

Vulnerabilitätsbericht der Region Stuttgart

Manuel Weis, Stefan Siedentop
und Lukas Minnich

unter Mitarbeit von
Jürgen Baumüller, Holger Flaig, Frieder Haakh,
Giselher Kaule und Ulrich Reuter

Vulnerabilitätsbericht der Region Stuttgart

erstellt im Rahmen des Projektes KlimaMORO „Raumentwicklungsstrategien zum Klimawandel“ des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung im Auftrag des Verbands Region Stuttgart.

Mai 2011

Autoren

Dr. Manuel Weis
Universität Stuttgart
Institut für Raumordnung und Entwicklungsplanung
Pfaffenwaldring 7
70569 Stuttgart

Prof. Dr. Stefan Siedentop
Universität Stuttgart
Institut für Raumordnung und Entwicklungsplanung
Pfaffenwaldring 7
70569 Stuttgart

Dipl.-Ing. Lukas Minnich
Universität Stuttgart
Institut für Raumordnung und Entwicklungsplanung
Pfaffenwaldring 7
70569 Stuttgart

unter Mitarbeit von

Prof. Dr. Jürgen Baumüller (Universität Stuttgart, Institut für Landschaftsplanung und Ökologie)
Dr. Holger Flaig (Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg)
Prof. Dr. Frieder Haakh (Zweckverband Landeswasserversorgung, Stuttgart)
Prof. Dr. Giselher Kaule (Universität Stuttgart, Institut für Landschaftsplanung und Ökologie)
Dr. Ulrich Reuter (Amt für Umweltschutz der Stadt Stuttgart, Abteilung Stadtklimatologie)

Bildquellen (von oben nach unten): merkur-online.de, Badische Zeitung, eigenes Bild, eigenes Bild, Fritz Möbus

Inhalt

Verzeichnis der Abbildungen 4

Verzeichnis der Tabellen 6

Vorwort 7

1. Einleitung 8

 1.1. Klimawandel in Deutschland 9

 1.2. Das Vulnerabilitätskonzept 11

2. Vulnerabilitätsanalyse im Bereich Naturschutz/Biodiversität, Land- und Forstwirtschaft 14

 2.1. Ziele und Vorgehensweise der Arbeitsgruppe 15

 2.2. Analyse 17

 2.2.1. Experteneinschätzungen und Literaturlauswertung 17

 2.2.1.1. Naturschutz/Biodiversität 17

 2.2.1.2. Forstwirtschaft 20

 2.2.1.3. Landwirtschaft 21

 2.2.2. GIS- und modellgestützte Analyse 24

 2.2.2.1. Naturschutz/Biodiversität 24

 2.2.2.2. Forstwirtschaft 35

 2.2.2.3. Landwirtschaft 50

 2.3. Empfehlungen für Folgeprojekte und methodische Anmerkungen 68

3. Vulnerabilitätsanalyse im Bereich Wasser 70

 3.1. Ziele und Vorgehensweise der Arbeitsgruppe 71

 3.2. Ergebnisse der Systemanalyse 74

 3.2.1. Wesentliche Sektoren und ihre klimabedingten Einflussfaktoren 74

 3.2.2. Mögliche Wirkungen des Klimawandels in den Sektoren 75

 3.2.3. Die Vernetzung der Systemgrößen 76

 3.3. Alleinstellungsmerkmale der Region Stuttgart und Risikoeinschätzung 84

 3.4. Fazit 85

 3.5. Empfehlungen für Folgeprojekte und -aktivitäten 86

4. Vulnerabilitätsanalyse im Bereich Gesundheit 87

 4.1. Ziele und Vorgehensweise der Arbeitsgruppe 88

 4.2. Analyse 88

 4.2.1. Experteneinschätzungen und Literaturlauswertung 88

 4.2.2. GIS-Analyse 91

5. Handlungsansätze für die Klimafolgenanpassung 98

 5.1. Naturschutz 99

 5.2. Landwirtschaft 99

 5.3. Wasser 101

 5.4. Gesundheit 101

Literatur 103

Anhang 106

Verzeichnis der Abbildungen

Abb. 1	Jährliche mittlere Tagesmitteltemperatur in Deutschland 1901-2007	9
Abb. 2	Analyseschema der Vulnerabilität klimasensitiver Systeme	12
Abb. 3	Prozess der Vulnerabilitätsanalyse unter Einbeziehung von regionalen Akteuren	17
Abb. 4	Konzeptionelles Modell zur Einschätzung der Vulnerabilität geschützter Biotope	25
Abb. 5	Verknüpfungsregeln zur Aggregation der Einzelkriterien (Naturschutz)	26
Abb. 6	Flächenverteilung der Biotoptypen in der Region Stuttgart	28
Abb. 7	Minimale und maximale Klassenwerte der Klimasensitivität nach Biotoptypen	29
Abb. 8	Minimale und maximale Klassenwerte der Vulnerabilität nach Biotoptypen	29
Abb. 9	Verteilung der Flächengrößen pro Sensitivitätsstufe (Klimasensitivität geschützter Biotope)	30
Abb. 10	Verteilung der Flächengrößen pro Vulnerabilitätsstufe (Vulnerabilität geschützter Biotope)	30
Abb. 11	Verteilung der Flächengrößen pro Sensitivitätsstufe nach Stadt- bzw. Landkreisen (Klimasensitivität geschützter Biotope)	30
Abb. 12	Prozentuale Verteilung der Flächengrößen pro Sensitivitätsstufe nach Stadt- bzw. Landkreisen (Klimasensitivität geschützter Biotope)	31
Abb. 13	Verteilung der Flächengrößen pro Vulnerabilitätsstufe nach Stadt- bzw. Landkreisen (Vulnerabilität geschützter Biotope)	31
Abb. 14	Prozentuale Verteilung der Flächengrößen pro Vulnerabilitätsstufe nach Stadt- bzw. Landkreisen (Vulnerabilität geschützter Biotope)	31
Abb. 15	Vulnerabilität geschützter Biotope	32
Abb. 16	Räumliche Cluster der Vulnerabilität geschützter Biotope	33
Abb. 17	Anteil sehr vulnerabler Biotope an der gesamten Biotopfläche einer Rasterzelle /Biotopdichte	34
Abb. 18	Verteilung der Sensitivitätsstufen geschützter Biotope nach Teillandschaften	35
Abb. 19	Waldverbreitung in der Region Stuttgart	39
Abb. 20	Baumarteneignung (Fichte) im Jahr 2050 und Veränderung gegenüber 2010	40
Abb. 21	Baumarteneignung (Fichte) im Jahr 2050 und Veränderung gegenüber 2010 - Ausschnitt Welzheim	41
Abb. 22	Veränderung der Baumarteneignung (Fichte) nach Stadt- bzw. Landkreisen	42
Abb. 23	Baumarteneignung (Fichte) im Jahr 2050 und Veränderung gegenüber 2010 nach Landschaften	43
Abb. 24	Baumarteneignung (Buche) im Jahr 2050 und Veränderung gegenüber 2010	44
Abb. 25	Veränderung der Baumarteneignung (Buche) nach Stadt- bzw. Landkreisen	45
Abb. 26	Baumarteneignung (Buche) im Jahr 2050 und Veränderung gegenüber 2010 nach Landschaften	46
Abb. 27	Waldstandorte mit geringer Eignung für Fichte und Buche im Jahr 2010 und 2050	47
Abb. 28	Sturmschadenrisiko für die Fichte in der Region Stuttgart	48
Abb. 29	Sturmschadenrisiko für die Fichte in der Region Stuttgart nach Landschaften	49
Abb. 30	Sturmschadenrisiko für die Fichte in der Region Stuttgart nach Stadt- bzw. Landkreisen	50
Abb. 31	Konzeptionelles Modell zur Einschätzung der Klimasensitivität der ackerbaulichen Nutzung	51
Abb. 32	Verknüpfungsregeln zur Aggregation der Einzelkriterien (Landwirtschaft)	53
Abb. 33	Aktuelle Erosionsgefährdung durch Wasser	56
Abb. 34	Aktuelle Erosionsgefährdung durch Wasser und künftige Veränderung sommerlicher Starkniederschläge	56

Abb. 35	Aktuelle Erosionsgefährdung durch Wasser und künftige Veränderung des Niederschlagsregimes (Änderung der Wintersumme des Niederschlags und Veränderung sommerlicher Starkniederschläge)	57
Abb. 36	Erosionsgefährdung durch Wind	58
Abb. 37	Langjährige mittlere Bodenfeuchte heute und in einem Zukunftsszenario	59
Abb. 38	Erosionsgefährdung durch Wind (Szenario)	60
Abb. 39	Anzahl der Hitzetage (1971 – 2000) als Indikator für die Hitzegefährdung von Feldfrüchten	61
Abb. 40	Bodenfeuchtestufen als Indikator für die Trockenstressgefährdung ackerbaulicher Nutzung	62
Abb. 41	Ackerbaulich genutzte Standorte mit relativ geringer mittlerer Bodenfeuchte und künftige Veränderung der sommerlichen Niederschlagssumme	62
Abb. 42	Klimasensitivität der ackerbaulichen Nutzung	63
Abb. 43	Verteilung der Flächengrößen pro Sensitivitätsstufe in der Region Stuttgart (Klimasensitivität der ackerbaulichen Nutzung).	63
Abb. 44	Räumliche Cluster der Klimasensitivität der ackerbaulichen Nutzung	64
Abb. 45	Ausprägungen der Einzelkriterien für den identifizierten „Hotspot“ mit hohen Sensitivitäten der ackerbaulichen Nutzung	65
Abb. 46	Verteilung der Flächengrößen pro Sensitivitätsstufe nach Stadt- bzw. Landkreisen (Klimasensitivität der ackerbaulichen Nutzung)	66
Abb. 47	Prozentuale Verteilung der Flächengrößen pro Sensitivitätsstufe nach Stadt- bzw. Landkreisen (Klimasensitivität der ackerbaulichen Nutzung)	66
Abb. 48	Verteilung der Sensitivitätsstufen nach Teillandschaften (Klimasensitivität der ackerbaulichen Nutzung)	67
Abb. 49	Struktur der Einflussmatrix mit Berechnung von Aktiv- und Passivsummen (Sektor Wasser)	73
Abb. 50	Rollenverteilung der Variablen eines Systems	74
Abb. 51	Konsensmatrix des Systems Wasser	79
Abb. 52	Die Aktivsummen aus der Konsensmatrix, geordnet nach der Größe (Sektor Wasser)	80
Abb. 53	Die Passivsummen aus der Konsensmatrix, geordnet nach der Größe (Sektor Wasser)	81
Abb. 54	Die Quotienten aus Aktivsumme geteilt durch Passivsumme aus der Konsensmatrix (Sektor Wasser)	82
Abb. 55	Die Produkte aus Aktivsumme mal Passivsumme aus der Konsensmatrix (Sektor Wasser)	83
Abb. 56	Analyse des Systems Klimawandel und Wasser	84
Abb. 57	Übersicht über die Struktur der Vulnerabilitätsbewertung (Wärmebelastung)	91
Abb. 58	Übersicht über den Gesamttablauf der Vulnerabilitätsbewertung und die vorgenommenen Aggregationsschritte (Wärmebelastung)	93
Abb. 59	Vulnerabilität der Bevölkerung in der Region Stuttgart (Wärmebelastung)	94
Abb. 60	Darstellung der Bevölkerungsvulnerabilität mit Hilfe einer Hotspot-/Coldspot-Analyse	95
Abb. 61	Darstellung der Bevölkerungsvulnerabilität in der Landeshauptstadt (Wärmebelastung)	96
Abb. 62	Vulnerabilität gesundheitsrelevanter Einrichtungen	97

Verzeichnis der Tabellen

Tab. 1	Lineare Trends der Lufttemperatur zwischen 1901 und 2008	9
Tab. 2	In der Arbeitsgruppe „Biodiversität, Land- und Forstwirtschaft“ vertretene Institutionen	15
Tab. 3	Bewertungsklassen (Klimasensitivität des Standorts, Klimasensitivität der biotischen Strukturen, Klimasensitivität des Biotops)	26
Tab. 4	Bewertungsklassen der Vulnerabilität (Naturschutz)	27
Tab. 5	Stufen der Baumarteneignung für Fichte und Buche	36
Tab. 6	Bewertungsklassen (Erosionsgefährdung, Gefahr einer Schädigung der Kulturpflanzen, Sensitivität der ackerbaulichen Nutzung)	54
Tab. 7	In der Arbeitsgruppe „Wasser“ vertretene Institutionen	71
Tab. 8	In der Arbeitsgruppe „Gesundheit“ vertretene Institutionen	88
Tab. 9	Betroffenheit der Region Stuttgart durch gesundheitliche Wirkungen des Klimawandels	90

Vorwort

„Das Klima ändert sich“ – an diesem Befund der internationalen Klimaforschung wird sich selbst dann nichts ändern, sollten der Staatengemeinschaft in Zukunft verstärkte Bemühungen zur Eindämmung der Treibhausgasemissionen gelingen. Klimaforscher verweisen indes darauf, dass die möglichen negativen Folgen klimatischer Veränderungen durch gezielte Maßnahmen gemindert werden können. Regionen, die in ihnen lebenden Menschen, ihre technischen Systeme und die natürliche Umwelt sind dem Klimawandel nicht ausgeliefert – Anpassung ist möglich. Auch gilt der Klimawandel nicht nur als Gefahr. Für einige Regionen oder Sektoren könnten klimatische Veränderungen auch Chancen bedeuten. Vor diesem Hintergrund hat sich das Modellvorhaben der Raumordnung „KlimaMORO“ Modellregion Stuttgart die Aufgabe gestellt, Anpassungspfade an ein verändertes Klima modellhaft aufzuzeigen und geeignete Anpassungsmaßnahmen zu benennen.

Eine wesentliche Aufgabe des Modellvorhabens bestand in der Durchführung einer sog. Vulnerabilitätsanalyse, mit der die räumliche und sektorale Betroffenheit der Region untersucht werden sollte. Der vorliegende Bericht stellt die in drei zu diesem Zweck gebildeten Arbeitsgruppen erzielten Ergebnisse zusammenfassend dar. Entstanden ist eine umfassende Bestandsaufnahme möglicher Klimafolgen aus unterschiedlicher sektoraler Perspektive. Der Bericht soll sensibilisieren, neben den wichtigen Aufgaben des Klimaschutzes die Klimafolgenanpassung als wichtige Aufgabe regionaler und kommunaler Entwicklungspolitik zu verstehen und zu etablieren. Aufgezeigt werden Handlungsansätze, wie die Politik aber auch die Zivilgesellschaft auf die Herausforderungen reagieren kann. Wir hoffen damit Anregungen zu geben, was in der Region über die Laufzeit des MORO hinaus geschehen kann, sich auf den Klimawandel vorzubereiten. Unsere gemeinsame Vision ist eine widerstandsfähige („resiliente“) Region, eine Region, die sich auf den Klimawandel umfassend vorbereitet zeigt.

Die Autoren bedanken sich an dieser Stelle bei allen Mitwirkenden in den Arbeitsgruppen, insbesondere bei den Arbeitsgruppenleitern, für das große Engagement und die konstruktiven Diskussionen. Unser Dank gilt auch dem Verband Region Stuttgart für die umfangreiche fachliche und materielle Unterstützung.

Die Autoren

1. Einleitung

1.1. Klimawandel in Deutschland

In Deutschland ist es im 20. Jahrhundert wärmer geworden, wobei sich die Temperaturzunahme gegen Ende des Jahrhunderts beschleunigt hat. Die 1990er Jahre waren sowohl in Deutschland als auch weltweit das wärmste Jahrzehnt des Jahrhunderts. Zwischen 1901 und 2008 manifestiert sich ein ansteigender Trend der Jahresmitteltemperatur von $0,9^{\circ}\text{C}$, der mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % statistisch signifikant ist (Abbildung 1, UBA 2011: URL).

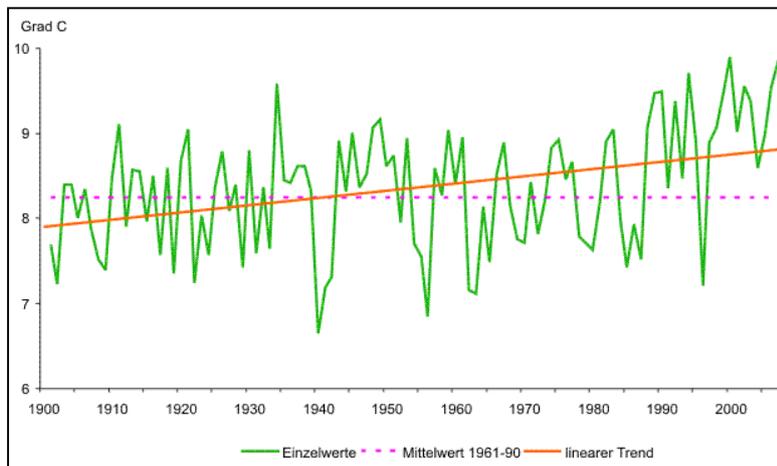


Abb. 1: Jährliche mittlere Tagesmitteltemperatur in Deutschland 1901-2007. Quelle: Deutscher Wetterdienst 2008, zitiert nach UBA 2011: URL.

Der Temperaturanstieg stellt sich in den verschiedenen Jahreszeiten unterschiedlich stark dar (Tabelle 1): Sommer und Herbst tragen deutlich stärker zum steigenden Trend der Jahresmitteltemperatur bei, wobei die sommerliche Zunahme insbesondere durch einen Temperaturanstieg seit 1955 verursacht ist. Der Anstieg im Herbst rührt größtenteils von einer rapiden Erwärmung zwischen 1922 bis 1929 her. Die Herbsttemperaturen sind seitdem einigermaßen konstant. Für den Winter lässt sich bislang nur ein vergleichsweise geringer Trend ausmachen. Dies gilt gleichermaßen für die Frühlingstemperaturen, wenngleich die Jahre seit 1990 besonders warm waren. Sechs von ihnen gehören zu den zehn wärmsten Jahren seit Anfang des 20. Jahrhunderts (UBA 2010: URL).

Tab. 1: Lineare Trends der Lufttemperatur zwischen 1901 und 2008. Kennzeichnung einer statistischen Signifikanz von mindestens 95 % durch grüne Einfärbung. Quelle: Deutscher Wetterdienst 2008, zitiert nach UBA 2011: URL.

Frühling (März, April, Mai)	0,8 °C
Sommer (Juni, Juli, August)	1,1 °C
Herbst (September, Oktober, November)	1,1 °C
Winter (Dezember, Januar, Februar)	0,8 °C
Jahr	0,9 °C

Aussagen über die bisherigen Veränderungen des Niederschlagsgeschehens sind schwieriger zu treffen. Für das 20. Jahrhundert zeichnet sich ein Anstieg der Niederschlagsmenge ab, wobei dieser Trend nicht signifikant ist. In den letzten 30 Jahren des Jahrhunderts verstärkte sich diese Tendenz allerdings. Die oft befürchtete stärkere Sommertrockenheit ist bislang nicht erkennbar, wenigstens nicht im gesamtdeutschen Durchschnitt. Dafür sind Starkniederschlagsereignisse häufiger zu beobachten (Zebisch et al. 2005: 37f.).

Insgesamt lassen die Ergebnisse der Klimamodelle in Deutschland eine weitere Erwärmung erwarten. In der „Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel“ (DAS) wird von einer Zunahme der Jahresmitteltemperatur um $0,5$ bis $1,5^{\circ}\text{C}$ für den Zeitraum 2021-2050 ausgegangen. Für die Klima-

normalperiode 2071-2100 stellt man sich auf einen Anstieg zwischen 1,5 und 3,5°C gegenüber dem Referenzzeitraum 1961 bis 1990 ein (Deutscher Bundestag 2008: 10). Nach dem aktuellen Stand der Forschung ist bis Mitte des 21. Jahrhunderts (2021-2050) eine durchschnittliche Änderung der Jahresmitteltemperatur um +1°C möglich. Die kleinste mögliche Zunahme der durchschnittlichen Temperatur im Jahresmittel wird im Vergleich zu heute (1961-1990) mit 0,6°C angegeben, die größte mögliche mit 1,4°C. Bis Ende des 21. Jahrhunderts (2071-2100) beträgt die mögliche mittlere Änderung +3,2°C, die mögliche kleinste +0,6°C und die mögliche größte Zunahme 5,5°C gegenüber heute (Regionale Klimabüros 2011: URL).

Die Regionalen Klimamodelle REMO und CLM zeigen übereinstimmend ein deutliches Gefälle zwischen Nord- und Süddeutschland, mit Temperaturanstiegen von unter 3°C an den Küsten und über 4°C in den Hochlagen der Alpen bis zum Ende des 21. Jahrhunderts (Deutscher Bundestag 2008: 11). Die statistischen Modelle WETTREG und STAR zeigen schwächere Nord-Süd-Gefälle der Temperatursteigerung. Zebisch et al. (2005: 40) zeigen, dass die Unterschiede des berechneten Temperaturanstiegs zwischen den verschiedenen Klimamodellen kleiner sind als die zwischen unterschiedlichen Emissions-Szenarien.

Die Größenordnung des Temperaturanstiegs verdeutlichen folgende Vergleiche: In Deutschland liegt die Jahresmitteltemperatur heute bei 8,25°C. Der mögliche Wert von etwa 11,5 °C bis zum Ende des Jahrhunderts entspricht etwa der heutigen Durchschnittstemperatur von Frankreich. In der Stadt Freiburg im Breisgau, die mit 10,8°C im Mittel als eine der wärmsten Städte in Deutschland gilt, wäre mit etwa 14,4°C zu rechnen, was der heutigen Jahresmitteltemperatur der italienischen Stadt Florenz entspricht. Die zukünftigen Bedingungen in Deutschland stellen also keine extremen Klimabedingungen dar, werden aber durchaus beträchtliche Veränderungen von Lebensstilen und Wirtschaftsformen erfordern.

Nach dem aktuellen Forschungsstand ist die Änderung des Regenniederschlags bis Ende des 21. Jahrhunderts (2071-2100) im Jahresmittel im Vergleich zu heute (1961-1990) nicht eindeutig. So zeigen einige Modelle eine Zu-, andere eine Abnahme. Die mögliche mittlere Änderung beträgt +4 % (Regionale Klimabüros 2011: URL). Tendenziell wird mit einer jahreszeitlichen Verschiebung der Niederschläge vom Sommer in den Winter gerechnet (Zebisch et al. 2005: 40f.). Die erwartete Abnahme des Schneeniederschlags ist erheblich und wird derzeit mit einer mittleren Änderung von 81 % angegeben (Regionale Klimabüros 2011: URL).

Klimawandel in Baden-Württemberg

Schon die bisherigen Temperatursteigerungen hatten ihren Schwerpunkt im Südwesten Deutschlands und die Klimamodellrechnungen für das 21. Jahrhundert lassen einen Schwerpunkt der Erwärmung und Sommertrockenheit in Bayern und vor allem in Baden-Württemberg erwarten (Deutscher Bundestag 2008: 33). Im Rahmen des Projektes KLIWA (LUBW 2005) wurden die Aussagen verschiedener Klimamodelle für den Zeitraum 2021-2050 für das Land Baden-Württemberg zusammengefasst (LUBW 2005). Es zeigt sich, dass die Tendenzen der wichtigsten hydrometeorologischen Größen wie Temperatur und Niederschlag in allen Modellierungen in die gleiche Richtung weisen: Danach wird die Lufttemperatur in Baden-Württemberg künftig weiter deutlich zunehmen. Für das Sommerhalbjahr (Mai bis Oktober) ist ein Anstieg um 1,4°C, für das Winterhalbjahr (November bis April) um 2°C möglich. Nach dem aktuellen Forschungsstand ist bis Mitte des Jahrhunderts (2021-2050) eine mittlere Änderung der Jahresmitteltemperatur um 1,1°C gegenüber heute (1961-1990) möglich. Die möglichste kleinste Zunahme der durchschnittlichen Temperatur im Jahresmittel kann 0,6°C betragen, die größte Zunahme 1,3°C. Für das Ende des 21. Jahrhundert betragen die Ergebnisse +3,6°C (mögliche mittlere Änderung), +2,2°C (mögliche kleinste Änderung) und +6,3°C (möglichste größte Änderung) (Regionale Klimabüros 2011: URL).

