

4. Vulnerabilitätsanalyse im Bereich Gesundheit



Arbeitskreis "Gesundheit / Siedlungsentwicklung"

4.1. Ziele und Vorgehensweise der Arbeitsgruppe

Wie alle Arbeitskreise des KlimaMORO hat sich auch die Arbeitsgruppe "Gesundheit / Siedlungsentwicklung" in ihrer thematischen Auseinandersetzung an den von Seiten des Lenkungskreises formulierten Leitfragen orientiert (siehe hierzu Abschnitt 1.2). Ziel war es vor allem,

- die möglichen negativen wie positiven gesundheitsrelevanten Folgen des Klimawandels für die Bevölkerung der Region Stuttgart zu identifizieren und zu bewerten,
- (geo-) statistische Methoden zu deren Analyse zu entwickeln, anzuwenden und damit verwertbares Handlungswissen zur gesundheitlichen Vulnerabilität der Region bereitzustellen sowie
- geeignete Ansatzpunkte für eine gezielte Vermeidung und Minderung möglicher negativer Wirkungen zu formulieren.

Im Rahmen einer an der Universität Stuttgart angesiedelten Diplomarbeit (Minnich 2010) wurde ein indikatorgestütztes Verfahren entwickelt, mit dem eine räumlich differenzierte Bewertung der Vulnerabilität durch Wärmebelastungen möglich ist. Dieses Bewertungsmodell wurde mit Daten des KISS (siehe hierzu den Abschlussbericht zum MORO) GIS-gestützt angewendet. Auf diese Weise sind Karten und Informationsbestände entstanden, die zum einem Überblickswissen zur Gesamtbelastung der Region und zu teilräumlichen Belastungskonzentrationen vermitteln, zum anderen lokale Planungsakteure mit planungsrelevanten Detailinformationen zu wärmebedingten Belastungen in standörtlichen Maßstabsbereichen versorgen.

In der Arbeitsgruppe waren Raumplaner, Klimaexperten und Experten der Gesundheitsverwaltungen vertreten (siehe unten). Zwischen März und Oktober 2010 haben drei Sitzungen stattgefunden.

Tab. 8: In der Arbeitsgruppe "Gesundheit" vertretene Institutionen

Beteiligte Institutionen

Institut für Raumordnung und Entwicklungsplanung, Universität Stuttgart

Regierungspräsidium Stuttgart (Landesgesundheitsamt)

Landeshauptstadt Stuttgart (Amt für Umweltschutz, Stadtklimatologie)

Verband Region Stuttgart

Landratsamt Rems-Murr-Kreis (GB Umweltschutz – Geschäftsstelle Klimaschutz)

Landratsamt Rems-Murr-Kreis (Gesundheitsamt)

Stadt Ludwigsburg (Nachhaltige Stadtentwicklung)

4.2. Analyse

4.2.1. Experteneinschätzungen und Literaturauswertung

In einer ersten Arbeitsphase wurde zunächst eine Systematik möglicher gesundheitlicher Wirkungen des Klimawandels erarbeitet (siehe hierzu Tabelle 9). Diese unterscheidet sieben Wirkungspfade (Wärme/Hitze, Gebäudeklima, UV-Strahlung, Oberflächenwasser/Niederschläge, Sturm, Hangrutschungen und sonstige Extremereignisse). Diesen Wirkungspfaden wurden denkbare, in der wissenschaftlichen Literatur diskutierte (LH Stuttgart 2010; Kropp et al. 2009; Koppe et al. 2004; Kovats/Akthar 2008; Zebisch et al. 2005) Wirkungen zugeordnet, welche wiederum in ihrer Wirkungsweise als "direkt" oder "indirekt" bewertet wurden. Direkte Wirkungen sind solche, die unmittelbar auf klimatisch bedingte Faktoren zurückgeführt werden können. Als Beispiel sei der Hitzeschlag aufgrund starker Hitzeeinwirkung genannt. Indirekte Wirkungen weisen eine komplexere Kau-



salität zwischen Klimastimuli und gesundheitlicher Wirkung beim Rezeptor auf. Ein Beispiel ist hier die möglicherweise erhöhte Gefahr, an vektorübertragenen Infektionen zu erkranken, da sich die Lebensbedingungen für die Überträger (z.B. Zecken oder Rötelmäuse) im Zuge der klimatischen Erwärmung verbessern.

Anschließend wurde in der Arbeitsgruppe eine verbal-argumentative Bewertung von insgesamt 19 denkbaren Wirkungen im Hinblick auf die Intensität der Betroffenheit der Region Stuttgart vorgenommen. Dies beinhaltet auch eine Einschätzung, ob es sich bei den Wirkungen um ubiquitäre oder um Risiken mit räumlicher Variabilität handelt. Im Ergebnis wurden insgesamt neun Wirkungen mit der Bewertung "starke" oder "moderate" Betroffenheit versehen. Dabei handelt es sich um

- die Zunahme von Hitzeschlag, Hitzekollaps, Hitzeerschöpfung durch Hitze-Einwirkungen,
- Einbußen von Wohlbefinden und Arbeitsleistung in sommerlichen Hitzephasen,
- die Verringerung kältebedingter Unfälle mit Personenschaden aufgrund häufigerer milder Winter.
- die Zunahme von vektorübertragenen Erkrankungen,
- die verstärkte Belastung mit Allergenen durch längere Wuchsperioden,
- die Verstärkung luftbelastungsbedingter Erkrankungen und Beeinträchtigungen der Befindlichkeit durch Ozon in sommerlichen Hitzephasen,
- die Zunahme von Hautschädigungen und Schwächung des Immunsystems durch intensivere UV-Strahlung sowie
- die Zunahme der Lebensgefahr durch häufigere und intensive Sturmereignisse.

Bei der möglichen Zunahme wärmebedingter Erkrankungen und den Einbußen von Wohlbefinden und Arbeitsleistung wird die Betroffenheit der Region Stuttgart als "hoch", bei allen anderen der oben genannten Wirkungen als "moderat" eingeschätzt. Neben der grundsätzlichen Betroffenheit der Region Stuttgart sollte ferner eingeschätzt werden, wie die Region in räumlicher Hinsicht betroffen ist. Denkbar ist eine räumlich-unspezifische, d.h. ubiquitäre Betroffenheit (z.B. bei Gesundheitsbelastungen durch defekte Klimaanlagen oder Hautschädigungen durch UV-Strahlung) wie auch eine räumlich differenzierte Belastung. Insbesondere bei wärmebedingten Belastungen muss von Letzterem ausgegangen werden, da hier lokale Faktoren wie die Durchlüftung, die Bodenversiegelung, Vegetationsbestände, die Bevölkerungsdichte oder die höheren Anteile älterer Menschen von hoher Bedeutung sind. Ein weiteres Kriterium der Bewertung war schließlich der von den Wirkungen potenziell betroffene Personenkreis. Denkbar ist eine unspezifische Betroffenheit der Gesamtbevölkerung (z.B. bei wärmebedingten Einbußen des Wohlbefindens) wie auch eine selektive Betroffenheit (z.B. Allergiker bei höheren Belastungen durch Allergene).

Die in Tabelle 9 wiedergegebene Betroffenheitsmatrix sollte neben einer Systematisierung möglicher Gesundheitswirkungen auch der weiteren thematischen Orientierung der Arbeitsgruppe dienen. Sehr deutlich wurde die Meinung vertreten, die Hitzeproblematik angesichts des schon gegenwärtig bestehenden Ausmaßes der Betroffenheit weiter zu vertiefen.



