

Reihe KLIMOPASS-Berichte

Projektnr.: 4500291493/23

Analyse der industriellen Vulnerabilität gegenüber klimawandelinduzierten Risiken in Ballungsräumen Baden-Württembergs

von K. Fath, H. Schmidt, J. Stengel, M. Wiens, F. Schultmann

Finanziert mit Mitteln des Ministeriums für Umwelt, Klima und
Energiewirtschaft Baden-Württemberg

Oktober 2014

KLIMOPASS

– Klimawandel und modellhafte Anpassung in Baden-Württemberg



Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT

HERAUSGEBER	LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg Postfach 100163, 76231 Karlsruhe
KONTAKT KLIMOPASS	Dr. Kai Höpker, Referat Medienübergreifende Umweltbeobachtung, Klimawandel; Tel.:0721/56001465, Kai.Hoepker@lubw.bwl.de
FINANZIERUNG	Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg - Programm Klimawandel und modellhafte Anpassung in Baden-Württemberg (KLIMOPASS)
BEARBEITUNG UND VERANTWORTLICH FÜR DEN INHALT	Karoline Fath, Hanns-Maximilian Schmidt, Dr. Julian Stengel, Dr. Marcus Wiens, Prof. Dr. Frank Schultmann Karlsruher Institut für Technologie (KIT) Institut für Industriebetriebslehre und Industrielle Produktion, Lehrstuhl für Betriebswirtschaftslehre, insb. Produktionswirtschaft und Logistik Hertzstraße 16 76187 Karlsruhe
BEZUG	http://www.fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/91063/ ID Umweltbeobachtung U83-W03-N18
STAND	Oktober 2014, 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.

Zusammenfassung

Die vorliegende Studie wurde im Rahmen des Landesprogramms „KLIMOPASS Klimawandel und modellhafte Anpassung in Baden-Württemberg - Angewandte Forschung und Modellprojekte“ im Zeitraum vom 01. Oktober 2013 bis 31. Oktober 2014 umgesetzt. Ihr liegt eine indikatorbasierte Analyse der industriellen Vulnerabilität in der Metropolregion Stuttgart zugrunde. Zu diesem Zweck werden für verschiedene Wirtschaftssektoren typische Fragilitätstreiber in vier Kategorien (Betriebsmittelabhängigkeit, Personalabhängigkeit, Transportabhängigkeit, Supply-Chain-Abhängigkeit) identifiziert und gegenübergestellt. Dies beinhaltet neben bundesweiten Mittelwerten für einzelne Branchen auch die Identifikation von Schlüsselsektoren, den „Flaschenhälsen“ der baden-württembergischen Wirtschaft, auf Basis eines Modells zur Regionalisierung nationaler Wirtschaftsleistung, dem die Input-Output-Daten des Bundes sowie bundesweite und regionale Beschäftigtenzahlen zugrunde liegen. Unter Zuhilfenahme allgemeiner Faktoren, wie etwa der Bevölkerungsdichte, aktueller hochaufgelöster Klimaprojektionen und der räumlichen Verteilung der Industrie in der Metropolregion werden in verschiedenen Szenarien Größen für die Bewertung der industriellen Verwundbarkeit einer Gemeinde errechnet. Je nach Szenario ergeben sich so individuelle Bewertungen der Gemeinden. Die Ergebnisse können mittels geographischer Informationssysteme aufbereitet werden und dem Entscheider als Anhaltspunkte für die Hots-Spots industrieller Vulnerabilität dienen.

Dabei ist anzumerken, dass ein funktionaler Zusammenhang zwischen Klimaausprägung und Funktionalität des untersuchten Systems nicht untersucht werden konnte. Der geringen Datenverfügbarkeit und dem Umstand, dass trotz der über 100 Einladungen an Unternehmen in der Region nur ein einzelner Industrieverband an dem dafür entscheidenden Workshop teilnahm, ist geschuldet, dass letztlich industriespezifische Gewichtungen und Ursache-Wirkung-Beziehungen nicht in das Modell integriert werden konnten und der Begriff Vulnerabilität in der Analyse im Sinne eines Worst-Case-Szenarios auf die Komponenten Fragilität und Exposition und damit in seiner Komplexität reduziert werden musste. In ergänzenden Interviews, die mit Unternehmensvertretern geführt wurden, zeichnet sich eine Begründung hierfür ab: so beschreiben Risiko- und Logistikmanager, dass für das aktive Management langfristiger und abstrakter Risiken (wie dem Klimawandel und seinen künftigen Ausprägungen) neben dem operativen Tagesgeschäft keine Zeit bliebe.

Die vorgelagerten Ergebnisse geben jedoch den klaren Hinweis, dass je nach Branche unterschiedliche Eigenschaften und Merkmale Einfluss auf die Verwundbarkeit haben. Die sektorspezifischen Fragilitätstreiber verdeutlichen eine vergleichsweise hohe Fragilität der chemischen Industrie, der grundlegenden Wasser- und Energieversorgung sowie spezieller metallverarbeitenden Industriezweige. Gerade letztgenannte Branchen, die Automobil- oder etwa die Elektroindustrie, sind hierbei für das Anwendungsgebiet, die Metropolregion Stuttgart und ihre Gemeinden, von besonderer Bedeutung. Vor allem die große Abhängigkeit von gut ausgebildeten Fachkräften ist hier besonders ausgeprägt.

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG	9
1.1	Motivation	9
1.2	Zielsetzung	9
1.3	Aufbau der Studie	10
2	GRUNDLAGEN DER INDIKATORBASIERTEN VULNERABILITÄTSANALYSE	12
2.1	Begriffe und Definitionen – Was ist industrielle Vulnerabilität?	12
2.2	Wie wirken extreme Wetterereignisse auf die Produktion?	13
2.3	Anforderungen an die Indikatoren und Vorgehen in der Analyse	15
2.4	Diskussion und Anpassung der Methodik	17
3	DATENSAMMLUNG UND BILDUNG VON INDIKATOREN	19
3.1	Allgemeine Indikatoren zur Struktur der Metropolregion Stuttgart	19
3.2	Indikatoren zur klimatischen Veränderung	20
3.3	Indikatoren zur sektorspezifischen Vulnerabilität der Industrie	25
3.4	Übersicht über alle Indikatoren	32
4	DIE INDUSTRIELLE VULNERABILITÄT DER METROPOLREGION GEGENÜBER EXTREMEN WETTEREREIGNISSEN	33
4.1	Beschreibung der Szenarien	33
4.2	Wie können die Ergebnisse gelesen werden?	35
4.3	Vulnerabilität gegenüber Hitze	38
4.4	Vulnerabilität gegenüber Starkniederschlägen	44
4.5	Vulnerabilität gegenüber Stürmen	50
4.6	Vulnerabilität gegenüber Überschwemmungen	56
4.7	Vulnerabilität gegenüber Kälte und Frost	60
4.8	Zusammenfassung der Ergebnisse	61
5	DISKUSSION MÖGLICHER HANDLUNGSOPTIONEN	63
5.1	Möglichkeiten zur Anpassung an den Klimawandel	63
5.2	Ergebnisse des Workshops und der Expertengespräche	65
5.3	Handlungsempfehlungen auf Basis dieser Studie	67

6	FAZIT UND KRITISCHE WÜRDIGUNG	71
	QUELLENVERZEICHNIS	73
	ANHANG	76
	DOKUMENTATION DES STAKEHOLDER-WORKSHOPS	78

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Struktur der Studie.....	11
Abbildung 2: Komponenten und Dimensionen der Vulnerabilität.....	13
Abbildung 3: Verwundbare Stellen innerhalb einer prototypischen Wertschöpfungskette.....	14
Abbildung 4: Zusammenhang zwischen Daten, Indikatoren und Zielaussage	16
Abbildung 5: Indikatoren je Fragilitätsdimensionen für die Untersuchung der sektorspezifischen Vulnerabilität.....	27
Abbildung 6: Anzahl der Unternehmen in den Kreisen	31
Abbildung 7: Beispieldiagramm zur Betrachtung allgemeiner Indikatoren.....	36
Abbildung 8: Beispieldiagramm zur Betrachtung allgemeiner Indikatoren und klimatischer Veränderungen.	36
Abbildung 9: Zusammenfassung der Ergebnisse für die Szenarien 4-1 bis 4-4.....	58
Abbildung 10: Zusammenfassung der Ergebnisse für die Szenarien 4-5 bis 4-8.....	58
Abbildung 11: Mittlere Veränderung der Anzahl der Frost- und Eistage nach Kreisen.	60
Abbildung 12: Sektorspezifische Fragilität nach Abhängigkeitsdimensionen.....	62
Abbildung 13: Weitere Verwendungsmöglichkeiten der Ergebnisse in den Unternehmen	68

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Mögliche negative Folgen extremer Wetterereignisse für ausgewählte Produktionsfaktoren	15
Tabelle 2: Zusammenstellung der betrachteten Industriezweige nach WZ 2008 und Art des Gewerbes	26
Tabelle 3: Übersicht über die allgemeinen Indikatoren zur Struktur der Metropolregion Stuttgart.....	32
Tabelle 4: Übersicht über die Indikatoren zur Vulnerabilität gegenüber klimatischen Veränderungen.	32
Tabelle 5: Übersicht über die Indikatoren zur Bestimmung der sektorspezifischen Vulnerabilität.....	32
Tabelle 6: Anpassungsmaßnahmen des verarbeitenden Gewerbes	64
Tabelle 7: Anpassungsmaßnahmen in Energieversorgung und Infrastruktur.....	65

Quellennachweis

Alle geographischen Darstellungen basieren auf der Kartengrundlage „Komplettpaket Verwaltungsgrenzen“, Stand 08.2013, vom Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung (LGL) Baden-Württemberg, www.lgl-bw.de.

1 Einleitung

Die vorliegende Studie wurde im Rahmen des Landesprogramms „KLIMOPASS Klimawandel und modellhafte Anpassung in Baden-Württemberg - Angewandte Forschung und Modellprojekte“ vom Institut für Industriebetriebslehre und Industrielle Produktion (IIP) am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) im Zeitraum vom 01.10.2013 bis 31.10.2014 umgesetzt. Die Ergebnisse dieses Projekts sollen politische Entscheidungsträger auf unterschiedlichen Ebenen (Land, Region, Kreis, Kommune) bei der Auswahl von Handlungsoptionen und Anpassungsmaßnahmen gegenüber klimawandelinduzierten Risiken für die Industrie unterstützen. Zu diesem Zweck wurde ein leicht zugängliches Indikatormodell entwickelt und für die Vulnerabilitätsanalyse der Industrie in der Metropolregion Stuttgart angewandt. Die Vorgehensweise bei der Datenerhebung und Indikatorberechnung sowie die gemeindespezifischen Ergebnisse der Analyse und sektorspezifischen Handlungsoptionen werden in der Studie dargestellt.

1.1 MOTIVATION

Die Ballungsräume in Baden-Württemberg mit ihren hohen Einwohner- und Industriedichten geben Anlass, deren Vulnerabilität gegenüber Veränderungen der klimatischen Bedingungen zu bestimmen. Dabei gilt zu überprüfen, welchen Einfluss der Klimawandel und die damit einhergehende steigende Zahl von Extremwetterereignissen (Überschwemmungen, Stürme oder extreme Temperaturen) auf Betriebsunterbrechungen, Schäden an Gebäuden, Maschinen und Infrastruktur und Ausfällen von Mitarbeitern haben und im Speziellen, wie sich diese Belastungen regional verändern werden. Außerdem kann die zunehmende industrielle Verflechtung zwischen Unternehmen und die wachsende Komplexität von Lieferbeziehungen auch bei nur lokal einwirkenden Extremwetterereignissen weitreichende Folgen entlang der Wertschöpfungskette haben. Die Folgen des Klimawandels sind zum Teil bereits heute spürbar, sodass neben den Maßnahmen zum Klimaschutz auch Anpassungsmaßnahmen in Betracht gezogen werden müssen. Angesichts der langfristigen Auswirkungen des Klimawandels ist es unter Berücksichtigung des aktuellen Stands der Technik und Produktionsprozesse kein einfaches Unterfangen, Aussagen zu den damit verbundenen künftigen betrieblichen Herausforderungen zu treffen. So eröffnen sich durch die Veränderung der klimatischen Bedingungen beispielsweise auch Chancen, wie neue Absatzmärkte oder Geschäftsfelder. Nur auf Basis einer umfassenden Analyse der industriellen Vulnerabilität können politische und private Entscheidungsträger Handlungsoptionen zur Anpassung an den Klimawandel auswählen, priorisieren und umsetzen.

1.2 ZIELSETZUNG

Ziel der vorliegenden Studie ist die Untersuchung der industriellen Vulnerabilität in der Metropolregion Stuttgart gegenüber dem Klimawandel mittels eines indikatorbasierten Ansatzes. Dabei muss eine Vielzahl von Einflussfaktoren berücksichtigt werden. Merz (2011) entwickelte bereits einen solchen indikatorbasierten Ansatz und wendete ihn zur Untersuchung der allgemeinen industriellen Vulnerabilität in den Landkreisen in Baden-Württemberg an. Die Mittels Indikatoren können dabei eine sehr heterogene Datenbasis mit Informationen, die unterschiedliche Skalenniveaus aufweisen, zur Berechnung der industriellen Vulnerabilität in einer Gemeinde herangezogen werden. Die Validität und Aussagekraft der Analyseergebnisse wird durch die Verwendung dieser breit gefächerten Datenbasis deutlich erhöht.

Um das Untersuchungsziel zu erreichen, werden zunächst geeignete Indikatoren für die Gemeinden in der Metropolregion Stuttgart recherchiert und ausgewählt. Im nächsten Schritt werden diese Indikatoren für die Ermittlung eines Gesamtvulnerabilitätsindex gewichtet und zusammengefasst. Durch die Variation der Indikatoren und Gewichtungen in den einzelnen Szenarien werden etwaige Sensitivitäten untersucht. Auf dieser Basis räumlich hoch aufgelöster Ergebnisse (auf Gemeindeebene) können lokale Entscheidungsträger Handlungsoptionen bezüglich möglicher Anpassungsmaßnahmen in der Industrie formulieren und priorisieren, die letztlich zur Erhöhung der eigenen Widerstandsfähigkeit beitragen.

1.3 AUFBAU DER STUDIE

Der grundlegende Aufbau der vorliegenden Studie ist in Abbildung 1 skizziert. Nach einer kurzen Einführung in die indikatorbasierte Vulnerabilitätsanalyse in Kapitel 2 ist in Kapitel 3 die Recherche allgemeiner, klima- und sektorspezifischer Informationen und die darauf aufbauende Bildung von Indikatoren dargestellt. In Kapitel 4 werden diese Indikatoren in verschiedenen Szenarien für die Untersuchung der Vulnerabilität gegenüber der klimawandelinduzierten Schadensereignisse Hitze, Starkniederschläge, Stürme, Überschwemmungen und Kälte und Frost in den Gemeinden in der Metropolregion Stuttgart kombiniert und gewichtet. Basierend auf den Ergebnissen dieser Analyse und eines Expertenworkshops werden in Kapitel 5 Handlungsempfehlungen zum Schutz vor diesen klimawandelinduzierten Extremwetterereignissen und für mögliche Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel aufgezeigt und diskutiert. In Kapitel 6 werden die Ergebnisse dieser Studie noch einmal zusammengefasst, die angewandte Methodik kritisch analysiert und weiterer Forschungsbedarf identifiziert.

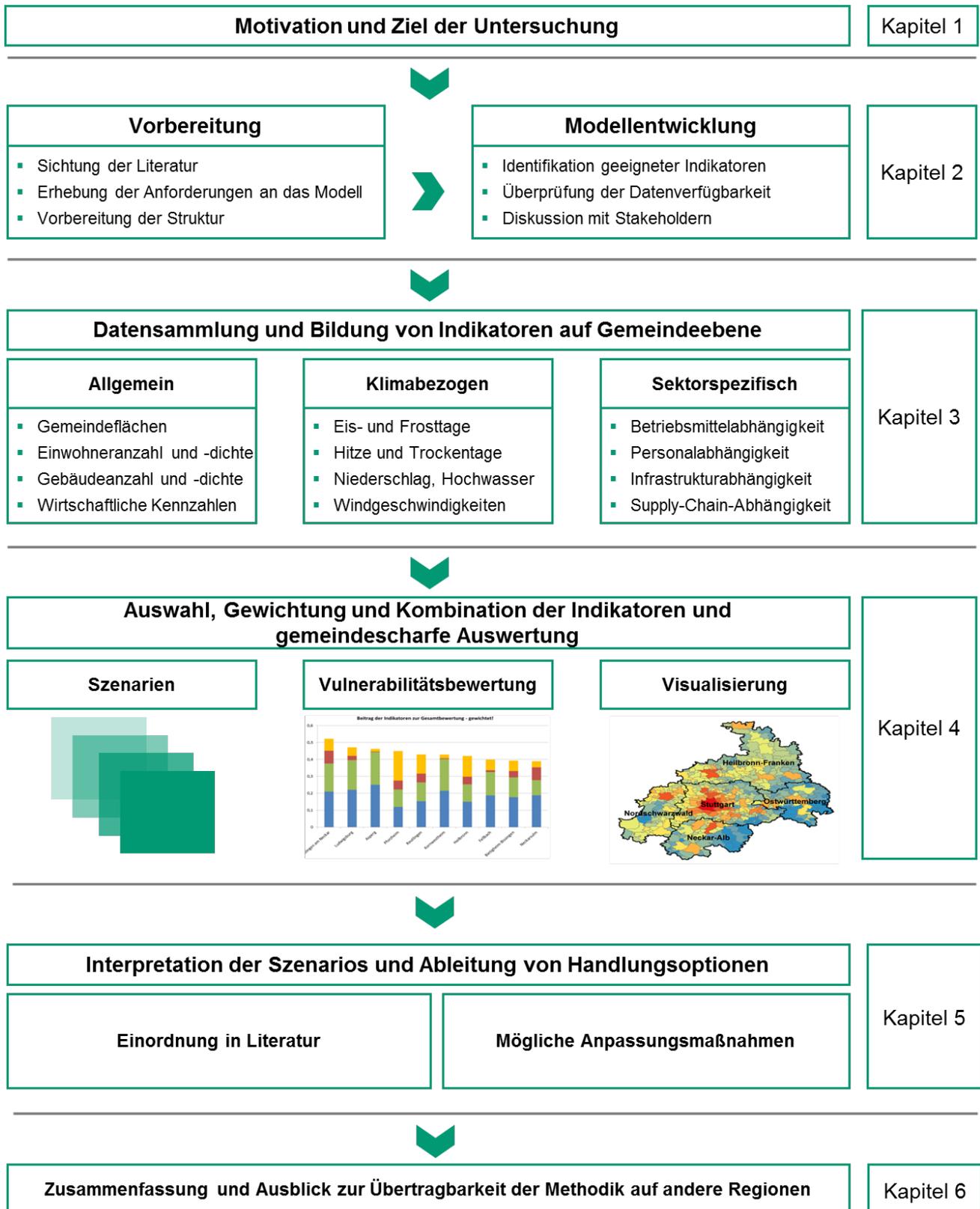


Abbildung 1: Struktur der Studie.

2 Grundlagen der indikatorbasierten Vulnerabilitätsanalyse

2.1 BEGRIFFE UND DEFINITIONEN – WAS IST INDUSTRIELLE VULNERABILITÄT?

Der wörtlichen Übersetzung folgend zielt die Analyse der Vulnerabilität der Industrie gegenüber dem Klimawandel darauf ab, die verwundbaren Stellen innerhalb einer Wertschöpfungskette – und damit auch innerhalb der Unternehmen – in Bezug auf die Folgen des Klimawandels (direkt oder indirekt) abzuschätzen. Der Begriff „Vulnerabilität“ wird in der Literatur gar als „Schlüsselindikator des Ausmaßes von Umweltproblemen wie dem Klimawandel“ (Adger et al. 2011) verstanden oder direkt im Kontext einer sich verändernden Umgebung definiert (Alwang et al. 2001). Klassische Definitionen betrachten die Vulnerabilität neben dem wiederum abstrakten Begriff Gefährdung auch als Hauptbestandteil eines Risikos (Merz 2011). So besteht zwischen der Eintrittswahrscheinlichkeit eines Ereignisses mit einer bestimmten Intensität (Gefährdung) und der Anfälligkeit des betroffenen Systems gegenüber diesem Ereignis (Vulnerabilität) ein funktionaler Zusammenhang, der den Begriff Risiko definiert und den Erwartungswert eines Schadensereignisses beziffert.

Die Vulnerabilität setzt sich im Allgemeinen aus weiteren Komponenten zusammen. Auch hierbei werden je nach Fachrichtung und Auslegung unterschiedliche Definitionen angeführt. Es werden jedoch meist drei wesentliche Punkte genannt, die den Begriff präzisieren: Das Ausgesetztsein einer Gefahr gegenüber (Exposition, engl. *exposure*), die Anfälligkeit gegenüber der Gefahr (Fragilität (Merz 2011) bzw. Sensitivität (IPCC 2001)) und die Möglichkeit des Systems, mit der Gefahr umzugehen (Anpassungskapazitäten, Resilienz). Die vorliegende Analyse folgt dabei der von Merz (2011) verwendeten Definition¹. Je nach Untersuchungsschwerpunkt und Datenverfügbarkeit können alle drei Komponenten oder nur ein Teil davon in einer Vulnerabilitätsanalyse berücksichtigt werden.

Als **Fragilität**, zu Deutsch „Anfälligkeit“ oder „Empfindlichkeit“, wird in der vorliegenden Studie die Abhängigkeit der Industrie von Produktionsfaktoren wie Betriebsmitteln, Mitarbeitern, Infrastruktur und der Supply-Chain verstanden. Je nach Struktur des Produktionsprozesses in einem Industriesektor variiert diese Abhängigkeit zwischen den verschiedenen Produktionsfaktoren, was im Folgenden als Abhängigkeitsdimension bezeichnet wird.² Für diese Dimension werden im Folgenden spezielle Indikatoren erhoben, die vor allem industriespezifische Merkmale widerspiegeln. Die Vorgehensweise ist in Kapitel 3 erläutert.

Unter **Exposition** werden in der Literatur unter anderem die Anzahl oder der Wert der einer Gefahr ausgesetzten Elemente verstanden (Merz 2011). In der vorliegenden Arbeit finden sich neben Indikatoren, die funktionelle Einheiten berücksichtigen (wie etwa die Anzahl der Industrieunternehmen in einer Region), auch die Daten zu den klimatischen Veränderungen. Die Bewertung der Exposition wird damit nicht allein von erstgenannten Indikatoren zu den sozioökonomischen Eigenschaften der betreffenden Gemeinde be-

¹ Die Vielzahl unterschiedlicher Definitionen einiger wesentlicher Begriffe beschäftigt seit einigen Jahren die Wissenschaft. Um eine Übersicht zu gewähren, wurden von verschiedener Seite Online-Glossare zusammengestellt. An dieser Stelle sei auf die Plattform der United Nations University (UNU-EHS) verwiesen (URL: <http://www.ehs.unu.edu/elearning/>). Im konkreten Bezug auf den Klimawandel führt die European Climate Adaptation Platform (Climate-ADAPT) einige spezifischere Definitionen und Beschreibungen an (URL: <http://climate-adapt.eea.europa.eu/glossary>).

² Die Abhängigkeitsdimensionen der einzelnen Produktionsfaktoren sind in Kapitel 3 in Abbildung 5 dargestellt.

stimmt, sondern zusätzlich um die Projektionen des regionalen Klimawandels, also des Grads der Aussetzung, ergänzt. Dies beinhaltet folglich die Lage einer funktionellen Einheit, deren Anzahl und die Dauer der Aussetzung, die sich durch die klimatischen Daten ergibt.

Resilienzfaktoren wirken im Gegensatz zu den beiden zuvor betrachteten Komponenten vulnerabilitätsmindernd. Darunter fallen Maßnahmen, Komponenten und Eigenschaften des Betrachtungsobjekts, die eine Verminderung der Auswirkungen oder eine zügige Bewältigung des Schadensereignisses fördern. Übertragen auf die Industrie wären das z. B. Notstromaggregate im Falle einer Unterbrechung der Elektrizitätsversorgung oder Notfallmanagementpläne, die eine schnelle Wiederaufnahme des regulären Betriebs ermöglichen. Auf Grund der mangelnden Datenverfügbarkeit bezüglich solcher Anpassungskapazitäten von Branchen oder gar einzelnen Industrieunternehmen, konnten diese Resilienzfaktoren nicht als Indikatoren in der vorliegenden Studie operationalisiert werden. Im Indikatormodell wurden daher nur Indikatoren zur Fragilität und Exposition verwendet. Resilienzfaktoren können dann individuell vor Ort, in den Unternehmen und Gemeinden auf Basis der hier vorgestellten Ergebnisse analysiert und bewertet werden. Dieser Punkt wird in Kapitel 6 noch einmal aufgegriffen und ausführlicher kommentiert.

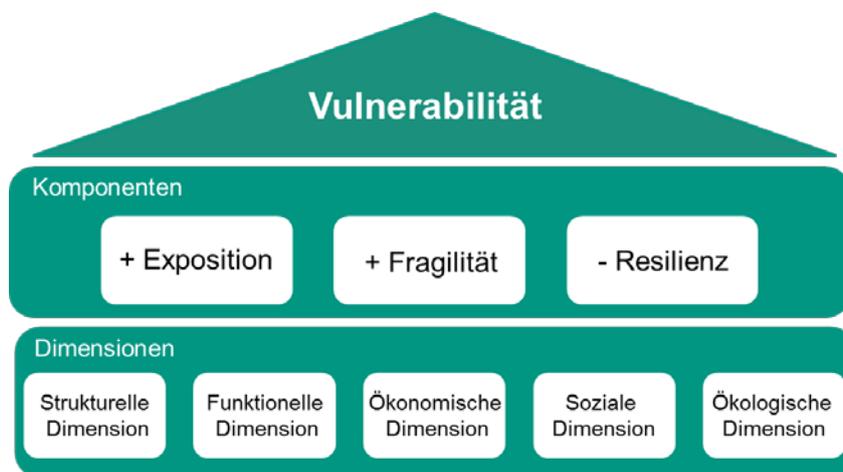


Abbildung 2: Komponenten und Dimensionen der Vulnerabilität. Quelle: Merz (2011).

In Abbildung 2 sind neben den beschriebenen Komponenten der Vulnerabilität auch unterschiedliche Wirkungsdimensionen dargestellt, in die sich die erhobenen Indikatoren einteilen lassen. Die in der vorliegenden Studie verwendeten Indikatoren können vorrangig der strukturellen, funktionellen und ökonomischen Dimension zugeordnet werden. Die soziale Dimension konnte auf Grund der begrenzten Datenverfügbarkeit nur indirekt, bspw. über die Bevölkerungsdichte, berücksichtigt werden. Die ökologische Dimension ist ebenfalls nicht explizit aufgegriffen. Der Fokus liegt strikt auf den betrachteten Dimensionen Ökonomie, Struktur und Funktion des Systems.

2.2 WIE WIRKEN EXTREME WETTEREREIGNISSE AUF DIE PRODUKTION?

Im Allgemeinen beinhaltet jegliches unternehmerische Handeln ein Risiko. Alle leistungswirtschaftlichen Prozesse in einem Unternehmen, wie z. B. Produktion, Datenverarbeitung oder Finanzplanung, sind Risiken ausgesetzt, die Folgen für die gesamte Unternehmung haben können. Im Fall der extremen Wetterereignisse sind diese Einflüsse überwiegend physischer Natur. Ein Hagelsturm beispielsweise kann freistehende Anla-

gen oder Produkte durch den Aufprall der Hagelkörner beschädigen, Überschwemmungen können ganze Industriegebiete lahmlegen oder hohe Temperaturen Mitarbeiter und Maschinen an die Grenzen ihrer Leistungsfähigkeit bringen. Industrieunternehmen³ sind dabei auch über ihre zunehmend vernetzten Produktionssysteme und die damit einhergehende Abhängigkeit von Lieferanten und Absatzmärkten besonderen Risiken und Kaskadeneffekten ausgesetzt. Unter Kaskadeneffekten werden Auswirkungen einer Störung in einer frühen Stufe der Wertschöpfungskette auf die Prozesse nachgelagerter oder anderweitig abhängiger Unternehmen bezeichnet, die ursprünglich nicht direkt von dem Schadensereignis betroffen sind. Fällt zum Beispiel eine Chemiefabrik am Rhein infolge eines Hochwassers für Wochen als Zulieferer eines Maschinenbauunternehmens in Schwäbisch Hall aus, bekommt auch das Unternehmen, dessen Gelände nicht unter Wasser steht, die Auswirkungen dieser Extremsituation zu spüren. Klimawandelinduzierte Schadensereignisse stellen dabei auf Grund der schwierigen Vorhersagbarkeit des Eintretens und der Auswirkungen eine besondere Kategorie der exogenen industriellen Risiken dar (im Gegensatz zu internen industriellen Risiken wie Prozess- oder Personalrisiken), die im weiteren Verlauf auch zu Supply-Chain-Risiken führen können.

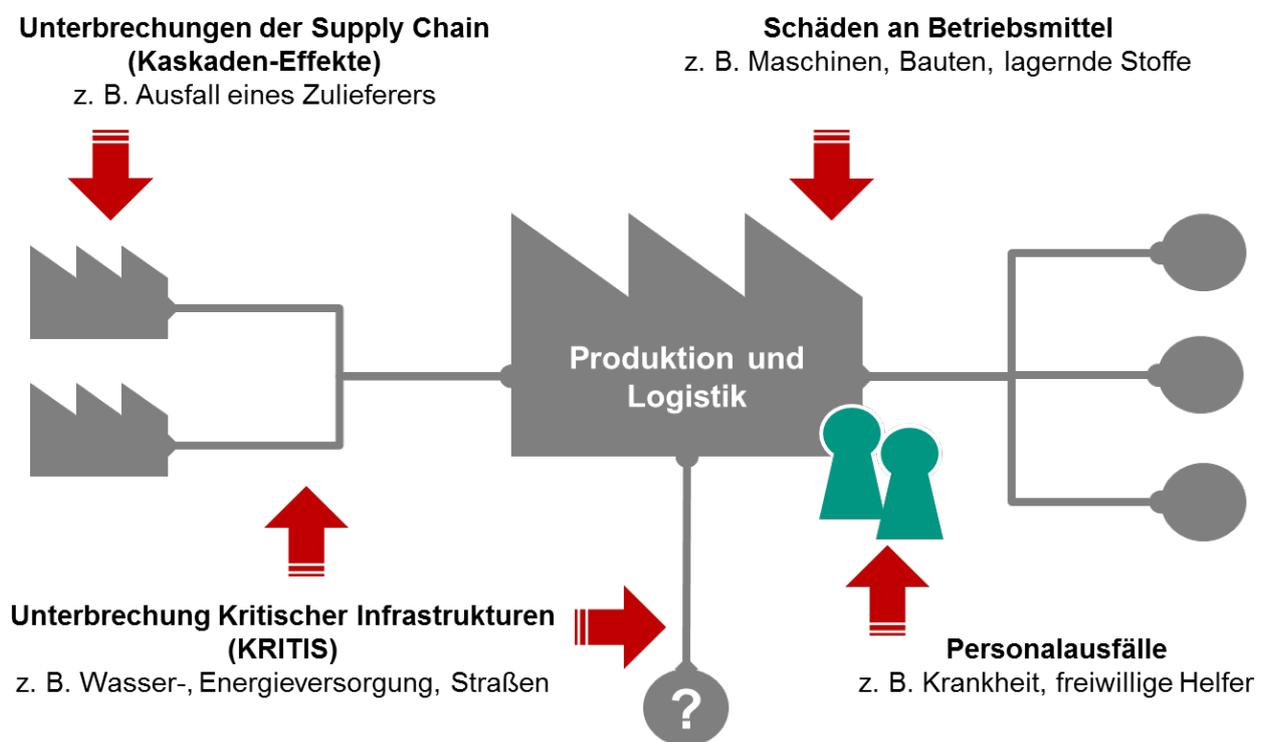


Abbildung 3: Verwundbare Stellen innerhalb einer prototypischen Wertschöpfungskette (eigene Darstellung).

Abbildung 3 stellt vier wesentliche verwundbare Punkte einer prototypischen Wertschöpfungskette dar. Von den Zulieferern (links) über die Bereitstellung von allgemeinen Betriebsmitteln (unten) bis hin zu den innerbetrieblichen Abläufen (Mitte) können Wetter- und Klimaeinflüsse die Unternehmung beeinträchtigen. Die Struktur in diesen vier dargestellten Kategorien wird auch in der weiteren Analyse beibehalten und der Versuch unternommen, die Anfälligkeit der einzelnen verarbeitenden Industrien anhand der verfügbaren Daten zu quantifizieren.

³ Für die in der vorliegenden Studie verwendete Abgrenzung von Industrieunternehmen nach Wirtschaftszweigen des Statistischen Bundesamts siehe Tabelle 1 in Abschnitt 3.

Grundsätzlich kann eine Vielzahl bestimmter (Wetter-)Parameter je nach System (bspw. der Wertschöpfungskette) oder funktioneller Einheit (bspw. Unternehmen, Produktionsschritt) als bedeutsam für die leistungswirtschaftlichen Prozesse angesehen werden. Die Bestimmung ist in hohem Maße individuell und lässt sich selten über eine Region oder Branche hinweg verallgemeinern. Die Wirkung sich wandelnder oder schwankender Parameter, wie etwa Temperaturen oder Niederschlagsmengen, lässt sich allerdings bei einigen Produktionsfaktoren eingrenzen. Die Ergebnisse des Projekts MOWE-IT⁴ zeigen in einzelnen Fallstudien deutlich, dass sämtliche Transportwege innerhalb einer Wertschöpfungskette von Extremwetterereignissen getroffen werden können. Entgegen dem betrieblichen Risikomanagement ist deren Aufrechterhaltung jedoch eine öffentliche Aufgabe. Der Schutz des gesamten Systems ist somit auch auf das Zusammenspiel unterschiedlicher Akteure mit nicht immer identischen Interessen angewiesen. In Tabelle 1 wird auf Basis der MOWE-IT-Berichte ein vereinfachter Überblick über diese Wirkungen auf die Produktionsfaktoren Transport und Personal gegeben. Betriebsmittel wie Maschinen oder freistehende Anlagen können ebenfalls je nach Typ anfällig für Temperaturen oder äußere Einflüsse sein. Das Spektrum möglicher Schadwirkungen ist hier äußerst breit gefächert.

	Einschränkung Personal	Einschränkung Transport		
		Straße	Schiene	Schifffahrt
Hohe Temperaturen	Kreislaufbelastung	Hitzeschäden	Verformung	Einstellung bei Niedrigwasser
Niedrige Temperaturen	Krankheitsausfälle	Glätte Frostsprengung	Verformung	Vereisung
Starkniederschläge	Unfälle, längere Fahrtzeiten	Eingeschränkte Sicht		
Überschwemmungen	Personenschäden, Schäden an Wohngebäuden	Überflutung Folgeschäden an Infrastruktur		Einstellung bei Hochwasser
Starke Winde / Sturm		Blockade durch Fremdkörper		

Tabelle 1: Mögliche negative Folgen extremer Wetterereignisse für ausgewählte Produktionsfaktoren

2.3 ANFORDERUNGEN AN DIE INDIKATOREN UND VORGEHEN IN DER ANALYSE

Indikatoren, die zur Bestimmung von umwelt- oder gesundheitsbezogenen Problemen herangezogen werden können, werden von der Europäischen Umweltbehörde (U.K. DETR 1999) in vier Grundtypen eingeordnet. Diese beinhalten deskriptive (also beschreibende) Indikatoren, leistungsorientierte Indikatoren, effizienzorientierte Indikatoren und Indikatoren, die Effekte für die Gesamtwohlfahrt, also ökonomische, soziale und umweltbezogene Dimensionen, aggregieren. Die in dieser Studie verwendeten Indikatoren sind rein deskriptiv und verbinden Daten unterschiedlicher Aggregationsebenen, um einen Überblick über den Zustand des betrachteten Systems zu erhalten. Sie berücksichtigen einzig bekannte Größen und drücken diese je nach Art

⁴ Das EU-geförderte Projekt MOWE-IT (Management of Weather Events in the Transport System) hatte bis zu Projektende 2014 zum Ziel, anhand von Fallstudien unterschiedliche Teilsysteme des europäischen Transportwesens hinsichtlich deren Resilienz gegenüber extremen Wetterereignissen zu bewerten und Maßnahmen daraus abzuleiten. Die Ergebnisse sind auf der Homepage (www.mowe-it.eu) einsehbar.

der Berechnung in einem Indikatorwert aus. Sie werden damit weder hinsichtlich einer Zielerfüllung (Leistungsorientierung) oder einer Referenzeinheit (Effizienzorientierung) gewichtet oder bewertet, noch dienen sie der umfassenden Bewertung von Wohlfahrtseffekten. Sie eignen sich als solche besonders für eine umfassende und leicht zugängliche Bewertung der Vulnerabilität in der betrachteten Region.

Für eine Vulnerabilitätsanalyse müssen diese Indikatoren jedoch weitere, besondere Anforderungen je nach Untersuchungsziel und Zielgruppe erfüllen (Birkmann 2006). Bei Analysen im internationalen Kontext ist z. B. die Datenverfügbarkeit ein wesentliches Kriterium bei der Indikatorenauswahl. An die gewählten Indikatoren werden im Allgemeinen folgende Anforderungen gestellt (Birkmann 2006; Cutter et al. 2010):

- Messbarkeit
- Verfügbarkeit
- Verhältnis von Kosten bei der Indikatorrecherche und Wissenszuwachs in der Analyse
- Transparenz
- Eindeutigkeit und Reproduzierbarkeit
- Repräsentativität und Relevanz
- Verständlichkeit

Die vorliegende Studie richtet sich an Entscheidungsträger auf unterschiedlichen Ebenen in der Metropolregion Stuttgart. Es ist das Ziel, mit einfach zu erhebenden Daten ein leicht verständliches Bild der industriellen Vulnerabilität zu schaffen. Die Verbindung von sektoraler und regionaler Vulnerabilität verlangt jedoch nicht nur ein Verständnis der Interpretation statistischer Daten, wie sie vom Statistischen Bundesamt zur Verfügung gestellt werden, sondern auch Anwenderkenntnisse in geographischen Informationssystemen. Dennoch lässt sich über die Auswahl der Indikatoren hinsichtlich der Datenverfügbarkeit und der genauen Zuordnung eine vergleichsweise hohe Transparenz in der Zuordnung der Vulnerabilitätswerte erreichen. Die Ergebnisse können damit anwendergerecht aufbereitet werden und sind, sofern das Modell einmal technisch eingerichtet ist, in relativ kurzer Zeit berechenbar, was das Verhältnis zu von Kosten und zu Wissenszuwachs sehr positiv beeinflusst gestaltet. Zudem wurde auch aufbauend auf den Vorarbeiten und der einschlägigen Literatur darauf geachtet, dass die gewählten Indikatoren sich gegenseitig nicht beeinflussen, um die Repräsentativität und Eindeutigkeit der Ergebnisse nicht zu gefährden.

