 Klimadaten als Eingangsgrößen diejenige heraus, die am besten, also mit geringstem Fehler, die Belagstemperatur an der jeweiligen Station über eine Regression darstellen.<sup>3</sup> Die Klimadaten bestehen aus den Klimaparametern Lufttemperatur in zwei Metern Höhe, Regen, Schnee, relative Feuchte in zwei Metern Höhe, Taupunkttemperatur in zwei Metern Höhe, Bewölkungsgrad, direkte und indirekte Strahlung, Wind in Bezug auf die U- und W-Komponente in zehn Metern Höhe, Bodenwasser und Bodentemperatur. Diese Klimadaten liegen in Form eines kleinstmöglich aufgelösten Rasters von 7 km vor und stammen aus dem ERA Reanalyse-datensatz des IMK (Datensatz IMK, 2014c). Sie weisen ähnliche Charakteristika wie die Klimadaten-sätze aus den beiden 30-jährigen Zeiträumen auf. Somit ist die errechnete Regression übertragbar auf die beiden Vergleichszeiträume. Die Auswahl der Klimaparameter orientiert sich zum einen an Modellen zur Vorhersage von Belagstemperaturen und Belagszuständen auf Straßen wie dem SWIS in Deutschland und dem METRo in Canada (vgl. Jacobs & Raatz, 1996; Crevier & Delage, 2001). Zum anderen werden die Daten genutzt, die in dieser momentan kleinstmöglichen räumlichen und zeitlichen Auflösung in Deutschland für den Zeitraum 2001 bis 2010 verfügbar sind. Neben der Rasterauflösung spielt die Qualität der Messdaten von Belagstemperaturen aus den GMA-Stationen eine große Rolle. Hier besteht die Schwierigkeit, dass bei dem Großteil der Stationen die Messungen zur Belagstemperatur über einen langen Zeitraum während des zehnjährigen Messzeitraumes fehlen oder fehlerhaft sind. Die Messwerte zum Straßenzustand - Straße nass, feucht oder trocken - fehlen gänzlich. Im Regressionsansatz wurden die Belagstemperaturen und Klimadaten in Zeitreihen extrahiert. Die fehlenden Belagstemperaturen wurden sowohl aus den Zeitreihen der Klimadaten wie auch aus den Zeitreihen der Belagstemperatur ausgeschnitten.

In KLIMOPASS-AKLIM sind alle Regressionsmodelle für den Modellzeitraum 2001 bis 2010 für jede der 15 nutzbaren GMA-Stationen in der Metropolregion Stuttgart errechnet worden. Individuelle, lageabhängige Eigenschaften der GMA-Stationen wie „Nähe zu einem Waldgebiet“, „verbaut auf einer Brücke“ oder „freien Fläche“, und der resultierenden Unterschiede der Belagstemperatur durch Einstrahlungs- oder Albedoeffekte werden durch die Berechnung von Regressionsmodellen für jede Station separat einbezogen, sofern die Klimadaten die kleinräumigen Gegebenheiten gut abbilden. Dies ist eine Unsicherheit in der Klimamodellierung im Generellen (vgl. Abschlussbericht des Instituts für Meteorologie und Klimatologie/KIT) und damit auch in der Modellierung der Belagstemperaturen. Die Regressionsmodelle werden nach der Modellierung auf den Referenzzeitraum und den Zeitraum der nahen Zukunft übertragen. Für diese beiden Zeiträume liegen ebenfalls die 14 Klimaparameter, errechnet durch das Regionalmodell COSMO CLM des IMK, vor (vgl. Kapitel 3.2, Datensätze IMK,

---

<sup>3</sup> Eine stärkere Detaillierung der methodischen Konzepte und Modellierung übersteigt den Rahmen dieses anwendungs-orientierten Berichts. Diese sind in der Dissertationsschrift von Keller (2015) im Kapitel 4 und 5 zu finden.

2014a+b). Mit der Anwendung des Regressionsmodells werden für alle 15 GMA-Stationen die Verläufe der Belagstemperaturen in den beiden Zeiträumen aufgrund der Klimadaten und den verbundenen Szenarien gerechnet.

Auf dieser Basis findet die Modellierung der Gefahren statt. Für diese Gefahrenmodellierung in den beiden 30-jährigen Zeiträumen werden die Belagstemperaturen und die Klimaparameter an den 15 GMA-Stationen genutzt. Für jede GMA-Station werden für jede Stunde in den beiden 30-jährigen Zeiträumen die Gefahren modelliert. Jedes Gefahrenereignis wird dokumentiert, und dadurch kann sowohl ein jahreszeitlicher Verlauf der Gefahrenereignisse, ein mittlerer Jahresgang der im 30-jährigen Zeitraum erfassten Jahre wie auch ein 30-jähriger Gesamttrend errechnet und analysiert werden.

Dargestellt werden Gefahren, deren Auftreten für Deutschland bzw. die Metropolregion Stuttgart anhand der in Kapitel 4.1 ausgewerteten Literatur für potentiell möglich erachtet werden. In Tabelle 12 sind die potentiellen Gefahren dargestellt. Der erste behandelte Gefahrentyp sind die potentiellen Glätteaufkommen auf Autobahnen. Die Klassifikation beruht auf einem Expertensystem von Norrman (2000). Die verschiedenen Glättetypen sind anhand von Straßenzuständen in Schweden empirisch überprüft und nachmodelliert worden (vgl. Norrman, 2000). Für die Glättemodellierung von KLIMOPASS-AKLIM sind sechs unterschiedliche primäre Glättetypen anhand der in Tabelle 12 aufgeführten Eingabeparameter für die beiden 30-jährigen Vergleichszeiträume modelliert worden. Die Auswahl erfolgt anhand von einschätzbarem Auftreten der Kombinationen auf den verschiedenen Klimaparametern in der Metropolregion Stuttgart. Glätte gefährdet insbesondere die sichere Nutzung von Straßen (Dalziell & Nicholson, 2001, S. 159f; Andrey et al., 2003, S. 323). Zudem kann es zu geringen Sichtweiten für Straßennutzer als weitere Gefahr kommen und zu einem erhöhten Risiko der Kollisionen.

In Hinblick auf die Modellierung der Starkniederschläge erfolgt eine Orientierung an den „Warnkriterien für Unwetterwarnungen“ des Deutschen Wetterdienst (DWD) (DWD a+b). Die Einteilung der Schwellenwert beruht auf dem in einer Stunde gefallenen Niederschlag in Form von Regen in der Einheit Liter pro Quadratmeter. Zu deutlicher Unterscheidung wird ein Starkregenereignis mit über 25 Liter pro Quadratmeter als „heftig“ und ein Ereignis mit über 40 Liter pro Quadratmeter als „sehr heftig“ bezeichnet. Gefahren, die durch Starkniederschlagsereignisse entsteht, äußern sich zum Beispiel durch auftretende lokale Überflutungen sowie Anschwellen von kleinen Bächen und Flüssen und daraus resultierende Überschwemmung von Straßen (DWD a).

Die Gefahren, die durch extreme Hitze für die Straßeninfrastruktur entstehen, sind bereits in Kapitel 4.1 genannt. Angelehnt an die Schwellenwerte des National Research Council der Vereinigten Staaten geht für die Straßenbeläge bei einer Lufttemperatur über 32°C eine erhöhte Gefahr aus (Transportation Research Board, 2008, S. 117). Dieser Schwellenwert richtet sich nach der Definition eines Hitzetages in den USA. In Deutschland wird ein heißer Tag als Tag bezeichnet, an dem die Lufttemperatur mindestens einmal über 30°C liegt (DWD c, 2014). Daher wird in der Modellierung von Hitzeereignissen auch 30°C als Schwellenwert betrachtet. Zudem geben Savonis et al. (2008) an, dass die maximale Auslegungstemperatur, für die Straßenbeläge sowie Stahl- und Betonbrücken ausgelegt

sind, zwischen 45°C und 53°C liegt<sup>4</sup>. Der untere Wert dieses Intervalls – 45°C – wird als Schwellenwert in der Modellierung der Hitzegefahr II angenommen (Savonis, Burkett & Potter, 2008, S. 4–11).

Die Klassifikation der Gefahr durch Starkwindereignisse orientiert sich an der Windwarnskala des Deutschen Wetterdienstes (DWD b). Potentielle Auswirkungen auf Straßeninfrastruktur reichen von abbrechende Äste der Bäumen, die auf die Straße fallen können („Sturm“) bis hin zu schweren Verwüstungen und Schäden („Orkan“).

Die unterschiedlichen Mechanismen der Glättebildung auf Straßen erfordern unterschiedliche Rechengänge. Sie werden daher auch separat dokumentiert. Dies ist erforderlich, da für die unterschiedenen Glättegefahren unterschiedliche Veränderungen in der Zukunft errechnet werden. Daher ergibt sich jedoch nachfolgend der Eindruck eines Übergewichtes der Modellierung von Glättegefahren, was angesichts der erwarteten Temperaturzunahme wenig plausibel erscheint. Tatsächlich ergibt sich dieses scheinbare Übergewicht nur aus analytischen Gründen, eine vergleichende Gewichtung zwischen den Gefahren, die sich aus den unterschiedlichen Witterungsbedingungen ergeben, ist damit nicht implizit verbunden. Sie ist allenfalls aus den sich errechnenden Summenhäufigkeiten ableitbar.

---

<sup>4</sup> Die maximale Auslegungstemperatur einer Infrastruktur hängt von der Bauweise und Konstruktion dieser ab. In der KLIMOPASS-AKLIM Modellierung wurde sich an der Auslegungstemperatur, die Savonis et al. (2008) benennen, orientiert. Für die Metropolregion Stuttgart konnten keine Orientierung an spezifischen Auslegungstemperaturen als Vergleichswerte durchgeführt werden.

**Tabelle 12: Potentielle Gefahren für Straßeninfrastruktur in der Metropolregion Stuttgart. Klassifikation mit Beschreibung der Ursachen (vgl. Keller, 2015, S.54f)**

**Gefahrentyp: Glätte**

Klassifikation der Glättetypen nach (Norrman, 2000, S. 29)

1. Gefrierender Regen auf kalter Straßenoberfläche	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Niederschlag in Form von Regen</li> <li>- Lufttemperatur <math>&gt; 0^{\circ}\text{C}</math></li> <li>- Belagstemperatur der Straße <math>\leq 0^{\circ}\text{C}</math></li> </ul>
2. Niederschlag als Regen/Schnee auf gefrorener Straßenoberfläche	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Niederschlag in Form von Regen oder Schnee fällt</li> <li>- Lufttemperatur <math>\leq 0^{\circ}\text{C}</math></li> <li>- Belagstemperatur der Straße <math>\leq 0^{\circ}\text{C}</math></li> </ul>
3. Niederschlag als Regen/Schnee auf warmer Straßenoberfläche	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Niederschlag in Form von Regen oder Schnee fällt</li> <li>- Lufttemperatur <math>\leq 0^{\circ}\text{C}</math></li> <li>- Belagstemperatur der Straße <math>&gt; 0^{\circ}\text{C}</math></li> </ul>
4. Niederschlag als Regen/Schnee zusammen mit Raureif	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Niederschlag in Form von Regen oder Schnee fällt</li> <li>- Lufttemperatur <math>\leq 0^{\circ}\text{C}</math></li> <li>- Belagstemperatur der Straße <math>\leq 0^{\circ}\text{C}</math></li> <li>- Taupunkttemperatur <math>&gt;</math> Belagstemperatur der Straße</li> </ul>
5. Raureif und geringe Sichtweite	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kein Niederschlag</li> <li>- Belagstemperatur der Straße <math>\leq 0^{\circ}\text{C}</math></li> <li>- Taupunkttemperatur <math>&gt;</math> Belagstemperatur der Straße</li> <li>- Relative Feuchte der Luft <math>&gt; 94\%</math></li> </ul>
6. Gefrierender Tau mit nachfolgendem Raureif	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Zwei Stunden hintereinander fällt kein Niederschlag</li> <li>- Belagstemperatur der Straße wechselt innerhalb von zwei Stunden von <math>&gt; 0^{\circ}\text{C}</math> zu <math>\leq 0^{\circ}\text{C}</math></li> <li>- Taupunkttemperatur <math>&gt;</math> Belagstemperatur der Straße für mindestens zwei Stunden</li> </ul>

**Gefahrentyp: Starkregen (Extremereignis)**

Klassifikation der Starkregentypen nach DWD a

7. Starkregen	Regen mit 10-25 l/m <sup>2</sup> in 1h
8. Heftiger Starkregen	Regen mit $> 25$ l/m <sup>2</sup> in 1h
9. Sehr heftiger Starkregen	Regen $> 40$ l/m <sup>2</sup> in 1h

### Gefahrentyp: Hitzegefahr (Extremereignis)

Klassifikation der Hitzegefahren nach Transportation Research Board, 2008, S. 117; Savonis et al., 2008, S. 4ff und DWD c

10.Potentielle Hitzeschäden I	- Lufttemperatur > 30°C mindestens 1 h am Tag (D-Wert) - Lufttemperatur > 32°C mindestens 1 h am Tag (US-Wert)
11.Potentielle Hitzeschäden II	- Belagstemperatur > Auslegungstemperatur - Hier angenommen: Belagstemperatur > 46°C
12.Potentielle Hitzeschäden III	Kombination aus Belagstemperatur > 46°C und Lufttemperatur > 30°C (32°C)

### Gefahrentyp: Wind (Extremereignis)

Klassifikation der Windtypen nach DWD b

13.Starker Wind (Beaufortgrad 6)	Windgeschwindigkeit in etwa 10 Metern Höhe beträgt 11 – 13 m/s
14.Steifer Wind (Beaufortgrad 7)	Windgeschwindigkeit in etwa 10 Metern Höhe beträgt 14 – 17 m/s
15.Stürmischer Wind (Beaufortgrad 8)	Windgeschwindigkeit in etwa 10 Metern Höhe beträgt 18 – 20 m/s
16.Sturm (Beaufortgrad 9)	Windgeschwindigkeit in etwa 10 Metern Höhe beträgt 21 – 24 m/s
17.Schwerer Sturm (Beaufortgrad 10)	Windgeschwindigkeit in etwa 10 Metern Höhe beträgt 25 – 28 m/s
18.Orkanartiger Sturm (Beaufortgrad 11)	Windgeschwindigkeit in etwa 10 Metern Höhe beträgt 29 – 32 m/s
19.Orkan (Beaufortgrad 12)	Windgeschwindigkeit in etwa 10 Metern Höhe beträgt $\geq$ 33m/s

Die farbliche Kennzeichnung der Gefahrentypen dieser Tabelle wird auch in den folgenden Gefahrenkarten und Gefahrengrafiken beibehalten.

### 4.3.2 Ergebnis I: Zukünftige Gefahren im Vergleich zum Referenzzeitraum

Die Tabellen 13 bis 15 stellen den Vergleich der in Abschnitt 4.3.2 genannten Gefahren für Autobahnen an den Glättemeldeanlagen dar. In der ersten Spalte der Tabellen sind die Stationen der Glättemeldeanlagen aufgelistet. Die Reihenfolge der Auflistung erfolgt anhand der von Westen nach Osten verlaufenden Autobahntransekte der A8 und der A6, beginnend mit jeweils der westlichsten GMA-Station. Danach erfolgt die Aufstellung der von Süden nach Norden verlaufenden Autobahntransekte der A81 und der A7, beginnend mit der jeweils südlichsten GMA-Station. Alle weiteren Spalten repräsentieren die einzelnen Gefahren der entsprechenden Gefahrentypen. Für jede Station wird ein Änderungssignal in Form eines Pfeiles aus dem Vergleich der spezifischen Gefahrenereignisse an dieser Station abgeleitet. Hierbei symbolisieren die nach oben gerichteten Pfeile „↗“ eine Zunahme der jeweiligen Gefahr vom Referenzzeitraum 1971 bis 2000 zum Zeitraum der nahen Zukunft 2021 bis 2050 an der GMA-Station. Diese Zunahme betrifft den kompletten 30-jährigen Zeitraum. Die Stärke der Zunahme wird über die Anzahl der Pfeile dargestellt (vgl. Tabelle 13 bis 15). Der nach unten gerichtete Pfeil „↘“ stellt eine Abnahme der Gefahrenereignisse im zukünftigen Zeitraum dar. Auch hier wird die Stärke der Abnahme über die Anzahl der Pfeile klassifiziert (vgl. Tabelle 13 bis 15). Keine bis kaum eine Veränderung in der Anzahl der Gefahrenereignisse zwischen den beiden Vergleichszeiträumen wird durch einen horizontal gerichteten Pfeil „↔“ dargestellt. Bei den Gefahrentypen Starkniederschlag, Hitzegefahr sowie Wind bleiben einige Gefahrenereignistypen wie z.B. Orkan, Schwere Sturm oder sehr heftiger Starkniederschlag aus und ändern sich somit auch nicht. Dieses Ausbleiben wird in den Tabelle 13 bis 15 mit „↔<sup>0</sup>“ belegt. Die Einheit, in der die Gefahrenereignisse modelliert und errechnet wurden, ist „Ereignis findet statt in einer Zeiteinheit von einer Stunde“ oder „Ereignis bleibt aus“. Als Summe aller entsprechenden Stundenereignisse ergeben sich zunächst die Gefahrenereignisse in einem Jahr. Die Gefahrenereignisse innerhalb des 30-jährigen Untersuchungszeitraums aufsummiert ergeben die Summe der Gefahr in diesem Zeitraum.

Tabelle 13 beinhaltet die Veränderung des Gefahrentyps Glätte zwischen dem Referenzzeitraum und der in der Modellierung definierten nahen Zukunft. Es fällt auf, dass fast alle Glättetypen mit der Niederschlagsform Schnee (vgl. Glätte 2B und 3B) in der nahen Zukunft für jede GMA-Station einen abnehmenden Trend aufweisen. Die Gefahr der Glätte „Schnee auf gefrorener Fahrbahn“ und „Schnee auf warmer Fahrbahn“ scheint dieser Simulation zufolge weniger relevant zu werden. Die Glättetypen, die Niederschlag in Form von Regen beinhalten, weisen hingegen einen eher steigenden Trend auf (vgl. Glätte 2A, 3A und 4A). Schnee zusammen mit Raureif (Glätte 4B) nimmt an einigen Stationen tendenziell auch zu. Gefrierender Regen (Glätte 1), Niederschlag auf gefrorener Straße (Glätte 2A), Raureif und geringe Sichtweite (Glätte 5) sowie gefrierender Tau mit nachfolgendem Raureif (Glätte 6) variieren im Trend zwischen Zu-, Abnahme und gleichbleibend an den jeweiligen Stationen.

Bei der Betrachtung des Gefahrentyps Starkniederschlag in Tabelle 14 fällt auf, dass der Großteil der GMA-Stationen einen zunehmenden Trend für Starkregenereignisse und heftige Starkregenereignisse aufweist. Im Falle der sehr heftigen Starkregenereignisse bleibt bei zehn der 15 Stationen dieser Ereignistyp aus.

In Hinblick auf die Gefahrenveränderung der Hitzegefahren bleibt festzustellen, dass eine tendenzielle starke bis sehr starke Zunahme der Ereignisse mit Lufttemperaturen über 30°C und 32°C für die nahe Zukunft zu erkennen ist. Dies spiegelt auch den in Kapitel 3.2 dargelegten zunehmenden Trend in der Veränderung des Klimasignals der Temperatur in Baden-Württemberg wider. Die Veränderung der Belagstemperatur der nahen Zukunft im Vergleich zum Referenzzeitraum 1971 bis 2000 fällt

zwischen den verschiedenen GMA-Stationen unterschiedlich aus. Einige Stationen wie z.B. Sulmtal A weisen eine Zunahme der Ereignisse mit einer Belagstemperatur über 46°C auf. An anderen Stationen (vgl. Agnesburg A oder Muckbach) bleibt diese Gefahr aus. Für die GMA-Stationen Rötenstein und Wolfskopf wird sogar für die nahe Zukunft eine Abnahme dieses Gefahrentyps simuliert. Die Kombinationen aus Lufttemperatur über 30°C und Belagstemperatur über 46°C sowie Lufttemperatur über 32°C und Belagstemperatur über 46°C weisen einen ähnlichen Trend für die jeweiligen Stationen aus. Lediglich die Intensität der Zu- bzw. Abnahme und des Gleich- bzw. Ausbleibens der Ereignisse variiert zwischen den beiden Simulationen. Aufgrund der gewählten Kombination und „UND“-Verknüpfung der Ereignisse hängen die Simulationen der Hitzegefahr III-A/B von den Simulationen der Hitzegefahr I-A/B und Hitzegefahr II ab.

Für den Gefahrentyp Wind ist festzustellen, dass die Windgefahr im Bereich der Kategorisierung Stürmischer Wind, Sturm, Schwere Sturm, Orkanartiger Sturm und Orkan (vgl. Tabelle 15) als Ereignis mit der genutzten Datengrundlage in den Gefahrensimulationsläufen ausbleibt. In der Kategorie des starken Windes ist bei einem Großteil der GMA-Stationen eine tendenzielle Abnahme zu erkennen. Der Steife Wind bleibt bei vier Stationen aus. Die restlichen Stationen variieren zwischen Ab- und Zunahmetrend.

**Tabelle 13: Vergleich der Glätte-Gefahren zwischen dem Referenzzeitraum 1971 bis 2000 und der nahen Zukunft 2021 bis 2050. Darstellung nach Keller (2015), S.103ff verändert anhand der Modelldaten.**

Autobahntrasekt/ GMA-Station		Gefahrenstyp: Glätte								
		Glätte 1	Glätte 2A	Glätte 2B	Glätte 3A	Glätte 3B	Glätte 4A	Glätte 4B	Glätte 5	Glätte 6
A8	AK Stuttgart A	↘↘	↗↗	↘	↗↗↗	↘	↗↗↗	↗	↗↗	↗↗
	Stuttgart 1	↔	↗	↘↘	↗↗↗	↘↘	↗↗	↘	↘	↗
	Stuttgart 4	↘	↗	↘↘↘	↗↗↗	↘↘	↗↗	↔	↔	↘
A6	Sulmtal A	↔	↘	↘↘	↗↗↗	↘↘↘	↗	↗	↘	↗
	Braunsbach A	↗	↗↗	↘	↗↗	↘	↗↗↗	↗↗↗	↗↗	↗↗
	Wolfskopf	↔	↗↗	↘	↗↗↗	↘	↗↗↗	↗↗↗	↗↗↗	↗↗
	Gronachbrücke	↗	↗↗	↘	↗↗	↘	↗↗↗	↗↗↗	↗↗	↗↗
A81	Horb A	↘	↘↘	↘	↗	↘	↗↗↗	↗↗	↗↗↗	↗↗↗
	Widdern A	↘	↗↗	↘↘	↗↗↗	↘	↗↗↗	↗↗	↗↗	↗
	Holzspitze	↘	↘	↘↘	↗↗	↘↘	↘	↘	↘	↘
	Muckbach A	↔	↗↗	↘↘	↗↗	↘↘	↗	↘	↘	↔
	Rötenstein B	↘	↗↗	↘↘	↗↗	↘↘	↗	↘	↘	↗
	Keltensiedlung	↘	↗	↘↘	↗↗↗	↘↘	↗	↘	↘	↔
A7	Agnesburg A	↘	↗↗	↘	↗	↘	↗↗	↗	↗	↗
	Westhausen A	↔	↗↗	↘	↗↗↗	↔	↗↗↗	↗↗↗	↗↗↗	↗↗↗

Bei den Glättegefahren entspricht das Kürzel „A“ Niederschlag in Form von Regen und „B“ Niederschlag in Form von Schnee.

- ↔ keine bis kaum eine Veränderung in der Anzahl der Gefahrenereignisse im Vergleich von 1971-2000 und 2021-2050
- ↗ Zunahme der Gefahren in der nahen Zukunft
- ↗↗ starke Zunahme der Gefahren in der nahen Zukunft
- ↗↗↗ sehr starke Zunahme der Gefahren in der nahen Zukunft
- ↘ Abnahme der Gefahren in der nahen Zukunft
- ↘↘ starke Abnahme der Gefahren in der nahen Zukunft
- ↘↘↘ sehr starke Abnahme der Gefahren in der nahen Zukunft

Tabelle 14: Vergleich der Starkniederschlags- und Hitze-Gefahren zwischen dem Referenzzeitraum 1971 bis 2000 und der nahen Zukunft 2021 bis 2050. Darstellung nach Keller (2015), S.103ff verändert anhand der Modelldaten. anhand der Modelldaten.