Tab. 9: Betroffenheit der Region Stuttgart durch gesundheitliche Wirkungen des Klimawandels

	Wir- kungs- weise	County discitored accounts Windows		Betroffenheit der Region Stuttgart			Ausprägung	Betroffene
Wirkungspfad		Gesundheitsrelevante Wirkung	stark	moderat	gering	ubiquitär	raum- differenziert	Bevölkerung
		Hitzeschlag, Hitzekollaps, Hitzeerschöpfung	X				X	Gesamtbevölkerung, v.a. Alte, Kranke, Arme
	direkt	Einbußen von Wohlbefinden und Arbeitsleistung	X				X	Gesamtbevölkerung
	unckt	Verringerung kältebedingter Erkrankungen			X		X	Alte, Kranke, Obdachlose
		Verringerung kältebedingter Unfälle mit Personenschaden		X			X	Verkehrsteilnehmer
Wärme/Hitze		Vektorübertragene Erkrankungen		X			X	Gesamtbevölkerung, Erholungssuchende
		Verstärkte Belastung mit Allergenen		X		(X)	X	Allergiker
	indirekt	Lebensgefahr durch Waldbrände			X		X	Erholungssuchende, angrenzende Bebauung
		Luftbelastungsbedingte Erkrankungen (Ozon)		X			X	Gesamtbevölkerung, v.a. Aktive
	indirekt	Keimbelastung durch schadhafte Klimaanlagen			X	X		Gesamtbevölkerung
Gebäudeklima		Gesundheitliche Beeinträchtigungen durch baubedingt verändertes Innenraumklima (z.B. Schimmelbildung)			X	X		Bevölkerung in Neubau- wohnungen
UV-Strahlung	direkt	Hautschädigungen		X		X		Gesamtbevölkerung
O V-Strainting		Schwächung des Immunsystems		X		X		Alte, Kranke
Oberflächen-	direkt	Lebensgefahr durch Überschwemmungen			X		X	Gefahrenzonen
wasser, Nieder-	indirekt	Erkrankung durch verunreinigtes Trinkwasser			X	X		Gesamtbevölkerung
schläge	indirekt	Erkrankung durch Wassermangel und Wasserverunreinigung (Seuchen)			X	X		Gesamtbevölkerung
Sturm	direkt	Lebensgefahr durch Sturmereignisse		X		(X)	X	Gesamtbevölkerung
Hangrutschung	direkt	Lebensgefahr durch Verschüttung			X		X	Gefahrenzonen
Extremereignis		Psychische Erkrankung nach Naturkatastrophe			X	X		Psychisch Labile
(allgemein)	indirekt	Beeinträchtigung der Gesundheitsversorgung durch zerstörte oder nicht erreichbare Einrichtungen			X		X	Verletzte



4.2.2. GIS-Analyse

Wie oben bereits erwähnt wurde, wurde an der Universität Stuttgart eine Diplomarbeit vergeben, in der eine Methode zur Ermittlung der Vulnerabilität gegenüber Wärmebelastungen entwickelt und angewendet wurde (Minnich 2010). Die nachfolgenden Ausführungen zur methodischen Vorgehensweise der Vulnerabilitätsanalyse stützen sich überwiegend auf die Inhalte dieser Arbeit. Ziel der Arbeit war es – wie oben bereits ausgeführt – die Betroffenheit der Region Stuttgart in Bezug auf Wärmebelastungen räumlich differenziert zu bewerten und dabei insbesondere Teilräume mit überdurchschnittlicher Vulnerabilität zu identifizieren. Die Ergebnisse verstehen sich als realitätsnahe Entscheidungshilfe für die zukünftige Maßnahmenentwicklung der regionalen und gemeindlichen Planung. Da das KlimaMORO in hohem Maße auf die Einbindung und Vernetzung verschiedener Akteure angelegt ist, kam der Verständlichkeit des methodischen Ansatzes besondere Bedeutung zu. Schließlich war es auch ein Ziel, eine inhaltlich erweiterungsfähige und auf andere Modellräume übertragbare Methodik zu entwickeln.

Der methodische Grundansatz folgt einer deduktiven Vorgehensweise, was bedeutet, dass zunächst ein theoretisches Verständnis zur Vulnerabilität gegenüber Wärmebelastungen erarbeitet wird. Dieses Konzept versteht Vulnerabilität – wie in Abschnitt 1.2 ausgeführt – als Funktion von Exposition, Sensitivität und adaptiver Kapazität, wobei in der Arbeitsgruppe entschieden wurde, die adaptive Kapazität aufgrund ihrer äußerst schwierigen statistischen Abbildbarkeit zunächst nicht weiter zu betrachten. Die zunächst als Konstrukte anzusehenden Systemzustände "Exposition" und "Sensitivität" werden mit Hilfe erhebbarer Indikatoren operationalisiert und über unterschiedliche Aggregationsschritte zu einer Standortvulnerabilität und einer Vulnerabilität der Bevölkerung zusammengefasst. Die Standortvulnerabilität ergibt sich über die zukünftig zu erwartende Gesundheitsbelastung (die wiederum aus der Wärmebelastung und sonstiger lufthygienischer Belastungen resultiert), den zukünftigen Anteil der "empfindlichen" Bevölkerung und den Anteil der "benachteiligten" Bevölkerung. Die Vulnerabilität der Bevölkerung wird durch eine einfache Multiplikation der Standortvulnerabilität mit der Bevölkerungsdichte bestimmt. Demzufolge kann die Bevölkerung eines Standortes als hoch vulnerabel angesehen werden, wenn eine hohe Standortvulnerabilität mit einer hohen Bevölkerungsdichte zusammentrifft (Abbildung 57).

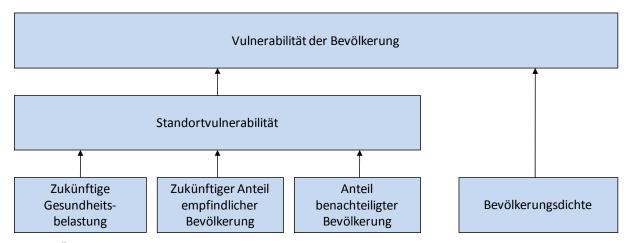


Abb. 57: Übersicht über die Struktur der Vulnerabilitätsbewertung.

Die Auswahl der Indikatoren orientiert sich neben der Datenverfügbarkeit in der Region Stuttgart auch an nationalen und internationalen Vergleichsstudien (siehe z.B. Reid et al. 2009, Kropp et al. 2009, Ministerium für Umwelt 2009; eine Gesamtübersicht über die verwendete Daten findet sich in Anhang x). Als "empfindlich" werden Menschen eingestuft, die alt und alleinstehend sind. Die Relevanz des Merkmals "alleinstehend" ergibt sich aus der geringeren sozialen Kontrolle dieser Personen innerhalb ihres familiären Umfelds (z.B. in Bezug auf ihr Trinkverhalten während sommerlicher Hitzephasen). Daten zur gesundheitlichen Vorbelastungen könnten nicht einbezogen werden, da diese nicht kleinräumig differenziert vorliegen. Als Standorte mit "benachteiligter Bevölkerung" werden Gebiete eingestuft, in denen viele Kinder leben und/oder die einen hohen Anteil bildungsferner Personengruppen aufweisen und/oder in denen eine Bevölkerung mit geringer Kaufkraft und/oder Migrationshinter-



grund lebt. In diesbezüglichen Personengruppen bzw. Milieus besteht ein überdurchschnittliches Maß an Exposition gegenüber Hitze (z.B. durch das Wohnen in Wohnungen mit schlechter Isolierung) sowie eine überdurchschnittliche Wahrscheinlichkeit, in Fällen sommerlicher Hitzephasen nichtangepasste Verhaltensmuster zu zeigen (z.B. durch das Ignorieren von Hitzewarnungen und entsprechenden Verhaltensempfehlungen).

Informationen zur potenziellen zukünftigen Gesundheitsbelastung speisen sich aus mehreren Quellen. Zum einen wurde hier die heutige und die zukünftige Wärmebelastung berücksichtigt. In die Abbildung der heutigen Wärmebelastung gehen neben der Anzahl heißer Tage auch sonstige meteorologische Parameter wie die Durchlüftung, die mittlere Luftfeuchtigkeit, die Bewölkung und der Versiegelungsgrad ein. Die zukünftige Wärmebelastung wurde mit der Projektion der Wärmebelastung basierend auf Daten der Klimamodellierung berücksichtigt. Zum anderen wurde in Rechnung gestellt, ob im Umfeld von Wohnstandorten thermale Regenerationsmöglichkeiten durch das Aufsuchen von kühleren Grünflächen bestehen. Dies erfolgte durch die Ermittlung der fußläufigen Erreichbarkeit von Grünflächen mittels einer Path-Distance-Methode (siehe zu Einzelheiten Minnich 2010; zur Relevanz der Grünflächenausstattung siehe auch Kropp et al. 2009, S. 246 mit weiteren Nachweisen). Schließlich wurde auch die lufthygienische Situation als Variable in die Vulnerabilitätsanalyse eingestellt. Das gesamte Schema der Datenaggregation ist in Abbildung 58 dargestellt.

In räumlicher Hinsicht unterscheidet der methodische Ansatz drei Ebenen, für die Vulnerabilitätsaussagen verfügbar sind: ein Raster mit einer Auflösung von 50 Meter als räumlich differenzierteste Ebene, die Gemeindeebene und die Standorte gesundheitsrelevanter medizinischer und sozialer Einrichtungen. Damit sind hochauflösende Daten auf Standortebene ebenso verfügbar wie stärker aggregierte Daten auf Gemeinde- und Einrichtungsebene. Letztere umfassen die Krankenhäuser und Pflegeeinrichtungen in der Region Stuttgart.