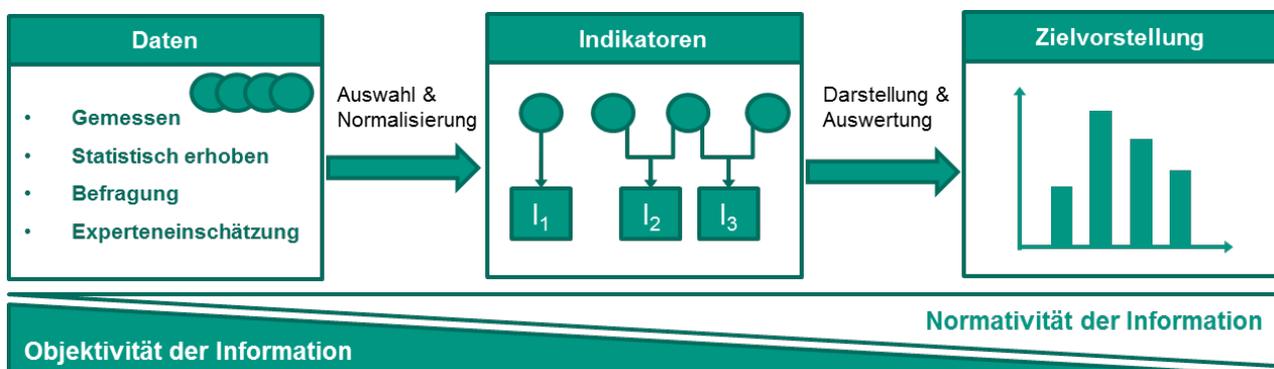


Abbildung 4: Zusammenhang zwischen Daten, Indikatoren und Zielaussage.

Quelle: Modifizierte Darstellung nach Birkmann (1999), S. 122.

Die Daten, die zu Berechnung der Indikatoren und Bestimmung eines Vulnerabilitätsindex verwendet werden, können unterschiedlichen Quellen entstammen. Sie können eigens selbst gemessen werden oder statis-

tisch erhoben worden sein. Größere Anforderungen an die Methodik stellen Daten aus Befragungen und Experteneinschätzungen, die aufgrund der Subjektivität der Einschätzung zunächst über geeignete Instrumente operationalisiert werden müssen. Hierfür bieten sich klassische Verfahren zur Bewertung an, wie etwa der Analytische Hierarchieprozess (AHP) oder statistische Methoden wie eine Faktorenanalyse bei ausreichend großer Datenmenge. Die ausgewählten Daten werden normalisiert und so in Bezug zueinander gesetzt. Über verschiedene Merkmale, wie etwa der Branchenzugehörigkeit, können nun entsprechende Indikatoren gebildet werden, die darüber hinaus miteinander vergleichbar sind. Die Einordnung und Verwendung dieser Indikatoren oder Indikatorsysteme unterliegt der Zielvorstellung des Analysten. Durch die schrittweise Auswahl, Normalisierung und Darstellung der Indikatoren geht jedoch naturgemäß die Objektivität der Eingangsinformation verloren. Der definierte Rahmen bestimmt die Interpretation.

Die genaue Erhebung folgt im Wesentlichen dem Konzept nach Hiete und Merz (2009) in einem iterativen Ablauf. Dieses Vorgehen gibt gleichzeitig die Struktur dieser Arbeit wieder, die bereits in Abbildung 1 dargestellt wurde. Ausgehend von einem theoretischen Konzept werden Indikatoren ausgewählt und strukturiert, später operationalisiert und entsprechend ermittelt. Die Normalisierung der Indikatoren setzt diese zueinander in Bezug und stellt die Vergleichbarkeit her. Die Erkenntnisse aus Merz (2011) werden in der Gewichtung der Ergebnisse verwendet, woraufhin die Indikatoren aggregiert werden und ein Gesamtindex für den betrachteten Fall ermittelt wird. Anschließend werden die Ergebnisse entsprechend graphisch veranschaulicht und interpretiert.

2.4 DISKUSSION UND ANPASSUNG DER METHODIK

Die Anwendung des Konzepts einer indikatorbasierten Vulnerabilitätsanalyse auf die Metropolregion Stuttgart stellt in einigen Punkten eine Herausforderung dar. Zum einen ergeben sich aus der hohen räumlichen Auflösung der Analyse⁵ besondere Anforderungen an die Verfügbarkeit geeigneter Daten, zum anderen ist die Integration klimatischer Daten in das Modell nach Hiete und Merz (2009) eine Neuerung und muss demnach zunächst bestimmt werden.

Bezüglich der Datenverfügbarkeit sind auf Gemeindeebene zwar allgemeine Indikatoren zur Struktur, wie Gemeindefläche und Einwohnerzahl, vorhanden. Jedoch weisen die Daten des Statistischen Landesamts Baden-Württemberg aus Gründen der Geheimhaltung auf Gemeindeebene erhebliche Lücken auf. Zu zahlreichen Gemeinden sind Aufstellungen der Unternehmenszahlen, Mitarbeiter und Umsätze nicht veröffentlicht. Es kann daraus, aus gutem Grund, keine genaue Aussage über die wirtschaftliche Leistung einzelner Gemeinden getroffen werden. Auch andere Quellen, wie etwa die Mitgliedsdaten der Industrie- und Handelskammern, scheiden aus ähnlichen Gründen aus. Die wenigen verfügbaren Daten sind daher keine Basis für einen geeigneten Indikator. Vor allem die Vergleichbarkeit der Werte kann auf dieser Grundlage nicht gesichert werden. Auch mangelt es in diesen aggregierten Daten an Hinweisen zu der Branchenstruktur einzelner Gemeinden. Damit kann auch mangels geographischer Zuordbarkeit der Unternehmen innerhalb der Gemeinde keine Analyse hinsichtlich der Betroffenheit von lokal einwirkenden klimawandelinduzierten Extremereignissen, insbesondere bei Hochwasser, erfolgen. An dieser Stelle war es daher vonnöten, auf andere, nicht-offizielle Quellen auszuweichen und diese als Näherungen für die tatsächliche Industriestruktur zu nutzen.

⁵ In der vorliegenden Studie erfolgt die Vulnerabilitätsanalyse, im Gegensatz zur Untersuchung nach Merz (2011), auf Gemeinde- anstatt auf Kreisebene.

Die Verwendung der klimatischen Daten in indikatorbasierten Modellen lässt sich prinzipiell über verschiedene Wege realisieren. Vorstellbar ist beispielweise die Einführung über einer klimasensitive Gewichtung der übrigen, nicht-klimatischen Indikatoren. Dies setzt jedoch eine genaue Kenntnis der branchenspezifischen Verwundbarkeiten voraus, in einem Detailgrad, der über die aggregierten Daten, die in der Analyse verwendet werden, kaum zu erreichen ist. So müsste beispielsweise im Falle eines Hitzeszenarios der Einfluss hoher Temperaturen auf die einzelnen Vulnerabilitätstreiber einer Branche in den vier zuvor genannten Bereichen (Betriebsmittelabhängigkeit, Personalabhängigkeit, Transportabhängigkeit, Supply-Chain-Abhängigkeit) beschrieben werden, die Sensitivität innerhalb dieser Kategorien für diesen Fall erhoben und vor allem quantifiziert werden. Diese Vorgehensweise kann zwar die Genauigkeit der Analyse hinsichtlich der sektoralen Bewertung erhöhen, dem steht jedoch ein enormer Aufwand in der Voranalyse (und damit auch in der Übertragbarkeit und schnellen Anwendung der Methodik) gegenüber. Zudem kann eine Fehleinschätzung der Gewichtung zu erheblichen Abweichungen und damit zu Fehlinterpretationen führen. Die Rolle von Gewichten, die auch über Experteneinschätzungen ermittelt werden können, wird aktuell in der Forschung ausführlich diskutiert und bleibt weiterhin umstritten⁶. Für diese Analyse wird daher aus den genannten Gründen darauf verzichtet, die klimatischen Daten nur indirekt in das Indikatormodellen einfließen zu lassen. Stattdessen werden für sie ebenfalls Indikatoren in einer eigenen Kategorie als Indikatorkategorie verstanden und aus den Daten ermittelt. Damit liegt der Schwerpunkt deutlich auf der regionalen Bewertung von Vulnerabilität, also wie sie sich auf Basis frei zugänglicher Daten in einem Bezugsraum ergibt, und weniger auf Unternehmensebene innerhalb der Gemeinden. Es besteht schlichtweg die Gefahr, dass eine zu hohe Differenzierung zwischen den funktionellen Einheiten in den Gemeinden die generelle Unschärfe aus dem Missverhältnis zwischen räumlich hoch-aufgelösten Klimadaten und größtenteils bundesweiten Branchendaten überhöht. Zur Korrektur werden weiterhin auch allgemeine Indikatoren herangezogen, die den „Typ“ einer Gemeinde über Bevölkerungsdichte, Industriedichte und weitere beschreibende Größen näher eingrenzen.

Zusammenfassend wurden aus diesen Gründen für die folgende Analyse drei Arten von Indikatoren erhoben:

1. **Allgemeine Indikatoren** zur Struktur der Metropolregion Stuttgart, die direkt auf Gemeindeebene verfügbar oder errechenbar sind. (Kapitel 3.1)
2. **Indikatoren zur klimatischen Veränderung** in der Metropolregion Stuttgart, die auf Basis der Daten des Instituts für Meteorologie und Klimaforschung (Forschungsbereich Atmosphärenforschung, IMK-TRO) am KIT mittels eines geographischen Informationssystems für alle betrachteten Gemeinden erhoben wurden. (Kapitel 3.2)
3. **Indikatoren zur sektorspezifischen Vulnerabilität** der Industrie, die auf Basis von bundes- oder landesweiten Statistiken erhoben wurden. Da diese Vulnerabilitätsindikatoren zunächst keine räumliche Auflösung besitzen, wurden sie durch die Verschneidung mit der Anzahl der Unternehmen pro Sektor und Gemeinde aus der Internetdatenbank www.firmendb.de für die räumlich aufgelöste Vulnerabilitätsanalyse operationalisiert. (Kapitel 3.3)

⁶ Verwiesen sei an dieser Stelle auf die Diskussion im *Journal of Risk Analysis, Volume 35, Issue 1* aus dem Januar 2015. Angeführt von einem Artikel von Fergus Bolger und Gene Row werden mit Kommentaren weiterer Wissenschaftler die Vor- und Nachteile dieser Form der Gewichtung erörtert.

3 Datensammlung und Bildung von Indikatoren

3.1 ALLGEMEINE INDIKATOREN ZUR STRUKTUR DER METROPOLREGION STUTTGART

Für die Analyse der industriellen Vulnerabilität wurde eine Reihe von allgemeinen Daten, die Aussagen über die Struktur, Gemeindefläche und Einwohnerzahl in den Gemeinden erlauben, erhoben. Für die daraus gebildeten Indikatoren sind in den folgenden Abschnitten die Datenquelle, Erhebungsmethodik sowie Wertebereiche angegeben.

3.1.1 GEMEINDEFÄCHE

Basierend auf den Gemeindegrenzen aus der Kartengrundlage des LGL Baden-Württemberg wurde für die 480 Gemeinden in den 20 Kreisen der Regionen Stuttgart, Heilbronn-Franken, Ostwürttemberg, Nordschwarzwald und Neckar-Alb die Gemeindefläche berechnet. Die betrachteten Gemeinden weisen eine mittlere Fläche von 32 km² auf, mit der flächenmäßig kleinsten Gemeinde Leinzell im Ostalbkreis mit rund 2 km² und dem Stadtkreis Stuttgart mit 207 km² als größte betrachtete Einheit.

3.1.2 EINWOHNERANZAHL UND -DICHTE

Basierend auf den Regionaldaten des Statistischen Landesamts Baden-Württemberg wurde für alle betrachteten Gemeinden die Einwohnerzahl (Stand 2012) ermittelt. In der Metropolregion Stuttgart leben mehr als 5 Millionen Einwohner, mit durchschnittlich ca. 11.000 Einwohnern pro Gemeinde. Die Gemeinde Wörnersberg im Kreis Freudenstadt weist mit 241 die geringste Einwohnerzahl auf, während im Stadtkreis Stuttgart mehr als 590.000 Menschen leben (Statistisches Landesamt, 2013). Basierend auf diesen Daten lässt sich unter Einbeziehung der Gemeindefläche die Einwohnerdichte pro Gemeinde errechnen:

$$\text{Einwohnerdichte} = \frac{\text{Anzahl Einwohner}}{\text{Gemeindefläche}}$$

3.1.3 GEBÄUDEANZAHL UND -FLÄCHEN

Als weitere Datenquelle standen den Autoren dieser Studie amtliche Katasterdaten mit Hausumringen und Gebäudenutzungsart auf Grundlage des Räumlichen Informations- und Planungssystems (RIPS) der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (Stand 2012) zur Verfügung. Diese Hausumringe wurden mittels eines geographischen Informationssystems mit den Verwaltungsgrenzen der Gemeinden in der Metropolregion Stuttgart verschnitten, so dass der Gebäudebestand nach Gemeinden differenziert detailliert analysiert werden konnte.

Für alle Gemeinden wurde auf Basis des Gebäudebestands und der Gemeindefläche der Anteil der bebauten Fläche an der Gemeindefläche berechnet:

$$\text{Anteil bebauter Fläche an Gemeindefläche} = \frac{\sum \text{Gebäudefläche}}{\text{Gemeindefläche}}$$

Zusätzlich wurden aus den Katasterdaten an Hand der folgenden Ausprägungen für das Attribut „Gebäudenutzungsart“ die Gebäude mit einer industriellen oder gemischten Nutzung herausgefiltert:

- Betriebsgebäude
- Bürogebäude
- Energieversorgungsgebäude
- Fabrikgebäude
- Feuerwehrgebäude
- Geschäftshaus
- Kläranlagengebäude
- Lagergebäude
- Umformer
- Werkstattgebäude
- Wohn- und Betriebsgebäude
- Wohn- und Bürogebäude
- Wohn- und Geschäftshaus

Die Anzahl und Summe der Hausumringe dieser Industriegebäude wurde ebenfalls gemeindespezifisch berechnet und als Indikator in der Analyse verwendet.

3.1.4 WIRTSCHAFTLICHE KENNZAHLEN DES STATISTISCHEN LANDESAMTS

In der Regionaldatenbank des statistischen Landesamtes sind auf Gemeindeebene lediglich die folgenden, aggregierten Daten vorhanden:

- Anzahl der Unternehmen im verarbeitenden Gewerbe,
- Anzahl der Beschäftigten im verarbeitenden Gewerbe und
- Umsatz im verarbeitenden Gewerbe

Auch wenn diese Daten für eine sektorspezifische Vulnerabilitätsanalyse nicht detailliert genug sind, so stellen sie doch eine offizielle Quelle und einen Indikator für die Größe der lokalen Industrie dar und wurden deshalb alle als Indikator in die Analyse mitaufgenommen.

3.2 INDIKATOREN ZUR KLIMATISCHEN VERÄNDERUNG

Für die Abbildung der klimatischen Veränderung in Baden-Württemberg wurden aktuelle Berechnungen des IMK-TRO herangezogen, die ebenfalls im Rahmen einer KLIMOPASS-Studie (Titel: „Climate change and exemplary adaptation in Baden-Württemberg“) entstanden sind. Zur Anwendung kam hierfür ein regionales Klimamodell namens COSMO-CLM, angetrieben von dem Globalmodell ECHAM 5 (Realisierung 1)⁷. Die verwendeten Klimadaten weisen eine sehr hohe räumliche Auflösung von sieben Kilometern Rasterbreite auf und umfassen zwei Referenzzeiträume, einen von 1971 bis 2000 und einen von 2021 bis 2050. D.h. für jeden Gitterpunkt in dem 7-km-Raster lagen jeweils nur die Summe der betrachteten Tage in den beiden

⁷ Eine einsteigerfreundliche Beschreibung der Modelle und der daraus entstandenen Daten finden sich in den Veröffentlichungen des LUBW unter dem Titel „Zukünftige Klimaentwicklung in Baden-Württemberg“

(URL: <http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/229984/>) und in dem Handbuch des IMK-TRO über Klimasimulationsdaten (URL: <http://www.imk-tro.kit.edu/6207.php>).

Eine ausführliche Beschreibung der Modellsimulationen findet sich auf:

http://www.cedim.de/download/Flood_Hazards_in_a_Changing_Climate.pdf

Informationen zur Bias-Korrektur von Temperatur und Niederschlag: Berg P., Feldmann H., Panitz H.-J. (2012): Bias correction of high resolution regional climate model data. *Journal of Hydrology*, 448-449. pp. 80-90 (Temperatur: BCA Methode, Niederschlag: BCM Methode)

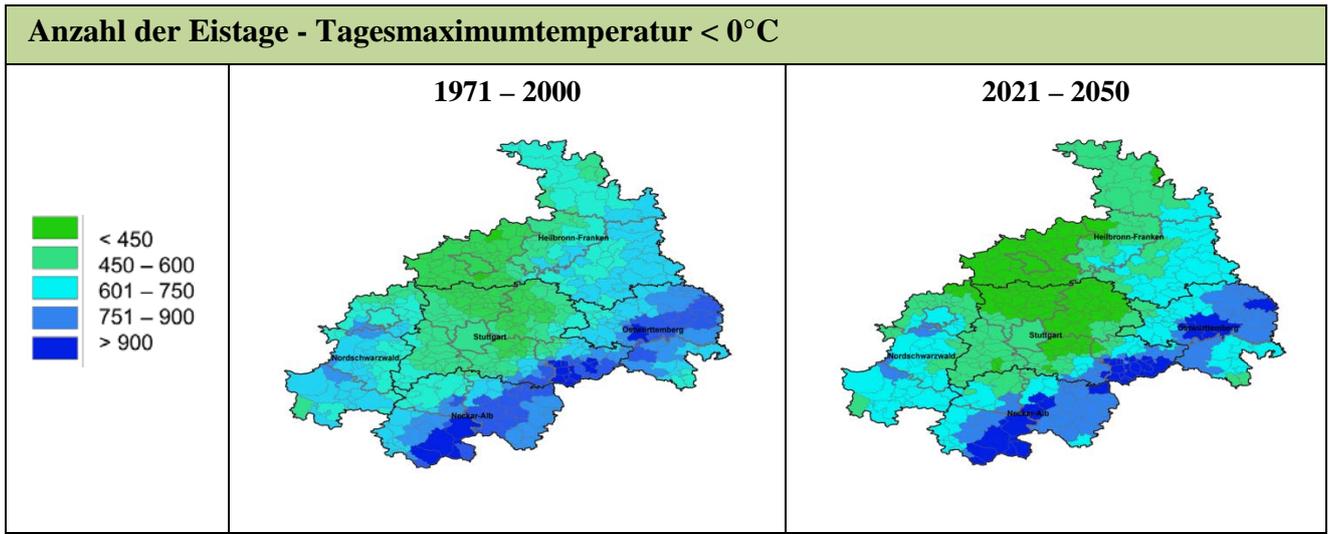
Referenzzeiträumen vor. Eine jahresscharfe Auswertung ist bei einem Klimamodell über einen so langen Zeitraum mit großer Unsicherheit behaftet. Dahingegen kann aus der Betrachtung der Entwicklung summiert über einen 20-Jahres-Zeitraum eine stabile Tendenz abgelesen werden. Den Daten liegt das Emissionsszenario A1b zugrunde, welches meist als Referenzszenario Verwendung findet. Es beschreibt eine weitgehend homogene Welt, in der sich kulturelle und soziale Unterschiede über regionale Grenzen hinweg angleichen. Es setzt zudem zügigen technologischen Fortschritt sowie wirtschaftliches Wachstum voraus. Entgegen den anderen Unterszenarien der A1-Klasse wird zudem ein ausgewogenes Verhältnis zwischen den Energieträgern, fossil und nicht-fossil, angenommen. Die Klimadaten wurden für die Vulnerabilitätsanalyse in einem geographischen Informationssystem (ArcGIS) mit den Gemeindegrenzen der Metropolregion verschnitten, um gemeindespezifische Mittelwerte zur Verwendung in der indikatorbasierten Bewertung zu berechnen.

Für die Untersuchung lagen die Daten der Simulationsgänge zu den folgenden Ereignissen vor:

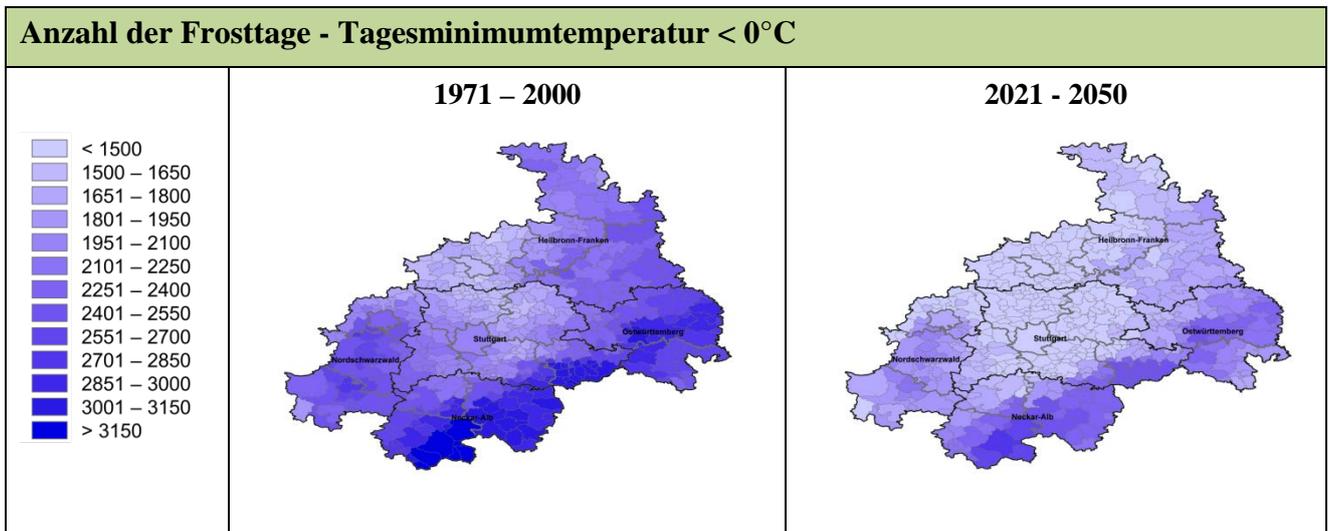
- Veränderung der Tage mit extremen Temperaturen
 - Eistage mit einer Tagesmaximumtemperatur von weniger als 0 °C
 - Frosttage mit einer Tagesminimumtemperatur von weniger als 0 °C
 - Heiße Tage mit einer Tagesmaximumtemperatur von mehr als 30 °C
- Veränderung der Tage mit extrem hohen oder sehr geringen Niederschlägen
 - Trockentage mit einer maximalen Niederschlagsmenge von weniger als 1 mm
 - Tage mit Starkniederschlägen von mehr als 25 mm pro Stunde
- Veränderung der maximalen Windgeschwindigkeiten

3.2.1 EXTREME TEMPERATUREN – EIS- UND FROSTTAGE

Für die Veränderung der Anzahl der Eistage, d. h. der Tage mit einer Tagesmaximumtemperatur von weniger als 0°C, ergibt sich für die Metropolregion Stuttgart eine mittlere Senkung um 32 Prozent, von maximal 1442 Tagen im Zeitraum von 1971 bis 2000 in Albstadt im Zollernalbkreis auf prognostizierte 1037 Tage in dieser Gemeinde im Zeitraum von 2021 bis 2050. In der Gemeinde mit der geringsten Anzahl an Eistagen, Flein im Kreis Heilbronn, sinkt die Anzahl von 437 Tagen im Zeitraum von 1971 bis 2000 auf 302 Tage im Zeitraum von 2021 bis 2050. Es zeigt sich im Allgemeinen, dass das Auftreten von Eistagen auf Basis dieser Simulation und der Modellannahmen über die gesamte Region hinweg seltener wird. Einzig Teile des Südostens, ein Gürtel von Neckar-Alb bis in den Ostalbkreis, verzeichnen hierbei leichte Anstiege.

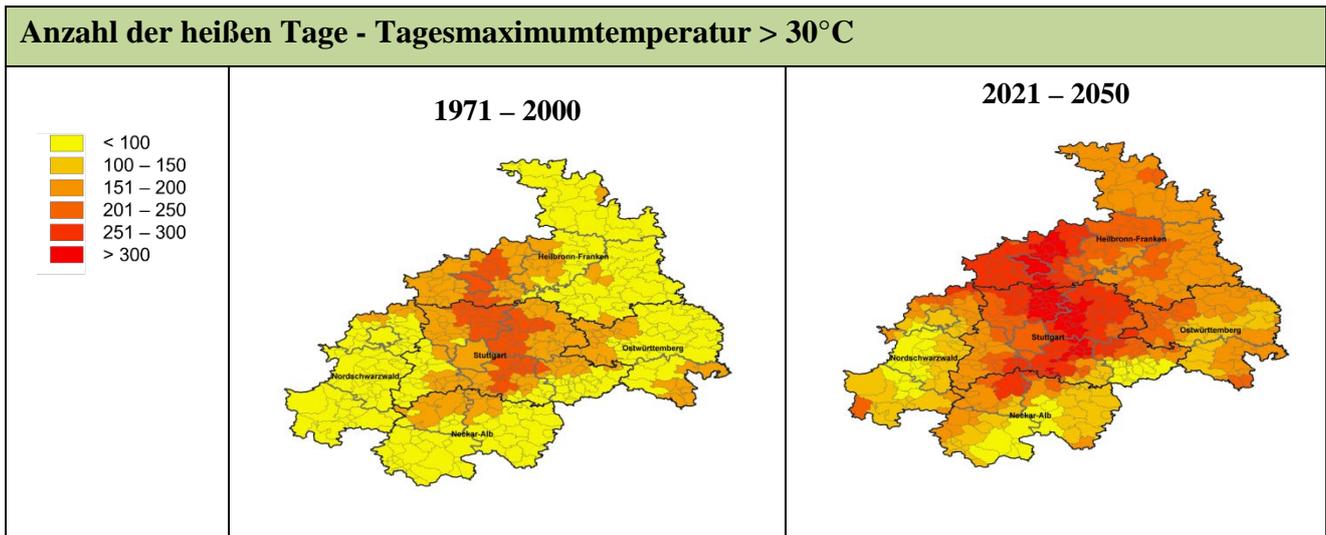


Auch die Anzahl der Frosttage, d. h. Tage mit einer Tagesminimumtemperatur von weniger als 0°C, sinkt in der Metropolregion Stuttgart um durchschnittlich 28 Prozent, von maximal 3294 Tagen in der Gemeinde Bitz im Zollernalbkreis und 1435 Tagen in Flein im Kreis Heilbronn (Gemeinde mit der minimalen Anzahl an Frosttagen) im Zeitraum von 1971 bis 2000 auf prognostizierte 2706 Tage in Bitz und 937 Tage in Flein im Zeitraum von 2021 bis 2050.



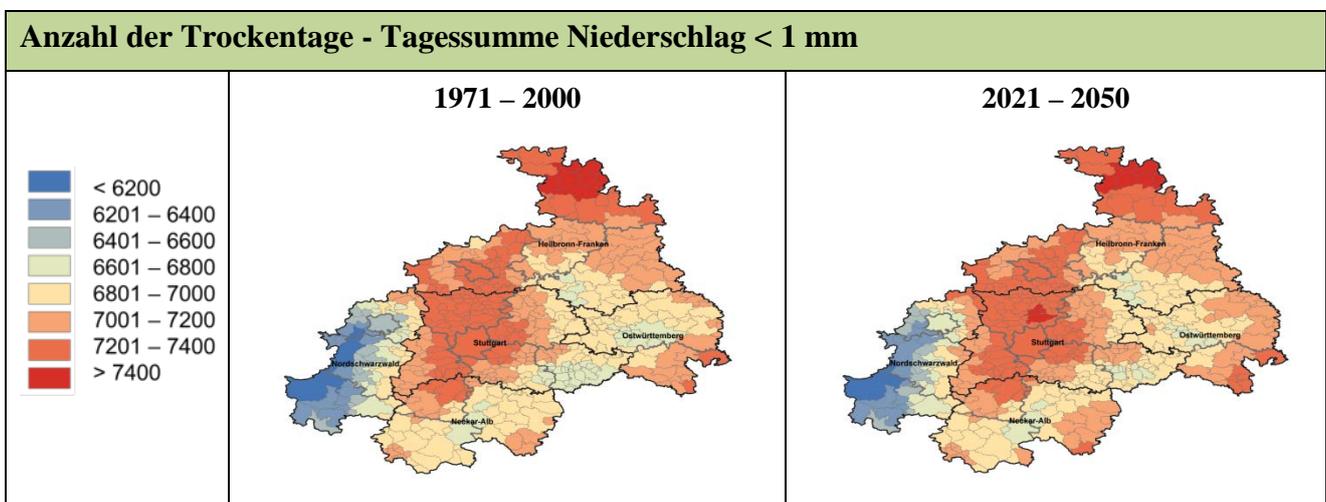
3.2.2 EXTREME TEMPERATUREN – HEISSE TAGE

Wie die Verringerung der Anzahl an Eis- und Frosttagen bereits nahegelegt hat, scheint allgemein eine Erwärmung in der betrachteten Region stattzufinden. Diese drückt sich auch in einer deutlichen Steigerung der Anzahl sogenannter heißer Tage in den Gemeinden aus. Um durchschnittlich 96 Prozent steigt diese Zahl an, von 32 Tagen in Höfen an der Enz im Kreis Calw (Gemeinde mit der minimalen Anzahl an heißen Tagen) und 196 Tagen in Affalterbach im Kreis Ludwigsburg (Gemeinde mit der maximalen Anzahl an heißen Tagen) im Zeitraum von 1971 bis 2000 auf 66 Tage in Höfen an der Enz und 346 Tagen in Affalterbach im Zeitraum von 2021 bis 2050.



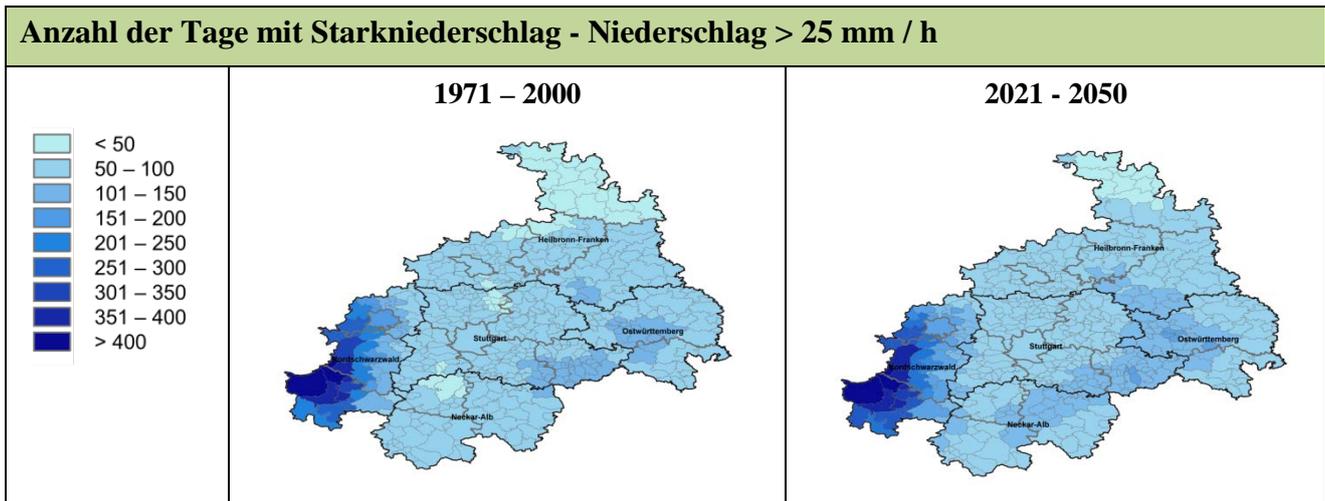
3.2.3 VERÄNDERUNG NIEDERSCHLAGSBEDINGTER EREIGNISSE – TROCKENTAGE

Als weitere Information wurden vom IMK-TRO auch Daten zur Anzahl der Trockentage, d. h. Tage mit einer Tagessumme an Niederschlag von weniger als 1 mm, bereitgestellt. Wie sich hier jedoch zeigt, liegt die durchschnittliche Veränderung dieser Tage zwischen beiden Zeitabschnitten bei 1 Prozent (minimal -1 Prozent; maximal 2 Prozent). Angesichts dieser sehr geringen Änderungen wird dieses Szenario in der weiteren Analyse nicht berücksichtigt.



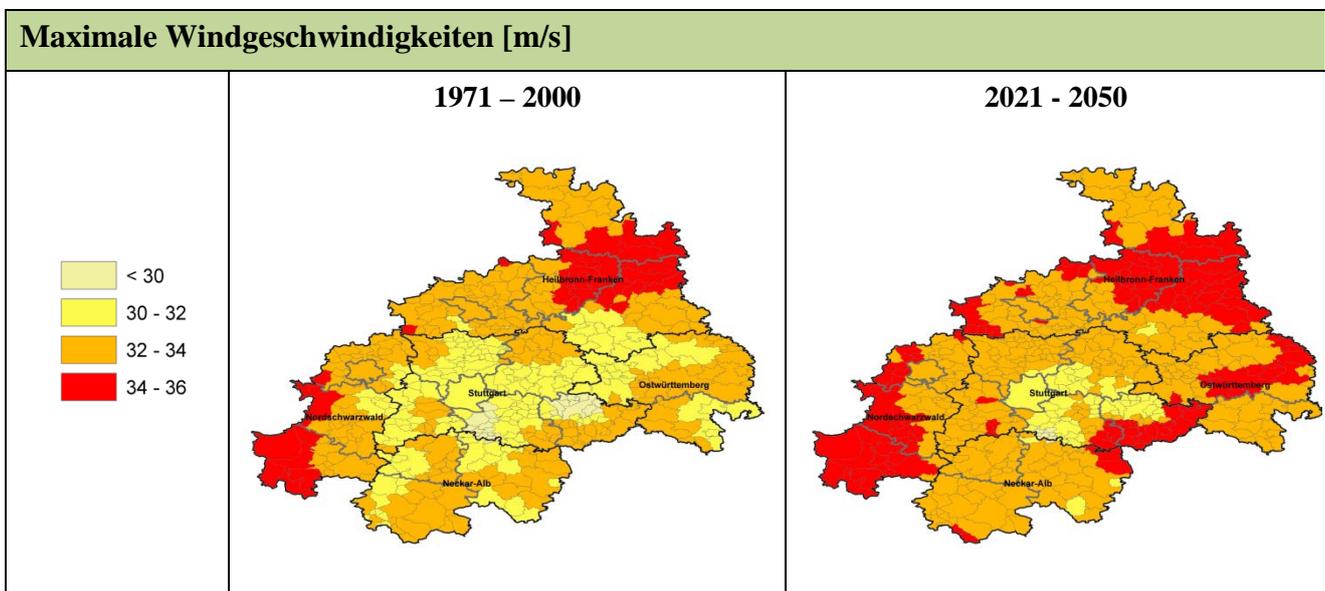
3.2.4 VERÄNDERUNG NIEDERSCHLAGSBEDINGTER EREIGNISSE – STARKNIEDERSCHLAG

Die Anzahl der Tage mit Starkniederschlag, d. h. Tage mit Niederschlägen von über 25 mm pro Stunde, erhöht sich in der betrachteten Region um durchschnittlich 21 Prozent, von 408 Tagen in der Gemeinde Seewald, im Kreis Freudenstadt (Gemeinde mit der maximalen Anzahl an Tagen mit Starkniederschlag) und 31 Tagen in Werbach im Main-Tauber-Kreis (Gemeinde mit der minimalen Anzahl an Tagen mit Starkniederschlag) im Zeitraum von 1971 bis 2000 auf 492 und 37 Tage in den beiden Gemeinden im Zeitraum von 2021 bis 2050. Auf der Übersichtskarte ist deutlich die lokale Konzentration einer hohen Anzahl an Tagen mit Starkniederschlag in den Kreisen Freudenstadt und Calw in der Region Nordschwarzwald zu erkennen.



3.2.5 VERÄNDERUNG DER MAXIMALEN WINDGESCHWINDIGKEITEN

Die maximalen Windgeschwindigkeiten (Böen) für eine Wiederkehrperiode von zehn Jahren erhöhen sich in der Metropolregion Stuttgart im Zeitraum von 2021 bis 2050 um durchschnittlich drei Prozent gegenüber dem Zeitraum von 1971 bis 2000, von 29 m/s in Riederich im Kreis Reutlingen (minimale Windgeschwindigkeit) und 36 m/s in Bad Wildbad im Schwarzwald (maximale Windgeschwindigkeit) auf 30 m/s und 37 m/s. Diese Werte weisen damit Zuwächse auf, die sich beinahe über die gesamte Metropolregion erstrecken. Die Zunahme der maximalen Windgeschwindigkeiten im Nordschwarzwald und bewaldeten Gebieten kann darüber hinaus zu Gefährdungen von Mensch und Infrastruktur und damit auch der Industrie führen.



3.3 INDIKATOREN ZUR SEKTORSPEZIFISCHEN VULNERABILITÄT DER INDUSTRIE

Die Indikatoren zur sektorspezifischen Vulnerabilität der Industrie wurden für jeden Wirtschaftsbereich erhoben und fußen auf den Veröffentlichungen des Statistischen Bundesamts. Sie beziehen sich demnach auf die bundesweiten Strukturen und Eigenschaften der einzelnen Wirtschaftsbereiche, da auf Landes- oder gar Kreis- und Gemeindeebene keine geeigneten Daten verfügbar sind. Die Verwendung von sektorspezifischen Indikatoren, die auf bundesweiten Daten basieren, erfolgt auch unter der Annahme, dass innerhalb einer Branche bis zu einem gewissen Maß nicht nur identische regulatorische, sondern auch gleichartige technische Standards eingehalten werden müssen. Erst durch die Berücksichtigung der regionalen Verteilung der Industriesektoren in den Gemeinden erfolgt dann im nächsten Schritt die Berechnung der Indikatoren zur sektorspezifischen Vulnerabilität der Industrie auf Gemeindeebene.

Entgegen der umfassenden Beschreibung der Vulnerabilität über die Merkmale Fragilität, Exposition und Resilienz, wurde in der Analyse auf Resilienzfaktoren verzichtet. Die Verwendung von Branchenmittelwerten für eine räumlich so hoch aufgelöste Untersuchung, wie sie die vorliegende Studie darstellt, ist in diesem Punkt mit vielen Unsicherheiten behaftet und somit kaum vertretbar. Die genaue Quantifizierung des vulnerabilitätsmindernden Einflusses dieser Faktoren ist längst nicht genau genug beschrieben und kann somit leicht zu einer Unterbewertung der Verwundbarkeit führen und damit die lokale Reaktion darauf beeinträchtigen. Folglich können die Ergebnisse der vorliegenden Studie in erster Linie zur Identifikation von potentiell vulnerablen Industriestrukturen und Gemeinden verwendet werden, um dann bei einer Vor-Ort-Analyse möglicherweise bereits vorhandene Resilienzfaktoren zu identifizieren oder zu implementieren. Auch wenn diese Faktoren in die Analyse nicht eingehen und dadurch von der klassischen Definition abgewichen wird, wird der Terminus Vulnerabilität trotz allem beibehalten. Fragilität und Exposition als Maße der Anfälligkeit beschreiben somit eine Grundvulnerabilität, die durch Anpassungsmaßnahmen gemildert oder sogar aufgehoben werden kann.