Mit dem Aufwärtstrend der Tagestemperaturen werden die maximalen und minimalen Tagestemperaturen zunehmen. Neben einem Anstieg der Zahl der Sommertage (Tage mit $T_{\max} \geq 25^{\circ}\text{C}$) wird ein deutlich erhöhtes – teilweise fast verdoppeltes – Auftreten von heißen Tagen (Tage mit $T_{\max} \geq 30^{\circ}\text{C}$) erwartet. Die Anzahl der Frosttage (Tage mit $T_{\min} < 0^{\circ}\text{C}$) und Eistage (Tage mit $T_{\max} < 0^{\circ}\text{C}$) wird

deutlich abnehmen, letztere oft um mehr als die Hälfte. Die frostfreie Periode wird sich damit verlängern (LUBW 2005).

Die Modellierungsergebnisse für die Niederschlagsparameter variieren deutlich stärker als die der Lufttemperatur. Für die Zeitperiode 2021-2050 zeigen einige Modelle eine Zunahme des Regenniederschlags, andere eine Abnahme. Die mögliche mittlere Änderung wird gegenwärtig mit +4 % veranschlagt. Die mögliche größte Zunahme könnte 10 % betragen und die möglichste größte Abnahme 1 % (Regionale Klimabüros 2011: URL). Die Niederschlagsmengen innerhalb eines Jahres werden sich damit kaum verändern. Allerdings zeigt sich eine saisonale „Umverteilung“ der Niederschlagssumme: Während sich die Sommerniederschläge eher wenig verändern, werden (mögliche mittlere Änderung -3 %), könnte die mittlere Änderung im Winter +13 % betragen, die mögliche größte Zunahme 28 % (Regionale Klimabüros 2011: URL). Im Winter ist mit einem häufigeren Auftreten und einer längeren Dauer von Westwetterlagen, insbesondere der sogenannten „Westlage zyklonal“, zu rechnen. Für den Sommer werden keine nennenswerten Änderungen bezüglich der Wetterlagen erwartet (LUBW 2005).

Neueste Simulationen zeigen, dass in bestimmten Regionen Baden-Württembergs – so auch in Teilen der Region Stuttgart – die Wahrscheinlichkeit für häufigere und intensivere sommerliche Starkniederschläge in der Zukunft steigen wird (LUBW & MUNV 2010:9).

Die Klimaprojektionen zeigen insgesamt, dass die klimatischen Veränderungen in Deutschland und Baden-Württemberg weitreichend ausfallen und bereits mittelfrist spürbar sein werden. Längere Hitzeperioden in den Sommermonaten, verbunden mit intensiven Trockenheitsphasen, und verstärkte Niederschläge insbesondere im Winter stellen die Region vor mannigfaltige Herausforderungen. Diese Befunde der Klimaforschung sind allerdings nur die eine Seite, hinzu tritt die Frage, wie die verschiedenen Sektoren (wie die Land- und Forstwirtschaft) auf klimatische Veränderungen reagieren, wie verwundbar („vulnerabel“) sie sind. Zum näheren Verständnis des Vulnerabilitätskonzepts wird im nachfolgenden Abschnitt eine kurze Erläuterung gegeben.

1.2. Das Vulnerabilitätskonzept

Der Begriff der Vulnerabilität hat sich erst in den letzten Jahrzehnten in der deutschen Fachsprache etablieren können, zunächst vor allem in der Entwicklungsforschung und -politik, in den letzten Jahren verstärkt in der Klimafolgenforschung und -politik. Der Begriff und die dahinter stehende Konzeptualisierung von Vulnerabilität als analytische Kategorie können im größeren Zusammenhang des Umgangs mit natürlichen und technischen Risiken (Risikomanagement) verortet werden. Ziel des Risikomanagements ist es im Allgemeinen, schädigende Ereignisse mit gezielten Maßnahmen möglichst zu vermeiden und negative Auswirkungen nicht vermeidbarer Ereignisse zu begrenzen. Während Vermeidungsmaßnahmen die Wahrscheinlichkeit nachteiliger Ereignisse senken sollen, zielen Anpassungsmaßnahmen auf die Verringerung der sich daraus ergebenden (negativen) Folgen für die Gesellschaft und ihre Subsysteme. Da die Klimafolgenanpassung nicht auf die Eintrittswahrscheinlichkeit von schädigenden Ereignissen oder Veränderungen Einfluss nehmen kann, kommt der Anpassung hier eine Schlüsselbedeutung zu. Anpassung ist vor allem in Systemen (bzw. Sektoren) erforderlich, denen ein hohes Maß an Vulnerabilität gegenüber Klimafolgen attestiert werden kann.

Das Ziel einer Vulnerabilitätsanalyse besteht allerdings nicht allein in einem möglichst exakten Vorhersage oder Modellierung von klimatischen Veränderungen. Vielmehr ist es ein Kernanliegen, Strategien im Umgang mit dem sich verändernden Klima zu entwickeln, um negative Folgen begrenzen zu können (Brenkert & Malone 2005, Füssel & Klein 2006). Wesentlich ist dabei auch, den Klimawandel nicht isoliert zu sehen, sondern andere (nicht-klimatische) Prozesse einzubeziehen – etwa den Verlust der Artenvielfalt, das Bevölkerungswachstum oder die Intensivierung der Landwirtschaft und die Globalisierung der Wirtschaft.

Abbildung 2 zeigt die Grundzüge des dem Stuttgarter KlimaMORO zugrundeliegenden Vulnerabilitätskonzepts (siehe hierzu auch Stock et al. 2009: 98 f.). Danach stellen klimatische Veränderungen

Stimuli dar, die ein klimasensitives System (z.B. die Agrarwirtschaft oder städtische Lebensräume) verändern können (1). Die dabei entstehenden Klimawirkungen (z.B. vermehrte Ernteeinbußen oder Einbußen an Lebensqualität) können wiederum Umweltveränderungen und damit Zustandsänderungen des Systems zur Folge haben (2). Parallel wirken auf das System weitere zivilisatorische Umwelt- und Zustandsänderungen (1+). Die Klimafolgenanpassung versucht nun, über Vorsorge- und Anpassungsmaßnahmen die Sensitivität des klimasensitiven Systems zu reduzieren und damit Schäden zu reduzieren (3). Besondere Bedeutung kommt dabei der sog. adaptiven Kapazität bei, welche im weitesten Sinne als gesellschaftliche Fähigkeiten, Ressourcen und Institutionen verstanden werden kann, wirksame Anpassungsmaßnahmen umzusetzen.

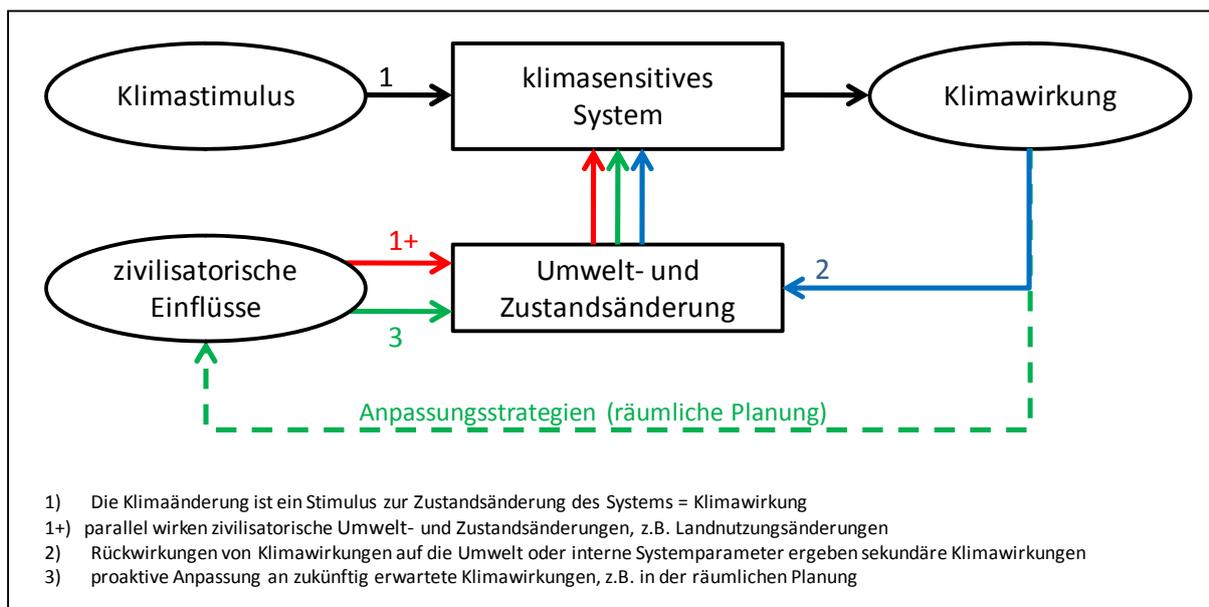


Abb. 2: Analyseschema der Vulnerabilität klimasensitiver Systeme (nach Stock et al. 2009)

Das primäre Erkenntnisinteresse einer Vulnerabilitätsanalyse liegt damit einerseits in der Exposition potenziell klimasensitiver Systeme gegenüber dem Klimawandel, andererseits in der Sensitivität dieser Systeme und der gesellschaftlichen Anpassungsfähigkeit. Zu erheben sind somit Daten zur

- Exposition von Systemen (bzw. Schutzgütern) gegenüber negativen und positiven Ausprägungen des Klimawandels bzw. mit diesem korrespondierenden Klimastimuli,
- Empfindlichkeit der Schutzgüter gegenüber dem Klimawandel (Sensitivität), und zur
- Adaptionkapazität und bereits vollzogenen Anpassungsmaßnahmen durch verschiedene Akteure bzw. Institutionen.

Ausgehend von diesem Begriffsverständnis und dem damit korrespondierenden konzeptionellen Rahmen bestand das generelle Ziel der Vulnerabilitätsanalyse in der Region Stuttgart in der Erstellung eines querschnittbezogenen Überblicks über die denkbaren Auswirkungen des Klimawandels sowie über sektorale und übersektorale Anpassungserfordernisse und Anpassungsmöglichkeiten. Es sollte identifiziert werden, wo und in welchem Sektor raumbezogenes Handeln notwendig ist und welche Prioritäten dabei zu setzen sind.

Allerdings gibt es bislang kaum standardisierte Methoden zur Untersuchung der Vulnerabilität. Entsprechend fordert der Dritte Sachstandsbericht des IPCC die Entwicklung von allgemein anwendbaren Ansätzen, die alle wichtigen Aspekte erfassen, Vergleiche zwischen verschiedenen geografischen Einheiten ermöglichen, soweit möglich quantifizierbare Indikatoren einsetzen und eine transparente Methodik verwenden sollen. Eine wesentliche Aufgabe der Arbeitsgruppen bestand somit darin, ausgehend vom obigen Begriffsverständnis Verfahren zu entwickeln, mit welchem eine handhabbare Vulnerabilitätsanalyse vorgenommen werden kann. Im Speziellen bestand das Ziel der Arbeitsgruppen in der Konzeptionierung von indikatorgestützten Verfahren, mit denen eine räumlich differenzierte

Einschätzung der Vulnerabilität eines Sektors möglich ist. Die Umsetzung dieser Bewertungsmodelle oblag der Begleitforschung und wurde im Februar 2011 abgeschlossen.

Um eine inhaltlich-methodisch konsistente Erarbeitung von Vulnerabilitätsbetrachtungen zu gewährleisten, wurden für alle Arbeitsgruppen gemeinsame Leitfragen formuliert:

- Welche Probleme und Chancen durch den Klimawandel sind in diesem Sektor für die Region grundsätzlich zu erwarten?
- In welchen Bereichen ist die Region besonders „verwundbar“, d.h. welche Aspekte sind in diesem Sektor von besonderer Relevanz und müssen im Rahmen der Vulnerabilitätsanalyse vordringlich beleuchtet werden?
- Wo bestehen Verknüpfungen mit den anderen Sektoren/Handlungsfeldern?
- Welche Daten bzw. Informationen sind für eine räumlich differenzierte Vulnerabilitätsanalyse der Region in diesem Sektor notwendig? Welche Daten sind vorhanden bzw. wo sind sie vorhanden?
- Wie könnte ein räumliches Bewertungsmodell zur Abschätzung der Vulnerabilität in diesem Sektor konzeptionell aufgebaut sein? Welche Indikatoren sind für die Bestimmung des Grades der Verwundbarkeit heranzuziehen? Wie lassen sich diese Indikatoren operationalisieren, d.h. aus welchen Daten und auf welche Weise? Haben die berücksichtigten Indikatoren eine unterschiedliche relative Bedeutung? Wenn ja, wie sind sie zu gewichten? Welche Bedeutung haben nicht-klimatische gegenüber klimatischen Faktoren? Welche Beziehungen bestehen zwischen den Indikatoren?
- Wie lässt sich im Rahmen des Bewertungsverfahrens mit Unsicherheiten hinsichtlich des zukünftigen Klimas umgehen, die durch verschiedene Emissionsszenarien und unterschiedliche regionale Klimamodelle zum Ausdruck kommen?
- Wo sehen sie die Grenzen der Erfassbarkeit von Vulnerabilität in diesem Sektor? Wie schätzen sie Aussagesicherheit (Validität) des Bewertungsmodells ein?
- Was sind weitere einzubeziehende Akteure? Wie können diese angesprochen und einbezogen werden? Welches Podium sollte man insbesondere Interessensverbänden (z.B. Obst und Weinbauverbände) geben? Können konkrete Ansprechpartner genannt werden? Wie kann die Wirtschaft stärker einbezogen werden?

Jenseits dieser eher allgemeinen Fragen wurde die Vorgehensweise der Arbeitsgruppen aber nicht vorgegeben.

2. Vulnerabilitätsanalyse im Bereich Naturschutz/Biodiversität, Land- und Forstwirtschaft

2.1. Ziele und Vorgehensweise der Arbeitsgruppe

Das Ziel der Arbeitsgruppe bestand in der Analyse und Bewertung möglicher Auswirkungen des Klimawandels für den Naturschutz (insbesondere auf die Biodiversität) sowie die Bereiche Land- und Forstwirtschaft. Angestrebt wurde eine räumlich differenzierte Abschätzung der Vulnerabilität für die gesamte Region Stuttgart. Der Vulnerabilitätsuntersuchung werden im Rahmen des KlimaMORO und über dessen Projektlaufzeit hinaus verschiedene Funktionen zugeschrieben:

- Erlangung eines Überblicks über die denkbaren Folgen des Klimawandels (d. h. die Auswirkungen der Veränderung klimatischer Mittelwerte, der Variabilität des Klimas und des Auftretens von Extremereignissen über einen langen Zeitraum) mit der Absicht, Entscheidungsträger und Akteure für die Belange der Klimaanpassung zu sensibilisieren,
- Bereitstellung einer fundierten fachlichen Grundlage für die Regionalplanung, aus der Anpassungsstrategien abgeleitet werden können, die dazu beitragen, negative Klimawirkungen in den betrachteten Teilsystemen zu minimieren,
- Abgrenzung von Schwerpunkträumen für Anpassungsmaßnahmen, d. h. besonderer Risiko- bzw. Gefahrengebiete, die einer erhöhten Aufmerksamkeit bedürfen,
- Etablierung eines regionalen Expertennetzwerks,
- Entwicklung praktikabler, auf andere Untersuchungsräume übertragbarer Untersuchungsmethoden zur Abschätzung der Vulnerabilität und Aufzeigen des weiteren Forschungsbedarfs.

Um einen repräsentativen Querschnitt an Experten aus der Region zu gewinnen, wurden verschiedene Behörden, Landesanstalten und Verbände angeschrieben und zur Mitarbeit an der Vulnerabilitätsanalyse eingeladen. Dazu gehörten für den Bereich Land- und Forstwirtschaft sowie Biodiversität neben Experten aus den Landratsämtern und dem Regierungspräsidium die übergeordneten Naturschutzinstitutionen des Landesnaturschutzverbandes und des BUND Regionalverbandes, die forstliche sowie landwirtschaftliche Versuchs- und Forschungsanstalten sowie der Landesbauernverband. Zudem wurden gezielt einzelne Planungsexperten eingeladen. Vertreter der Kommunen Esslingen und Ludwigsburg waren besonders angesprochen, da die beiden Gemeinden Partner im Modellvorhaben sind. Die aktive Arbeitsgruppe umfasste rund 20 Mitglieder, deren institutionelle Herkunft in Tabelle 2 dargestellt ist.

Tab. 2: In der Arbeitsgruppe „Biodiversität, Land- und Forstwirtschaft“ vertretene Institutionen

Beteiligte Institutionen
Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg (Referat Agrarökologie)
Institut für Raumordnung und Entwicklungsplanung, Universität Stuttgart
Institut für Landschaftsplanung und Ökologie, Universität Stuttgart
Forstliche Versuchsanstalt Baden-Württemberg
Staatliche Lehr- und Versuchsanstalt für Wein- und Obstbau Weinsberg
Landesanstalt für Entwicklung der Landwirtschaft und der ländlichen Räume (Abteilung ländlicher Raum)
Regierungspräsidium Stuttgart (Referat Gewässer und Boden)
Regierungspräsidium Stuttgart (Abteilung Landwirtschaft)
Forstdirektion Tübingen
Verband Region Stuttgart
Landratsamt Esslingen (Forstamt)
Landratsamt Esslingen (Bauen und Naturschutz)
Landratsamt Esslingen (Landwirtschaftsamt)
Landratsamt Ludwigsburg (Landwirtschaft)
Stadt Esslingen (Nachhaltigkeit)
Stadt Esslingen (Wald und Verwaltung)
Stadt Ludwigsburg (Nachhaltige Stadtentwicklung)
Planung + Umwelt (Planungsbüro Prof. Dr. Michael Koch)

Die konstituierende Sitzung der Arbeitsgruppe fand im Rahmen des Regionalen Auftaktworkshops des KlimaMORO „Anpassungsstrategien zum Klimawandel, Modellregion Stuttgart“ am 14. Januar 2010 in Stuttgart statt, wobei zunächst zwei separate Workshops der Themengruppen „Naturschutz/Biodiversität“ und „Land- und Forstwirtschaft“ durchgeführt wurden. Im Rahmen der Veranstaltung setzte sich die Meinung durch, dass aufgrund der engen sachlichen Verknüpfung der Themen Land- und Forstwirtschaft und des Natur- und Kulturlandschaftsschutzes die Bearbeitung der Verwundbarkeitsuntersuchung in einer gemeinsamen Arbeitsgruppe erfolgen sollte. In der Folge fanden zwischen März 2010 und Januar 2011 insgesamt vier Veranstaltungen dieser gemeinsamen Arbeitsgruppe (AG) „Biodiversität, Land- und Forstwirtschaft“ statt, die von Prof. Dr. Giselher Kaule (Institut für Landschaftsplanung und Ökologie, Universität Stuttgart) und Dr. Holger Flaig (Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg, Referat Agrarökologie) geleitet wurden. Wie auch in den anderen Themengruppen des KlimaMORO orientierten sich die Arbeitsschritte an den von Seiten des Lenkungskreises entwickelten Leitfragen (siehe Kap. 1.2).

Abbildung 3 veranschaulicht den Prozess der Vulnerabilitätsanalyse und die Chronologie der Arbeit in der AG „Biodiversität, Land- und Forstwirtschaft“. In Arbeitsphase I (Workshop I) wurden, aufbauend auf einer eingehenden Diskussion der Experten über die denkbaren und erwarteten Klimawirkungen in der Region (dargestellt in Abschnitt 2.2.1), die Ziele der Vulnerabilitätsanalyse besprochen und Untersuchungsschwerpunkte identifiziert. Gleichzeitig wurden Wissen und Erfahrungen über Datengrundlagen, insbesondere Geodaten, ausgetauscht. Das Ziel von Arbeitsphase II bestand in der Entwicklung GIS-gestützter Bewertungsmodelle zur Abschätzung der Vulnerabilität in den betrachteten Bereichen. Die Methodenentwicklung wurde federführend durch das Institut für Raumordnung und Entwicklungsplanung der Universität Stuttgart durchgeführt, wobei der Hauptbearbeiter (Dr. Manuel Weis) während des Entwurfsprozesses gezielt die Expertise von Expertinnen und Experten der Arbeitsgruppe nutzte. In zwei Veranstaltungen (Workshop II und III) wurden die Verfahrensvorschläge zudem intensiv mit allen AG-Mitgliedern gemeinsam diskutiert und weiterentwickelt. Die Methodenentwicklung vollzog sich somit als iterativer Prozess zwischen Hauptentwickler und Expertinnen und Experten der AG. Phase III widmete sich der Umsetzung der entwickelten Bewertungsmodelle durch die Universität Stuttgart (Bearbeiter: Dr. Manuel Weis). Die letzte Stufe des Vulnerabilitätsprozesses (Phase IV) verfolgte das Ziel, die generierten Ergebnisse einer kritischen Diskussion zu unterziehen. Dies geschah zunächst arbeitsgruppenintern in einem ausgedehnten Workshop, danach im Rahmen der Regionalen KlimaMORO-Akteurskonferenz, wo sich zudem die Möglichkeit bot, die Ergebnisse im Zusammenhang mit den Erkenntnissen der anderen Vulnerabilitätsarbeitsgruppen („Wasser“ und „Gesundheit“) zu reflektieren. Darüber hinaus wurden die Methoden und Ergebnisse der Vulnerabilitätsuntersuchung im Rahmen wissenschaftlicher Fachvorträge diskutiert.

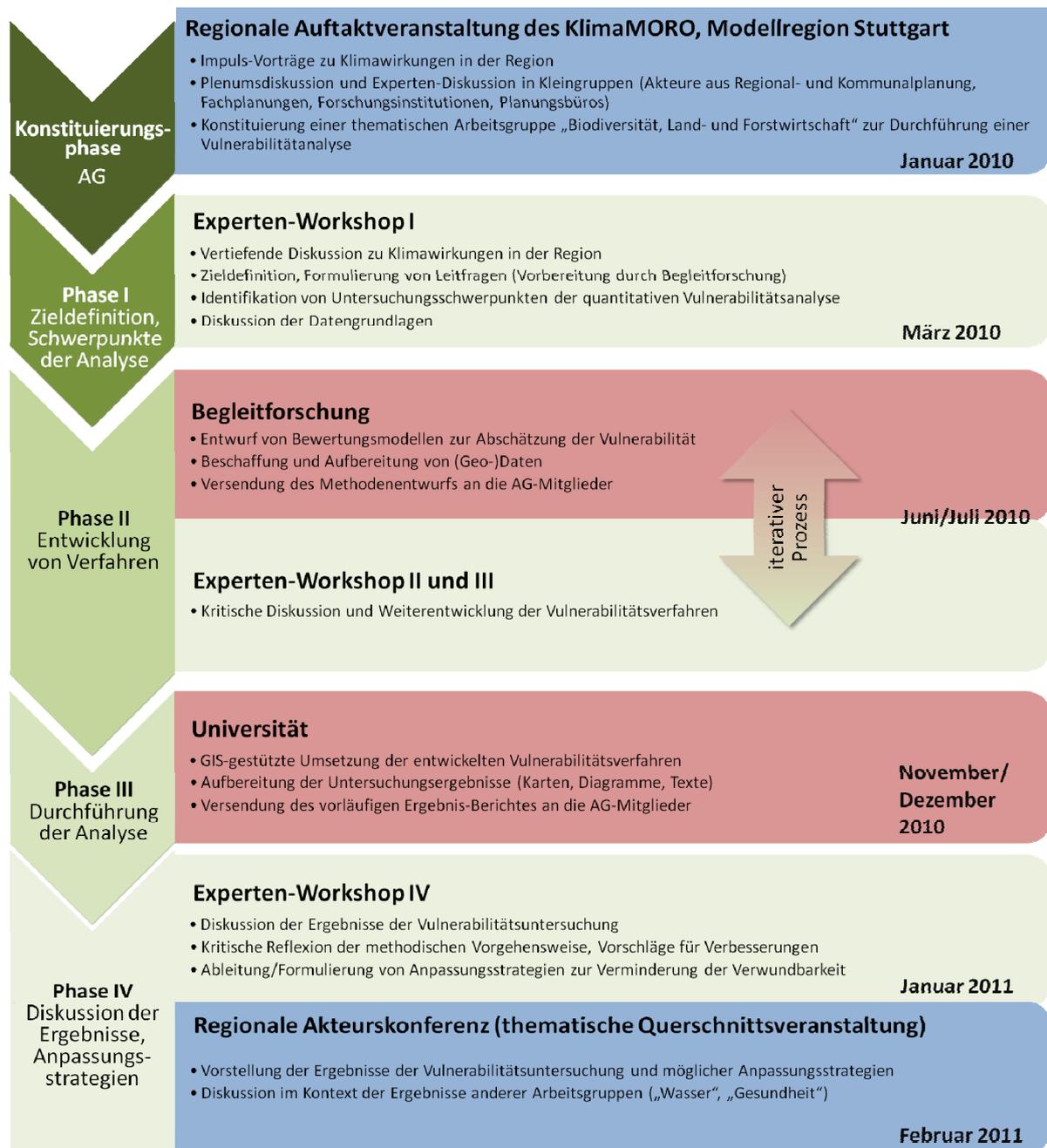


Abb. 3: Prozess der Vulnerabilitätsanalyse unter Einbeziehung von regionalen Akteuren in der Region Stuttgart.