Besondere Aufmerksamkeit widmet Minnich (2010) der Auswahl und Begründbarkeit der eingesetzten Aggregationsalgorithmen, mit denen die zahlreichen Einzelindikatoren zu einer zusammenfassenden Vulnerabilitätsbewertung zusammengefasst wurden. Üblicherweise werden im Rahmen indikatorgestützter Vulnerabilitätsanalysen die herangezogenen Merkmale additiv miteinander verknüpft, um ein aggregiertes Endergebnis zu erhalten. Dabei werden oft nicht begründete Gewichtungen einzelner Indikatoren vorgenommen. Eine Schwäche dieser Vorgehensweise besteht darin, dass sie eine Substitutivität von Systemmerkmalen voraussetzt oder zumindest aus pragmatischen Gründen in Kauf nimmt. Erfolgt eine "Verrechnung" von Eigenschaften, können die realen Zusammenhänge in einem klimasensitiven System jedoch nur unzureichend abgebildet werden. Neben Zweifeln an der Validität ihrer Ergebnisse besteht ein weiterer Nachteil dieser Ansätze darin, dass sie den Charakter einer black box mit nur einem Endergebnis haben. Um die realen Zusammenhänge eines klimasensitiven Systems adäquat im Bewertungsmodell abzubilden, kommen in dem hier entwickelten Ansatz verschiedene Methoden der multikriteriellen Bewertung und räumlichen Analyse zum Einsatz. Vor dem Hintergrund der jeweils abzubildenden Interaktionen reicht das Spektrum von logischen Verknüpfungen und Bewertungsmatrizen bis hin zu Pareto-Rankings und dem Einsatz komplexer Algorithmen der räumlichen Modellierung. Das Verfahren liefert, neben einer Gesamteinschätzung der Verwundbarkeit gegenüber Wärmebelastung, zusätzliche Ergebnisse zu speziellen Teilaspekten, die für die Regionalplanung von Bedeutung sind. Jederzeit möglich ist demnach, nicht die hoch aggregierte Gesamtbewertung der Vulnerabilität der Bevölkerung als planungsrelevante Größen zu verwenden, sondern die Ergebnisse von Teilmodellen wie der Darstellung der zukünftigen Wärmebelastung oder der Grünflächenerreichbarkeit.



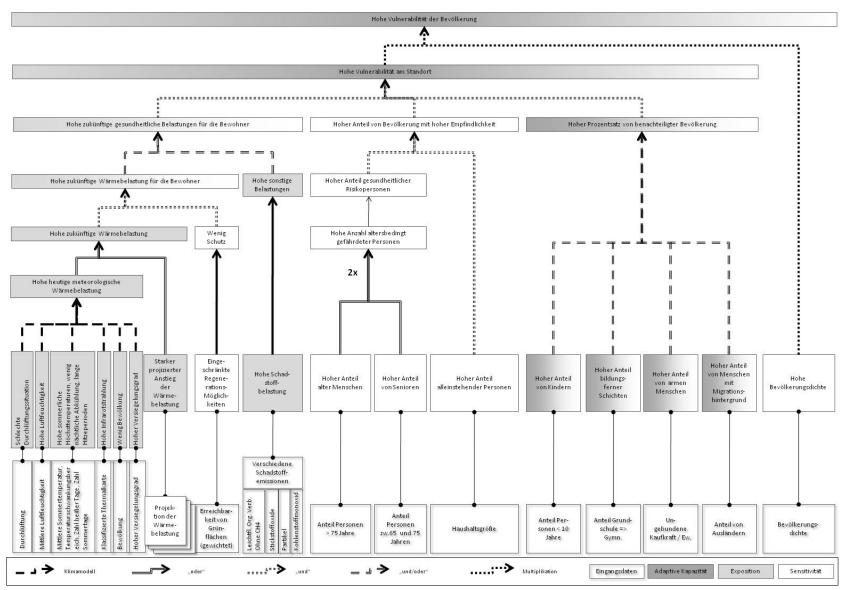


Abb. 58: Übersicht über den Gesamtablauf der Vulnerabilitätsbewertung und die vorgenommenen Aggregationsschritte (Minnich 2010).



Nachfolgend sollen ausgewählte Ergebnisse der Vulnerabilitätsanalyse dargestellt werden. Abbildung 59 zeigt die ermittelte Vulnerabilität der Bevölkerung, welche sich wie gesagt aus der Standortvulnerabilität und der Bevölkerungsdichte ergibt. Sehr deutlich wird die Konzentration von hoch vulnerablen Bevölkerungsteilen im Kern der Region Stuttgart, insbesondere im Kessel der Landeshauptstadt und im Neckartal. Auch in einer Reihe von Mittelzentren (wie z.B. Böblingen und Sindelfingen) finden sich Bereiche mit höheren Konzentrationen vulnerabler Bevölkerung. Kleinere Gemeinden im suburbanen Umland der Region sind demgegenüber als weniger vulnerabel anzusehen. Noch deutlicher tritt das Kern-Rand-Gefälle der Vulnerabilität in Abbildung 60 hervor, in der eine zusätzliche Hot-/Coldspot-Analyse vorgenommen wurde. Hier zeigt sich, in welchen Bereichen sich Standorte mit hohen Vulnerabilitätswerten (Hotspots) bzw. niedrigen Vulnerabilitäten (Coldspots) räumlich ballen. Es wird ersichtlich, in welchen Teilräumen Anpassungsmaßnahmen prioritär sind.

Zu erklären ist das aufgezeigte räumliche Muster durch drei Faktoren: Erstens handelt es sich bei den hier hervorstechenden Gebieten um klimatisch überdurchschnittlich hoch belastete Regionsteile, bedingt durch ihre Lage im belüftungsarmen und hoch versiegelten Kessel- und Talraum. Zweitens kann die soziale Komposition der Bevölkerung als erklärender Faktor herangezogen werden. In Stuttgart und den größeren Mittelzentren der Region sind die Anteile benachteiligter Bevölkerung höher als in kleineren suburbanen Randgemeinden. Schließlich trägt – drittens – die im Kern höhere Bevölkerungsdichte zu dem in Abbildung 61 dokumentierten Ergebnis bei.

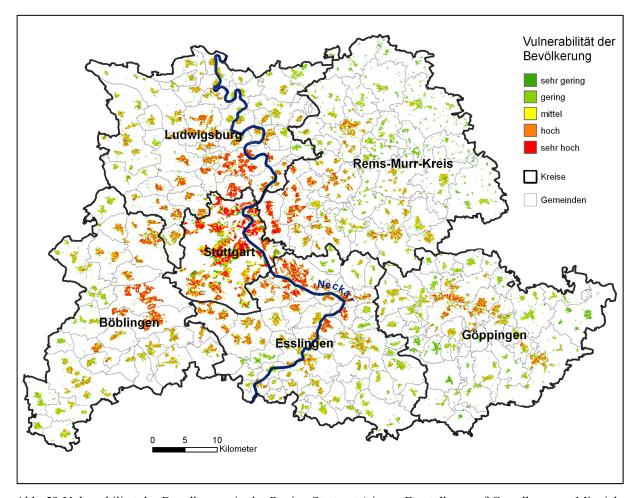


Abb. 59: Vulnerabilität der Bevölkerung in der Region Stuttgart (eigene Darstellung auf Grundlage von Minnich 2010).