Autobahntrassekt/ GMA-Station		Gefahrenstyp: Starkregen			Gefahrenstyp: Hitzegefahr				
		Starkregen	Heftiger Starkregen	Sehr heftiger Starkregen	Hitzegefahr I-A (T <sub>Luft</sub> >30°C)	Hitzegefahr I-B (T <sub>Luft</sub> >32°C)	Hitzegefahr II	Hitzegefahr III-A (T <sub>Luft</sub> > 30°C & T <sub>Belag</sub> > 46°C)	Hitzegefahr III-B (T <sub>Luft</sub> > 32°C & T <sub>Belag</sub> > 46°C)
A8	AK Stuttgart A	↗	↔	↔ <sup>0</sup>	↗↗↗	↗↗↗	↗	↗	↗
	Stuttgart 1	↔	↗	↔ <sup>0</sup>	↗↗	↗↗	↗	↗	↗
	Stuttgart 4	↗	↗	↘	↗↗↗	↗↗↗	↗	↗	↗↗
A6	Sulmtal A	↗	↘	↔ <sup>0</sup>	↗↗	↗↗↗	↗↗	↗	↗
	Braunsbach A	↗	↔	↔ <sup>0</sup>	↗↗	↗	↗	↘	↘
	Wolfskopf	↗	↘	↘	↗↗	↔	↘	↗	↘
	Gronachbrücke	↗	↔	↘	↗↗	↗	↔	↗	↘
A81	Horb A	↗	↗↗	↔ <sup>0</sup>	↗↗↗	↗↗	↗	↗	↗↗
	Widdern A	↗	↔	↔ <sup>0</sup>	↗↗	↗	↔	↗	↔
	Holzspitze	↗	↗	↔ <sup>0</sup>	↗↗	↗↗	↗	↗	↔ <sup>0</sup>
	Muckbach A	↗	↗	↗	↗↗	↗	↔ <sup>0</sup>	↔ <sup>0</sup>	↔ <sup>0</sup>
	Rötenstein B	↗	↗↗	↔ <sup>0</sup>	↗↗	↗	↘	↗	↔
	Keltensiedlung	↗	↗	↔ <sup>0</sup>	↗↗	↗	↔	↔	↔ <sup>0</sup>
A7	Agnesburg A	↗	↗↗	↗↗	↗↗	↗	↔ <sup>0</sup>	↔ <sup>0</sup>	↔ <sup>0</sup>
	Westhausen A	↗	↗↗	↔ <sup>0</sup>	↗↗	↗	↔ <sup>0</sup>	↔ <sup>0</sup>	↔ <sup>0</sup>

- ↔ keine bis kaum eine Veränderung in der Anzahl der Gefahrenereignisse im Vergleich von 1971-2000 und 2021-2050
- ↔<sup>0</sup> ausbleibende Gefahrenereignisse und somit keine Veränderung
- ↗ Zunahme der Gefahren in der nahen Zukunft
- ↗↗ starke Zunahme der Gefahren in der nahen Zukunft
- ↗↗↗ sehr starke Zunahme der Gefahren in der nahen Zukunft
- ↘ Abnahme der Gefahren in der nahen Zukunft
- ↘↘ starke Abnahme der Gefahren in der nahen Zukunft
- ↘↘↘ sehr starke Abnahme der Gefahren in der nahen Zukunft

Tabelle 15: Vergleich der Wind-Gefahren zwischen dem Referenzzeitraum 1971 bis 2000 und der nahen Zukunft 2021 bis 2050. Darstellung nach Keller (2015), S.103ff verändert anhand der Modelldaten.

Autobahntrassekt/ GMA-Station		Gefahrentyp: Wind (Extremereignis)						
		Starker Wind	Steifer Wind	Stürmischer Wind	Sturm	Schwerer Sturm	Orkanartiger Sturm	Orkan
A8	AK Stuttgart A	↘	↔ <sup>0</sup>	↔ <sup>0</sup>	↔ <sup>0</sup>	↔ <sup>0</sup>	↔ <sup>0</sup>	↔ <sup>0</sup>
	Stuttgart 1	↗	↔ <sup>0</sup>	↔ <sup>0</sup>	↔ <sup>0</sup>	↔ <sup>0</sup>	↔ <sup>0</sup>	↔ <sup>0</sup>
	Stuttgart 4	↔	↔ <sup>0</sup>	↔ <sup>0</sup>	↔ <sup>0</sup>	↔ <sup>0</sup>	↔ <sup>0</sup>	↔ <sup>0</sup>
A6	Sulmtal A	↘	↔	↔ <sup>0</sup>	↔ <sup>0</sup>	↔ <sup>0</sup>	↔ <sup>0</sup>	↔ <sup>0</sup>
	Braunsbach A	↘	↘	↔ <sup>0</sup>	↔ <sup>0</sup>	↔ <sup>0</sup>	↔ <sup>0</sup>	↔ <sup>0</sup>
	Wolfskopf	↔	↔	↔ <sup>0</sup>	↔ <sup>0</sup>	↔ <sup>0</sup>	↔ <sup>0</sup>	↔ <sup>0</sup>
	Gronachbrücke	↘	↗	↔ <sup>0</sup>	↔ <sup>0</sup>	↔ <sup>0</sup>	↔ <sup>0</sup>	↔ <sup>0</sup>
A81	Horb A	↔	↘	↔ <sup>0</sup>	↔ <sup>0</sup>	↔ <sup>0</sup>	↔ <sup>0</sup>	↔ <sup>0</sup>
	Widdern A	↔	↔	↔ <sup>0</sup>	↔ <sup>0</sup>	↔ <sup>0</sup>	↔ <sup>0</sup>	↔ <sup>0</sup>
	Holzspitze	↘	↗	↔ <sup>0</sup>	↔ <sup>0</sup>	↔ <sup>0</sup>	↔ <sup>0</sup>	↔ <sup>0</sup>
	Muckbach A	↘	↘	↔ <sup>0</sup>	↔ <sup>0</sup>	↔ <sup>0</sup>	↔ <sup>0</sup>	↔ <sup>0</sup>
	Rötenstein B	↘	↗↗	↔ <sup>0</sup>	↔ <sup>0</sup>	↔ <sup>0</sup>	↔ <sup>0</sup>	↔ <sup>0</sup>
	Keltensiedlung	↘	↘	↔ <sup>0</sup>	↔ <sup>0</sup>	↔ <sup>0</sup>	↔ <sup>0</sup>	↔ <sup>0</sup>
A7	Agnesburg A	↔	↔ <sup>0</sup>	↔ <sup>0</sup>	↔ <sup>0</sup>	↔ <sup>0</sup>	↔ <sup>0</sup>	↔ <sup>0</sup>
	Westhausen A	↘	↘↘	↔ <sup>0</sup>	↔ <sup>0</sup>	↔ <sup>0</sup>	↔ <sup>0</sup>	↔ <sup>0</sup>

- ↔ keine bis kaum eine Veränderung in der Anzahl der Gefahrenereignisse im Vergleich von 1971-2000 und 2021-2050
- ↔<sup>0</sup> ausbleibende Gefahrenereignisse und somit keine Veränderung
- ↗ Zunahme der Gefahren in der nahen Zukunft
- ↗↗ starke Zunahme der Gefahren in der nahen Zukunft
- ↗↗↗ sehr starke Zunahme der Gefahren in der nahen Zukunft
- ↘ Abnahme der Gefahren in der nahen Zukunft
- ↘↘ starke Abnahme der Gefahren in der nahen Zukunft
- ↘↘↘ sehr starke Abnahme der Gefahren in der nahen Zukunft

### 4.3.3 Ergebnis II: Darstellung ausgewählter modellierter Gefahren an einigen Glättemeldeanlage in der Metropolregion Stuttgart

In diesem Abschnitt wird für die Glättemeldeanlagen an Autobahnen in der Metropolregion Stuttgart die Veränderung einiger Gefahren zwischen den beiden 30-jährigen Zeiträumen detaillierter dargelegt. Ausgewählt aus den 810 Gefahrensimulationen für die Gefahrentypen aus Abschnitt 4.3.1 und die 15 GMA-Stationen wurden die Stationen und Gefahrentypen, die eine charakteristische Veränderung zwischen den beiden 30-jährigen Zeiträumen repräsentieren.

Die Karten in Abbildung 9 und Abbildung 10 zeigen die Glättegefahr 3A „Regen auf warmer Fahrbahn“ für alle Glättemeldeanlagen in der Metropolregion Stuttgart. Der Glättegefahrstyp 3A repräsentiert einen Gefahrentyp mit einer Zunahme in allen Stationen (vgl. Tabelle 10). Diese tendenzielle Zunahme wird bei Betrachtung und Vergleich der Abbildung 9 und 10 erkennbar, da die Größe der Grafikelemente von Abbildung 9 („Referenzzeitraum“) zu Abbildung 10 („Nahe Zukunft“) auf allen Autobahnen in der Metropolregion Stuttgart zunimmt. Das Muster des Änderungssignals und der Verlauf der Glättegefahr während der jeweiligen Jahre 1971 bis 2000 und 2021 bis 2050 bei dieser Gefahr für die Station AK Stuttgart A ist anhand der Abbildung 11 und Abbildung 12 zu erkennen. Die Größe der Rauten spiegelt die Anzahl der Ereignisse nach Stunden an einem Tag wider. Ein Wert von 100 bedeutet zum Beispiel, dass die entsprechende Gefahr im gegebenen Zeitraum in 100 Stunden aufgetreten ist. Im Vergleich der beiden Abbildungen ist festzustellen, dass die Glättegefahr 3A an der Station AK Stuttgart A deutlich zunimmt. Insbesondere ist diese Zunahme durch die Anzahl der Ereignisse pro Tag in der nahen Zukunft begründet. D.h. die Rautensymbole sind deutlich größer in Abbildung 12. Das modellierte Auftreten der Glättegefahr im Jahresverlauf hingegen bleibt zwischen dem Referenzzeitraum und der nahen Zukunft gleich.

Im Fall des Glättetyps 5 „Raureif mit geringer Sichtweite“ ist kein genereller Trend der Veränderung für alle GMA-Stationen und Autobahnabschnitte in der Metropolregion einheitlich abzuleiten (vgl. Abbildung 13 und Abbildung 14). Eine deutliche Zunahme der Glätteereignisse findet sich an den GMA-Stationen Braunsbach A, Wolfskopf und Gronachbrücke. Diese Stationen liegen alle an der Autobahn A6. Daher lässt sich für diesen gesamten Streckenabschnitt der A6 nach Osten ableiten, dass eine Zunahme der Glättegefahr 5 zutrifft. Im Bereich der A8 ab dem Kreuz Stuttgart ist an den drei Stationen AK Stuttgart A, Stuttgart 1 und Stuttgart 4 eine leichte Abnahme der Glätte 5 zu verzeichnen. Der Abschnitt zwischen Agnesburg A und Westhausen A auf der Autobahn A7 hingegen weist eine deutliche Zunahme dieser Glätteereignisse 5 auf. Auf der A81 zwischen Widdern A und Keltensiedlung zeigt sich eine leichte Abnahme. Zusammenfassend ist festzustellen, dass vor allem im östlichen Bereich der Autobahnen in der Metropolregion Stuttgart eine Zunahme der Glättegefahr mit geringer Sichtweite für Verkehrsnutzer zu erwarten ist. Eine gleiche räumliche Verteilung weisen die Glättegefahren „Niederschlags als Schnee zusammen mit Raureif“ (Glättetyp 4B) und „Gefrierender Tau mit nachfolgendem Raureif“ (Glättetyp 6) auf. Die östlichen Autobahnabschnitte der A7 und A6 sind in Bezug auf diese Glättetypen anfällig. Dieser Trend lässt sich aufgrund der räumlichen Clusterung dieser Glättetypen auch für die Bundesstraßen und Landesstraßen, die an die Autobahnen in diesem Raum angrenzen, bis zu einem gewissen Grad übertragen.

Lage der Metropolregion  
Stuttgart in Baden-Württemberg

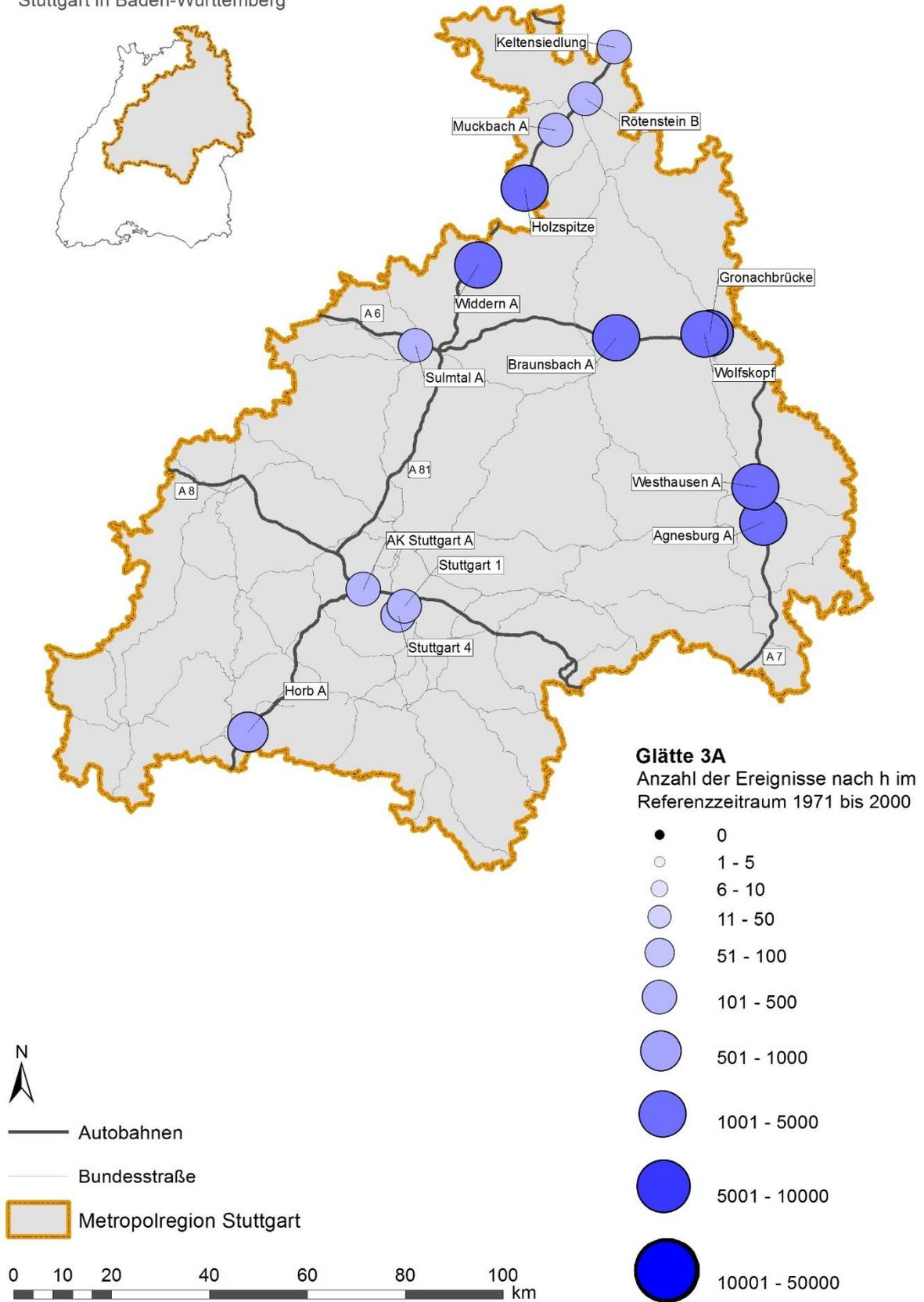


Abbildung 9: Glättegefahr 3A „Regen auf warmer Fahrbahn“ im Referenzzeitraum 1971 bis 2000.  
Eigene Karte basierend auf den Datensätzen: DWD, 2014; IMK, 2014a; IMK, 2014c und ESRI, 2005.

Lage der Metropolregion  
Stuttgart in Baden-Württemberg

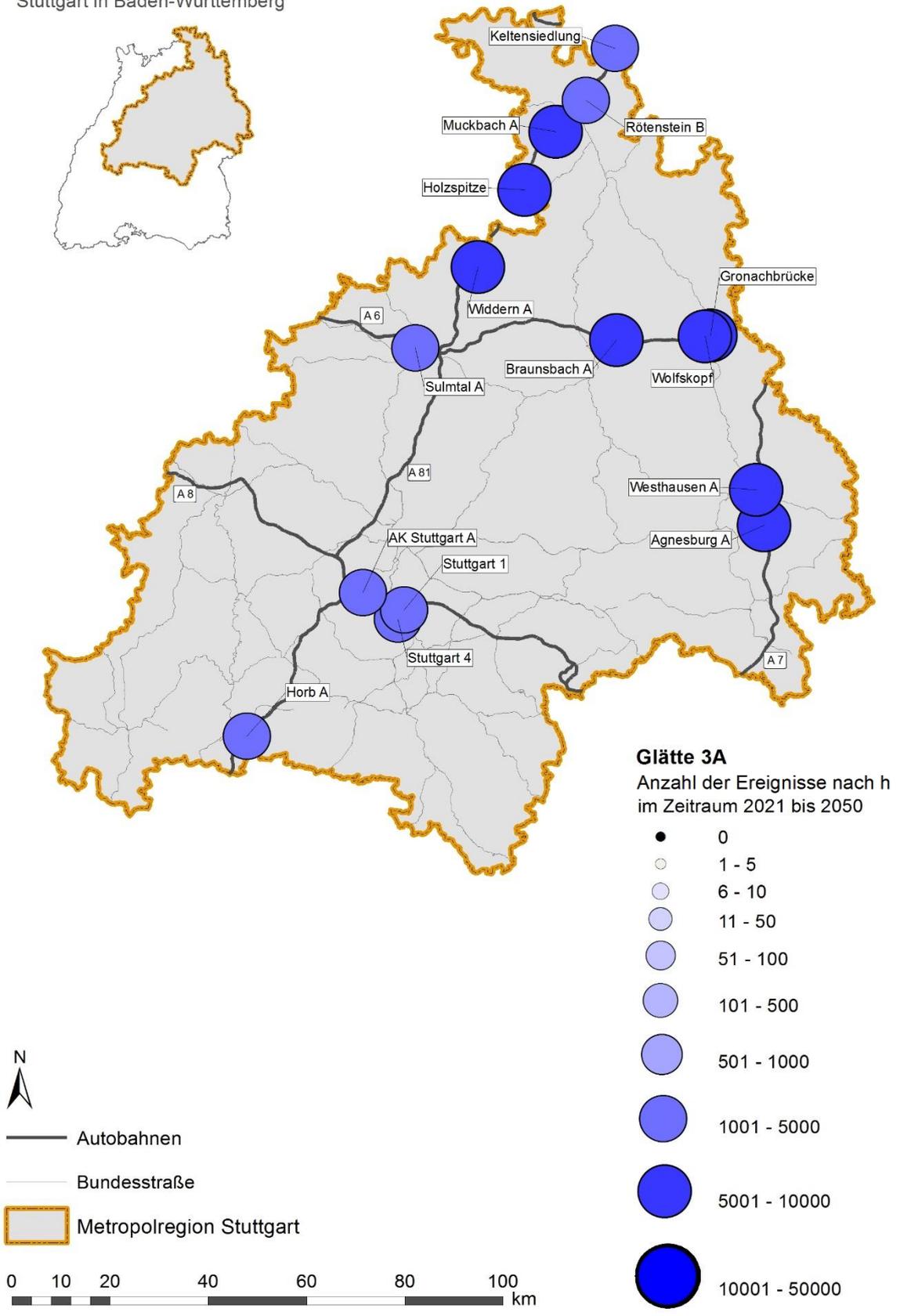


Abbildung 10: Glättefahr 3A „Regen auf warmer Fahrbahn“ in der nahen Zukunft 2021 bis 2050.  
Eigene Karte basierend auf den Datensätzen: DWD, 2014; IMK, 2014b; IMK, 2014c und ESRI, 2005.

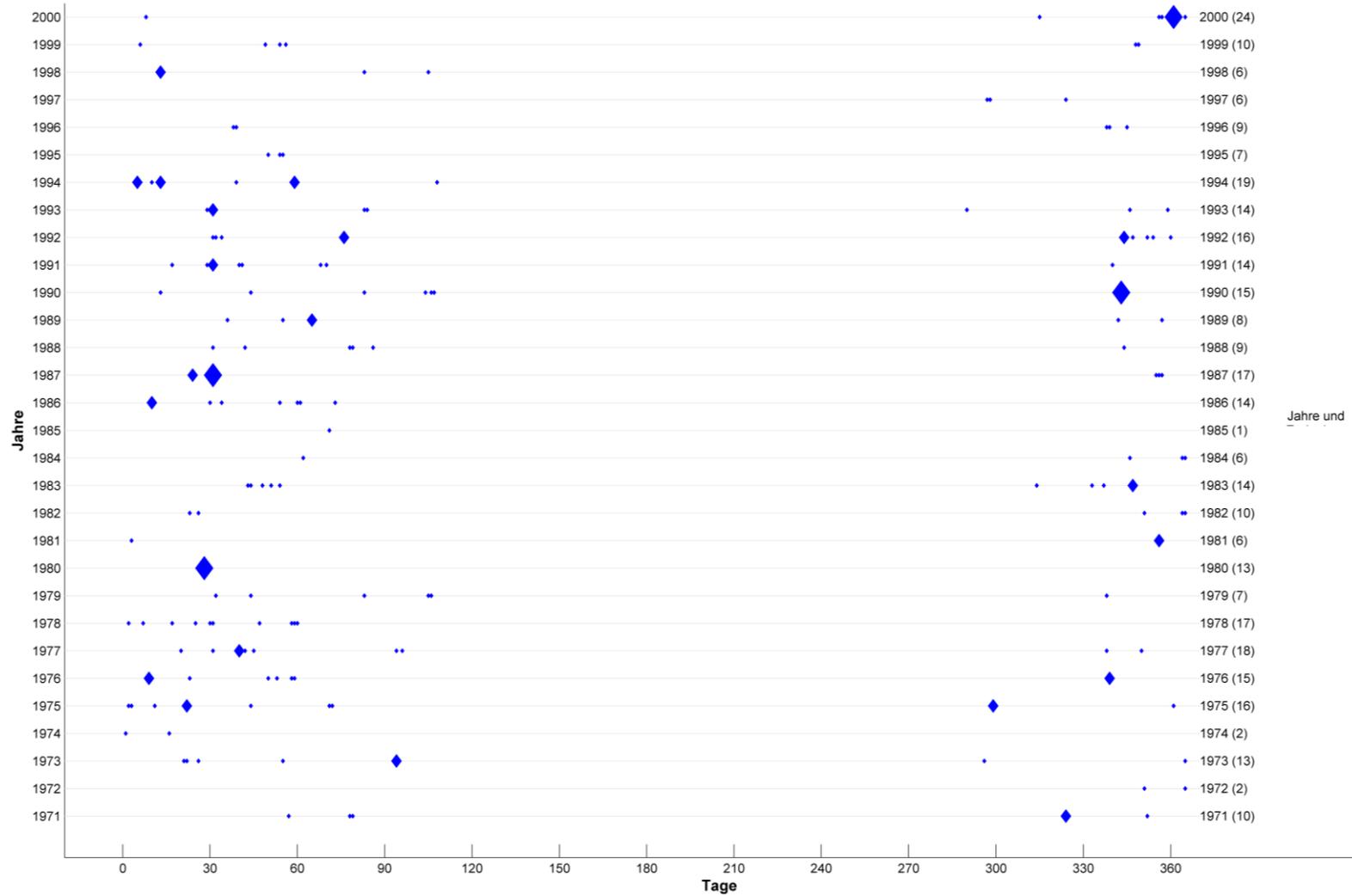


Abbildung 11: Glättegefahr 3A „Regen auf warmer Fahrbahn“ an der Station AK Stuttgart A (Autobahn A8) im Referenzzeitraum 1971-2000. Abbildung nach Keller (2015), S. 119 basierend auf den Datensätzen: DWD, 2014; IMK, 2014a und IMK, 2014c.