2.2. Analyse

2.2.1. Experteneinschätzungen und Literaturlauswertung

2.2.1.1. Naturschutz/Biodiversität

Übereinstimmend mit dem aktuellen Forschungsstand vertritt die Arbeitsgruppe die Auffassung, dass der Klimawandel langfristig, d. h. spätestens bis zum Ende des 21. Jahrhunderts, unmittelbare Auswirkungen auf Fauna und Vegetation haben wird (Dröschmeister & Sukopp 2009, Pompe et al. 2009, Kühn et al. 2009, Overbeck 2010). Es wird erwartet, dass sich die Areale zahlreicher Wildarten verschieben werden, wobei das Spektrum artspezifisch von einer Arealvergrößerung über eine Verkleinerung bis hin zur völligen regionalen Auslöschung reichen wird. Bereits gegenwärtig fallen im Raum Mittlerer Neckar Arten wie beispielsweise der Gewöhnliche Wurmfarne (*Dryopteris filix-mas* agg.), die

Smaragdeidechse (*Lacerta bilineata*) und die Blauschwarze Holzbiene (*Xylocopa violacea*) als mutmaßliche Gewinner der Klimaerwärmung auf (z. B. Wildbienen-Kataster 2011: URL), wohingegen etwa Arten mit hohem Feuchtigkeitsanspruch wie die Sumpfschrecke (*Stethophyma grossum*), die aufgrund ausgedehnter Habitatverluste bereits heute als stark gefährdet gilt, eher zu den Klimaverlierern gehören werden. Wie in anderen Großstädten auch, weisen im Kreis Stuttgart die besonders warmen Stadtbereiche schon heute die höchsten Artenzahlen und gleichzeitig auch die meisten Neophyten auf (Reichholf 2007). Dies ist zum Teil auf die urbane Wärmeinsel zurückzuführen (Wittig 2008). Es ist abzusehen, dass mit der Klimaänderung Veränderungen in der Zusammensetzung der Biozöosen stattfinden, die sich aufgrund artspezifischer Unterschiede in der Reaktion auf Klimaänderungen ergeben. Dies wird einerseits zum Verschwinden verschiedener schon heute gefährdeter Biotoptypen führen, andererseits auch neuartige Lebensgemeinschaften hervorbringen, die sich ihrerseits in einem fortwährenden Veränderungsprozess befinden werden (Jessel 2010). Um den Arten Rückzugs- und Ausweichmöglichkeiten zu bieten, ist es von größter Wichtigkeit, dass die Landschaft für Migration durchlässig wird (vgl. dazu die Vilmer Thesen zum Naturschutz im Klimawandel, Ott et al. 2010). Die Gestaltung effektiver Vernetzungsmaßnahmen gewinnt damit als Voraussetzung für Anpassungsreaktionen zukünftig weiter an Bedeutung (Overbeck 2010).

Zudem ist zu erwarten, dass der Klimawandel dazu zwingen wird, die derzeitigen gesellschaftlichen und naturschutzfachlichen Leitbilder zu revidieren, sei es etwa hinsichtlich der Auffassung von Natürlichkeit, deren Beurteilungsmaßstab (die potentielle natürliche Vegetation) sich mit dem Klimawandel verändern wird, oder der Dynamisierung von Zielvorstellungen (ebenda). Die Dynamik des Klimawandels steht im Gegensatz zu der in der Vergangenheit häufig dominierenden statischen Naturauffassung, und es ist die Frage zu stellen, ob sich *„ein künftiger Rahmen für dynamische Entwicklungen formulieren [lässt], der weniger auf statische Ziele und die Sicherung der aktuellen Zustände abstellt, sondern besonders Entwicklungspotenziale in den Blick nimmt“* (Jessel 2010: 36, vgl. auch Ott et al. 2010). Die Diskussion über neue Strategierichtungen des Naturschutzes im Klimawandel, die auf einen ethischen Diskurs darüber hinausläuft, welche Natur es zu schützen gilt, wurde von der Arbeitsgruppe einstweilen nicht vertieft, da das Ziel vorrangig in der Untersuchung der *Verwundbarkeit* von Naturschutz und Biodiversität gegenüber dem Klimawandel bestand. Der dazu zugrunde gelegte Vulnerabilitätsansatz (Turner et al. 2003) beinhaltet als Maßstab für die Bewertung das gegenwärtige gesellschaftliche bzw. naturschutzfachliche Wertesystem. Gleichwohl weisen die AG-Mitglieder darauf hin, dass aufbauend auf der Verwundbarkeitsuntersuchung eine kritische Auseinandersetzung mit den Natur- und Leitbildern des Naturschutzes geboten ist und diese Diskussion auch im spezifischen regionalen Kontext geführt werden muss (vgl. dazu die Vilmer Thesen zum Naturschutz im Klimawandel, Ott et al. 2010).

Während sich langfristig die Lebensbedingungen von Arten und Lebensgemeinschaften infolge des Klimawandels entscheidend verändern werden, schätzt die Arbeitsgruppe für die nahe Zukunft, d.h. bis zur Mitte des 21. Jahrhunderts, die direkten Wirkungen in der Region Stuttgart als gering ein. Baden-Württemberg ist für die meisten Arten ein „Durchgangsland“ mit wenigen extremen Sonderstandorten. Die Region Stuttgart ist weder sehr atlantisch noch kontinental geprägt, höhere Gebirge, große Seen und Hochmoore gibt es nicht. Nach Meinung der Experten ist die ökologische Amplitude der meisten hier vorkommenden Wildarten breiter als die bis zur Mitte des Jahrhunderts zu erwartende Klimaänderung.

Es wird der Standpunkt vertreten, dass in den nächsten Jahrzehnten von den indirekten Folgen des Klimawandels die größeren Risiken ausgehen. Sie ergeben sich aus der Veränderung der Landnutzung durch Maßnahmen zur Minderung des Klimawandels oder zur Anpassung an seine Folgen, die nicht notwendigerweise positive Wirkungen auf die biologische Vielfalt haben. Im land- und forstwirtschaftlichen Sektor werden mit den sich wandelnden klimatischen Randbedingungen für die Erzeugung pflanzlicher Biomasse Veränderungen im Pflanzenbau und in der Produktionstechnik notwendig werden. Genannt seien beispielhaft

- der forstliche Umbau von Wäldern infolge sich ändernder Baumarteneignungen,

- die mögliche Verkürzung forstlicher Umtriebszeiten, da jüngere Bestände „elastischer“ auf Veränderungen reagieren können,
- möglicherweise der Bedeutungsverlust wasserintensiver landwirtschaftlicher Kulturen wie Zuckerrüben und Raps,
- der verstärkte Einsatz von Bewässerungs- und Beregnungsanlagen in der Landwirtschaft, gerade im Sonderkulturbereich,
- der Einsatz neuer, weniger trockenheit- und hitzeempfindlicher Nutzpflanzen und Nutztiere und
- eine mögliche Intensivierung der Produktion durch steigende weltweite Nachfrage nach Lebens- und Futtermitteln sowie Energie aus Biomasse.

Naturschutzbelange sind durch solche Anpassungsreaktionen in vielerlei Hinsicht betroffen. Mit wachsender Sorge wird in der Region Stuttgart die Zunahme des Energiepflanzenbaus gesehen, vor allem dann, wenn sie zum Umbruch von bisherigem Grünland führt. In diesem Zusammenhang werden nicht nur die negativen Folgen für das biotische Potential der Agrarlandschaft kritisiert, sondern auch die Verluste für die landschaftliche Eigenart und Schönheit hervorgehoben. Mehrere Teilnehmer der Arbeitsgruppe berichteten zudem von einem steigenden Antragsaufkommen zur Einrichtung von Kurzumtriebsplantagen zur Energieholzproduktion auf ertragsschwachem, bisher extensiv genutzten artenreichen Grünland. Diese Art der Landnutzungskonversion führt zur Zerstörung wertvoller Lebensräume.

Klimaschutz- und Anpassungsmaßnahmen in anderen Sektoren müssen allerdings auf die Schutzgüter des Naturschutzes nicht zwangsläufig negative Auswirkungen haben. Im Gegenteil wird auch auf regionale Potentiale für Synergien hingewiesen, so etwa die Ausweitung von Hochwasserretentionsräumen mit extensiver landwirtschaftlicher Nutzung, die Renaturierung von Feuchtgrünland zur Erhöhung ihrer abflussregulierenden Wirkung und zum Zwecke des Klimaschutzes oder die Anlage (extensiver) Dachbegrünungen zur Klimamelioration im urbanen Raum.

Ein mehrfacher Gegenstand der Workshop-Diskussionen war die Neobiota-Problematik: Es wird davon ausgegangen, dass es im Zuge der erwarteten Klimaänderung zu einer verstärkten Ausbreitung gebietsfremder Arten kommen wird, womit mit einem erhöhten Risiko invasiver Arten zu rechnen ist, welche in Konkurrenz zu einheimischen Arten treten und diese verdrängen könnten. In den letzten rund 20 Jahren ist beispielsweise infolge von Phänologieverschiebungen die Ausbreitung der ursprünglich im Mittelmeerraum verbreiteten Gelbbindigen Furchenbiene (*Halictus scabiosae*) in der Region Stuttgart eindrucksvoll nachzuweisen (LUBW 2007). Auch die ursprünglich aus Nordamerika stammende Beifuß-Ambrosie (*Ambrosia artemisiifolia*) zeigt in Süddeutschland eine alarmierende Dynamik und steht dabei schon heute als Auslöser allergischer Reaktionen der Atemwege an zweiter Stelle hinter den Gräsern (Katterfeldt & Ratzel 2010). Da sich gebietsfremde Arten bevorzugt entlang von Siedlungskorridoren ausbreiten (vgl. Nobis et al. 2009), muss die Region Stuttgart mit ihrer siedlungsstrukturellen Vielfalt und als einer der am dichtesten besiedelten Räume Europas eine besondere Gefährdungsdiskussion zugeschrieben werden, wenn die erwartete Klimaerwärmung eintritt. Hervorgehoben wurde das Neobiota-Problem für die Fließgewässer. So spielen Neozoen wie die Schwebegarnele (*Limnomysis benedini*) im Neckar schon heute eine bedeutende Rolle. Aufgrund seiner hohen Wassertemperatur (u.a. infolge der Kühlwassernutzung) kann der Neckar als Testfall für den Klimawandel angesehen werden. Die klimainduzierte Ausbreitung invasiver Arten muss im Zusammenspiel mit den „konventionellen“ Gefährdungsfaktoren der Biodiversität, wie etwa der Nutzungsaufgabe von Offenlandbiotopen, gesehen werden. Die Erfahrung zeigt, dass Neophyten sich häufig erst dann in Kulturbiotopen etablieren, wenn die traditionelle Nutzung aufgegeben wird. Ein Beispiel dafür ist die aus Nordamerika stammende Spätblühende Traubenkirsche (*Prunus serotina*), eine neophytische Baumart, die auf brachliegenden Wacholderheiden aufgrund ihrer Fähigkeit zur Wurzelsprossbildung die typische Offenvegetation schnell zurückdrängen kann.

In der Arbeitsgruppe besteht Konsens darüber, dass sich die Konsequenzen des Klimawandels für die Ökosysteme nicht isoliert betrachten lassen. Die Klimaänderung ist als eine zusätzliche Gefahr für die biologische Vielfalt und die Ökosystemfunktionen zu begreifen, welche die „konventionellen“ Ge-

fährungsgrößen (intensive Landnutzung, Nutzungsaufgabe, invasive Arten, Habitatfragmentierung, Versiegelung etc.) überlagert und diese in ihren Wirkungen verschärft. Daraus ergibt sich die Schlussfolgerung, dass ein Verfahren zur Abschätzung der Vulnerabilität von Naturschutz und Biodiversität in der Lage sein muss, die Verwundbarkeit von Ökosystemen vor dem Hintergrund bestehender anthropogener Belastungen abzubilden.

2.2.1.2. Forstwirtschaft

Die Wälder gehören insgesamt zu den naturnahen Ökosystemen, wenn sie auch durch Nadelholzanbau und forstliche Nutzung z.T. deutlich überprägt wurden. So zählt die in der Region Stuttgart weit verbreitete „Brotbaumart“ Fichte (*Picea abies*) zu den Arten, die bei einer entsprechenden Klimaänderung in die Risikogruppe aufsteigen: Fichtenbestände unterhalb der natürlichen Höhenstufe und in trocken-warmen Gebieten werden einer erhöhten Trockenstressgefahr ausgesetzt sein, da die flach wurzelnde Fichte auf regelmäßige Niederschläge angewiesen ist. Trockenstress kann ferner die Empfindlichkeit der Fichte gegenüber Schädlingen erhöhen. Schon gegenwärtig zeigt sich eindeutig, dass *Picea abies* besonders empfindlich reagiert (Pompe et al. 2009). Die Untersuchungen der Forstlichen Versuchsanstalt (FVA) zu den Auswirkungen des Klimawandels auf die Wälder Baden-Württembergs verdeutlichen, dass in großen Teilen der Region Stuttgart bereits bis 2050 die Baumarteneignung der Fichte unter Berücksichtigung des Klimaszenarios B2 deutlich abnehmen könnte (FVA 2010: URL). Deshalb, und vor dem Hintergrund der weiten Verbreitung von *Picea abies* in den Forsten der Region, formulierte die Arbeitsgruppe die Notwendigkeit, die Karten zur zukünftigen Baumarteneignung auszuwerten und mit der aktuellen Baumartenzusammensetzung der Bestände in Beziehung zu setzen.

Nicht nur die Arealverschiebungen bei den Baumarten könnten das forstwirtschaftliche Ertragspotenzial beeinflussen, sondern auch die Arealveränderungen von Forstpathogenen wie dem Buchdrucker (*Ips typographus*) oder dem Buchenprachtkäfer (*Agilus viridis*) müssen als biotischer Risikofaktor ins Kalkül gezogen werden (von Teuffel 2007). Zudem ergibt sich die Verwundbarkeit des Forstsektors nicht nur aus der Veränderung der langjährigen Mittelwerte des regionalen Klimas (vor allem der Temperatur- und Niederschlagswerte), sondern auch aus der Zunahme der Frequenz und Intensität von Extremereignissen, wobei vor allem die mögliche Zunahme von Sturmereignissen ein großes Problem darstellt. Eine regionsbezogene Auswertung der von der FVA vorgenommenen Risikobewertung für die Baumart Fichte wurde von den Teilnehmern der Arbeitsgruppe ausdrücklich empfohlen. Insgesamt schätzen die Experten der Arbeitsgruppe, dass der Klimawandel in der Region für die Forstwirtschaft mehr Risiken als Chancen birgt und von Ertragsminderungen auszugehen ist.

Die Untersuchungen der FVA (2010: URL) bestätigen Einschätzung der AG-Mitglieder, dass auch naturnahe Buchenwälder in der Region Stuttgart auf die erwarteten Veränderungen der klimatischen Parameter teilweise empfindlich reagieren könnten. Die Karten zur Neueinschätzung der forstlichen Eignung für die Buche (*Fagus sylvatica*) führen vor Augen, dass insbesondere Bestände trockenwarmer Standorte, wie z. B. auf der Schwäbischen Alb, die schon heute eine sehr geringe Wachstumsleistung aufweisen, einem höheren Risiko unterliegen. Da für diesen Ökosystemtyp durch die FFH-Richtlinie eine hohe regionale Schutzverantwortung besteht, sind hier vor allem auch Belange des Arten- und Biotopschutzes betroffen.

Das Expertenteam hält es für sehr wahrscheinlich, dass sich die Waldbilder in der Region Stuttgart bis zum Ende des Jahrhunderts deutlich verändern werden. Insbesondere im Bereich der fichtendominierten Bestände wird ein Waldumbau unabdingbar sein, wobei gegenwärtig noch nicht klar ist, welche Baumart (welcher Herkunft) das Bild des „klimagerechten Forstes“ bestimmen wird. Zu bedenken ist, dass es nicht nur um den Austausch einer oder mehrerer Baumarten geht, sondern dass von neuen Waldbaustrategien auch die Arten der Strauch- und Krautschicht sowie die Bodenorganismen mittelbar betroffen sein werden. Grundsätzlich ist die Arbeitsgruppe der Auffassung, dass naturnahe Waldbestände mit einer möglichst großen strukturellen Vielfalt und vorwiegend standortheimischen Baumarten die größte Resilienz gegenüber dem Klimawandel aufweisen.

2.2.1.3. Landwirtschaft

Ebenso wie der Forstsektor wird die Landwirtschaft unmittelbar von der erwarteten Klimaänderung betroffen sein. Schäden auf landwirtschaftlich genutzten Böden und an Kulturen können auftreten in Folge von

- a. häufigeren Starkniederschlagsereignissen,
- b. häufigeren Hagelereignissen,
- c. häufigeren, längeren und stärkeren Stürmen, d.h. Starkwindereignissen,
- d. einer zunehmenden mittleren Lufttemperatur in allen Jahreszeiten,
- e. einer längeren Vegetationsperiode und einer damit womöglich verbundenen höheren Früh- und Spätfrostgefahr
- f. häufigeren und längeren Hitzeperioden,
- g. deutlich ansteigenden Niederschlägen im Herbst, Winter und Frühjahr,
- h. zurückgehenden Sommerniederschlägen (bis 2050 vermutlich nur moderat) und
- i. der generell steigenden Variabilität des Wettergeschehens.

Im Einzelnen werden für die Region Stuttgart vor allem die nachstehend aufgeführten Klimawirkungen als besonders bedeutend eingeschätzt, die infolge einzelner Stimuli oder deren kombinierter Wirkung in Abhängigkeit von den standörtlichen Faktoren und angebauten Kulturarten mehr oder weniger massiv auftreten können:

- eine verstärkte Bodenerosion durch Wasser (v.a. infolge von a und g),
- das Auftreten von Deflation, d. h. Bodenerosion durch Wind, auf leichten Böden (v.a. infolge von c, f und h),
- eine mangelnde Wasserverfügbarkeit für die Kulturpflanzen, d. h. Trockenstress (v.a. infolge von d, f und h),
- Hitzestress bei Pflanzen (v.a. infolge von f und h), sowie
- direkte Schäden an den Kulturen durch Starkregen- und Hagelereignisse (a, b und c).

Die Bodenerosion durch Wasser stellt im Bereich der landwirtschaftlichen Bodennutzung in der Region Stuttgart bereits heute ein Problemfeld dar, wobei Starkregenereignisse in Kombination mit der standortspezifischen Bodennutzung und -bearbeitung als maßgebliche Einflussgrößen auftreten. So ist beispielsweise auf den Feldern zu beobachten, dass infolge des expandierenden Gemüseanbaus in den letzten Jahren die Bodenabträge erheblich zugenommen haben. Die Arbeitsgruppe vertritt die Auffassung, dass vor dem Hintergrund der erwarteten Zunahme von Starkniederschlagsereignissen der Erosionsproblematik im Rahmen der Vulnerabilitätsanalyse besondere Aufmerksamkeit zu schenken ist. Dabei wird es für wichtig erachtet, die Erosionsgefährdung der Ackerflächen in der Region sowohl im Hinblick auf die aktuell ausgeübten Nutzungsformen zu untersuchen (aktuelle Bodenerosionsgefährdung), als auch die natürliche Erosionsgefährdung des Standorts ins Visier zu nehmen. Letzteres ist relevant, um bei der Formulierung von Anpassungsstrategien Aussagen darüber treffen zu können, in welchen Teilen der Region erosionsfördernde Kulturen und Bewirtschaftungsformen im Klimawandel unbedingt vermieden werden sollten.

Anders als die Bodenerosion durch Wasser spielt Winderosion in der Region Stuttgart gegenwärtig kaum eine Rolle. Allerdings muss davon ausgegangen werden, dass in einigen Bereichen bei einer Zunahme von Starkwindereignissen und einer, insbesondere nach längeren Trockenphasen, geringen Bodenfeuchtigkeit Windverwehungen in bedenklichem Umfang auftreten könnten. Als gefährdet gelten vornehmlich leichte Böden, d.h. sandige Böden mit geringem Wasserspeichervermögen.

Mit dem Klimawandel werden Veränderungen des Bodenwasserhaushalts unweigerlich einhergehen. Die prognostizierte Zunahme der Winterniederschläge lässt erwarten, dass landwirtschaftliche Kulturen zwar im Frühjahr von einer besseren Durchfeuchtung des Bodens und höheren Grundwasserständen profitieren werden, dass jedoch im Sommer infolge der erwarteten Niederschlagsabnahme und gleichzeitig steigender Lufttemperaturen die Wasserverfügbarkeit für Pflanzen geringer sein wird. Hinzu kommt, dass ein höherer Anteil des sommerlichen Niederschlags Starkregen entstammen wird,

die weniger das Grundwasser speisen, sondern vielmehr als Oberflächenabfluss die Bodenerosion erhöhen (siehe oben, Dister & Henrichfreise 2009). Vor diesem Hintergrund und dem Umstand, dass bereits gegenwärtig ein beachtlicher Anteil ackerbaulich genutzter Böden in der Region eine vergleichsweise geringe Bodenfeuchte aufweist (nach der digitalen Bodenkarte der Region Stuttgart 1: 50.000 sind ca. 27 % der ackerbaulich genutzten Böden als mäßig trocken bis sehr trocken einzustufen), ist damit zu rechnen, dass in der Landwirtschaft der Region Stuttgart Bewässerungs- und Beregnungsanlagen an Relevanz gewinnen werden. In Anbetracht des ausgesprochen geringen Grundwasserangebots der Region und vorherzusehenden hydrologischen Veränderungen der Fließgewässer (z. B. geringe Wasserführung während einer Trockenperiode), sollte dem Landschaftswasserhaushalt in der räumlichen Planung zukünftig große Beachtung geschenkt werden (siehe hierzu die Ergebnisse der Arbeitsgruppe „Wasser“). In Zusammenhang mit dem Bodenwasserhaushalt steht die Hitzestress-Problematik: Mit dem fortlaufenden Anstieg der Jahresmitteltemperatur ist eine erhöhte Häufigkeit von Perioden mit überdurchschnittlich hohen Temperaturen verbunden. Diesbezüglich weisen Teilräume der Region Stuttgart im bundesweiten Vergleich schon gegenwärtig eine besondere Belastung auf (BMVBS & BBSR 2010). Da Hitzeperioden oft auch trockene Perioden sind, versetzen sie viele Pflanzenarten in eine besonders prekäre Situation, da sie auf der einen Seite mit dem Wasser haushalten, auf der anderen Seite aber auch die Temperatur mittels Wärmeabgabe durch Transpiration regulieren müssen. Viele Pflanzenarten könnten daher im Klimawandel neben Trockenstress vermehrt unter akutem Hitzestress leiden, womit je nach Ausmaß der Belastung (Temperaturhöhe) die Photosynthese gehemmt oder der Photosyntheseapparat sogar irreversibel geschädigt werden kann. Hier treten Mechanismen wie eine Steigerung der Photorespiration, Hitzeschockreaktionen oder sogar Proteindenaturierungsprozesse auf. Signifikante Auswirkungen auf die Produktivität von Kulturpflanzen sind zu erwarten (Levitt 1980). Veränderungen biochemischer und physiologischer Prozesse aufgrund von Hitze und Trockenheit haben Folgen für Ertrag und Qualität: Getreide reagiert mit Notreife, indem die Kornfüllungsphase verkürzt wird und die Körner klein bleiben. Statistische Untersuchungen der Universität Hohenheim ergaben, dass mit jedem Grad der Erhöhung der Durchschnittstemperatur der Monate März bis Juli die Roggen- und Weizenenerträge in den Kreisen Karlsruhe, Stuttgart und Konstanz um ca. 8 % sanken (Franzaring et al. 2007). Die Verkürzung der Kornfüllungsphase mit steigender Durchschnittstemperatur ist vermutlich der Hauptgrund hierfür, eventuell verbunden mit selteneren Ereignissen der Notreife oder der Einwirkung von Extremtemperaturen. Besonders temperaturempfindliche Entwicklungsphasen sind die Ausdifferenzierung von Ovarien und Pollenkörnern im Rahmen der Blütenbildung und -entfaltung, in denen auch kurzfristige Temperaturanstiege auf über 30°C zu deutlichen Ertrags- und Qualitätseinbußen bei vielen Kulturpflanzen führen (z.B. Peet et al. 1998, Polowick & Sawhney 1988, Young et al. 2004). Im Hitzesommer 2003 wurden solche Temperaturen regional bereits im Juni während der Blütenentfaltung erreicht.