3.3.1 ERHEBUNG VON INDIKATOREN IN DEN ZU UNTERSUCHENDEN ABHÄNGIGKEITSDIMENSIONEN

Bei der Erhebung von Indikatoren in den zu untersuchenden Abhängigkeitsdimensionen wurden auch bereits definierte Indikatoren aus Merz (2011) für die Analyse verwendet. Diese wurden auf ihre Anwendbarkeit auf den Untersuchungsraum und ihre Bedeutung in der Analyse klimawandelinduzierter Risiken überprüft, aktualisiert und falls nötig ergänzt. Bei der Datenerhebung zeigte sich jedoch, dass auf Landesebene aus Geheimhaltungsgründen nur sehr wenige Informationen zu einzelnen Industriesektoren verfügbar sind. Folglich wurden die Indikatoren vorrangig auf Basis von Veröffentlichungen des Statistischen Bundesamtes erhoben und berechnet. Dabei konnte eine Übereinstimmung des zeitlichen Bezugs der Basisdaten nicht immer gewährleistet werden. Es wurden jedoch ausnahmslos Veröffentlichungen der letzten fünf Jahre verwendet.

3.3.2 GEWICHTUNG, NORMIERUNG UND AGGREGATION DER INDIKATOREN

Bei der Berechnung der absoluten Indikatorwerte ist zunächst eine Gewichtung nötig, um die Vergleichbarkeit zwischen den Branchen herzustellen. So werden die meisten absoluten Werte sowohl auf die Anzahl der Mitarbeiter in dem Sektor (S) als auch auf die Anzahl der Betriebsstätten (als funktionelle Einheiten) und den Anteil an der Bruttowertschöpfung bezogen. Die genaue Vorgehensweise bei der Indikatorberechnung ist in Merz (2011) beschrieben. Grundsätzlich werden die sektorspezifischen Indikatoren SI nach folgender Formel berechnet, mit I_S als absolutem Indikatorwert eines Sektors, w_{BWS} als Gewicht der Bruttowertschöpfung, w_{BT} als Anzahl funktioneller Einheiten sowie w_{BS} als Anzahl der Beschäftigten in dem Sektor:

$$SI_S = w_{BWS} * \frac{AI_S}{BWS_S} + w_{BT} * \frac{AI_S}{BT_S} + w_{BS} * \frac{AI_S}{BS_S}$$

Die verwendeten absoluten Indikatoren der Sektoren (AI_S) sind Veröffentlichungen des Statistischen Bundesamts, beziehungsweise der Bundesagentur für Arbeit, entnommen (Statistisches Bundesamt 2014a, 2014b; Statistik der Bundesagentur für Arbeit 2012). Diese sektorspezifischen Indikatoren werden linear normiert, für jeden Sektor aufsummiert und ergeben damit den Vulnerabilitätsindex des Sektors. In der Analyse wurden aufgrund der unterschiedlichen Auflösung der statistischen Daten einzelne Sektoren zusammengefasst. In Tabelle 1 sind die im Folgenden betrachteten Sektoren nach Einteilung der Wirtschaftszweige (WZ 2008; Statistisches Bundesamt 2007) und Art des Gewerbes zusammengestellt. Das verarbeitende Gewerbe beinhaltet dabei die Gruppen 10 bis 32, welches um den Bergbau (07-09), die Energie- und Wasserversorgung (35-36) und das Baugewerbe (41-43) erweitert als produzierendes Gewerbe definiert ist.

Damit sind wesentliche Wirtschaftszweige, die ebenfalls dem Klimawandel und seinen Folgen unterliegen können, ausgenommen. Der Handel und weitere Dienstleistungen fallen nicht in die Kategorie. Auch der Tourismus und die Land- und Forstwirtschaft, also Bereiche, die von Wind und Wetter, den klimatischen Entwicklungen, direkt betroffen sind, werden nicht untersucht.

Einteilung der Industrien des Landes BW (nach WZ 2008)			
Produzierendes Gewerbe B-F	B	07-09	Erzbergbau, Gew. v. Steinen u. Erden, sonst. Bergbau
	Verarbeitendes Gewerbe C	10-12	Nahrungs- und Futtermittel, Getränke, Tabakerzeugnisse
		13-15	Textilien, Bekleidung, Leder- und Lederwaren
		16	Holz, Holz-, Flecht-, Korb- und Korkwaren (ohne Möbel)
		17-18	Papier-, Verlags- und Druckgewerbe
		20-21	Chemische Industrie (inkl. pharmazeutische Erzeugnisse)
		22	H.v. Gummi- u. Kunststoffwaren
		23	H.v. Glas u. Glaswaren, Keramik, Verarb. v. Steinen und Erden
		24	Metallerzeugung und -bearbeitung
		25	H.v. Metallerzeugnissen
		26-27	Elektroindustrie
		28	Maschinenbau
		29-30	Fahrzeugbau
		31-32	H.v. Möbeln, sonst. Waren
	E	35-36	Energie- und Wasserversorgung
F	41-43	Baugewerbe	

Tabelle 2: Zusammenstellung der betrachteten Industriezweige nach WZ 2008 und Art des Gewerbes

Die ermittelten Indikatoren können den bereits aus Kapitel 2 bekannten vier Dimensionen der Abhängigkeit zugeordnet werden: Abhängigkeit von Betriebsmitteln, Personal, Infrastruktur und Lieferunterbrechungen. Diese bilden damit wesentliche Kategorien der branchentypischen Fragilität ab, einer Hauptkomponente in der Vulnerabilitätsbewertung. Die damit verbundenen Indikatoren sind in Abbildung 5 dargestellt und werden in den folgenden Kapiteln noch genauer erläutert. Die errechneten sektorspezifischen Indikatoren finden sich zusammengefasst in Tabelle A im Anhang.

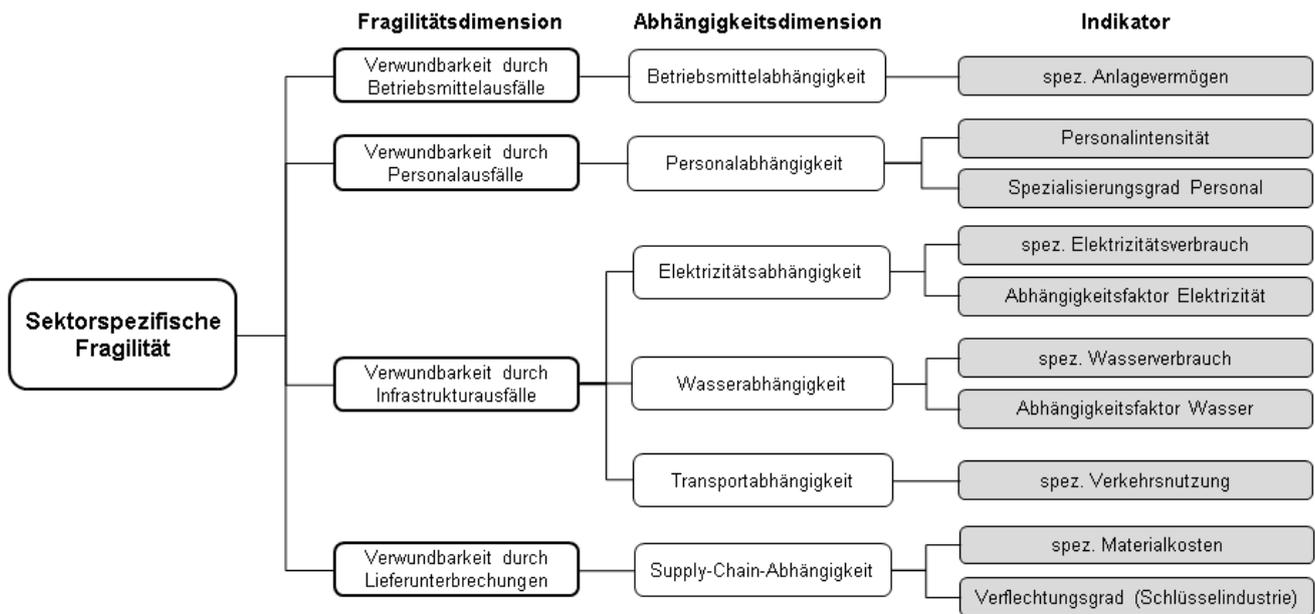


Abbildung 5: Indikatoren je Fragilitätsdimensionen für die Untersuchung der sektorspezifischen Vulnerabilität.

Quelle: Eigene Darstellung nach Merz (2011).

3.3.3 BETRIEBSMITTELABHÄNGIGKEIT

Die sektorspezifische Betriebsmittelabhängigkeit wird über das Bruttoanlagevermögen zu Wiederbeschaffungspreisen für das Jahr 2011 (Statistisches Bundesamt 2014c) erhoben. Dies erfolgt direkt über eine Spezifizierung der absoluten Vermögenswerte über die funktionellen Einheiten (Anzahl der Betriebe), der Bruttowertschöpfung des jeweiligen Sektors und der Anzahl der Beschäftigten in diesem Bereich. Wie Merz (2011) jedoch bereits anmerkt, lässt sich mit dieser Vorgehensweise zwar eine Abschätzung des Spezialisierungsgrads der Anlagen erreichen, allerdings erfolgt keine Trennung zwischen funktioneller Einheit und deren individueller Spezialisierung. So lassen sich im Falle einer Betriebsunterbrechung auch keine direkten (monetären) Folgen quantifizieren. Die Notwendigkeit der Gewichtung über die oben genannten Faktoren wird damit gerade in diesem Punkt besonders deutlich. Der Annahme folgend, dass ein hohes **spezifisches Anlagevermögen** mit dem Spezialisierungsgrad der Anlagen innerhalb der Branche korrespondiert, lässt darauf schließen, dass hohe Werte in diesem Bereich eine besondere Abhängigkeit darstellen, die sich in einer entsprechend hohen Vulnerabilität der Branche gegenüber Störungen niederschlägt (Merz 2011).

3.3.4 PERSONALABHÄNGIGKEIT

Die Abhängigkeit einer Branche von der Verfügbarkeit qualifizierten Personals wird über zwei einzelne Indikatoren bewertet. Zum einen beschreibt die **Personalintensität**, in welchem Maße die Abläufe in den Betrieben von der Anzahl der dort beschäftigten Personen abhängig sind. Zum anderen wird über den **Spezialisierungsgrad der Mitarbeiter** einer Branche abgeschätzt, ob Ausfälle des Personals eher bewältigt werden können oder nicht. Die Personalintensität, d. h. das Verhältnis zwischen Beschäftigten einer Branche und der Anzahl funktioneller Einheiten, wird zunächst über die Bruttowertschöpfung und die Anzahl der Betriebe gewichtet und dann normiert.

Der Einbeziehung des Spezialisierungsgrads der Mitarbeiter in die Berechnung der Personalabhängigkeit liegt die Annahme zugrunde, dass der Ausfall eines Mitarbeiters mit einem höheren Spezialisierungsgrad schwieriger zu kompensieren ist als der eines Mitarbeiters mit niedrigerem Spezialisierungsgrad. Der Spezialisierungsgrad wird näherungsweise über den Anteil der Beschäftigten mit Hochschulabschluss (Statistik der Bundesagentur für Arbeit 2012) ermittelt und über alle Branchen normiert.

Im Vergleich mit den anderen Sektoren weist der Fahrzeugbau die höchste Personalintensität, die Elektroindustrie hingegen den höchsten Spezialisierungsgrad der Mitarbeiter vor. Von diesem Vergleich zweier eng miteinander verbundener Branchen wird deutlich, wie wesentlich auch eine branchenübergreifende Bewertung der Vulnerabilität ist. Bei einem typischen Verhältnis zwischen Zulieferer und Abnehmer ist zu erwarten, dass personalbedingte Ausfälle in der Elektroindustrie auch Auswirkungen auf die Automobilindustrie haben werden. Die liefer- und nachfrageseitige Verflechtung und deren Einfluss auf die Vulnerabilität werden in Kapitel 3.3.6 untersucht.

3.3.5 INFRASTRUKTURABHÄNGIGKEIT

Die Abhängigkeit von Elektrizität und Wasser wird über die **spezifischen Verbräuche** und einen speziellen **Abhängigkeitsfaktor** quantifiziert. Die Verwendung der Verbrauchswerte (Statistisches Bundesamt 2013c, 2013d) folgt aus der Annahme, dass ein hoher Bedarf an Wasser oder Elektrizität im Falle einer Beeinträchtigung kaum zu substituieren ist. Dies gilt besonders für die Chemieindustrie, die große Mengen Wasser für die Aufrechterhaltung der Produktionsprozesse benötigt (mit 2.822 Mio. Kubikmetern Wasserverbrauch im Jahr 2010 Spitzenreiter unter den betrachteten Industriesektoren) und gleichzeitig den höchsten Energiebedarf aufweist. Die Chemieindustrie kann damit hinsichtlich des Wasser- und Energieverbrauchs bereits als Ausreißer angesehen werden und wurde daher nicht in die Normierung der Indikatorwerte über die Branchen eingeschlossen. Stattdessen wurde ihr manuell ein Infrastrukturabhängigkeitswert von 1,0 zugeordnet. Diese Vorgehensweise sorgt dafür, dass die relative Vulnerabilität der verarbeitenden Industrie durch die Normierung nicht zu stark absinkt und dadurch in ihrem Einfluss unterschätzt wird. Die Abhängigkeitsfaktoren sind wie schon bei Merz (2011) der Literatur entnommen (ATC 2002).

Zur Bewertung der Vulnerabilität durch die Abhängigkeit von einem bestimmten Transportmittel werden Daten des Statistischen Bundesamtes zu den Anteilen der Beförderungsmengen nach Güterabteilungen über Schiene, Straße oder Schiff der einzelnen Branchen verwendet. Hier muss angemerkt werden, dass einzelne Verkehrsmittel sich nicht zwangsläufig ausschließen. Wie die Ergebnisse des Statistischen Bundesamtes zeigen, ist deutschlandweit der gebräuchlichste Weg des Warentransports nach wie vor die Straße. Der Gütertransport auf dem Neckar fällt mit 7,3 Mio. Tonnen vergleichsweise gering aus (Statistisches Bundesamt 2014c). Jedoch liegen mit dem Rhein und den Häfen in Karlsruhe, Mannheim und Ludwigshafen auch bedeutendere Umschlagsplätze in unmittelbarer Nähe der betrachteten Region, sodass auch für die Metropolregion Stuttgart der deutschlandweite Branchentrend in der Verkehrsnutzung angenommen werden kann. Damit wird in dieser Kategorie erhoben, in welchem Maße Unternehmen in den verschiedenen Wirtschaftssektoren ihre **Verkehrsnutzung** diversifizieren. Somit stehen für jeden Wirtschaftssektor die relativen Anteile der Gütertransportmengen für die drei Verkehrsträger zur Verfügung. Die Streuung dieser Anteile wird nun über die **Standardabweichung** berechnet und diese wiederum über die Werte der wesentlichen industriellen Güter und Produkte normiert.

Den Spitzenwert bei der Abhängigkeit von einem bestimmten Transportmittel erreicht die Textilindustrie. Hier findet der Transport vorrangig über die Straße statt. Rohstoffe wie Kohle oder Mineralölzeugnisse weisen jedoch eine deutlich breitere Diversifikation auf, was sich in einem niedrigeren Indikatorwert ausdrückt. Problematisch ist hierbei, dass die Aufteilung, die das Statistische Bundesamt wählt, nicht nach WZ 2008 vorgenommen wurde, sondern nach transportierten Gütern geordnet ist. Dies erfordert eine Schätzung für die WZ-Bereiche 17-18, das Papiergewerbe, 22, die Gummi- und Kunststoffindustrie, 26-27, die Elektroindustrie sowie für 41-43, das Baugewerbe, und 35-36, die Energie- und Wasserversorgung. Dem Papiergewerbe wird mit 0,90 ein Wert zwischen dem der Nahrungsmittelindustrie und der Holzindustrie zugeordnet. Der Wert für die Gummiindustrie wird gleich dem Glasgewerbe angesetzt und der Wert der Elektroindustrie auf den des Maschinenbaus gesetzt. Das Baugewerbe wird mit 0,80 bewertet. Hier wird

durch die Abhängigkeit von Vorprodukten oder Rohstoffen und die unterschiedlichen Einsatzgebiete eine breitere Diversifikation angenommen. Bei der Energie- und Wasserversorgung jedoch werden die Bedingungen als starr angenommen und der Wert entsprechend auf 1,0 gesetzt. Damit wird der überwiegend durch bauliche Maßnahmen vorgegebenen Infrastruktur, die zur Energie- und Wasserversorgung genutzt wird, Rechnung getragen.

3.3.6 SUPPLY-CHAIN-ABHÄNGIGKEIT

Wie in Kapitel 3.3.4 bereits erwähnt, ist die Vulnerabilität einer Branche angesichts der engen Vernetzung der Industriezweige längst nicht isoliert zu betrachten. Durch Kaskadeneffekte können Betriebsausfälle in einem Sektor zu weiteren schwerwiegenden Folgen in einem anderen Sektor führen. Um diese Problematik aufzugreifen, wurde zur Bestimmung der liefer- und nachfrageseitigen Verflechtung die für das Land Baden-Württemberg regionalisierte Input-Output-Tabelle des Bundes (Statistisches Bundesamt 2013b) analysiert. Typischerweise bildet diese in drei Teilbereichen den gegenseitigen Austausch zwischen allen Sektoren, deren Beziehung nach außen zu den Endverbrauchern und die Importe einer Volkswirtschaft ab. Für die Länder werden diese ausführlichen Zusammenstellungen seit einigen Jahrzehnten bereits nicht mehr angeboten, da sie zum einen auf Landesebene sehr schwer zu erheben sind und zum anderen sich die Nachfrage nach diesen Daten in Grenzen hielt. Im Rahmen der Schadensabschätzung bei Naturkatastrophen interessiert sich die Wissenschaft jedoch zunehmend stärker für regionale Wirtschaftsdaten. So stellen Flegg & Tohmo (2011) eine Herangehensweise vor, die die Regionalisierung der Input-Output-Tabelle des Bundes über die sektoralen Beschäftigtenzahlen ermöglicht, indem sie Faktoren liefert, mit denen die nationalen Werte transformiert werden. Die benötigten Daten werden somit auf die nationale Input-Output-Tabelle, wie sie das statistische Bundesamt zur Verfügung stellt, und die Beschäftigungsstatistiken des Bundes und des Landes, wie sie die Arbeitsagenturen erstellen, reduziert. Solange die Angaben den Wirtschaftsabteilungen und –gruppen WZ 2008 (Statistisches Bundesamt 2007) zuzuordnen sind, lassen sich die einzelnen Tabellen im Sinne dieser Methode in Relation setzen.

Die Methode zur Regionalisierung von Input-Output-Tabellen wurde auch für diese Untersuchung angewandt, um die liefer- und nachfrageseitige Verflechtung der Industrien abschätzen zu können. Diese Teilergebnisse, die über die modifizierte Input- beziehungsweise Output-Koeffizienten-Matrix gewonnen werden, liefern im Vergleich einen binären Indikator, der eine Branche als **Schlüsselindustrie** bezeichnet oder nicht. Die grundsätzliche Vorgehensweise folgt dabei der von Merz (2011) vorgestellten Methodik. Ergibt die Analyse dieser regionalisierten Daten für eine Branche sowohl hinsichtlich der Verflechtung in Richtung der Zulieferer als auch in Richtung weiterer Abnehmer einen Wert, der überproportional hoch ist, d. h. größer als 1,0, dann gilt die Branche als Flaschenhals der gesamten Supply-Chain. Der Wert des eigentlichen Indikators liegt dann bei 1, andernfalls liegt er bei 0. Entlang der Lieferketten können somit bestimmte Punkte eine erhöhte Kritikalität aufweisen, was in der Analyse der Vulnerabilität durch eine extreme Höhe des Indikatorwerts (1 oder 0) zum Ausdruck kommt.

Die Berechnungen ergeben für das Land Baden-Württemberg einige Branchen, die besonderer Beachtung bedürfen. So liegt das Ergebnis der berechneten Supply-Chain-Abhängigkeit des im Land stark vertretenen Fahrzeugbaus lieferseitig nur sehr knapp unter 1,0, während sich die Branche in ihrer nachfrageseitigen Verflechtung als deutlich überproportional vernetzt erweist. Der Fahrzeugbau ist damit trotz seiner wirtschaftlichen Bedeutung in der Metropolregion Stuttgart hinsichtlich der Vernetzung kein Schlüsselsektor. Anders ist dies beispielsweise bei der Elektroindustrie, der Herstellung von Metallerzeugnissen sowie der Chemieindustrie. Den höchsten Wert der Vernetzung in beide Richtungen nimmt die Metallerzeugung ein. Erwähnenswert ist bei dieser Bewertung die Energie- und Wasserversorgung. Diese Industrien sind zwar Grundpfeiler der industriellen Wertschöpfung, weisen allerdings naturgemäß nur eine geringe lieferseitige Ver-

flechtung auf. Daher fallen beide Industrien – trotz ihrer ansonsten hohen Relevanz – bezüglich des Kriteriums der interindustriellen Verflechtung nicht weiter ins Gewicht.

Die Ergebnisse der Indikatorberechnung sind durch die Berechnung auf Basis von Bundes- und Landesstatistiken noch nicht gemeindespezifisch für das Untersuchungsgebiet verwendbar. Daher findet im nächsten Schritt ein Abgleich mit den in den Gemeinden tatsächlich vorhandenen Industriesektoren statt, um räumlich aufgelöste Aussagen zur sektorspezifischen Vulnerabilität der Industrie treffen zu können. Es gilt jedoch zu beachten, dass das vorgestellte Modell zwar in der Wissenschaft Anwendung findet (vgl. Kowalewski 2012), die Möglichkeiten zur Validierung jedoch begrenzt sind. Neben der liefer- und abnehmerseitigen Verflechtung einer Branche, welche ihre Bedeutung im wirtschaftlichen Netzwerk anzeigt, ist innerhalb der Branche der Materialeinsatz ein Indikator für die Abhängigkeit von hochspezialisierten Roh- und Hilfsmitteln oder Vorprodukten. Dies folgt dem Gedanken, dass ein höherer Materialeinsatz auf einen höheren Spezialisierungsgrad des verwendeten Materials zurückzuführen ist und somit die Flexibilität in der Beschaffung negativ beeinträchtigt. In der Veröffentlichung des Statistischen Bundesamts (2013a) wird der Anteil des Materialeinsatzes auch prozentual vom Umsatz angegeben und kann somit direkt verwendet werden. Der Indikator beschreibt also die **spezifischen Materialkosten** eines Sektors.

3.3.7 VERSCHNEIDUNG DER SEKTORSPEZIFISCHEN VULNERABILITÄT MIT RÄUMLICH AUFGELÖSTEN DATEN ZUR ANZAHL DER UNTERNEHMEN PRO BRANCHE

In der Analyse sollte neben der allgemeinen Vulnerabilität auch die sektorspezifische Vulnerabilität auf Gemeindeebene untersucht werden. Zu diesem Zweck wurde intensiv nach Daten zur räumlichen Verteilung der Industriesektoren in der Metropolregion Stuttgart recherchiert. Eine Anfrage bei der Industrie- und Handwerkskammer (IHK) blieb ergebnislos. Die Mitgliederdaten dürfen dort allein für den Bestimmungszweck der Kammer erhoben und verwendet werden und stehen daher nicht für wissenschaftliche Untersuchungen zur Verfügung.

Aus diesem Grund wurde für die Untersuchung der sektorspezifischen Vulnerabilität anstelle einer offiziellen Quelle die Internet-Unternehmensdatenbank www.firmendb.de verwendet. In dieser Datenbank können sich Unternehmen, geordnet nach Branchen, registrieren lassen, um so von potentiellen Kunden gefunden zu werden. Daraus wurden für die betrachteten Branchen die Anzahl registrierter Unternehmen in den betrachteten Gemeinden in der Metropolregion Stuttgart ausgelesen. In dieser Datenbank mit 7504 Unternehmen, aufgeteilt auf 16 Branchen, sind pro Gemeinde durchschnittlich 15 Einträge enthalten. Laut statistischem Bundesamt sind in der betrachteten Region nur 4048 Unternehmen im verarbeitenden Gewerbe registriert. Die Abweichungen lassen sich unter anderem dadurch erklären, dass die betrachteten Branchen auch Industriezweige außerhalb des verarbeitenden Gewerbes umfassen, wodurch sich eine Erhöhung der Unternehmensanzahl ergibt. Für die Betrachtung der absoluten Anzahl der Unternehmen wurde die amtliche Statistik des Statistischen Landesamts verwendet. Die Verteilung der Unternehmen auf die Kreise in der Metropolregion Stuttgart ist in Abbildung 6 dargestellt.

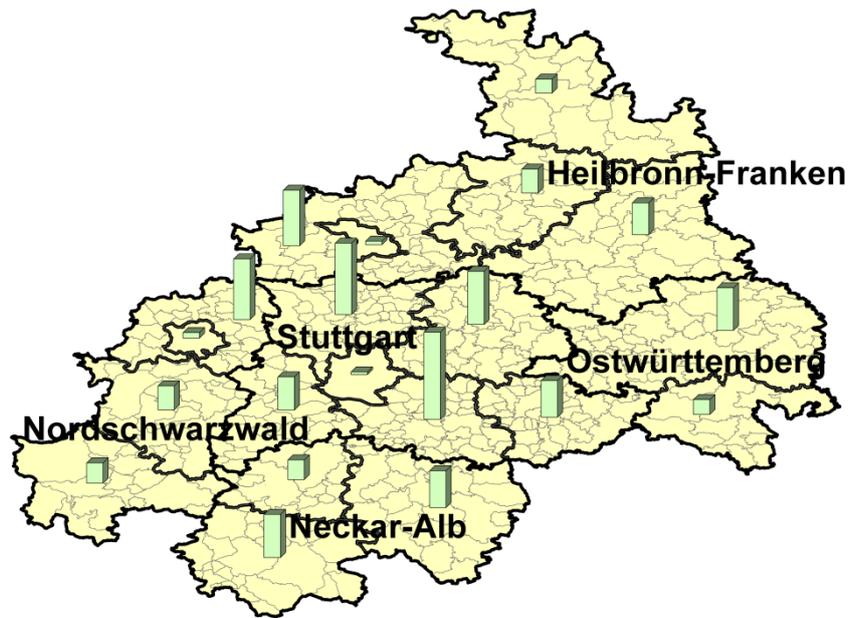


Abbildung 6: Anzahl der Unternehmen in den Kreisen. Quelle: Firmendb.de.

Durch das Verschneiden der sektorspezifischen Vulnerabilität mit der Anzahl der Unternehmen pro Sektor aus der firmendb.de-Datenbank kann dann ein räumlich aufgelöster sektorspezifischer Vulnerabilitätswert in der Analyse berücksichtigt werden.

3.4 ÜBERSICHT ÜBER ALLE INDIKATOREN

In den folgenden Tabellen sind die Indikatoren für die drei betrachteten Kategorien „Allgemein“, „Klimatische Veränderungen“ und „Sektorspezifische Vulnerabilität“ noch einmal zusammengefasst dargestellt.

Indikator	Quelle
Gemeindefläche	LGL-BW (2013)
Einwohnerzahl und -dichte	Statistisches Landesamt (2013)
Anzahl und Summe Industriegebäude	LUBW (2013)

Tabelle 3: Übersicht über die allgemeinen Indikatoren zur Struktur der Metropolregion Stuttgart.

Indikator	Quelle
Veränderung der Anzahl an Eistagen von 1971 bis 2000 und 2021 bis 2050	IMK-TRO
Veränderung der Anzahl an Frosttagen von 1971 bis 2000 und von 2021 bis 2050	
Veränderung der Anzahl an heißen Tagen von 1971 bis 2000 und von 2021 bis 2050	
Veränderung der Anzahl an Trockentagen von 1971 bis 2000 und von 2021 bis 2050	
Veränderung der Anzahl Tagen mit Starkniederschlag von 1971 bis 2000 und von 2021 bis 2050	
Veränderung der maximalen Windgeschwindigkeiten 1971 bis 2000 und 2021 bis 2050	

Tabelle 4: Übersicht über die Indikatoren zur Vulnerabilität gegenüber klimatischen Veränderungen.

Abhängigkeitsdimension	Indikator	Quelle
Betriebsmittelabhängigkeit	Spezifisches Anlagevermögen	Statistisches Bundesamt (2014c)
Personalabhängigkeit	Personalintensität	Statistik der Bundesagentur für Arbeit (2012)
	Anteil Mitarbeiter mit Hochschulabschluss	Statistik der Bundesagentur für Arbeit (2012)
Infrastrukturabhängigkeit	Spezifischer Energieverbrauch	Statistisches Bundesamt (2013c)
	Elektrizitätsabhängigkeitsfaktor	ATC 2002
	Spezifischer Wasserverbrauch	Statistisches Bundesamt (2013d)
	Wasserabhängigkeitsfaktor	ATC 2002
	Spezifische Verkehrsnutzung	Statistisches Bundesamt (2014c)
Supply-Chain-Abhängigkeit	Verflechtungsgrad	Statistisches Bundesamt (2013b)
	Spezifische Materialkosten	Statistisches Bundesamt (2013a)

Tabelle 5: Übersicht über die Indikatoren zur Bestimmung der sektorspezifischen Vulnerabilität.

4 Die industrielle Vulnerabilität der Metropolregion gegenüber extremen Wetterereignissen

Im Folgenden sind die Ergebnisse der indikatorbasierten Vulnerabilitätsanalyse für die vier klimawandelinduzierten Extremwetterereignisse Hitze, Starkniederschläge, Stürme und Überschwemmungen dargestellt. Da bei der indikatorbasierten Vulnerabilitätsanalyse eine hohe Sensitivität der Ergebnisse hinsichtlich der ausgewählten Indikatoren und Gewichtungen besteht, wurde im Folgenden durch die Berechnung und Darstellung von verschiedenen Szenarien versucht, den unterschiedlichen Präferenzen kommunaler Entscheidungsträger gerecht zu werden.

Für jedes dargestellte Szenario wurde auf Basis der angegebenen Indikatoren und Gewichtungen ein Vulnerabilitätswert für jede der 480 Gemeinden im Betrachtungsgebiet berechnet. Aus Gründen der Übersichtlichkeit und um mit dieser Studie eine effektive Entscheidungsunterstützung zu gewährleisten, sind für jedes Szenario nur die zehn Gemeinden mit dem höchsten Vulnerabilitätswert angegeben. Durch die Darstellung dieser begrenzten Anzahl an Gemeinden mit der höchsten Bewertung wird bezweckt, dass Gemeinden mit einer besonders deutlich hervorstechenden Vulnerabilität (im Vergleich zu anderen Gemeinden im Untersuchungsgebiet) für dieses Thema stärker sensibilisiert werden. So können lokalen Entscheidungsträgern entsprechende Maßnahmen zum Schutz oder zur Anpassung an die genannten Risiken nahegelegt werden, bei denen eine weitergehende Untersuchung und Implementierung geboten erscheint.⁸

4.1 BESCHREIBUNG DER SZENARIEN

Die im Folgenden dargestellten Szenarien für die Ereignisse Hitze, Starkniederschläge und Stürme sind wie folgt gegliedert:

1. **Szenario x-1:** Untersuchung von ausschließlich allgemeinen Indikatoren, die die wirtschaftliche und Bebauungsstruktur in der Gemeinde widerspiegeln.
Erläuterung: Hier sind stets die urbanen Gemeinden auf Grund ihrer hohen Anzahl an Industrieunternehmen, Gebäuden und Einwohnern führend. Auf Basis dieses Szenarios lässt sich folgern: Viel Industrie ist gleichbedeutend mit einer hohen Vulnerabilität. Hieraus lassen sich jedoch keine Schlussfolgerungen hinsichtlich der Vulnerabilität gegenüber bestimmten Schadensereignissen oder auf Grund der vorliegenden Branchenstruktur ableiten.
2. **Szenario x-2:** Untersuchung von allgemeinen Indikatoren und der klimatischen Veränderung als absoluten Wert (z. B. Anstieg der Anzahl heißer Tage) in einer Gemeinde mit einer Gleichgewichtung der allgemeinen Indikatoren (in Summe 50 Prozent) und einer Gewichtung der klimatischen Veränderung von 50 Prozent.

⁸ Den Auftraggebern wurde in elektronischer Form eine Übersicht über die Indikatorbewertungen aller Gemeinden zur Verfügung gestellt.

Erläuterung: Aus diesem Szenario lassen sich bereits Schlussfolgerungen hinsichtlich der Vulnerabilität gegenüber dem untersuchten Schadensereignis ableiten, da hier die Kombination aus wirtschaftlicher und Bebauungsstruktur sowie klimatischer Veränderung dargestellt ist.

3. **Szenario x-3:** Untersuchung von allgemeinen Indikatoren und der klimatischen Veränderung als prozentualer Wert (z. B. prozentualer Anstieg der Anzahl heißer Tage) in einer Gemeinde mit einer Gleichgewichtung der allgemeinen Indikatoren (in Summe 50 Prozent) und einer Gewichtung der klimatischen Veränderung von 50 Prozent.

Erläuterung: Der Untersuchung der prozentualen klimatischen Veränderung liegt die Annahme zu Grunde, dass Unternehmen in Gemeinden mit schwierigeren klimatischen Bedingungen, wie z. B. einer hohen Anzahl an heißen Tagen, daran bereits angepasst sind und daher nur die prozentuale Veränderung der klimatischen Bedingungen ein relevanter Indikator für die Vulnerabilität der Unternehmen ist.

4. **Szenario x-4:** Untersuchung von allgemeinen Indikatoren und der klimatischen Veränderung als prozentualer Wert (z. B. prozentualer Anstieg der Anzahl heißer Tage) in einer Gemeinde mit einer Gleichgewichtung aller betrachteten Indikatoren.

Erläuterung: Da die Gewichtung der Indikatoren einen starken Einfluss auf das Gesamtergebnis hat und in den Szenarien x-2 und x-3 die klimatische Veränderung mit 50 Prozent relativ hoch gewichtet wurde, ist hier zum Vergleich noch der Vulnerabilitätswert bei Gleichgewichtung aller betrachteten Indikatoren dargestellt. Dieses Szenario stellt damit ein mittleres Szenario zwischen dem Szenario x-1 und x-3 dar.

5. **Szenario x-5:** Untersuchung von allgemeinen Indikatoren und der sektorspezifischen Vulnerabilität in einer Gemeinde mit einer Gleichgewichtung der allgemeinen Indikatoren (in Summe 50 Prozent) und einer Gewichtung der sektorspezifischen Vulnerabilität von 50 Prozent.

Erläuterung: Dieses Szenario basiert auf der Annahme, dass außer der wirtschaftlichen und Bebauungsstruktur die gemeindespezifische Industriestruktur einen genauso hohen Einfluss auf die Vulnerabilität gegenüber dem untersuchten Schadensereignis hat. Bei den Ergebnissen weisen hier Gemeinden, die über viele Industrieunternehmen verfügen, eine hohe Vulnerabilität auf. Allerdings sind hier auch teilweise Gemeinden unter den zehn Gemeinden mit der höchsten Vulnerabilität zu finden, die zwar nur über wenige Industrieunternehmen verfügen, diese aber einem besonders vulnerablen Sektor zuzuordnen sind. Falls eine Störung oder die Einstellung des Betriebs dieser wenigen Unternehmen gravierende wirtschaftliche Konsequenzen für die Gemeinde hätte, sollten hier dringend Schutzmaßnahmen getroffen werden.

6. **Szenario x-6:** Untersuchung von allgemeinen Indikatoren und der sektorspezifischen Vulnerabilität in einer Gemeinde mit einer Gleichgewichtung aller Indikatoren.

Erläuterung: Da die sektorspezifische Vulnerabilität mit einiger Unsicherheit behaftet ist, ist sie in diesem Szenario im Vergleich zum Szenario x-5 weniger stark gewichtet. Die Interpretation kann analog zu Szenario x-5 erfolgen.

7. **Szenario x-7:** Untersuchung von allgemeinen Indikatoren, der klimatischen Veränderung als Absolutwert und der sektorspezifischen Vulnerabilität mit einer Gewichtung von je 33,33 Prozent (bezogen auf die Summe der Gewichtung der allgemeinen Indikatoren).

Erläuterung: Versteht man Vulnerabilität als eine Kombination aus der wirtschaftlichen und Bebauungsstruktur, der klimatischen Veränderung und der sektorspezifischen Anfälligkeit, sind in diesem Szenario alle drei Indikatorgruppen berücksichtigt und gleichgewichtet. Das heißt, Gemeinden mit einem

hohen Indikatorwert in diesem Szenario sind auf Grund ihrer allgemeinen Struktur, ihrer vulnerablen Industriestruktur und prognostizierter starker klimatischer Veränderungen als sehr vulnerabel einzustufen.

8. **Szenario x-8:** Untersuchung von allgemeinen Indikatoren, der prozentualen klimatischen Veränderung und der sektorspezifischen Vulnerabilität mit einer Gleichgewichtung aller Indikatoren. **Erläuterung:** In diesem Szenario ist wiederum die Kombination aus der wirtschaftlichen und Bebauungsstruktur, der prozentualen klimatischen Veränderung und der sektorspezifischen Vulnerabilität dargestellt. Durch die Gleichgewichtung aller Indikatoren kann die Interpretation analog zu Szenario x-7 erfolgen, nur dass in diesem Szenario im Vergleich zu Szenario x-7 die allgemeinen, strukturellen Indikatoren stärker ins Gewicht fallen.

Für die Untersuchung der Vulnerabilität gegenüber Hochwasser ist in Kapitel 4.6 eine gesonderte Erläuterung gegeben.

4.2 WIE KÖNNEN DIE ERGEBNISSE GELESEN WERDEN?

Die Vielzahl von Indikatoren und möglichen Gewichtungen erlauben eine nahezu unbegrenzte Anzahl von Aggregations- und Interpretationsmöglichkeiten. Bei der Präsentation vorläufiger Ergebnisse im Rahmen des Expertenworkshops wurden bereits nach kurzer Zeit die unterschiedlichen Präferenzen verschiedener Anwender in einer angeregten Diskussion deutlich. Um dieser Eigenschaft von Indikatorenmodellen Rechnung zu tragen und die Robustheit der Ergebnisse beurteilen zu können wurden für die betrachteten Ereignisse jeweils bis zu acht Szenarien mit unterschiedlicher Gewichtung und Indikatorenzusammensetzung dargestellt. Diese Vorgehensweise macht die Darstellung der Ergebnisse zwar einerseits sehr umfangreich. Andererseits sind die Autoren dieser Studie bemüht, durch den konsistenten Aufbau und die Benennung der Szenarien hinsichtlich Gewichtung und gewählter Indikatoren ein leichtes Verständnis der Ergebnisse zu ermöglichen.

Zunächst sind für jedes Szenario die berechneten Indikatorwerte für die zehn als am vulnerabelsten identifizierten Gemeinden als Balkendiagramme dargestellt. Aus diesen Balkendiagrammen ist zudem der Anteil eines einzelnen Indikators am Gesamtvulnerabilitätswert der Gemeinde erkennbar. In Abbildung 7 ist beispielhaft ein solches Balkendiagramm dargestellt, das im Folgenden im Detail erläutert werden soll. Die Interpretation der weiteren Diagramme in den betrachteten Szenarios kann dann analog erfolgen. Die Abbildung zeigt die Gemeinden, die in Summe für die betrachteten Indikatoren „Anzahl der Unternehmen im verarbeitenden Gewerbe“, „Anzahl der Beschäftigten im verarbeitenden Gewerbe“, „Einwohnerdichte“ und „Anteil der bebauten Fläche an der Gemeindefläche“ den höchsten Vulnerabilitätsindex aufweisen. Neben dem Diagramm ist die Gewichtung der Indikatoren angegeben, hier jeweils 25%, d.h. dass alle Indikatoren gleich gewichtet wurden.