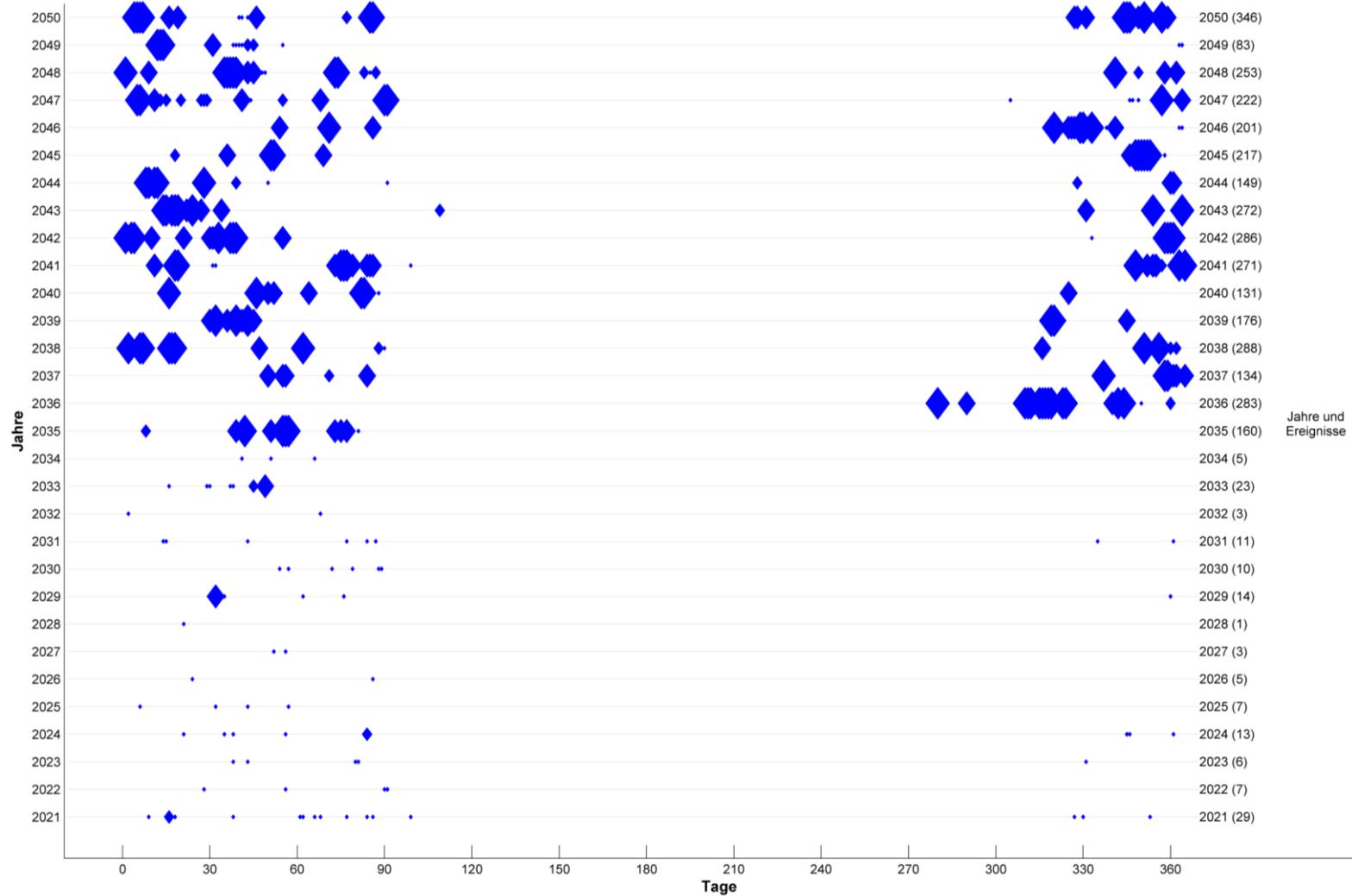


Abbildung 12: Glättegefahr 3A „Regen auf warmer Fahrbahn“ an der Station AK Stuttgart A (Autobahn A8) in der nahen Zukunft 2021-2050. Abbildung nach Keller (2015), S.120 basierend auf den Datensätzen: DWD, 2014; IMK, 2014b und IMK, 2014c.

Lage der Metropolregion  
Stuttgart in Baden-Württemberg

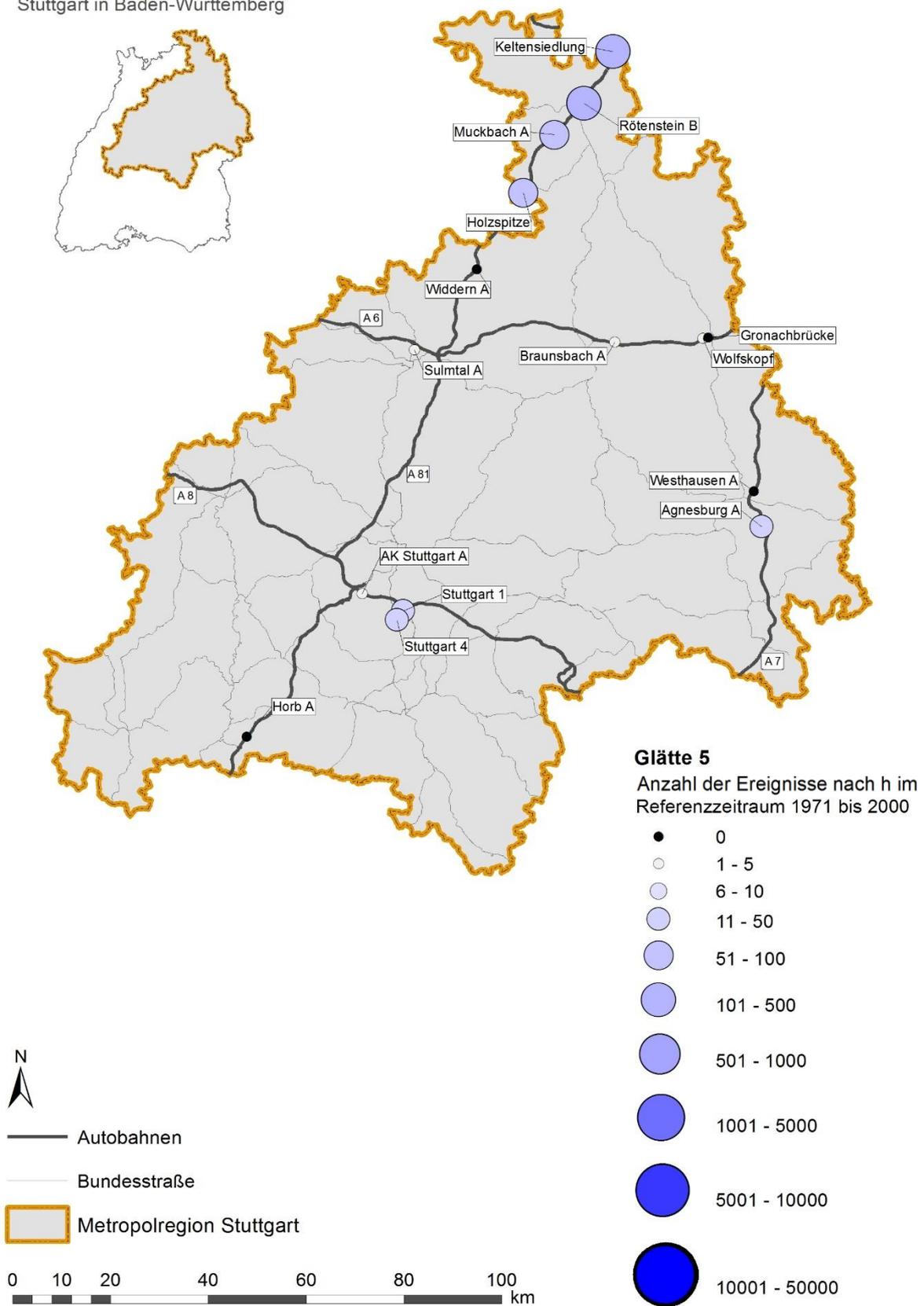


Abbildung 13: Glättegefahr 5 „Raureif mit geringer Sichtweite“ im Referenzzeitraum 1971 bis 2000.  
Eigene Karte basierend auf den Datensätzen: DWD, 2014; IMK, 2014a; IMK, 2014c und ESRI, 2005

Lage der Metropolregion  
Stuttgart in Baden-Württemberg

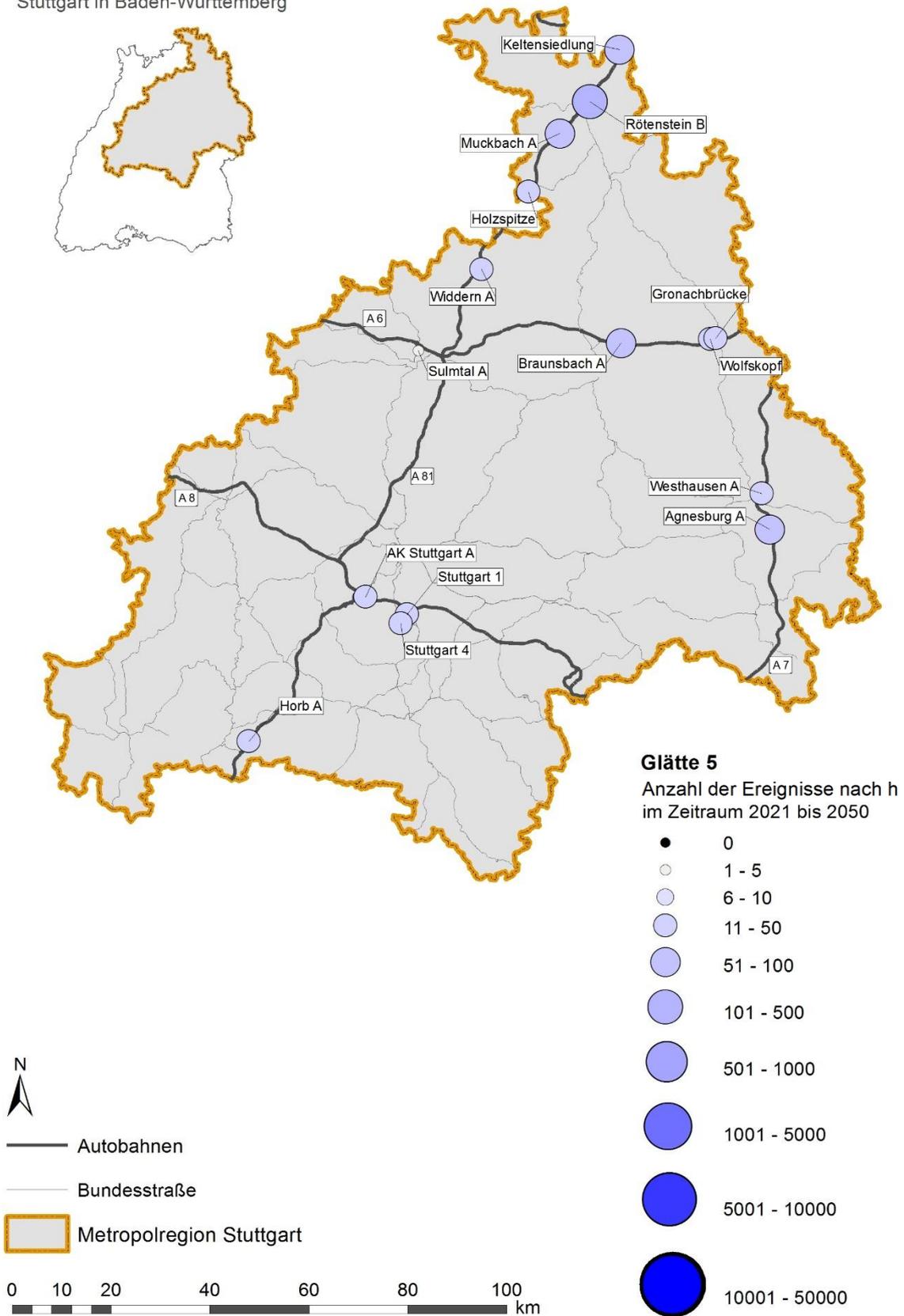
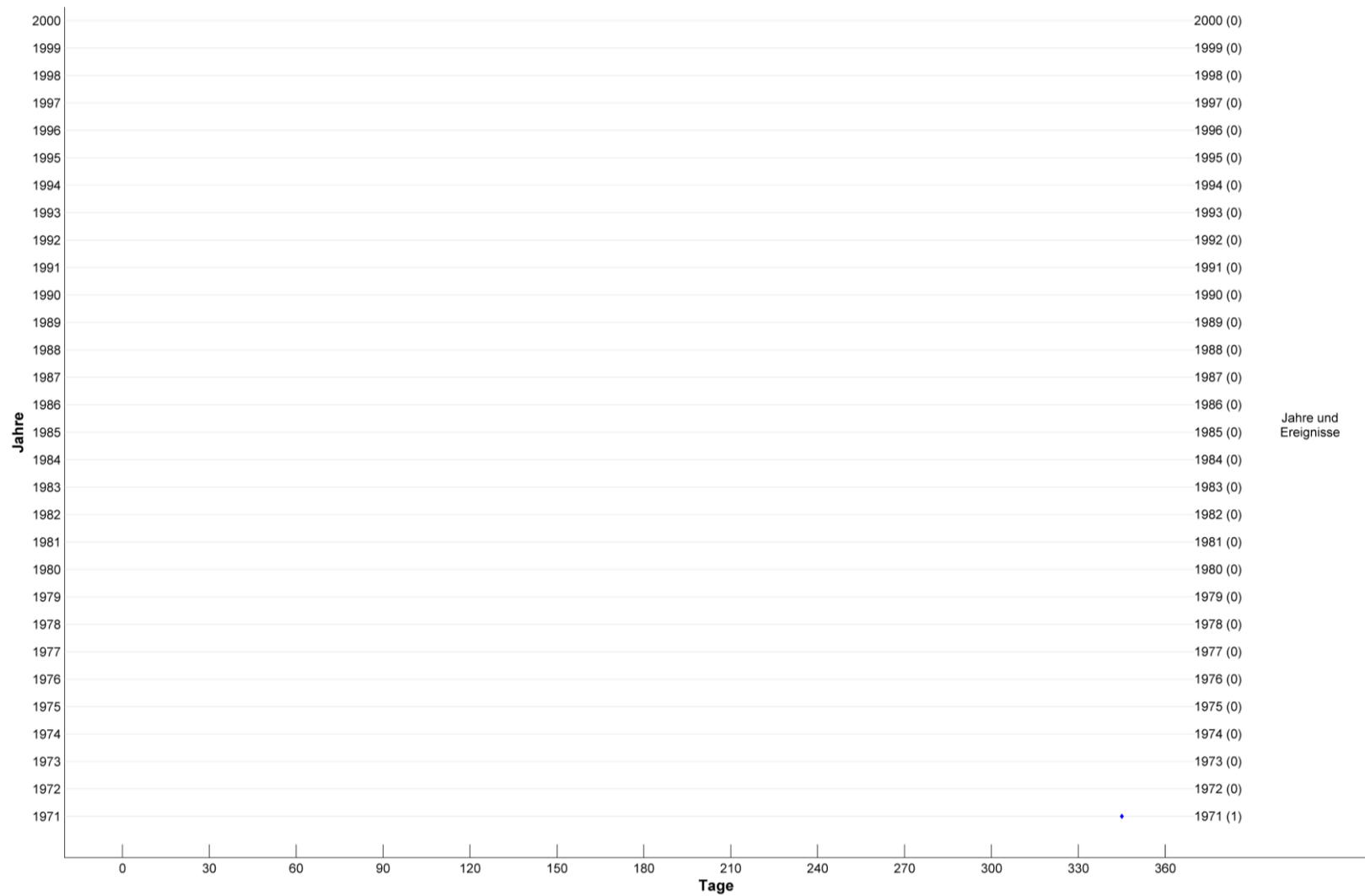


Abbildung 14: Glättegefahr 5 „Raureif mit geringer Sichtweite“ in der nahen Zukunft 2021 bis 2050.  
Eigene Karte basierend auf den Datensätzen: DWD, 2014; IMK, 2014b; IMK, 2014c und ESRI, 2005

Separat dargestellt wird die Station Wolfskopf auf der Autobahn A6, weil sie eine sehr starke Zunahme der Glättegefahr 5 aufweist (vgl. Abbildung 15 und 16). Für den Referenzzeitraum 1971 bis 2000 ergibt sich in der Simulation der Glättegefahr 5 nur ein Ereignis in 30 Jahren. Im zukünftigen Zeitraum 2021 bis 2050 sind es wesentlich mehr Ereignisse dieses Glättetyps in den 30 Jahren. Dies zeigt, dass es durchaus Glättetypen gibt, deren Häufigkeit in Zukunft zunehmen wird.

Für den Gefahrentyp Starkregen wird der „heftige Starkniederschlag“ dargestellt. Wie auch bei dem Glättetyp 5 ist hier keine allgemeine Tendenz der Veränderung für alle GMA-Stationen zu erkennen (vgl. Abbildung 17 und 18). Im Bereich der Autobahn A7 zwischen den Stationen Agnesburg A und Westhausen A ist eine starke Zunahme der „heftigen Starkregen“ zu erwarten. Entlang der Autobahn A81 ist eine Differenzierung festzustellen. Die Stationen im Norden der Metropolregion Stuttgart und der A81 zwischen den Stationen Holzspitze und Keltensiedlung zeigen eine Zunahme der „heftigen Starkregenereignisse“ in den Simulationen. Die Station Horb A, in der Mitte der A81 gelegen, folgt diesem Trend. Die Station Widdern A (A81) weist ähnliche Charakteristika wie die Station Sulmtal A auf der Autobahn A 6 auf. Beide Stationen bleiben in etwa in der Anzahl der Starkniederschlagsereignisse in den zwei 30-jährigen Zeiträumen gleich. Die nach Osten gelegenen Stationen auf der A6 Braunsbach A, Wolfskopf und Gronachbrücke zeigen kein Änderungssignal bezüglich der „heftigen Starkregenengefahr auf“. Für den Raum Stuttgart auf dem Autobahnabschnitt zwischen dem Kreuz Stuttgart und der GMA-Station Stuttgart 4 ist eine leichte Zunahme der Starkregenereignisse im Zeitraum 2021 bis 2050 zu erkennen. Für die „heftigen Starkregenereignisse“ und Folgen wie Überschwemmungen auf Straßen oder potentielle Aquaplaning-Gefahr, ist aufgrund der räumlichen Unterschiede eine Trendübertragung auf die Bundes- und Landesstraßen auszuschließen.



**Abbildung 15: Glättegefahr 5 „Raureif mit geringer Sichtweite“ an der Station Wolfskopf (A6) im Referenzzeitraum 1971-2000. Eigene Abbildung basierend auf den Datensätzen: DWD, 2014; IMK, 2014a und IMK, 2014c.**

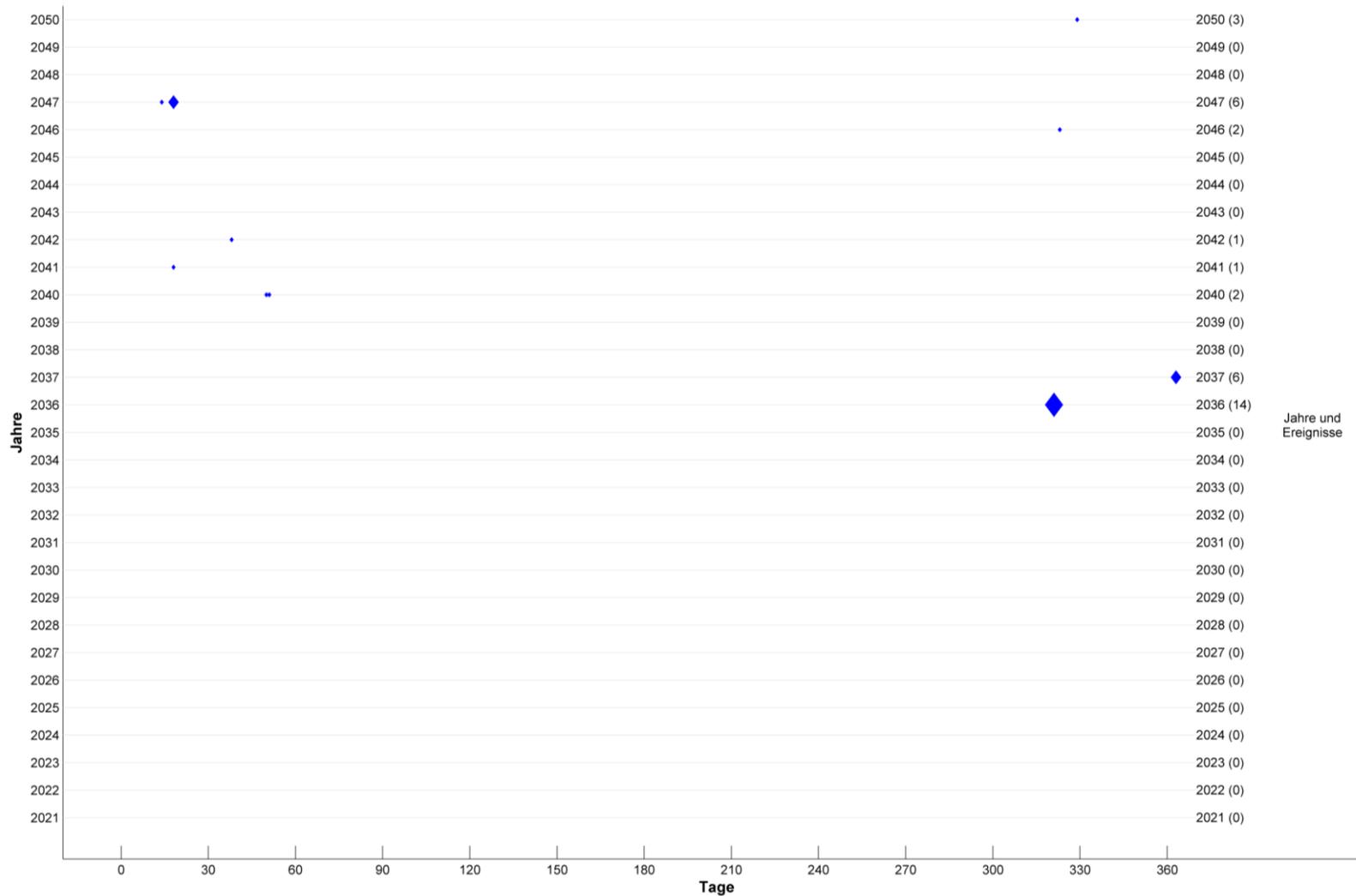


Abbildung 16: Glättegefahr 5 „Raureif mit geringer Sichtweit“ an der Station Wolfskopf (Autobahn A6) in der nahen Zukunft 2021-2050. Eigene Abbildung basierend auf den Datensätzen: DWD, 2014; IMK, 2014b und IMK, 2014c.