Die Hitzeempfindlichkeit bzw. -toleranz einer konkreten landwirtschaftlichen Nutzung ist als komplexes Integral der (mikro)klimatischen Verhältnisse, weiterer abiotischer Standortparameter (insbesondere des Bodenwasserhaushalts und damit der Wasserversorgung), der Phase der Pflanzenentwicklung in der eine Hitzeperiode auftritt und der Sorteneigenschaften zu begreifen. Daher können keine einfachen Ranglisten der Hitzetoleranz von Kulturpflanzen erstellt werden. Es sind lediglich Trendaussagen möglich, die sich etwa aus den klimatischen Verhältnissen der genetischen Herkunftsregion der jeweiligen Kulturart ableiten lassen. So weist die aus den Anden Südamerikas stammende, und damit an kühleres Klima adaptierte Kartoffel eine relative hohe Hitzeempfindlichkeit auf (hohe Temperaturen können zu Stärkedefiziten und drastischen Ertragseinbußen führen). Die Zuckerrübe benötigt für optimale Zuckererträge zwar eine warme Vegetationsperiode, reagiert aber auf hohe Temperaturen vor allem in Verbindung mit Trockenheit empfindlich. Die gilt auch für Grünland, wo Hitze- und Trockenstress zu einer erheblichen Verschlechterung des Futterertrags und der Futterqualität führen können. Während Raps ebenfalls als vergleichsweise hitzeempfindlich gilt, da er bei höheren Temperaturen weniger ungesättigte Fettsäuren bildet (Deng & Scarth 1998), sind die Getreidesorten etwas toleranter, wenngleich mit zunehmender Hitze mehr oder weniger starke Ertragsdepressionen auftreten. Während Roggen und Wintergerste verhältnismäßig hitzetolerant sind, ist die Reaktion bei Weizen stark sortenabhängig, in der Regel zeigen sich aber Ertragsdepressionen. Generell weisen Nutzpflanzen subtropischer Herkunft wie Mais, Hirsearten, Soja und Baumwolle eine recht hohe Hitzetoleranz auf. Gleichwohl können etwa Mais und Soja ihr Ertragspotential nur dann entfalten, wenn ausreichend

Wasser zur Verfügung steht. Als empirische Faustregel gilt, dass fast alle in Deutschland angebauten Kulturpflanzen bei einer Lufttemperatur von mehr als 30°C Ertragsdepressionen zeigen. Temperaturen über 35° C werden von hitzetoleranten Kulturen und Sorten leidlich vertragen, ab 40° C ist mit irreversiblen Schäden zu rechnen (mündliche Mitteilung H. Flaig, Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg).

Neben den bisher diskutierten Gefährdungsfaktoren wurde von den Experten auch das Risiko direkter Schäden landwirtschaftlicher Kulturen durch Starkregen- und Hagelereignisse betont. Davon könnten vor allem die Sonderkulturen in hohem Maße betroffen sein. Darüber hinaus ist als weiterer Gefährdungsfaktor der landwirtschaftlichen Produktion die Zunahme der Frühfrostgefährdung zu nennen, da Pflanzen ihre Frostresistenz infolge einer längeren Vegetationsperiode zu spät erwerben könnten. Das mit dem Klimawandel erwartete frühere Auftreten des letzten Frostes könnte dagegen möglicherweise die Spätfrostgefährdung verringern, allerdings nur unter der Voraussetzung, dass die Pflanzen nicht aufgrund eines milderen Winters frühzeitig enthärtet werden. Die mögliche Zunahme des Früh- und Spätfrosttrisikos stellt insbesondere für den Obst- und Weinbau in der Region ein Problem dar. Des Weiteren ist generell davon auszugehen, dass durch den Klimawandel wärmeliebende Schädlinge und Krankheiten begünstigt werden. Spezifisch für die Region Stuttgart ist der hohe Sonderkulturanteil, so dass vor allem der Obst-, Wein- und Gemüsebau im Fokus stehen werden. Im Obstbau könnten z. B. Apfelwickler (*Cydia pomonella*), Kirschfruchtfliege (*Rhagoletis cerasi*), Zitronenblattlaus (*Aphis spiraeicola*) und die Mittelmeerfruchtfliege (*Ceratitis capitata*) verstärkt Schwierigkeiten bereiten, aber auch der Apfelschorf (*Venturia inaequalis*). Zudem besteht auch für die Landwirtschaft das Neobiota-Problem (siehe oben), da invasive Arten wie die Beifuß-Ambrosie erhebliche Schäden verursachen können (Kowarik 2010). So sinkt beispielsweise bei Zuckerrüben der Ertrag schon bei zwei bis fünf *Ambrosia*-Pflanzen pro Quadratmeter um 40-50 % und der Zuckergehalt verringert sich zwischen 13 und 15 % (Katterfeldt & Ratzel 2010). Zudem ist zu erwarten, dass mit der Klimaerwärmung Unkräuter begünstigt werden, die bislang nur im südöstlichen Mitteleuropa Schäden in der Landwirtschaft verursacht haben (Kowarik 2010, Liste bei Ries 1992). Neben diesen Aspekten wurden auch verschiedene Ursachen-Wirkungsketten im Zusammenhang mit Nährstoffen diskutiert, so etwa die Zunahme des Nitrat-Auswaschungsrisikos auf leichten und flachgründigen Böden infolge der erwarteten Zunahme der Winterniederschläge, der verstärkte Phosphatverlust durch Erosion oder die verminderte Nährstoffverfügbarkeit in Trockenphasen.

Die Arbeitsgruppe hält es für wahrscheinlich, dass sich mit den erwarteten Modifikationen der Anbau-eignungen und den Anpassungsreaktionen der Landwirtschaft das Bild der Agrarlandschaft wandeln wird. Bereits gegenwärtig wird z. B. beobachtet, dass im Neckartal (vermutlich aufgrund zu hoher Temperaturen) vielerorts kein Salatanbau mehr betrieben wird und sich der Anbau stattdessen auf die Talhänge und die Fildern verlagert, wo sich das gewohnte Kulturlandschaftsbild zusehends verändert. Neben den mutmaßlich im Ackerbau stattfindenden Veränderungen (andere bzw. neue Kulturpflanzen und Bewirtschaftungsformen) ist beispielsweise auch nicht auszuschließen, dass der bereits unter gegenwärtigen Verhältnissen vielfach auf Extremstandorten betriebene Weinbau an diesen Orten nicht mehr rentabel sein wird. Damit wären zugleich die Weinbergterrassen des Neckartals mit ihren Trockenmauern als prägendes Kulturlandschaftselement gefährdet, die zudem für den biotischen Naturschutz von hohem Wert sind. Darüber hinaus wird der Klimawandel indirekt (etwa durch den verstärkten Anbau von Energiepflanzen, siehe oben) Veränderungen der landschaftlichen Eigenart hervorrufen.

2.2.2. GIS- und modellgestützte Analyse

2.2.2.1. Naturschutz/Biodiversität

Zielsetzung und Bewertungsmodell

Ziel der quantitativen Vulnerabilitätsanalyse ist es, die denkbaren Auswirkungen des Klimawandels auf die naturschutzfachlich bedeutenden Lebensräume der Region Stuttgart einzuschätzen. Die Bezugsbasis bilden die nach §32 NatSchG BW besonders geschützten Biotope (ca. 47.000 Objekte)¹ (vgl. Tabelle in Anhang 2). Damit wird der Untersuchung ein Wertesystem zugrunde gelegt, welches die Ersatzgesellschaften der natürlichen Vegetation der Kulturlandschaft als schützenswert erachtet und den Klimawandel als Gefährdungsfaktor auffasst (zur Diskussion über mögliche neue Strategierichtungen des Naturschutzes im Klimawandel siehe Abschnitt 5.1).

Die Konzeption des Vulnerabilitätsverfahrens zeigt Abbildung 4. Die „Klimasensitivität eines Biotops“ ergibt sich danach aus der „Klimasensitivität des Standortes“ und der „Klimasensitivität der biotischen Strukturen“. Bei ersterem stehen die abiotischen Faktoren im Vordergrund. Es wird davon ausgegangen, dass sich bei den erwarteten klimatischen Veränderungen die standörtlichen Bedingungen vor allem dort problematisch verändern, wo sie stark durch Grund- oder Oberflächenwasser beeinflusst sind (Petermann et al. 2007, Dister & Henrichfreise 2009). Außerdem kann angenommen werden, dass von angrenzenden, intensiven Landnutzungen beeinträchtigende Einflüsse ausgehen (Nährstoffeintrag, Veränderungen des Wasserhaushalts etc.), welche die Anfälligkeit eines dadurch „geschwächten“ Ökosystems gegenüber klimatischen Stressfaktoren forciert. Die Operationalisierung des Indikators „Qualität des Biotop-Umfelds“ erfolgt über den Hemerobie-Ansatz, indem der mittlere Hemerobiegrad des Landnutzungsmosaiks in der Umgebung eines Lebensraums ins Verhältnis zum Hemerobiegrad des Biotops gesetzt wird. Je größer der Unterschied im Grad des kulturellen Einflusses (Hemerobie), desto höher ist der Kontrast zwischen dem Lebensraum und seiner Umgebung und umso höher die Wahrscheinlichkeit von der Umgebung ausgehender Belastungen (ausführliche Erläuterungen in Weis 2008 und Hüllemeyer et al. 2008). Die Hemerobie der Region Stuttgart zeigt Abbildung A-1 in Anhang 3).

Die „Klimasensitivität der biotischen Strukturen“ wird im Bewertungsmodell mithilfe der Indikatoren „Risiko eines Neophytenbefalls“ und „Gegenwärtige Veränderung der Biotopqualität“ abgebildet. Es kann angenommen werden, dass eine Veränderung klimatischer Standortfaktoren das Artengefüge eines Lebensraums teilweise oder zeitweise destabilisieren, woraus sich ein Konkurrenzvorteil für aggressive Neophyten ergibt. Neben dem Neuaufreten von Neophyten-Arten ist eine Zunahme der Abundanz von bereits heute etablierten Neophyten oder eine Besiedlung bislang unberührter Biotop-Bestände denkbar. Die Risiko-Einstufung erfolgte auf der Ebene der Biotoptypen durch Experteneinschätzungen (AG-Workshop am 26. Juli 2010). Der zweite Indikator „Gegenwärtige Veränderung der Biotopqualität“ weist auf eine möglicherweise schon heute stattfindende Veränderung der Biozönosen durch Ursachen wie Nutzungsaufgabe und Nährstoffeintrag hin. Es ist plausibel, dass eine Lebensgemeinschaft, deren Artengefüge bereits destabilisiert ist, auf einen weiteren Stressor sehr empfindlich reagiert (Petermann et al. 2007). Die Einstufungen hinsichtlich dieses Kriteriums werden aufgrund fehlender Datengrundlagen für die Einzelbiotope auf der Ebene von Biotoptypen vorgenommen und erfolgen auf Grundlage der Angaben in der Roten Liste der Biotoptypen Baden-Württembergs (Breunig 2002).

Die Einstufung der Regenerierbarkeit ermöglicht schließlich in Kombination mit dem Zwischenergebnis „Klimasensitivität“ die Bewertung der „Vulnerabilität eines Biotops“. Der Verwendung dieses Kriteriums als Indikator für die Anpassungskapazität liegt die Logik zugrunde, dass bei gleich hoher

¹ Terrestrisch-morphologisch definierte Biotoptypen - mit Ausnahme „offener Felsbildungen“ und „Trockenmauern“ - werden aufgrund fehlender Angaben zur Vegetation nicht berücksichtigt (ihr Anteil an der gesamten Biotopfläche der Region Stuttgart beträgt ca. 14 %).

Sensitivitätseinstufung ein Biotop für den Naturschutz als umso verwundbarer gelten darf, je weniger regenerierbar bzw. wiederherstellbar es ist. Anders formuliert haben Biotope mit hoher Regenerierbarkeit eine größere adaptive Kapazität, weil sie an klimatisch geeigneten Standorten relativ schnell neu entstehen bzw. durch gestaltendes Eingreifen des Menschen wiederhergestellt werden können. Die Einstufung der Regenerierbarkeit erfolgt auf Typusebene anhand der Entwicklungszeit. Es wurde auf die Angaben in der Roten Liste der Biotoptypen Baden-Württembergs (Breunig 2002) zurückgegriffen.

Die Ergebnisse der Einzelbewertungen wurden unter ökologischen Gesichtspunkten durch logische Verknüpfungen aggregiert. Die Verknüpfungsregeln sind in Abbildung 5 aufgeführt. Die Bewertungsklassen werden in den Tabellen 3 und 4 beschrieben. Die Skalierungen der Einzelkriterien sind im Anhang 5.1 aufgeführt.

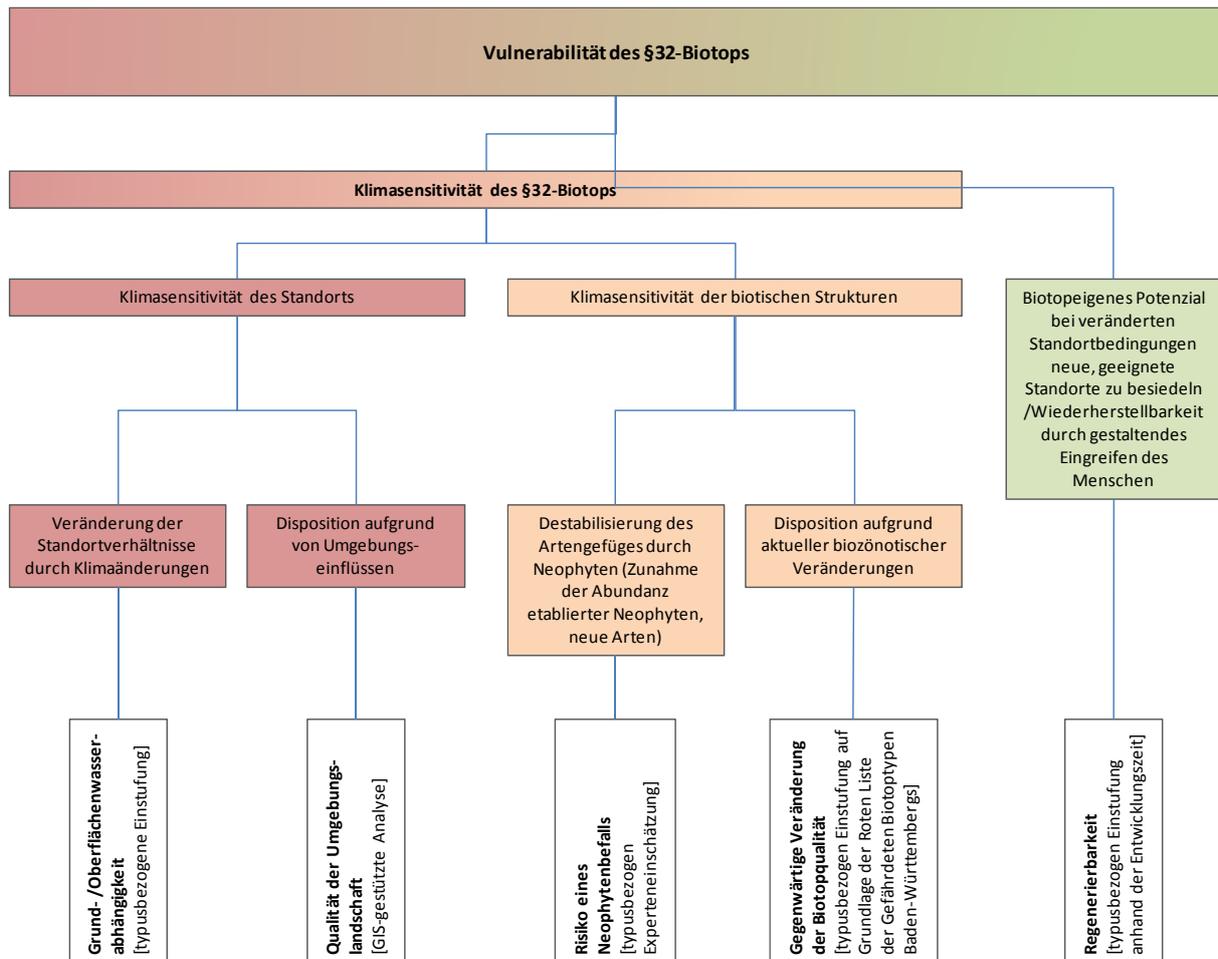


Abb. 4: Konzeptionelles Modell zur Einschätzung der Vulnerabilität der nach §32 NatSchG BW besonders geschützten Biotope. In den weißen Kästen sind die verwendeten Indikatoren aufgeführt.

Klimasensitivität des Standorts (KS) <table border="1"> <tr> <td>W \ U</td> <td>hoch</td> <td>mittel</td> <td>gering</td> </tr> <tr> <td>Umfeld von geringer Qualität</td> <td>5</td> <td>4</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>Umfeld von mäßiger Qualität</td> <td>5</td> <td>3</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>Umfeld von hoher Qualität</td> <td>5</td> <td>2</td> <td>1</td> </tr> </table>				W \ U	hoch	mittel	gering	Umfeld von geringer Qualität	5	4	3	Umfeld von mäßiger Qualität	5	3	2	Umfeld von hoher Qualität	5	2	1	Klimasensitivität der biotischen Strukturen (KB) <table border="1"> <tr> <td>Qu \ Neo</td> <td>starke Abnahme</td> <td>deutliche Abnahme</td> <td>keine deutliche Veränderung</td> <td>deutliche Verbesserung</td> </tr> <tr> <td>hoch</td> <td>5</td> <td>5</td> <td>4</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>mittel</td> <td>5</td> <td>4</td> <td>3</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>gering</td> <td>4</td> <td>3</td> <td>2</td> <td>-</td> </tr> </table>					Qu \ Neo	starke Abnahme	deutliche Abnahme	keine deutliche Veränderung	deutliche Verbesserung	hoch	5	5	4	-	mittel	5	4	3	-	gering	4	3	2	-																										
W \ U	hoch	mittel	gering																																																																			
Umfeld von geringer Qualität	5	4	3																																																																			
Umfeld von mäßiger Qualität	5	3	2																																																																			
Umfeld von hoher Qualität	5	2	1																																																																			
Qu \ Neo	starke Abnahme	deutliche Abnahme	keine deutliche Veränderung	deutliche Verbesserung																																																																		
hoch	5	5	4	-																																																																		
mittel	5	4	3	-																																																																		
gering	4	3	2	-																																																																		
Klimasensitivität des Biotops (S) <table border="1"> <tr> <td>KS \ KB</td> <td>sehr hoch</td> <td>hoch</td> <td>moderat</td> <td>gering</td> <td>sehr gering bis fehlend</td> </tr> <tr> <td>sehr hoch</td> <td>5</td> <td>5</td> <td>4</td> <td>4</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>hoch</td> <td>5</td> <td>4</td> <td>4</td> <td>3</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>moderat</td> <td>5</td> <td>4</td> <td>3</td> <td>2</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>gering</td> <td>-</td> <td>4</td> <td>2</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> </table>						KS \ KB	sehr hoch	hoch	moderat	gering	sehr gering bis fehlend	sehr hoch	5	5	4	4	3	hoch	5	4	4	3	3	moderat	5	4	3	2	1	gering	-	4	2	1	1	Vulnerabilität des Biotops <table border="1"> <tr> <td>Re \ S</td> <td>sehr hoch</td> <td>hoch</td> <td>moderat</td> <td>gering</td> <td>sehr gering bis fehlend</td> </tr> <tr> <td>nicht regenerierbar</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>kaum regenerierbar</td> <td>7</td> <td>7</td> <td>-</td> <td>2</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>schwer regenerierbar</td> <td>7</td> <td>6</td> <td>4</td> <td>2</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>relativ leicht regenerierbar</td> <td>5</td> <td>5</td> <td>3</td> <td>2</td> <td>1</td> </tr> </table>					Re \ S	sehr hoch	hoch	moderat	gering	sehr gering bis fehlend	nicht regenerierbar	-	-	-	-	-	kaum regenerierbar	7	7	-	2	1	schwer regenerierbar	7	6	4	2	1	relativ leicht regenerierbar	5	5	3	2	1
KS \ KB	sehr hoch	hoch	moderat	gering	sehr gering bis fehlend																																																																	
sehr hoch	5	5	4	4	3																																																																	
hoch	5	4	4	3	3																																																																	
moderat	5	4	3	2	1																																																																	
gering	-	4	2	1	1																																																																	
Re \ S	sehr hoch	hoch	moderat	gering	sehr gering bis fehlend																																																																	
nicht regenerierbar	-	-	-	-	-																																																																	
kaum regenerierbar	7	7	-	2	1																																																																	
schwer regenerierbar	7	6	4	2	1																																																																	
relativ leicht regenerierbar	5	5	3	2	1																																																																	
W Grund-/Oberflächenwasserabhängigkeit U Qualität der Umgebungslandschaft eines Biotops Qu Gegenwärtige Veränderung der Biotopqualität NEO Risiko eines Neophytenbefalls			KS Klimasensitivität des Standorts KB Klimasensitivität der biotischen Strukturen S Klimasensitivität des Biotops RE Regenerierbarkeit - nicht existierende Kombination																																																																			

Abb. 5: Verknüpfungsregeln zur Aggregation der Einzelkriterien (Naturschutz). Die Bewertungsklassen werden in den Tabellen 3 und 4 beschrieben.

Tab. 3: Bewertungsklassen (Klimasensitivität des Standorts, Klimasensitivität der biotischen Strukturen, Klimasensitivität des Biotops).

Stufe	Beschreibung
5	sehr hoch
4	hoch
3	moderat
2	gering
1	sehr gering bis fehlend

Tab. 4: Bewertungsklassen der Vulnerabilität (Naturschutz).

Stufe	Beschreibung
7 sehr hoch	Biotope mit sehr hoher oder hoher Klimasensitivität, die kaum regenerierbar sind sowie Biotope mit sehr hoher Sensitivität, die schwer regenerierbar sind
6	Biotope mit hoher Klimasensitivität, die schwer regenerierbar sind
5	Biotope mit sehr hoher oder hoher Klimasensitivität, die relativ leicht regenerierbar sind
4 moderat	Biotope mit moderater Klimasensitivität, die schwer regenerierbar sind
3	Biotope mit moderater Klimasensitivität, die relativ leicht regenerierbar sind
2	Biotope mit geringer Klimasensitivität
1 sehr gering bis fehlend	Biotope mit sehr geringer bis fehlender Klimasensitivität

Ergebnisse

In den Abbildungen 6 bis 18 werden die mit dem Vulnerabilitätsmodell generierten Ergebnisse in Karten und Diagrammen dargestellt.