Ein Indikator ist, wie in Kapitel 3 erläutert, eine dimensionslose, normierte Zahl, die den Grad der Ausprägung eines bestimmten Merkmals für die betrachtete Gemeinde im Vergleich zu den anderen betrachteten Gemeinden angibt. Aus Abbildung 7 ist ersichtlich, dass Pforzheim im Vergleich zu den anderen dargestellten Gemeinden eine sehr hohe Anzahl an Unternehmen im verarbeitenden Gewerbe aufweist, der gelbe Balken ist entsprechend erkennbar größer. Da in die Normierung nur die Anzahl Unternehmen in den 480 betrachteten Gemeinden in der Metropolregion Stuttgart eingeflossen sind, lässt sich daraus keine Aussage zur Anzahl der Unternehmen im verarbeitenden Gewerbe in Pforzheim im Vergleich zu Berlin ableiten. Dahingegen ist für die Gemeinde Asperg erkennbar, dass die Anzahl der Unternehmen und Beschäftigten im verarbeitenden Gewerbe im Vergleich zu den anderen Gemeinden sehr gering ist. Hier wird die Summe des

Vulnerabilitätsindex maßgeblich von der im Vergleich zu den anderen betrachteten Gemeinden hohen Bebauungs- und Einwohnerdichte (grüner und blauer Balken) bestimmt.

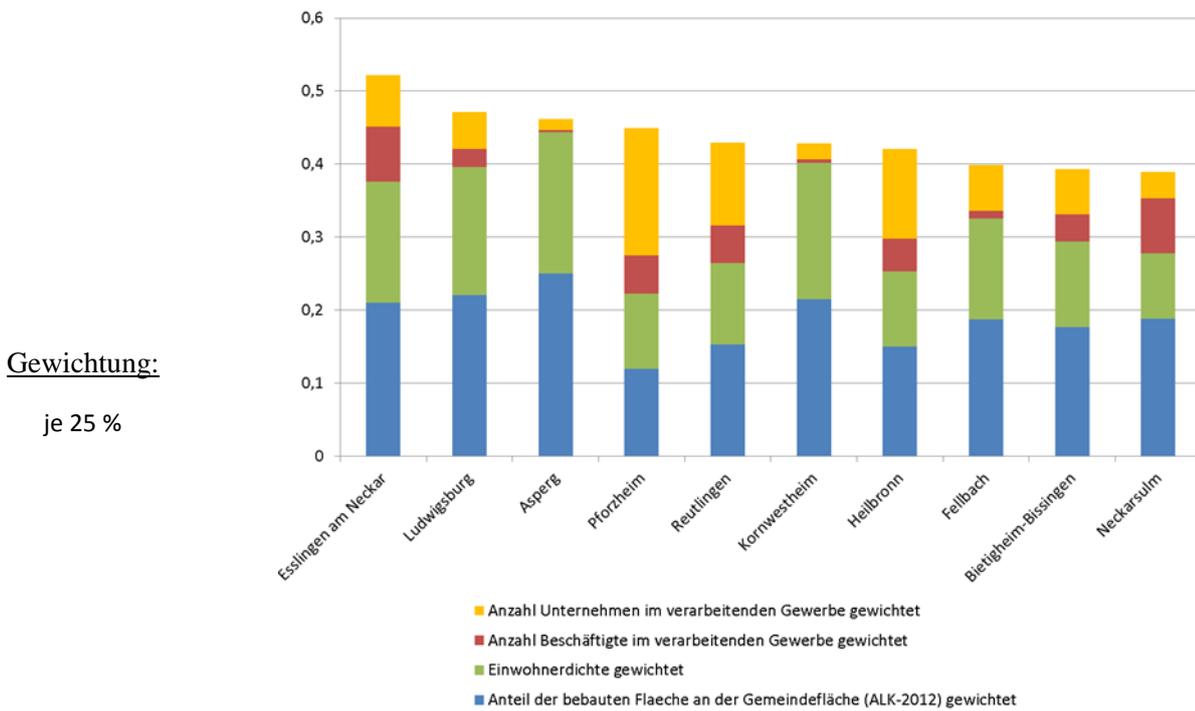


Abbildung 7: Beispieldiagramm zur Betrachtung allgemeiner Indikatoren.

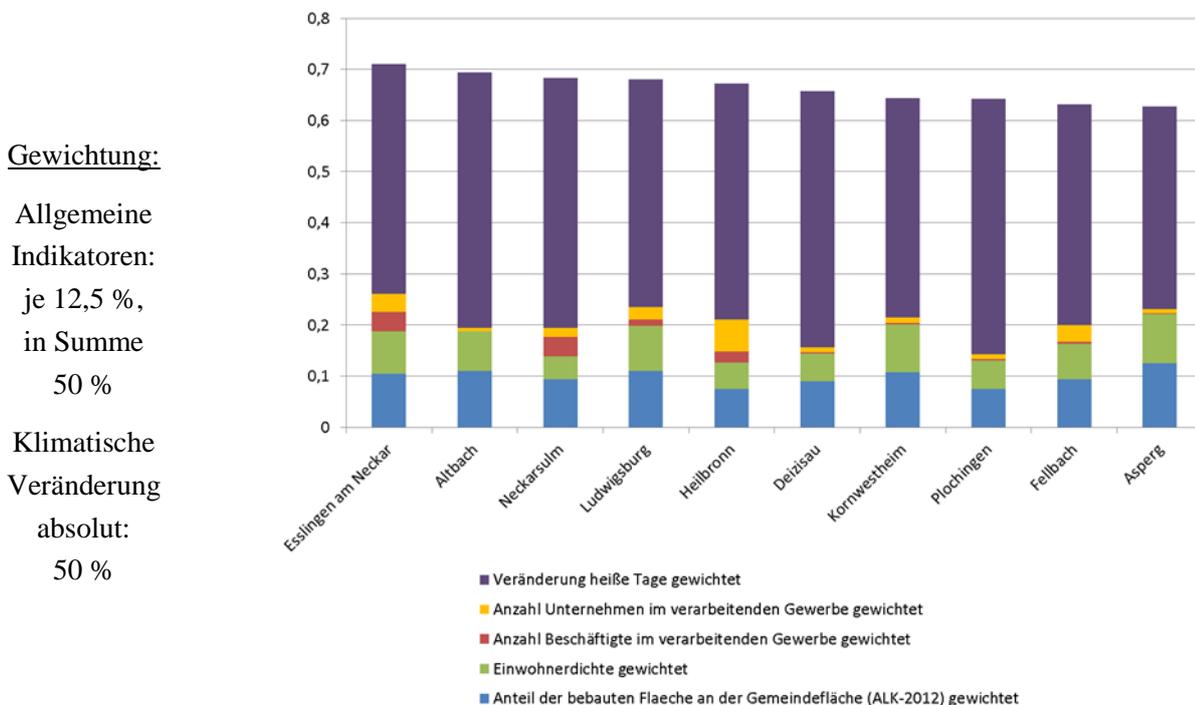


Abbildung 8: Beispieldiagramm zur Betrachtung allgemeiner Indikatoren und klimatischer Veränderungen.

Als weiteres Beispiel ist in Abbildung 8 ein Szenario mit Berücksichtigung der klimatischen Veränderung (hier: absolute Veränderung der Anzahl heißer Tage) dargestellt. In diesem Szenario wird der Indikator zur klimatischen Veränderung mit 50 Prozent genauso hoch gewichtet wie die anderen vier allgemeinen Indika-

toren in Summe. Es ist also eine Gleichgewichtung von „Klimaindikator“ und „allgemeinen Indikatoren“ dargestellt. Die Einbeziehung dieses weiteren Indikators führt zu einer Verschiebung der zehn Gemeinden mit der höchsten Vulnerabilität.

Des Weiteren wird auf Grund des großen Betrachtungsgebiets von der Möglichkeit der Visualisierung mittels geographischer Informationssysteme Gebrauch gemacht. So folgt auf jeweils vier Szenarien, für die nur die zehn als am vulnerabelsten identifizierten Gemeinden dargestellt sind, eine geographische Übersichtskarte über alle Gemeinden, in der die Vulnerabilität als Farbschattierung dargestellt ist. Um den Umfang des Berichts zu begrenzen, wurden diese Übersichtskarten jeweils nur für ein von den Autoren als aussagekräftig eingeschätztes Szenario erstellt. Die Größe, Einwohner- und Unternehmenszahl des Stadtkreises Stuttgart übertrifft die der anderen betrachteten Gemeinden erheblich und weist gleichzeitig in allen betrachteten Szenarien die höchste Vulnerabilitätsbewertung auf. Um die mit dieser Dominanz einhergehende Redundanz und Verzerrung in der Darstellung zu vermeiden, wird dieser Stadtkreis im Folgenden nicht bei den zehn Gemeinden mit der höchsten Indikatorbewertung aufgeführt. Der Stadtkreis Stuttgart kann auf Grund seiner hoch verdichteten städtischen Struktur gegenüber allen Extremwetterereignissen als hoch vulnerabel angesehen werden.

Gemäß dem gewählten Ansatz werden allgemeine, klimatische und industriespezifische Indikatoren erhoben und in die Analyse miteinbezogen. Aus der linearen Normierung und der szenariospezifischen Gewichtung entstehen so Vulnerabilitätswerte für jede Gemeinde von 0 bis 1. Am Beispiel des Szenarios 1-1, einer Bewertung der allgemeinen Indikatoren auf der folgenden Seite, lässt sich die Visualisierung der Ergebnisse verdeutlichen. Die Gemeinde mit der höchsten Bewertung ist in diesem Fall Esslingen am Neckar. Das abgebildete Diagramm zeigt die Werte der zehn höchstbewerteten Gemeinden (Stuttgart ausgenommen) in den vier betrachteten Kategorien. Aus dem Vergleich dieser Balken untereinander lässt sich erschließen, dass die hohe Bewertung Esslingens aus hohen Indikatorwerten in allen vier betrachteten Kategorien hervorgeht – im Gegensatz zu Asperg etwa, wo die Anzahl der Industrieunternehmen (gelb) und Beschäftigter im verarbeitenden Sektor (rot) vergleichsweise gering ist, der Anteil der allgemein bebauten Fläche (blau) jedoch stark ausgeprägt ist und dementsprechend hoch bewertet wird.

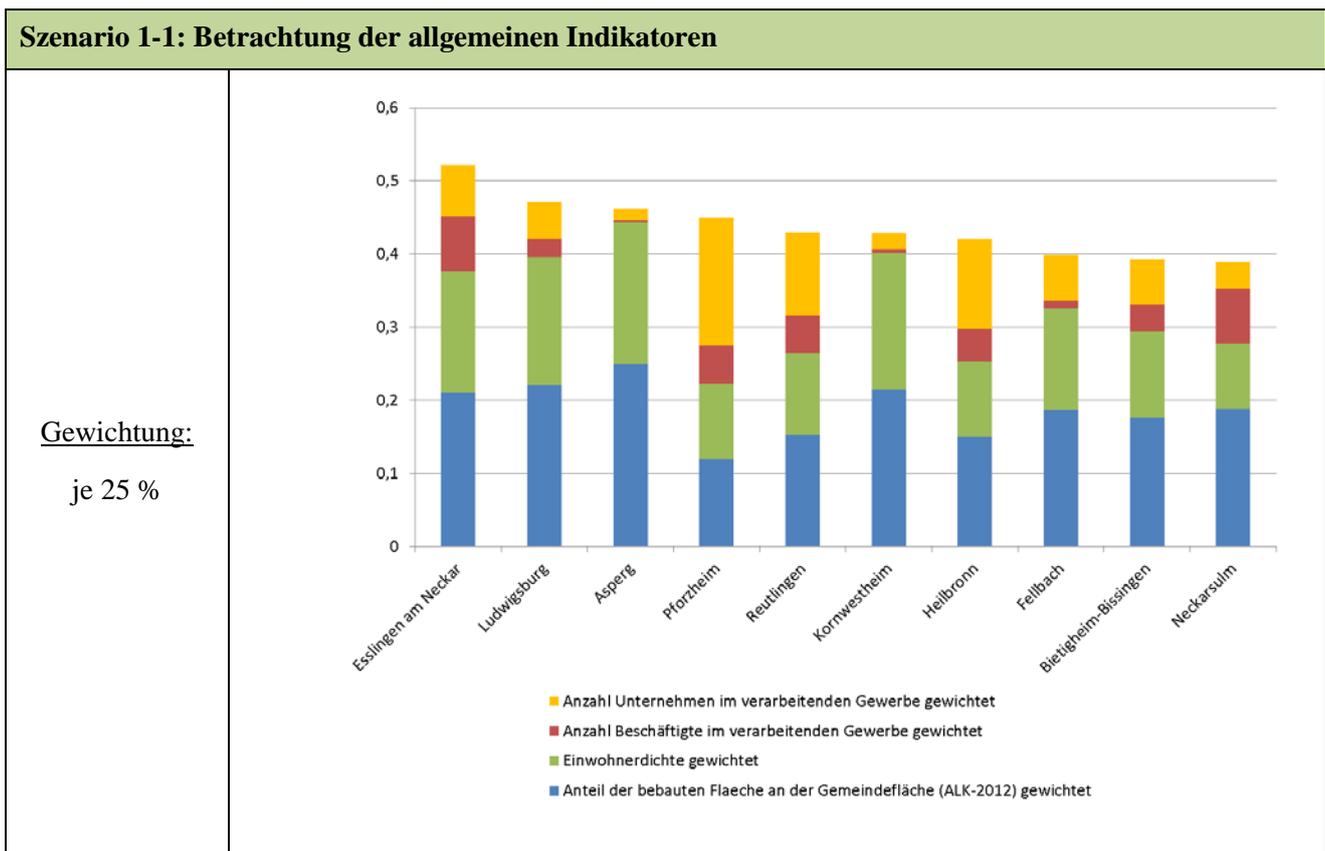
Wie die Vorbemerkung in Kapitel 4.1, die Erklärung der eingeführten Szenarien, verdeutlicht, ändert sich mit jedem Szenario einerseits der Umfang der betrachteten Indikatoren, andererseits aber auch die Gewichtung. Dieser große Umfang an Szenarien und Abbildungen, Balkendiagrammen und Indikatoren soll den unterschiedlichen Präferenzen verschiedener Leser Rechnung tragen. Wie bereits in Abbildung 4 angekündigt, gibt es bei einer Indikatorenbewertung keine einzige „richtige“ Lösung. Bereits bei der Definition und Auswahl der Indikatoren geht die den Ursprungsdaten innewohnende Objektivität der Information schrittweise verloren, indem sie mit relativierenden Größen (etwa der Anzahl der Betriebe) verrechnet werden. Dieser künstliche Bezug und alle weiteren Anwendungen bringen Unsicherheiten mit sich, führen allerdings zu dem wünschenswerten Ziel, die Daten gemeinsam interpretieren und vergleichen zu können.

Prinzipiell gilt: Die folgenden Ergebnisse basieren auf einer Methode, die einen schnellen Vergleich über die Gemeindegrenzen hinweg zulässt, die allgemein zugängliche und gleichartige Daten für jede Teilregion verwendet, jedoch auf dem Weg zur Vergleichbarkeit gewisse Pauschalisierungen in Kauf nehmen muss. Vor diesem Hintergrund wird der Vollständigkeit wegen der Umfang der Analyse und Datenverarbeitung angegeben. Jedoch werden für die Interpretation der Ergebnisse vorrangig die Szenarien x-8 verwendet, die eine Gleichgewichtung aller Indikatoren vorsehen.

4.3 VULNERABILITÄT GEGENÜBER HITZE

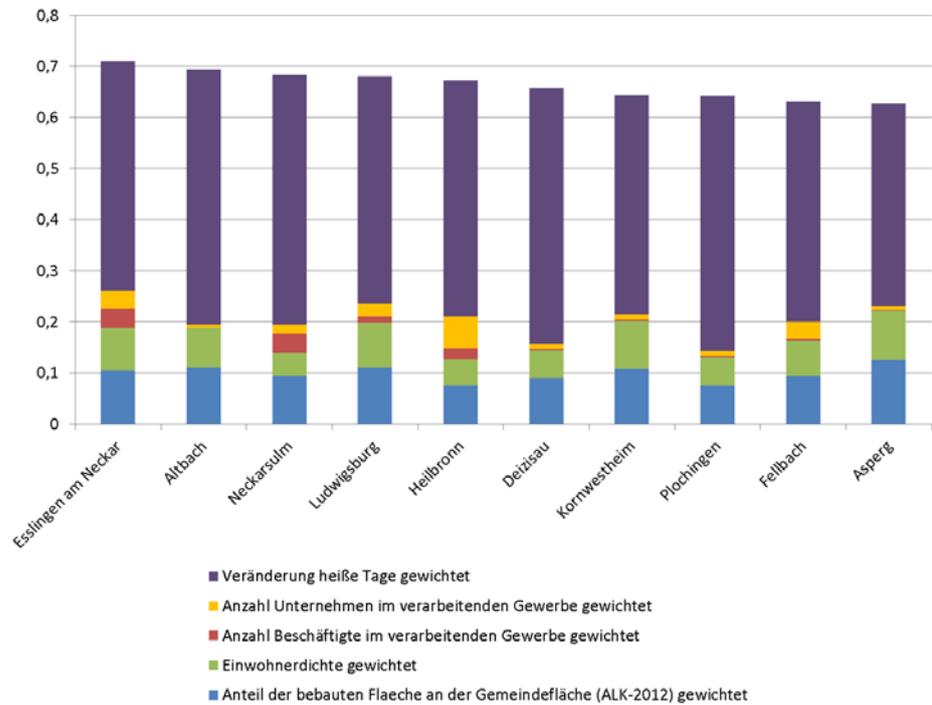
Wie in Kapitel 3.2.3 bereits dargestellt, werden nach den Klimaprojektionen des IMK-TRO die Anzahl der heißen Tage, d. h. Tage mit einer Tagesmaximumtemperatur von über 30°C, um durchschnittlich 96 Prozent im Zeitraum von 2021 bis 2050 im Vergleich zum Zeitraum von 1971 bis 2000 (allein in Stuttgart von 124 Tagen im Zeitraum 1971 bis 2000 auf 239 Tage im Zeitraum von 2021 bis 2050) steigen. Hitze stellt dabei besonders für städtische Gebiete auf Grund des ausgeprägten Wärmeinseleffekts („urban-heat-island“) eine Herausforderung dar. In dicht bebauten Gebieten wird bei mangelnder Frischluftzufuhr die Wärme gespeichert, was zu einer erhöhten Belastung für Bewohner und Berufstätige wird. Daher wurden zur Analyse der Vulnerabilität gegenüber Hitze die folgenden allgemeinen Indikatoren ausgewählt:

- Einwohnerdichte
- Anteil der bebauten Fläche an der Gemeindefläche
- Anzahl der Unternehmen im verarbeitenden Gewerbe
- Anzahl der Beschäftigten im verarbeitenden Gewerbe



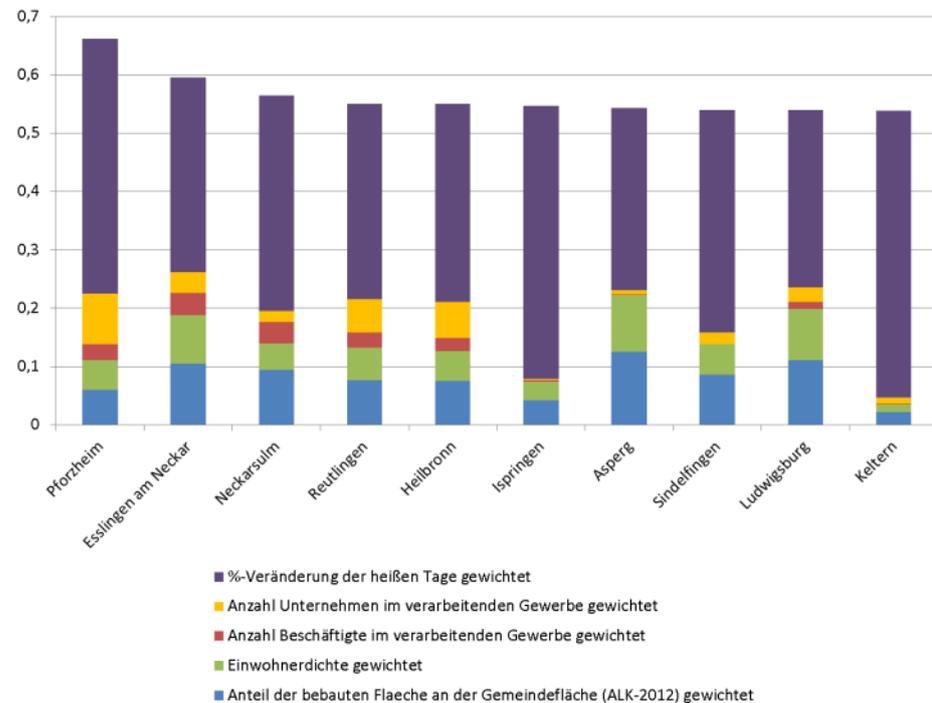
Szenario 1-2: Betrachtung der allgemeinen Indikatoren und der absoluten Veränderung der heißen Tage

Gewichtung:
 Allgemeine Indikatoren: je 12,5 %, in Summe 50 %
 Klimatische Veränderung absolut: 50 %



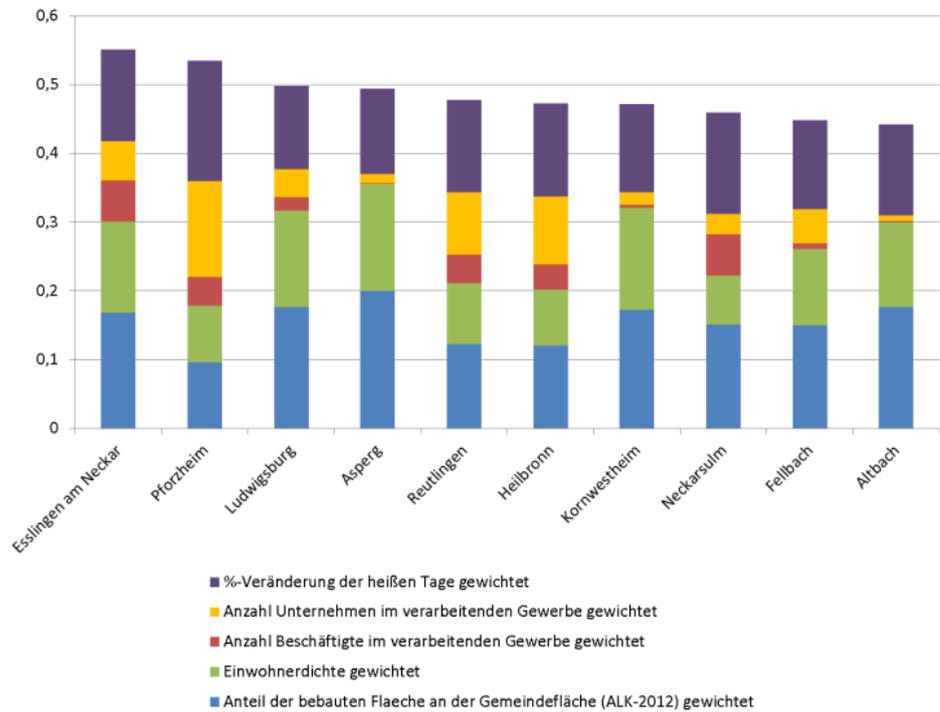
Szenario 1-3: Betrachtung der allgemeinen Indikatoren und der prozentualen Veränderung der heißen Tage

Gewichtung:
 Allgemeine Indikatoren: je 12,5 %, in Summe 50 %
 Klimatische Veränderung prozentual: 50 %



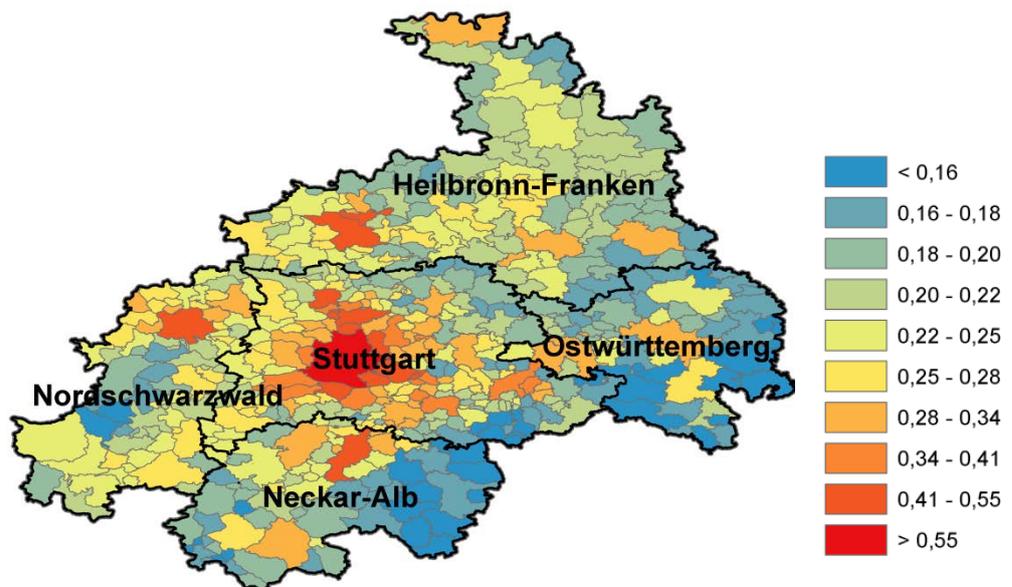
Szenario 1-4: Betrachtung der allgemeinen Indikatoren und der prozentualen Veränderung der heißen Tage

Gewichtung:
Allgemeine Indikatoren und klimatische Veränderung prozentual: je 20 %



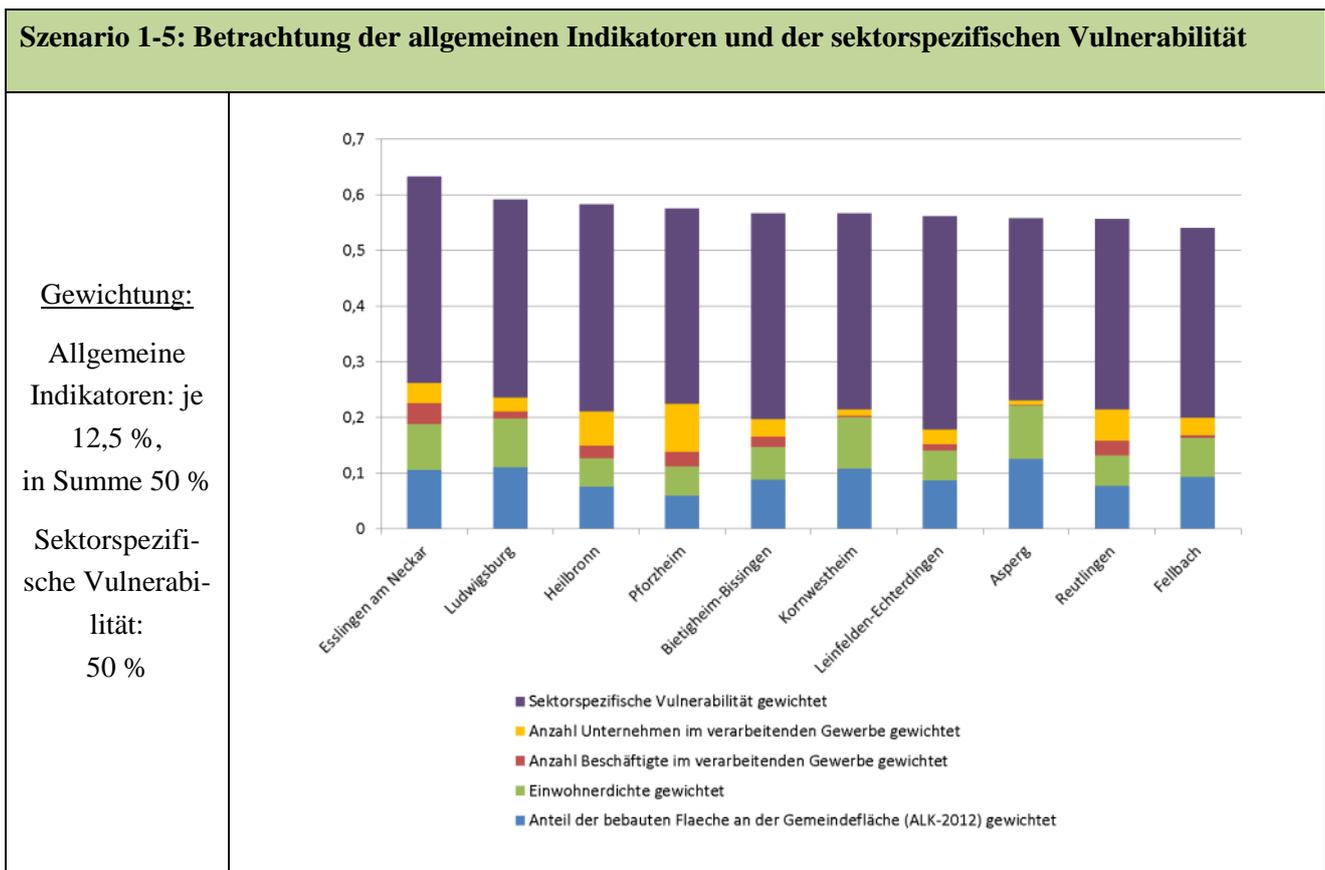
Szenario 1-4: Betrachtung der allgemeinen Indikatoren und der prozentualen Veränderung der heißen Tage

Gewichtung:
Allgemeine Indikatoren und klimatische Veränderung prozentual: je 20 %



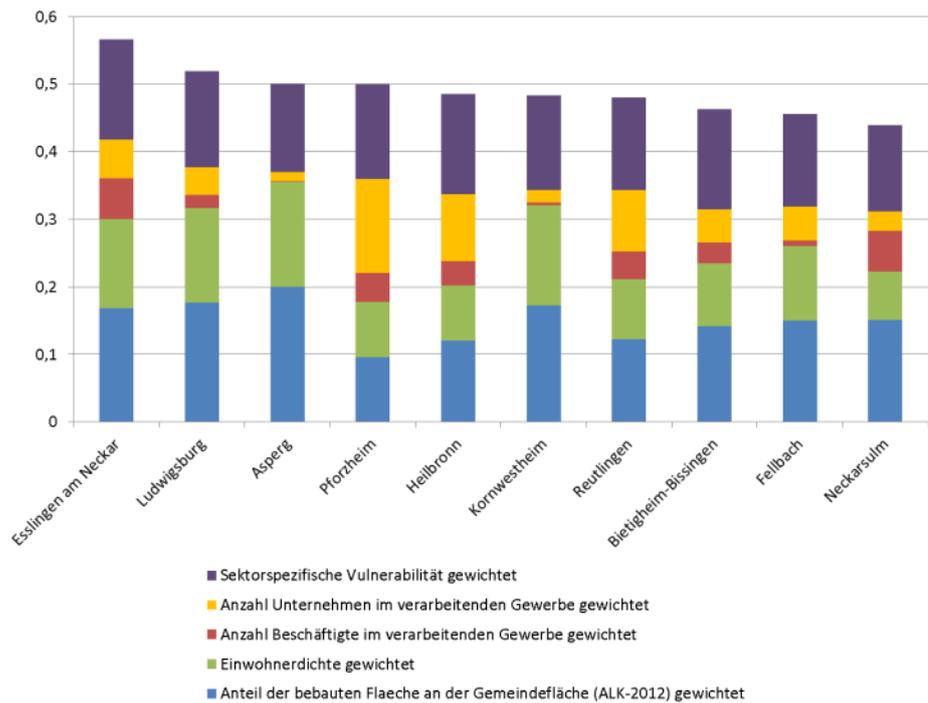
Auf Basis der dargestellten Szenarien ist deutlich zu erkennen, dass die Städte Esslingen am Neckar, Ludwigsburg, Pforzheim, Heilbronn, Neckarsulm, Fellbach, Reutlingen, Asperg und Kornwestheim in fast allen untersuchten Indikator-Gewichtungskombinationen unter den zehn Gemeinden mit der höchsten Indikatorbewertung sind. Folglich sind diese Gemeinden aufgrund ihrer Bebauungs- und Bevölkerungsdichte sowie der Unternehmens- und Mitarbeiteranzahl als besonders vulnerabel gegenüber einem durch den Klimawandel verursachten Anstieg der heißen Tage einzustufen. Eine Übersicht über die Indikatorwerte aller Gemeinden findet sich in der Übersichtskarte für Szenario 1-4.

In den folgenden Szenarien wurden die allgemeinen Indikatoren in Kombination mit der sektorspezifischen Vulnerabilität betrachtet (Szenario 1-5 und 1-6) sowie in Kombination mit der klimatischen Veränderung (Szenario 1-7 und 1-8). Daraus ergeben sich, je nach Gewichtung, weitere, insbesondere kleinere Gemeinden als besonders vulnerabel. Auch wenn in den Gemeinden Deizisau, Wolfschlungen und Ispringen die absolute Anzahl an Industrieunternehmen gering ist, so führt die Kombination aus sektorspezifischer Vulnerabilität auf Grund der Industriestruktur und prognostizierter relativer Veränderung der Anzahl an heißen Tagen zu einer hohen Vulnerabilität. Außerdem kann gerade in Gemeinden mit einer geringen Anzahl an Industrieunternehmen der Verlust eines Unternehmens mangels alternativer Beschäftigungsmöglichkeiten für die Bevölkerung und die lokale Wirtschaft gravierende Folgen haben.