Lage der Metropolregion  
Stuttgart in Baden-Württemberg

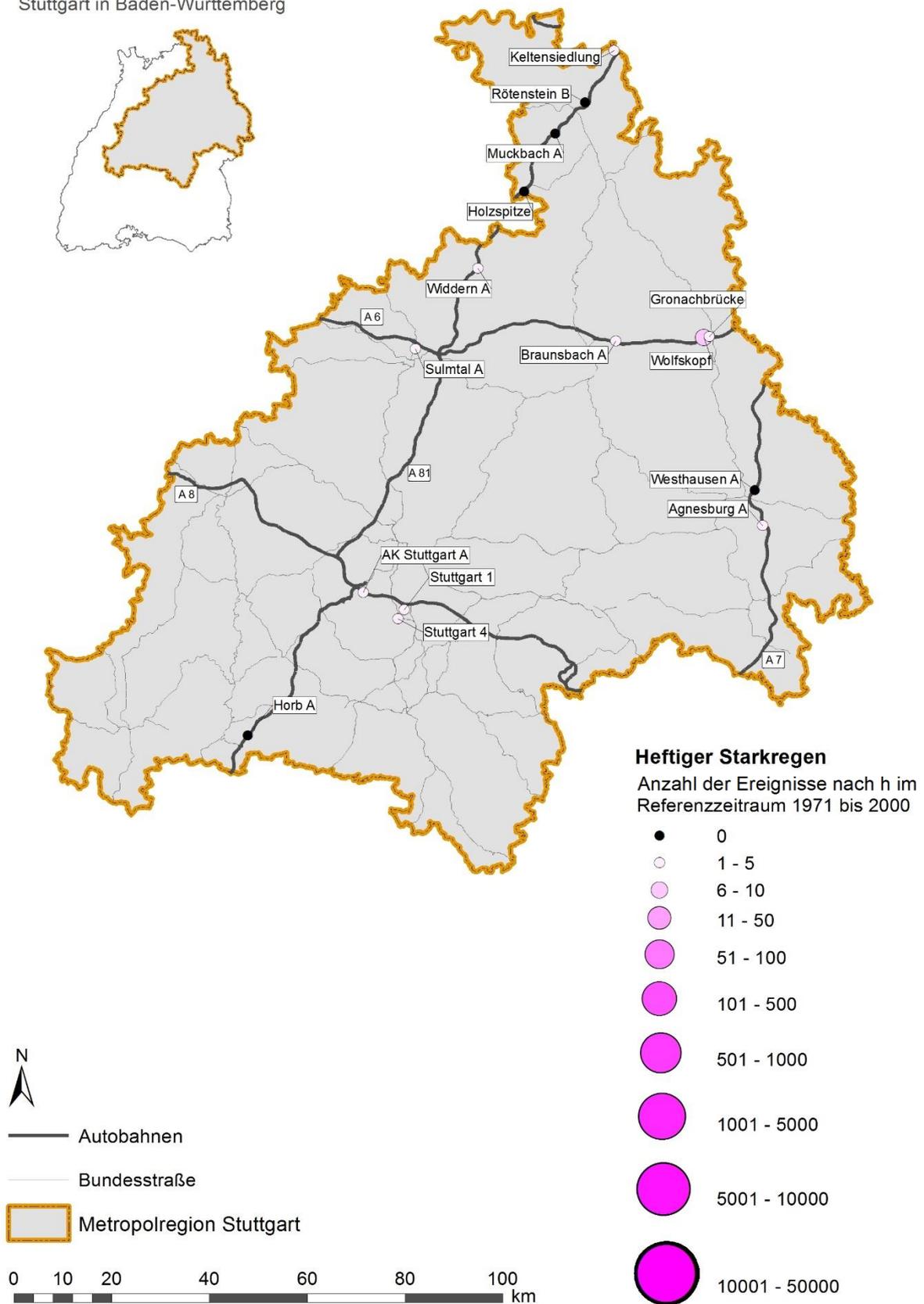


Abbildung 17: „Heftiger Starkregen“ im Referenzzeitraum 1971 bis 2000.  
Eigene Karte basierend auf den Datensätzen: DWD, 2014; IMK, 2014a; IMK, 2014c und ESRI, 2005

Lage der Metropolregion  
Stuttgart in Baden-Württemberg

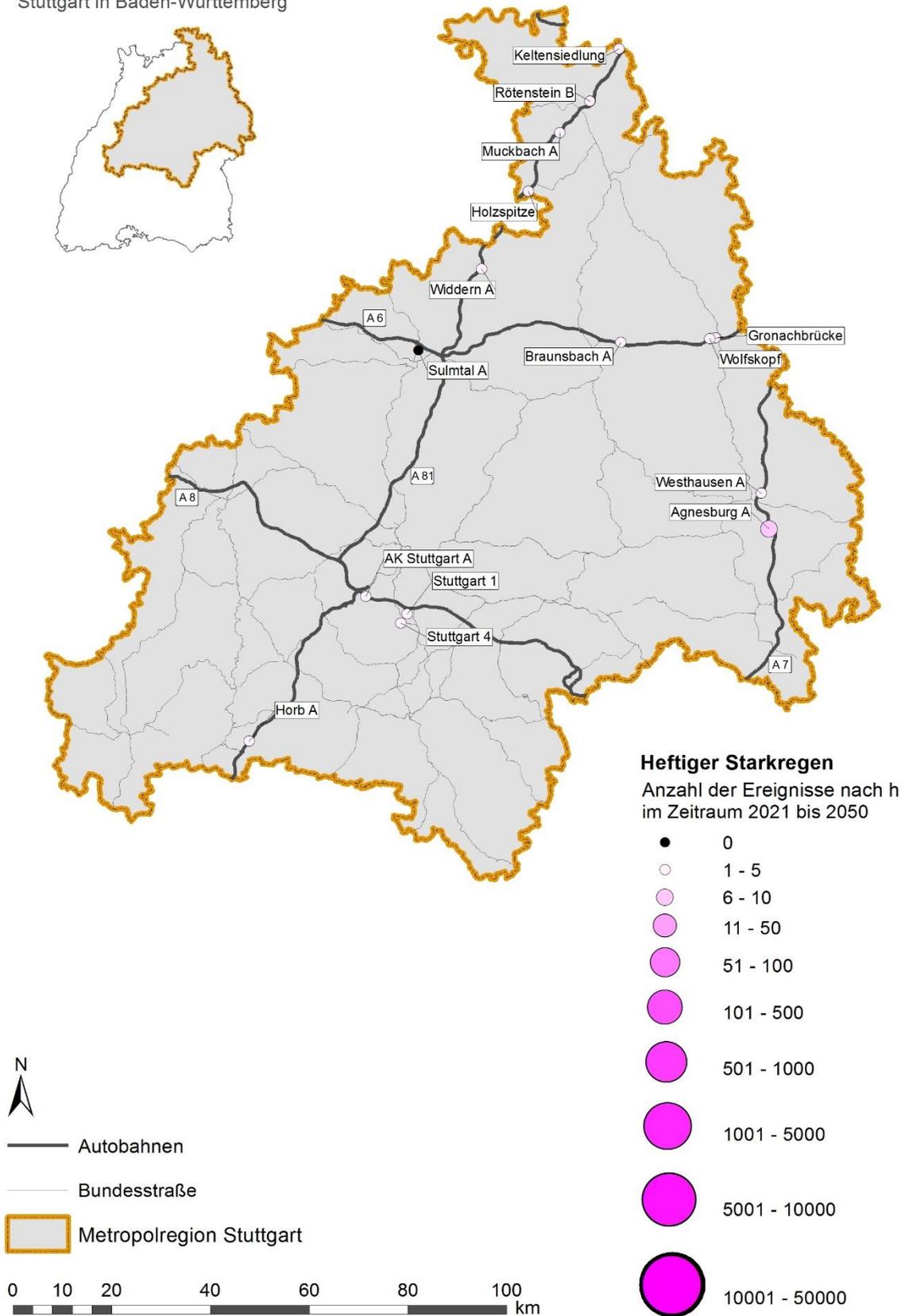


Abbildung 18: „Heftiger Starkregen“ in der nahen Zukunft 2021 bis 2050.  
Eigene Karte basierend auf den Datensätzen: DWD, 2014; IMK, 2014b; IMK, 2014c und ESRI, 2005

Die Folgen extremer Hitze durch Lufttemperaturen über 32°C und korrelierender hoher Belagstemperaturen über 46°C äußern sich, wie in Abschnitt 4.1 erläutert, durch potentielle Schäden am Belag sowie Stahl- und Betonbrücken und in Form von Aufweichungen und Verflüssigung des Asphalts (Savonis et al., 2008, S. 4ff; Transportation Research Board, 2008, S. 117). Näher betrachtet wird im Folgenden die Kombination aus beiden in der Literatur einzeln genannten Schwellenwerten (vgl. Savonis et al., 2008, S. 4ff; Transportation Research Board, 2008, S. 117). Die Simulation der Hitzegefahr III-B beinhaltet alle Ereignisse, die eine Lufttemperatur über 32°C und eine Belagstemperatur über 46°C aufweisen. Diese Gefahr bedeutet für die Straßeninfrastruktur extremen Hitzestress. Auffallend ist für die Hitzegefahr III-B eine deutliche Differenzierung zwischen den Stationen in der Metropolregion Stuttgart (vgl. Abbildung 19 und 20). Die GMA-Stationen im Südwesten wie z.B. Horb, AK Stuttgart A, Stuttgart 1 und Sulmtal A weisen eine tendenzielle Zunahme dieses Hitzegefahrrentyps auf. Die Stationen auf der A7 und auf der A6 östlich gelegen, sind von diesen extremen Hitzeereignissen nicht tangiert. Eine mögliche Erklärung ist die geographische Lage dieser Stationen in Richtung der kühleren nordöstlichen Landesteile und des Albraufs. Die Szenarien der „zukünftigen Klimaentwicklung in Baden-Württemberg“ (2013a, S. 132) zeichnen für diesen Raum in Baden-Württemberg eine geringere Erwärmung in der nahen Zukunft auf. Eine Station, die eine starke Zunahme der Hitzeereignisse mit Lufttemperatur über 32°C und einer simulierten Belagstemperatur über 46°C aufweist, ist die Station Stuttgart 4 auf der Autobahn A8. Im Referenzzeitraum 1971 bis 2000 sind die Ereignisse der Hitzegefahr III-B am Ende des 30-jährigen Zeitraumes im Sommer aufgetreten (vgl. Abbildung 21). Diese Erscheinung kann dadurch begründet werden, dass eine Temperaturzunahme gegen Ende der 1990er Jahre und zu Beginn der 2000er Jahre stattfand (Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg & Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, 2012, S. 7ff). Für eine Simulation dieses Hitzetyps im Hitzesommer 2003 wäre eine Zunahme dieser Hitzeereignisse mit hoher Wahrscheinlichkeit zu erkennen. Im zukünftigen 30-jährigen Zeitraum wird eine Zunahme der Ereignisse simuliert. Die Hitzeereignisse finden wiederum im Sommer statt, sind aber stärker innerhalb des 30jährigen Zeitraumes gestreut (vgl. Abbildung 22).

Zusammenfassend ist festzustellen, dass eine Zunahme der potentiellen Glättegefahren mit Niederschlag in Form von Regen sowie eine Zunahme der Starkniederschläge an allen Modellstationen in der Metropolregion Stuttgart abgeleitet werden kann. Keinen allgemeinen Trend in den Simulationen lassen die übrigen Glättegefahren erkennen. Die Windextrems bleiben in den Modellsimulationen aus und die Hitzegefahr für die Autobahnen nimmt an jeder Station zu. Diese Ergebnisse sind Simulationsergebnisse mit Modelldaten. Die Klimadaten für die Modellierung sind großräumigere Rasterdaten in Vergleich zu den Punktdaten aus den Glättemeldeanlagen. Hierbei ist es möglich, dass die Klimadaten die kleinräumigen klimatischen Charakteristika der einzelnen Stationen nicht ausreichend wiedergeben. Zudem erzeugen die lückenhaften Aufzeichnungen an den Glättemeldeanlagen der Autobahnen weitere Fehler in den Modellen, die datentechnisch schwer auszugleichen sind. Eine Ableitung der potentiellen Gefahren auf Flächen bzw. Liniensegmente der Autobahnen oder der anderen Straßentypen ist bedingt möglich. Potentielle Tendenzen der Gefahrenänderung anhand der Auswertung der Stationen sind auf diesem Hintergrund zu interpretieren. Eine abgeleitete logische Implikation wie die Feststellung, dass alle Stationen der Autobahnen im östlichen Bereich der Region eine Zunahme der simulierten Glätten aufzeigen, ist anhand der Daten nicht möglich. Auswertungen von Daten aus Glättemeldeanlagen von weiteren Straßen in diesem Bereich der Metropolregion Stuttgart oder Daten aus Straßenabschnitten könnten hier künftig Abhilfe schaffen (vgl. Kapitel 5).

Die vorgestellte Methodik zeigt dabei auf, wie mit Hilfe einzelner GMAs und einer Klimaprojektion Aussagen zur Wahrscheinlichkeit definierter Gefahren ableitbar sind. Eine künftige Veränderung des Gefahrenspektrums auf Straßen kann dieses Instrument verwenden. Dabei sollten die GMAs nicht nur auf Glätteereignisse bezogen errichtet und betrieben werden, sondern so, dass auch andere Gefahren die in der vorliegenden Untersuchung mit einbezogen werden. Dies würde Möglichkeiten zu einem umfassenderen Gefahrenmonitoring im Rahmen der Anpassung an den Klimawandel eröffnen.

Lage der Metropolregion  
Stuttgart in Baden-Württemberg

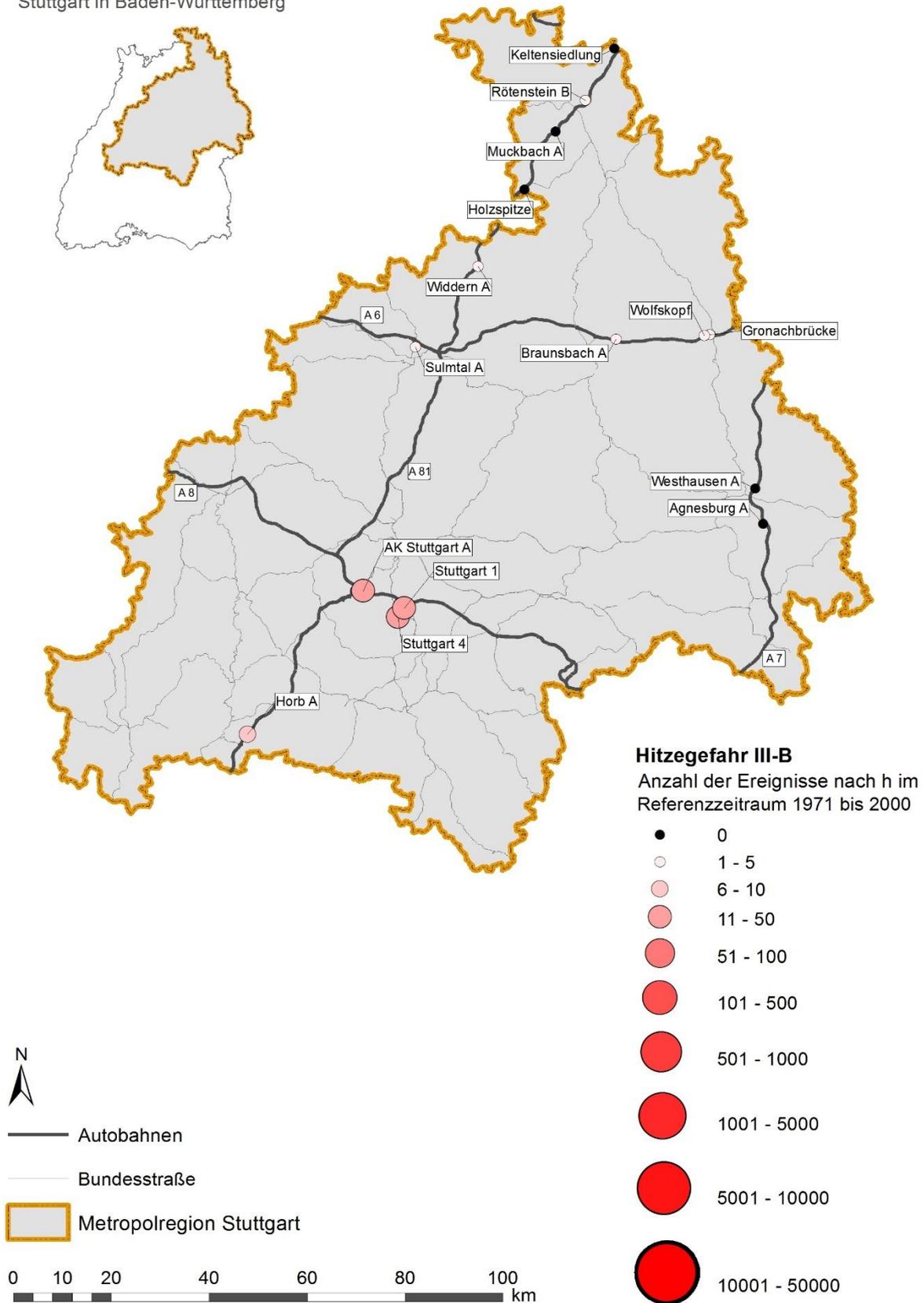


Abbildung 19: „Hitzegefahr III-B“ im Referenzzeitraum 1971 bis 2000.

Eigene Karte basierend auf den Datensätzen: DWD, 2014; IMK, 2014a; IMK, 2014c und ESRI, 2005

Lage der Metropolregion  
Stuttgart in Baden-Württemberg

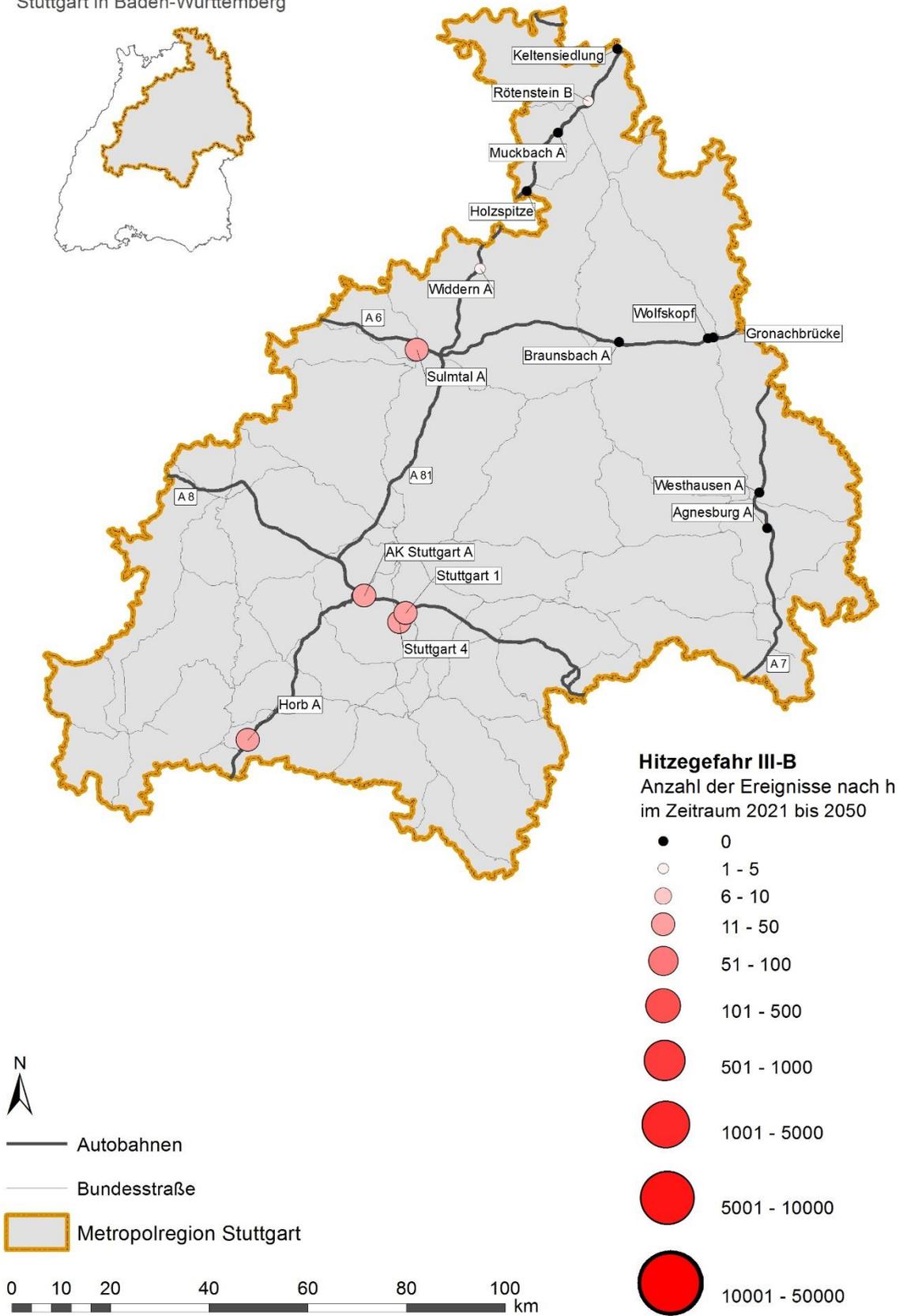


Abbildung 20: „Hitzegefahr III-B“ in der nahen Zukunft 2021 bis 2050.

Eigene Karte basierend auf den Datensätzen: DWD, 2014; IMK, 2014b; IMK, 2014c und ESRI, 2005

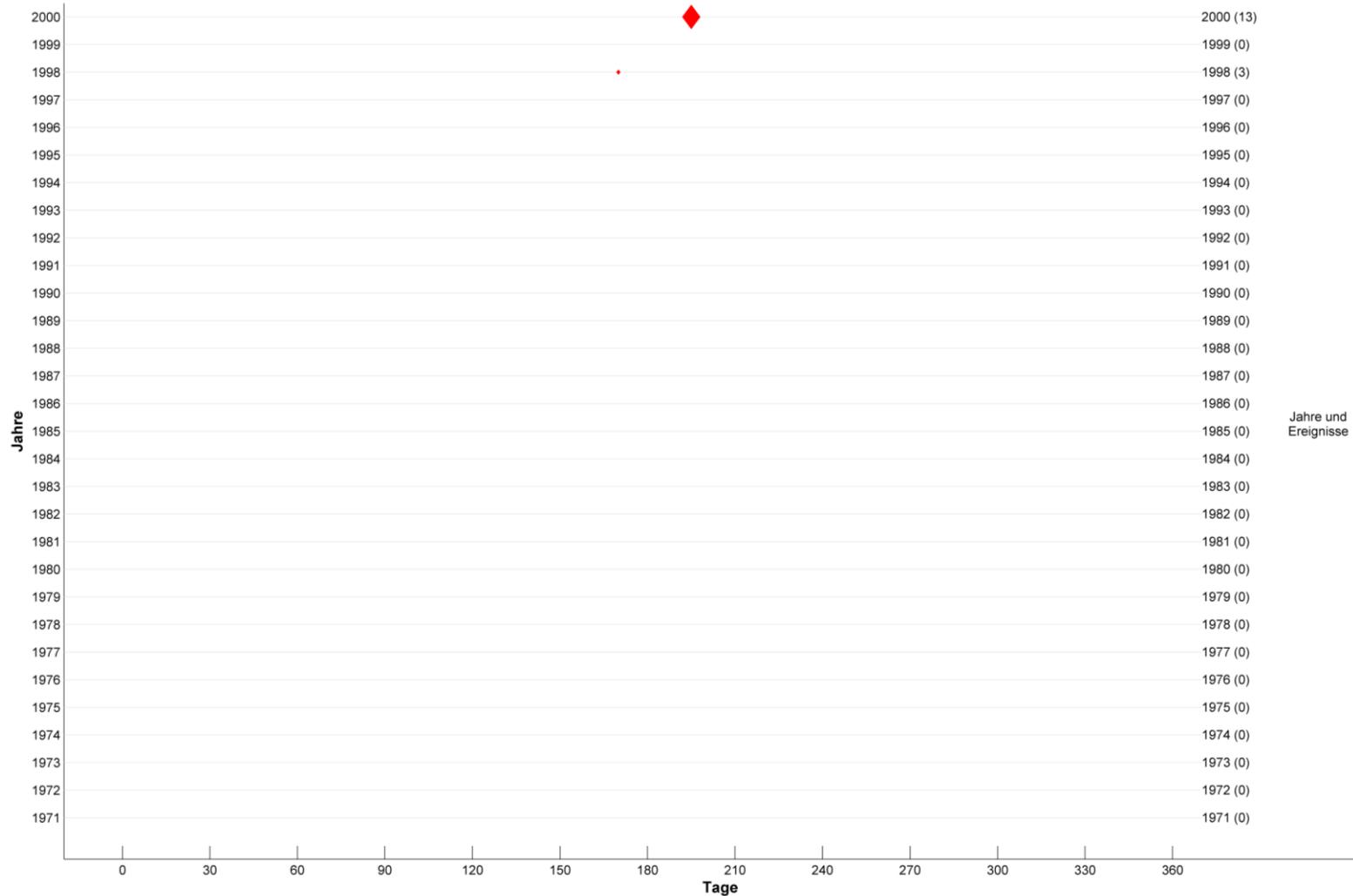


Abbildung 21: Hitzegefahr III-B ( $T_{\text{Luft}} > 32^{\circ}\text{C}$  &  $T_{\text{Belag}} > 46^{\circ}\text{C}$ ) an der Station Stuttgart 4 (Autobahn A8) im Referenzzeitraum 1971-2000. Eigene Abbildung basierend auf den Datensätzen: DWD, 2014; IMK, 2014a und IMK, 2014c.