Vor dem Hintergrund der Flächenverteilung der in der Region Stuttgart vorzufindenden §32-Biototypen (Abbildung 6) zeigen die Abbildungen 7 und 8 ihre Sensitivitäts- bzw. Vulnerabilitäts-Einstufung mit der jeweiligen Variationsbreite, die aus der Berücksichtigung der Umgebungseinflüsse eines spezifischen Lebensraums resultiert. Dabei zeigt sich, dass die Klassenwerte von Ökosystemtypen mit hoher Grund- oder Oberflächenwasserabhängigkeit (z. B. Auwälder und Feuchtgrünland) keine Spannen aufweisen. Dies leitet sich aus den ökologisch begründeten Verknüpfungsregeln der Einzelparameter ab: Hier wurde definiert, dass im Falle einer starken Wasserabhängigkeit unabhängig von der Ausbildung der übrigen Indikatoren eine Einstufung in die höchste Sensitivitätsstufe erfolgt, da solche Lebensräume in der Region Stuttgart prinzipiell als hoch empfindlich gegenüber den prognostizierten Klimaänderungen einzustufen sind.

Die Diagramme zur Verteilung der Flächengrößen pro Sensitivitäts- bzw. Vulnerabilitätsstufe (Abbildung 9 und 10) führen vor Augen, dass ein sehr hoher Anteil der gesamten §32-Biotopfläche in der Region als hoch oder sehr hoch vulnerabel gegenüber klimatischen Veränderungen anzusehen ist, wenn im Sinne eines komplexen ökologischen Verständnisses der Klimawandel nicht als isolierter Bedrohungsfaktor angesehen, sondern in seinem Zusammenwirken mit „konventionellen“ Bedrohungen verstanden wird. Ungefähr 70 % der Biotopfläche zeigen nach dem Verfahren eine hohe oder sehr hohe Klimasensitivität. Unter zusätzlicher Berücksichtigung der Regenerierbarkeit fallen in die drei höchsten Vulnerabilitätsstufen circa 66 % der §32-Biotopfläche. Die Abbildungen 11 bis 14 lassen erkennen, dass sich dabei die Betroffenheit der Stadt- bzw. Landkreise auffallend unterschiedlich darstellt. So zeichnet sich beispielsweise der Kreis Göppingen im Vergleich zum Rems-Murr-Kreis durch einen vergleichsweise geringen Anteil hoch sensibler Biotopfläche aus. Der Blick auf die zentrale Ergebniskarte (Abbildung 15) unterstreicht die räumliche Differenziertheit der Vulnerabilität, deren Muster zum Teil deutlich durch naturräumliche Grenzen bestimmt ist. Dies veranschaulicht die nachfolgende Karte (Abbildung 16): Mithilfe eines geostatistischen Verfahrens werden hier Bereiche abgegrenzt, in denen sich §32-Biotope mit relativ hohen Vulnerabilitätswerten räumlich ballen (sogenannte „Hotspots“). Blau eingefärbte Biotopflächen sind demgegenüber Bestandteile von Teilräumen, in denen Agglomerationen von Lebensräumen mit verhältnismäßig niedriger Verwundbarkeit auftreten („Coldspots“). Ein Beispiel dafür sind die Filsalb und die Mittlere Kuppenalb im Südosten der Region Stuttgart, die einen hohen Anteil an Ökosystemen aufweisen, die gegenüber der erwarteten Klimaän-

derung als wenig empfindlich gelten (Wacholderheiden, Eichen-Hainbuchen-Wälder, Felsvegetation u.a.). Im Gegensatz dazu kann etwa den Schwäbisch-Fränkischen Waldbergen im Nordosten des Planungsraums aufgrund ihres hohen Anteils von Feuchtgrünland und naturnahen Fließgewässerabschnitten eine generell hohe Verwundbarkeit zugeschrieben werden. Auch Abbildung 17 zeigt besondere Risikoräume in der Region Stuttgart, indem anhand einer Rasterdarstellung der Anteil der als sehr hoch vulnerabel eingestuften Biotopfläche an der gesamten Biotopfläche in einer Zelle angegeben wird. Die zusätzliche Darstellung der Biotopdichte ermöglicht eine differenzierte Einschätzung der Situation. In Abbildung 18 wird die unterschiedliche Vulnerabilität von Teilräumen anhand einer Balkendiagrammkarte visualisiert, welche die Verteilung der Vulnerabilitätsstufen in den Naturräumen bzw. Teillandschaften der Region darstellt.

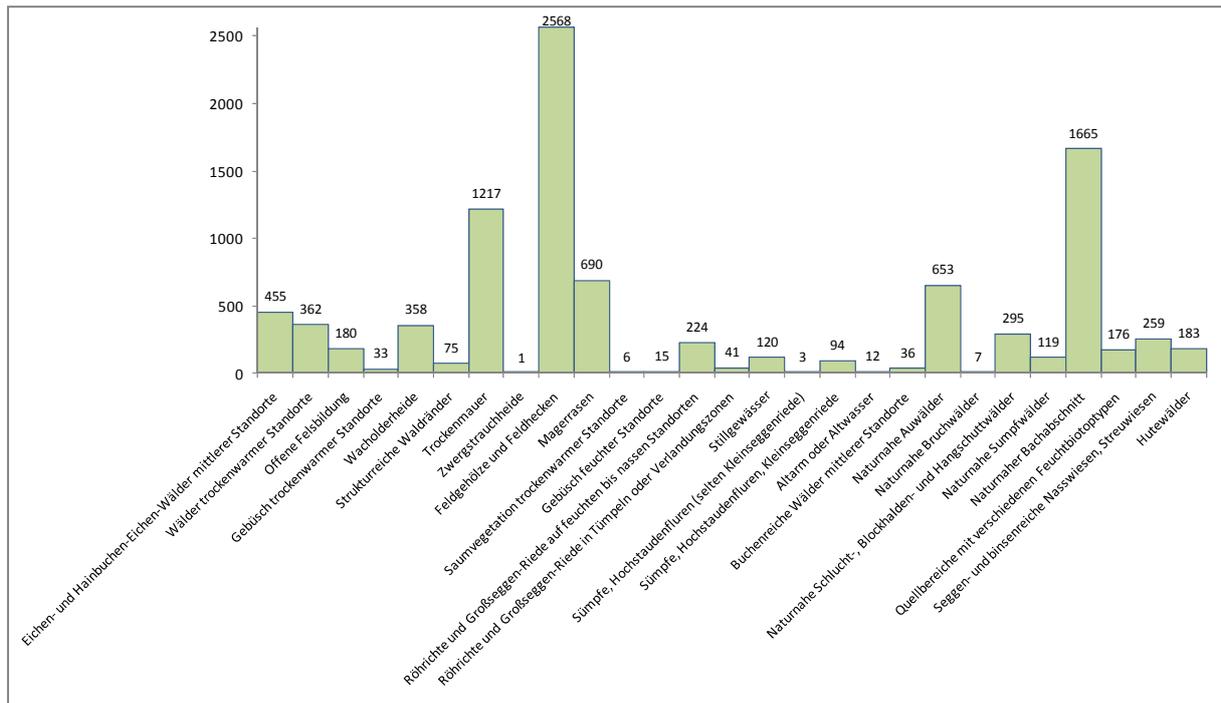


Abb. 6: Flächenverteilung der Biotoptypen in der Region Stuttgart (in ha) (Datengrundlage: Waldbiotopkartierung, §32- Biotopkartierung).

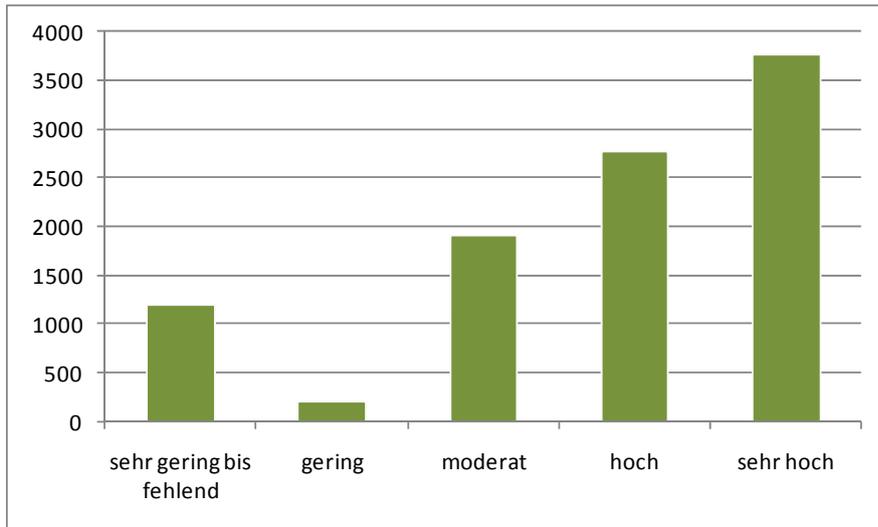


Abb. 9: Verteilung der Flächengrößen (in ha) pro Sensitivitätsstufe in der Region Stuttgart (Klimasensitivität geschützter Biotope).

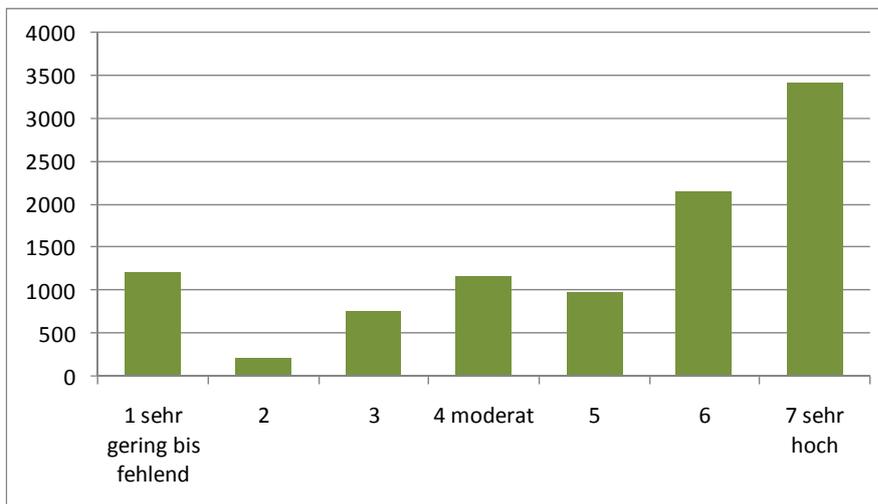


Abb. 10: Verteilung der Flächengrößen (in ha) pro Vulnerabilitätsstufe in der Region Stuttgart (Vulnerabilität geschützter Biotope).

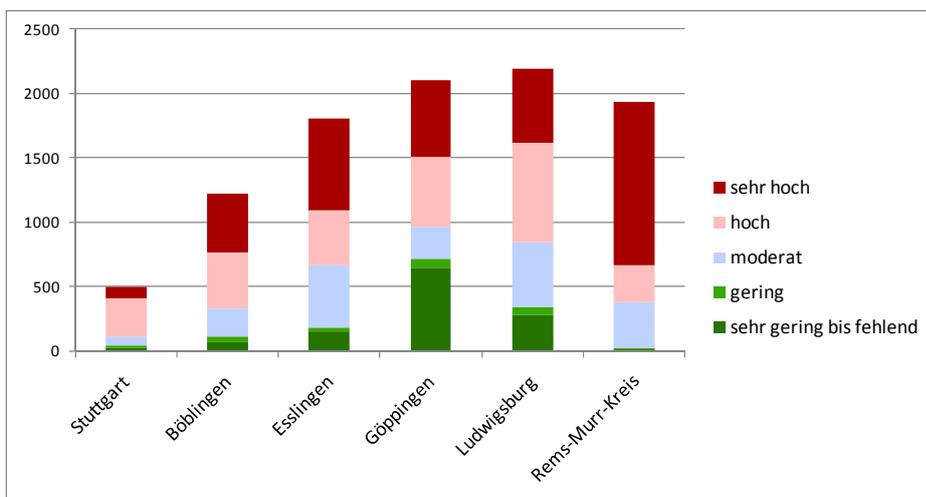


Abb. 11: Verteilung der Flächengrößen (in ha) pro Sensitivitätsstufe nach Stadt- bzw. Landkreisen der Region Stuttgart (Klimasensitivität geschützter Biotope).

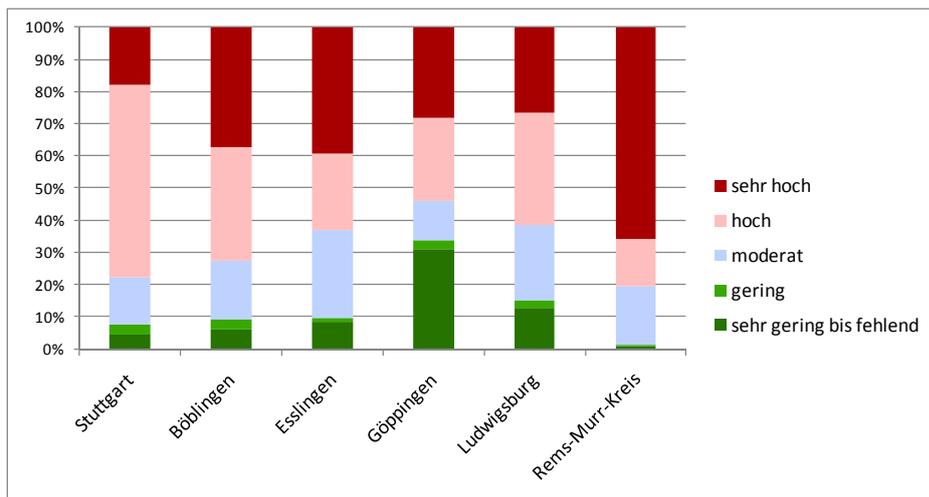


Abb. 12: Prozentuale Verteilung der Flächengrößen pro Sensitivitätsstufe nach Stadt- bzw. Landkreisen der Region Stuttgart (Klimasensitivität geschützter Biotope).

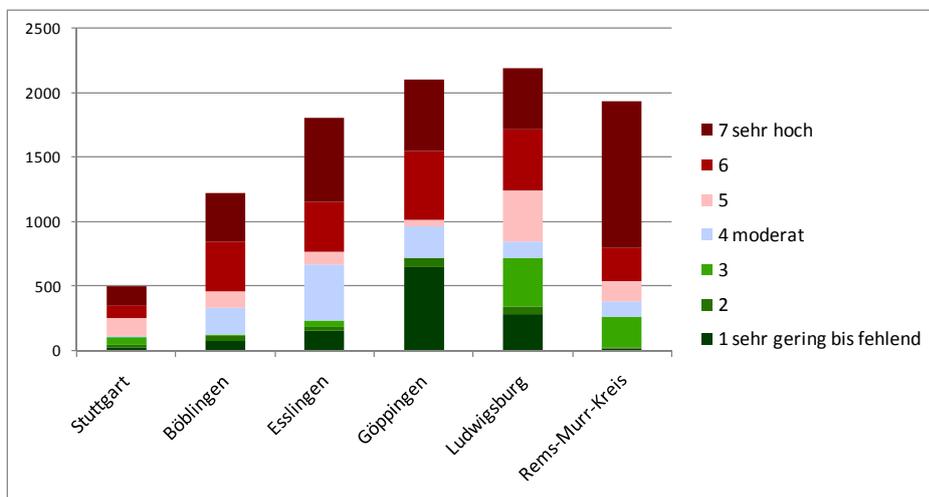


Abb. 13: Verteilung der Flächengrößen (in ha) pro Vulnerabilitätsstufe nach Stadt- bzw. Landkreisen der Region Stuttgart (Vulnerabilität geschützter Biotope).

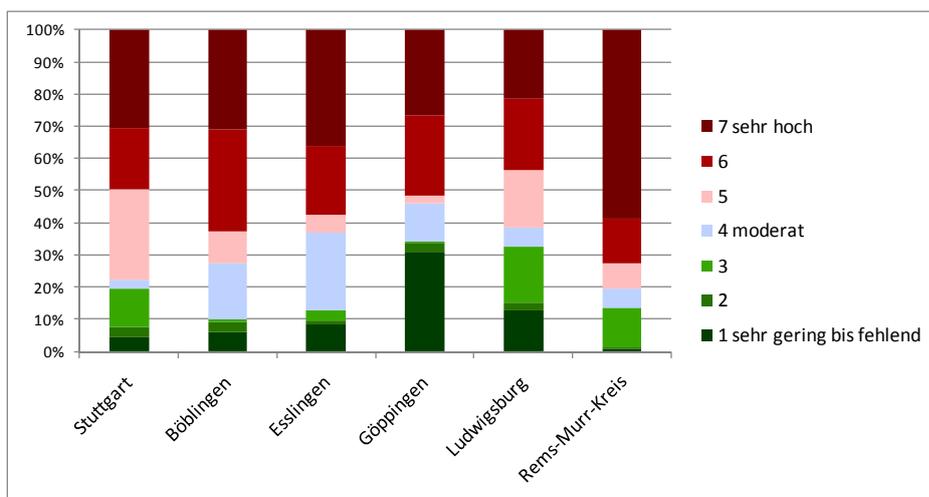


Abb. 14: Prozentuale Verteilung der Flächengrößen pro Vulnerabilitätsstufe nach Stadt- bzw. Landkreisen der Region Stuttgart (Vulnerabilität geschützter Biotope).

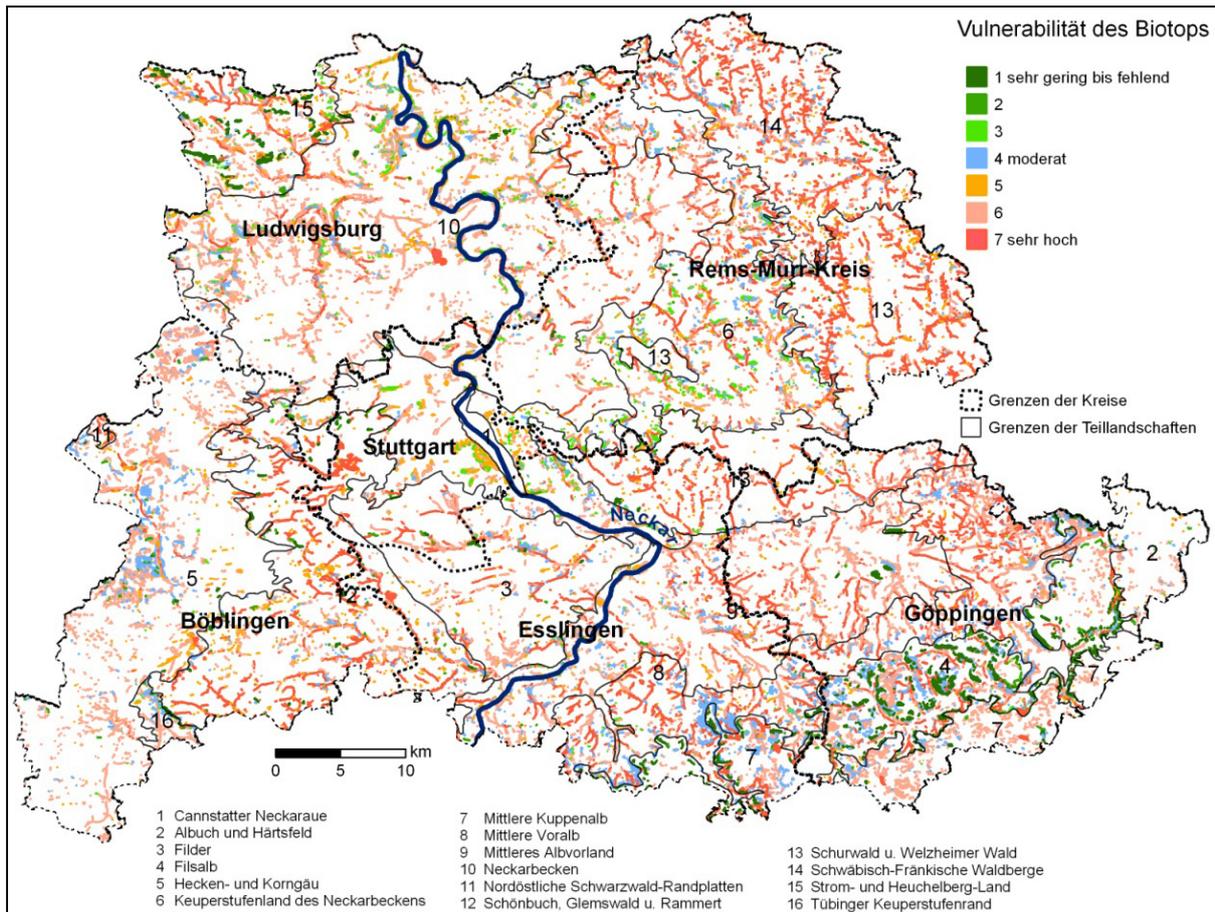


Abb. 15: Vulnerabilität geschützter Biotope. Die Biotope sind vergrößert dargestellt.

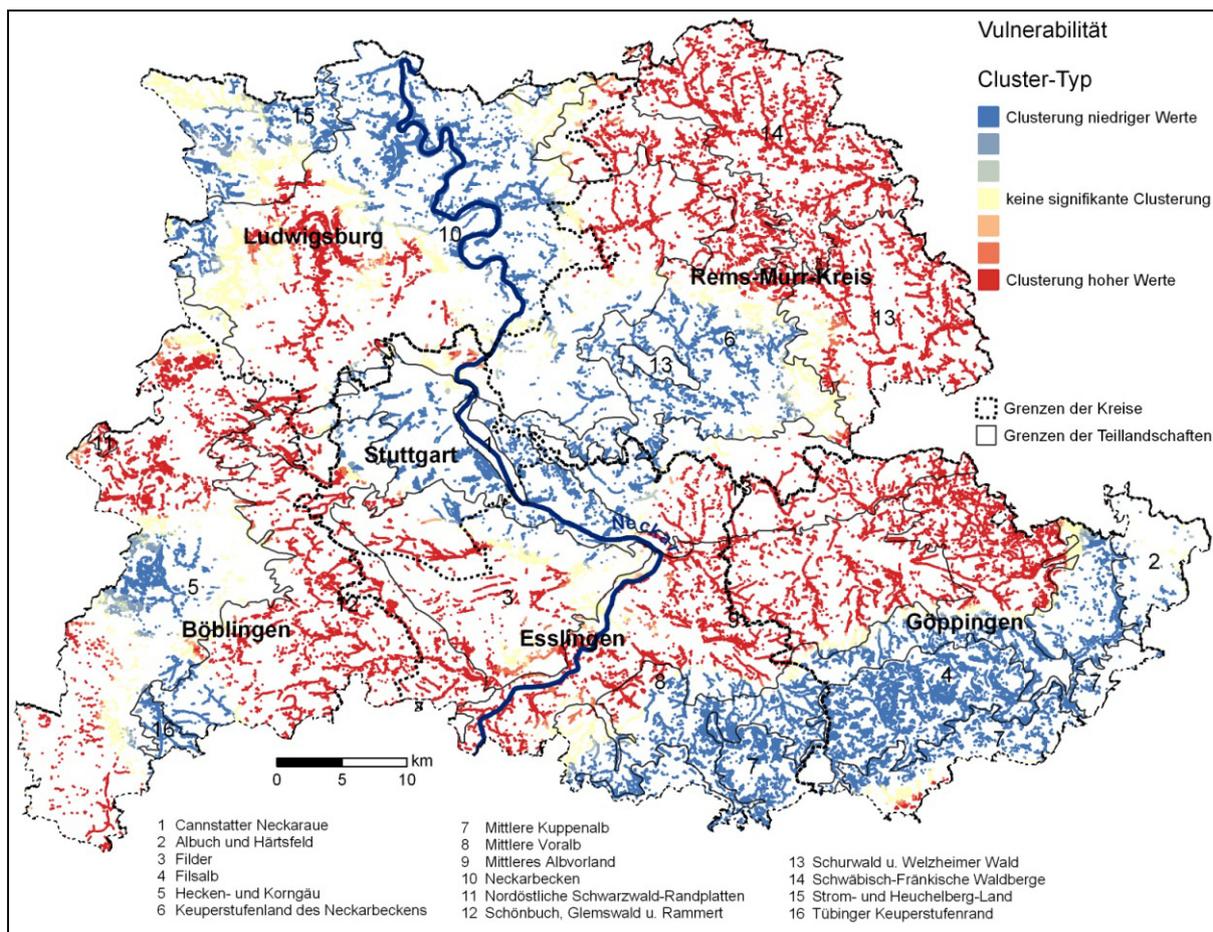


Abb. 16: Räumliche Cluster der Vulnerabilität geschützter Biotope. Rot eingefärbte Bereiche stellen Hotspots dar, in denen sich Lebensräume mit hoher Vulnerabilität räumlich ballen. Die blau eingefärbten Coldspots stellen dagegen Agglomerationen von Biotopen mit niedriger Vulnerabilität dar.