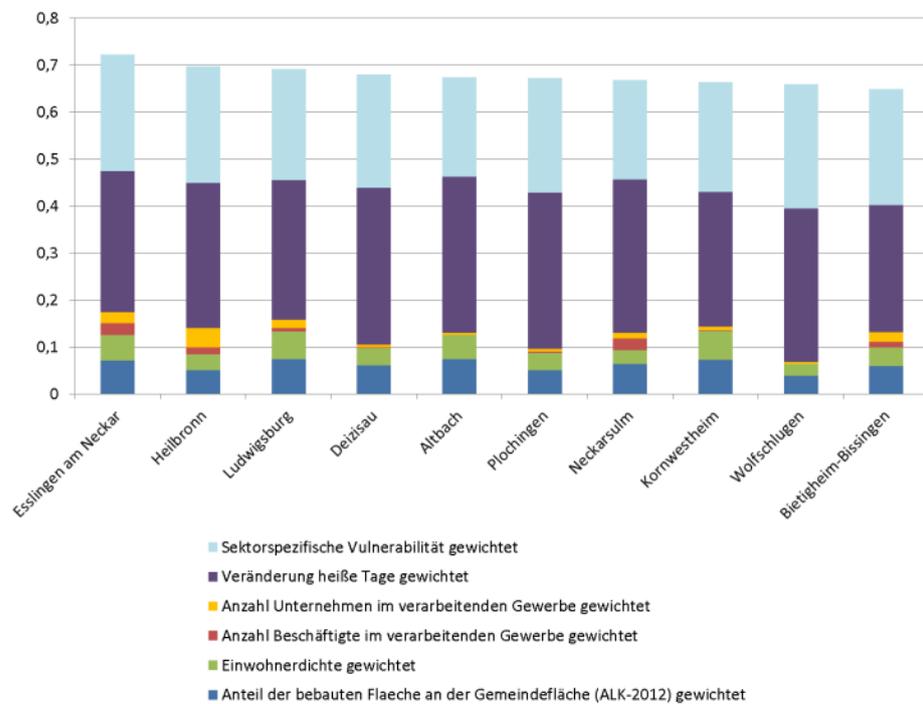
Szenario 1-6: Betrachtung der allgemeinen Indikatoren und der sektorspezifischen Vulnerabilität

Gewichtung:
Allgemeine Indikatoren und sektorspezifische Vulnerabilität: je 20 %



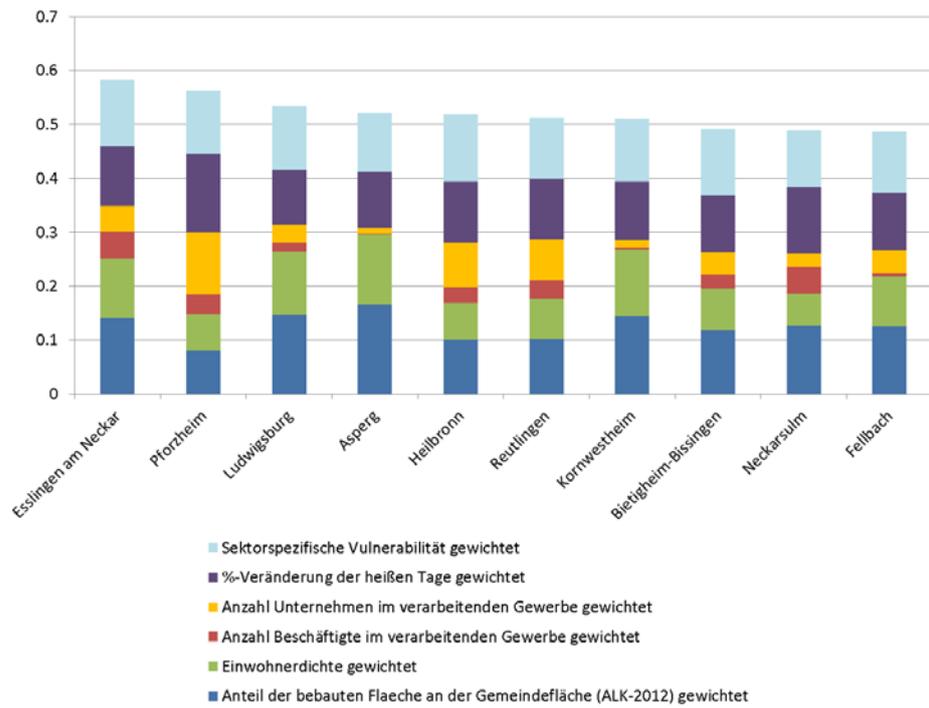
Szenario 1-7: Betrachtung der allgemeinen Indikatoren, absoluten Veränderung der heißen Tage und der sektorspezifischen Vulnerabilität

Gewichtung:
Allgemeine Indikatoren je 8,33 %, in Summe 33 %
Klimatische Veränderung absolut: 33,33 %
Sektorspezifischen Vulnerabilität: 33,33 %



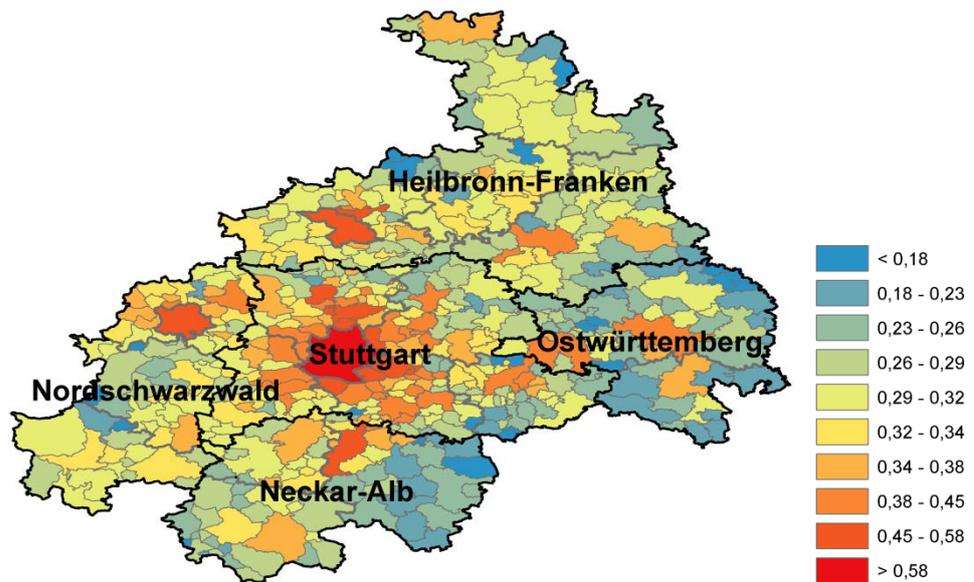
Szenario 1-8: Betrachtung der allgemeinen Indikatoren, prozentualen Veränderung der heißen Tage und der sektorspezifischen Vulnerabilität

Gewichtung:
Je 16,66 %



Szenario 1-8: Betrachtung der allgemeinen Indikatoren, prozentualen Veränderung der heißen Tage und der sektorspezifischen Vulnerabilität

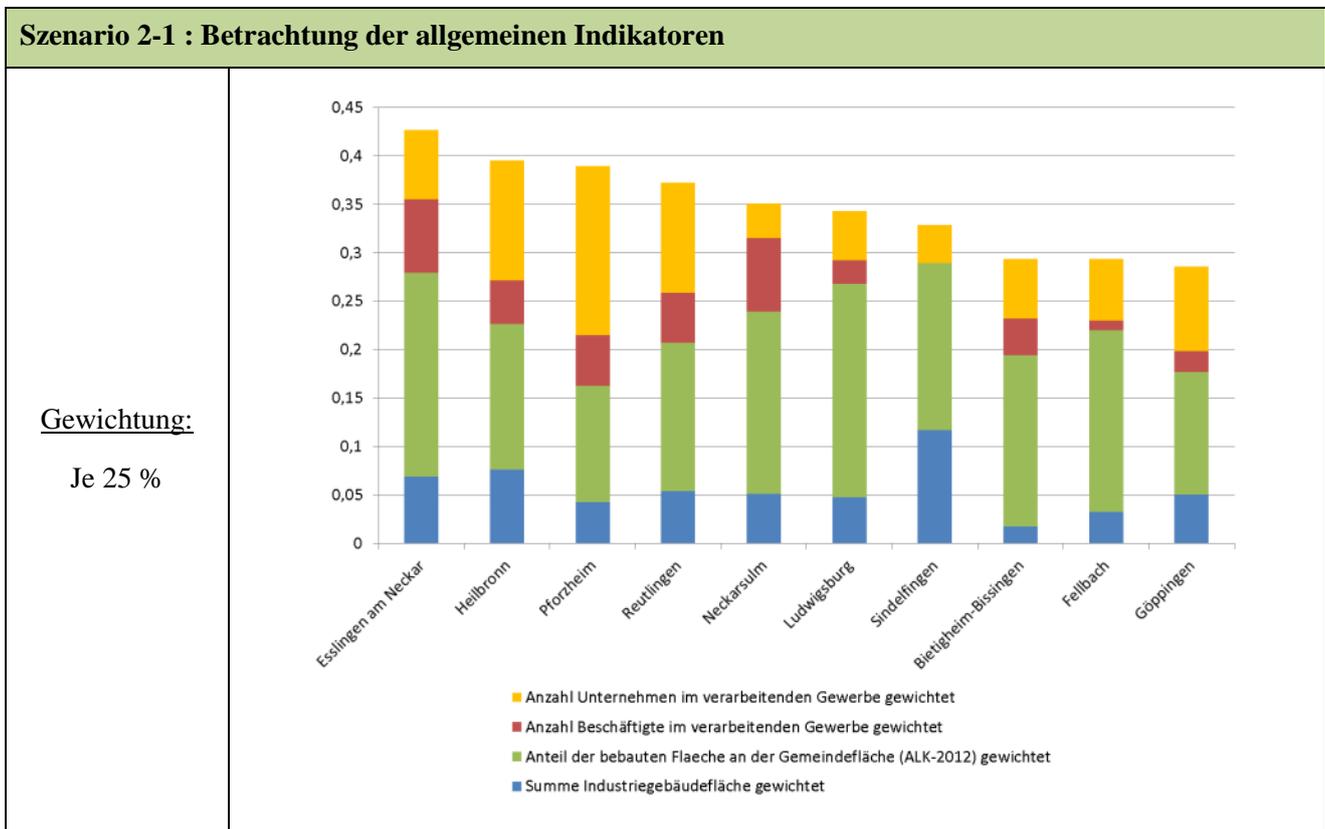
Gewichtung:
Je 16,66 %



4.4 VULNERABILITÄT GEGENÜBER STARKNIEDERSCHLÄGEN

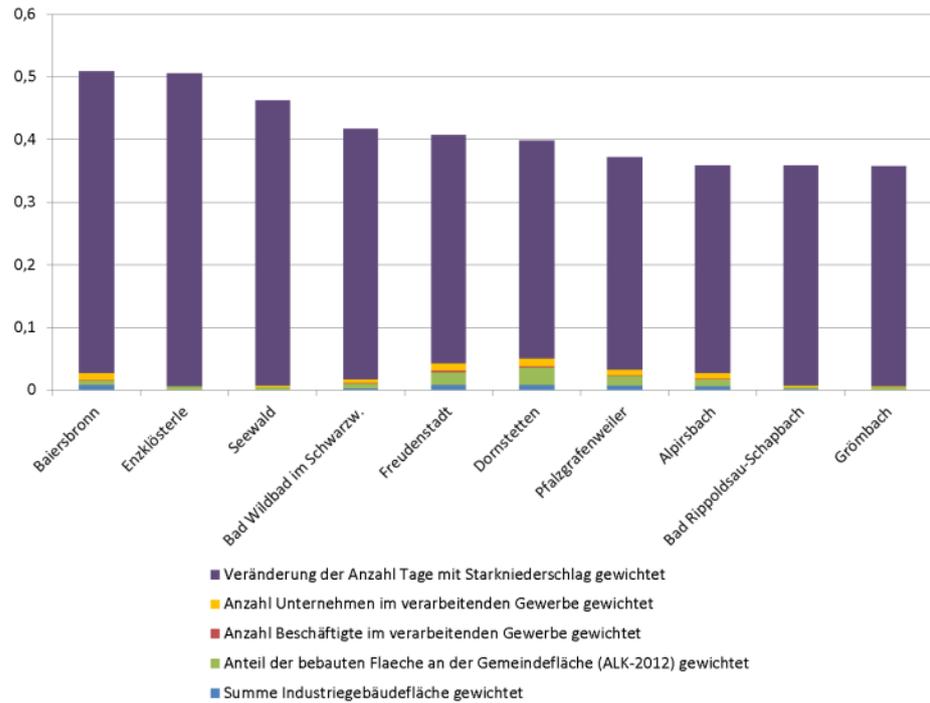
Den Klimaprojektionen des IMK-TRO folgend, werden die Tage mit Starkniederschlag, d. h. mit einer Niederschlagstagesumme von mehr als 25 Millimetern, um durchschnittlich 21 Prozent zunehmen. Bei Starkniederschlägen kann es bei fehlenden oder verstopften Abflüssen schnell zu lokalen Überschwemmungen oder Erdrutschen kommen. Ein hoher Versiegelungsgrad, d. h. ein hoher Anteil der bebauten an der gesamten Gemeindefläche wirkt sich dabei neben einer hohen Industriegebäudefläche als Risikofaktor aus. Zur Beurteilung der Vulnerabilität gegenüber Starkniederschlägen wurden die folgenden Indikatoren herangezogen:

- Summe der Industriegebäudefläche in einer Gemeinde
- Anteil der bebauten Fläche an der Gemeindefläche
- Anzahl der Unternehmen im verarbeitenden Gewerbe
- Anzahl der Beschäftigten im verarbeitenden Gewerbe



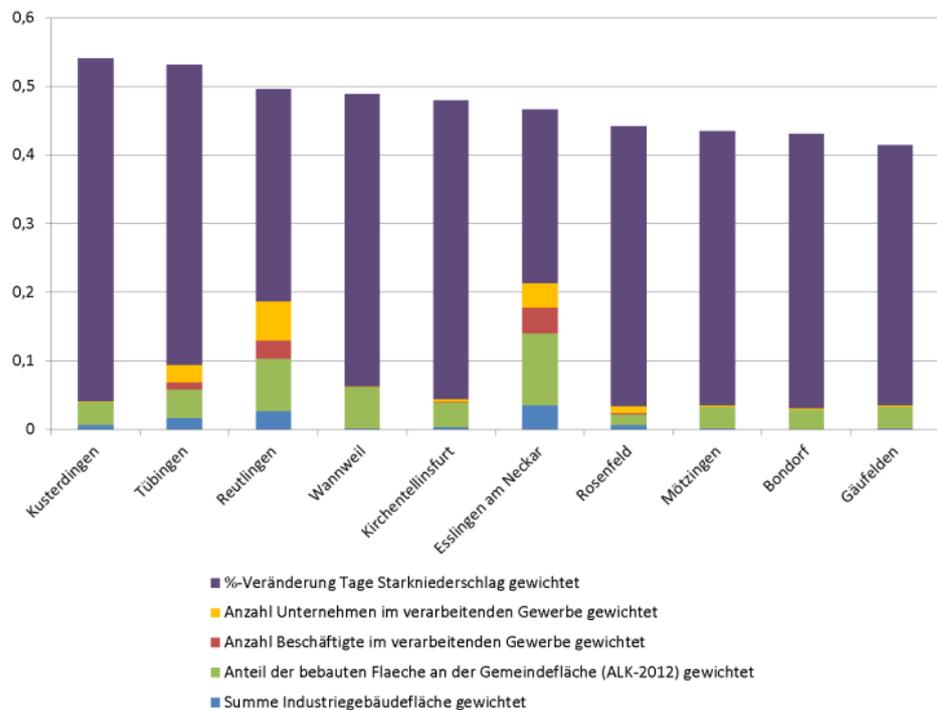
Szenario 2-2: Betrachtung der allgemeinen Indikatoren und der absoluten Veränderung der Anzahl von Tagen mit Starkniederschlag

Gewichtung:
Allgemeine Indikatoren: je 12,5 %, in Summe 50 %
Klimatische Veränderung absolut: 50 %



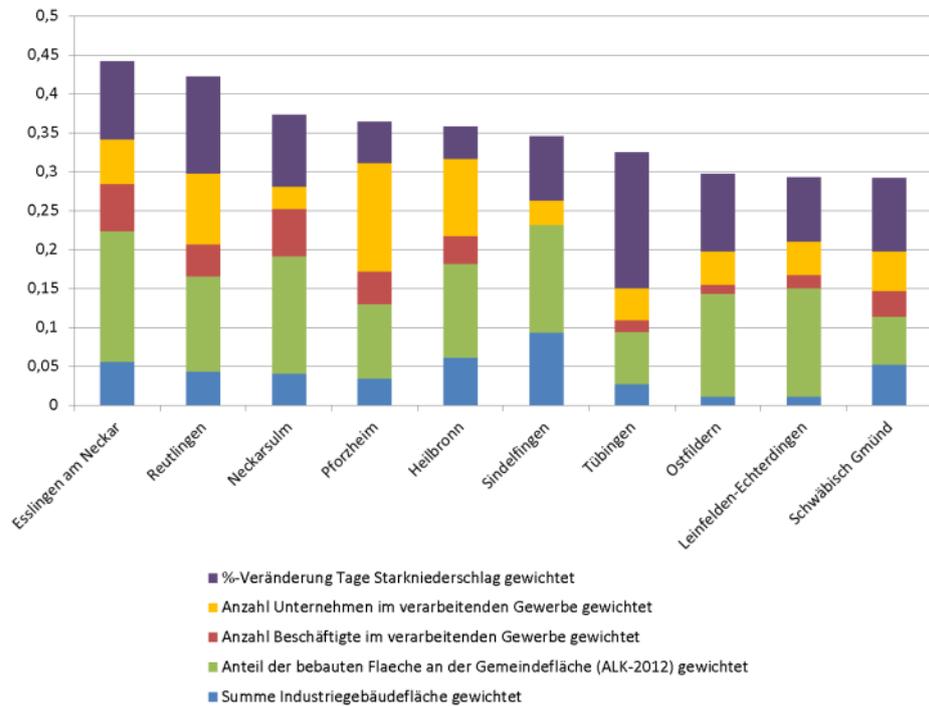
Szenario 2-3: Betrachtung der allgemeinen Indikatoren und der prozentualen Veränderung der Tage mit Starkniederschlag

Gewichtung:
Allgemeine Indikatoren: je 12,5 %, in Summe 50 %
Klimatische Veränderung prozentual: 50 %



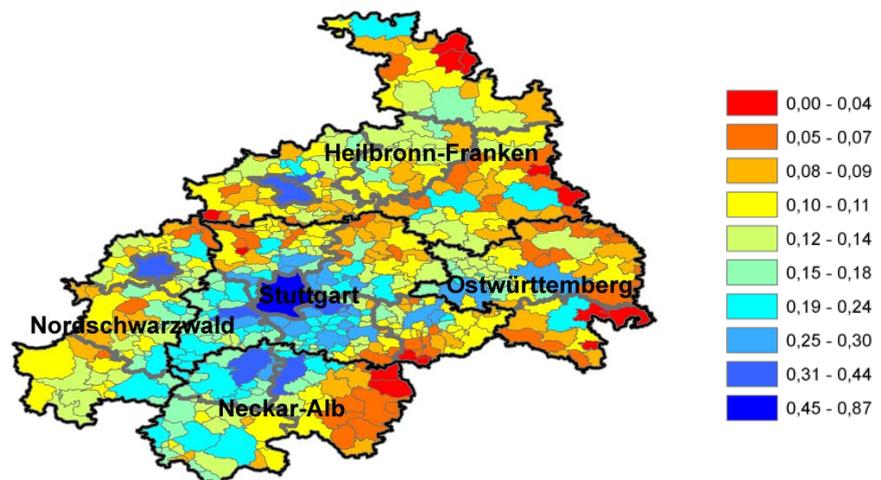
Szenario 2-4: Betrachtung der allgemeinen Indikatoren und der prozentualen Veränderung der Tage mit Starkniederschlag

Gewichtung:
Allgemeine Indikatoren und klimatische Veränderung prozentual: je 20 %



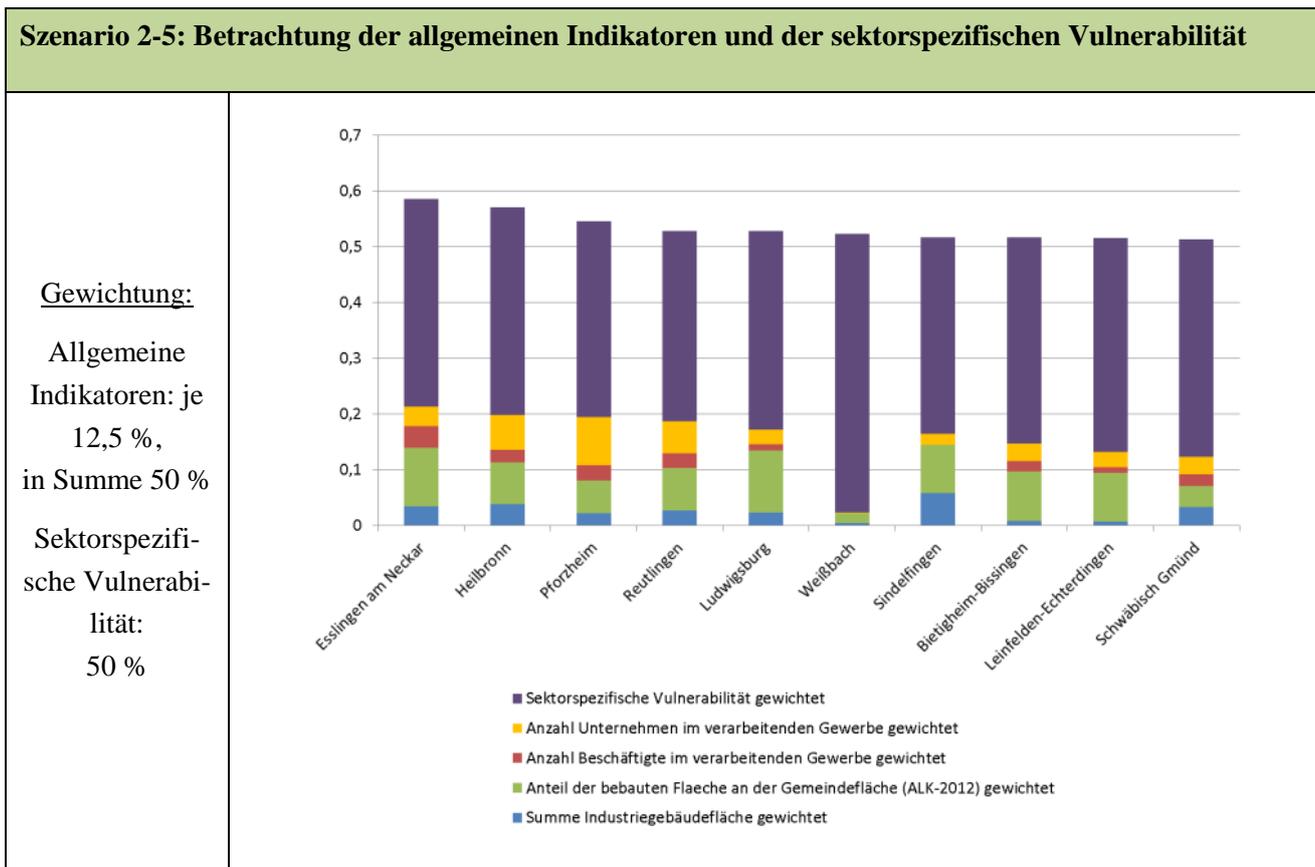
Szenario 2-4: Betrachtung der allgemeinen Indikatoren und der prozentualen Veränderung der Tage mit Starkniederschlag

Gewichtung:
Allgemeine Indikatoren und klimatische Veränderung prozentual: je 20 %



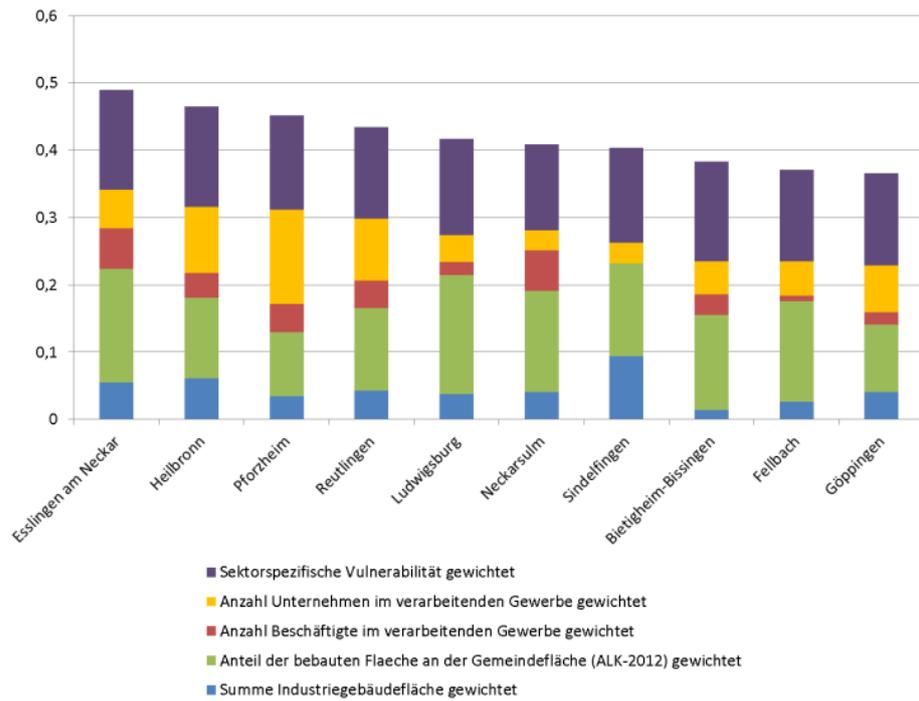
Bei Betrachtung der unterschiedlichen Indikator-Gewichtungskombinationen ist für dieses Szenario nicht sofort ersichtlich, welche Gemeinden am vulnerabelsten gegenüber Starkniederschlägen sind. Die Daten des IMK-TRO (siehe Kapitel 3.2.5) zeigen, dass insbesondere in Gemeinden in der Region Nordschwarzwald mit einem starken Anstieg der Tage mit Starkniederschlag im Zeitraum von 2021 bis 2050 gegenüber dem Zeitraum von 1971 bis 2000 zu rechnen ist. Folglich sind diese Gemeinden in der Region Nordschwarzwald bei einer 50-prozentigen Gewichtung des Indikators (Szenario 2-2) unter den zehn vulnerabelsten. Ohne diesen klimabezogenen Indikator (Szenario 2-1) oder bei Gleichgewichtung mit den anderen Indikatoren (Szenario 2-4) sind wieder die städtischen Standorte Esslingen am Neckar, Heilbronn, Pforzheim, Reutlingen, Neckarsulm und Sindelfingen unter den zehn vulnerabelsten Gemeinden gegenüber Starkniederschlägen. Wie eingangs dargestellt, ergeben sich die Vulnerabilitätswerte je nach Gewichtung durch eine entsprechende Industriedichte und klimatische Veränderung in den Gemeinden. Die Gemeinden in der Region Nordschwarzwald weisen hier auf Grund der geringeren Anzahl an Industrieunternehmen nur eine mittlere Vulnerabilität auf, obschon sie den vergleichsweise stärksten Anstieg der Starkniederschläge aufweisen.

In den folgenden Szenarien wird zusätzlich zu den allgemeinen Indikatoren und den Indikatoren zur klimatischen Veränderung noch die sektorspezifische Vulnerabilität betrachtet. Wie bereits in den Szenarien 2-1 und 2-2 ergeben sich auch für die Szenarien 2-6 und 2-7, d. h. ohne und mit Berücksichtigung der klimatischen Veränderung, unterschiedliche Gemeinden mit der höchsten Vulnerabilitätsbewertung auf Grund des stark im Nordschwarzwald konzentrierten Anstiegs der Tage mit Starkniederschlägen.



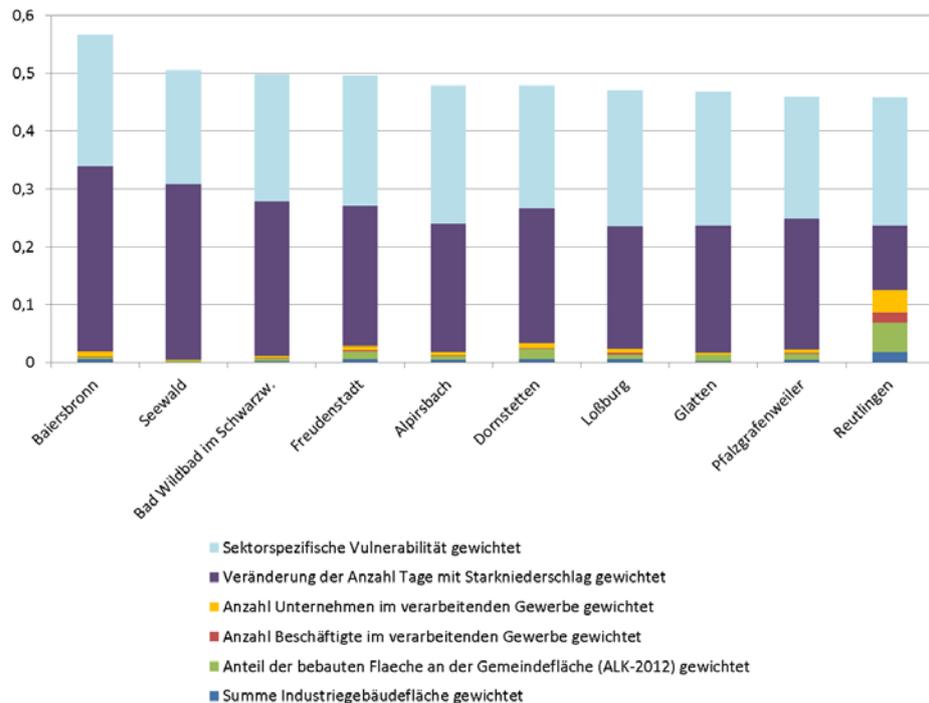
Szenario 2-6: Betrachtung der allgemeinen Indikatoren und der sektorspezifischen Vulnerabilität

Gewichtung:
Allgemeine Indikatoren und sektorspezifische Vulnerabilität: je 20 %



Szenario 2-7: Betrachtung der allgemeinen Indikatoren, der absoluten Veränderung der Tage mit Starkniederschlag und der sektorspezifischen Vulnerabilität

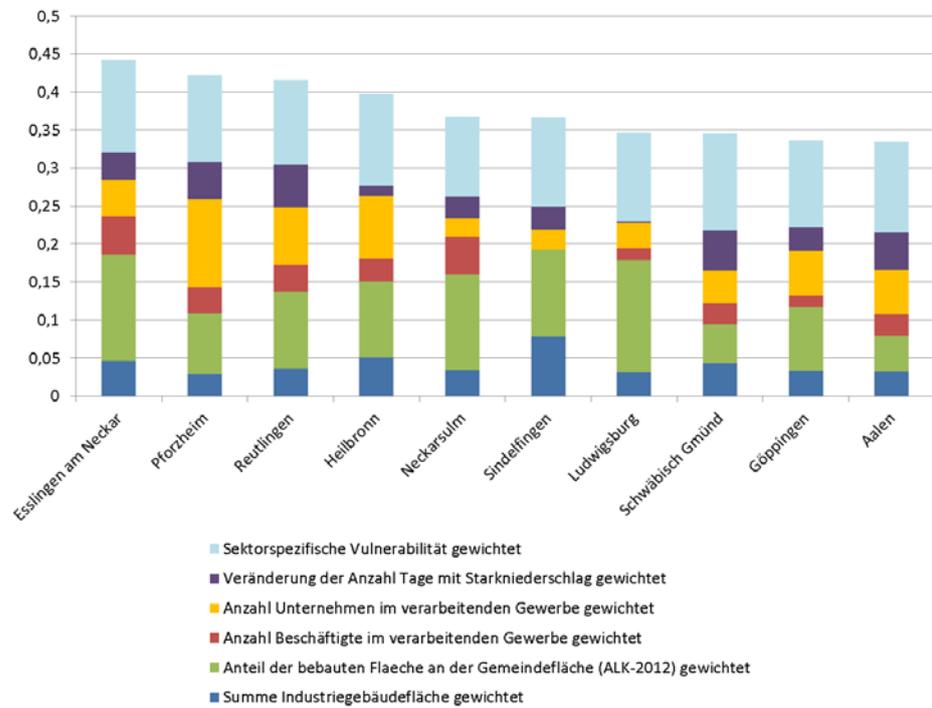
Gewichtung:
Allgemeine Indikatoren je 8,33 %, in Summe 33 %
Klimatische Veränderung absolut: 33,33 %
Sektorspezifische Vulnerabilität: 33,33 %



Szenario 2-8: Betrachtung der allgemeinen Indikatoren, der prozentualen Veränderung der Tage mit Starkniederschlag und der sektorspezifischen Vulnerabilität

Gewichtung:

Je 16,66 %



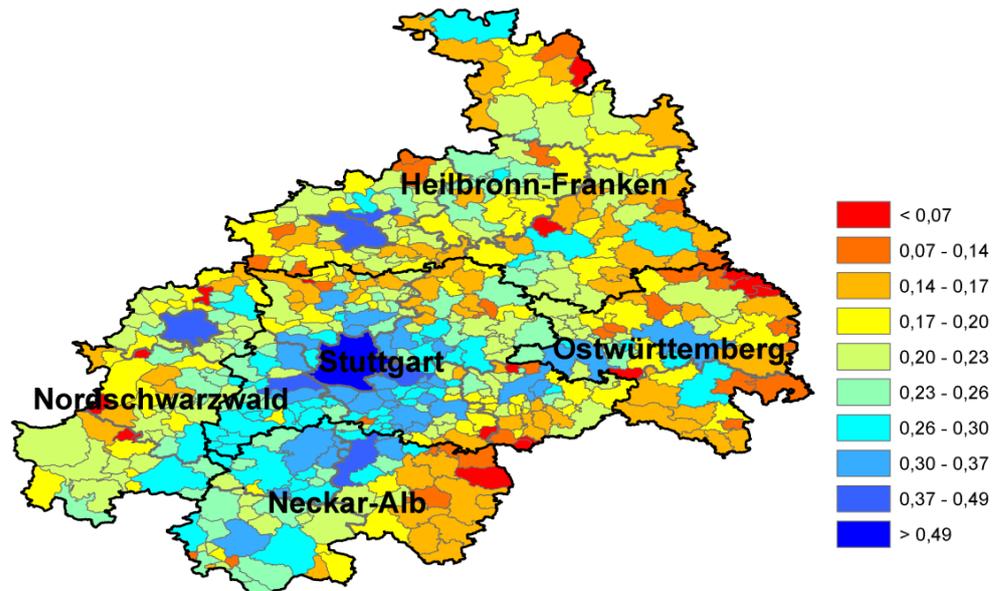
Szenario 2-8: Betrachtung der allgemeinen Indikatoren, der prozentualen Veränderung der Anzahl Tage mit Starkniederschlag und der sektorspezifischen Vulnerabilität

Gewichtung:

Allgemeine Indikatoren je 8,33 %, in Summe 33 %

Klimatische Veränderung prozentual: 33,33 %

Sektorspezifischen Vulnerabilität: 33,33 %

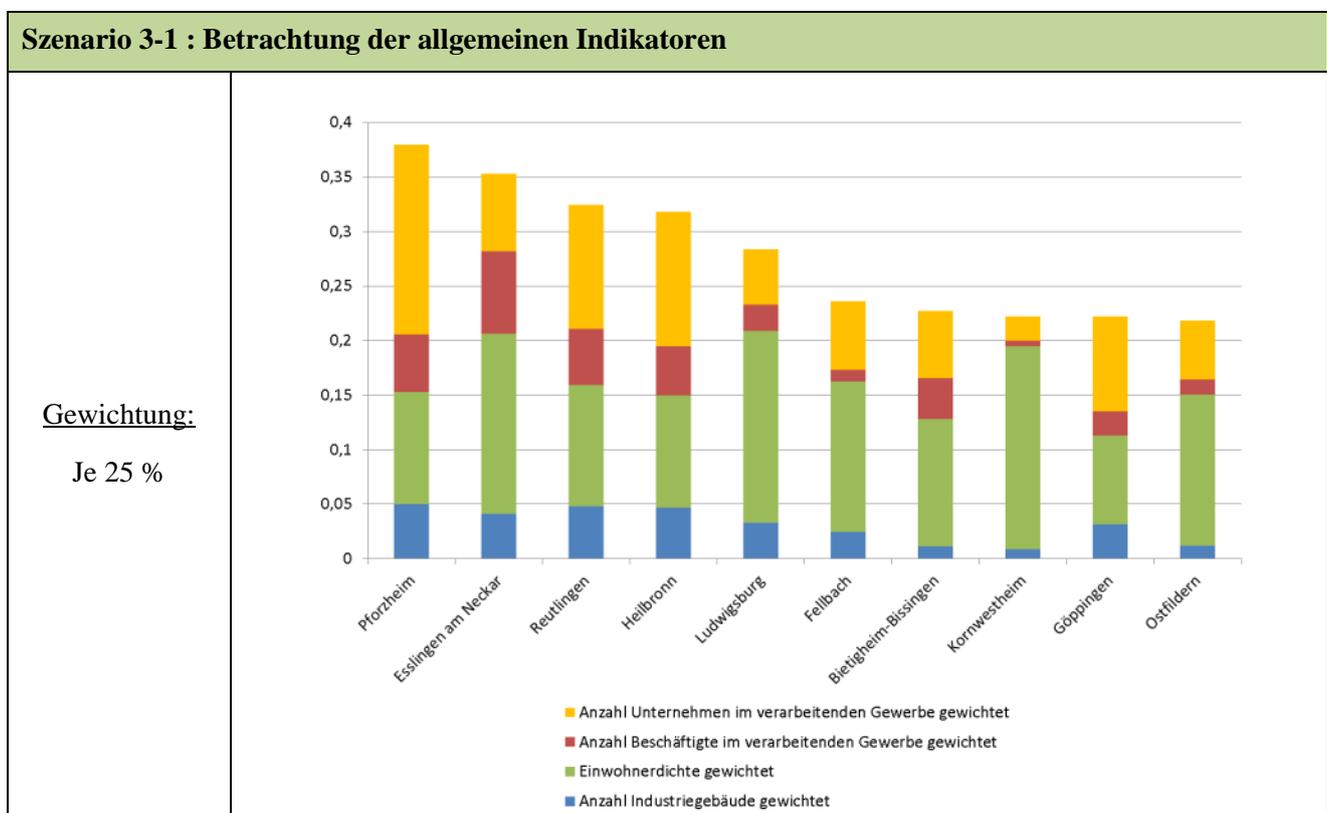


4.5 VULNERABILITÄT GEGENÜBER STÜRMEN

Die Klimaprojektionen des IMK-TRO ergeben, dass sich auch die maximalen Windgeschwindigkeiten (Böen) mit einer Wiederkehrperiode von zehn Jahren (Wahrscheinlichkeit $p = 0,1$) um durchschnittlich 1,1 m/s erhöhen werden. Dabei wurde auch die Erhöhung der maximalen Windgeschwindigkeit untersucht.