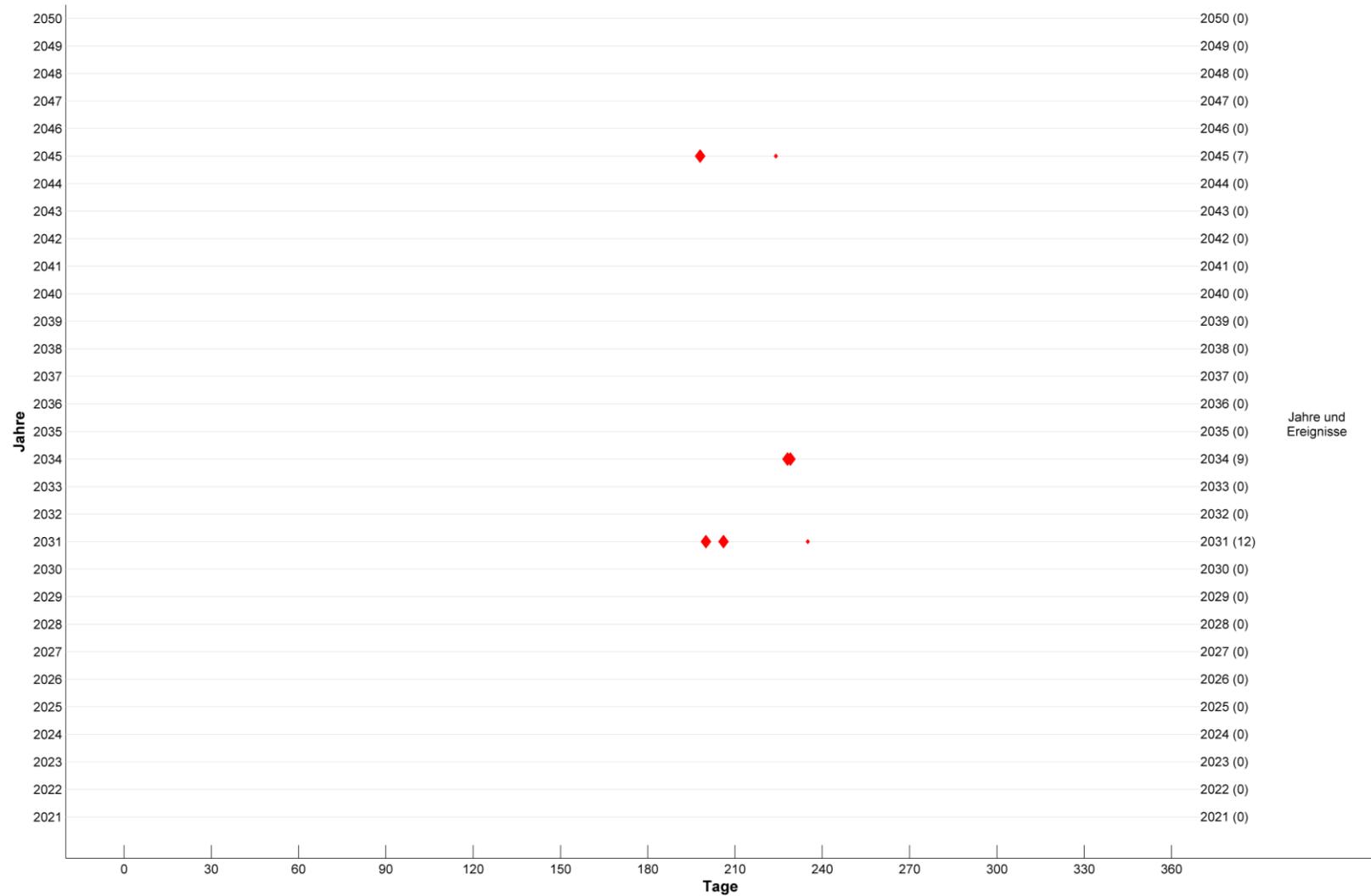


Abbildung 22: Hitzegefahr III-B ( $T_{\text{Luft}} > 32^{\circ}\text{C}$  &  $T_{\text{Belag}} > 46^{\circ}\text{C}$ ) an der Station Stuttgart 4 (Autobahn A8) in der nahen Zukunft 2021-2050  
 Eigene Abbildung basierend auf den Datensätzen: DWD, 2014; IMK, 2014b und IMK, 2014c.

## 5 Empfehlungen zur Anpassung an den Klimawandel

Die im Rahmen von KLIMOPASS-AKLIM generierten Ergebnisse sollen dazu beitragen, die Anpassung der Verkehrsinfrastruktur an die Folgen des erwarteten Klimawandels zu unterstützen. Hierzu wurden, spezifisch für verschiedene Arten von Straßen (nach Baulast) sowie allgemein für den Schienenverkehr die im Abschnitt 4 generierten Ergebnisse zusammengefasst und Empfehlungen formuliert. Grundlage für den Aufbau der Tabellen 16 bis 20 ist das Vulnerabilitäts-Framework für Infrastruktur von Susanne Lenz (Lenz, 2009, S. 31), die Infrastruktursysteme hierarchisch in Sektoren, Infrastrukturen und Komponenten differenziert und damit die Grundlage für die Auswertung in nach Infrastrukturen differenzierten Tabellen liefert. Wie bereits in der Auswertung der Handlungsbedarfe in Abschnitt 4.2 werden dabei drei Handlungsbereiche (Daten-wissenstechnisch, technisch-baulich, betrieblich-organisatorisch und strukturell-planerisch) unterschieden.

Innerhalb der Tabellen werden sowohl Empfehlungen für einzelne Gefahrenarten gegeben, welche sich aus dem Klimawandel ergeben, als auch Empfehlungen die gefahrenübergreifend gelten. Je nach behandelter Infrastruktur und gegebener Empfehlung sind unterschiedliche Zielgruppen von den Empfehlungen betroffen. Um die Übersichtlichkeit zu erhöhen, sind diese Zielgruppen für jede Empfehlung mit den bereits in Abschnitt 4 verwendeten Symbolen gekennzeichnet. Die Zuschreibung einer Empfehlung an die jeweiligen Zielgruppen orientiert sich sowohl an der sachlichen Zuständigkeit (z.B. der Baulastträgerschaft), als auch an den für die jeweilige Empfehlung benötigten Ressourcen und Möglichkeiten. So sind die Kommunen beispielsweise nicht die geeigneten Ansprechpartner zum Aufbau eines Asset Management oder der Einrichtung von Monitoring-Systemen des Straßenzustandes.

Da die in Abschnitt 4.3 vorgenommene Modellierung sich aufgrund der bestehenden Datenlage auf die Autobahnen beschränkt, wurden die hierfür generierten Ergebnisse auf die anderen Infrastrukturtypen (Straßen und Schiene) übertragen (vgl. Kapitel 4.3.2). In den Spalten 1 und 2 ist jeweils angegeben, ob es sich bei den entsprechenden Empfehlungen um Ergebnisse der Modellsimulation oder um abgeleitete Ergebnisse handelt. Dabei ist klar, dass die hier vorgenommenen Ableitungen sinnvollerweise durch Messwerte und Modellierungen an den entsprechenden Infrastrukturen validiert werden müssten. Dennoch bietet die in Abschnitt 4 entwickelte Methode ein Tool, welches sich leicht übertragen lässt, wenn die entsprechenden Daten vorhanden oder verfügbar gemacht werden können, die in einem Data-Mining-Ansatz Ursachen und Wirkungen von Gefahren modellierbar machen.

Für den Bereich der Schieneninfrastruktur wären dabei andere Schwellenwerte anzulegen. Die Definition von Schwellenwerten für die Gefährdung von Infrastrukturen gegenüber Extremereignissen befindet sich in Deutschland noch in einem frühen Stadium. Forschungsprojekte der BASt sollen diese Situation in Zukunft verbessern. Während für den Bereich der Schieneninfrastruktur noch tatsächliche Wirkungen (äquivalent zu dem Ansatz der Gefahren auf Autobahnen) nachgewiesen werden müssen, ist der in Abschnitt 4 entwickelte Modellansatz (bei vorhandenen Schwellenwerten) eins zu eins umsetzbar. Zudem lässt sich der Ansatz auch auf andere Regionen übertragen.

Neben den aus der Modellierung hervorgegangenen oder abgeleiteten, häufig gefahrenspezifischen Empfehlungen werden aus den Ergebnissen in Abschnitt 4.2 weitere Empfehlungen in den vier Handlungsbereichen abgeleitet. Die Tabellen sind zwangsläufig stark zusammenfassend und unter Berücksichtigung der in Kapitel 4 ausführlich erläuterten Ergebnisse zu lesen. Dennoch bieten sie Planern der unterschiedlichen Zielgruppen die Möglichkeit, in relativ kurzer Zeit einen Überblick über die gegebenen Empfehlungen für ihre Zielgruppe zu erlangen. Klar ist dabei, dass die Empfehlungen sich aufgrund des frühen Stadiums dieser Art von Untersuchungen und den damit verbundenen Lücken im Wissen über Klimatologie, Infrastrukturzustände und Kausalzusammenhänge stark auf den Daten-wissenstechnischen und den strukturell-planerischen Handlungsbereich beziehen. Wo möglich, wurden technisch-bauliche und betrieblich-organisatorische Empfehlungen ergänzt.

Tabelle 16: Zielgruppen-spezifische Empfehlungen zur Anpassung der Autobahnen an den Klimawandel. Eigene Darstellung.

Vulnerabilitäts-Spezifika der Autobahnen	Handlungsbereiche und Zielgruppenspezifische Anpassungsempfehlungen			
Modelhafte Gefahrentypen und räumliche Struktur abgeleitet aus den Modellsimulationen (vgl. Kapitel 4.3)	Daten-wissenstechnisch	Technisch-baulich	Betrieblich-organisatorisch	Strukturell-planerisch
<p><b>Glätte</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Abnahme der „gefrierenden Nässe“ in der Metropolregion Stuttgart</li> <li>- Zunahme der Glättegefahren mit der Niederschlagsform „Regen“ (Typ 2A, 3A, 4A) in der Metropolregion Stuttgart <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Regionale Übertragung auf andere Straßentypen</li> </ul> </li> <li>- Zunahme der Glättegefahr „Niederschlag als Schnee zusammen mit Raureif“ (4B), der Glättegefahr „Raureif mit geringer Sichtweite“ (5) sowie der Glättegefahr „Gefrierender Tau mit nachfolgendem Raureif“ (6) auf der A6 und A7, d.h. vor allem in östlichen Regionen der Metropolregion Stuttgart <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Regionale Übertragung auf andere Straßentypen in den östlichen Regionen der Metropolregion Stuttgart</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Weitere GMA<sup>5</sup>-Stationen in Baden-Württemberg in das Datenmodell integrieren, um regionale Trends in der Gefahrenanalyse zu erkennen und zu validieren. Messzeiträume der GMA-Stationen sollten etwa 10 Jahre betragen.</li> <li>- Aufstellen von GMA-Stationen entlang bestimmter Autobahnsegmente. Mehr GMA-Daten auf einem Autobahntrasekt lassen detaillierte Aussagen über Gefahren zu für den ganzen Verlauf.</li> <li>- Digitale Aufzeichnung von klimatischen Gefahren auf Autobahnen, sofern Gefahren als solche klassifiziert werden können.</li> </ul>		<p>Anpassung des Winterdienstes an häufigere Glätteereignisse</p> <div style="text-align: center;">  </div>	

<sup>5</sup> Glättemeldeanlage(GMA) messen je nach Hersteller i.A. über das ganze Jahr stundenweise Lufttemperatur, Belagtemperatur und Straßenzustände. Unter Straßenzuständen wird hierbei verstanden, ob der Straßenbelag „trocken“, „feucht“ oder „nass“ ist.

- „Lernen durch tatsächlich stattgefundenere Ereignisse“
- Überprüfen der Aufzeichnung von GMA-Daten mit aktuellen Wetterdaten
- Ausfallquote der Messstationen reduzieren



Vulnerabilitäts-Spezifika der Autobahnen	Handlungsbereiche und Zielgruppenspezifische Anpassungsempfehlungen			
Modelhafte Gefahrentypen und räumliche Struktur abgeleitet aus den Modellsimulationen (vgl. Kapitel 4.3)	Daten-wissenstechnisch	Technisch-baulich	Betrieblich-organisatorisch	Strukturell-planerisch
<p><b>Starkregen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Zunahme der Starkregenereignisse mit 10-25 l/m<sup>2</sup> in 1h in der Metropolregion Stuttgart <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Regionale Übertragung auf andere Straßentypen</li> </ul> </li> <li>- Zunahme der „heftigen Starkregenereignisse“ auf der A7 und im Norden der A81</li> <li>- Abnahme bzw. ausbleibende Ereignisse des „sehr heftigen Starkregens“ in der Metropolregion Stuttgart</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- GMA-Daten der genutzten Stationen hatten keine Werte über den Straßenzustand (vgl. <sup>5</sup>). Informationen über „nasse“ Straßenzustände sind in Bezug auf potentielle Aquaplaning-Gefahr wichtig.</li> <li>- Ausfallquote der Messstationen reduzieren.</li> </ul> <p style="text-align: center;"><b>B</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Anpassung des Drainagen-Systems</li> <li>- Autobahnen, die in steile Hänge eingeschnitten sind, sollten vor Hangrutschung geschützt werden</li> </ul> <p style="text-align: center;"><b>B</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bewusste Berücksichtigung von Verkehrsinfrastrukturinfrastruktur bei der Planung von Retentionsmaßnahmen</li> </ul> <p style="text-align: center;"><b>L</b></p>		

Vulnerabilitäts-Spezifika der Autobahnen	Handlungsbereiche und Zielgruppenspezifische Anpassungsempfehlungen			
Modelhafte Gefahrtypen und räumliche Struktur abgeleitet aus den Modellsimulationen (vgl. Kapitel 4.3)	Daten-wissenstechnisch	Technisch-baulich	Betrieblich-organisatorisch	Strukturell-planerisch
<p><b>Hitze</b></p> <p>- Zunahme der kombinierten Hitzegefahr III A/B (TLuft &gt; 30 °C / 32 °C und TBelag &gt; 46 °C) auf den Autobahnabschnitten im Südwesten der Metropolregion Stuttgart</p> <p>➤ Regionale Übertragung auf andere Straßentypen</p>	<p>- Analog zu Daten-wissenstechnischen Empfehlungen der Glättegefahr</p>	<p>- Entwicklung und Einsatz von hitzeresistenten Belagsmaterialien</p> <p style="text-align: center;"></p> <p>- Einbringen von hitzetoleranter Vegetation im Randbereich der Autobahnen und in der Fahrbahntrennung → Kühl- und Schatteneffekte</p> <p style="text-align: center;"> </p>		
<p><b>Wind</b></p> <p>- Ausbleibende Extremwindereignisse (in Modellsimulation), die Schäden an Infrastruktur bringen können für die Autobahnen in der Metropolregion Stuttgart</p> <p>➤ Regionale Übertragung auf andere Straßentypen</p>		<p>- Besonderer Schutz von Brücken; besser: Konstruktion für hohe Windgeschwindigkeiten, denn 100-jährige Sturmereignisse können eintreten und sind datentechnisch-statistisch nicht berücksichtigt.</p> <p style="text-align: center;"> </p> <p>- Beschilderung auf Autobahnen ausreichend verankern</p> <p style="text-align: center;"></p>		

Vulnerabilitäts-Spezifika der Autobahnen	Handlungsbereiche und Zielgruppenspezifische Anpassungsempfehlungen			
Modelhafte Gefahrentypen und räumliche Struktur abgeleitet aus den Modellsimulationen (vgl. Kapitel 4.3)	Daten-wissenstechnisch	Technisch-baulich	Betrieblich-organisatorisch	Strukturell-planerisch
<b>Gefahren-übergreifend</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Definition von Mindeststandards an und Bereitstellung von klimatischen Daten für untere Verwaltungsebenen</li> <li>- Aufbau eines Systems zur Schadens-/Ursachenerfassung an Autobahnen und Bundesstraßen <span style="float: right;">B</span></li> <li>- Forschungsprojekte zu spezifischen Infrastruktureilen und Wirkfolgen des Klimawandels (vgl. Kapitel 6)</li> <li>- Aufbau eines Informationsnetzwerkes zur Infrastruktur-Anpassung mit Nachbarländern (insb. NL, CH) <span style="float: right;">B L</span></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Überarbeitung räumlich differenzierter technischer Regelwerke auf Basis regionaler Klimaprojektionen <span style="float: right;">B</span></li> <li>- Überprüfung der Notwendigkeit zur Verkürzung von Bauzyklen <span style="float: right;">B L</span></li> <li>- Evakuierungswege und Katastropheninfrastruktur verbessern (B, L, LK, S, K) <span style="float: right;">B L LK S K</span></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Veränderungen im Turnus des Grünschnitts <span style="float: right;">B L</span></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Stärkere Sensibilisierung der Bevölkerung für die Notwendigkeit einer dem Wetter angemessenen Fahrweise</li> <li>- Stärkere Sensibilisierung der Bevölkerung für die Grenzen der möglichen Vorsorge</li> <li>- Stärkere Sensibilisierung der Bevölkerung für Kosten-Nutzen-Aufwand bei der Risikovorsorge</li> <li>- Asset Management zur transparenten, an Kriterien orientierten Priorisierung <span style="float: right;">A</span></li> <li>- Gezielte Aufstockung des Personals im Bereich strategische Verkehrsplanung</li> <li>- Zuweisung von Budgets zu Handlungsfeldern der DAS</li> <li>- Berücksichtigung zukünftiger Kosten bei der Priorisierung von Maßnahmen <span style="float: right;">B</span></li> <li>- Einbeziehung von Fachbehörden bei Indikator-Entwicklung</li> <li>- Aufbau von Redundanzen in Transportketten <span style="float: right;">B L</span></li> </ul>

*Zielgruppen:*

**A** Allgemein

**B** Bund

**L** Land

**R** Regionalverbände

**LK** Landkreise

**S** Stadtkreise/Große Kreisstädte

**K** Kleine Städte/Kommunen

Tabelle 17: Zielgruppen-spezifische Empfehlungen zur Anpassung der Bundesstraßen an den Klimawandel. Eigene Darstellung.

Vulnerabilitäts-Spezifika der Bundesstraßen	Handlungsbereiche und Zielgruppenspezifische Anpassungsempfehlungen			
Gefahrenstypen und räumliche Struktur abgeleitet aus den Modellsimulationen (vgl. Kapitel 4.3)	Daten-wissenstechnisch	Technisch-baulich	Betrieblich-organisatorisch	Strukturell-planerisch
<p><b>Glättegefahr abgeleitet</b> aus den Modellergebnissen für die Gefahrensimulation der Autobahnen</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Abgeleitete Abnahme der „gefrierenden Nässe“ in der Metropolregion Stuttgart</li> <li>- Abgeleitete Zunahme der Glättegefahren mit der Niederschlagsform „Regen“ (Typ 2A, 3A, 4A) in der Metropolregion Stuttgart</li> <li>- Abgeleitete Zunahme der Glättegefahr „Niederschlag als Schnee zusammen mit Raureif“ (4B), der Glättegefahr „Raureif mit geringer Sichtweite“ (5) und der Glättegefahr „Gefrierender Tau mit nachfolgendem Raureif“ (6) für Bundesstraßen, die an die A6 und A7 in der Metropolregion Stuttgart angrenzen und in den östlichen Regionen der Metropolregion Stuttgart liegen.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vermehrt auch Messstationen auf den Bundesstraßen verbauen</li> <li>- Daten aus Messstationen auf Bundesstraßen helfen, eine detaillierte regionale Analyse der Gefahren für Straßen zu schaffen</li> <li>- Wie bei den Autobahnen: Digitale Aufzeichnung von klimatischen Gefahren</li> </ul> <p style="text-align: center;"><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px 5px;">B</span></p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Anpassung des Winterdienstes an häufigere Glätteereignisse</li> </ul> <p style="text-align: center;"><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px 5px;">B</span> <span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px 5px;">L</span></p>	

Vulnerabilitäts-Spezifika der Bundesstraßen	Handlungsbereiche und Zielgruppenspezifische Anpassungsempfehlungen			
Gefahrenarten und räumliche Struktur abgeleitet aus den Modellsimulationen (vgl. Kapitel 4.3)	Daten-wissenstechnisch	Technisch-baulich	Betrieblich-organisatorisch	Strukturell-planerisch
<p><b>Starkregengefahr abgeleitet</b> aus den Modellergebnissen für die Gefahrensimulation der Autobahnen</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Zunahme der Starkregenereignisse mit 10-25 l/m<sup>2</sup> in 1h in der Metropolregion Stuttgart</li> <li>- Zunahme der „heftigen Starkregenereignisse“ auf der A7, im Norden der A81</li> <li>- Abnahme bzw. ausbleibende Ereignisse des „sehr heftigen Starkregens“ in der Metropolregion Stuttgart</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Erfassen der aus Anschwellen von Wasserkörper resultierenden Gefahren wäre für einen datenbasierten Ansatz wie in KLIMOPASS-AKLIM wichtig, zur Ableitung von Schwellenwerten für Straßenüberschwemmungen und Aquaplaning-Gefahr.</li> </ul> <p style="text-align: center;"></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Anpassung des Drainagen-Systems</li> <li>- Bundesstraßen, die in steile Hänge eingeschnitten sind, sollten vor Hangrutschung geschützt werden</li> </ul> <p style="text-align: center;"></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bewusste Berücksichtigung von Verkehrsinfrastruktur bei der Planung von Retentionsmaßnahmen</li> </ul> <p style="text-align: center;"></p>		
<p><b>Hitzefahr abgeleitet</b> aus den Modellergebnissen für die Gefahrensimulation der Autobahnen</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Abgeleitete Zunahme der kombinierten Hitzefahr III A/B (T<sub>Luft</sub> &gt; 30 °C/32 °C und T<sub>Belag</sub> &gt; 46 °C) auf den Bundesstraßenabschnitten im Südwesten der Metropolregion Stuttgart</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Analog zu Daten-wissenstechnischen Empfehlungen der Glättefahr</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Entwicklung und Einsatz von hitzeresistenten Belagsmaterialien</li> </ul> <p style="text-align: center;"></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Einbringen von hitzetoleranter Vegetation im Randbereich der Straßen → Kühl- und Schatteneffekte</li> </ul> <p style="text-align: center;"></p>		

Vulnerabilitäts-Spezifika der Bundesstraßen	Handlungsbereiche und Zielgruppenspezifische Anpassungsempfehlungen			
Gefahrentypen und räumliche Struktur abgeleitet aus den Modellsimulationen (vgl. Kapitel 4.3)	Daten-wissenstechnisch	Technisch-baulich	Betrieblich-organisatorisch	Strukturell-planerisch
<p><b>Windgefahr abgeleitet</b> aus den Modellergebnissen für die Gefahrensimulation der Autobahnen</p> <p>- <i>Abgeleitete ausbleibende Extremwindereignisse</i> (in Modellsimulation), die Schäden an Infrastruktur bringen können für die <i>Bundesstraßen in der Metropolregion Stuttgart</i></p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Besonderer Schutz von Brücken; besser: Konstruktion für hohe Windgeschwindigkeiten, denn 100-jährige Sturmereignisse können eintreten und sind datentechnisch-statistisch nicht berücksichtigt.</li> </ul> <div style="text-align: center;">  </div> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Beschilderung auf Bundesstraßen ausreichend verankern</li> </ul> <div style="text-align: center;">   </div>		

Vulnerabilitäts-Spezifika der Bundesstraßen	Handlungsbereiche und Zielgruppenspezifische Anpassungsempfehlungen			
Gefahrenrentypen und räumliche Struktur abgeleitet aus den Modellsimulationen (vgl. Kapitel 4.3)	Daten-wissenstechnisch	Technisch-baulich	Betrieblich-organisatorisch	Strukturell-planerisch
<b>Gefahren-übergreifend</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Definition von Mindeststandards an und Bereitstellung von klimatischen Daten für untere Verwaltungsebenen</li> <li>- Aufbau eines Systems zur Schadens-/Ursachenerfassung an Autobahnen und Bundesstraßen <span style="float: right;">B</span></li> <li>- Forschungsprojekte zu spezifischen Infrastruktureilen und Wirkfolgen des Klimawandels</li> <li>- Aufbau eines Informationsnetzwerkes zur Infrastruktur-Anpassung mit Nachbarländern (insbesondere NL, CH) <span style="float: right;">B L</span></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Überprüfung der Notwendigkeit zur Verkürzung von Bauzyklen <span style="float: right;">B L</span></li> <li>- Evakuierungswege und Katastropheninfrastruktur verbessern <span style="float: right;">B L LK S K</span></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Veränderungen im Turnus des Grünschnitts <span style="float: right;">B L</span></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Stärkere Sensibilisierung der Bevölkerung für die Notwendigkeit einer dem Wetter angemessenen Fahrweise</li> <li>- Stärkere Sensibilisierung der Bevölkerung für die Grenzen der möglichen Vorsorge</li> <li>- Stärkere Sensibilisierung der Bevölkerung für Kosten-Nutzen-Aufwand bei der Risikovorsorge <span style="float: right;">A</span></li> <li>- Asset Management zur transparenten, an Kriterien orientierten Priorisierung</li> <li>- Gezielte Aufstockung des Personals im Bereich strategische Verkehrsplanung</li> <li>- Zuweisung von Budgets zu Handlungsfeldern der DAS</li> <li>- Einbeziehung von Fachbehörden bei Indikator-Entwicklung</li> <li>- Berücksichtigung zukünftiger Kosten bei der Priorisierung von Maßnahmen <span style="float: right;">B</span></li> <li>- Aufbau von Redundanzen in Transportketten <span style="float: right;">B L</span></li> </ul>

*Zielgruppen:*

**A** Allgemein

**B** Bund

**L** Land

**R** Regionalverbände

**LK** Landkreise

**S** Stadtkreise/Große Kreisstädte

**K** Kleine Städte/Kommunen

Tabelle 18: Zielgruppen-spezifische Empfehlungen zur Anpassung der Landesstraßen an den Klimawandel. Eigene Darstellung.