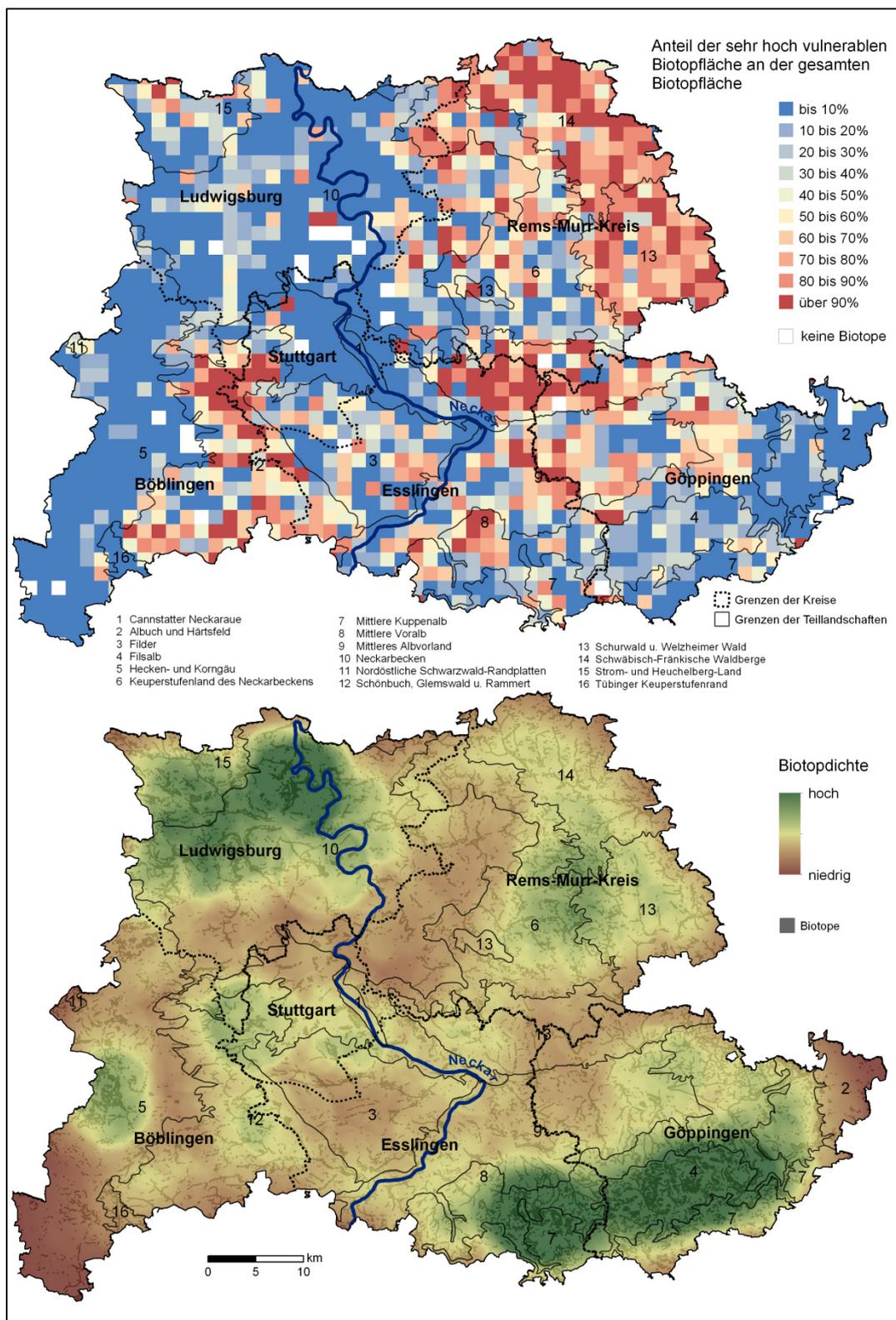


Abb. 17: Die obere Karte zeigt den Anteil der als sehr vulnerabel eingestuft Biotopfläche an der gesamten Biotopfläche in einer Rasterzelle. Die Kantenlänge einer Rasterzelle beträgt 1500 m. Aufgrund der sehr ungleichmäßigen Verteilung geschützter Biotope wird mit der unteren Karte komplementär die räumliche Biotopdichte visualisiert.

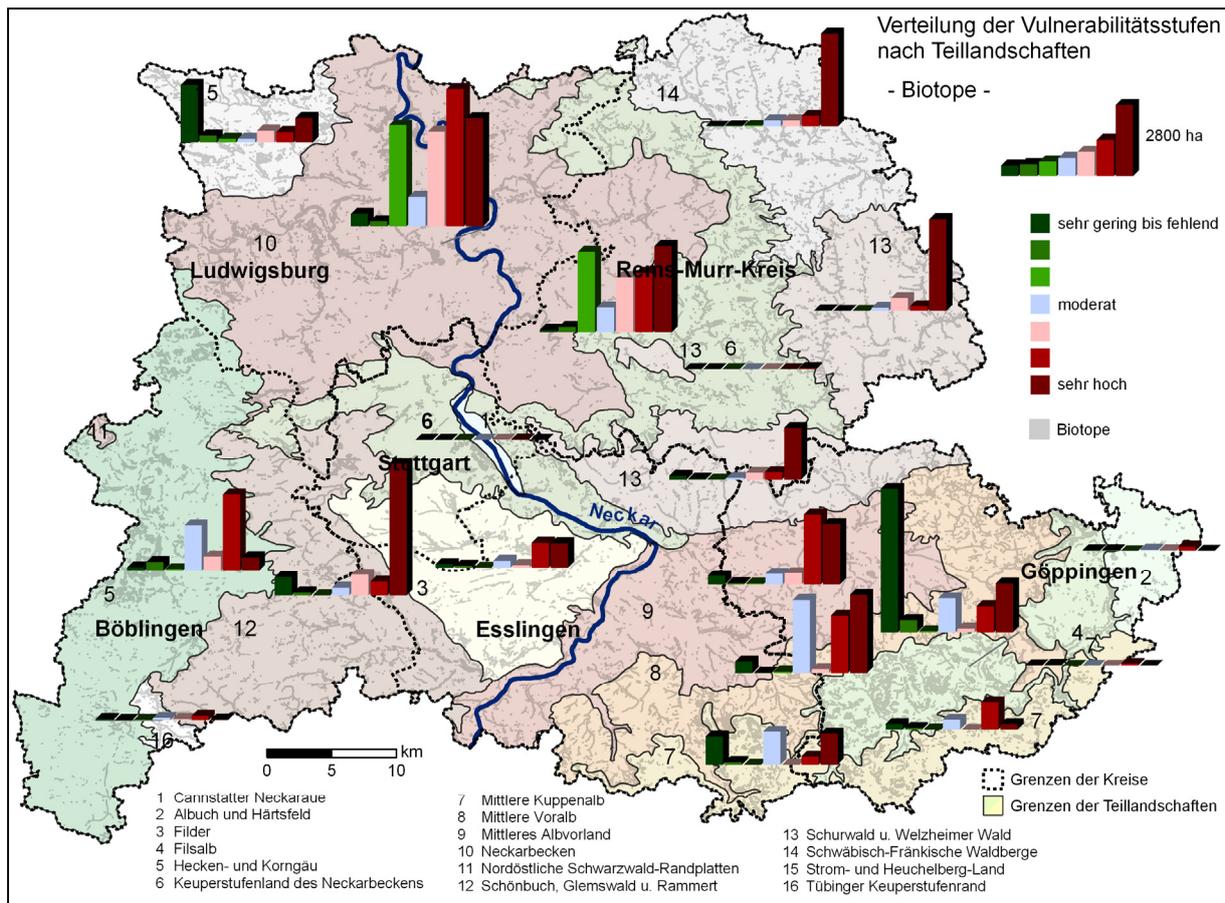


Abb.18: Verteilung der Vulnerabilitätsstufen geschützter Biotope nach Teillandschaften.

2.2.2.2. Forstwirtschaft

Auswertung vorhandener Informationen zur Vulnerabilität

Anders als für die Sektoren Naturschutz und Landwirtschaft liegen für den forstwirtschaftlichen Bereich seit einiger Zeit landesweite Geoinformationen zu Aspekten der Klimavulnerabilität vor, die im Rahmen des Projektes „Auswirkungen des Klimawandels auf die Wälder Baden-Württembergs“ von der Forstlichen Versuchsanstalt Baden-Württemberg (FVA) generiert wurden. Konkret handelt es sich dabei um standortbezogene Bewertungen der aktuellen Eignung für den Anbau und die Bewirtschaftung der Hauptbaumarten Fichte und Buche sowie eine Neueinschätzung der Eignung unter Berücksichtigung des IPCC-Klimaszenarios B2 für das Jahr 2050. Die Neueinschätzung erfolgte unter der Annahme einer um 1,95°C steigenden Jahresmitteltemperatur und einer Abnahme des Jahresniederschlags um rund 25mm, die schwerpunktmäßig in der Vegetationszeit stattfindet (FVA 2010). Grundlage der Eignungskarten sind statistische Modelle, mit denen das Vorhandensein oder Nichtvorhandensein der untersuchten Baumarten auf Basis beobachteter Umwelt- und Klimadaten flächenscharf vorhergesagt werden kann, womit eine Einschätzung ihres klimabedingten Risikos möglich ist. Eine Darstellung der methodischen Vorgehensweise bei der Erstellung der Eignungskarten findet sich bei FVA (2010). Die sich der Analyse anschließende Bewertung der Baumarteneignung erfolgte anhand der Kriterien „Konkurrenzstärke“, „Standortspfleglichkeit“, „Schadresistenz (Betriebsicherheit)“ und „Ertragsleistung“. Es wurden vier Stufen der Baumarteneignung mit jeweils einer Zwischenstufe gebildet (Tab. 5).

Tab. 5: Stufen der Baumarteneignung für Fichte und Buche, inklusive Zwischenstufen (nach FVA 2010).

Stufe der Baumarteneignung	Erläuterung
geeignet	Es gibt keine standortsbedingten Einschränkungen für Anbau und Bewirtschaftung der Baumart
<i>geeignet bis möglich</i>	
möglich	Die Bewirtschaftung als führende Baumart ist unter Beachtung von Einschränkungen möglich
<i>möglich bis wenig geeignet</i>	
wenig geeignet	Die Baumart sollte nur als Beimischung mit einem Anteil von nicht mehr als 20 bis 30 % in den Waldbeständen vorhanden sein
<i>wenig geeignet bis ungeeignet</i>	
ungeeignet	die Baumart sollte allenfalls einzeln beigemischt und nur zeitweise in den Wäldern vorhanden sein

Die Karten zur Baumarteneignung liegen landesweit für alle Waldflächen vor, die über eine digitale Standortkartierung verfügen, somit im Grunde vollständig für den öffentlichen Wald. Für den Privatwald existieren in der Regel keine digitalen Standortdaten, weshalb für etwa 20 % der Waldfläche in der Region Stuttgart die Angaben zur Baumarteneignung fehlen. Die vorhandenen Geoinformationen wurden von der FVA nach Abschluss eines Nutzungsvertrags als GIS-tauglicher Rasterdatensatz mit einer räumlichen Auflösung von 50m bereitgestellt.² Im Rahmen der vorliegenden Vulnerabilitätsuntersuchungen wurden diese Daten im spezifischen regionalen Kontext GIS-gestützt ausgewertet. Dabei erfolgten Bilanzierungen zur Veränderung der Baumarteneignung auf verschiedenen räumlichen Aggregationsebenen, Kombinationen mit zusätzlichen Geodaten sowie Weiterverarbeitungen der Primärdaten mit dem Ziel, differenziertere Erkenntnisse zur Vulnerabilität des Forstsektors zu gewinnen. Die FVA-Daten zur heutigen und zukünftigen Baumarteneignung beinhalten keine Informationen darüber, welche Baumarten am Standort gegenwärtig tatsächlich angebaut werden. Da sich gerade aus der Gegenüberstellung der heutigen Baumartenzusammensetzung eines Waldbestands mit der künftigen Veränderung der Baumarteneignung aufschlussreiche Erkenntnisse zum notwendigen Anpassungsbedarf ableiten ließen, war ursprünglich vorgesehen, Daten zur Artenzusammensetzung der Wälder, die im Forstlichen Geoinformationssystem (FOGIS) vorliegen, komplementär auszuwerten. Aufgrund datenschutzrechtlicher Limitierungen und eines beträchtlichen Kosten- und Verwaltungsaufwands musste diese Analyse jedoch verworfen werden. Stattdessen wurden Angaben zu den Waldtypen verarbeitet, die im Biotopinformationssystem (BIMS) der Region Stuttgart vorliegen.

Neben den Daten zur Baumarteneignung wurden Informationen zum Sturmschadensrisiko für die Baumart Fichte ausgewertet, die ebenfalls durch die FVA bereitgestellt wurden. Der mit dem Sturmschadensmodell „Lothar“ generierte Rasterdatensatz (räumliche Auflösung 25m) beschreibt die Wahrscheinlichkeit, mit der ein Standardbaum³ an einem Standort durch einen Orkan wie „Lothar“ einen Sturmschaden erleidet. Bei der Berechnung der Prognosewahrscheinlichkeit werden verschiedene Faktoren, vor allem die Exposition, die Baumhöhe, der H/D-Wert (Verhältnis Höhe/Durchmesser), der Wasserhaushalt sowie die geographische Lage berücksichtigt. Wie auch bei den Daten zur Baumarteneignung liegen keine Informationen darüber vor, ob bzw. mit welchem Anteil die Fichte am Standort tatsächlich vertreten ist.

² Karten zur aktuellen und zukünftigen Baumarteneignung im PDF-Format werden für alle Stadt- und Landkreise in Baden-Württemberg im Maßstab 1:50.000 auf der Internetseite der FVA zum Download bereitgestellt (FVA 2010).

³ Im Sturmschadensmodell „Lothar“ wird ein Standardbaum Fichte wie folgt definiert: Höhe: 40 m, DBH (Durchmesser in Brusthöhe): 53 cm, H/D (Verhältnis Höhe/Durchmesser): 75.

Ergebnisse

Die Untersuchungsergebnisse zur Vulnerabilität der Forstwirtschaft in der Region Stuttgart illustrieren die Abbildungen 19 bis 30.

Abbildung 19 stellt zunächst die räumliche Verteilung der regionalen Waldflächen dar, differenziert nach Laub-, Misch- und Nadelwald⁴. Mit einem durchschnittlichen Flächenanteil von knapp 32 % in der Region Stuttgart hat die Waldfläche im Stadtkreis Stuttgart mit 24,8 % und im Kreis Ludwigsburg mit nur 18,4 % einen vergleichsweise geringen Anteil an der gesamten Bodenfläche. Den höchsten Waldbestand weist mit knapp 41 % der Rems-Murr-Kreis auf. 16,5 % der gesamten Waldfläche bilden hier Nadelwälder, wobei sich die größten Gebiete im Naturraum Welzheimer Wald finden. Auch die sich nördlich anschließenden Schwäbisch-Fränkischen Waldberge sind durch hohe Anteile an Fichten-, aber auch Tannenwäldern geprägt. Durch einen mit knapp 18 % noch höheren Nadelwaldanteil zeichnet sich der Kreis Göppingen aus. Die größten zusammenhängenden Nadelwaldgebiete finden sich auf den Hochflächen des Albuchs und sind fichtendominiert. Einen vergleichsweise hohen Fichtenanteil zeigt zudem die östlichen Teile des Schurwaldes. Im Kreis Böblingen, der mit 34,6 % nach dem Rems-Murr-Kreis den zweitgrößten Waldanteil in der Region Stuttgart aufweist, haben Nadelwälder mit 8,4 % der gesamten bewaldeten Fläche eine geringere Bedeutung. In den Höhenlagen des Heckengäus finden sich ausgedehntere Bestände mit Altkiefern.

Abbildung 20 zeigt die Eignung für den Anbau und die Bewirtschaftung der Fichte im Jahr 2050 auf Standortebene. Gleichzeitig wird dargestellt, wie sich die Baumarteneignung unter dem angenommenen klimatischen Wandel gegenüber 2010 verändern würde. Es zeigt sich, dass „wenig geeignete“ bis „ungeeignete“ Standorte (Stufe IV bis VI) im Jahr 2050 große Flächen einnehmen. Gerade die sehr zahlreich vertretenen Standorte der Stufe IV, auf denen der Anbau der Fichte unter den gegenwärtigen klimatischen Verhältnissen noch als „möglich“ bewertet wird, werden unter den Bedingungen des Klimawandels herabgestuft und als „wenig geeignet“ oder noch schlechter klassifiziert. Wie bereits dargestellt, wurden die Eignungsbewertungen flächendeckend für den Bereich des öffentlichen Waldes vorgenommen, unabhängig davon, ob die Fichte gegenwärtig zum Baumarteninventar gehört oder nicht. Eine hohe Vulnerabilität heutiger Waldbestände gegenüber dem Klimawandel ist freilich dann zu konstatieren, wenn Standorte, die künftig nicht oder nur schlecht für den Anbau und die Bewirtschaftung mit Fichte geeignet sind, heute von ihr dominiert werden. Da die Daten zur Artenzusammensetzung der Wälder, wie eingangs erwähnt, für die Analysen nicht genutzt werden konnten, wurden in der Karte in Abbildung 20 ersatzweise solche Naturräume mit einer Schraffur hervorgehoben, die sich durch einen überdurchschnittlich hohen Nadelwaldanteil auszeichnen, was in der Regel auf hohe Fichtenanteile, örtlich jedoch auch auf Vorkommen von Kiefer und Tanne zurückzuführen ist (siehe oben). Durch diese Informationsüberlagerung zeichnet sich ein großräumiges Muster der Vulnerabilität ab, welches die im Rems-Murr-Kreis gelegenen Schwäbisch-Fränkischen Waldberge und den Schurwald als besonders verwundbare Bereiche für die Forstwirtschaft herausstellt (hohe Nadelwald- bzw. Fichtenanteile bei gleichzeitig häufig problematisch abnehmender Fichten-Eignung). Für die Gegend um Welzheim zeigt Abbildung 21 exemplarisch in großmaßstäblicher Darstellung die Veränderung der Baumarteneignung für die Fichte und die gegenwärtige Verbreitung von Nadelwäldern, die in den allermeisten Fällen Fichtenbestände sind. Auch im Heckengäu werden die Bedingungen im Jahr 2050 für die Fichte äußerst schlecht sein, zumal hier zusätzlich ein hohes Sturmschadensrisiko vorherrscht (Abbildung 28). Im Albuch wird die Fichte unter den angenommenen Klimaänderungen wahrscheinlich größtenteils noch akzeptable Bedingungen finden. Allerdings liegen aufgrund des hohen Privatwaldanteils nur punktuell Daten zur Baumarteneignung bzw. ihrer Veränderung vor. Während in den Hochlagen der Mittleren Kuppenalb die Eignung für den Fichtenanbau günstig bleiben wird, sind die Fichtenbestände am Albtrauf als hoch vulnerabel einzustufen.

⁴ Unter Laubwald werden diesbezüglich Bestände rein oder weitgehend aus Laubbaumarten, unter Nadelwald solche vorwiegend aus Nadelbaumarten verstanden. Diese sind aber - um Missverständnissen vorzubeugen - weit überwiegend keine Reinbestände. Als Mischwald gekennzeichnete Bereiche im hier verwendeten Sinne sind Bestände wechselnder Zusammensetzung.

In Abbildung 22 wird die flächenmäßige Veränderung der Eignungsstufen für die Fichte nach Stadt- bzw. Landkreisen dargestellt. Besonders auffällig zeigt sich die enorme Abnahme von Waldstandorten, die gegenwärtig mit „geeignet“ bzw. „geeignet bis möglich“ bewertet werden, im Rems-Murr-Kreis, der zugleich die höchsten Anteile an Fichtenbeständen aufweist. In allen Landkreisen zeigen sich deutliche Zuwächse bei den Standorten, die für den Fichtenanbau nicht (mehr) geeignet sind. Eine Bilanzierung nach Landschaften beschreibt Abbildung 23. Hier wird u.a. deutlich, dass künftig nur noch Naturräume größerer Meereshöhe - namentlich die Schwäbisch-Fränkischen Waldberge, der Welzheimer Wald, die Mittlere Kuppenalb und der Albuch - in größerem Umfang (mindestens 25 % der Waldfläche) „geeignete“ bis „mögliche“ Standorte für die Fichte bieten (bei auch hier insgesamt starker Abnahme geeigneter bzw. möglicher Standorte).

Abbildung 24 führt vor Augen, dass sich die Eignung für den Anbau und die Bewirtschaftung der Buche bis 2050 weniger dramatisch verschlechtert als bei der Fichte. „Wenig geeignete“ bis „ungeeignete“ Standorte (Stufe V und VI) nehmen auch künftig weniger als 6 % der Gesamtfläche des öffentlichen Waldes ein (Stufe IV bis VI weniger als 12 %). Gleichwohl ist sehr häufig eine Herabstufung von der höchsten Eignungsstufe („geeignet“) in die Stufe „geeignet bis möglich“ zu verzeichnen. Dies zeigt sich auch deutlich in der Bilanzierung der Baumarteneignungsänderung nach Stadt- bzw. Landkreisen (Abbildung 25). Die Veränderung der Eignung in Bezug auf die Landschaften der Region Stuttgart illustriert Abbildung 26.

Aufschlussreich hinsichtlich der Frage des klimagerechten Waldumbaus ist der Befund, dass etwa 63 % aller Waldstandorte, die unter den klimatischen Bedingungen im Jahr 2050 als „wenig geeignet“ bis „ungeeignet“ für den Anbau der Fichte eingestuft werden (etwa 50 % des gesamten öffentlichen Waldes in der Region), für die Buche immer noch als „geeignet“ bis „möglich“ eingestuft werden.

Gegenwärtig werden etwa 11 % des gesamten öffentlichen Waldes sowohl für die Fichte als auch für die Buche mit einer geringen Eignung eingestuft („möglich bis wenig geeignet“ bis „ungeeignet“). Die Neueinschätzung der Baumarteneignung für 2050 zeigt, dass die Gesamtfläche derartiger Standorte um knapp 74 % ansteigen könnte, womit sich ihr Anteil von 11 % auf 18 % erhöhen würde.