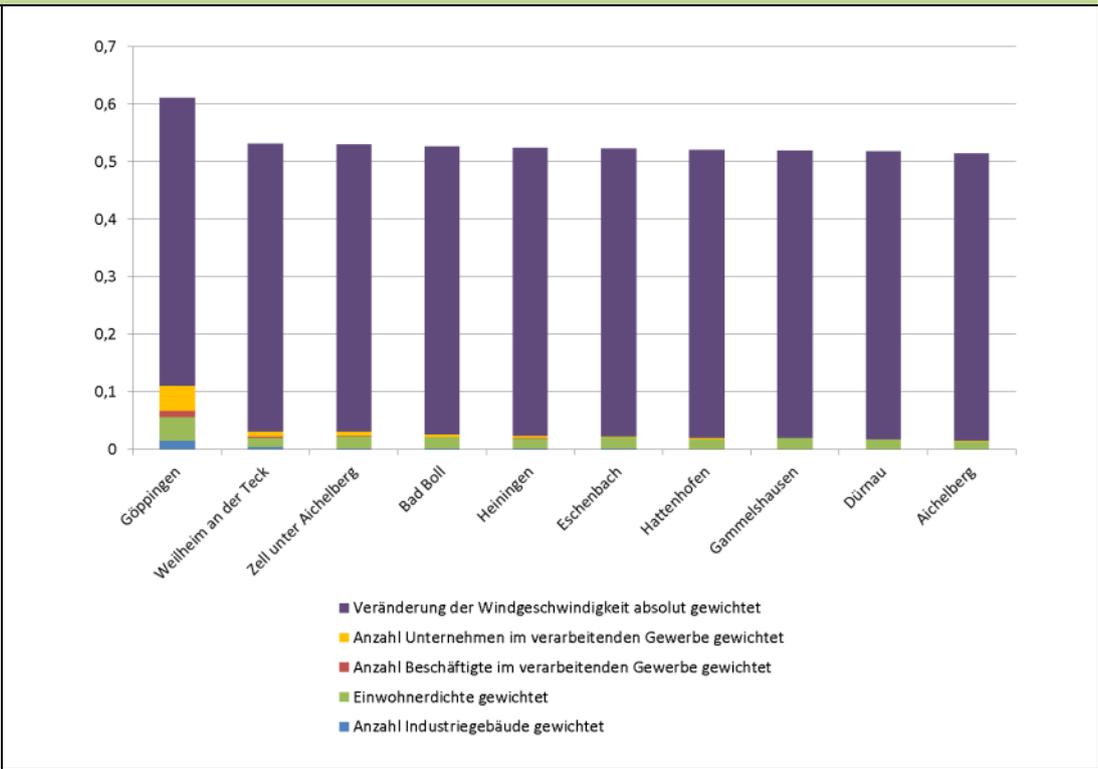
Zur Beurteilung der Vulnerabilität gegenüber Stürmen wurden die folgenden Indikatoren herangezogen:

- Anzahl der Industriegebäude
- Einwohnerdichte
- Anzahl der Unternehmen im verarbeitenden Gewerbe
- Anzahl der Beschäftigten im verarbeitenden Gewerbe



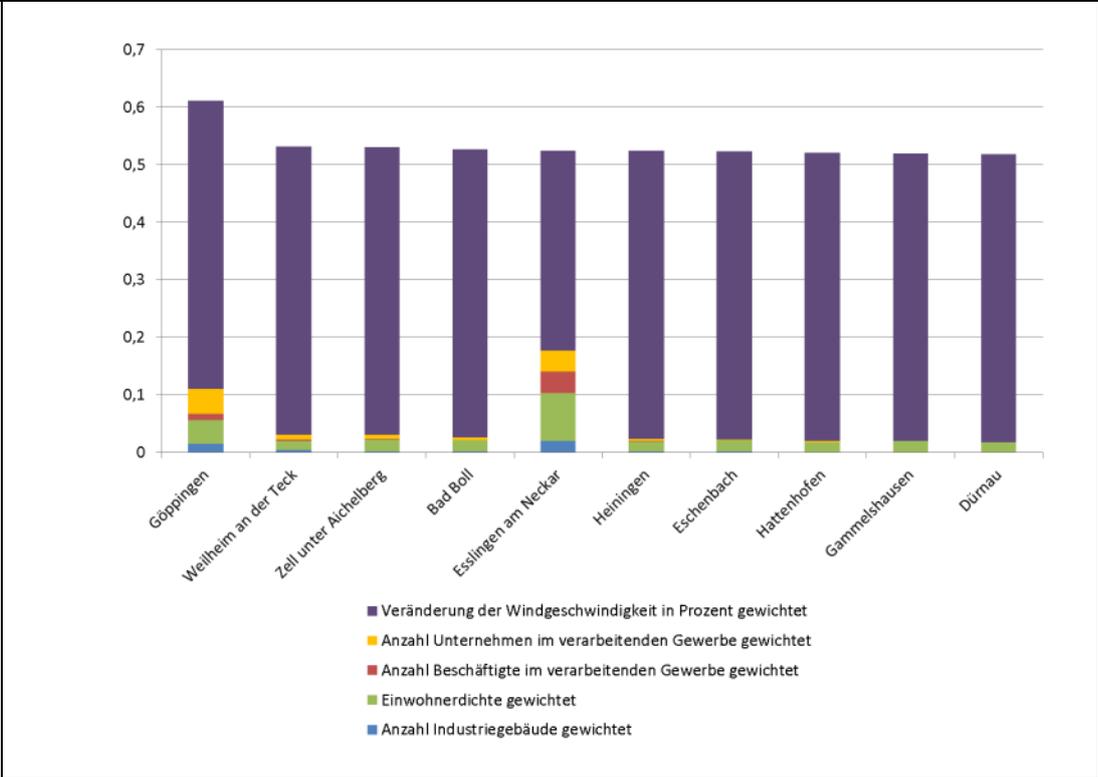
Szenario 3-2: Betrachtung der allgemeinen Indikatoren und der absoluten Veränderung der Windgeschwindigkeiten

Gewichtung:
 Allgemeine Indikatoren: je 12,5 %, in Summe 50 %
 Klimatische Veränderung absolut: 50 %



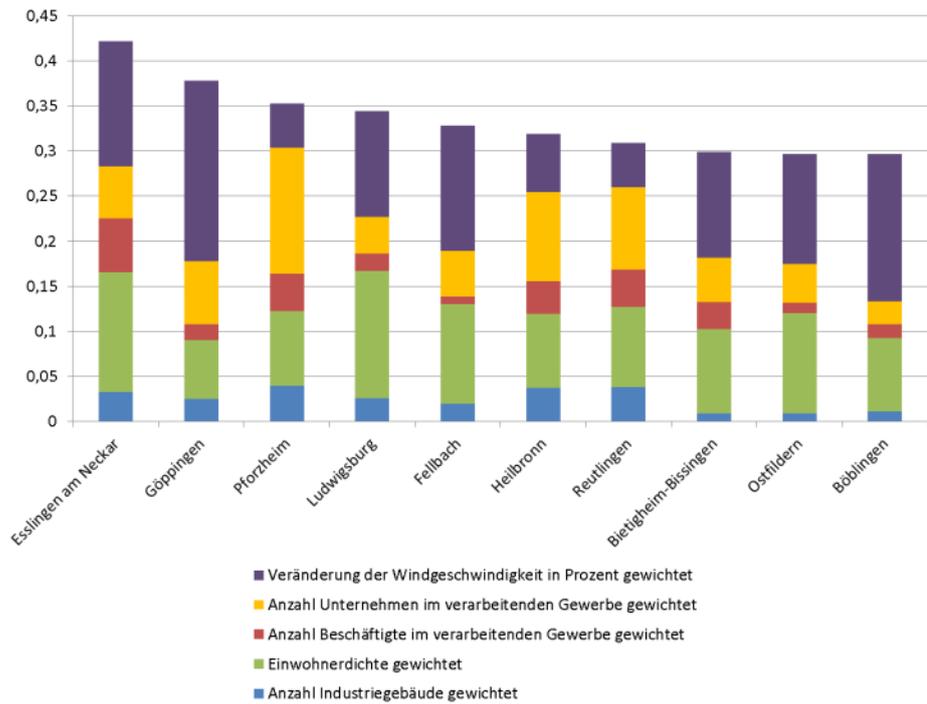
Szenario 3-3: Betrachtung der allgemeinen Indikatoren und der prozentualen Veränderung der Windgeschwindigkeiten

Gewichtung:
 Allgemeine Indikatoren: je 12,5 %, in Summe 50 %
 Klimatische Veränderung prozentual: 50 %



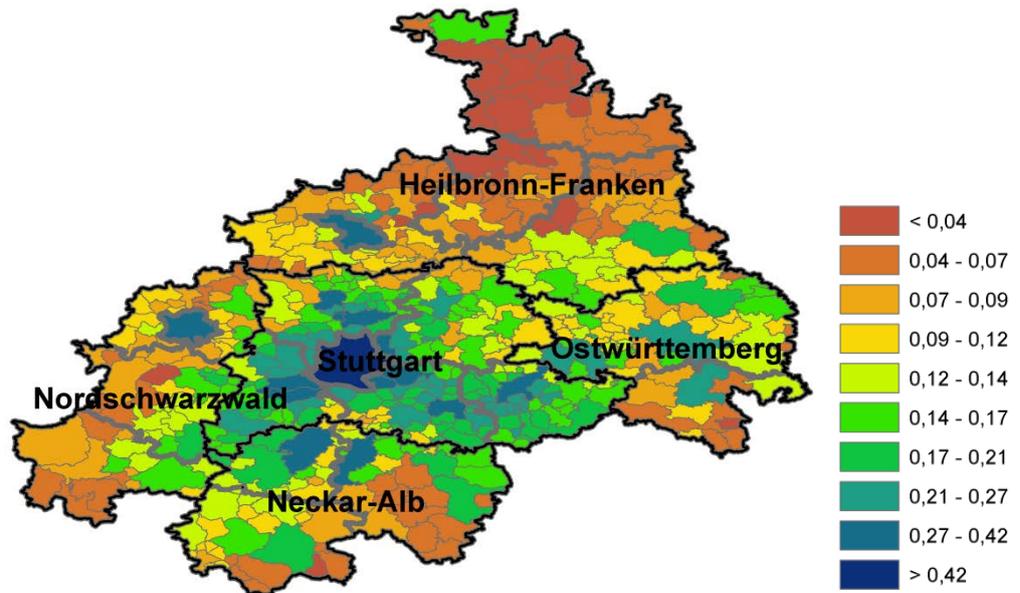
Szenario 3-4: Betrachtung der allgemeinen Indikatoren und der prozentualen Veränderung der Windgeschwindigkeiten

Gewichtung:
Allgemeine Indikatoren und prozentuale Veränderung der Windgeschwindigkeiten: je 20 %



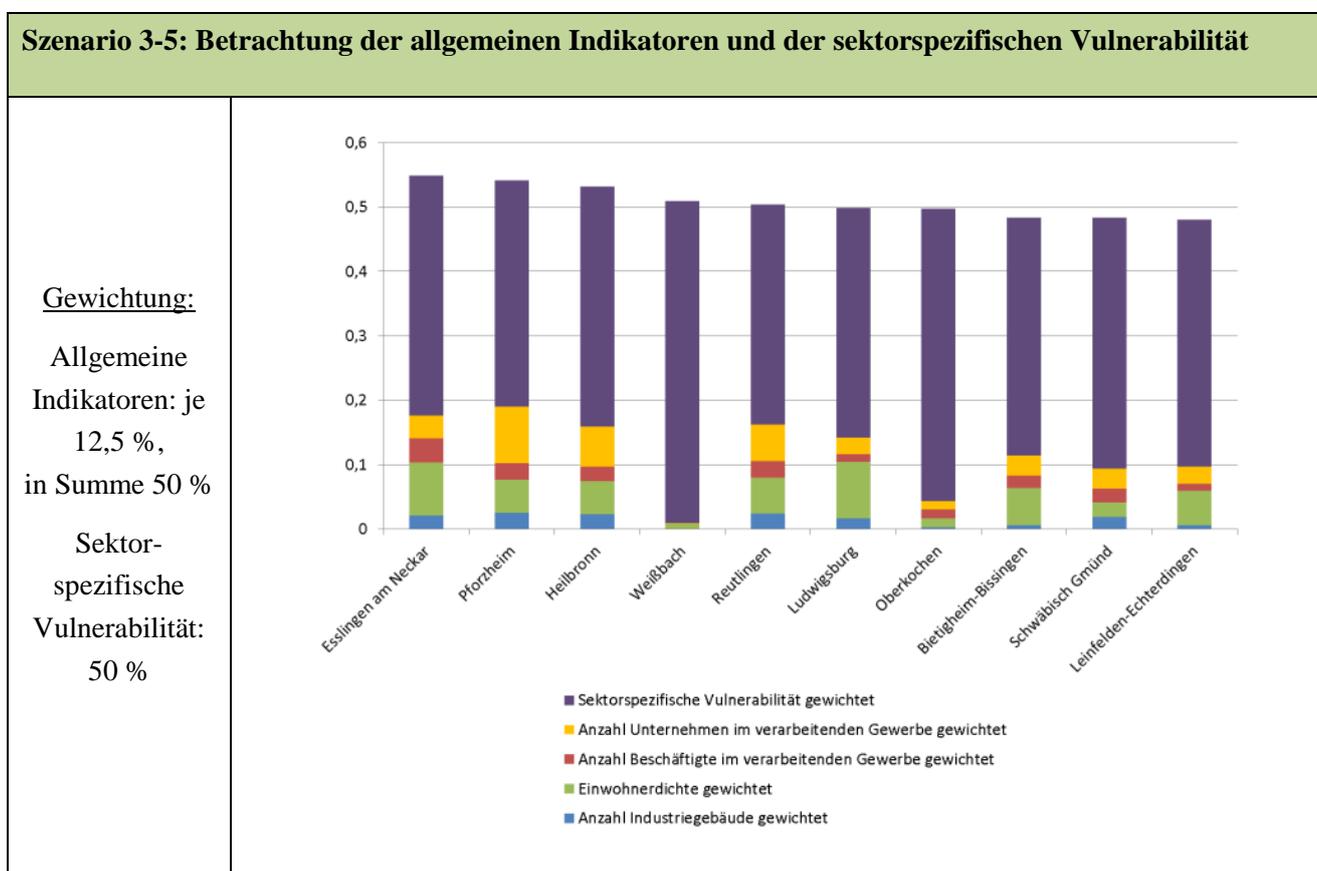
Szenario 3-4: Betrachtung der allgemeinen Indikatoren und der prozentualen Veränderung der Windgeschwindigkeiten

Gewichtung:
Allgemeine Indikatoren je 8,33 %, in Summe 33,33 %
Prozentuale Veränderung der Windgeschwindigkeiten: 33,33 %



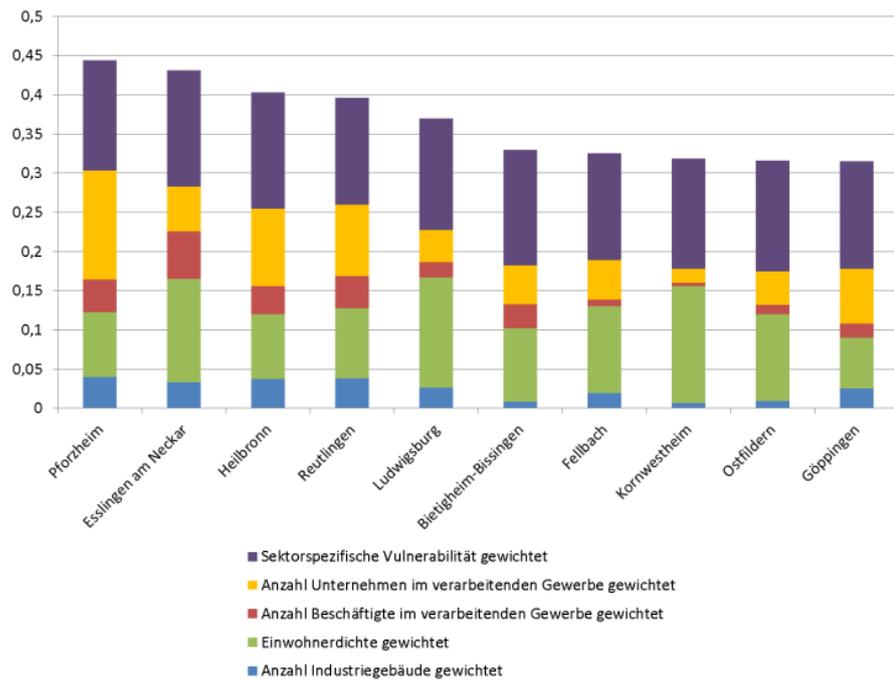
Bei Berücksichtigung der klimatischen Veränderung (Szenario 3-4) zusätzlich zu den allgemeinen Indikatoren (Szenario 3-1) ergeben sich nur minimale Verschiebungen bei den zehn Gemeinden mit der höchsten Indikatorbewertung, da sich, wie in Kapitel 3.2.6 dargestellt, die Erhöhung der Windgeschwindigkeiten relativ gleichmäßig über die Metropolregion verteilt, so dass hier keine besonders betroffenen Gebiete identifiziert werden können. Folglich sind wieder die Städte Esslingen am Neckar, Pforzheim, Reutlingen, Heilbronn, Ludwigsburg und Göppingen als besonders vulnerabel einzuschätzen, da sie über eine hohe Anzahl an Industrieunternehmen verfügen und sich in diesen Gemeinden gleichzeitig die maximale Windgeschwindigkeit erhöht.

Bei zusätzlicher Betrachtung der sektorspezifischen Vulnerabilität in den Gemeinden finden sich wiederum kleinere Gemeinden, wie Mühlhausen im Tale, Gammelshausen, Bad Boll, Eschenbach, Ohmden und Heiningen (Szenario 3-3 und 3-7) unter den zehn Gemeinden mit der höchsten Indikatorbewertung. Bei einer Gleichgewichtung aller Indikatoren zeigen jedoch wieder die Städte die höchste Vulnerabilität.



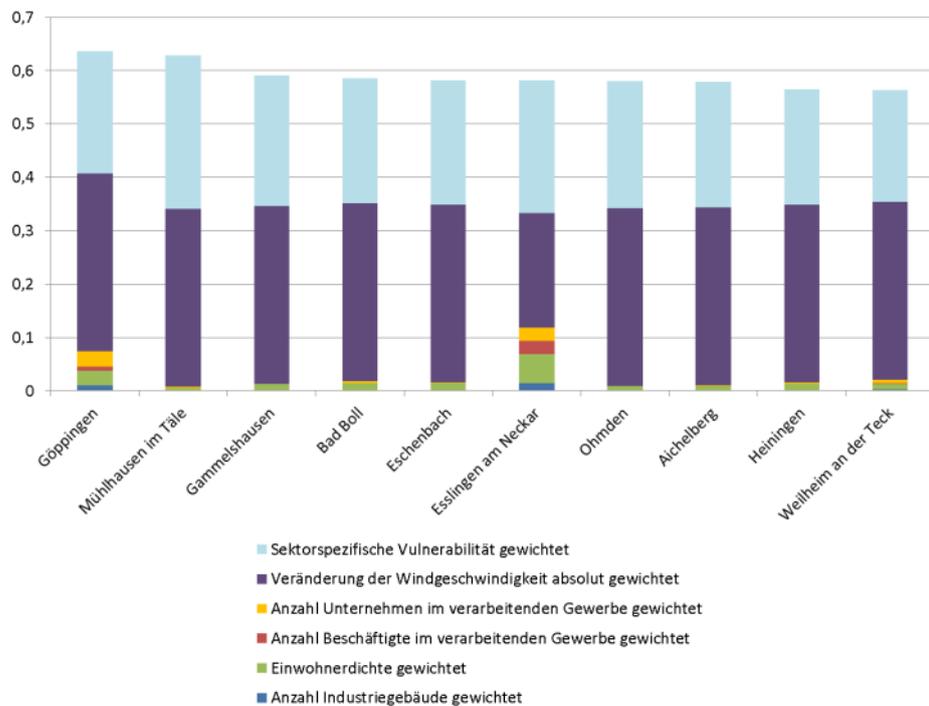
Szenario 3-6: Betrachtung der allgemeinen Indikatoren und der sektorspezifischen Vulnerabilität

Gewichtung:
Allgemeine Indikatoren und sektorspezifische Vulnerabilität: je 20 %



Szenario 3-7: Betrachtung der allgemeinen Indikatoren, absoluten Veränderung der Windgeschwindigkeit und der sektorspezifischen Vulnerabilität

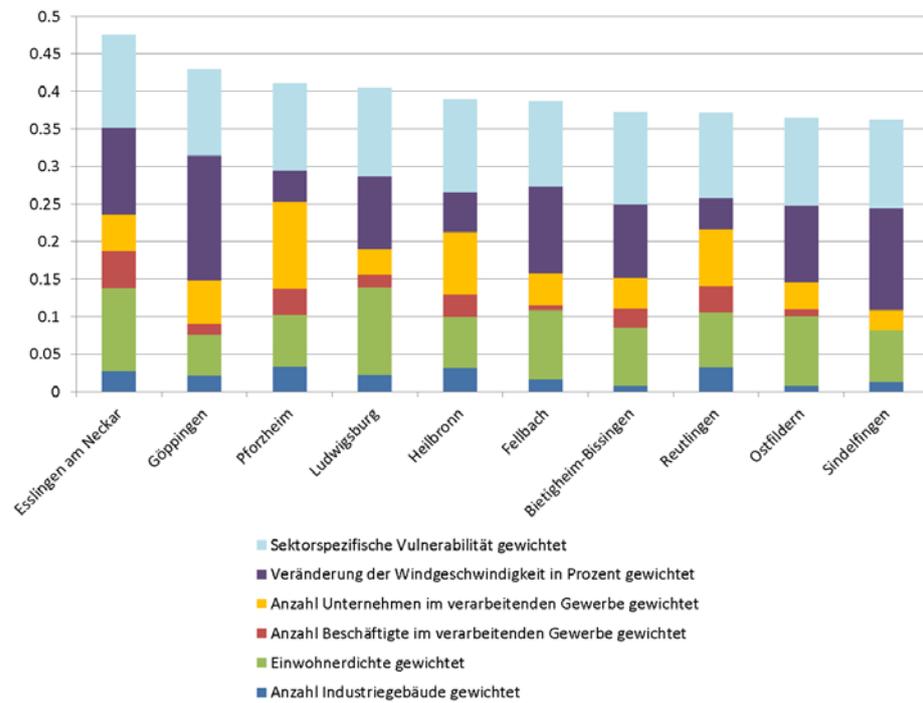
Gewichtung:
Allgemeine Indikatoren je 8,33 %, in Summe 33 %
Klimatische Veränderung absolut: 33,33 %
Sektorspezifische Vulnerabilität: 33,33 %



Szenario 3-8: Betrachtung der allgemeinen Indikatoren, prozentualen Veränderung der Windgeschwindigkeiten und der sektorspezifischen Vulnerabilität

Gewichtung:

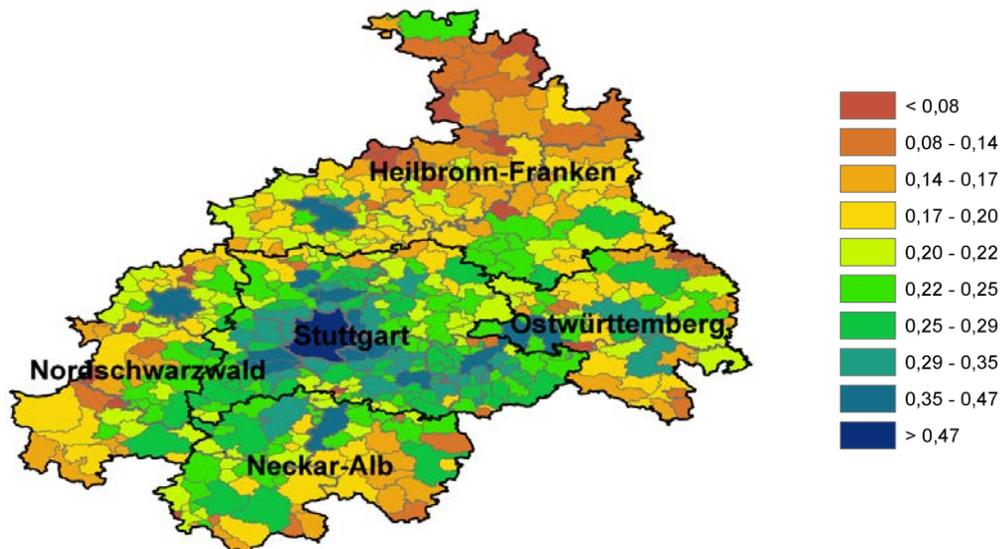
Je 16,66 %



Szenario 3-8: Betrachtung der allgemeinen Indikatoren, prozentualen Veränderung der Windgeschwindigkeiten und der sektorspezifischen Vulnerabilität

Gewichtung:

Je 16,66 %



4.6 VULNERABILITÄT GEGENÜBER ÜBERSCHWEMMUNGEN

Zur Untersuchung der Vulnerabilität gegenüber Überschwemmungen wurden vom LUBW Hochwassergefahrenkarten (Stand 22.11.2013) für ein 10-jährliches, 50-jährliches, 100-jährliches und extremes Hochwasser als GIS-Datei bereitgestellt. Zu diesem Zeitpunkt war die Abdeckung der Berechnung der Hochwassergefahr im Raum Stuttgart bereits relativ weit fortgeschritten, wie aus der „Projektstandkarte Hochwassergefahrenkarte“ vom 07.11.2013 (siehe Anhang) ersichtlich ist.

Die in der Hochwassergefahrenkarte als besonders gefährdet ausgewiesenen Gebiete wurden mit den Gemeindegrenzen und den Gebäudegrundrissen der betrachteten Gemeinden in der Metropolregion verschnitten und die sich ergebenden Flächen als Indikator in die Betrachtung miteinbezogen.

Zur Beurteilung der Vulnerabilität gegenüber Hochwasser wurden die folgenden Indikatoren herangezogen und in allen Szenarien gleichgewichtet (d. h. jeweils 33,33 %):

- Summe Industriegebäudefläche
- Anzahl der Unternehmen im verarbeitenden Gewerbe
- Anzahl der Industriegebäude, die von einem x-jährlichen Hochwasser in der Gemeinde betroffen sind

Da hier keine Daten zu den klimatischen Veränderungen verwendet wurden, ist die Szenariokonstruktion und –interpretation leicht verändert:

- **Szenario 4-1:** 10-jährliches Hochwasser: Die Gemeinden besitzen eine hohe Vulnerabilität gegenüber einem 10-jährlichen Hochwasser, so dass hier dringend Schutzmaßnahmen geprüft werden sollten.
- **Szenario 4-2:** 50-jährliches Hochwasser: Die Gemeinden besitzen eine hohe Vulnerabilität gegenüber einem 50-jährlichen Hochwasser. Schutzmaßnahmen werden auf Grund der geringeren Eintrittswahrscheinlichkeit seltener in Anspruch genommen, so dass im Vergleich mit Szenario 4-1 wahrscheinlich wirtschaftliche Interessen gegeneinander abgewogen werden müssen
- **Szenario 4-3:** 100-jährliches Hochwasser: Die Gemeinden besitzen eine hohe Vulnerabilität gegenüber einem 100-jährlichen Hochwasser. Auch wenn die Umsetzung von Schutzmaßnahmen auf Grund der geringeren Eintrittswahrscheinlichkeit weniger relevant erscheint, so war doch in der Vergangenheit eine Zunahme solcher Extremschadensereignisse entgegen der zu erwartenden statistischen Eintrittswahrscheinlichkeit zu beobachten. Mögliche Schutzmaßnahmen sind daher sorgfältig zu prüfen.
- **Szenario 4-4:** Extremes Hochwasser: Die Interpretation erfolgt analog zu Szenario 4-3.
- **Szenarien 4-5 bis 4-8:** Die Interpretation erfolgt analog zu den Szenarien 4-1 bis 4-4 unter zusätzlicher Berücksichtigung der sektorspezifischen Vulnerabilität (Gewichtung aller Indikatoren mit 25%).

Für die Ergebnisdarstellung wurden die 10 Gemeinden, die in jedem der betrachteten Hochwasserszenarien (10-jährlich, 50-jährlich, 100-jährlich und extrem) unter den 20 Gemeinden mit der höchsten Vulnerabilität waren, herausgesucht und die jeweilige Indikatorbewertung in Abbildung 9 und Abbildung 10 zusammenfassend dargestellt. Daraus wird ersichtlich, dass die Städte Heilbronn, Reutlingen, Esslingen am Neckar, Pforzheim, Tübingen und Göppingen besonders von Hochwasser betroffen wären, entweder auf Grund der direkten Überschwemmung von Industriegebäuden oder der hohen Anzahl von Industrieunternehmen, die

möglicherweise von Lieferengpässen betroffen wären. In den Übersichtskarten für die Szenarien 4-3 und 4-7 (jeweils für ein 100-jährliches Hochwasser) sind die Indikatorbewertungen für alle Gemeinden dargestellt.

Für die Bestimmung der Hochwassergefahr liegen detaillierte geographisch referenzierte Hochwassergefahrenkarten vor. Auf dieser Datenbasis können hier gezielt Schutzmaßnahmen ergriffen werden, die eventuell Schäden nicht vollständig verhindern können, aber doch überproportional im Vergleich zur benötigten Investition mildern können. Aufgrund der guten Datengrundlagen bieten sich darauf aufbauende spezifische Untersuchungen an.

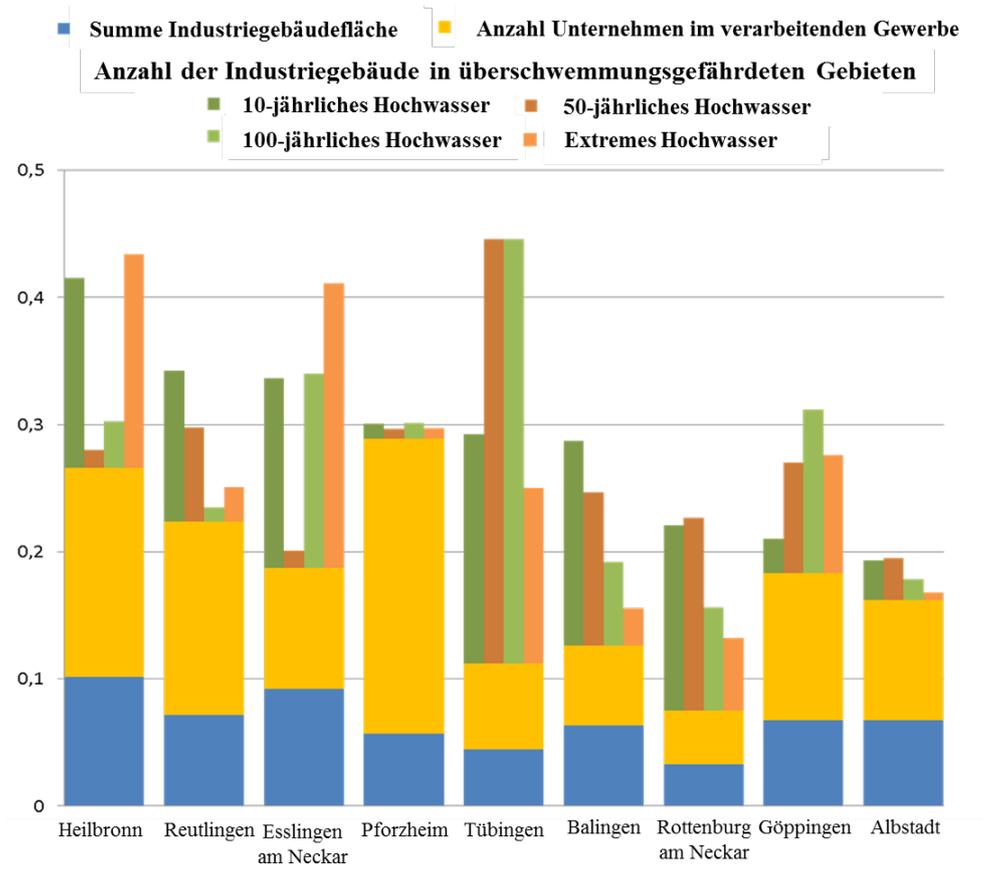


Abbildung 9: Zusammenfassung der Ergebnisse für die Szenarien 4-1 bis 4-4.

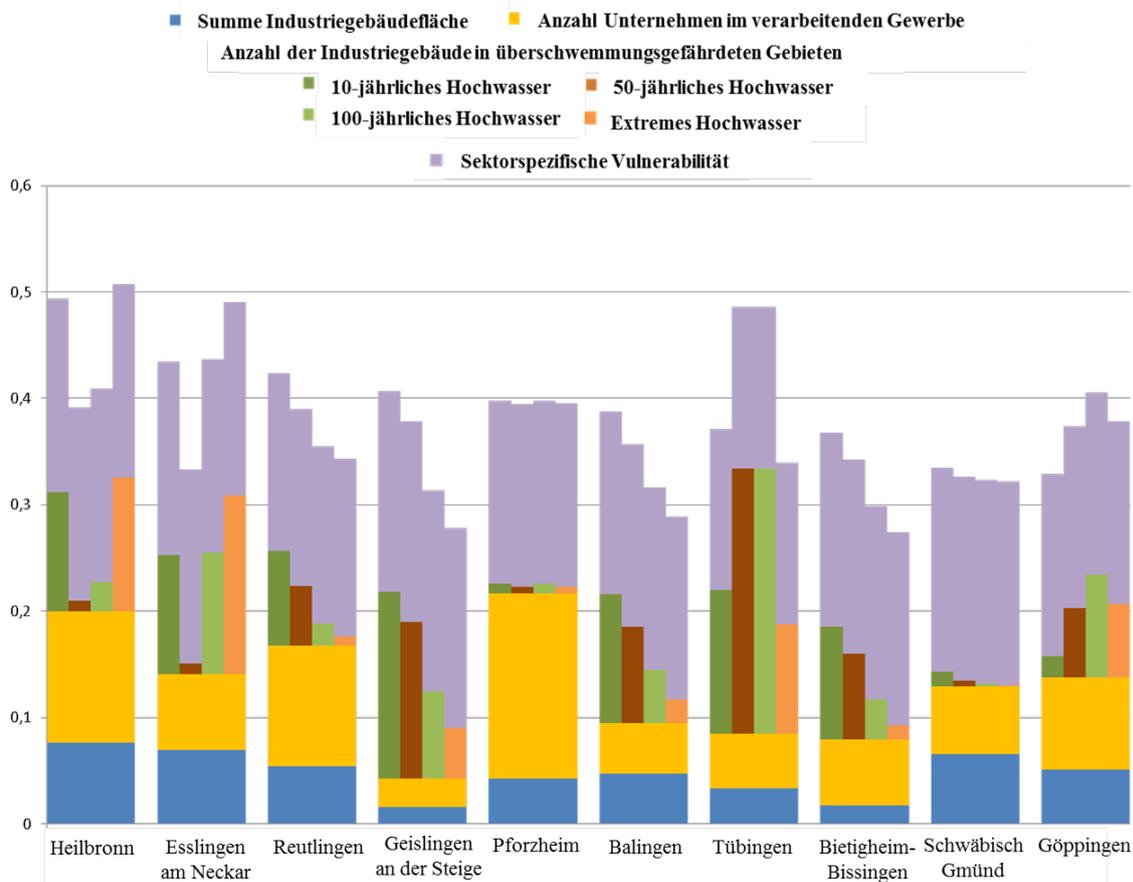
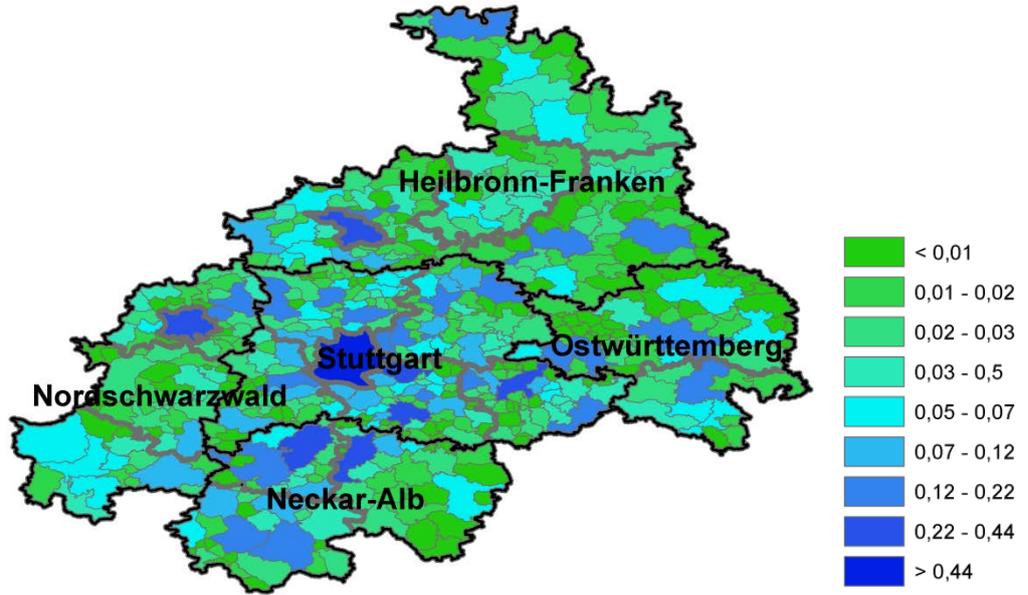


Abbildung 10: Zusammenfassung der Ergebnisse für die Szenarien 4-5 bis 4-8.

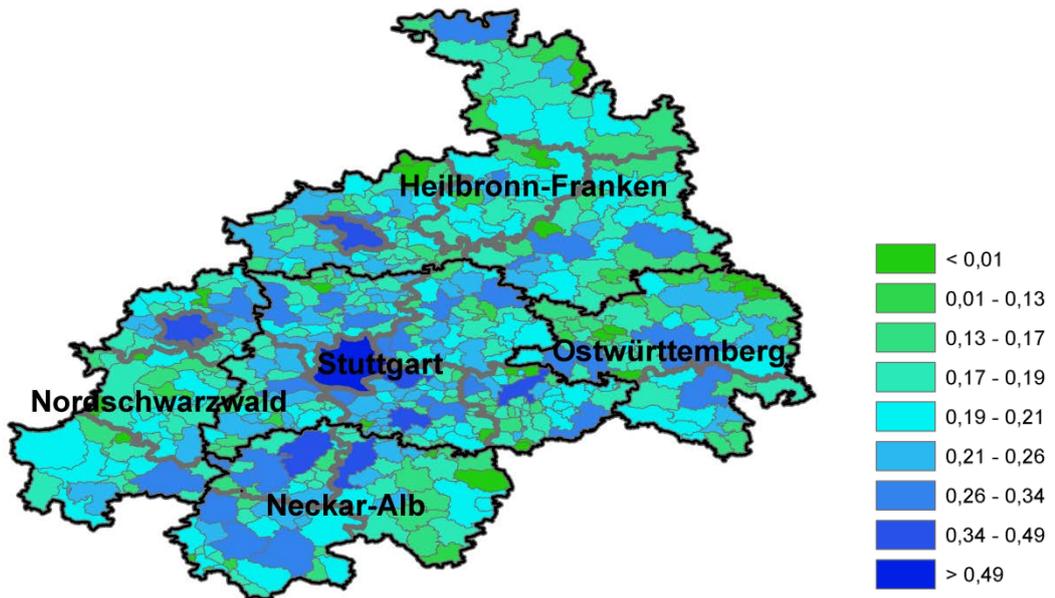
Szenario 4-3: 100-jährliches Hochwasser; Betrachtung der allgemeinen Indikatoren



Szenario 4-7: 100-jährliches Hochwasser; Betrachtung der allgemeinen Indikatoren und der sektorspezifischen Vulnerabilität

Gewichtung:

Je 25 %



4.7 VULNERABILITÄT GEGENÜBER KÄLTE UND FROST

Zur Beurteilung der Vulnerabilität gegenüber Kälte und Frost wurden ebenfalls die Daten des IMK-TRO herangezogen. Gemäß dieser hoch-aufgelösten Klimaprojektionen für die Metropolregion Stuttgart nehmen die Frosttage, d. h. die Tage mit einer Tagesminimumtemperatur von unter 0°C im Zeitraum von 2021 bis 2050 um bis zu 35 Prozent im Vergleich zum Zeitraum von 1971 bis 2000 ab.

Analog dazu nehmen die Eistage, d. h. die Tage mit einer Tagesmaximumtemperatur von unter 0°C, laut Simulation im Zeitraum von 2021 bis 2050 um 28 Prozent bis 36 Prozent im Vergleich zum Zeitraum von 1971 bis 2000 ab. Folglich gehen die Autoren dieser Studie von einer sinkenden Vulnerabilität gegenüber Kälte und Frost aus, so dass keine eingehende Vulnerabilitätsanalyse durchgeführt wurde.

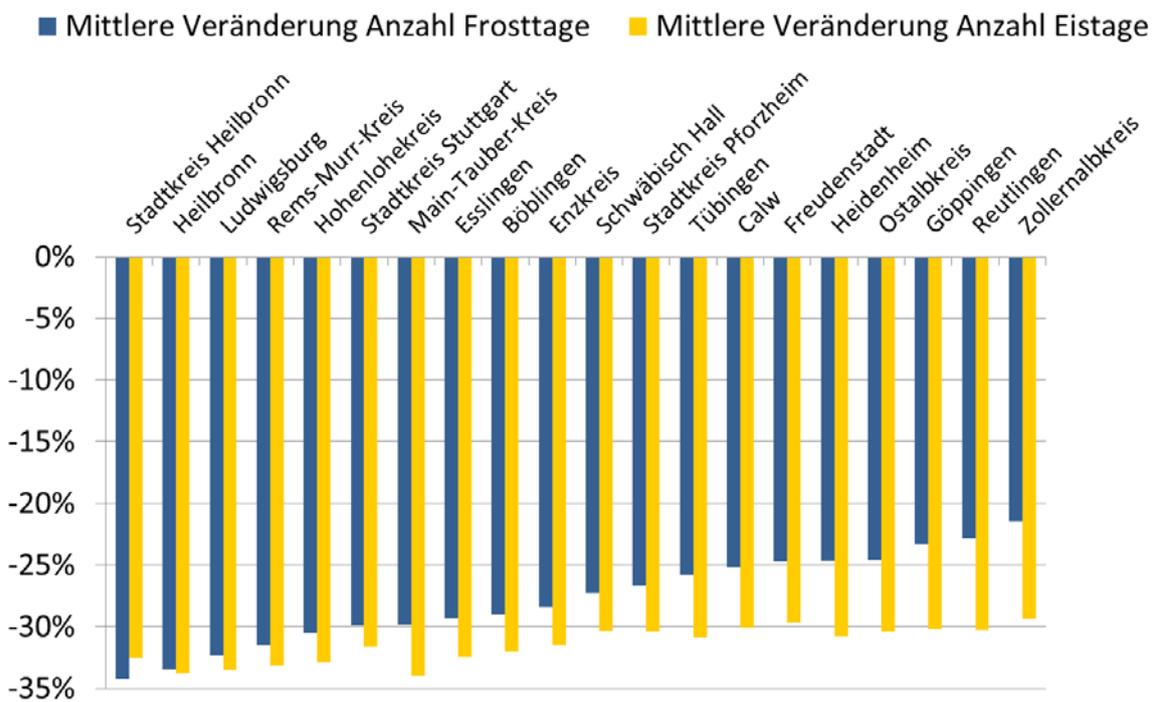


Abbildung 11: Mittlere Veränderung der Anzahl der Frost- und Eistage nach Kreisen. Quelle: IMK-TRO.

4.8 ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE

Die Ausprägung der klimawandelinduzierten Veränderungen wurde auf Basis der in Kapitel 3.2 beschriebenen Daten ermittelt. Diese ergeben, dass für einen breiten Streifen über die Regionen Heilbronn, Stuttgart und Reutlingen die Anzahl der **heißen Tage** im besonderen Maße ansteigt. Die Anzahl der **Trockentage** bleibt relativ konstant und nimmt lediglich im Norden der Region um Stuttgart leicht zu. **Starke Niederschläge** werden sich demnach in den Gemeinden von Neckar-Alb bis Ost-Württemberg häufen. In diesem Gürtel und im Nordschwarzwald werden zudem die **maximalen Windgeschwindigkeiten** zunehmen, was für das Zentrum der Metropolregion, also Stuttgart und der weiteren Umgebung, die Projektionen nicht ergeben. Im Vergleich der Folgen des Klimawandels und ihrer Ausprägungen ist der Anstieg der Temperatur (Kapitel 4.3) am deutlichsten und lässt sich für weite Teile der Region aufzeigen.