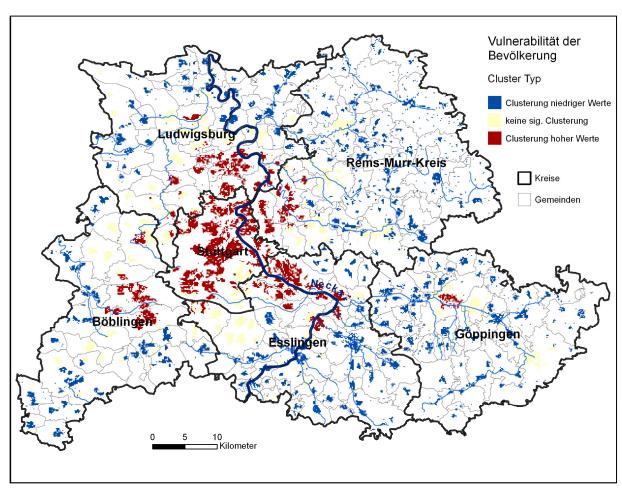


Abb. 60:Darstellung der Bevölkerungsvulnerabilität mit Hilfe einer Hotspot-/Coldspot-Analyse (eigene Darstellung auf Grundlage von Minnich 2010)

Die Abbildunge 61 verdeutlicht die Spannbreite der räumlichen Auflösung der vorliegenden Ergebnisse. Diese sind in Form hoch auflösender Daten verfügbar, so dass sie für gemeindliche Planungszwecke geeignet sind. Denkbare Anwendungen ergeben sich beispielsweise für die Umweltprüfung in Flächennutzungs- und Bebauungsplanverfahren (z.B. bei der Prüfung der "Klimaverträglichkeit" von Nachverdichtungsvorhaben). Vorstellbar wäre auch die Darstellung von städtischen Risikozonen im Flächennutzungsplan, in denen bei baulichen Maßnahmen besondere Abwägungsanforderungen oder sogar bautechnische Anforderungen (z.B. die Dachbegrünung) gestellt werden. Ergebnisse wurden jedoch für Zwecke überschlägiger regionalmaßstäblicher Bewertungen auch auf Gemeindeebene aggregiert.



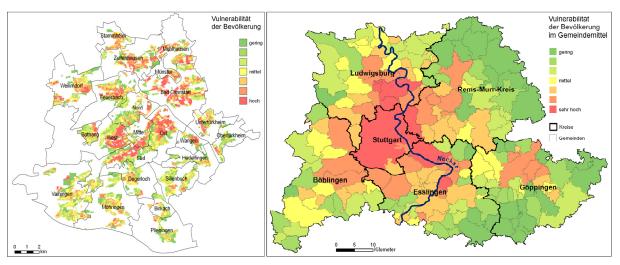


Abb. 61:Darstellung der Bevölkerungsvulnerabilität in der Landeshauptstadt Stuttgart (eigene Darstellung auf Grundlage von Minnich 2010).

Da davon auszugehen ist, dass sich in Krankenhäusern und stationären Pflegeeinrichtungen eine größere Anzahl hoch empfindlicher Personen aufhalten, wurden die Standorte dieser Einrichtungen einer eigenständigen Vulnerabilitätsbetrachtung unterzogen. Der dabei verfolgte Ansatz lehnt sich eng an die oben skiizierte Methodik an. Danach wird eine Einrichtung als hoch vulnerabel angesehen, wenn die am Standort zu erwartenden gesundheitlichen Belastungen der Bewohner als hoch eingeschätzt werden und die Einrichtung eine große Kapazität aufweist (z.B. als verfügbare Bettenzahl). Abbildung 62 zeigt die Ergebnisse der vorgenommenen Analysen. Es wird deutlich, dass über 40% der Bettenkapazität in der Region Stuttgart in die höchste Belastungsstufe fallen. Die räumliche Verteilung der hoch vulnerablen Standorte zeigt ein erkennbar anderes Muster als die Vulnerabilität der Bevölkerung. Dies erklärt sich mit der höheren Bedeutung standörtlicher klimatischer Parameter im hier verwendeten Bewertungsmodell, während soziale Faktoren keine Rolle spielen. So finden sich hoch vulnerable Einrichtungen auch in kleineren Umlandgemeinden, wenn die Mikrostandorteigenschaften durch hohe Bodenversiegelung, geringe Durchlüftung oder andere negative Klimaeigenschaften geprägt sind.



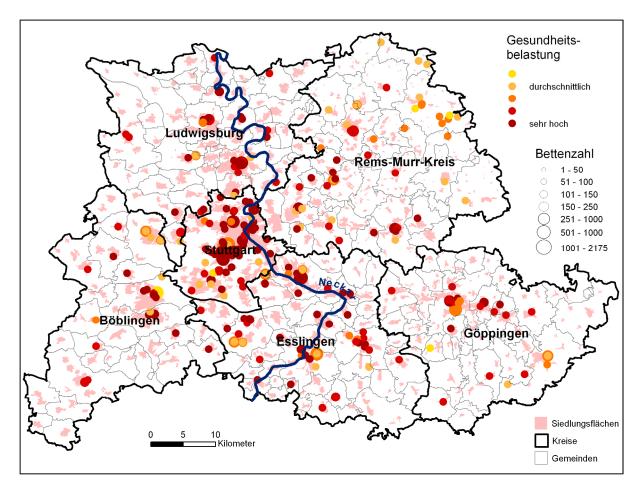


Abb. 62: Vulnerabilität gesundheitsrelevanter Einrichtungen (eigene Darstellung auf Grundlage von Minnich 2010).

Die Arbeitsgruppe empfiehlt ein systematisches Monitoring der gesundheitlichen Vulnerabiliät mit dem hier verwendeten und ggfs. weiterentwickelten methodischen Ansatz.



5. Handlungsansätze für die Klimafolgenanpassung



5.1. Naturschutz

Für den Naturschutz bedeutet der Klimawandel zwangsläufig eine stärkere Orientierung in Richtung dynamischer Strategien. Das Ziel einer statischen Konservierung natürlicher Zustände und Artengemeinschaften wird in Frage gestellt und einer der gegenwärtig zentralen Bewertungsmaßstäbe, die "Natürlichkeit", mit der voranschreitenden Klimaänderung einer Revision unterzogen werden müssen.

Dynamische Entwicklungsprozesse zu ermöglichen bedeutet, Arten Rückzugs- und Ausweichmöglichkeiten zu bieten und die Voraussetzung für die Entstehung neuer Lebensgemeinschaften zu schaffen. Dazu ist es notwendig, dass die Landschaft für die Migration der Arten durchlässig wird. Die funktionale Vernetzung der Landschaft ist daher als eine der wichtigsten Aufgaben der Klimaanpassung zu benennen. Biotopverbundsysteme müssen ausgebaut werden und bedürfen einer konzeptionellen Anpassung an die neuen Herausforderungen, die sich aus dem Zusammenwirken des Klimawandels mit anderen Gefährdungsfaktoren ergeben. Auf den Untersuchungsbedarf für die Entwicklung einer regionalisierten Anpassungsstrategie wurde im Vulnerabilitätsbericht hingewiesen.

Als flankierende Strategie zur Minderung negativer Klimawirkungen auf die Biodiversität müssen die bekannten Belastungen von Lebensräumen reduziert werden, um ihre Resilienz und Anpassungsfähigkeit gegenüber klimatischen Veränderungen zu erhöhen. Die speziellen Maßnahmen hängen vom jeweiligen Lebensraumtyp und den individuellen Belastungsfaktoren ab. Bei Fließgewässern sind etwa der Erhalt und der Aufbau von Uferwällen, eine Reduzierung der Nährstoffeinträge, morphologische Restaurationsmaßnahmen und der Schutz des Grundwassers, sowohl in quantitativer als auch qualitativer Hinsicht, zu nennen. Die Klimaempfindlichkeit grundwasserbeeinflusster Biotope wie Nasswiesen ließe sich z. B., wenn in der Vergangenheit Entwässerungen stattgefunden haben, durch Maßnahmen zur Verbesserung des Wasserhaushalts senken. Auch eine regelmäßige Pflegemahd, die das Aufkommen von Gehölzen unterbindet und damit die Evapotranspiration reduziert, ist eine geeignete Maßnahme zur Verringerung der Empfindlichkeit von Feuchtgrünland. In Anbetracht des sehr hohen Anteils grund- und oberflächenwasserabhängiger Lebensräume in der Region Stuttgart (ca. 45% der gesamten §32-Biotopfläche) kommt der Sicherung und Verbesserung des Wasserhaushalts, mit dem Ziel naturnäherer Verhältnisse zu schaffen, eine entscheidende Rolle zu.

Von den indirekten Folgen des Klimawandels können erhebliche Risiken für die Schutzgüter des Naturschutzes ausgehen, die bislang, insbesondere im spezifischen regionalen Kontext, nur unzureichend untersucht sind. Auf der anderen Seite gibt es große Potenziale für Synergien zwischen Naturschutz, Klimafolgenanpassung in anderen Sektoren und Klimaschutz. So bedeutet Naturschutz fast immer auch funktionellen Klimaschutz. Anpassungsstrategien der verschiedenen Sektoren sollten daher nicht nur fachintern, sondern in enger Kooperation mit den Akteuren anderer Sektoren entwickelt werden. Insofern stellt die langfristige Etablierung regionaler, sektorübergreifender Klimanetzwerke einen wichtigen Ansatzpunkt dar, um die Risiken des Klimawandels zu minimieren.