Das Sturmschadenrisiko für die Baumart Fichte zeigt Abbildung 28 für die Standortebene und Abbildung 29 für die Landschaften der Region Stuttgart. Es wird deutlich, dass die im Osten der Region gelegenen Naturräume mit sehr hohen Fichtenanteilen (Schwäbisch-Fränkische Waldberge, Welzheimer Wald, Albuch, Mittlere Kuppenalb) grundsätzlich ein relativ geringes bis mittleres Sturmschadenrisiko aufweisen. Als hoch vulnerabel gegenüber Orkanen wie „Lothar“ sind hingegen die Fichtenbestände des Heckengäus einzustufen. Das generell hohe Sturmschadenrisiko im östlich angrenzenden Schönbuch relativiert sich vor dem Hintergrund einer insgesamt vielfältigen Baumartenmischung mit inzwischen eher geringen Fichtenanteilen. Durch ein insgesamt recht hohes Sturmrisiko für die Fichte sind auch die Mittlere Voralb und das Mittlere Albvorland gekennzeichnet. Der Waldanteil in diesen Landschaften - insbesondere im Albvorland - ist jedoch relativ gering, gleichwohl sind Nadelholzbestände häufig. Der im Nordwesten der Region gelegene, walddreiche Naturraum Strom- und Heuchelberg, weist zwar ein relativ hohes Sturmrisiko für die Fichte auf, der Schwerpunkt liegt hier jedoch auf Laubforsten. Fichtenbestände kommen nur vereinzelt vor.

Die Verteilung des Sturmschadenrisikos für die Fichte nach Stadt- bzw. Landkreisen zeigt Abbildung 30.

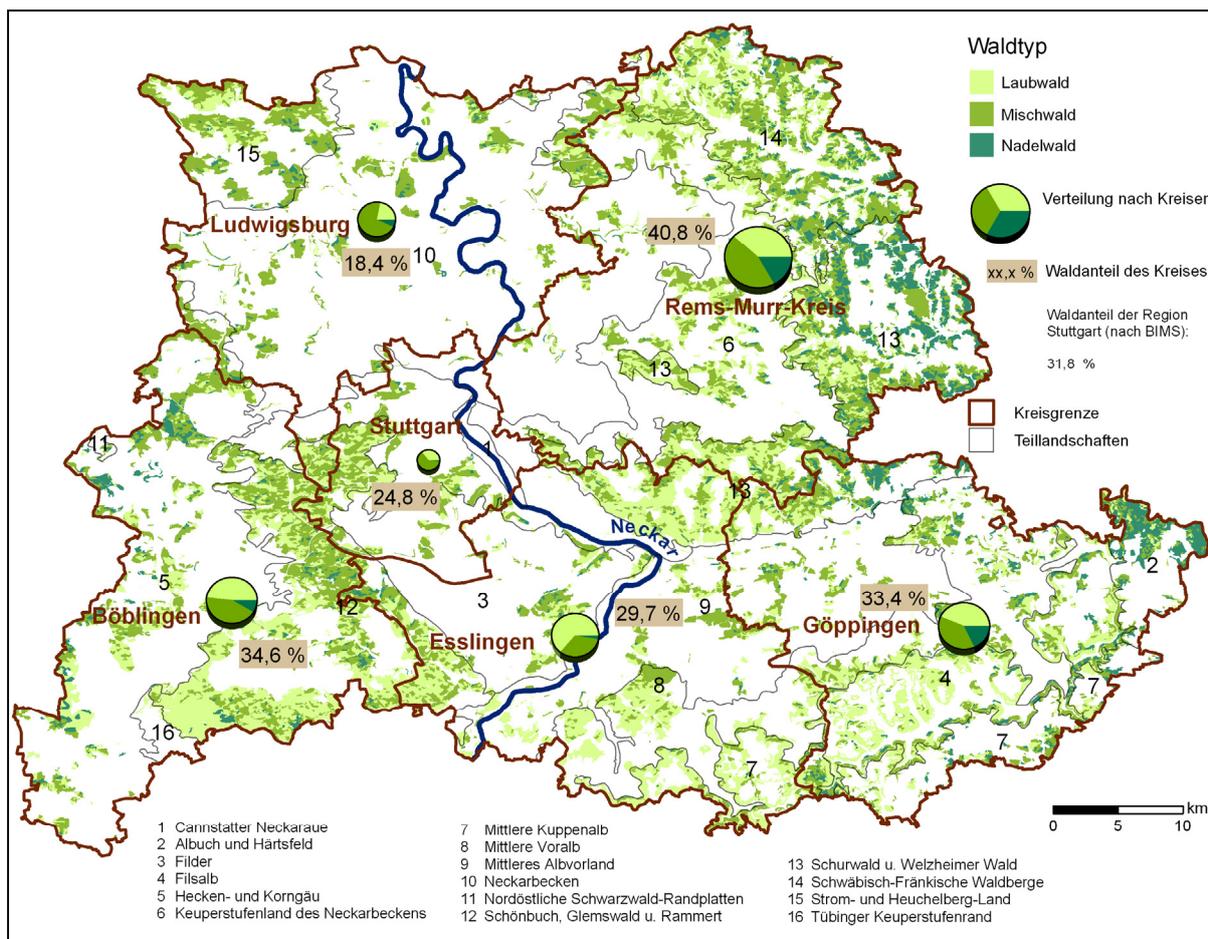


Abb. 19: Waldverbreitung in der Region Stuttgart (Datengrundlage: Biotopinformationssystem Region Stuttgart).

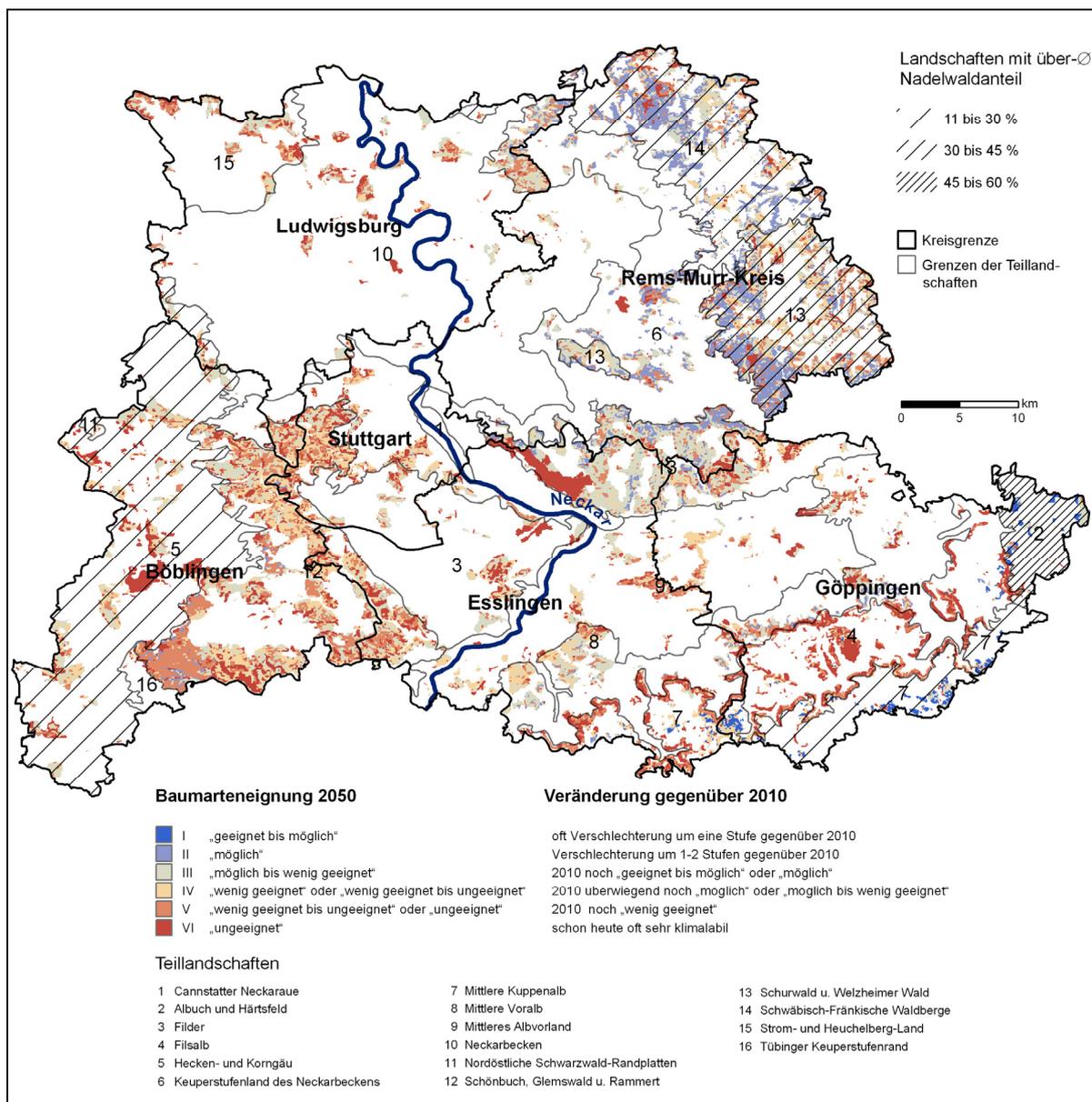


Abb. 20: Baumarteneignung (Fichte) im Jahr 2050 und Veränderung gegenüber 2010 (Datengrundlage: Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg 2010).

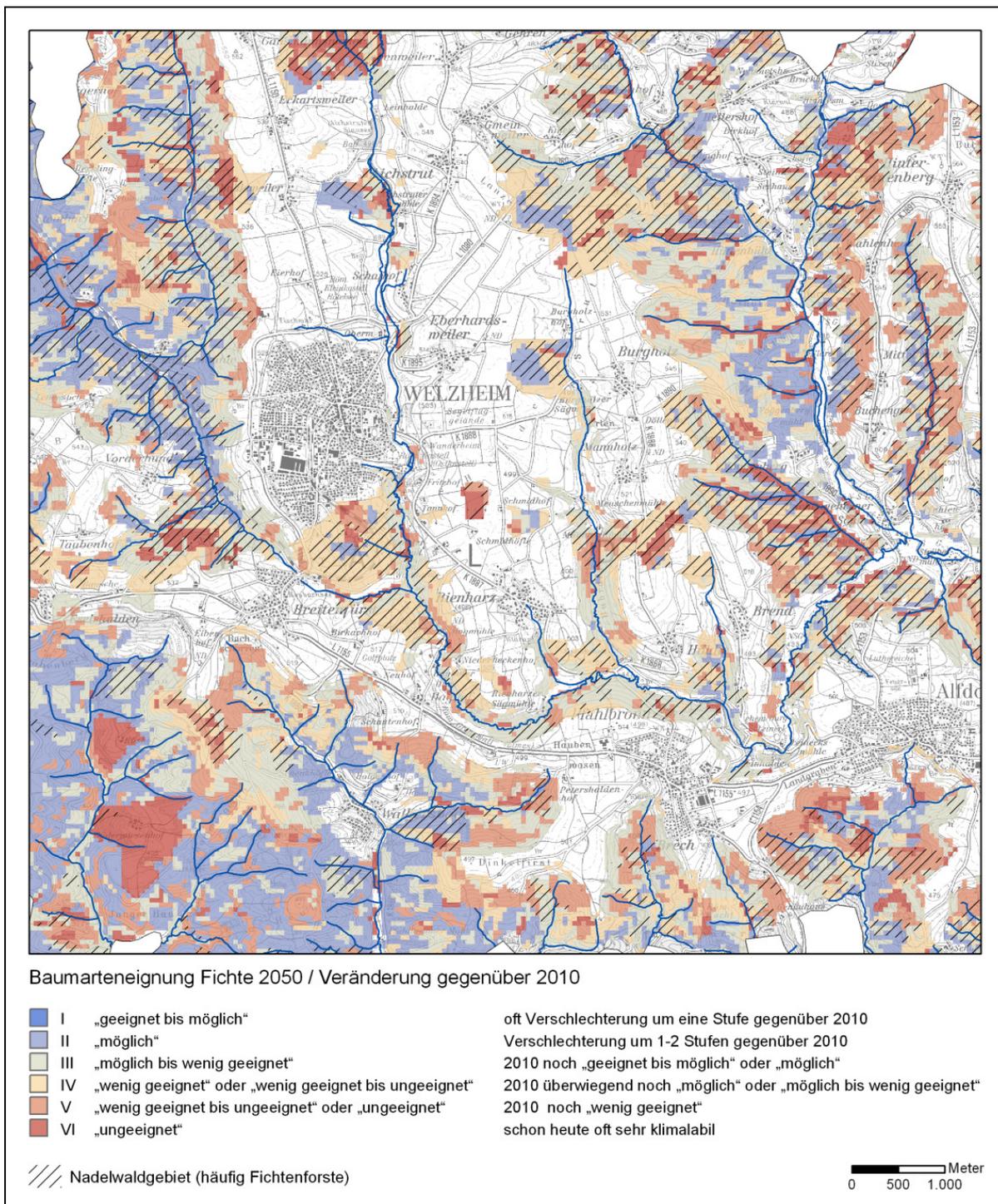


Abb. 21: Baumarteneignung (Fichte) im Jahr 2050 und Veränderung gegenüber 2010 - Ausschnitt Welzheim (Datengrundlage: Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg 2010, Biotopinformativsystem Region Stuttgart).

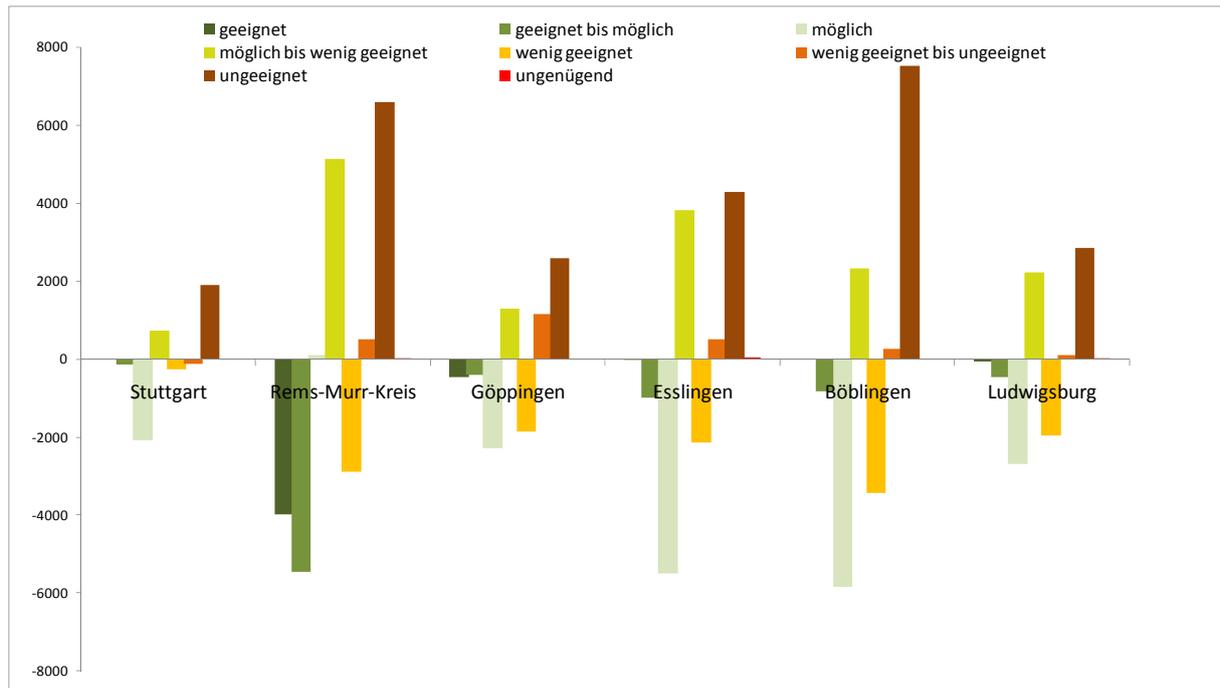


Abb. 22: Veränderung der Baumarteneignung (Fichte) nach Stadt- bzw. Landkreisen (2050 gegenüber 2010, Angaben in ha) (Datengrundlage: Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg 2010).

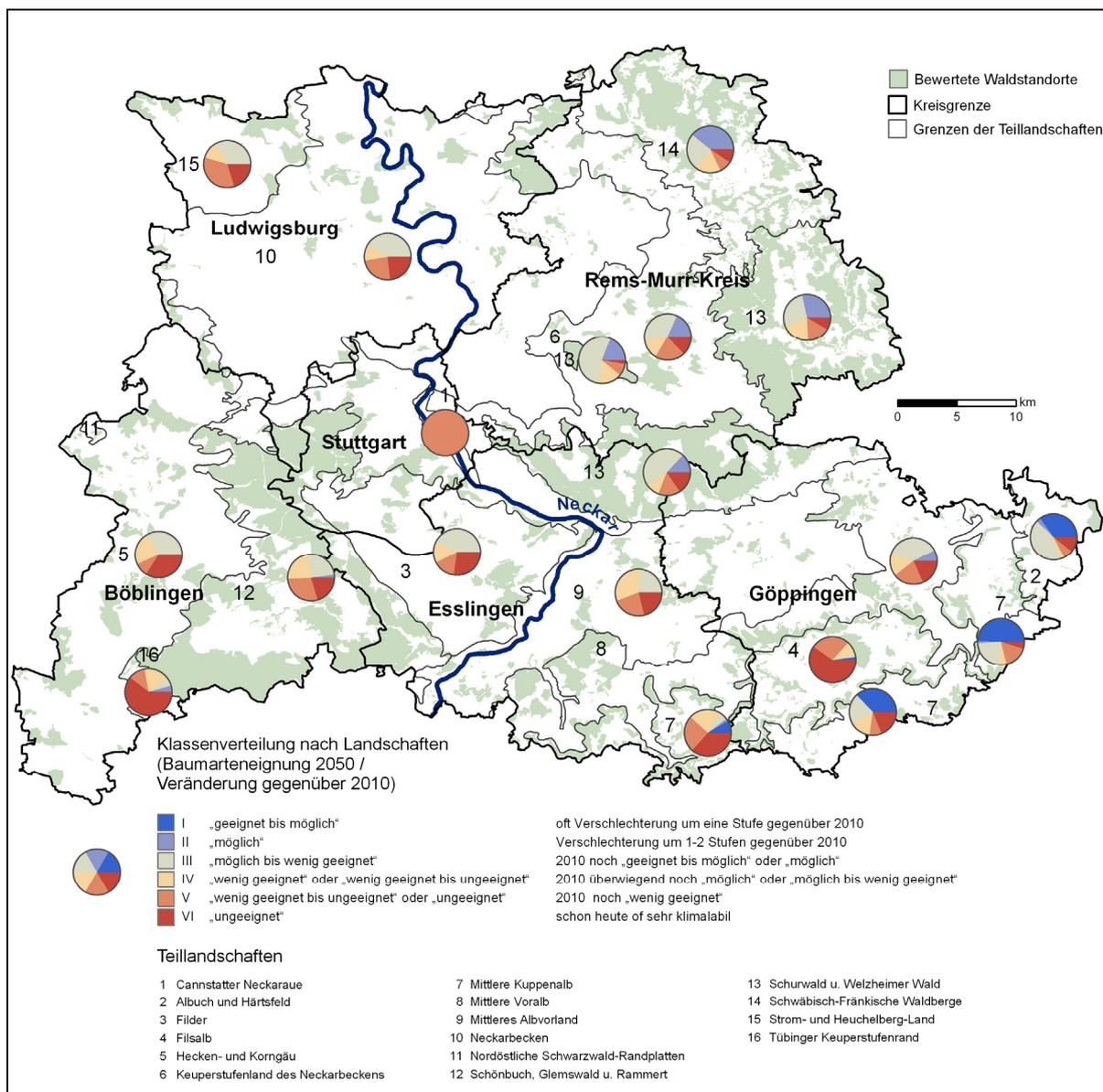


Abb. 23: Baumarteneignung (Fichte) im Jahr 2050 und Veränderung gegenüber 2010 nach Landschaften (Datengrundlage: Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg 2010).

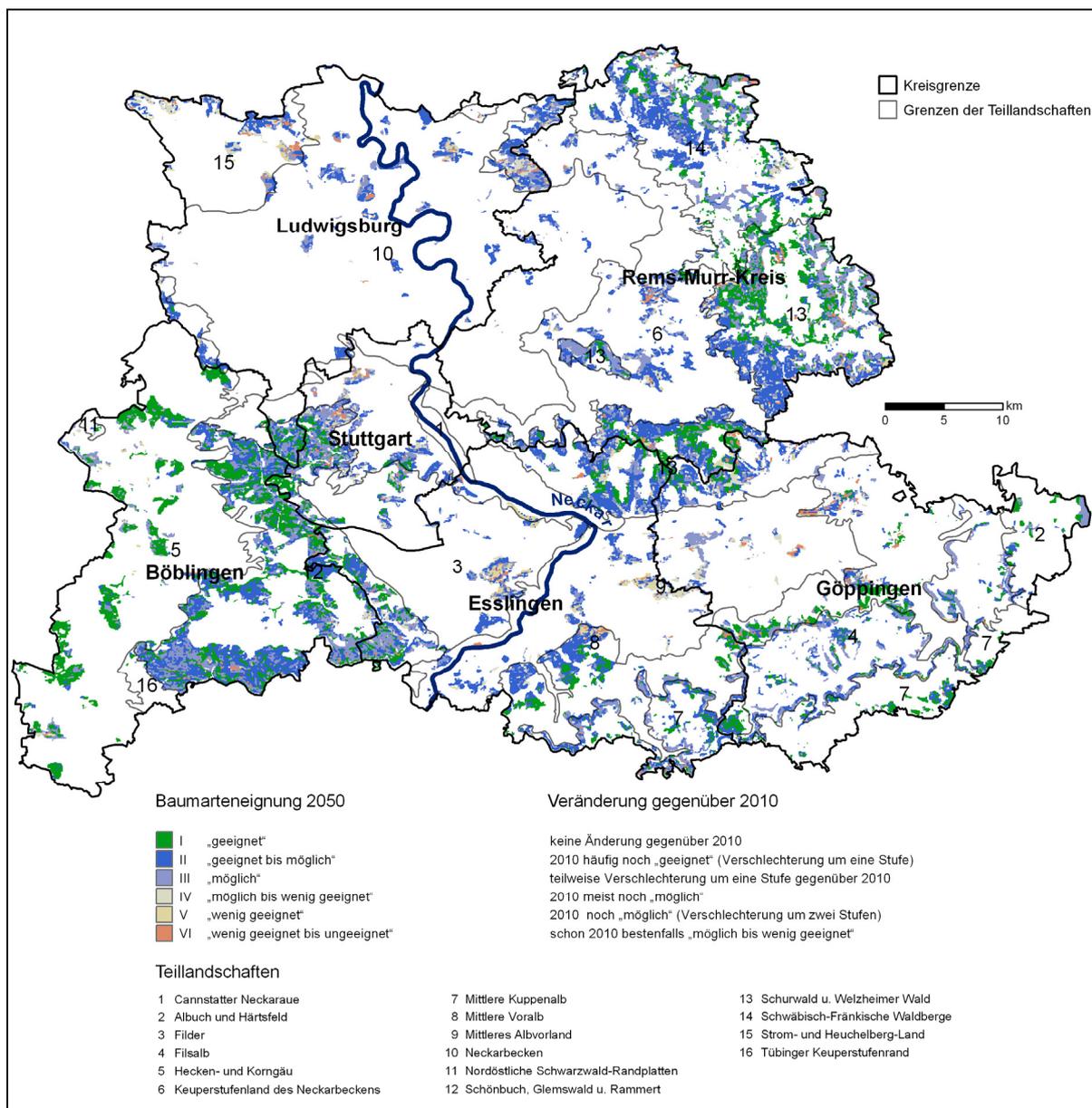


Abb. 24: Baumarteneignung (Buche) im Jahr 2050 und Veränderung gegenüber 2010 (Datengrundlage: Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg 2010).