In naher Zukunft werden allgemein die heißen Tage deutlich zunehmen, während sich die Anzahl an Frost- und Eistagen fast halbiert. Dies nimmt Einfluss auf die Sicherheit und Verfügbarkeit wichtiger Produktionsfaktoren, vor allem auf die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter in den Betrieben, deren Gesundheit gerade durch Hitzeperioden negativ beeinträchtigt werden kann. Die Ergebnisse der indikatorbasierten Analyse zeigen überdies, dass unterschiedliche Branchen in unterschiedlichen Dimensionen gegenüber dem Klimawandel verwundbar sind. Besonders zu berücksichtigen sind dabei **Schlüsselsektoren**, also sowohl auf Zuliefererseite als auch auf Abnehmerseite stark vernetzte Branchen, **personalintensive Branchen** und Branchen mit außergewöhnlichen Abhängigkeiten von der verfügbaren **Infrastruktur**. Die klassischen Ingenieursbranchen wie die Automobilindustrie, die Elektroindustrie oder der Maschinenbau, die die Region um Stuttgart seit Jahrzehnten prägen, sind vor allem in ihrer Abhängigkeit von hochqualifiziertem Personal gegenüber extremen Wetterereignissen und insbesondere hohen Temperaturen verwundbar. Die Unterstützung der Mitarbeiter, die Flexibilisierung von Arbeitszeiten sowie bauliche Maßnahmen sind in jedem Fall in den produzierenden Unternehmen zu überprüfen und gegebenenfalls anzupassen. Räumlich betrifft dies vor allem die Gemeinden rundum die Standorte Heilbronn und Stuttgart, wo sich die Industrie stark verdichtet, aber auch Freudenstadt und Reutlingen.

Typische Zulieferer, wie etwa die Chemieindustrie, der Bergbau oder die metallererzeugenden Betriebe, sind stärker als andere verbrauchernahe Sektoren von der Aufrechterhaltung der genutzten Transportwege abhängig oder gelten gar als Schlüsselindustrien, deren Ausfall weite Teile der Wirtschaft in Mitleidenschaft ziehen würden. In der Metropolregion sind sie jedoch kaum vertreten. Als weitere Schlüsselindustrien wurden auf Basis der (für Baden-Württemberg) regionalisierten Input-Output-Tabelle des Bundes holzverarbeitende Industriezweige, das Papier- und Druckgewerbe, die Kunststoff- und die Elektroindustrie identifiziert. Sie prägen dabei die Vulnerabilitätswerte in unterschiedlichen Regionen. Ist beispielsweise die Teilregion Nordschwarzwald durch die Holz- und Papierindustrie bestimmt, sind in und um Heilbronn wiederum die typischen Automobilzulieferer aus der Elektroindustrie vermehrt vertreten. Wie bereits erwähnt, trifft in Stuttgart wiederum eine hohe bauliche Dichte mit einer ebenso dichten und vielseitigen Industriestruktur zusammen. Die besondere Belastung des städtischen Raumes durch die Erhöhung der Hitzetage in der nahen Zukunft ergibt hier eine außergewöhnlich hohe Bewertung der Vulnerabilität.

Für eine Zusammenstellung der Teilindikatoren, wie sie Tabelle A im Anhang aufführt, werden in den vier Abhängigkeitsdimensionen sektorspezifische Abhängigkeitsindizes ermittelt. Hierfür werden die Teilindika-

toren aufsummiert⁹. Dabei wurden in den vier Kategorien einfach zu erhebende Indikatoren bestimmt, die unabhängig voneinander Treiber der Vulnerabilität einer Branche darstellen (Kapitel 3.3). Abbildung 12 stellt diese Ergebnisse in den untersuchten Branchen gegenüber. Es zeigt sich in der Gesamtschau, dass die Chemieindustrie, die Energie- und Wasserversorgung sowie der Fahrzeugbau als besonders vulnerabel gelten können. In diesen Fällen treiben eine besondere Abhängigkeit von geeignetem Personal und ein relativ hoher Materialeinsatz den Gesamtindex in die Höhe.

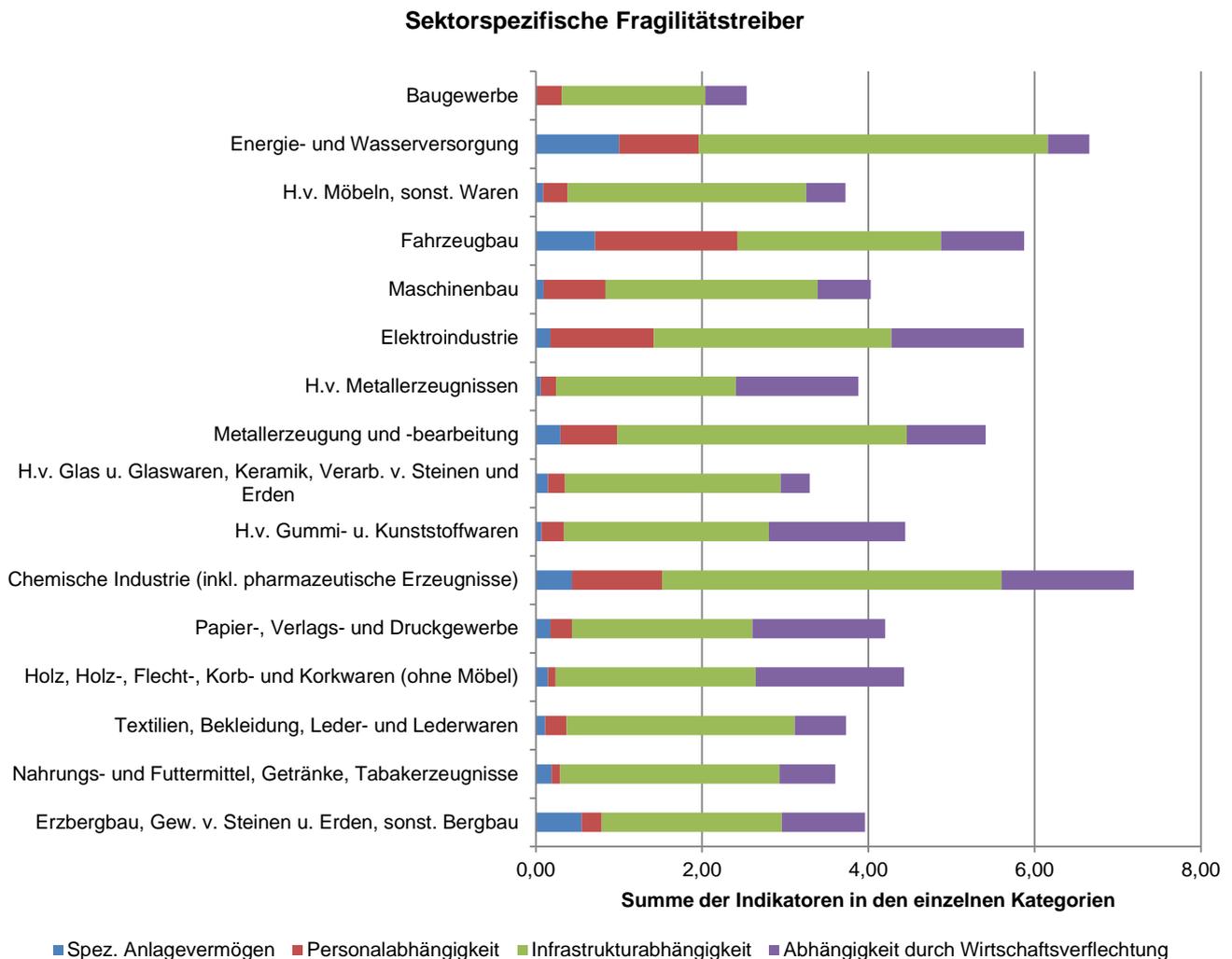


Abbildung 12: Sektorspezifische Fragilität nach Abhängigkeitsdimensionen

⁹ Abweichend von Merz (2011) werden die Beiträge der einzelnen Indikatoren gleichbehandelt und gleichgewichtet. Dies erfolgt auf Grundlage der Expertengespräche und der vorherigen Auswahl der verwendeten Indikatoren.

5 Diskussion möglicher Handlungsoptionen

Basierend auf den Ergebnissen der indikatorbasierten Vulnerabilitätsanalyse sollen im letzten Schritt Handlungsempfehlungen für private und öffentliche Entscheidungsträger auf unterschiedlichen regionalen Ebenen identifiziert und priorisiert werden. Dabei ist zu beachten, dass genaue Maßnahmen nur vor Ort bewertet, entwickelt und umgesetzt werden können. Für die Formulierung sehr detaillierter Empfehlungen wäre auch Kenntnis über bestehende Anpassungskapazitäten der Industriesektoren nötig, was aber, wie in Kapitel 3 bereits erläutert, mangels geeigneter Daten – zumindest quantitativ – in dieser Studie nicht umsetzbar ist.

5.1 MÖGLICHKEITEN ZUR ANPASSUNG AN DEN KLIMAWANDEL

Für die Industrie gibt es bereits eine Reihe von öffentlich zugänglichen Leitfäden bezüglich möglicher Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel (z. B. das Klimalotse-Projekt des Umweltbundesamts¹⁰). In der hier vorgenommenen Analyse erweisen sich für den Großraum Stuttgart vor allem temperatur- und niederschlagsbedingte Risiken als bedeutsam. Gerade der Anstieg der durchschnittlichen Temperatur und eine Erhöhung der Hitzetage stellen für Produktionsprozesse, Infrastruktur und Mitarbeiter eine Herausforderung dar.

In der Automobilindustrie, die als sehr personalintensive Branche gilt und durch exakt gesteuerte Produktions- und Transportmethoden (bspw. Just-In-Time-Produktion) von einem reibungslosen Ablauf der inner- und außerbetrieblichen Logistik abhängig ist, sind die Gegenmaßnahmen dementsprechend auszurichten. Hier werden bauliche Maßnahmen, wie z. B. Klimatisierung, aber im Extremfall auch flexible Schichtpläne in der Produktion unerlässlich sein, um Beeinträchtigungen des Personals entgegenzuwirken. Dies wird auch zur Folge haben, dass die vermehrte Beanspruchung der Ressourcen Energie und Wasser zur Kühlung in Effizienzmaßnahmen münden muss, um auch im Falle allgemeiner Versorgungsengpässe und aus Kostengründen die Produktionsstätten nachhaltig betreiben zu können. Inwiefern die Beanspruchung der Straßen und des Verkehrs die Möglichkeiten der Just-In-Time-Produktion oder anderer zeitkritischer Produktionsplanungen beeinträchtigen, liegt zwar zu weiten Teilen in der öffentlichen Hand, die für die Instandhaltung der Verkehrswege aufkommt. Allerdings kann auch hier die Wahl von weniger kritischen Produktionsstandards oder die Erhöhung von Lagerbeständen den Unternehmen einen wichtigen Flexibilitätsvorteil verschaffen. Die Automobilindustrie steht seit jeher im Fokus der Klimapolitik. Auch weiterhin muss dabei mit einer Verschärfung der regulatorischen Rahmenbedingungen gerechnet werden. Durch verbindliche Grenzwerte für den CO₂-Ausstoß ist sie bereits heute mit den Anpassungs- und Minderungsstrategien gegen den Klimawandel konfrontiert (Heymann 2008). Je nach Produktionsstandard lassen sich diese Maßnahmen auch für andere (metall-)verarbeitende Betriebe formulieren.

In der Chemieindustrie und verwandten Branchen wird die infrastrukturelle Abhängigkeit durch den hohen Energie- und Wasserbedarf zur Aufrechterhaltung der Produktionsprozesse verschärft. Im besonderen Maße gilt es hier, die Möglichkeiten der Eigenversorgung in beiden Punkten zu überprüfen und gegebenenfalls sicherzustellen. Dabei ist auch die Kühl- oder Klärwasserrückführung in natürliche Gewässer problematisch.

¹⁰ Online verfügbar unter: <http://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimafolgen-anpassung/werkzeuge-der-anpassung/klimalotse>.

Regulatorische Maßnahmen können diese Möglichkeit im Falle von Niedrigwasser und unter Verweis auf einzuhaltende Grenzwerte ausschließen. In besonders exponierten Unternehmen sollte daher der Aufbau eigener Speichermöglichkeiten überprüft werden oder die Qualität des rückzuführenden Abwassers weiter verbessert werden. Dabei ist auch hier die weitere Verschärfung entsprechender Grenzwerte durch den Gesetzgeber zu beachten (Tröltzsch et al. 2011).

Verarbeitendes Gewerbe		
Szenarios	Folgen	Maßnahmen
<u>Temperaturbedingte Belastungen</u> (Hitzeperioden, Dürren etc.)	Beeinträchtigung gelagerter Rohstoffe, Betriebsmittel oder Produkte	<ul style="list-style-type: none"> • Aktive Kühlung • Passive Kühlung (Grünanlagen, natürliche Verschattung, Ausrichtung der Gebäude)
	Produktivitätsrückgang durch Belastung der Mitarbeiter oder Maschinenausfall	<ul style="list-style-type: none"> • Klimatisierung • Flexibilisierung der Arbeitszeiten
	Erhöhter Energie- und Wasserverbrauch	<ul style="list-style-type: none"> • Anpassung der Produktionsprozesse
	Erhöhte Energie- und Wasserpreise	<ul style="list-style-type: none"> • Maßnahmen zur Effizienzsteigerung im Betriebsmittelverbrauch
<u>Niederschlagsbedingte Belastungen</u> (Starkniederschlag, Hagel, Fluten etc.)	Schäden an Gebäuden, Maschinen, gelagerten Produkten	<ul style="list-style-type: none"> • Gelagerte Produkte durch bauliche Maßnahmen schützen
	Produktionsunterbrechung nach Überschwemmungen	<ul style="list-style-type: none"> • Sonderurlaub • Produktion auf Lager
	Höhere Versicherungsprämien/ Nicht-Versicherbarkeit	<ul style="list-style-type: none"> • Entsiegelung der Flächen • Dimensionierung werkseigener Regenwasserabläufe optimieren
	Stromausfälle	<ul style="list-style-type: none"> • Risikomanagement etablieren • Notfallmaßnahmen ausarbeiten und üben
	Einschränkung in der Weiterverarbeitung kritischer Teile (JIT-Produktion)	<ul style="list-style-type: none"> • Flexible Produktionsplanung • Sicherheitsbestände erhöhen

Tabelle 6: Anpassungsmaßnahmen des verarbeitenden Gewerbes

Quellen: adelphi (2013); Heymann (2008); Tröltzsch et al. (2011); Weis, Siedentop, Minnich (2011)

In Tabelle 6 sind über diese Maßnahmen hinaus weitere Möglichkeiten des verarbeitenden Gewerbes zur Anpassung an den Klimawandel, die in der Literatur diskutiert, vorgeschlagen oder auf Basis von Umfragen ermittelt wurden, dargestellt. Zur leichteren Orientierung wurden diese industriespezifischen Maßnahmen einem Szenario zugeordnet und hinsichtlich der zu erwartenden Folgen kategorisiert.

Eine der Engstellen, die branchenübergreifend gelten und besonderer Beachtung bedürfen, ist die Sicherung der Energieversorgung sowie der Infrastruktur. In diesen beiden Bereichen sind vorrangig öffentliche Aufgaben an den Erhalt gebunden, die im Wesentlichen in der Instandhaltung baulicher Substanz an Straßen, Brücken oder Oberleitungen liegen. Diese für industrielle Prozesse grundlegenden Bedingungen sind von sämtlichen Formen der Wetterextreme beeinträchtigt. Sowohl Hitze als auch Starkniederschlag oder extreme Windgeschwindigkeiten wirken auf diese Einrichtungen ein und können sowohl zur Unterbrechung der Verkehrswege als auch zu Schwankungen in der Energieerzeugung oder -bereitstellung führen. Zur Sicherstellung dieser wichtigen Funktionen sind zwangsläufig Investitionen in die Qualität der Einrichtungen (Instandhaltung) oder in eine Optimierung bestehender Infrastrukturen (bspw. Netzausbau) von Nöten. Die mit dem Klimawandel einhergehenden Schwankungen in der Energienachfrage sowie weitere Anforderungen an

den Beitrag erneuerbarer Energien können über die weitergehende Integration intelligenter Regelungssysteme genauer gesteuert und somit besser bewältigt werden. In diesem Sinne sind Forschung und Entwicklung gefragt, mit neuen, robusten Materialien oder intelligenten Systemen Innovationen in diesen Bereichen voranzutreiben, um letztlich die Funktionstüchtigkeit der Infrastruktur gewährleisten zu können. Tabelle 7 bietet wiederum auf Basis der Literatur eine kurze Übersicht über mögliche Maßnahmen im Umgang mit diesen Herausforderungen.

Energie und Infrastruktur			
Szenarios		Folgen	Maßnahmen
Extreme Wetterereignisse	Energie	Schäden an Oberleitungen oder Erzeugungseinrichtungen	• Flexibilität der Erzeugung, Speicherung und Bereitstellung
		Geringere Wasserqualität beeinträchtigt Kühlwasserrückführung	• Wissensmanagement und Monitoring
		Schwankungen in der Erzeugung	• Netzausbau • Intelligente Verbraucher
	Infrastruktur	Schäden an Straßen, Brücken	• Entwicklung robuster Materialien und geeigneter Bauverfahren
		Verschmutzung der Straßen	• Notfallmanagement koordinieren
		Einschränkung der Schifffahrt	• Abhängigkeiten reduzieren

Tabelle 7: Anpassungsmaßnahmen in Energieversorgung und Infrastruktur

Quellen: adelphi (2013); Heymann (2008); Tröltzsch et al. (2011); Weis, Siedentop, Minnich (2011)

5.2 ERGEBNISSE DES WORKSHOPS UND DER EXPERTENGESPRÄCHE

Im Rahmen des Projekts “KLIMZUG – Klimawandel in Regionen zukunftsfähig gestalten“ (www.klimzug.de) wurden bereits die (subjektive) Betroffenheit und die Anpassungskapazität verschiedener Industriesektoren durch Befragungen von Unternehmen und Kommunen durch das IW Köln erhoben. Die umfangreichen Ergebnisse geben einige Einblicke in das Risikomanagement und die allgemeine Risikowahrnehmung der befragten Betriebe. Sie zeigen, dass bis zu 20 Prozent der Unternehmen sich bereits heute direkt oder indirekt negativ vom Klimawandel betroffen fühlen und für das Jahr 2030 noch eine weitere Verschlechterung erwarten. Dieser unternehmensseitige Eindruck bestätigt sich durch die vorliegende Studie, insbesondere am Beispiel der als besonders vulnerabel identifizierten Industriesektoren Chemie, Energie- und Wasserversorgung, Maschinen- und Fahrzeugbau. Insgesamt erwartet etwa die Hälfte aller Unternehmer, die sich bereits jetzt vom Klimawandel betroffen fühlen, eine zunehmende Belastung für den eigenen Betrieb. Die Befragungen lassen auch erkennen, wie Unternehmen versuchen, sich an die neuen Bedingungen anzupassen. So sind rund 60 Prozent der betroffenen Unternehmen entschlossen, bauliche Maßnahmen durchzuführen und ihre Logistik an den Klimawandel anzupassen. Knapp 40 Prozent nehmen bereits Versicherungsschutz in Anspruch oder werden dies verstärkt tun. Hinsichtlich möglicher Ausfälle der Energieversorgung greifen mehr als 90 Prozent der Chemieindustrie und zwei Drittel der Elektro- und Automobilindustrie auf Notstromaggregate zurück (Mahammadzadeh et al. 2013). Im Rahmen des KLIMOPASS-

Stakeholder-Workshops¹¹ wurden die Ergebnisse durch den Autor der Studie am IW Köln, Herrn Dr. Mahammadzadeh, vorgestellt und dienten als Diskussionsgrundlage. Die Dokumentation des Workshops befindet sich im Anhang zu dieser Studie.

Auch die Gespräche und Befragungen im Rahmen des hier vorgestellten Projekts gewähren ähnliche Einblicke, wenn diese auch aufgrund des geringeren Umfangs nichts repräsentativ sein können. So bestätigen Vertreter der Chemie- und Automobilindustrie, dass der Klimawandel als solcher im Risikomanagement der Unternehmen eher über akute Folgen und politische Regularien bewertet wird. Das operationelle Risikomanagement sei stets effizienzgebunden und orientiere sich vorrangig an Kosten-Nutzen-Abwägungen. Die Unternehmen sehen dabei weiterhin Informationsbedarf bezüglich der Naturrisiken entlang der eigenen Supply-Chain. Der Planungs- und Entscheidungshorizont von etwa fünf Jahren und die täglichen Herausforderungen im operativen Risikomanagement gepaart mit Informationsdefiziten fördern blinde Flecken hinsichtlich der langfristigen Herausforderung des Klimawandels. Dies wird dadurch verstärkt, dass extreme Einschränkungen durch Naturrisiken bislang – zumindest in den befragten Branchen – noch nicht allzu häufig beobachtet oder erfahren wurden. Trotz extrem effizienter Lieferketten, die beispielsweise die Lieferung von Vorprodukten im Moment des tatsächlichen Bedarfs vorsehen, scheinen die Großunternehmen mit derartigen Herausforderungen umgehen zu können. Förderlich seien dabei vor allem auch enge Absprachen und eine von Zulieferern und Abnehmern gemeinsam genutzte IT-Infrastruktur, die in Echtzeit Auskunft über Lieferwege und Engpässe gibt. Darüber hinaus bestätigen Gespräche mit der Chemiebranche, dass das Baurecht gerade bezüglich der Anlagensicherheit Naturrisiken berücksichtigt und durch sichere, redundante Systeme lokale Gefahren in Folge von Stürmen, Schneefall oder ähnlichem vermieden werden sollen. An diesem Beispiel wird jedoch auch deutlich, wie wichtig regulatorische Eingriffe durch den Gesetzgeber sein können, um die Industrie auf entsprechende Gefahren nicht nur hinzuweisen, sondern sie auch davor zu bewahren.

Der Stakeholder-Workshop, den die Autoren dieser Studie im Mai 2014 mit interessierten Vertretern unterschiedlicher Institutionen durchführten, ergab jedoch, dass die Anpassung an den Klimawandel unabhängig von der Branche nicht nur mit Kosten beziehungsweise Investitionen verbunden ist, sondern die damit einhergehenden regulatorischen Maßnahmen und Eingriffe auch neue Unsicherheiten mit sich bringen. So hielten die Unternehmen beispielsweise den diskutierten steigenden Anforderungen bezüglich des Versicherungsschutzes weiter das hohe Gut unternehmerischer Freiheit entgegen. Auch hier gelten die grundlegende Kosten-Nutzen-Abwägung und die wirtschaftliche Vorteilhaftigkeit aus Sicht des Unternehmens zur Bewertung der Maßnahmen. In diesem Zuge wurde von Seiten der Industrievertreter auch durch die öffentliche Hand verwaltete Ausgleichszahlungen für Maßnahmen, die das (Mikro-)Klima positiv beeinflussen, wie z. B. die Flächenentsiegelung auf dem Werksgelände, vorgeschlagen, um entsprechende Anreize zu setzen. Darüber hinaus stimmten die Teilnehmer-Innen des Workshops darin überein, dass die Unternehmen im Raum Stuttgart sich sehr wohl der Veränderungen des Klimas bewusst seien, die diesbezügliche strategische Planung von Anpassungsmaßnahmen jedoch angesichts umfangreicher operativer Aufgaben vernachlässigt werde. Folglich seien hier zunächst verständliche Informationen nötig, um die Unternehmen über ihre Betroffenheit zu informieren. Im nächsten Schritt müssten Ergebnisse aus der Forschung hinsichtlich der Anpassungsmaßnahmen bis zur Marktreife entwickelt werden und Unternehmen über deren Anwendungsmöglichkeiten informiert werden. Die Verantwortung für eine robuste Gestaltung der Industrie in der Region

¹¹ Der Workshop wurde in den Räumlichkeiten des Verbands Region Stuttgart durchgeführt. Für diese freundliche Unterstützung, auch in der Vorbereitung, bedanken sich die Autoren stellvertretend bei Herrn Markus Siehr recht herzlich. Das Protokoll und weitere Angaben zu dem Workshop sind dem Anhang zu entnehmen.

liegt also in der Verantwortung der Unternehmen und der politischen Entscheider. Der Kosten-Nutzen-Abwägung müssen überzeugend kommunizierte Argumente und Anreize entgegengebracht werden, um den Unternehmen Innovationen und Investitionen in die notwendige Anpassung zu erleichtern. Gleichzeitig erhoffen sich diese zuverlässige Informationen zu der klimatischen Entwicklung als stabile Planungsgrundlage.

5.3 HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN AUF BASIS DIESER STUDIE

Die indikatorbasierte Vulnerabilitätsanalyse kann die Eindrücke der Workshop-TeilnehmerInnen und die Befunde aus der Literatur unterstützen. Wie sich über alle Szenarien hinweg zeigt, verdienen allen voran die Ballungsräume besondere Aufmerksamkeit. Die Region um Stuttgart zeichnet sich durch hochentwickelte Industriestandorte und damit einhergehend hohe Ansprüche an die industrielle Infrastruktur aus. Der hohe Anteil produzierender Unternehmen, beispielsweise aus dem Bereich Kraftfahrzeugbau, unterstreicht die Exposition dieser Branchen gerade angesichts hoher Temperaturbelastungen für Mensch und Maschinen. Entlang der Wertschöpfungsketten, die oft zeitpunktgenau gesteuert werden, sind die Herausforderungen einer Branche nur schwer in ihrer Bedeutung zu isolieren. Hier wird die Dichte und räumliche Nähe der an der Wertschöpfung beteiligten Produktionsstätten zwar Wege verkürzen und zur Flexibilisierung beitragen, gegenüber den Klimafolgen (Extremwetterereignissen) jedoch verstärken sie unweigerlich im Extremfall die negativen Effekte für die gesamte Supply-Chain. Im Folgenden werden aus der Vulnerabilitätsanalyse, dem damit verbundenen Workshop und den Expertengespräche mögliche Handlungsempfehlungen abgeleitet und die weitere Anwendung der Ergebnisse diskutiert.

5.3.1 ANWENDUNG DER ERGEBNISSE IN DEN UNTERNEHMEN

Die vorliegende Studie und ihre Ergebnisse führen unter bestimmten Annahmen zu der Bewertung der industriellen Vulnerabilität in den 480 betrachteten Gemeinden. Sie kann damit einen Überblick verschaffen. Wie jedoch bereits an entsprechender Stelle zuvor angemerkt wurde, verzichtet sie auf die Bewertung der Resilienz auf Unternehmensebene (innerbetriebliche Strukturen und exogene Einflüsse) als auch in den Gemeinden. Einzig in den Modellannahmen sind diese Effekte indirekt berücksichtigt. So sind bei der Bewertung der Exposition von Industriegebäuden gegenüber Hochwasser – je nach Aktualität der Berechnung – auch bauliche Maßnahmen berücksichtigt, die dieses Ausgesetztsein mindern. Dies können Polder, Wehre oder natürliche Retentionsflächen sein. Auch die klimatischen Modelle, die teilweise starke Annahmen treffen müssen, was etwa die künftige Entwicklung der genutzten Technologien anbelangt, und ebenfalls räumliche Strukturen wie Topographie oder Wasserhaushalt miteinbeziehen, führen damit auch indirekt verstärkende oder dämpfende Effekte ein. Aus den hochaggregierten Daten, die zur Beschreibung der industriellen Struktur zur Verfügung standen, jedoch pauschal vulnerabilitätsmindernde Eigenschaften abzuleiten verfehlt das Ziel der Analyse. Zur Erhebung der Vulnerabilität eines bestimmten Betriebes in einer bestimmten Gemeinde an einer genau bestimmten Stelle eines Flussufers beispielsweise werden genaue Einblicke vor Ort benötigt. Dies kann nur durch oder im engen Kontakt mit dem Unternehmen geschehen. Ist ein Krisenmanagement vorhanden? Wie flexibel ist die Produktion? Welche Möglichkeiten bestehen für den Transport von Produkten und Vorprodukten? Bestehen diese Eigenschaften entlang der gesamten Supply-Chain?

In den Unternehmen kann aus der sektorspezifischen Bewertung der bundesweiten Daten (Abbildung 6) eine Orientierung für die eigene Analyse des Betriebs und der der Wertschöpfungskette angehängten Industrien abgeleitet werden. Hierbei geben die gewählten Indikatoren eine erste Struktur für die eigene Bewertung vor und können angesichts der Flexibilität der Methode leicht an die eigenen Bedürfnisse angepasst werden. So ist es grundsätzlich möglich, nicht nur branchenweite, sondern auch unternehmensinterne Indikatorensysteme zu etablieren. Diese können das Risikomanagement der Betriebe unterstützen und auf exponierte oder

fragile Elemente aufmerksam machen und überwachen. So können Anpassungskapazitäten und Maßnahmen zur Resilienzsteigerung begründet und eingeführt oder erweitert werden. Eine Übersicht über die regionale Verortung der Zulieferer wiederum kann mit den Werten der einzelnen Gemeinden für eine schnelle Überprüfung der Vulnerabilität entlang der eigenen Supply-Chain dienlich sein. Abbildung 13 gibt einen Überblick über diese Anwendungsmöglichkeit im unternehmensinternen Risikomanagement.

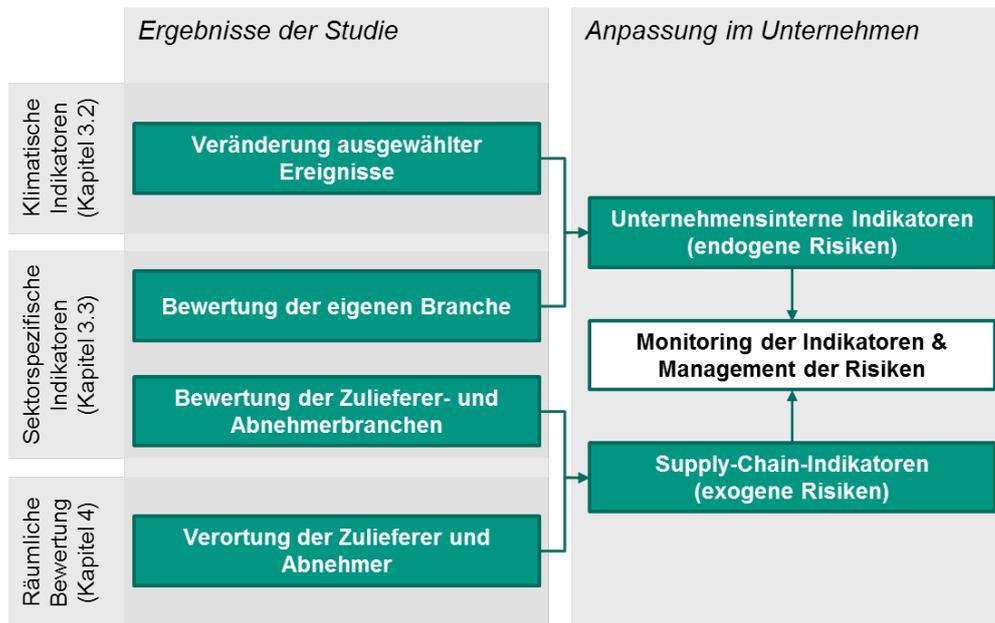


Abbildung 13: Weitere Verwendungsmöglichkeiten der Ergebnisse in den Unternehmen

Eine logische Konsequenz einer indikatorgestützten Überwachung klimatischer Einflüsse und Abhängigkeiten entlang der Supply-Chain ist dann die Einführung eines entsprechenden Frühwarnsystems, das softwaregestützt die Lieferkette und ihre Abläufe bewertet. Hierfür jedoch ist eine Spezifizierung der verwendeten Daten erforderlich. So ist eine umfassende Darstellung der unternehmenseigenen Abhängigkeiten und der Transportwege in besonderem Maße von internen Daten abhängig. Angesichts der Langfristigkeit des Klimawandels erlangt dieser Teil eines gelebten Risikomanagements auch eine strategische Bedeutung.

Um dies methodologisch vorzubereiten, ist es wesentlich, dass sich künftige Forschungsvorhaben auch mit der genaueren Struktur der kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) im Land auseinandersetzen, die trotz ihrer Bedeutung für den Standort gerade im Supply-Chain-Risk-Management oftmals Nachholbedarf haben. Die Studie einer Stuttgarter Unternehmensberatung zeigt auf Basis von Interviews mit über 160 Supply-Chain-Managern in verschiedenen deutschen Unternehmen, dass zwischen den Anforderungen, die die Unternehmen an Reaktionsfähigkeit, Anpassung und Ausrichtung ihrer Supply-Chain stellen und der Umsetzung eine beträchtliche Lücke klafft. So bewerteten beispielsweise 95 Prozent der Befragten die Fähigkeit, auf kurzfristigen Angebots- oder Nachfrageschwankungen entsprechend reagieren zu können, als sehr bedeutsam, die eigene Umsetzung oder Ausprägung dieser Eigenschaft konnten allerdings nur knapp die Hälfte als gut oder sehr gut bezeichnen. Um hierbei Prozesse umzulenken und langfristige Planung zu begründen, müssen die Unternehmen für die sich wandelnde Exposition und der Gefahr eines Kontrollverlusts über eigene Prozesse sensibilisiert werden, was nur durch gezielte Information und Ansprache der Betriebe geschehen kann.

Angesichts der räumlichen Lage Stuttgarts und der Historie der Extremwetterereignisse in der Region, wie Überschwemmungen oder Hitzetage, sind diese Gefahren als solche nicht vollkommen im industriellen Risikomanagement unberücksichtigt. Führt man sich aber vor Augen, dass der durchschnittliche Planungshorizont eines Unternehmens (nach Aussage der befragten Experten¹²) etwa fünf Jahre beträgt, erscheinen auch die Umfrageergebnisse des IW Köln in einem anderen Licht: Den Auswirkungen des Klimawandels (durch Wetterextreme) wird momentan vorrangig reaktiv begegnet. Versicherungsschutz, eine Mauer um das Betriebsgelände, ein Dach über die im Hof lagernden Produkte und dergleichen gelten bislang als probate und vor allem pragmatische Lösungen. Doch gerade bei der weitverbreiteten Absicherung per Versicherungsschutz (Mahammadzadeh et al. 2013) ist unklar, ob Unternehmen in besonders gefährdeten Regionen, wie bereits heute teilweise bei Kontrakten zum Risikotransfer bei Überschwemmungen, noch ohne Probleme auf Extremwetterversicherungen zurückgreifen können, beziehungsweise, ob diese für die Versicherer weiterhin rentabel bleiben (GdV 2011). Umso wesentlicher erscheint es, die langfristigen Änderungen des Klimas in den Fokus des unternehmerischen, aber auch behördlichen Risikomanagements zu rücken. Der Klimawandel verändert nicht nur die Exposition bezüglich der mit ihm verbundenen Naturgefahren, sondern verändert auch global die Absatz- und Beschaffungsmärkte. Zudem geben die verflochtenen Lieferketten und wirtschaftlichen Beziehungen zwischen Regionen oder Unternehmen Anlass, sich bei der Lösung der (künftigen) Herausforderungen des Klimawandels nicht primär auf externe Hilfestellung zu verlassen. Die Ergebnisse der indikatorbasierten Analyse und ähnliche Studien (Löffler et al. 2011) ergeben, dass auch das unternehmensinterne Risikomanagement (als funktionelle Einheit innerhalb der Betriebsorganisation) maßgeblich von außen bestimmt wird. So erfolgt die Einstellung eines Risikomanagers beispielsweise auf Druck durch gesetzliche Bestimmungen, die Maßnahmen im Hochwasserschutz auf Drängen des Versicherers oder die Überwachung der Supply-Chain auf Verlangen des Kunden.

Diese externen Impulse und die ständige unternehmerische Abwägung zwischen Investitionshöhe und Nutzen einer Maßnahme bedingen, dass sich industrielles Risikomanagement in vielen Fällen nur entlang des Nötigen bewegt. Langfristige Prozesse wie der Klimawandel scheinen in diesem Sinne nur auf Grundlage aktuell zu beobachtender Phänomene bewertet zu werden. Gleichzeitig wachsen mit der Vulnerabilität der Industrie deren Erwartungen an die Kommunen, Länder und den Bund, die ihren Teil zum Schutz kritischer Infrastrukturen beitragen. Die Gewährleistung öffentlicher Güter wie etwa Sicherheit vor Überschwemmungen ist jedoch seit jeher ein Problem, das am ehesten unter offener Kommunikation und Offenbarung der eigenen Präferenzen gelöst werden kann. Schon jetzt zeigen die Analysen des IW Köln, dass die Unternehmen nicht nur erhöhte öffentliche Investitionen in eine resiliente Infrastruktur fordern, sondern gleichzeitig einen eigenen hohen Informationsbedarf sehen, der über den täglichen Wetterbericht hinausgeht (Mahammadzadeh et al. 2013). So bleibt unweigerlich die Folgerung zu ziehen, dass die Anpassung an den Klimawandel auf industrieller Ebene mit den Kommunen nur im gegenseitigen Austausch zielführend betrieben werden kann. Der Erfolg der Industrie bestimmt maßgeblich auch den Erfolg der betreffenden Kommunen. Es entstehen in dieser Frage, auch in Stuttgart, Abhängigkeiten, denen man sich beidseitig bewusst sein sollte.

Der Informationsbedarf betrifft nicht nur die Industrie. Auch die Kommunen sind in besonderer Weise von sach- und anwendergerechten Informationen abhängig. Im Zusammenhang mit Extremwetterereignissen hat

¹² Es wurden teilweise strukturierte Interviews mit verantwortlichen Mitarbeitern aus Unternehmen der Chemie- und Automobilwirtschaft geführt, die detaillierte Einblicke in deren operationelles Risikomanagement entlang der Supply-Chain geben konnten. Ergänzende Eindrücke stammen aus dem Stakeholder-Workshop und verwandten Projekten, die am Institut durchgeführt wurden.

sich mit der Hochwasservorhersagezentrale Baden-Württemberg ein wichtiges Informations- und Monitoring-System etabliert, das in Echtzeit Auskunft über die Lage in den einzelnen Kommunen geben kann. Auch andere Ereignisse können über die ereignisnahen Veröffentlichungen und Warnungen des Deutschen Wetterdienstes oder der Fachabteilungen der Universitäten des Landes verfolgt werden. Die Bewertung dieser Angaben hinsichtlich des betrieblichen oder kommunalen Risikomanagements muss vor Ort vorgenommen werden. Dabei werden dennoch vollständige und regionsübergreifende Informationen benötigt. Infrastrukturschäden und Beeinträchtigungen sollten ebenso punktgenau und aktuell verfügbar sein, wie es bei Pegelständen oder Niederschlägen heute schon der Fall ist. Gleichzeitig aber muss die auf hohem wissenschaftlichem Niveau geführte Debatte um die Folgen des Klimawandels auch dem Anwender im Unternehmen verständlich gemacht und aufbereitet werden. Die internationalen Zusammenhänge müssen darüber hinaus, so schwer sie auch zu bewerten sein mögen, auch dem Risikomanagement eines Unternehmens zur Szenarioanalyse frühzeitig zur Verfügung stehen. Die Industrie des Landes muss von Beginn an auf sich wandelnde Märkte oder gesetzliche Anforderungen aufmerksam gemacht werden, um koordiniert Anpassungsmaßnahmen ergreifen zu können, die auch in einem längeren Prozess reifen können.