Bezüglich der künftigen Veränderung klimatischer Größen ebenso wie infolge eines komplexen Zusammenspiels der Klimaänderung mit anderen Triebkräften des Landschaftswandels bestehen große Unsicherheiten. Um im Sinne eines Risikomanagements besser mit diesen umgehen zu können, sollten Naturschutz und Landschaftsplanung bei der Strategieentwicklung künftig vermehrt mit Szenarien arbeiten.

5.2. Landwirtschaft

Anders als etwa die Forstwirtschaft hat die Landwirtschaft deutlich kürzere Planungshorizonte, weshalb sie vergleichsweise flexibel auf Veränderungen der klimatischen Rahmenbedingungen reagieren kann. Allerdings ist die Landwirtschaft auch in besonders hohem Maße witterungsabhängig und die derzeit verfügbaren Klimamodellrechnungen bergen erhebliche Unsicherheiten hinsichtlich der künftigen Veränderung agrarmeteorologischer Größen. Da nicht zu erwarten ist, dass sich dieser Umstand zukünftig grundsätzlich ändern wird, besteht die Notwendigkeit einer fortwährenden Abschätzung regionaler Folgen des Klimawandels für die Landwirtschaft. Zur Ermittlung der kleinräumigen Vulne-



rabilität bedarf es daher regionalisierter Monitoringprogramme, um sich ergebende Problemlagen aufzudecken und geeignete regionalisierte Anpassungsstrategien zeitgerecht zu entwickeln (VLK 2010).

Grundsätzlich werden im Pflanzenbau mit der erwarteten Klimaänderung Anpassungsmaßnahmen in den folgenden Bereichen notwendig werden (vgl. VLK 2010):

- Fruchtartenwahl und Fruchtfolgegestaltung
- Sortenstrategie und Bestandesführung
- Bodenbearbeitung, Bodenschutz
- Pflanzenernährung, Düngung und Humusreproduktion
- Bewässerung / Wassermanagement
- Pflanzenschutz

Im Hinblick auf die Bodenbearbeitung und den Bodenschutz in der Region Stuttgart wurden in der Arbeitsgruppe Praktiken der konservierenden Bodenbearbeitung (z. B. Mulch- und Direktsaat) als eine besonders wichtige Strategie im Umgang mit dem Klimawandel hervorgehoben, da sie wassersparend sind und zugleich gegen Erosion und Verschlämmung wirken. Auch die Anlage von Grünstreifen quer zum Gefälle, bodenschutzgerechte Flurgestaltungen und Agroforstsysteme stellen wirksame Anpassungsstrategien dar, mit denen sich gleichzeitig die Biotopstrukturen verbessern lassen. Zudem stellen die Fruchtartenwahl und die Fruchtfolge wichtige Steuerungsgrößen dar: So kann etwa der Anbau von Winterformen verschiedener Feldfrüchte (z. B. Winterhafer, Wintererbse, Winterackerbohne) das mit der Zunahme der Winterniederschläge steigende Erosionsrisiko mindern. Gleichzeitig lässt sich die Winterfeuchtigkeit nutzen. Auch der Anbau von Zwischenfrüchten ist ein geeignetes Mittel um der Bodenerosion durch Wasser entgegenzuwirken.

Es ist davon auszugehen, dass es notwendig werden wird, das Fruchtartenspektrum anzupassen, etwa in Richtung eines vermehrten Anbaus wassereffizienter Kulturen. Zudem könnten verstärkt wärmeliebende Arten angebaut werden wie Mais, Hartweizen und Soja. Sinnvoll erscheint außerdem der Anbau von Weizensorten, die schnell abreifen und daher sommerliche Hitzeperioden unbeschadet überstehen. Im Hinblick auf den Maisanbau zeichnet sich die Möglichkeit ab, mit spät abreifenden Sorten das Ertragspotenzial zu steigern, da so die längere Vegetationsperiode ausgenutzt werden kann. Allgemein lassen sich die folgenden Anforderungen an Sorteneigenschaften formulieren:

- Hitze- und Trockenstresstoleranz
- Hohes Ertragspotenzial zur Nutzung des CO₂-Effektes⁷
- Optimale Resistenzeigenschaften gegen Krankheiten, Schädlinge und hohe Ozonkonzentrationen

Hinsichtlich der Düngung wird es notwendig werden, die kulturartenspezifische Stickstoff-Düngung in Bezug auf Düngungszeitpunkte, Düngermengen und -formen an den jahres- und witterungsabhängigen Bedarf der Pflanzen anzupassen. Vor allem in Phasen mit geringen Sommerniederschlägen wird eine verbesserte Düngemittelapplikation für äußerst wichtig erachtet. Mögliche Maßnahmen sind u.a. Stickstoff-Blattdüngung, bedarfsgerechte Phosphor- und Kalium-Düngung unter Berücksichtigung der Nährstoffversorgung des Bodens und Cultan-Verfahren (weitere Maßnahmen bei VLK 2010).

Der Einsatz von Beregnungs- und Bewässerungsanlagen kann nur dann einen sinnvollen Beitrag zur Ertrags- und Qualitätssicherung leisten, wenn Wasser mit vertretbarem Aufwand zur Verfügung steht. Da das natürliche Wasserdargebot in der Region Stuttgart gering ist, sind die Möglichkeiten grundsätzlich begrenzt. Denkbare Optionen sind die Erschließung alternativer Wasserquellen für die Beregnung bzw. Bewässerung wie z. B. Hochwasserspeicherung und Regenrückhaltebecken. Allerdings rentieren sich diese Bewässerungssysteme nur dann, wenn die Erzeugerpreise entsprechend hoch sind.

Die Gefährdung von Sonderkulturen durch Starkregen- und Hagelereignisse könnte durch Hagelnetze und Überdachungen unterbunden werden. Während der Anbau hitzeempfindlicher Obstsorten wie der

⁷ Zunehmende atmosphärische CO₂-Konzentrationen wirken direkt auf Pflanzen ein, indem sie das Pflanzenwachstum stimulieren können (sog. "CO₂-Düngeeffekt").



Apfelsorte "Jonagold" problematisch werden könnte, profitieren etwa die spätreifenden Apfelsorten "Fuji" und "Braeburn" von der längeren Vegetationszeit und könnten gegebenenfalls favorisiert werden. Nicht auszuschließen ist eine Erweiterung der Obstpalette um Aprikose, Pfirsich, Kaki und Feige.

Abschließend sei darauf hingewiesen, dass die Nachhaltigkeit der landwirtschaftlichen Produktion auf den drei Säulen Ökologie, soziale Tragfähigkeit und Ökonomie beruht. Die hier nach den Maßstäben der Pflanzenbauwissenschaften dargestellten Anpassungsmaßnahmen berücksichtigen explizit weder soziale noch ökonomischen Bewertungskriterien (vgl. VLK 2010).

5.3. Wasser

Die Arbeitsgruppe Wasser betont in ihren Handlungsempfehlungen vor allem die Bedeutung eines effektivierten Hochwasserschutzes. Verband und Kommunen sind gefordert, ihre Hochwasserschutzkonzepte auf Basis der in Kürze vorliegenden Gefahrenkarten zu überprüfen und überschwemmungsgefährdete Flächen konsequent von zukünftiger Bebauung freizuhalten. Als weitere Maßnahmen des vorsorgenden Hochwasserschutzes könnten die dezentrale Regenwasserversickerung, die Aufforstung von Flächen mit dem Ziel einer Stärkung der Retentionsfähigkeit sowie die Ausweitung von örtlichen Rückhalteflächen stärkeren Schutz von Bevölkerung und Vermögensbeständen bieten. Die diesbezüglichen Handlungspotenziale sollten im Zuge der Erstellung des regionalen Hochwasserschutzkonzepts systematisch erhoben und bewertet werden.

Neben dem Hochwasserschutz ist die Sicherstellung der Trink- und Brauchwasserversorgung eine zweite Schlüsselherausforderung für eine natürlicherseits wasserarme Region. Mit dem hohen Fernversorgungsgrad stellen sich diesbezüglich besondere Rahmenbedingungen. Die Arbeitsgruppe empfiehlt hier, verfügbare lokale Grundwasservorkommen systematisch zu erheben, um mögliche Ergänzungen der Fernwasserversorgung zu gewährleisten. Es wird als vorteilhaft angesehen, die Wasserversorgung bei länger anhaltenden Hitzeperioden durch Kopplung von verschiedenen Versorgungssystemen robuster zu gestalten.