Vulnerabilitäts-Spezifika der Landesstraßen	Handlungsbereiche und Zielgruppenspezifische Anpassungsempfehlungen			
Gefahrenarten und räumliche Struktur abgeleitet aus den Modellsimulationen (vgl. Kapitel 4.3)	Daten-wissenstechnisch	Technisch-baulich	Betrieblich-organisatorisch	Strukturell-planerisch
<p><b>Glättegefahr abgeleitet</b> aus den Modellergebnissen für die Gefahrensimulation der Autobahnen</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Abgeleitete Abnahme der „gefrierenden Nässe“ in der Metropolregion Stuttgart</i></li> <li>- <i>Abgeleitete Zunahme der Glättegefahren mit der Niederschlagsform „Regen“ (Typ 2A, 3A, 4A) in der Metropolregion Stuttgart</i></li> <li>- <i>Abgeleitete Zunahme der Glättegefahr „Niederschlag als Schnee zusammen mit Raureif“ (4B), der Glättegefahr „Raureif mit geringer Sichtweite“ (5) und der Glättegefahr „Gefrierender Tau mit nachfolgendem Raureif“ (6) für Landesstraßen, die an die A6 und A7 in der Metropolregion Stuttgart angrenzen und in den östlichen Regionen der Metropolregion Stuttgart liegen.</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Daten aus Messstationen auf Landesstraßen helfen eine detaillierte regionale Analyse der Gefahren für Straßen zu schaffen </li> <li>- Vermehrt auch Messstationen auf den Landesstraßen verbauen</li> <li>- Wie bei den Autobahnen: Digitale Aufzeichnung von klimatischen Gefahren </li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Anpassung des Winterdienstes an häufigere Glätteereignisse </li> </ul>	

Vulnerabilitäts-Spezifika der Landesstraßen	Handlungsbereiche und Zielgruppenspezifische Anpassungsempfehlungen			
Gefahrtypen und räumliche Struktur abgeleitet aus den Modellsimulationen (vgl. Kapitel 4.3)	Daten-wissenstechnisch	Technisch-baulich	Betrieblich-organisatorisch	Strukturell-planerisch
<p><b>Starkregengefahr abgeleitet</b> aus den Modellergebnissen für die Gefahrensimulation der Autobahnen</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Zunahme der Starkregenereignisse mit 10-25 l/m<sup>2</sup> in 1h in der Metropolregion Stuttgart</li> <li>- Zunahme der „heftigen Starkregenereignisse“ auf der A7, im Norden der A81</li> <li>- Abnahme bzw. ausbleibende Ereignisse des „sehr heftigen Starkregens“ in der Metropolregion Stuttgart</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Insbesondere Landesstraßen, die in der Nähe von kleinen Bächen oder Flüssen liegen, sind bei Starkregenereignissen gefährdet. Erfassen der aus Anschwellen dieser Wasserkörper resultierenden Gefahren wäre für einen datenbasierten Ansatz wie in KLIMOPASS-AKLIM wichtig, zur Ableitung von Schwellenwerten für Straßenüberschwemmungen und Aquaplaning-Gefahr.</li> </ul> <p style="text-align: center;"><span style="border: 1px solid black; background-color: #d4edda; padding: 2px;">L</span></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Anpassung des Drainagensystems</li> <li>- Bundesstraßen, die in steile Hänge eingeschnitten sind, sollten vor Hangrutschung geschützt werden</li> <li>- Bewusste Berücksichtigung von Verkehrsinfrastruktur bei der Planung von Retentionsmaßnahmen</li> </ul> <p style="text-align: center;"><span style="border: 1px solid black; background-color: #d4edda; padding: 2px;">L</span></p>		
<p><b>Hitzefahr abgeleitet</b> aus den Modellergebnissen für die Gefahrensimulation der Autobahnen</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Abgeleitete Zunahme der kombinierten Hitzefahr III A/B (T<sub>Luft</sub> &gt; 30 °C/32 °C und T<sub>Belag</sub> &gt; 46 °C) auf den Landesstraßenabschnitten im Südwesten der Metropolregion Stuttgart</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Analog zu Datenwissenschaftlichen Empfehlungen der Glättefahr</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Entwicklung und Einsatz von hitzeresistenten Belagsmaterialien</li> <li>- Einbringen von hitzetoleranter Vegetation im Randbereich der Straßen → Kühl- und Schatteneffekte</li> </ul> <p style="text-align: center;"><span style="border: 1px solid black; background-color: #d4edda; padding: 2px;">B</span> <span style="border: 1px solid black; background-color: #d4edda; padding: 2px;">L</span> <span style="border: 1px solid black; background-color: #d4edda; padding: 2px;">LK</span> <span style="border: 1px solid black; background-color: #d4edda; padding: 2px;">S</span> <span style="border: 1px solid black; background-color: #d4edda; padding: 2px;">K</span></p>		

Vulnerabilitäts-Spezifika der Landesstraßen	Handlungsbereiche und Zielgruppenspezifische Anpassungsempfehlungen			
Gefahrentypen und räumliche Struktur abgeleitet aus den Modellsimulationen (vgl. Kapitel 4.3)	Daten-wissenstechnisch	Technisch-baulich	Betrieblich-organisatorisch	Strukturell-planerisch
<p><b>Windgefahr abgeleitet</b> aus den Modellergebnissen für die Gefahrensimulation der Autobahnen</p> <p>- <i>Abgeleitete ausbleibende Extremwindereignisse</i> (in Modellsimulation), die Schäden an Infrastruktur bringen können für die <i>Landesstraßen in der Metropolregion Stuttgart</i></p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Besonderer Schutz von Brücken; besser: Konstruktion für hohe Windgeschwindigkeiten, denn 100-jährige Sturmereignisse können eintreten und sind datentechnisch-statistisch nicht berücksichtigt.</li> <li>- Beschilderung ausreichend verankern</li> </ul> <div style="text-align: center; margin-top: 10px;">  </div>		

Vulnerabilitäts-Spezifika der Landesstraßen	Handlungsbereiche und Zielgruppenspezifische Anpassungsempfehlungen			
Gefahrentypen und räumliche Struktur abgeleitet aus den Modellsimulationen (vgl. Kapitel 4.3)	Daten-wissenstechnisch	Technisch-baulich	Betrieblich-organisatorisch	Strukturell-planerisch
<b>Gefahren-übergreifend</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Forschungsprojekte zu spezifischen Infrastrukturtteilen und Wirkfolgen des Klimawandels</li> <li>- Aufbau eines Systems zur Schadens-/Ursachenerfassung an Landes- und Kreisstraßen</li> <li>- Verbesserung der Zugänglichkeit zu vorhandenen Risikodaten (3D-Modelle)</li> </ul> <p style="text-align: center;"></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Überprüfung der Notwendigkeit zur Verkürzung von Bauzyklen</li> </ul> <p style="text-align: center;"> </p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Evakuierungswege und Katastropheninfrastruktur verbessern</li> </ul> <p style="text-align: center;">    </p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Veränderungen im Turnus des Grünschnitts</li> </ul> <p style="text-align: center;"> </p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Stärkere Sensibilisierung der Bevölkerung für die Notwendigkeit einer dem Wetter angemessenen Fahrweise</li> <li>- Stärkere Sensibilisierung der Bevölkerung für die Grenzen der möglichen Vorsorge</li> <li>- Stärkere Sensibilisierung der Bevölkerung für Kosten-Nutzen-Aufwand bei der Risikovorsorge</li> </ul> <p style="text-align: center;"></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Aufbau von Redundanzen in Transportketten</li> </ul> <p style="text-align: center;"> </p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Asset Management zur transparenten, an Kriterien orientierten Priorisierung</li> <li>- Gezielte Aufstockung des Personals im Bereich strategische Verkehrsplanung</li> <li>- Berücksichtigung zukünftiger Kosten bei der Priorisierung von Maßnahmen</li> </ul> <p style="text-align: center;"></p>

*Zielgruppen:*

**A** Allgemein

**B** Bund

**L** Land

**R** Regionalverbände

**LK** Landkreise

**S** Stadtkreise/Große Kreisstädte

**K** Kleine Städte/Kommunen

Tabelle 19: Zielgruppen-spezifische Empfehlungen zur Anpassung der Kreis- und kommunalen Straßen an den Klimawandel. Eigene Darstellung.

Vulnerabilitäts-Spezifika der Kreis- und kommunalen Straßen	Handlungsbereiche und Zielgruppenspezifische Anpassungsempfehlungen			
Gefahrenarten und räumliche Struktur <sup>6</sup> abgeleitet aus den Modellsimulationen (vgl. Kapitel 4.3)	Daten-wissenstechnisch	Technisch-baulich	Betrieblich-organisatorisch	Strukturell-planerisch
<p><b>Glättegefahr abgeleitet</b> aus den Modellergebnissen für die Gefahrensimulation der Autobahnen</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Abgeleitete Abnahme der „gefrierenden Nässe“ in der Metropolregion Stuttgart</li> <li>- Abgeleitete Zunahme der Glättegefahren mit der Niederschlagsform „Regen“ (Typ 2A, 3A, 4A) in der Metropolregion Stuttgart</li> <li>- Abgeleitete Zunahme der Glättegefahr „Niederschlag als Schnee zusammen mit Raureif“ (4B), der Glättegefahr „Raureif mit geringer Sichtweite“ (5) und der Glättegefahr „Gefrierender Tau mit nachfolgendem Raureif“ (6) für Kreis- und kommunalen Straßen, die an die A6 und A7 in der Metropolregion Stuttgart angrenzen und in den östlichen Regionen der Metropolregion Stuttgart liegen.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Daten aus Messstationen auf Kreisstraßen helfen eine detaillierte regionale Analyse der Gefahren für Straßen zu schaffen</li> <li>- Vermehrt auch Messstationen auf den Kreisstraßen (auch innerorts) verbauen</li> <li>- Wie bei den Autobahnen: Digitale Aufzeichnung von klimatischen Gefahren</li> </ul> <div style="text-align: center;">  </div>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Anpassung des Winterdienstes an häufigere Glätteereignisse</li> </ul> <div style="text-align: center;">  </div>	

<sup>6</sup>Hier ist die Übertragbarkeit aufgrund der kleinräumig verlaufenden Kreisstraßen und den mikro-klimatischen Bedingungen als eine potenzielle Tendenz zu interpretieren.

Vulnerabilitäts-Spezifika der Kreis- und kommunalen Straßen	Handlungsbereiche und Zielgruppenspezifische Anpassungsempfehlungen			
Gefahrentypen und räumliche Struktur abgeleitet <sup>5</sup> aus den Modellsimulationen (vgl. Kapitel 4.3)	Daten-wissenstechnisch	Technisch-baulich	Betrieblich-organisatorisch	Strukturell-planerisch
<p><b>Starkregengefahr abgeleitet</b> aus den Modellergebnissen für die Gefahrensimulation der Autobahnen</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Zunahme der Starkregenereignisse mit 10-25 l/m<sup>2</sup> in 1h in der Metropolregion Stuttgart</li> <li>- Zunahme der „heftigen Starkregenereignisse“ auf der A7, im Norden der A81</li> <li>- Abnahme bzw. ausbleibende Ereignisse des „sehr heftigen Starkregens“ in der Metropolregion Stuttgart</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Insbesondere Landesstraßen, die in der Nähe von kleinen Bächen oder Flüssen liegen, sind bei Starkregenereignissen gefährdet. Erfassen der aus Anschwellen dieser Wasserkörper resultierenden Gefahren wäre für einen datenbasierten Ansatz wie in KLIMOPASS-AKLIM wichtig, zur Ableitung von Schwellenwerten für Straßenüberschwemmungen und Aquaplaning-Gefahr.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Anpassung des Drainagensystems</li> </ul>		
<p><b>Hitzegefahr abgeleitet</b> aus den Modellergebnissen für die Gefahrensimulation der Autobahnen</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Abgeleitete Zunahme der kombinierten Hitzegefahr III A/B (T<sub>Luft</sub> &gt; 30 °C/32 °C und T<sub>Belag</sub> &gt; 46 °C) auf den Kreisstraßenabschnitten im Südwesten der Metropolregion Stuttgart</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Analog zu Datenwissentechischen Empfehlungen der Glättegefahr</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Entwicklung und Einsatz von hitzeresistenten Belagsmaterialien</li> <li>- Einbringen von hitzetoleranter Vegetation im Randbereich der Straßen → Kühl- und Schatteneffekte</li> </ul>		

Vulnerabilitäts-Spezifika der Landesstraßen	Handlungsbereiche und Zielgruppenspezifische Anpassungsempfehlungen			
Gefahrentypen und räumliche Struktur abgeleitet aus den Modellsimulationen (vgl. Kapitel 4.3)	Daten-wissenstechnisch	Technisch-baulich	Betrieblich-organisatorisch	Strukturell-planerisch
<p><b>Windgefahr abgeleitet</b> aus den Modellergebnissen für die Gefahrensimulation der Autobahnen</p> <p>- <i>Abgeleitete ausbleibende Extremwindereignisse</i> (in Modellsimulation), die Schäden an Infrastruktur bringen können für die <i>Landesstraßen in der Metropolregion Stuttgart</i></p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Besonderer Schutz von Brücken; besser: Konstruktion für hohe Windgeschwindigkeiten, denn 100-jährige Sturmereignisse können eintreten und sind datentechnisch-statistisch nicht berücksichtigt.</li> <li>- Beschilderung auf Bundesstraßen ausreichend verankern, trotz Abnahmeszenarien bei Extremwinden, denn Einzelereignisse sind immer möglich.</li> </ul> <div style="text-align: center;">  </div>		

Vulnerabilitäts-Spezifika der Landesstraßen	Handlungsbereiche und Zielgruppenspezifische Anpassungsempfehlungen			
Gefahrenstypen und räumliche Struktur abgeleitet aus den Modellsimulationen (vgl. Kapitel 4.3)	Daten-wissenstechnisch	Technisch-baulich	Betrieblich-organisatorisch	Strukturell-planerisch
<b>Gefahren-übergreifend</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bereitstellung kurzer, knapper Informationsangebote zu klimatischen Datengrundlagen und Wirkfolgen</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Überprüfung der Notwendigkeit zur Verkürzung von Bauzyklen</li> </ul>  <ul style="list-style-type: none"> <li>- Evakuierungswege und Katastropheninfrastruktur verbessern</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Veränderungen im Turnus des Grünschnitts</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Stärkere Sensibilisierung der Bevölkerung für die Notwendigkeit einer dem Wetter angemessenen Fahrweise</li> <li>- Stärkere Sensibilisierung der Bevölkerung für die Grenzen der möglichen Vorsorge</li> <li>- Stärkere Sensibilisierung der Bevölkerung für Kosten-Nutzen-Aufwand bei der Risikovorsorge</li> </ul>  <ul style="list-style-type: none"> <li>- Gezielte Aufstockung des Personals im Bereich strategische Verkehrsplanung</li> </ul>  <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bereitstellung von Ressourcen für Koordination und strategische Beratung durch die Regionalverbände</li> </ul>  <ul style="list-style-type: none"> <li>- Berücksichtigung zukünftiger Kosten bei der Priorisierung von Maßnahmen</li> </ul> 

*Zielgruppen:*

**A** Allgemein

**B** Bund

**L** Land

**R** Regionalverbände

**LK** Landkreise

**S** Stadtkreise/Große Kreisstädte

**K** Kleine Städte/Kommunen

**Tabelle 20: Zielgruppen-spezifische Empfehlungen zur Anpassung der Schieneninfrastruktur an den Klimawandel. Eigene Darstellung.**

Vulnerabilitäts-Spezifika der Schieneninfrastruktur	Handlungsbereiche und Zielgruppenspezifische Anpassungsempfehlungen			
Gefahrentypen und räumliche Struktur resultierend aus den Modellsimulationen (vgl. Kapitel 4.3)	Daten-wissenstechnisch	Technisch-baulich	Betrieblich-organisatorisch	Strukturell-planerisch
Für die Schieneninfrastruktur ist eine Übertragbarkeit des Modellansatzes im Grundsatz möglich. Jedoch sind die Gefahrenmodellierung bzw. Übertragbarkeit des regionalen Auftretens nicht ohne zusätzliche Daten <sup>7</sup> aus dem Bereich der Schieneninfrastruktur möglich.				
<p><b>Resultierende Annahmen zur Glättegefahr</b>            In Hinblick auf die regionalen Struktur von Glättegefahr im Straßennetz, ist zu vermuten, dass das <i>Schienennetz in der östlichen Region der Metropolregion Stuttgart</i> auch potentielle von <i>Glätten</i> gefährdet sein wird.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Daten aus dem Bereich der Schieneninfrastruktur zugänglich machen</li> <li>- Aufzeichnungen zu Störungen durch klimatische Gefahren zugänglich machen</li> </ul>			

<sup>7</sup> Daten über die Temperatur der Schienen sind nicht für wissenschaftliche Modellierung zugänglich.

Vulnerabilitäts-Spezifika der Schieneninfrastruktur	Handlungsbereiche und Zielgruppenspezifische Anpassungsempfehlungen			
Gefahrenarten und räumliche Struktur resultierend aus den Modellsimulationen (vgl. Kapitel 4.3)	Daten-wissenstechnisch	Technisch-baulich	Betrieblich-organisatorisch	Strukturell-planerisch
<p><b>Resultierende Annahmen zur Starkregengefahr</b>            In Hinblick auf die regionale Struktur von Starkregenereignissen im Straßennetz, ist zu vermuten, dass das Schienennetz auch in Hinblick auf Starkregenereignisse gefährdet sein wird. Zur räumlichen Differenzierung von „heftigen“ und „sehr heftigen“ Starkregenereignissen kann keine Aussage vorgenommen werden.</p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Erhöhen der Schienen durch Aufschüttung (Maßnahmen, falls Schienen in der Nähe von kleinen Bächen und Flüssen liegen, die bei Starkregenereignissen anschwellen können)</li> <li>- Schutz von Tunneln vor Überschwemmungen evtl. zusätzliche Abpumphilfen</li> <li>- Schienen, die entlang steiler Hängen verlaufen, sollten vor Hangrutschung geschützt werden</li> </ul>		
<p><b>Resultierende Annahmen zur Hitzegefahr</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Schwellenwerte, ab wann eine Schiene vulnerable für Hitze erscheint, sind in den USA verfügbar (vgl. Kapitel 4.1)</li> <li>- Die Hitzegefahr II mit Lufttemperaturen über 32° C ist in der ganzen Metropolregion Stuttgart (an allen Stationen auf der Autobahn) ein Gefahrenereignis. Hierzu ist ebenfalls zu erwarten, dass die Hitzegefahr II eine potentielle Gefahr für die Schienennetze in der Metropolregion Stuttgart sein wird.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vermehrtes Nutzen von durchgehend verschweißten Schienengleisen</li> </ul>		

Vulnerabilitäts-Spezifika der Schieneninfrastruktur	Handlungsbereiche und Zielgruppenspezifische Anpassungsempfehlungen			
Gefahrentypen und räumliche Struktur resultierend aus den Modellsimulationen (vgl. Kapitel 4.3)	Daten-wissenstechnisch	Technisch-baulich	Betrieblich-organisatorisch	Strukturell-planerisch
<b>Resultierende Annahmen zur Windgefahr</b> Zur räumlichen Differenzierung von „Windgefahrenereignissen“ können keine Aussagen vorgenommen werden.				
<b>Gefahren-übergreifend</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bereitstellung kurzer, knapper Informations-angebote zu klimatischer Datengrundlagen und Wirkfolgen</li> </ul> <div style="text-align: center;">  </div>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Überprüfung der Notwendigkeit zur Verkürzung von Bauzyklen</li> </ul> <div style="text-align: center;">  </div> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Evakuierungswege und Katastropheninfrastruktur verbessern</li> </ul> <div style="text-align: center;">  </div>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Veränderungen im Turnus des Grünschnitts</li> </ul> <div style="text-align: center;">  </div>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gezielte Aufstockung des Personals im Bereich strategische Verkehrsplanung</li> <li>- Berücksichtigung zukünftiger Kosten bei der Priorisierung von Maßnahmen</li> </ul> <div style="text-align: center;">  </div> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Berücksichtigung von Anpassungsanforderungen bei der Vergabe von Verkehrsdienstleistungen</li> </ul> <div style="text-align: center;">  </div>

*Zielgruppen:*

**A** Allgemein

**B** Bund

**L** Land

**R** Regionalverbände

**LK** Landkreise

**S** Stadtkreise/Große Kreisstädte

**K** Kleine Städte/Kommunen

## 6 Fazit und Ausblick

Das Projekt KLIMOPASS-AKLIM hat das Ziel, modellhafte Anpassungsstrategien an den Klimawandel für wichtige Infrastrukturen in einem Teilraum Baden-Württembergs exemplarisch aufzuzeigen. Dabei ergaben sich datentechnische und methodische Probleme. Zunächst machten es erhebliche Datenrestriktionen erforderlich, sich auf die Straßeninfrastruktur zu beschränken, da aus unterschiedlichen Gründen oder mit unterschiedlichen Begründungen erforderliche Daten nicht zur Verfügung gestellt wurden oder werden konnten. Ferner tauchten methodische Probleme auf, wodurch ein eigener Ansatz zur Lösung der Prognoseaufgabe entwickelt werden musste. Das Problem der Datenverfügbarkeit konnte das Forschungsprojekt nicht lösen, das Problem der Methodik hingegen schon.

Als Untersuchungsgebiet wurde aus modellierungstechnischen Gründen die Fläche der Metropolregion Stuttgart gewählt.

Klimaanpassung ist einerseits eine technische Aufgabe, andererseits eine Herausforderung an die Verwaltung und damit an Menschen, welche Entscheidungen – meist Priorisierungen – treffen müssen. Dazu sind Voraussetzungen wie Informationen, Problembewusstsein und Kompetenzen erforderlich, auch bei Entscheidungsträgern, die nicht mit den technischen Aufgaben betraut sind. Im Bereich der Klimawandel-Anpassung galt es also zunächst zu ermitteln, wer diese sind, sowie, in welchem Maße diese Voraussetzungen bei ihnen gegeben sind. Wenn sich dort Probleme zeigen, seien sie kommunikativer oder organisationaler Art – sind diese als Barrieren einer Anpassung an den Klimawandel zu interpretieren, zu deren Überwindung Vorschläge zu machen sind.

So besteht das Projekt aus sehr unterschiedlichen Teilen, die mit verschiedenen Methoden arbeiten und dennoch zusammengeführt werden mussten. Dazu wurde innerhalb des Projektes ein interdisziplinärer Modellansatz entwickelt. Einerseits wurden potentielle klimatische Gefahren für Autobahnen bzw. das Straßennetz in der Metropolregion Stuttgart durch den Klimawandel in einem mathematischen Ansatz abgeleitet. Zum anderen zeigte sich im sozialwissenschaftlichen Teil, dass die Notwendigkeit zur Anpassung der Verkehrsinfrastruktur an den Klimawandel bislang aufgrund einer Reihe von Barrieren vor allem im Bereich der querschnittorientierten Planung und Koordination weder erkannt wurde, noch in ausreichendem Maße Informationen und Konzepte für diese Anpassung vorliegen. So ergeben sich in den ersten Projektphasen für den raumplanerisch-organisatorischen Teil drei methodische Herausforderungen. Erstens bestehen nur wenige Überschneidungen zwischen den Akteuren, die mit Verkehrsinfrastruktur einerseits und mit Klimawandel-Anpassung andererseits befasst sind. Zweitens liegt auch innerhalb dieser beiden Bereiche ein hohes Maß an Fragmentierung von Zuständigkeiten und Verantwortlichkeiten vor. Drittens ist das Thema Klimawandel-Anpassung auch unabhängig von der sektoralen Zuständigkeit bislang nur in wenigen Verwaltungen bekannt und wenn, dann mit einem hohen Maß an Unsicherheit behaftet.