Dies ist wiederum eine wesentliche Stellschraube des Bundes und der Länder. Die Informationsaufbereitung soll nicht nur auf notwendige Maßnahmen hinweisen, sondern es müssen auch unmittelbar Anreize geschaffen werden, die Anpassung mitzugestalten. Wie im „Aktionsplan Anpassung der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel“ von 2011 beschrieben, muss die öffentliche Hand nicht nur Gelder bereithalten, die zielgerecht investiert werden können, sondern auch einen gesetzlichen Rahmen bieten, der die Anpassung der Industrie nicht nur fordert, sondern auch fördert. Instrumente wie sie die Landesbank oder die KfW Bankengruppe beispielsweise zur Förderung nachhaltigen Bauens bereithalten, können auch hier die Aktivitäten der Betriebe – gerade in der unternehmerischen Kosten-Nutzen-Abwägung – unterstützen und gleichzeitig deren Beteiligung an der öffentlichen Aufgabe begünstigen. Die Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel und die mit ihr verbundenen Projekte stellen diesen Bezug zwischen den Akteuren her, der jedoch auf kommunaler Ebene genauso verstanden und gelebt werden muss, wie er sich auf dem Papier anbietet. Die Anpassung muss auch in den Städten und Kommunen eng zwischen den Stakeholdern abgestimmt und koordiniert werden. Die gegenseitigen Abhängigkeiten und vielfältigen Gestaltungsmöglichkeiten dieser hier betrachteten Akteure bezüglich der strategischen Zielvorgabe und der operativen Umsetzung können maßgeblich dazu beitragen, dass Unsicherheiten für die Industrie in Baden-Württemberg reduziert und gravierenden Schäden in der Zukunft vorgebeugt wird.

6 Fazit und kritische Würdigung

Die vorliegende Studie zeigt, dass mit geeigneten Indikatoren die Analyse der Vulnerabilität auch räumlich hoch-aufgelöst erfolgen kann. Durch die Kombination von sektor- und raumspezifischen Größen können Fragilität und Exposition der Industrie vergleichsweise einfach ermittelt und für den Entscheidungsträger in den Gemeinden verständlich abgebildet werden. Durch die Verwendung gleichartiger Informationen für die betrachteten Regionen und Teilregionen entsteht zudem eine hohe Vergleichbarkeit. Für die Region Stuttgart erweist sich vor allem die Zunahme der heißen Tage als problematisch. Zum einen wird dieser Trend gemäß aktueller Klimaprojektionen auch in naher Zukunft sehr deutlich sein, gleichzeitig wird ein wichtiger Produktionsfaktor der Industrie in der Region direkt physisch betroffen sein: der Mensch. Die hohe Abhängigkeit von gut ausgebildetem Personal in den verarbeitenden Betrieben ergibt hier eine hohe Vulnerabilität in weiten Teilen der Metropolregion und ist über die enge Verflechtung einzelner Branchen auch entlang der Supply-Chain der Unternehmen zu beachten.

Neben diesen Vorzügen der Einfachheit, Transparenz und Flexibilität bleibt jedoch festzustellen, dass eine Bewertung auf Gemeindeebene zwar durchaus durchführbar ist, doch unter der mangelnden Datenverfügbarkeit gegenüber Analysen auf Ebene der Landkreise leidet. Vor allem die Industriestruktur der Gemeinden ist auf Basis der frei zugänglichen Daten kaum vollständig zu fassen. Die Schwächen der angewandten Methodik ergeben sich darüber hinaus in der schwierigen Auswahl und Gewichtung der notwendigen, verfügbaren Informationen, wie in Kapitel 4.1 verdeutlicht wird. So sind der Gestaltungsspielraum und letztlich auch der Interpretationsspielraum formbar. Die Objektivität der eingehenden Information geht durch die Normierung und den Vergleich verloren. Gleichzeitig zeigt sich, dass dieser Gestaltungsspielraum auch in dieser Studie noch längst nicht erschöpft ist. Die Flexibilität in der Verwendung der eingehenden Daten lassen unterschiedliche Richtungen und Schwerpunkte der Analyse zu. So ist es durchaus denkbar, die Analyse beispielsweise hinsichtlich eines Transportträgers oder eines Szenarios zu präzisieren.

Grundsätzlich bietet die Methode somit eine Möglichkeit, in genauer eingegrenzten Regionen mit einer ausreichenden Datenverfügbarkeit eine Analyse vorzunehmen und die Ergebnisse beispielsweise zwischen Ballungsräumen zu vergleichen. Die Übertragung dieser Methode ist innerhalb Baden-Württembergs, z. B. auf die Großräume Freiburg, die Bodenseeregion oder die Metropolregion Rhein-Neckar, möglich. Die bereits vorhandene Datenbasis kann für diesen Transfer genutzt werden. Die Unterschiedlichkeit der betrachteten Gemeinden in dieser Studie führt selbst in der Auswahl sehr allgemeiner Indikatoren zu nicht immer intuitiv nachzuvollziehenden Ergebnissen. So zeigt die Projektion des Klimas zwar, dass die Windgeschwindigkeiten vor allem in den Randbereichen der Metropolregion zunehmen, das Modell misst jedoch im Zentrum, also in Stuttgart, die höchste Vulnerabilität. Zumindest ist dies ein deutlicher Hinweis darauf, dass in der Bewertung stets mehrere Indikatoren berücksichtigt werden müssen.

Was sich ebenfalls mittels dieser Methode kaum abbilden lässt, eventuell jedoch mindestens so gravierende Auswirkungen auf die Industrie haben wird, ist der Wandel der Märkte in einer globalisierten Welt. Betrachtet man nicht nur exemplarisch die Vernetzung einer Branche innerhalb eines Landes, sondern verfolgt man den Weg der Produkte von den Rohstoffen bis zum Abnehmer, vergrößert sich auch die Angriffsfläche klimawandelinduzierter Risiken und zwar über Regionen hinweg, die grundsätzlich unterschiedliche Klimafolgen zu spüren bekommen. So ist es durchaus denkbar, dass Stürme auf der anderen Seite des Erdballs Zuliefererindustrien einschränken, deren Leistungen in Deutschland nachgefragt werden. Die Flut in Thailand, die im Jahr 2011 einige der größten Festplattenhersteller der Welt in ihren Produktionsstätten heimsuchte, ist ein Beispiel dafür ([Chongvilaivan 2012](#)). Die Form dieser Risiken ist zu komplex, um sie in eine solche Analyse

miteinfließen zu lassen: Von den klimawandelbedingten extremen Wetterereignissen in den Ländern der Zulieferer über den Wandel regulatorischer Instrumente (Anforderungen an Produkte, Emissionen etc.) auf den Märkten bis zu den sozialen Folgen des Klimawandels – die Wirkungen auf einen derart begrenzten Raum wie die Metropolregion (vor allem auf Basis des technologischen und politischen Status Quo) sind zu vielfältig, um sie mit den hier vorgestellten Mitteln zu erfassen und zu bewerten. Somit unterstellt diese Analyse eine konstante Wirtschaftsstruktur. Doch die Komplexität macht auch vor der regionalen Analyse nicht halt. Angesichts eines Betrachtungshorizonts von 30, 40 oder 50 Jahren ist es schwierig, den richtigen Zeitpunkt für die Umsetzung entsprechender Maßnahmen zur Adaption festzulegen. Wann lohnt sich aus Unternehmenssicht eine Investition, um sich gegen eine weiterhin abstrakte Gefährdung, wie sie der Klimawandel darstellt, zu wappnen?

Folglich sollten politische Entscheidungsträger neben der Umsetzung eigener Maßnahmen auf kommunaler oder regionaler Ebene in einen intensiven Dialog mit betroffenen Unternehmen treten, um Umfang und Alternativen zu möglichen Schutz- und Anpassungsmaßnahmen auszuloten. Gleichzeitig müssen wissenschaftliche Erkenntnisse verständlich aufbereitet werden, um Unternehmen über ihre Betroffenheit und mögliche Auswirkungen zu informieren. Die indikatorbasierte Vulnerabilitätsanalyse stellt hierbei auf Grund der klar strukturierten und transparenten Vorgehensweise eine geeignete Methodik für die Ergebnisberechnung und -präsentation dar.

Quellenverzeichnis

adelphi (2013): Fit machen für den Klimawandel. Herausforderungen für die Wirtschaft Baden-Württembergs. Hintergrundpapier zum Stakeholder-Workshop des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg am 22. Juli 2013 in Stuttgart.

Adger, N.; Kelly, M.; Bentham, G. (2001): New Indicators of Vulnerability and Adaptive Capacity. Paper presented at the International Workshop on Vulnerability and Global Environmental Change, Lila Nyagatan. Stockholm, 17-19 May 2001.

Aksoy, S.; Haralick, R. M. (2001): Feature normalization and likelihood-based similarity measures for image retrieval. In: Pattern Recognition Letters 22 (5), S. 563–582.

Aktionsplan Anpassung der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Bundeskabinett 2011. Online verfügbar unter: http://www.bmub.bund.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/aktionsplan_anpassung_klimawandel_bf.pdf

ATC (2002): Seismic vulnerability and impact of disruption of lifelines in the conterminous United States, Earthquake Hazard Reduction Series, 58, Applied Technology Council, Washington, D.C.

Birkmann, J. (1999). Indikatoren für eine nachhaltige Entwicklung. In: *Raumforschung und Raumordnung* 57 (2-3), S. 120-131:

Birkmann, J. (2006): Indicators and criteria for measuring vulnerability: Theoretical bases and requirements. In: J. Birkmann (Hg.): *Measuring vulnerability to natural hazards. Towards disaster resilient societies*. Tokyo: United Nations Univ. Press, S. 55–77.

Chongvilaivan, A., 2012: Thailand's 2011 flooding: Its impact on direct exports, and disruption of global supply chains. ARTNeT Working Paper No. 113, May, Bangkok, ESCAP. URL: www.artnetontrade.org

Cutter, S. L.; Burton, C. G.; Emrich, C. T. (2010): Disaster Resilience Indicators for Benchmarking Baseline Conditions. In: *Journal of Homeland Security and Emergency Management* 7 (1).

Flegg, A. T.; Tohmo, T. (2011): Regional Input-Output Tables and the FLQ Formula: A Case Study of Finland, Erschienen in: *Regional Studies*. DOI:10.1080/00343404.2011.592138.

Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V. (GdV; 2011): Herausforderung Klimawandel. Antworten und Forderungen der deutschen Versicherer. Berlin. Online verfügbar unter: http://www.gdv.de/wp-content/uploads/2011/11/Broschuere_Herausforderung_Klimawandel_2011.pdf

Heymann, Eric (2008): Welche Branchen sind besonders vom Klimawandel betroffen? Erschienen in: *uwf UmweltWirtschaftsForum*, June 2008, V. 16, Issue 2, S. 65-70.

Hiete, M.; Merz, M. (2009): An Indicator Framework to Assess the Vulnerability of Industrial Sectors against Indirect Disaster Losses. In: J. Landgren und S. Jul (Hg.): *Proceeding of the 6th International IS-CRAM Conference*, May 2009. Gothenburg, Sweden.

Daxböck, C.; Zinn, U.; Hunstock, T. (2011): Studie: Supply Chain Performance Management. Über die intelligente Verknüpfung von Strategien, Prozessen und Controlling zur Steuerung der Wertschöpfungskette. Herausgegeben von Horváth & Partners. Stuttgart, Juni 2011. Verfügbar auf Anfrage bei den Autoren.

IPCC (2013): Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.

Kowalewski, Julia (2012): Regionalization of national input-output tables: empirical evidence on the use of FLQ formula. HWWI Research Paper 126. ISSN 1861-504X. Hamburg.

LGL-BW (2013): Komplettpaket Verwaltungsgrenzen (ZIP-Archiv mit SHAPE-Dateien, Stand 8.2013). Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg. Online verfügbar unter: https://www.lgl-bw.de/lgl-internet/opencms/de/07_Produnkte_und_Dienstleistungen/Open_Data_Initiative/.

Löffler, Hendrik F., Zähres, Raimund, Augsten, Tobias: Exklusive Benchmarkstudie zu Stand und Perspektiven des Risikomanagements in deutschen (Familien-)Unternehmen. Funk RMCE, Rödl & Partner, Weissman & Cie. Nürnberg, Hamburg, 2011. Online verfügbar unter: http://www.risknet.de/fileadmin/eLibrary/Benchmarkstudie-RM_im_Mittelstand-2011-04.pdf

LUBW (2013): Daten aus dem Räumlichen Informations- und Planungssystem (RIPS) der Landesanstalt für Umwelt, Messungen, Naturschutz Baden-Württemberg; 08.11.2013; Link: <http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de>; Geobasisdaten © Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg, www.lbl-bw.de, Az.: 2851.9-1/19.

Merz, M. (2011): Entwicklung einer indikatorbasierten Methodik zur Vulnerabilitätsanalyse für die Bewertung von Risiken in der industriellen Produktion. KIT Scientific Publishing. ISBN 9783866447134. Karlsruhe. URL: <http://dx.doi.org/10.5445/KSP/1000023856>

Statistik der Bundesagentur für Arbeit (2012). Arbeitsmarkt in Zahlen, Sozialversicherungspflichtige Beschäftigte nach Wirtschaftszweigen (WZ 2008), Nürnberg, März 2012.

Statistisches Bundesamt (2007): Gliederung der Klassifikation der Wirtschaftszweige, Ausgabe 2008 (WZ 2008). Arbeitsunterlage. Wiesbaden.

Statistisches Bundesamt (2013a): 1.3 Material und Wareneingang 2010 an Rohstoffen, Hilfs- und Betriebsstoffen, Verpackungsmaterialien sowie Brenn- und Treibstoffen. In: Material- und Wareneingangserhebung 2010. Fachserie 4, Reihe 4.2.4. Wiesbaden.

Statistisches Bundesamt (2013b): 2.1 Input-Output-Tabelle 2009 zu Herstellungspreisen – Inländische Produktion und Importe. Fachserie 18, Reihe 2. Wiesbaden.

Statistisches Bundesamt (2013c): 22.6 Energieverwendung der Betriebe im Verarbeitenden Gewerbe. In: Statistisches Jahrbuch 2013. Deutschland und Internationales. Wiesbaden, S. 545–554.

Statistisches Bundesamt (2013d): Tabellen zu den Umweltökonomischen Gesamtrechnungen. Teil 4: Rohstoffe, Wassereinsatz, Abwasser, Abfall. Ausgabe 2013. Tabelle 6.2: Wassereinsatz im Inland. Wiesbaden.

Statistisches Bundesamt (2014a): 1.1 Betriebe mit 50 und mehr tätigen Personen im April 2014, In: Produzierendes Gewerbe April 2014. Fachserie, Reihe 4.1.1. Wiesbaden.

Statistisches Bundesamt (2014b): 3.2.1 Bruttowertschöpfung in jeweiligen Preisen. In: Inlandsproduktsberechnung 2013. Fachserie 18, Reihe 1.4. Wiesbaden.

Statistisches Bundesamt (2014c): 3.2.19 Bruttoanlagevermögen zu Wiederbeschaffungspreisen. In: Inlandsproduktsberechnung 2013. Fachserie 18, Reihe 1.4. Wiesbaden.

Statistisches Bundesamt (2014c): Beförderungsmengen nach Güterabteilungen NST-2007 (Tabellen 1.1.3, 1.2.3, 1.3.4). In: Verkehr, Verkehr aktuell 05/2014. Fachserie 8, Reihe 1.1. Wiesbaden.

Statistisches Landesamt (2013): Struktur- und Regionaldatenbank. Online verfügbar unter: <http://www.statistik.baden-wuerttemberg.de/SRDB/home.asp?H=BevoelkGebiet&E=GE>.

Tröltzsch, J.; Görlach, B.; Lückge, H.; Peter, M.; Sartorius, C. (2011): Ökonomische Aspekte der Anpassung an den Klimawandel. Literaturlauswertung zu Kosten und Nutzen von Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel. Climate Change 19/2011. Dessau: Umweltbundesamt.

U.K. Department of Environment, Transport and the Regions (DETR) (1999): Quality of Life Counts. Government Statistical Service, London, United Kingdom.

Umweltbundesamt (2014): Klimalotse. Online verfügbar unter: <http://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimafolgen-anpassung/werkzeuge-der-anpassung/klimalotse>.

Weis, M.; Siedentop, S.; Minnich, L. (2011): Vulnerabilitätsbericht der Region Stuttgart. Bericht im Rahmen des Projekts KLIMAMORO. Universität Stuttgart, April 2011.

Anhang

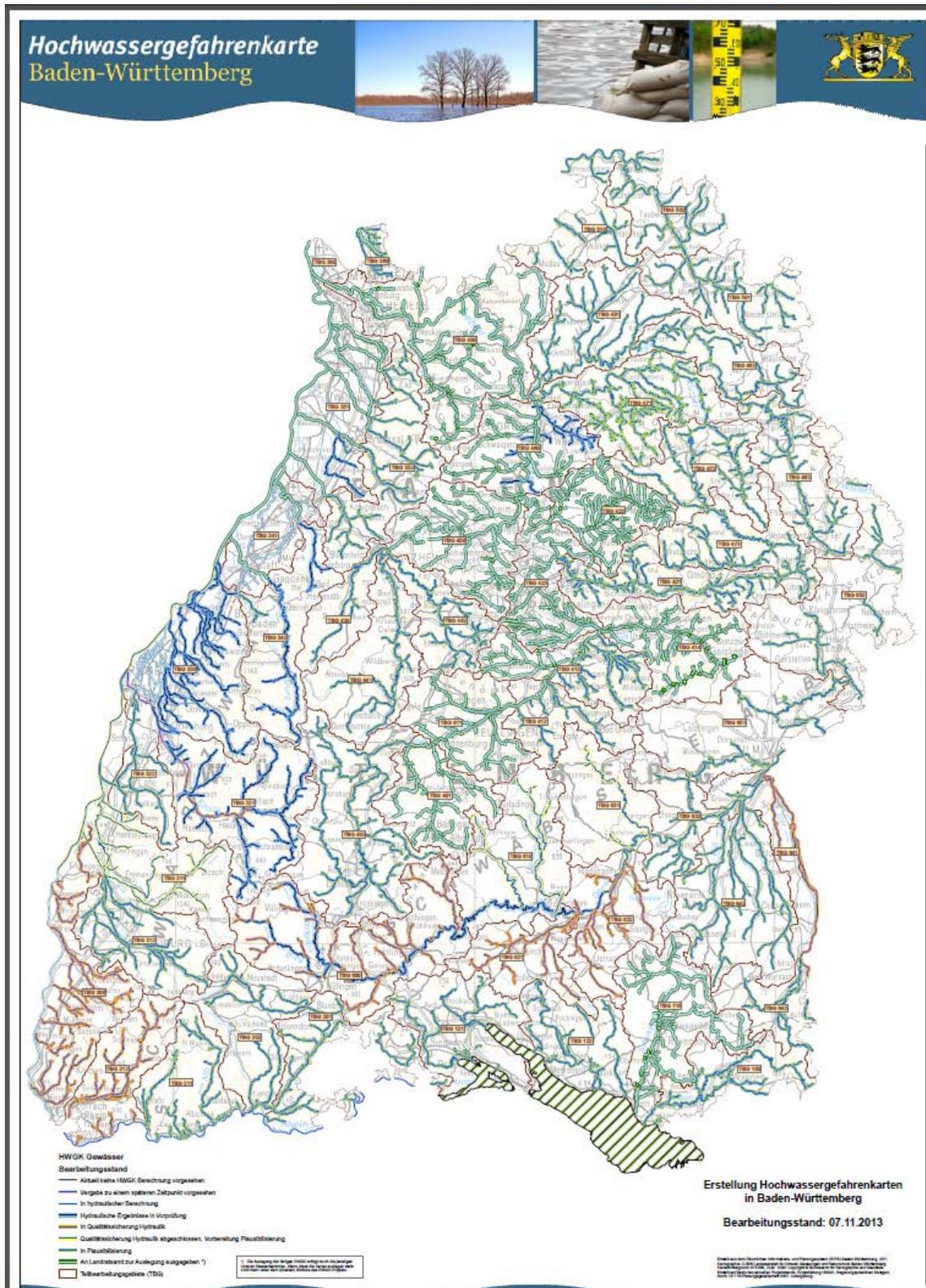


Abbildung A: Projektstandkarte der Berechnung von Hochwassergefahren in Baden-Württemberg. Stand: 07.11.2013.

Tabelle A: Sektorspezifische Indikatoren für die betrachteten Branchen

* aus Normierung ausgeschlossen ** Werte ähnlicher Sektoren verwendet (Schätzung)

Bezeichnung	Spez. Anlagevermögen	Personalintensität	Akademikerquote	Spez. Wassereinsatz	Wasserabhängigkeitsfaktor	Spez. Energieeinsatz	Stromabhängigkeitsfaktor	Transportmittelabhängigkeit	Schlüsselsektor	Spez. Materialeinsatz
Erzbergbau, Gew. v. Steinen u. Erden, sonst. Bergbau	0,15	0,00	0,24	0,31	0,15	0,01	0,9	0,79	1	0,00
Nahrungs- und Futtermittel, Getränke, Tabakerzeugnisse	0,05	0,10	0,00	0,06	0,7	0,04	0,9	0,94	0	0,67
Textilien, Bekleidung, Leder- und Lederwaren	0,04	0,12	0,14	0,02	0,7	0,02	1	1,00	0	0,62
Holz, Flecht-, Korb- und Korkwaren (ohne Möbel)	0,03	0,10	0,00	0,01	0,5	0,10	1	0,80	1	0,78
Papier-, Verlags- und Druckgewerbe	0,07	0,13	0,13	0,14	0,45	0,14	0,55	0,90**	1	0,59
Chemische Industrie (inkl. pharmazeutische Erzeugnisse)	0,27	0,32	0,77	1,00	0,8	0,94	0,9	0,44	1	0,59
H.v. Gummi- u. Kunststoffwaren	0,03	0,09	0,18	0,01	0,5	0,03	1	0,92**	1	0,64
H.v. Glas u. Glaswaren, Keramik, Verarb. v. Steinen und Erden	0,02	0,01	0,20	0,05	0,5	0,13	1	0,92	0	0,35
Metallerzeugung und -bearbeitung	0,20	0,48	0,20	0,33	0,85	1,00	0,95	0,36	0	0,95
H.v. Metallerzeugnissen	0,00	0,08	0,10	0,00	0,85	0,01	0,95	0,36	1	0,47
Elektroindustrie	0,09	0,25	1,00	0,01	0,9	0,01	1	0,94**	1	0,59
Maschinenbau	0,04	0,19	0,56	0,00	0,6	0,01	1	0,94	0	0,64
Fahrzeugbau	0,50	1,00	0,71	0,05	0,6	0,09	1	0,71	0	1,00
H.v. Möbeln, sonst. Waren	0,01	0,13	0,17	0,00	1	0,00	0,95	0,92	0	0,47
Energie- und Wasserversorgung	1,00	0,13	0,83	1,00*	0,4	1,00*	0,8	1,00**	0	0,50**
Baugewerbe	0,00	0,28	0,03	0,00	0,5	0,03	0,4	0,80**	0	0,50**

Dokumentation des Stakeholder-Workshops

KLIMOPASS Teil 2 “Angewandte Forschung und Modellprojekte“

Dokumentation des Stakeholder-Workshops

Klimawandelinduzierte Risiken für die Industrie in der Metropolregion Stuttgart

am 15. Mai 2014

beim Verband Region Stuttgart, Kronenstraße 25, 70174 Stuttgart

Organisation: Hanns-Maximilian Schmidt
Karoline Fath
Dr. Marcus Wiens

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Institut für Industriebetriebslehre und
Industrielle Produktion (IIP)
Lehrstuhl für Betriebswirtschaftslehre,
insbes. Produktionswirtschaft und Logistik
Prof. Dr. rer. pol. Frank Schultmann
Hertzstr. 16, Geb. 06.33
76187 Karlsruhe

www.iip.kit.edu

www.kit.edu

1. Einleitung

Im Rahmen des Projekts „KLIMOPASS 2 – Klimawandel und modellhafte Anpassung in Baden-Württemberg“ hat am 15. Mai in Stuttgart der Stakeholder-Workshop zum Thema „Klimawandelinduzierte Risiken für die Industrie in der Metropolregion Stuttgart“ stattgefunden. Organisiert von Mitarbeitern des Instituts für Industriebetriebslehre und Industrielle Produktion (IIP), Lehrstuhl für Betriebswirtschaftslehre, insbes. Produktionswirtschaft und Logistik am Karlsruher Institut für Technologie (KIT), unterstützt vom Verband Region Stuttgart haben 16 Teilnehmer aus den Bereichen Industrie, Politik und Forschung über die Risiken des Klimawandels für Industrieunternehmen in der Metropolregion Stuttgart, Handlungsoptionen und mögliche Anpassungsmaßnahmen diskutiert. Im Folgenden werden der Ablauf des Workshops und die Ergebnisse kurz zusammengefasst.

2. Impulsvorträge zum „Klimawandel in Baden-Württemberg“ und „Klimarisiken für die deutsche Industrie“

Als Einführung in das Themenfeld und in den Workshop haben Dr. Gerd Schädler vom Institut für Meteorologie und Klimaforschung – Forschungsbereich Troposphäre am KIT und Dr. Mahammad Mahammadzadeh vom Institut der deutschen Wirtschaft Köln (IW Köln) Impulsvorträge zu den Themen „Klimawandel in Baden-Württemberg“ und „Klimarisiken für die deutsche Industrie“ gehalten.

Dr. Gerd Schädler beschäftigt sich in seinem Forschungsbereich mit der Modellierung, Analyse und Interpretation der beiden eng miteinander verknüpften Themen Klima und Wasser auf der regionalen Skala in hoher räumlicher Auflösung. Angetrieben von globalen Klimamodellen können Simulationen hinsichtlich regionaler Klimaveränderungen mit einer Auflösung von bis zu 7 km erstellt werden. Für Baden-Württemberg wurde bereits eine hoch-aufgelöste Untersuchung für die Veränderung der Temperaturen, Niederschläge und Sturmintensitäten bis zum Jahr 2040 durchgeführt¹³ mit dem Ergebnis, dass extreme Wetterbedingungen zunehmen werden, wie z. B. lange Trockenperioden (16 – 20 Tage). Bis zur Mitte des Jahrhunderts ist der Einfluss des zu Grunde liegenden Emissionsszenarien geringer als der Einfluss anderer Faktoren, so dass bei den Klimaprojektionen bis 2040 die Unsicherheit auf Grund verschiedener möglicher politischer Entwicklungspfade und damit Emissionsszenarien vernachlässigbar ist.

Dr. Mahammad Mahammadzadeh begleitet seit mehreren Jahren KLIMZUG-Projekte („Klimawandel in Regionen zukunftsfähig gestalten“) in sieben Projektregionen. Bei diesen Verbundprojekten geht es um die Steigerung der regionalen Anpassungskompetenz in Deutschland sowie um die Sicherstellung und Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit einer Region auch unter zukünftigen Klimabedingungen.¹⁴ Darüber hinaus hat er im Jahr 2011 im Rahmen des IW-Zukunftspanels Unternehmen nach ihrer Wahrnehmung von Klimarisiken befragt. Die Ergebnisse zeigen, dass Unternehmen aus allen Branchen erwarten, in Zukunft stärker vom Klimawandel betroffen zu sein. Ob jedoch bereits Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel getroffen werden, hängt auch sehr stark von der Unternehmensgröße ab, da es erst ab einer bestimmten Unternehmensgröße ein institutionalisiertes Risikomanagement gibt. Insgesamt wird erwartet, dass die Risiken des Klimawandels die Chancen übersteigen.

¹³ LUBW (2013). Klimawandel in Baden-Württemberg. Fakten – Folgen – Perspektiven.

Online unter http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/67972/klimawandel_in_baden_wuerttemberg.pdf?command=downloadContent&filename=klimawandel_in_baden_wuerttemberg.pdf

¹⁴ <http://www.klimzug.de/index.php>

3. Vorstellung des Indikatormodells zur Analyse der Vulnerabilität der Industrie in der Metropolregion Stuttgart

Für die Analyse der industriellen Vulnerabilität gegenüber dem Klimawandel in der Metropolregion Stuttgart verfolgt das IIP einen indikatorbasierten Ansatz nach Merz (2011)¹⁵. Einerseits werden auf Gemeindeebene Daten gesammelt, die als Indikator für die Zusammensetzung und Größe der örtlichen Industrie dienen können, wie z. B. die Anzahl der Unternehmen, die Anzahl der Industriegebäude und die Anzahl der Beschäftigten. Im nächsten Schritt werden diese räumlich aufgelösten Daten mit meteorologischen Daten des IMKTRO zur zukünftigen Entwicklung des Klimas in der Metropolregion Stuttgart verschnitten. Auf diese Weise können vom Klimawandel betroffene Gemeinden mit sehr vulnerablen Industriesektoren identifiziert und im nächsten Schritt gezielt informiert werden, um Schäden durch mögliche Extremwetterereignisse vorzubeugen und rechtzeitig Anpassungsmaßnahmen vorzunehmen.

Durch die Rückmeldung der Workshopteilnehmer zur indikatorbasierten Vulnerabilitätsanalyse und zur Darstellung der Ergebnisse hat das IIP wertvolle Hinweise hinsichtlich Verständlichkeit und nötiger Zusatzinformationen erhalten, die im weiteren Projektverlauf und in der Erstellung des Abschlussberichts berücksichtigt werden, um eine weitere Verwertbarkeit der Ergebnisse sicherzustellen.

4. Brainstorming zu Handlungsoptionen und Anpassungsmaßnahmen

Im letzten Teil des Workshops wurden alle Teilnehmer aufgefordert, sich mögliche Handlungsoptionen und Anpassungsmaßnahmen für Industrieunternehmen an den Klimawandel zu überlegen. Diese Vorschläge wurden vom IIP gesammelt und gemeinsam mit den anderen Teilnehmern diskutiert.

Nach Einschätzung eines Industrievertreters seien Unternehmen nur zur Umsetzung von Maßnahmen zu bewegen, wenn daraus ein wirtschaftlicher Vorteil entstünde. Folglich müssten Maßnahmen, die einem bestimmten Unternehmen nur einen geringen Vorteil brächten, jedoch insgesamt zu einer Verbesserung des Klimas beitragen, wie z. B. die Entsiegelung von Flächen, zusätzlich finanziell unterstützt werden. Hier sei die Politik gefordert, entsprechende Ausgleichsinstrumente zu implementieren.

Generell waren sich die Teilnehmer einig, dass sich die Unternehmen zwar der schrittweisen Veränderung des Klimas bewusst seien, ihnen jedoch auf Grund ihrer Beanspruchung durch operative Tätigkeiten keine Kapazitäten für die Befassung mit einem solchen strategischen Themenfeld zur Verfügung stünden. Folglich seien hier zunächst verständliche Informationen nötig, um die Unternehmen über ihre Betroffenheit zu informieren. Im nächsten Schritt müssten Ergebnisse aus der Forschung hinsichtlich Anpassungsmaßnahmen bis zur Marktreife entwickelt werden und Unternehmen über deren Anwendungsmöglichkeiten informiert werden.

5. Zusammenfassung

Mit dem Stakeholder-Workshop zum Thema „Klimawandelinduzierte Risiken für die Industrie in der Metropolregion Stuttgart“ konnte das IIP eine Reihe von Zielen erreichen. Zunächst einmal wurde durch die Organisation des Workshops und die Einladung dazu eine Reihe von Unternehmen und Organisationen auf das Forschungsprojekt KLIMOPASS und auf Forschungstätigkeiten zur Anpassung an den Klimawandel auf-

¹⁵ Merz, M. (2011). Entwicklung einer indikatorbasierten Methodik zur Vulnerabilitätsanalyse für die Bewertung von Risiken in der industriellen Produktion. Karlsruhe KIT Scientific Publishing.

merksam. Des Weiteren erhielten die Workshopteilnehmer einen Überblick über die Entwicklung des Klimas in Baden-Württemberg und die Risikowahrnehmung von Unternehmen bezüglich des Klimawandels. Durch die interdisziplinäre Diskussion hat das IIP darüber hinaus wertvolle Hinweise für die weitere Entwicklung der indikatorbasierten Vulnerabilitätsanalyse erhalten, die in die weiteren Forschungsarbeiten und in die Ergebnisdarstellung einfließen werden.

Das IIP bedankt sich bei den Vortragenden, Dr. Gerd Schädler und Dr. Mahammad Mahammadzadeh, für die sehr interessante Einführung in die Thematik, bei Markus Siehr vom Verband Region Stuttgart für die organisatorische Unterstützung und die Bereitstellung der Räumlichkeiten sowie bei allen Workshopteilnehmern für ihr Interesse und die angeregten und spannenden Diskussionen.

Der Workshop wurde gefördert mit Mitteln des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (UM).

Teilnehmerliste des Workshops

Name	Institution
Julius Abs	Institut für Industriebetriebslehre und Industrielle Produktion, KIT
Robert Beestermöller	Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER), Universität Stuttgart
Anja Beuter	Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg
Marius Eisele	Institut für Agrar- und Sozialökonomie in den Tropen und Subtropen, Universität Hohenheim
Dr.-Ing. Bernd Eisenberg	Institut für Landschaftsplanung und Ökologie (ILPÖ), Universität Stuttgart
Karoline Fath	Institut für Industriebetriebslehre und Industrielle Produktion, KIT
J. Roland Gackstatter	RKW Baden-Württemberg / automotive bw
Dr. Kai-Achim Höpker	Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg
Dr. Mahammad Mahammadzadeh	IW Köln
Dr. Ulrich Reuter	Amt für Umweltschutz, Landeshauptstadt Stuttgart
Dr. Gerd Schädler	Institut für Meteorologie und Klimaforschung, KIT
Philipp Scherwitz	Institut für Industriebetriebslehre und Industrielle Produktion, KIT
Hanns-Maximilian Schmidt	Institut für Industriebetriebslehre und Industrielle Produktion, KIT
Daniel Schulz-Engler (entschuldigt)	Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg
Markus Siehr	Verband Region Stuttgart
Ulrike Steinbrenner	Stiftung Energie und Umweltschutz, EnBW
Eva-Maria Stumpp (entschuldigt)	Institut für Landschaftsplanung und Ökologie (ILPÖ), Universität Stuttgart
Dr. Marcus Wiens	Institut für Industriebetriebslehre und Industrielle Produktion, KIT

Impressionen vom Workshop



Einladungsflyer und Programm

Partner



KIT – Institut für Meteorologie und Klimafor-
schung, Forschungsbereich Troposphäre
(IMK-TRO)

Veranstaltungsort

Verband Region Stuttgart
Kronenstraße 25 – 70174 Stuttgart



Anfahrt

ÖPNV:
ca. 5 – 10 min Fußweg ab dem Haupt-
bahnhof Stuttgart

Parkmöglichkeit:
City-Garage Geschwister-Scholl-Straße

Anmeldung

Bitte melden Sie sich bis spätestens
30. April per E-Mail an
Hanns-Maximilian.Schmidt@kit.edu an.
**Die Teilnahme an dem Workshop ist kos-
tenlos.**

Kontakt

**Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Institut für Industriebetriebslehre und
Industrielle Produktion (IIP)**
Hanns-Maximilian Schmidt
Hertzstraße 16, Geb. 06.33
76187 Karlsruhe
Tel.: + 49 (0) 721 608-44406
E-Mail: Hanns-Maximilian.Schmidt@kit.edu

Veranstalter

**Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Institut für Industriebetriebslehre und
Industrielle Produktion (IIP)**
Lehrstuhl für Betriebswirtschaftslehre, ins-
bes. Produktionswirtschaft und Logistik
Prof. Dr. rer. pol. Frank Schultmann
Dr. Marcus Wiens
Hanns-Maximilian Schmidt
Karoline Fath

www.iip.kit.edu

www.kit.edu

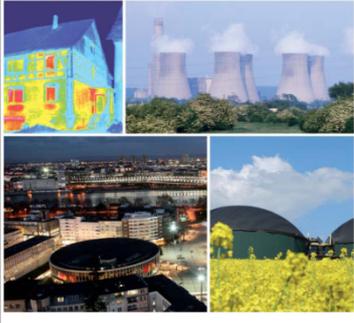


Workshop am 15. Mai 2014

Klimawandelinduzierte Risiken für die Industrie in der Metropolregion Stuttgart

Ort: Stuttgart

KLIMOPASS – Klimawandel und modellhafte
Anpassung in Baden-Württemberg



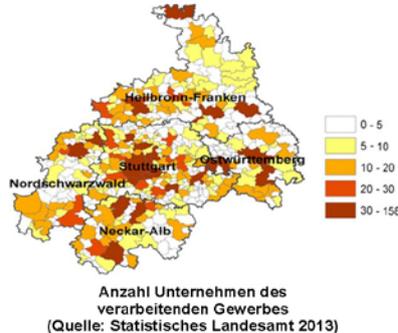
KIT – Universität des Landes Baden-Württemberg und
nationales Forschungszentrum in der Helmholtz-Gemeinschaft www.kit.edu

Einleitung

Im Rahmen des Projekts „KLIMOPASS –
Teil 2: Angewandte Forschung und Mod-
ellprojekte“ analysiert die Arbeitsgruppe
Risikomanagement am Institut für Indust-
riebetriebslehre und Industrielle Produk-
tion (IIP) am KIT im Auftrag des Landes-
amts für Umwelt, Messungen und Natur-
schutz (LUBW) die Vulnerabilität der ver-
schiedenen Industriezweige in der Metro-
polregion Stuttgart gegenüber dem Klima-
wandel. Hierfür werden mit einem indi-
katorbasierten Ansatz Klimaprojektionen
mit ökonomischen und sozialen Daten
kombiniert und auf Gemeindeebene be-
wertet.

Ziele des Workshops

Ziel des Workshops ist es, Handlungsoptionen und mögliche Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel unter besonderer Berücksichtigung der lokalen industriellen Verflechtungen zu identifizieren und zu diskutieren. Mit Vertretern aus Wirtschaft, Politik und Wissenschaft sollen Chancen und Risiken für die lokale Wirtschaft identifiziert werden. Davon sollen Handlungsempfehlungen und nächste Schritte auf dem Weg zu einer Anpassungsstrategie an den Klimawandel für Baden-Württemberg abgeleitet werden.



Anzahl Unternehmen des
verarbeitenden Gewerbes
(Quelle: Statistisches Landesamt 2013)

Ihr Nutzen

- Erfahren Sie mehr über die Veränderung des Klimas in Baden-Württemberg.
- Informieren Sie sich über Chancen und Risiken des Klimawandels für Ihre Branche.
- Diskutieren Sie mit Referenten und Teilnehmern aus Politik, Wissenschaft und Wirtschaft und entwickeln Sie Empfehlungen für konkrete Anpassungsstrategien.

Zielgruppen des Workshops

Industrievertreter, Verbände und Stiftungen,
politische Entscheidungsträger, Kommunen
und Forschungsinstitute

Vorläufige Agenda

- | | |
|-------|--|
| 10:00 | Begrüßung |
| 10:15 | Projektvorstellung Klimopass |
| 10:30 | Impulsvortrag:
Klimawandel in Baden-
Württemberg
Dr. Gerd Schädlér, IMK-TRO (KIT)
Klimarisiken für die deutsche
Industrie
Dr. Mahammad Mahammadzadeh (IW Köln) |
| 11:00 | Session I: Klimawandel und
die Industrie – Herausforderungen für Baden-Württemberg
(Diskussion) <ul style="list-style-type: none">• Die heimische Industrie –
Verflechtungen und Abhängigkeiten• Gewinner und Verlierer des
Klimawandels |
| 11:45 | Zusammenfassung und Ausblick
<i>Mittagspause</i> |
| 13:00 | Session II: Handlungsoptionen
und Anpassungsmaßnahmen
an den Klimawandel
(Diskussion) <ul style="list-style-type: none">• Maßnahmen zur Risiko-
reduktion• Was muss die Politik tun? |
| 15:00 | Zusammenfassung der
Ergebnisse |
| 15:10 | Ende des Workshops |