Von besonderer Bedeutung ist aus Sicht der Arbeitsgruppe, integrierte Anpassungskonzepte zu entwickeln, da viele Themen des Umgangs mit Wasser übersektoral ausgebildet sind. Beispiele sind Konflikte um die Trink- bzw. Brauchwasserversorgung der Bevölkerung und Landwirtschaft. Auch der Erosionsschutz landwirtschaftlicher Böden bei Starkregen, die Schaffung von Polderflächen auf landwirtschaftlichen Nutzflächen oder der Schutz von Kleingewässern vor Eintrag von Sedimenten und Schwebstoffen sind querschnittsbezogene Themen, welche die Wasserwirtschaft, die Landwirtschaft und den Naturschutz gleichermaßen betreffen.

5.4. Gesundheit

In der Arbeitsgruppe wurde einhellig festgestellt, dass das Wissen um mögliche gesundheitliche Gefährdungen im fortschreitenden Klimawandel noch nicht ausreichend ist. So kann beispielsweise nur gemutmaßt werden, wie viele Menschen im Hitzesommer 2003 in der Region Stuttgart gesundheitliche Schäden davongetragen haben oder sogar zu Tode gekommen sind. Zu empfehlen ist daher der langfristige Aufbau eines Monitorings zu gesundheitlichen Belastungen. Hierzu sollten die Krankenkassen als strategischer Partner gewonnen werden. Ziel eines solchen Monitorings ist es, präzisere Daten zu gesundheitlichen Risiken, insbesondere bei älteren Menschen und Personen mit gesundheitlichen Vorbelastungen, bereitzustellen.

Ein weiterer wichtiger Punkt ist der Ausbau von Bewusstseinsbildung und Warnsystemen. Experten weisen wiederholt darauf hin, dass einem adäquaten individuellen Verhalten bei Hitzestress enorme Bedeutung zukommt. Derartige Verhaltensanpassungen können durch Informationsbroschüren und -kampagnen unterstützt werden. In diesem Zusammenhang sollte auch geprüft werden, in welchem Maße Warndienste (z.B. vom DWD) effektiviert werden müssen.

Was die Möglichkeiten regionaler und kommunaler Planung anbetrifft, ist die konsequente Freihaltung von klimawirksamen (kühlenden) Freiflächen als weiterhin wichtige Aufgabe der Klimafolgenanpassung anzusehen. Mit dem Klimaatlas der Region Stuttgart stehen hier bereits qualifizierte Datengrund-



lagen vor. Als ebenso bedeutend wurden in der Arbeitsgruppe Maßnahmen für besonders stark belastete Siedlungsgebiete angesehen. Diese konnten in der Vulnerabilitätsanalyse identifiziert werden. Die Gemeinden sind hier gefordert, die Verträglichkeit von baulichen Nachverdichtungsmaßnahmen zukünftig verstärkt zu prüfen. Bei einem im Zuge der Abwägung ausgesprochenen Vorrang der Nachverdichtung sollten besondere Auflagen an Minderungs- und Ausgleichsmaßnahmen erwogen werden. Denkbar sind Begrünungsmaßnahmen wie auch eine helle Farbgestaltung von Dachflächen oder versiegelten Flächen.

Erwogen werden könnte in diesem Zusammenhang auch, ob im Regionalplan zukünftig Siedlungsgebiete mit überdurchschnittlichen siedlungsklimatischen Belastungen mit einer Signatur gekennzeichnet werden. Diese als Grundsatz der Raumordnung fungierende Kennzeichnung würde auf eine besondere Abwägungspflicht der Gemeinden verweisen, in den betreffenden Gebieten Aspekte des Klimaschutzes bei Überplanungen in verstärktem Maße zu berücksichtigen.

Von besonderer Bedeutung sind zukünftig auch Begrünungs- und Entsiegelungsmöglichkeiten in klimatisch vulnerablen Siedlungsgebieten. Den Gemeinden wird empfohlen, entsprechende Potenziale für nachsorgende Durchgrünungs- und Entsiegelungsmaßnahmen systematisch zu erheben. Als geeigneter Ansatzpunkt sind dabei möglicherweise bereits bestehende Bauland- oder Brachflächenkataster zu benennen. Auch könnten die Gemeinden gebietsspezifische Planungsstandards und Fördermittelvergabepraktiken einführen. Danach wären Maßnahmen der Dach- oder Fassadenbegrünung beispielsweise nur in klimatisch belasteten Gebieten förderfähig. Für den Umbau von Straßen und Plätzen könnten neue Planungsrichtwerte in Bezug auf die Anpflanzung von Straßenbäumen erlassen werden.



Literatur

AG Bodenkunde (1982): Bodenkundliche Kartieranleitung, Hannover.

Bastian, O. & Schreiber, K.-F. (Hrsg.) (1999): Analyse und ökologische Bewertung der Landschaft, Heidelberg, Berlin.

BMVBS & BBSR (Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung & Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung) (Hrsg.) (2010): Klimawandel als Handlungsfeld der Raumordnung (= Forschungen, Heft 144), Bonn.

Bodenkarte der Region Stuttgart 1: 50.000 (Bearbeitungsstand Juni 2005), Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württemberg, Freiburg.

Brenkert, A.L. & Malone, E.L. (2005): Modeling Vulnerability and Resilience to Climate Change: a Case Study of India and Indian States. In: Climatic Change, Vol. 72 (1), S. 57-102.

Breunig, T. (2002): Rote Liste der Biotoptypen Baden-Württembergs, NafaWeb, abzurufen unter: http://www.lubw.badenwuertteberg.de/servlet/is/70260/rote_liste_biotoptypen.pdf?command=downlo adContent&filename=rote liste biotoptypen.pdf [01.12.2010].

Deng, X. & Scarth, R. (1998): Temperature effects on fatty acid composition during development of low-linolenic oilseed rape (Brassica napus L.). In: JAOCS 75, S. 759-766.

Deutscher Bundestag (2008): Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel, abzurufen unter http://www.bmu.de/klimaschutz/downloads/doc/42783.php [08.04.2011].

Dister, E. & Henrichfreise, A. (2009): Veränderungen des Wasserhaushalts und Konsequenzen für den Naturschutz. In: Natur und Landschaft, Jahrgang 84, Nr. 1, S. 26-31.

Franzaring, J.; Henning-Müller, I.; Funk, R.; Hermann, W.; Wulfmeyer, V. & Fangmeier, A. (2007): Auswirkungen solarer, klimatischer und atmosphärischer Komponenten auf landwirtschaftliche Erträge? Ber. Inst. Landsch. Pflanzenökol. Univ. Hohenheim, Heft 14/15/16, 2004-2006, S. 67-78.

Füssel, H.-M. & Klein, R.J.T. (2006): Climate Change Vulnerability Assessments: An Evolution of Conceptual Thinking. In: Climatic Change, Vol. 75 (3), S. 301-329.

FVA/Forstliche Versuchsanstalt Baden-Württemberg (2010): Baumarteneignung Fichte und Buche bei Klimawandel, abzurufen unter: http://www.fva-bw.de/indexjs.html?http://www.fva-bw.de/ forschung/beschreibung.php?PID=842&ber=proj&P=projekte.php?ber=proj [02.03.2011].

Hülemeyer, K.; Weis, M. & Glawion, R. (2008): Entwicklung, Modellierung und Bewertung von Szenarien als Beitrag zur Ableitung von Landschaftsleitbildern für eine nachhaltige Entwicklung ländlicher Räume. In: Erdmann, K.-H.; Löffler, J. & Roscher, S. (Bearb.): Naturschutz im Kontext einer nachhaltigen Entwicklung - Ansätze, Konzepte, Strategien (= Naturschutz und Biologische Vielfalt, Heft 67), S. 177-218.

Katterfeldt, D. & Ratzel, S. (2010): Grad°wanderung – Klima im Wandel (= Stuttgarter Beiträge zur Naturkunde, Serie C, Band 70), Ludwigsburg.

KLIWA (2005): Projekt A 1.1.1 und A1.1.2 - Langzeitverhalten von Gebietsniederschlägen in Baden-Württemberg und Bayern (Heft 7), abzurufen unter: http://www.kliwa.de/index.php?pos= ergebnisse/hefte/ [10.01.2011].

Koppe, C.; Jendritzky, G.; Kovats, S.; Menne, B.; et al. (2004): Heat-waves: risks and responses. Copenhagen: World Health Organization (Health and Global Environmental Change SERIES, No. 2).