In der Folge mussten ursprünglich stärker quantitativ vorgesehene Forschungsteile methodisch umgebaut und das Forschungsdesign stärker qualitativ ausgerichtet werden (vgl. Kapitel 4.2). Als Konsequenz aus einem qualitativen Ansatz ergibt sich eine eingeschränkte Verallgemeinerbarkeit der Ergebnisse des planerisch-organisatorischen Teils. Diese kann auch durch den deskriptiv-quantitativen Erhebungsteil nur begrenzt hergestellt werden. Dennoch war es möglich, im Rahmen dieser kombi-

nierten Analyse erstens potentielle Barrieren und Anreize zu identifizieren und zweitens den Status Quo in Bezug auf die Umsetzung von Klimaanpassungsmaßnahmen in der Forschungsregion – und teilweise darüber hinaus – darzustellen. Dabei wurde deutlich, dass die im Themenbereich Klimaschutz bestehenden Strukturen dazu beitragen können das Thema in die Verwaltungen zu bringen.

Sowohl räumlich als auch inhaltlich ist mit Abschluss des Projekts deutlicher, wo die nächsten Schritte sinnvoll ansetzen können. Kleine und mittlere Kommunen benötigen Unterstützung bei ihrer strategischen Anpassungsplanung im Zuge ohnehin fälliger Investitionsmaßnahmen aufgrund notwendiger Sanierungsmaßnahmen. Das Thema Anpassung braucht eine Bündelung bereits stattfindender, inhaltlich relevanter Maßnahmen, Verbindlichkeit durch Zuständigkeiten sowie zwingend die Unterfütterung mit einer besseren Informationsgrundlage. Ein erster Schritt in diese Richtung ist durch die in diesem Bericht stehenden, spezifischen Empfehlungen für einzelne Zielgruppen gemacht. Da diese jedoch aufgrund der vorhandenen Datenlage in manchen Punkten allgemein bleiben müssen, zeigt dieser Projektbericht auch auf, wie zukünftig eine bessere Informationsgrundlage erreicht werden kann.

Mit den genutzten Klimadaten der Modellierung mit dem Regionalmodell COSMO-CLM und den vorliegenden Messwerten der Glättemeldeanlagen aus der Vergangenheit wurden die verschiedenen Gefahren für die Straßeninfrastruktur für die Zukunft berechnet. Dabei ergibt sich eine teilweise regionale Differenzierung der potentiellen einzelnen Gefahrentypen (vgl. Kapitel 4.3). Das Auftreten und Änderungssignal dieser Gefahrentypen zwischen dem Referenzzeitraum 1971 bis 2000 und der nahen Zukunft von 2021 bis 2050 wird als potentiell mögliches Auftreten bzw. Änderungssignal interpretiert, woraus Anpassungsmaßnahmen abzuleiten sind. Die aus der Modellsimulation für Autobahnen abgeleiteten Gefahren und deren Übertragbarkeit auf Bundesstraßen, Landesstraßen, kommunale und Kreisstraßen sowie die Schieneninfrastruktur sind datentechnisch bisher nicht modellierbar und somit nicht möglich. Die Ableitung ergibt sich lediglich anhand einer impliziten Schlussfolgerung und sollte auch als diese behandelt und verstanden werden.

Diese Ergebnisinterpretation folgt aufgrund der Annahmen in der Modellierung, der Datenverfügbarkeit und somit den genutzten Daten sowie den großen Datenlücken vor allem im Bereich der Glättemeldeanlagen. Trotz entstandener Unsicherheiten bei der Modellierung bietet dieser Modellansatz ein Werkzeug, das

- a) potentielle Gefahren in der Vergangenheit und Zukunft generieren und ableiten kann,
- b) die potentiellen Gefahren zwischen zwei Zeiträumen betrachten und Aussagen über das Änderungssignal geben kann,
- c) durch geringfügige Anpassungen in den einzelnen Modellierungsschritten an verschiedene Datengrundlagen und andere Infrastrukturen sowie andere Regionen anzupassen ist, sofern die einzelnen Gefahrentypen zu definieren sind, und
- d) u.U. an Ergebnisse aus weiteren Modellansätzen angekoppelt werden kann.

Verbessert und aussagekräftiger wird der Modellierungsansatz durch kleinräumigere Klimadaten und vor allem durch lückenlosere Aufzeichnung der Belagstemperaturen mit Glättemeldeanlagen. Insbesondere die Wartung in Form eines konstanten Monitorings dieser Anlagen ist eine zentrale Empfehlung, die sich im Rahmen von KLIMOPASS-AKLIM ergeben hat. Mit verbesserten Daten könnten sicherere Prognosen erstellt sowie eine aussagekräftigere Grundlagenforschung im Bereich der Gefahrenanalyse betrieben werden. Die räumliche Anordnung und Verbauung von Glättemeldeanlagen zur Aufzeichnung von Belagstemperaturen auf Autobahnen, Bundesstraßen und Landesstraßen sollte gefahrentypenspezifisch ergänzt werden. Durch den in KLIMOPASS-AKLIM entwickelten

Ansatz könnten noch zuverlässigere Aussagen über regionale Auswirkungen des Klimawandels in Form von Gefahrenereignissen im Straßennetz erarbeitet werden. Zudem können mit Daten von Bundesstraßen, Landesstraßen, kommunalen und Kreisstraßen und dem Schienennetz Gefahrenmodellierungen spezifisch für diese Infrastrukturen gerechnet werden. Diese individuelle Modellierung potentieller Gefahrenereignisse würde gezieltere und zuverlässigere Aussagen über die Gefahren auf den einzelnen Infrastrukturen möglich machen. Das vorgestellte Modell ermöglicht diese operationelle Anwendung. Es stellt ein Tool zur Verfügung, welches am konkreten Beispiel getestet wurde und im Zuge besser werdender Datenlage schrittweise ausgebaut und zur Einschätzung der Wirkungen des Klimawandels auf weitere Infrastrukturkomponenten verwendet werden kann.

# Anhang

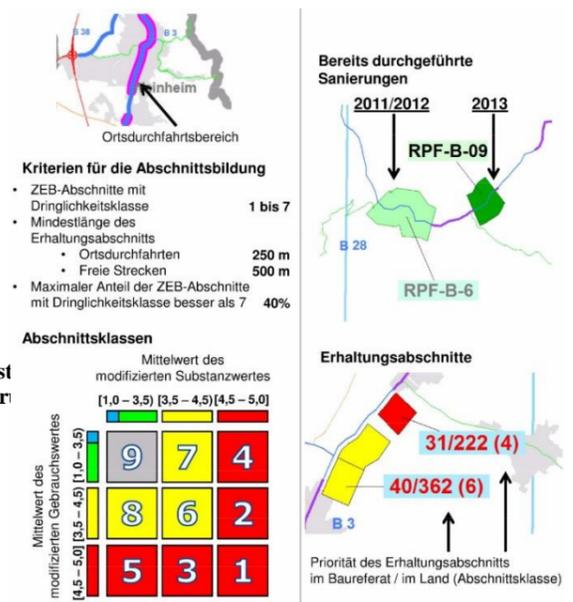
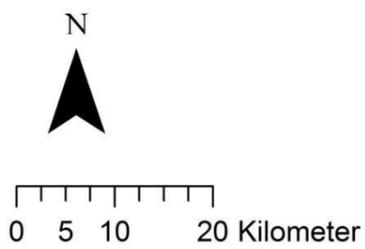
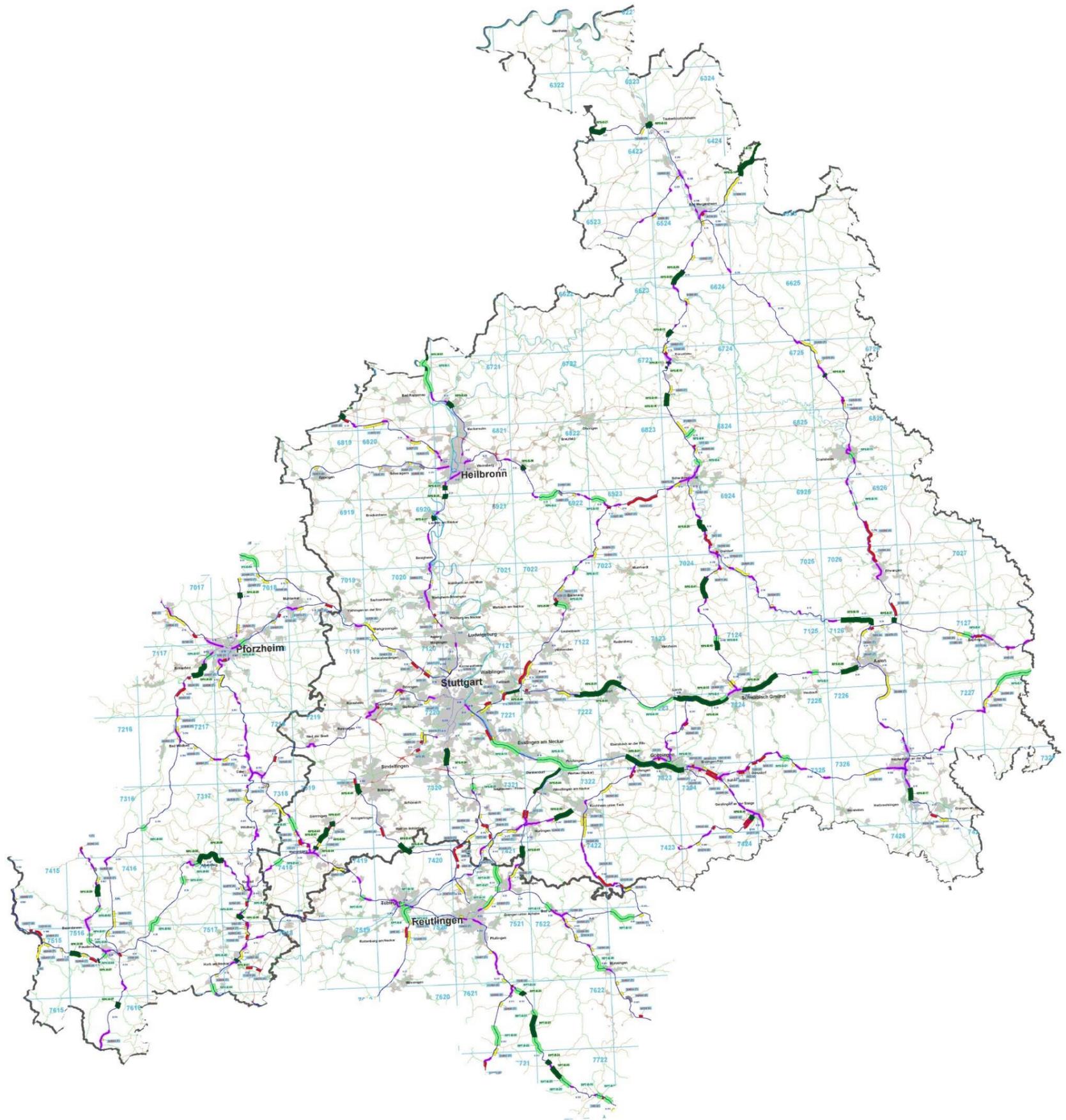


Abbildung 23: Erhaltungsmanagement für 2014 auf Grundlage der Zustandserfassung und -bewertung 2011 auf Bundesstreckennetz  
Veränderter Ausschnitt Region Stuttgart nach Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg – Regier

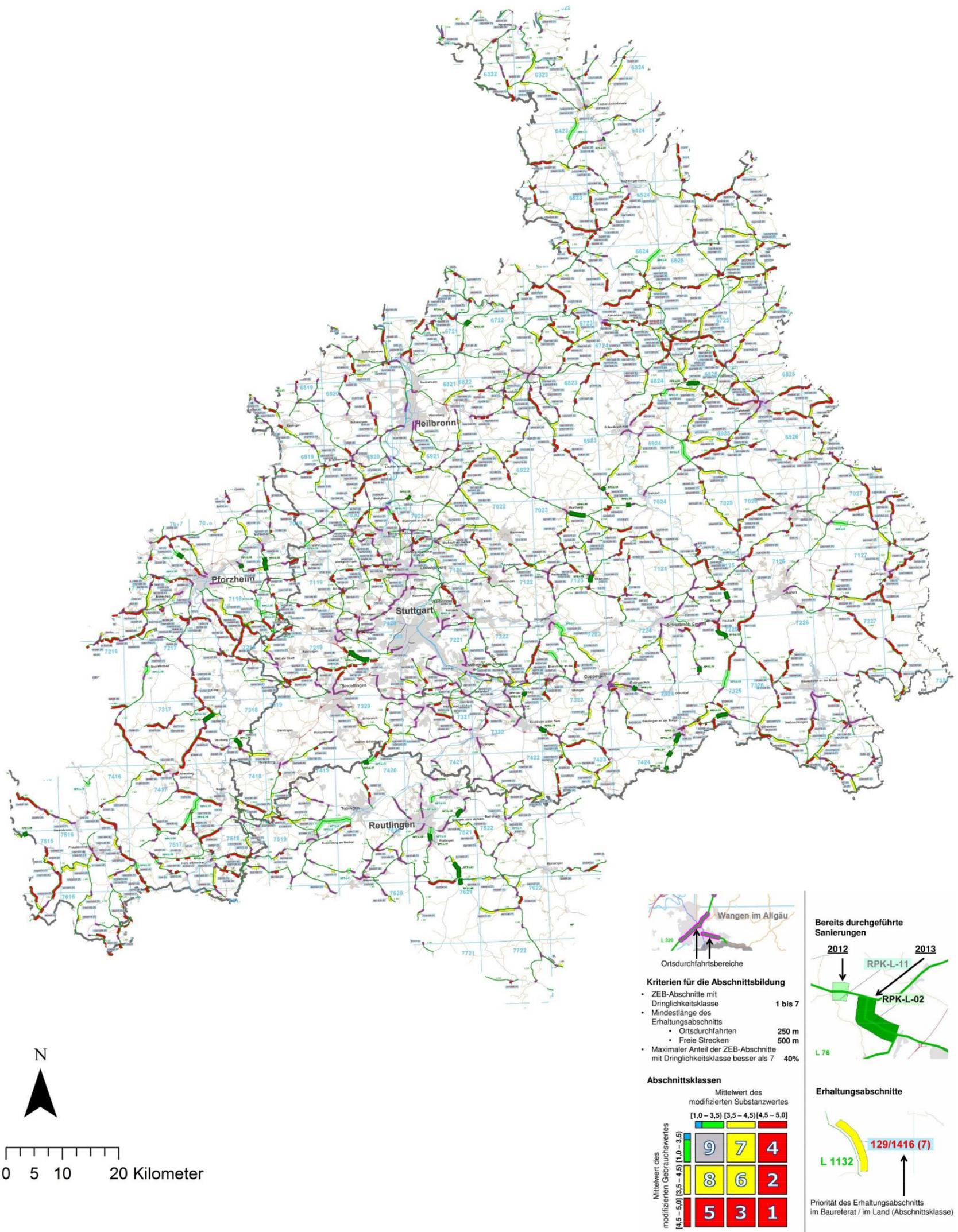


Abbildung 24: Erhaltungsmanagement für 2014 auf Grundlage der Zustandserfassung und -bewertung 2012 auf Landesstraßen. Veränderter Ausschnitt Region Stuttgart nach Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg – Regierungspräsidium Tübingen

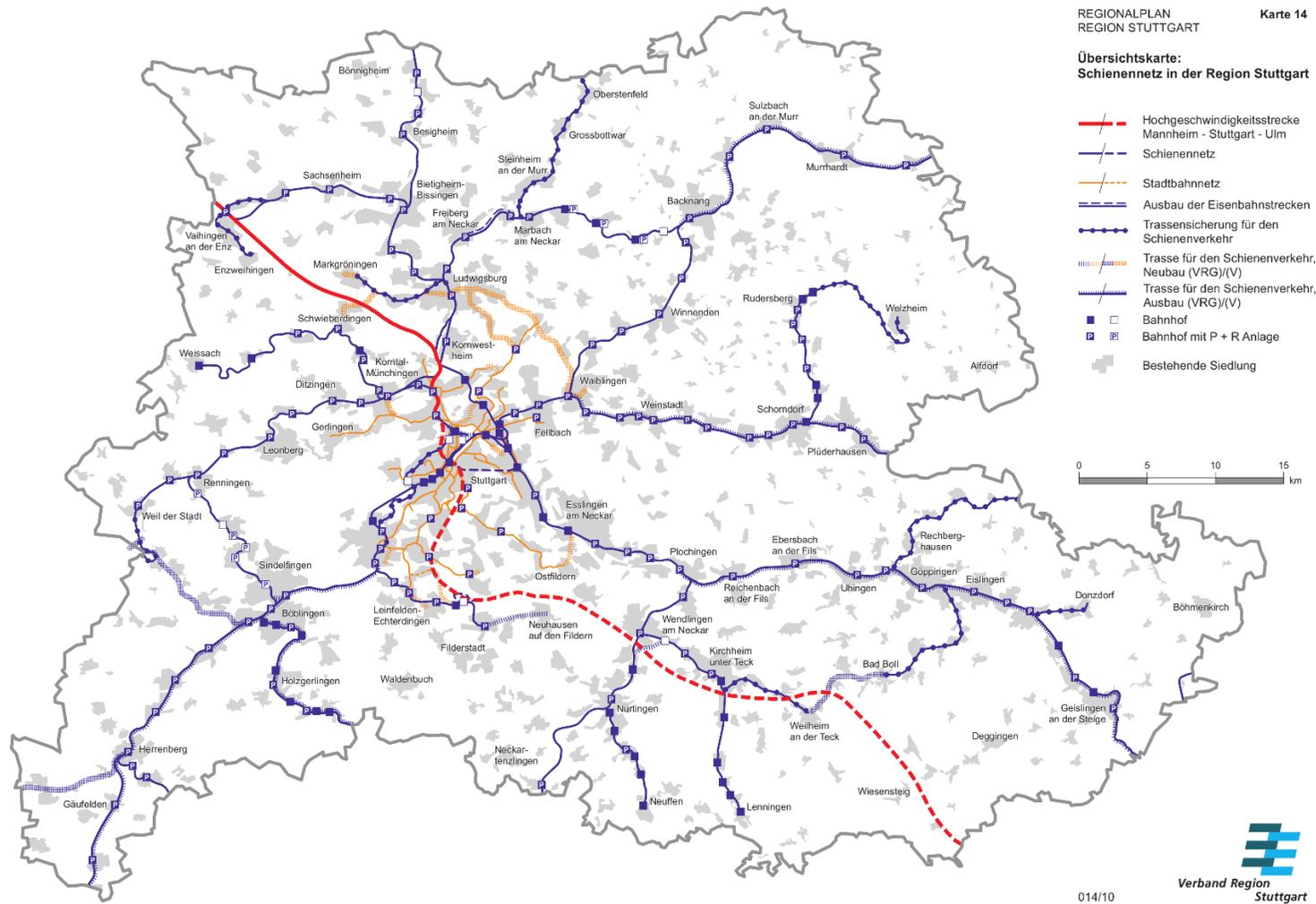


Abbildung 25: Übersichtskarte: Schienennetz in der Region Stuttgart. Aus: Regionalplan für die Region Stuttgart (Verband Region Stuttgart 2009), Karte 14

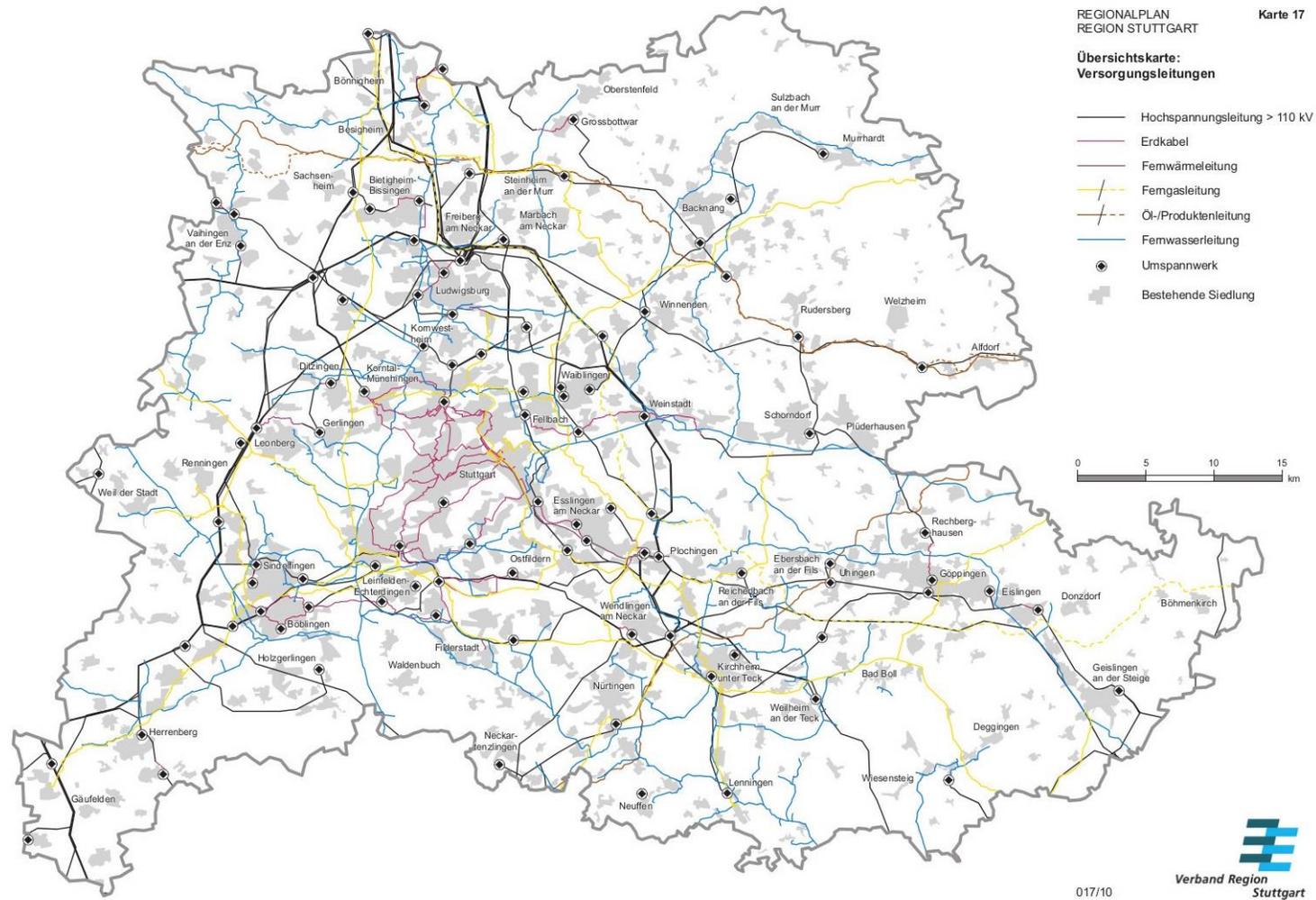


Abbildung 26: Übersichtskarte: Versorgungsleitungen in der Verband Region Stuttgart. Anmerkung aus Verband Region Stuttgart (2009). Aus: Regionalplan für die Region Stuttgart (Verband Region Stuttgart 2009, Hrsg.), Karte