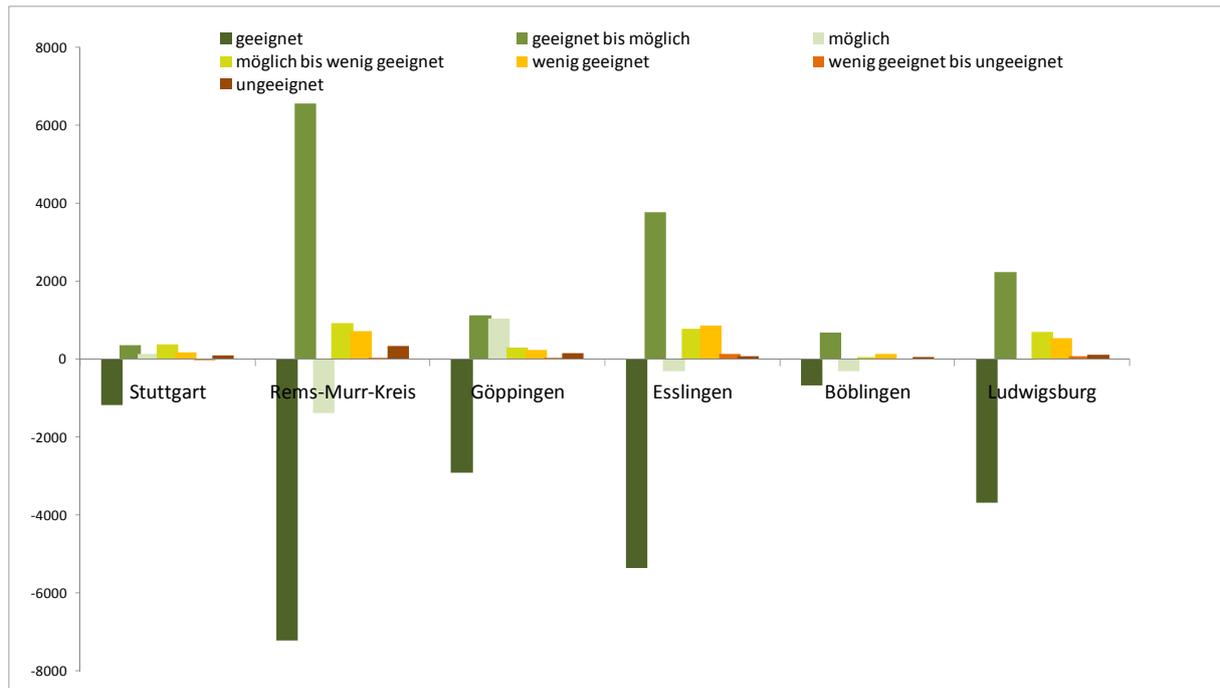


Abb. 25: Veränderung der Baumarteneignung (Buche) nach Stadt- bzw. Landkreisen (2050 gegenüber 2010, Angaben in ha) (Datengrundlage: Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg 2010).

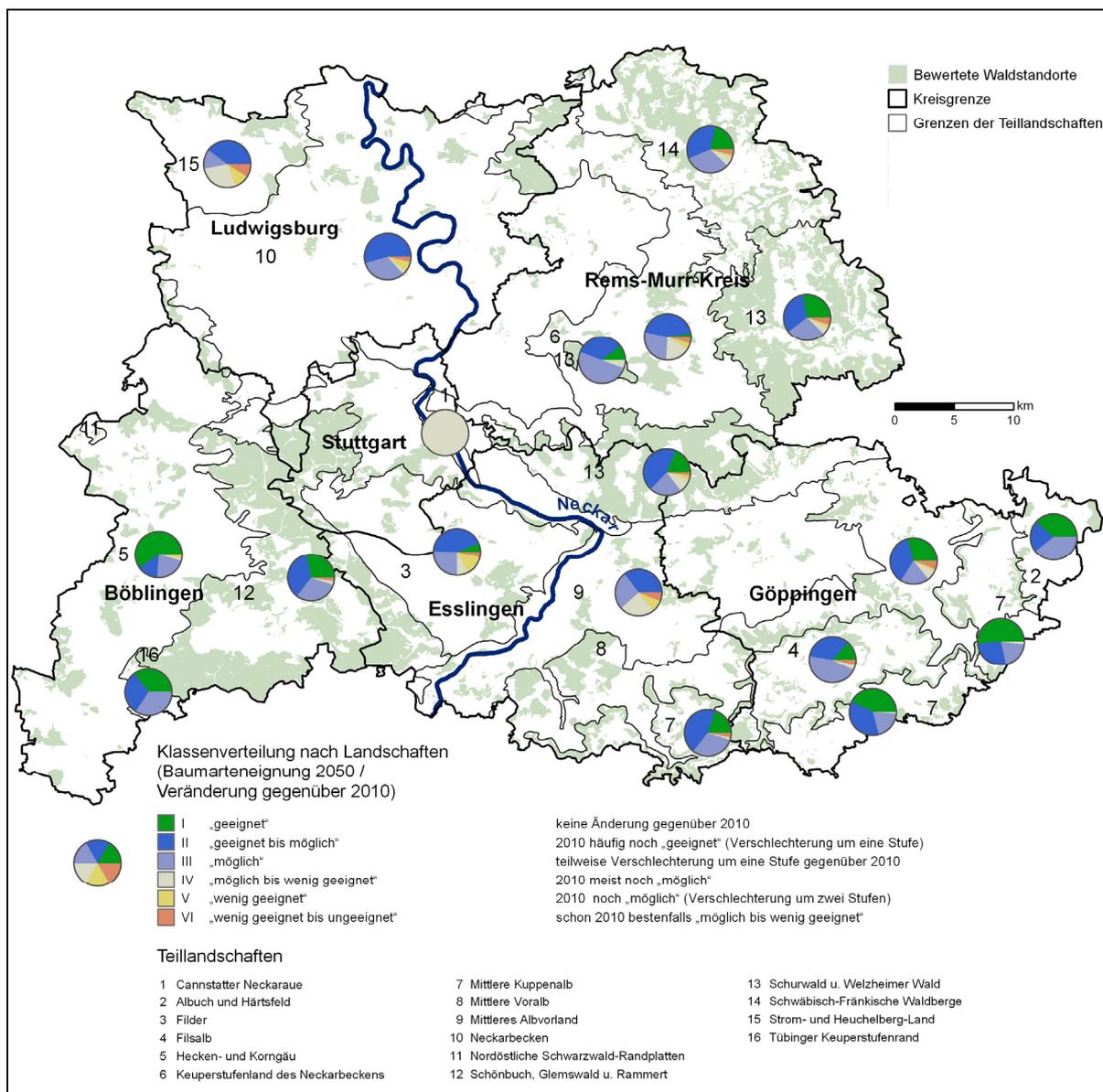


Abb. 26: Baumarteneignung (Buche) im Jahr 2050 und Veränderung gegenüber 2010 nach Landschaften (Datengrundlage: Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg 2010).

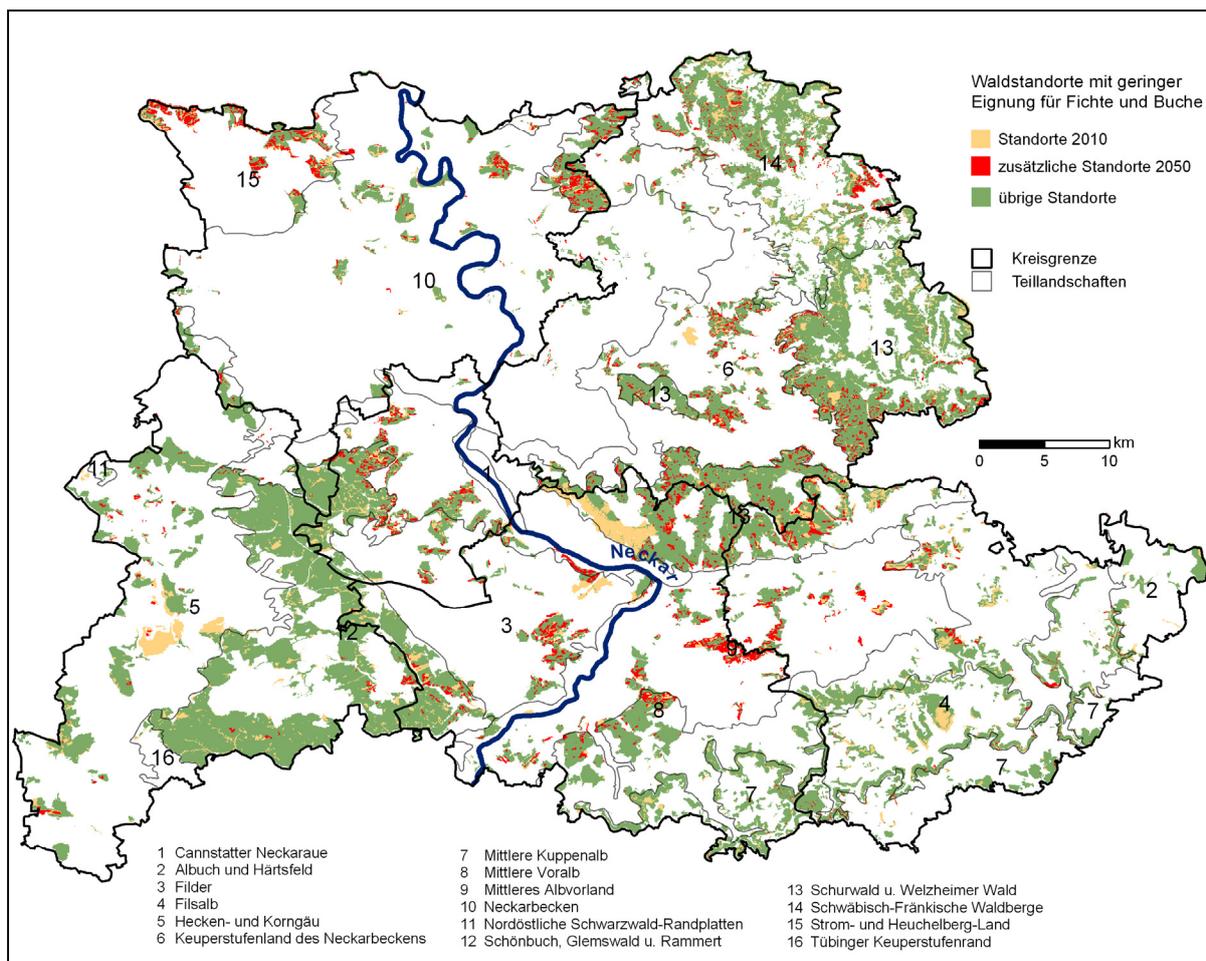


Abb. 27: Waldstandorte mit geringer Eignung für Fichte und Buche im Jahr 2010 und 2050. Mit „geringer Eignung“ werden hier Standorte bezeichnet, die nach der Baumarteneignungsskala der Forstlichen Versuchsanstalt mit „möglich bis wenig geeignet“ oder schlechter klassifiziert werden (Datengrundlage: Forstliche Versuchsanstalt Baden-Württemberg 2010).

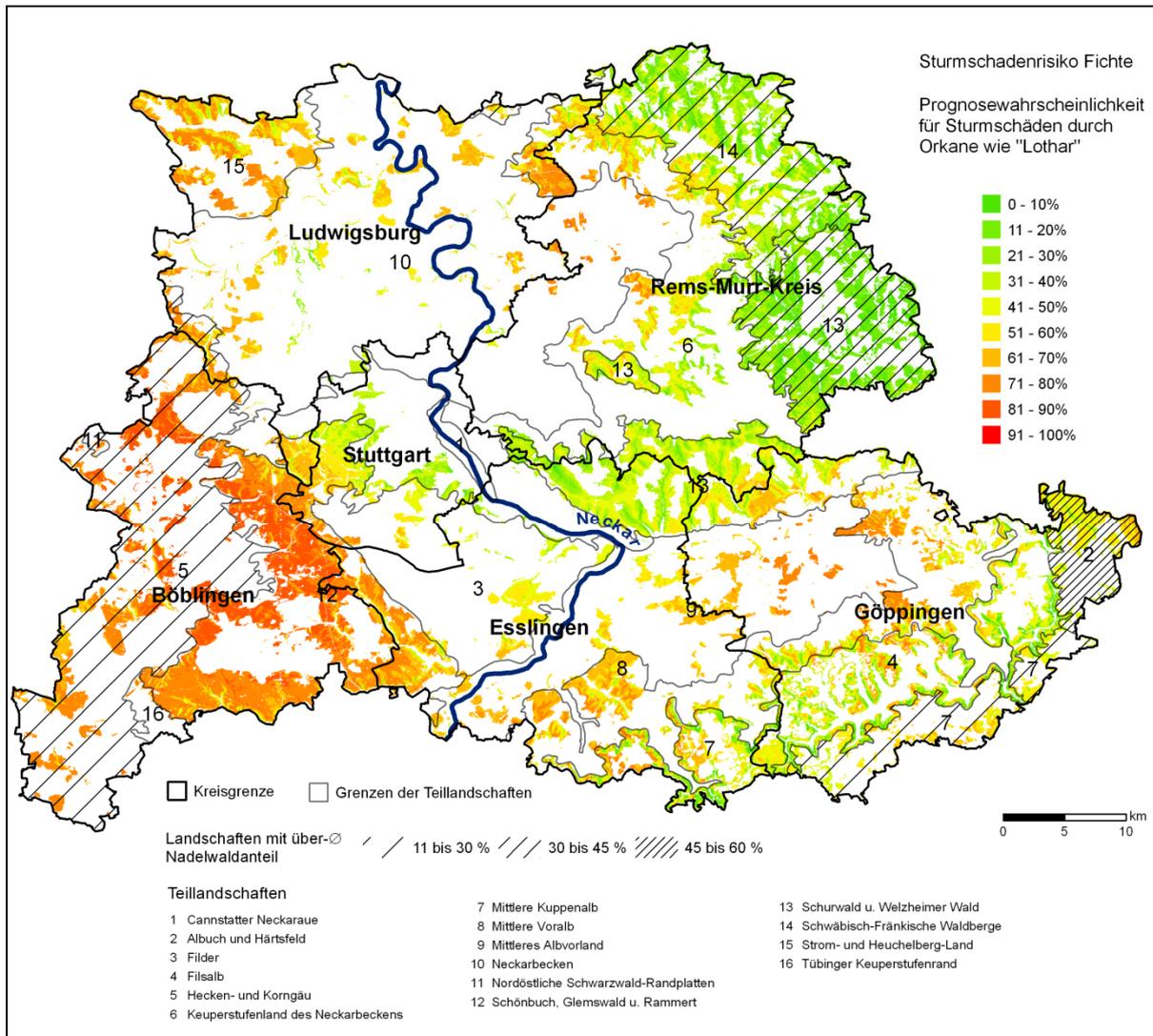


Abb. 28: Sturmschadenrisiko für die Fichte in der Region Stuttgart. Der Modellierung liegt ein „Standardbaum“ mit folgenden Merkmalen zugrunde: Höhe: 40 m, DBH (Durchmesser in Brusthöhe): 53 cm, H/D (Verhältnis Höhe/Durchmesser): 75 (Datengrundlage: Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg 2010).

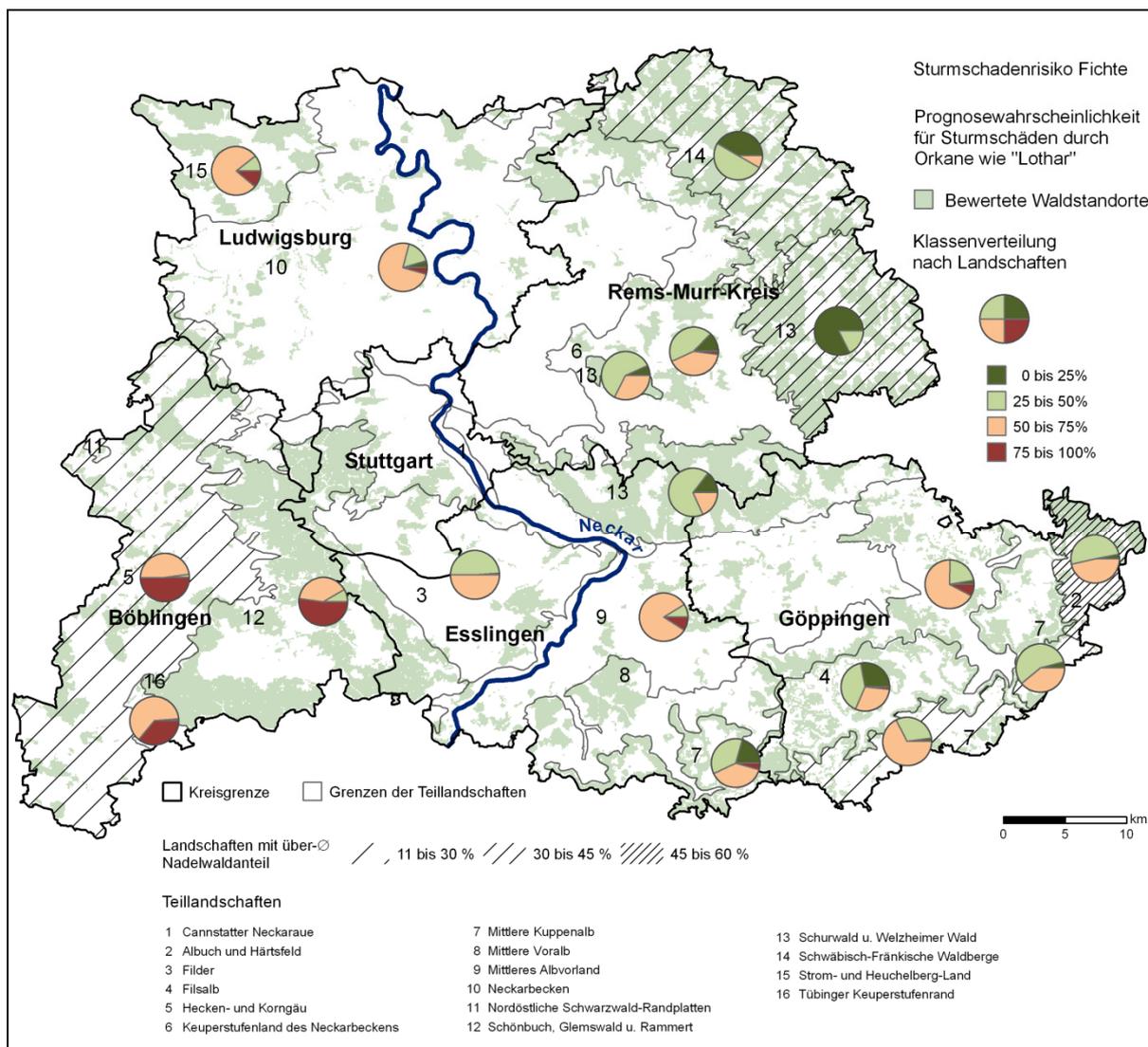


Abb. 29: Sturmschadenrisiko für die Fichte in der Region Stuttgart nach Landschaften. Der Modellierung liegt ein „Standardbaum“ mit folgenden Merkmalen zugrunde: Höhe: 40 m, DBH (Durchmesser in Brusthöhe): 53 cm, H/D (Verhältnis Höhe/Durchmesser): 75 (Datengrundlage: Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg 2010).

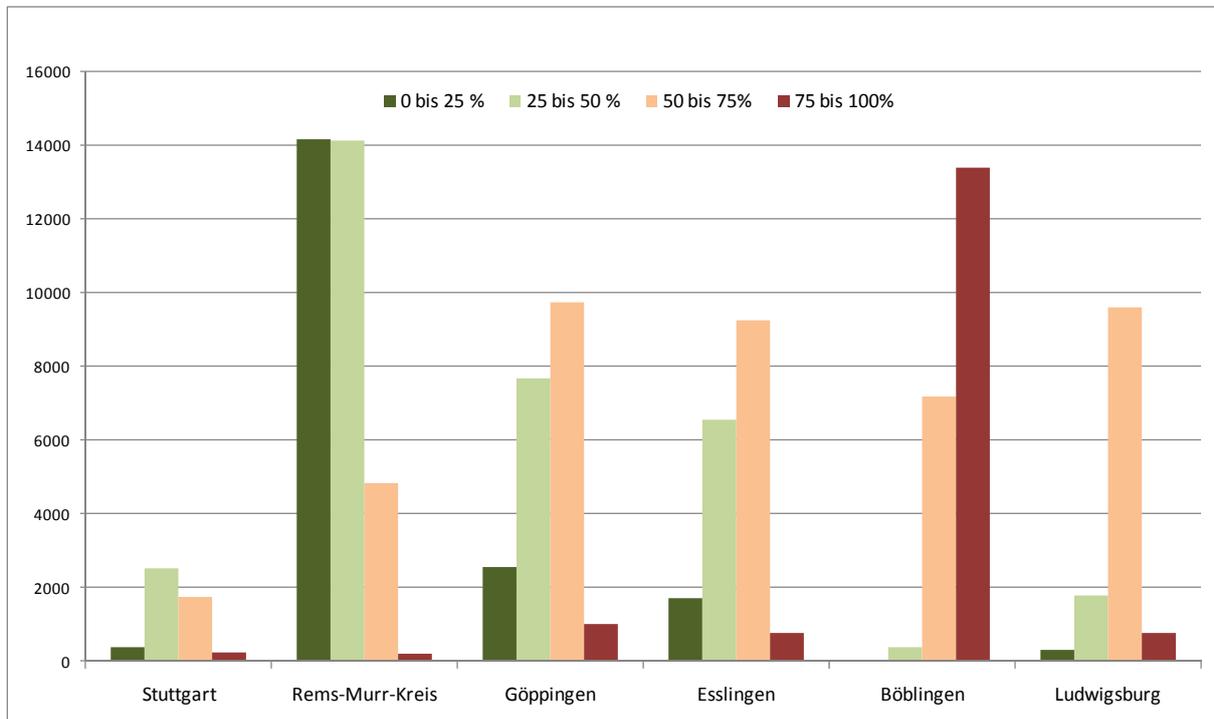


Abb. 30: Sturmschadenrisiko für die Fichte in der Region Stuttgart nach Stadt- bzw. Landkreisen (Angaben in ha). Der Modellierung liegt ein „Standardbaum“ mit folgenden Merkmalen zugrunde: Höhe: 40 m, DBH (Durchmesser in Brusthöhe): 53 cm, H/D (Verhältnis Höhe/Durchmesser): 75 (Datengrundlage: Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg 2010).

2.2.2.3. Landwirtschaft

Zielsetzung und Bewertungsmodell

Gegenstand der Untersuchung ist eine vergleichende Bewertung der Empfindlichkeit ackerbaulich genutzter Flächen gegenüber den erwarteten Klimaänderungen in der Region Stuttgart. Als Bezugsgeometrie dienen Feldblöcke, worunter zusammenhängende landwirtschaftlich nutzbare Flächen verstanden werden, die von erkennbaren Außengrenzen wie Wegen, Fließgewässern und Flurstücken mit einer nicht ackerbaulichen Nutzung umgeben sind. Sie wurden aus der Automatisierten Liegenschaftskarte (ALK) generiert. Es ergeben sich ca. 29.000 Flächen.

Um die Sensitivität der Ackerflächen einzuschätzen, werden die besonders wichtigen klimainduzierten Gefährdungsursachen betrachtet, wie sie für die Region Stuttgart im Rahmen der Expertenworkshops identifiziert wurden (siehe Abschnitt 2.2.13). Diese sind

- Bodenerosion durch Wasser (infolge häufigerer und intensiverer Starkniederschlagsereignisse sowie höherer Winterniederschläge bei gleichzeitig zunehmenden Lufttemperaturen im Winter),
- in Teilräumen der Region die Bodenerosion durch Wind (infolge von Bodenaustrocknung und häufigeren Sturm- bzw. Starkwindereignissen),
- mangelnde Wasserverfügbarkeit für die Kulturpflanzen bzw. eine erhöhte Trockenstressgefährdung des Standorts (bestimmt durch die zu erwartende deutliche Zunahme der Evapotranspiration sowie häufigere und längere Trockenperioden), und
- Hitzestress bei Pflanzen infolge häufigerer und länger andauernder Hitzeperioden, wodurch der Ertrag und die Qualität der Ernte erheblich beeinträchtigt werden können.

Das Risiko einer direkten Schädigung landwirtschaftlicher Kulturen durch Starkregen- und Hagelereignisse wird in das Verfahren nicht mit einbezogen, da aufgrund fehlender Datengrundlagen eine Operationalisierung dieses Aspektes nicht ohne weiteres möglich ist. Vor dem Hintergrund der berück-