Kovats, S.& Akhtar, R. (2008): Climate, climate change and human health in Asian cities. In: Environment & Urbanization, Jg. 20, 1, S. 165-175.

Kropp, J.; Holsten A.; et al. (2009): Klimawandel in Nordrhein-Westfalen - Regionale Abschätzung der Anfälligkeit ausgewählter Sektoren. Abschlussbericht, Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung.

Landeshauptstadt Stuttgart, Amt für Umweltschutz (2010): Der Klimawandel – Herausforderung für die Stadtklimatologie, Stuttgart (Schriftenreihe des Amtes für Umweltschutz - Heft 3/2010).



Levitt, J. (1980): Plant Responses to Environmental Stresses – Vol. 1 Chilling, freezing, and high temperature stresses, London.

Marks, R.; Müller, M. J.; Leser, H. & Klink, H.-J. (Hrsg.) (1992): Anleitung zur Bewertung des Leistungsvermögens des Landschaftshaushalts (BA LVL). Forschungen zur Deutschen Landeskunde, Bd. 229, Trier.

LUBW (Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg) (2005): Der Klimawandel in Baden-Württemberg, abzurufen unter http://www.kliwa.de/download/kliwazukunftsberbw.pdf [08.04.2011].

LUBW (Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg) & MUNV (Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr Baden-Württemberg) (2010): Klimawandel in Baden-Württemberg – Fakten – Folgen – Perspektiven, Stuttgart.

Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (2009): Handbuch Stadtklima, Düsseldorf.

Minnich, L. (2010): Gesundheitliche Folgen des Klimawandels bei erhöhter Wärmebelastung in der Region Stuttgart – Eine räumliche Vulnerabilitätsuntersuchung. Diplomarbeit an der Fakultät Bauund Umweltingenieurwissenschaften der Universität Stuttgart.

Nobis, M. P.; Jaeger, J.A.G. & Zimmermann, N. E. (2009): Neophyte species richness at the landscape scale under urban sprawl and climate warming. In: Diversity and Distributions 15 (6), S. 928-939.

Ott, K.; Epple, C.; Korn, H.; Piechocki, R.; Potthast, T; Voget, L. & Wiersbinski (2010): Vilmer Thesen zum Naturschutz im Klimawandel. In: Natur und Landschaft, Jahrgang 85, Nr. 6, S. 29-33.

Overbeck, G. (2010): Indirekte und direkte Auswirkungen des Klimawandels auf die Landschaft. In: Demuth, B.; Heiland, S.; Wojtkiewicz, W.; Wiersbinski, N. & Finck, P. (Bearb.): Landschaften in Deutschland 2030 – Der große Wandel (= BfN-Skripten 284), S. 38-49.

Peet, M. M.; Sato, S. & Gardner, R. G. (1998): Comparing heat stress effects on male-fertile and male-sterile tomatoes. In: Plant Cell Environ 21, S. 225-231.

Petermann, J.; Balzer, S.; Ellwanger, G.; Schröder, E. & Ssymank, A. (2007): Klimawandel - Herausforderung für das europaweite Schutzgebietssystem Natura 2000. In: Balzer, S.; Dieterich, M. & Beinlich, B. (Bearb.): Natura 2000 und Klimaänderungen (= Naturschutz und Biologische Vielfalt, Heft 46), S. 127-148.

Polowick, P. L. & Sawhney, V. K. (1988): High temperature induced male and female sterility in canola (Brassica napus L.). In: Ann. Bot. 62, S. 83-86.

Regionale Klimabüros (2011): Regionaler Klimaatlas, abzurufen unter http://www.regionaler-klimaatlas.de/ [08.04.2011].

Reichholf, J. H. (2007): Stadtnatur. Eine neue Heimat für Tiere und Pflanzen, München.

Ries, C. (1992): Überblick über die Ackerunkrautvegetation Österreichs und ihre Entwicklung in neuerer Zeit (= Diss. Bot. 187), Vaduz.

Roweck, H. (1995): Landschaftsentwicklung über Leitbilder. In: LÖBF-Mitteilungen 4/95, S. 25-34.

Schlüter, H. (1987): Der Natürlichkeitsgrad der Vegetation als Kriterium der ökologischen Stabilität der Landschaft. In: Miyawaki, A. et al. (Hrsg.): Vegetation Ecology and Creation of New Environments, Tokio, S. 93-102.

Stock, M., Kropp, J. P. & O. Walkenhorst: Risiken, Vulnerabilität und Anpassungserfordernisse für klimaverletzliche Regionen. In: Raumforschung und Raumordnung (2009), Nr. 2, S. 97–113.

Teuffel, K. von (2007): Klimawandel – Auswirkungen auf die Forstwirtschaft. In: Landinfo 5/2007, S. 40-46.



UBA (Umweltbundesamt) (2011): Daten zur Umwelt – Umweltzustand in Deutschland, abzurufen unter http://www.umweltbundesamt-daten-zur umwelt.de/umweltdaten/public/theme.do?nodeIdent= 2700 [08.04.2011].

VLK (Verband der Landwirtschaftskammern) (Hrsg.) (2010): Klimawandel und Landwirtschaft – Anpassungsstrategien im Bereich Pflanzenbau, abzurufen unter: http://www. landwirtschaftskammer. de/extern/vlk/pdf/klimawandel.pdf [24.03.2011].

Vester, F. (2008): Die Kunst vernetzt zu Denken – Ideen und Werkzeuge für einen neuen Umgang mit Komplexität, München.

Wahid, A.; Gelani, S.; Ashraf, M. & Foolad, M. R. (2007): Heat tolerance in plants: An overview. In: Environmental and Experimental Botany 61, S. 199-223.

Waldmann, F. (2007): Bodenzustandsbericht der Region Stuttgart. Fachthema Bodenerosion durch Wasser – Datengrundlagen, Methoden, Ergebnisse (unveröffentlichtes Gutachten).

Weis, M. (2008): Methode zur Entwicklung von Landschaftsleitbildern mithilfe einer dynamischen Landschaftsmodellierung - erarbeitet am Fallbeispiel Hinterzarten im Hochschwarzwald. Dissertation, Universität Freiburg.

Wildbienen-Kataster (2011): Arten-Info Wildbienen, abzurufen unter: http://www.wildbienen-kataster.de [14.03.2011].

Wittig, R. (2008): Siedlungsvegetation, Ökosysteme Mitteleuropas aus geobotanischer Sicht, Stuttgart.

Young, L. W.; Wilen, R. W. & Bonham-Smith, P. C. (2004): High temperature stress of Brassica napus during flowering reduces micro- and megagametophyte fertility, induces fruit abortion, and disrupts seed production. In: J. Exp. Bot. 55, S. 485-495.

Zebisch, M.; Grothmann, T.; Schröter, D.; Hasse, C.; Fritsch, U. & Cramer, W. (2005): Climate change in Germany. Vulnerability and adaption of climate sensitive sectors, Dessau.



Anhang

1. Skalierungen und Bewertungsklassen der Indikatoren (Naturschutz)

Tab. A-1: Bewertungsklassen des Indikators "Grund-/Oberflächenwasserabhängigkeit" (Skalierung nach Petermann et al. 2007).

Stufe	Beschreibung
3	hoch
2	mittel
1	gering

Tab. A-2: Bewertungsklassen und Skalierung des Indikators "Qualität der Umgebungslandschaft". Die Umgebung eines Biotops wird als 200m-Ringpuffer definiert, wobei das unmittelbare Biotopumfeld (die ersten 50m) bei der Berechnung doppelt gewichtet werden.

Stufe	Beschreibung	Skalierung (bezogen auf die Henrobie-Skala von Schlüter 1987)		
1	anthropogener Einfluss in der Umgebung des Biotops niedriger oder vergleichbar (Umfeld von hoher Qualität)	Die Differenz zwischen dem Hemerobiegrad des	≤ 1,5	
2	anthropogener Einfluss in der Umgebung des Biotops höher (Umfeld von mäßiger Qualität)	Biotops und dem flächen- gewichteten Mittelwert des Hemerobiegrads sei-]1,5 – 3]	
3	anthropogener Einfluss in der Umgebung des Biotops sehr viel höher (Umfeld von geringer Qualität)	ner Umgebung ist	> 3	

Tab. A-3: Bewertungsklassen des Indikators "Gegenwärtige Veränderung der Biotopqualität" (Skalierung nach "Rote Liste der Biotoptypen Baden-Württembergs", Breunig 2002).