# Literaturverzeichnis

- Andrey, J., Mills, B., Leahy, M. & Suggett, J. (2003). Weather as a Chronic Hazard for Road Transportation in Canadian Cities. *Natural Hazards*, 28 (2-3), 319–343. Verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1023/A%3A1022934225431>
- Atzl, A. & Keller, S. (2013). A systemic approach for the analysis of infrastructure-specific social vulnerability. In S. L. Cutter & C. Corendea (Hrsg.), *From Social Vulnerability to Resilience: Measuring Progress toward Disaster Risk Reduction* (UNU-SOURCE, 17/2013, S. 27–43). Bonn: UNU-EHS. Verfügbar unter <http://www.ehs.unu.edu/file/get/11051.pdf>
- Atzl, A., Lerch, J., Luxen, J., Urban, B. & Lackner, C. (2012). *Synopse zu ausgewählten Gefahrenberichten aus Deutschland, Europa und international. Eine Analyse im Rahmen des 4. Gefahrenberichts der Schutzkommission beim Bundesministerium des Innern* (Schriften der Schutzkommission, Bd. 5). Bonn: Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe. Verfügbar unter [http://www.schutzkommission.de/SharedDocs/Downloads/SK/DE/Publikationen/Band5\\_SchriftenSK.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](http://www.schutzkommission.de/SharedDocs/Downloads/SK/DE/Publikationen/Band5_SchriftenSK.pdf?__blob=publicationFile)
- Auerbach, M., Hermann, C. & Krieger, B. (2014). *Klimawandel und Straßenverkehrsinfrastruktur*. Verfügbar unter <http://www.vsvi-hessen.de/download/20140122/vsvi20140122auerbach.pdf>
- Bohnsack, R. (2014): *Rekonstruktive Sozialforschung. Einführung in qualitative Methoden*. 9. Aufl. Opladen und Toronto
- Becker, E., Jahn, T. & Hummel, D. (2006). 3.1 Gesellschaftliche Naturverhältnisse. In E. Becker & T. Jahn (Hrsg.), *Soziale Ökologie. Grundzüge einer Wissenschaft von den gesellschaftlichen Naturverhältnissen* (S. 174–197). Frankfurt/New York: Campus Verlag.
- Bundesministerium der Finanzen. (1998). AfA-Tabelle für den Wirtschaftszweig "Personen- und Güterbeförderung (im Straßen- und Schienenverkehr)". Verfügbar unter [http://www.bundesfinanzministerium.de/Content/DE/Standardartikel/Themen/Steuern/Weitere\\_Steuertemen/Betriebspruefung/AfA-Tabellen/1998-01-26-afa-99.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=1](http://www.bundesfinanzministerium.de/Content/DE/Standardartikel/Themen/Steuern/Weitere_Steuertemen/Betriebspruefung/AfA-Tabellen/1998-01-26-afa-99.pdf?__blob=publicationFile&v=1)
- Bundesministerium des Innern. (2005). *Schutz Kritischer Infrastrukturen - Basisschutzkonzept. Empfehlungen für Unternehmen*. Berlin: Bundesministerium des Innern. Zugriff am 19.09.2012. Verfügbar unter [http://www.bmi.bund.de/cae/servlet/contentblob/131040/publicationFile/13132/Basisschutzkonzept\\\_kritische\\\_Infrastrukturen.pdf](http://www.bmi.bund.de/cae/servlet/contentblob/131040/publicationFile/13132/Basisschutzkonzept\_kritische\_Infrastrukturen.pdf)
- Bundesministerium des Innern. (2009). *Nationale Strategie zum Schutz Kritischer Infrastrukturen (KRITIS-Strategie)* (Bundesministerium des Innern, Hrsg.). Berlin: Bundesministerium des Innern. Zugriff am 22.07.2014. Verfügbar unter <http://www.bmi.bund.de/cae/servlet/contentblob/544770/publicationFile/27031/kritis.pdf>
- Bundesministerium für Verkehr, B. u. S. (2012). *Verkehrsinvestitionsbericht für das Berichtsjahr 2012. Teil B Schienenwege der Eisenbahnen des Bundes* (Bundesministerium für Verkehr, B. u. S., Hrsg.)
- Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. (2012). „ *Verkehrsverflechtungsprognose 2030 sowie Netzumlegung auf die Verkehrsträger “ Erstellung einer regionalisierten Strukturdatenprognose (Los 1). Abschlussbericht* (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BVBI), Hrsg.), Hamburg & Dresden.
- Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen. (2003). *Bundesverkehrswegeplan 2003. BVWP*. Verfügbar unter [http://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/VerkehrUndMobilitaet/Schiene/2003/bundesverkehrswege-plan-2003-beschluss-der-bundesregierung-vom-02-juli-2003.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](http://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/VerkehrUndMobilitaet/Schiene/2003/bundesverkehrswege-plan-2003-beschluss-der-bundesregierung-vom-02-juli-2003.pdf?__blob=publicationFile)
- Bundesregierung. (2011). *Aktionsplan Anpassung der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel*. Verfügbar unter

- [http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/aktionsplan\\_anpassung\\_klimawandel\\_bf.pdf](http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/aktionsplan_anpassung_klimawandel_bf.pdf)
- Burton, I., Kates, R. W. & White, G. F. (1993). *The environment as hazard* (2. Aufl.). New York: Guilford Press.
- Crevier, L.-P. & Delage, Y. (2001). METRO: A New Model for Road-Condition Forecasting in Canada. *Journal of Applied Meteorology*, 40 (11), 2026–2037.
- Dalziell, E. & Nicholson, A. (2001). Risk and Impact of Natural Hazards on a Road Network. *Journal of Transportation Engineering*, 127 (2), 159–166.
- DB Netze. (2013). *Infrastrukturentwicklung & -verfügbarkeit Region Stuttgart*, Stuttgart. Verfügbar unter [http://www.region-stuttgart.org/fileadmin/regionstuttgart/03\\_Aufgaben\\_und\\_Projekte/03\\_04\\_Nahverkehr/03\\_04\\_01\\_S\\_Bahn/S-Bahn-VA/04\\_131009\\_DB\\_Netz\\_Infrastruktur.pdf](http://www.region-stuttgart.org/fileadmin/regionstuttgart/03_Aufgaben_und_Projekte/03_04_Nahverkehr/03_04_01_S_Bahn/S-Bahn-VA/04_131009_DB_Netz_Infrastruktur.pdf)
- Deutsche Bahn AG. (2013). *Leistungs- und Finanzierungsvereinbarung. Infrastrukturzustands- und -entwicklungsbericht 2013*, Berlin. Verfügbar unter [http://www.eba.bund.de/SharedDocs/Publikationen/DE/Finanzierung/IZB/IZB\\_2013.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=5](http://www.eba.bund.de/SharedDocs/Publikationen/DE/Finanzierung/IZB/IZB_2013.pdf?__blob=publicationFile&v=5)
- Deutsche Bundesregierung. (2008). *Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel* (Die Deutsche Bundesregierung, Hrsg.). Verfügbar unter [http://www.bmub.bund.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/das\\_gesamt\\_bf.pdf](http://www.bmub.bund.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/das_gesamt_bf.pdf)
- Deutscher Wetterdienst (DWD) a, Hrsg. *Warnkriterien für Unwetterwarnungen des DWD*. Verfügbar unter <http://www.wettergefahren.de/warnungen/unwetterkriterien.html>
- Deutscher Wetterdienst (DWD) b, Hrsg. *Warnungen - Windwarnskala*. Verfügbar unter <http://www.wettergefahren.de/warnungen/windwarnskala.html>
- Deutscher Wetterdienst (DWD) c. *Deutscher Klimaatlas*. Allgemein - Erläuterungen. Verfügbar unter [http://www.dwd.de/sid\\_p1SxJGQLQWVPpCwmzyRtpNIDnWy79tMSHSDcrgyLnFGk1Y2nKyLT!-1296595954!91321253!1418121419729/bvbw/appmanager/bvbw/dwdwwwDesktop?\\_nfpb=true&\\_pageLabel=P30200537501343712813218&T183001737501343714049653gsbDocumentPath=Navigati-on%2FOeffentlichkeit%2FKlima\\_\\_Umwelt%2FKlimaatlas%2FErl\\_\\_Allgemein%2Ferlaeuterungen\\_\\_dargestelltegroessen\\_\\_node.html%3F\\_\\_nnn%3Dtrue](http://www.dwd.de/sid_p1SxJGQLQWVPpCwmzyRtpNIDnWy79tMSHSDcrgyLnFGk1Y2nKyLT!-1296595954!91321253!1418121419729/bvbw/appmanager/bvbw/dwdwwwDesktop?_nfpb=true&_pageLabel=P30200537501343712813218&T183001737501343714049653gsbDocumentPath=Navigati-on%2FOeffentlichkeit%2FKlima__Umwelt%2FKlimaatlas%2FErl__Allgemein%2Ferlaeuterungen__dargestelltegroessen__node.html%3F__nnn%3Dtrue) Deutscher Wetterdienst (DWD). (2014). *GMA Daten Baden-Württemberg*. Datensatz.
- ESRI. (2005). *Data and Maps Dataset*. Datensatz.
- European Commission. (2005). Green Paper on a European Programme for Critical Infrastructure Protection. COM(2005) 576 final. Verfügbar unter [http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/en/com/2005/com2005\\_0576en01.pdf](http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/en/com/2005/com2005_0576en01.pdf)
- European Commission. (2008). Council Directive 2008/114/EC of 8 December 2008 on the identification and designation of European critical infrastructures and the assessment of the need to improve their protection. *Official Journal of the European Union* (L 345), 75–82. Verfügbar unter <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:345:0075:0082:EN:PDF>
- Eurostat. (2001). *Regional typologies: a compilation* (European Union Regional Policy, 01/2011). Brüssel. Verfügbar unter [http://ec.europa.eu/regional\\_policy/sources/docgener/focus/2011\\_01\\_typologies.pdf](http://ec.europa.eu/regional_policy/sources/docgener/focus/2011_01_typologies.pdf)
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen. (2012). *Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen: RStO 12*. Köln.

- Gares, P. A., Sherman, D. J. & Nordstrom, K. F. (1994). Geomorphology and natural hazards. *Geomorphology*, 10 (1–4), 1–18. Verfügbar unter <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0169555X94900043>
- Gläser, J. & Laudel, G. (2009). *Experteninterviews und qualitative Inhaltsanalyse. als Instrumente rekonstruierender Untersuchungen*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften/GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden.
- Heller Ingenieurgesellschaft mbH. (2013a). *Erhaltungsmanagement für 2014. auf Grundlage der Zustandserfassung und -bewertung 2011 auf Bundesstraßen*: Ministerium für Verkehr und Infrastruktur, Regierungspräsidium Tübingen - Landesstelle für Straßentechnik.
- Heller Ingenieurgesellschaft mbH. (2013b). *Erhaltungsmanagement für 2014. auf Grundlage der Zustandserfassung und -bewertung 2012 auf Landesstraßen*: Ministerium für Verkehr und Infrastruktur, Regierungspräsidium Tübingen - Landesstelle für Straßentechnik.
- Helmholtz Gemeinschaft Regionale Klimabüros (Helmholtz Gemeinschaft Regionale Klimabüros, Hrsg.). *Regionaler Klimaatlas Deutschland. Heiße Tage*. Verfügbar unter <http://www.regionaler-klimaatlas.de/glossar/h.html>
- Heymann, E. (2007). *Klimawandel und Branchen: Manche mögen's heiß!* (Deutsche Bank Research, Hrsg.).
- Hoffmann, E. & Rotter, M. *Arbeitspapier zur Vorbereitung des Stakeholderdialogs zu Chancen und Risiken des Klimawandels - Verkehrsinfrastruktur* (Dialog zur Klimaanpassung: Verkehrsinfrastruktur). Zugriff am 13.06.2014.
- Institut für Meteorologie und Klimatologie (IMK). (2014a). *Klimadaten Referenzzeitraum 1971 bis 2000*. COMOS Daten angetrieben mit ECHAM 6/MPIOM. Datensatz
- Institut für Meteorologie und Klimatologie (IMK). (2014b). *Klimadaten Zukunftszeitraum 2021 bis 2050*. COSMO Daten angetrieben mit ECHAM 6/MPIOM. Datensatz.
- Institut für Meteorologie und Klimatologie (IMK) (2014c). *Klimadaten Zeitraum 2000 bis 2010*. ERA Reanalysedaten. Datensatz.
- Intraplan Consult. (2014). *Verkehrsverflechtungsprognose 2030 - Abschlussbericht - Los 3*. Verfügbar unter <http://www.verkehrsrundschau.de/sixcms/media.php/4513/verkehrsverflechtungsprognose-2030-schlussbericht-los-3.pdf>
- Jacobs, W. & Raatz, W. E. (1996). Forecasting road-surface temperatures for different site characteristics. *Meteorological Applications*, 3 (3), 243–256.
- Jaroszweski, D. (University of Birmingham Research Archive, Hrsg.). (2010). *Climate Change and Road Freight Safety: Impacts and Opportunities*.
- Keller, S. (2015). *Datenbasierte Analyse und Modellbildung zur Abschätzung spezifischer Gefahren des Klimawandels für Straßen. Methodik und Szenarien*. Verfügbar unter <http://digbib.ubka.uni-karlsruhe.de/volltexte/1000048624>
- Keller, S. & Atzl, A. (2014). Mapping Natural Hazard Impacts on Road Infrastructure—The Extreme Precipitation in Baden-Württemberg, Germany, June 2013. *International Journal of Disaster Risk Science*, 5 (3), 227–241. Verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/s13753-014-0026-1>
- Kieser, A. & Walgenbach, P. (2003). *Organisation* (4. Aufl.). Stuttgart: Schäffer-Poeschel. Verfügbar unter <http://www.worldcat.org/oclc/57219559>
- Koetse, M. J. & Rietveld, P. (2009). The impact of climate change and weather on transport: An overview of empirical findings. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 14 (3), 205–221.
- Kommission "Nachhaltige Verkehrsinfrastrukturfinanzierung". (2013). *Konzeptdokument*. Zugriff am 22.07.2014. Verfügbar unter [http://www.bundesrat.de/VMK/DE/termine/sitzungen/13-10-02-sonder-vmk/13-10-02-kommission-nachhaltige-vif-konzeptdokument-anlage-2.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=1](http://www.bundesrat.de/VMK/DE/termine/sitzungen/13-10-02-sonder-vmk/13-10-02-kommission-nachhaltige-vif-konzeptdokument-anlage-2.pdf?__blob=publicationFile&v=1)

- Land Baden-Württemberg, Verband Region Stuttgart, Landeshauptstadt Stuttgart & Verbundlandkreise in der Region Stuttgart. (2014). *Nachhaltig mobil: Für einen zukunftsorientierten ÖPNV in der Region Stuttgart. Gemeinsame Erklärung der ÖPNV-Partner*, Stuttgart. Verfügbar unter [http://mvi.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-mvi/intern/dateien/PDF/PM\\_Anhang/14\\_02\\_13\\_%C3%96PNV\\_in\\_der\\_Region\\_Stuttgart.pdf](http://mvi.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-mvi/intern/dateien/PDF/PM_Anhang/14_02_13_%C3%96PNV_in_der_Region_Stuttgart.pdf)
- Landesregierung Baden-Württemberg. (2014). Integriertes Energie- und Klimaschutzkonzept Baden-Württemberg (IEKK). IEKK. Verfügbar unter [https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/4\\_Klima/Klimaschutz/IEKK/IEKK\\_Beschlussfassung\\_15\\_Juli\\_2014.pdf](https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/4_Klima/Klimaschutz/IEKK/IEKK_Beschlussfassung_15_Juli_2014.pdf)
- Lenz, S. (2009). *Vulnerabilität Kritischer Infrastrukturen* (Forschung im Bevölkerungsschutz, Bd. 4). Bonn: Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe. Zugriff am 19.09.2012. Verfügbar unter [http://www.schutzkommission.de/SubSites/SK/DE/Publikationen/Zivilschutzforschung/Forschung-im-Bevoelkerungsschutz/DownloadsFiB/Band-4\\_Neu.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](http://www.schutzkommission.de/SubSites/SK/DE/Publikationen/Zivilschutzforschung/Forschung-im-Bevoelkerungsschutz/DownloadsFiB/Band-4_Neu.pdf?__blob=publicationFile)
- Massey, D. (1999). Space-Time, 'Science' and the Relationship between Physical Geography and Human Geography. *Transactions of the Institute of British Geographers*, 24 (3), 261–276. Verfügbar unter <http://www.jstor.org/stable/623127>
- Mayring, P. (2010). *Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken* (11. Aufl.). Weinheim: Beltz.
- Mikut, R., Burmeister, O., Braun, S. & Reischl, M. The open source MATLAB toolbox Gait-CAD and its application to bioelectric signal.
- Mikut, R. (2009). *Data Mining*. In der Medizin und Medizintechnik. Schriftenreihe des Instituts für Angewandte Informatik/Automatisierungstechnik, 22.
- Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg & Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (Hrsg.). (2012). *Klimawandel in Baden-Württemberg. Fakten, Folgen, Perspektiven* (2. Aufl.). Stuttgart: Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr Baden-Württemberg. Verfügbar unter [http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/67972/klimawandel\\_in\\_baden\\_wuerttemberg.pdf?command=downloadContent&filename=klimawandel\\_in\\_baden\\_wuerttemberg.pdf](http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/67972/klimawandel_in_baden_wuerttemberg.pdf?command=downloadContent&filename=klimawandel_in_baden_wuerttemberg.pdf)
- Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr Baden-Württemberg. (2010). *Generalverkehrsplan Baden-Württemberg 2010* (Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr, Hrsg.), Stuttgart.
- Ministerium für Verkehr und Infrastruktur. (2010). *Generalverkehrsplan Baden-Württemberg 2010* (Ministerium für Verkehr und Infrastruktur, Hrsg.). Verfügbar unter [http://mvi.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-mvi/intern/dateien/Broschueren/GVP2010\\_14\\_MB.pdf](http://mvi.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-mvi/intern/dateien/Broschueren/GVP2010_14_MB.pdf)
- Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg. (2013a). *Erhaltungsmanagement an den Bundes- und Landesstraßen in Baden-Württemberg. Presseinformationen zur Landespresskonferenz am 27. März 2013* (Ministerium für Verkehrs und Infrastruktur Baden-Württemberg, Hrsg.).
- Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg. (2013b). *Grundkonzeption für den Bundesverkehrswegeplan 2015 - Stellungnahme des Ministers für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg*, Stuttgart. Verfügbar unter [https://mvi.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-mvi/intern/dateien/PDF/BVWP/BWP\\_StellungnahmeGrundkonzeption\\_final.pdf](https://mvi.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-mvi/intern/dateien/PDF/BVWP/BWP_StellungnahmeGrundkonzeption_final.pdf)
- Moss, R., Mustafa, B., Brinkman, S. & Calvo, E. (2008). *Towards new scenarios for analysis of emissions, climate change, impacts and response strategies. IPCC expert meeting report, 19-21 September 2007, Noordwijkerhout, the Netherlands*. Geneva: IPCC.

- Müller-Mahn, D. & Everts, J. (2013). Risksapes. The spatial dimension of risk. In D. Müller-Mahn (Hrsg.), *The spatial dimension of risk. How geography shapes the emergence of risksapes* (The earthscan risk in society series, Bd. 27, 1. Aufl., S. 22–36). London [u.a.]: Routledge.
- Nahverkehrsgesellschaft Baden-Württemberg. (2014). *Wir über uns*. Verfügbar unter <http://www.3-loewen-takt.de/wir-ueber-uns/nahverkehrsgesellschaft-baden-wuerttemberg/>
- New York Academy of Sciences (Hrsg.). (2010) New York City Panel on Climate Change 2010 Report [Themenheft]. *ANNALS OF THE NEW YORK ACADEMY OF SCIENCES*. New York: New York Academy of Sciences.
- Norrman, J. (2000). Slipperiness on roads - an expert system classification. *Meteorological Applications*, 7 (1), 27–36.
- Parry, M., Canziani, O., Palutikof, J., van der Linden, P. & Hanson, C. (2007). *Climate Change 2007 Impacts, Adaptation and Vulnerability. Working Group II Contribution to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge/ New York: Cambridge University Press.  
Verfügbar unter [http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/publications\\_ipcc\\_fourth\\_assessment\\_report\\_wg2\\_report\\_impacts\\_adaptation\\_and\\_vulnerability.htm](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_fourth_assessment_report_wg2_report_impacts_adaptation_and_vulnerability.htm)
- Petermann, T., Bradke, H., Lüllmann, A., Poetzsch, M. & Riehm, U. (2011). *Was bei einem Blackout geschieht. Folgen eines langandauernden und großräumigen Stromausfalls* (Studien des Büros für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag, Bd. 33). Berlin: edition sigma.
- Peterson, T., McGuirk, M., Houston, T., Horvitz, A. & Wehner, M. *Climate Variability and Change with Implications for Transportation*. Washington: Transportation Research Board of the National Academies. Zugriff am 25.06.2014. Verfügbar unter <http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/sr/sr290Many.pdf>
- Rinaldi, S. M., Peerenboom, J. P. & Kelly, T. K. (2001). Identifying, Understanding, and Analyzing Critical Infrastructure Interdependencies. *IEEE Control Systems Magazine* (December 2001), 11–25.
- Rübelke, D. & Vögele, S. (2011). Impacts of climate change on European critical infrastructures: The case of the power sector. *Environmental Science & Policy*, 14 (1), 53–63. Verfügbar unter <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1462901110001371>
- Savonis, M., Burkett, V. & Potter, J. (2008b). *Impacts of Climate Change and Variability on Transportation Systems and Infrastructure: Gulf Coast Study, Phase I. A Report by the U.S. Climate Change Science Program and the Subcommittee on Global Change Research* (Savonis, M., Burkett, V. & Potter, J., Hrsg.).
- Schmidt, M., Staiß, D., Salzer, J. & Nitsch, J. (2011). *ZSW-Gutachten zur Vorbereitung eines Klimaschutzgesetzes für Baden-Württemberg*, Stuttgart. Verfügbar unter [http://www.zsw-bw.de/infoportal/downloads/studien.html?eID=nfcmedialibrary&tx\\_nfcmedialibrary\\_pi1%5Buid%5D=1591&tx\\_nfcmedialibrary\\_pi1%5Bdownuid%5D=1591](http://www.zsw-bw.de/infoportal/downloads/studien.html?eID=nfcmedialibrary&tx_nfcmedialibrary_pi1%5Buid%5D=1591&tx_nfcmedialibrary_pi1%5Bdownuid%5D=1591)
- Scott, W. R. (op. 1998). *Organizations. Rational, natural, and open systems* (4. Aufl.). Englewood Cliffs (N.J.): Prentice-Hall.
- Sobiech, C. (2013). *Agent-based Simulation of Vulnerability Dynamics. A Case Study of the German North Sea Coast*. Heidelberg, New York: Springer Verlag.
- Temesgen, B., Mohammed, M. & Korme, T. (2001). Natural hazard assessment using GIS and remote sensing methods, with particular reference to the landslides in the Wondogenet Area, Ethiopia. *Physics and Chemistry of the Earth, Part C: Solar, Terrestrial & Planetary Science*, 26 (9), 665–675. Verfügbar unter <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1464191701000654>
- The Rail Safety and Standards Board. (2004). *Railway Safety Implications of Weather, Climate and Climate Change: Final Report* (The Rail Safety and Standards Board, Hrsg.).

- Transportation Research Board. (2008). *Potential impacts of climate change on US transportation* (Special report (National Research Council, Transportation Research Board), ; 290).
- Trinks, C., Hiete, M., Comes, T. & Schultmann, F. (2012). Extreme weather events and road and rail transportation in Germany. *International Journal of Emergency Management*, 8 (3), 207.
- Utne, I. B., Hokstad, P. & Vatn, J. (2011). A method for risk modeling of interdependencies in critical infrastructures. *Reliability Engineering & System Safety*, 96 (6), 671-678. Verfügbar unter <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0951832010002620>
- Verband Region Stuttgart. (2009, 22. Juli). *Regionalplan für die Region Stuttgart vom 22.07.2009* (Verband Region Stuttgart, Hrsg.) : Verband Region Stuttgart. Verfügbar unter <http://www.region-stuttgart.org/aufgaben-und-projekte/regionalplanung/regionalplan/>
- Verband Region Stuttgart. (2010). *Kooperationsraum Metropolregion Stuttgart*: Verband Region Stuttgart. Verfügbar unter [http://www.region-stuttgart.org/fileadmin/regionstuttgart/daten/downloads/karten/Kooperationsraum\\_Metropolregion\\_Stuttgart\\_20100421\\_300dpi.pdf](http://www.region-stuttgart.org/fileadmin/regionstuttgart/daten/downloads/karten/Kooperationsraum_Metropolregion_Stuttgart_20100421_300dpi.pdf)
- Verband Region Stuttgart. (2014a). *S-Bahn-Vertrag: Alle Details auf 700 Seiten*. Verfügbar unter <http://www.region-stuttgart.org/aufgaben-und-projekte/nahverkehr/s-bahn/s-bahn-vertrag/?noMobile=%2Fproc%2Fself%2Fenviron>
- Verband Region Stuttgart. (2014b). *Die S-Bahn - bequem und umweltfreundlich*. Verfügbar unter <http://www.region-stuttgart.org/sbahn/?noMobile=mjhrnjlo>
- Wagner, A. (2013a). *Zukünftige Klimaentwicklungen in Baden-Württemberg. Perspektiven aus regionalen Klimamodellen* (Langfassung.). Karlsruhe: Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg.
- Wagner, A. (2013b). *Zukünftige Klimaentwicklungen in Baden-Württemberg. Perspektiven aus regionalen Klimamodellen* (Kurzfassung). Karlsruhe: Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg.
- Wang, S., Hong, L. & Chen, X. (2012). Vulnerability analysis of interdependent infrastructure systems: A methodological framework. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 391 (11), 3323-3335. Verfügbar unter <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378437111009794>
- Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU). (2009). *Climate change: why 2° C?* (Factsheet / Englische Ausgabe, No. 2). Berlin: WBGU.
- Zebisch, M., Grothmann, T., Schröter, D., Hasse, C., Fritsch, U. & Cramer, W. (2005). *Klimawandel in Deutschland - Vulnerabilität und Anpassungsstrategien klimasensitiver Systeme*. Dessau: Umweltbundesamt. Verfügbar unter <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/2947.pdf>