Stufe	Beschreibung
2	starke Abnahme der Biotopqualität
1	deutliche Abnahme der Biotopqualität
0	keine deutliche Veränderung der Biotopqualität
-1	deutliche Verbesserung der Biotopqualität

Tab. A-4: Bewertungsklassen des Indikators "Risikos eines Neophytenbefalls" (basierend auf Experteneinschätzungen im Rahmen des MORO-Workshops am 26. Juli 2010).

Stufe	Beschreibung
3	hoch
2	mittel
1	gering

Tab. A-5: Bewertungsklassen des Indikators "Regenerierbarkeit" (Skalierung nach "Rote Liste der Biotoptypen Baden-Württembergs", Breunig 2002).

Stufe	Beschreibung
4	nicht regenerierbar
3	kaum regenerierbar
2	schwer regenerierbar
1	relativ leicht regenerierbar



2. Liste der untersuchten Biotoptypen

Tab. A-6: Biotoptypen in der Region Stuttgart mit Zuordnung der Grund- bzw. Oberflächenwasserabhängigkeit (W), dem Risiko eines Neophytenbefalls (NEO), der Veränderung der Biotopqualität (Qu) und der Regenerierbarkeit (Re). Terrestrisch-morphologisch definierten Biotoptypen - mit Ausnahme "offener Felsbildungen" und "Trockenmauern" - werden aufgrund fehlender Angaben zur Vegetation diese Größen nicht zugeordnet. Die Skalierungen und Bewertungsklassen der Merkmale werden in Anhang 1 beschrieben.

Biotoptyp	W	NEO	Qu	Re
Zwergstrauchheide	1	2	1	2
Wacholderheide	1	1	1	2
Magerrasen	1	2	1	2
Saumvegetation trockenwarmer Standorte	1	3	1	2
Seggen- und binsenreiche Nasswiesen, Streuwiesen	3	3	2	2
Röhrichte und Großseggen-Riede in Tümpeln oder Verlandungszonen	3	3	2	1
Röhrichte und Großseggen-Riede auf feuchten bis nassen Standorten	3	3	1	1
Sümpfe, Hochstaudenfluren (selten Kleinseggenriede)	3	3	0	1
Quellbereiche mit verschiedenen Feuchtbiotoptypen	3	3	2	2
Feldgehölze und Feldhecken	2	2	1	2
Gebüsch trockenwarmer Standorte	1	1	1	2
Strukturreiche Waldränder	2	1	1	2
Gebüsch feuchter Standorte	3	1	1	1
Wälder trockenwarmer Standorte	1	1	0	3
Eichen- und Hainbuchen-Eichen-Wälder mittlerer Standorte	1	1	0	3
Naturnahe Schlucht-, Blockhalden- und Hangschuttwälder	3	2	0	3
Buchenreiche Wälder mittlerer Standorte	2	3	1	3
Wälder als Reste historischer Bewirtschaftungsformen mit naturnaher Begleitvegetation (v.a. ehemalige Hutewälder)	2	2	2	3
Naturnahe Auwälder	3	3	2	3
Naturnahe Sumpfwälder	3	3	2	3
Naturnahe Bruchwälder	3	3	2	3
Hohlweg				
Steinriegel				
Trockenmauer	1	2	1	1
Offene Felsbildung	1	1	1	1
Offene natürliche Block- Schutt- und Geröllhalden				
Doline				
Höhlen				
Tobel und Klingen im Wald mit naturnaher Begleitvegetation				
Altarm oder Altwasser	3	3	2	3
Naturnaher Bachabschnitt	3	3	2	2
Stillgewässer	3	3	2	1



3. Hemerobie der Region Stuttgart

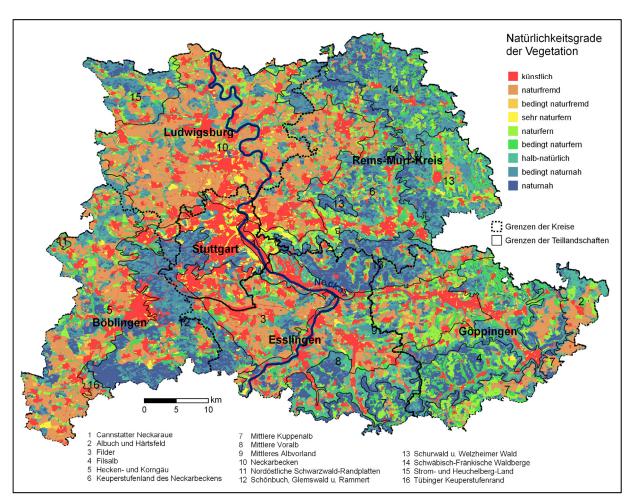


Abb. A-1: Natürlichkeitsgrade der Vegetation. Zuweisung der Stufen nach Schlüter 1987 (Datengrundlagen: Biotopinformationssystem der Region Stuttgart, Waldbiotopkartierung, §32- Biotopkartierung).

4. Skalierungen und Bewertungsklassen der Indikatoren (Landwirtschaft)

Tab. A-6: Bewertungsklassen und Skalierung des Indikators "Erosionsgefährdung durch Wasser".

Stufe	Beschreibung	Mittlerer langjähriger Bodenabtrag [t/ha*a ⁻¹)
6	äußerst hoch	größer 12
5	sehr hoch	6 bis 12
4	hoch	3 bis 6
3	mittel	2 bis 3
2	sehr gering und gering	< 2



Tab. A-7: Bewertungsklassen des Indikators "Erosionsgefährdung durch Wind" (Skalierung nach AG Bodenkunde 1982 und Schmidt in Marks et al. 1992, siehe Tabelle A-10).

Stufe	Beschreibung
1	ohne
2	sehr gering
3	gering
4	mittel
5	groß
6	sehr groß

Tab. A-8: Die Feuchtestufen des Bodens als Indikator für die Trockenstressgefährdung des Standorts (Kennzeichnung der Stufen nach DIN 19686 E, AG Bodenkunde 1982).

Stufe	Beschreibung
1	offenes Wasser
2	nass
3	feucht
4	mäßig feucht und wechselfeucht
5	frisch und mäßig frisch
6	mäßig rocken und wechseltrocken
7	trocken
8	sehr trocken

Tab. A-9: Die mittlere Anzahl der Hitzetage* (1971-2000) als Indikator für die Hitzegefährdung von Feldfrüchten.

Stufe	Beschreibung	Mittlere Anzahl der Hitzeta- ge* (1971-2000)
5	sehr hoch	12 bis 15
4	hoch	9 bis 11
3	mittel	6 bis 8
2	gering	3 bis 5
1	sehr gering	0 bis 2

^{*} Tage an denen die Temperatur über 30°C steigt.



Tab. A-10: Verfahren zur Bewertung des Widerstands von Mineralböden gegenüber Bodenerosion durch Wind (nach AG Bodenkunde 1982 und Schmidt in Marks et al. 1992).

Bodenart des Ober- bodens	Humus- gehalt (%)	Ökologischer Feuchtegrad*				
		I-III	IV	V	VI	VII- VIII
Ton, Schluff, Lehm		6	6	5	5	5
stark lehmiger und lehmiger Sand	über 4 bis 4	6 6	5 4	4 3	3	3 3
Schwach lehmiger und schluffiger Sand, Feinst- und Grobsand	über 4 bis 4	6 6	4 3	3 2	2 2	1 1
Mittel- und Feinsand	über 4 bis 4	6 6	3 2	2 1	1 1	1 1

* Kennzeichnung nach DIN 19686 E (AG Bodenkunde 1982):

I offenes Wasser

II nass

III feucht

IV mäßig feucht und wechselfeucht

V frisch und mäßig frisch

VI mäßig trocken und wechseltrocken

VII trocken
VIII sehr trocken

Klassen des Erosionswiderstandes	Stufen der Erosionsanfälligkeit				
6 sehr groß 5 groß 4 mittel 3 mäßig 2 gering 1 sehr gering	ohne sehr gering gering mittel groß sehr groß				



5. Indikatoren und Datenquellen zur Bewertung der Vulnerabilität gegenüber Hit zestress

Tab. A-11: Beschreibung der im Vulnerabilitätsmodell zur Einschätzung der Hitzebelastung eingesetzten Daten (nach Minnich 2010: 64).

	Indikator	Datensatz	Jahr	Тур	Geo	Auflösung	Bearbeitung	Quelle
1.	Wärmebelastung Ist	Tage mit Wärmebelastung / Jahr lt. DWD	1971 - 2000	R	_	50 m	-	DWD
2.	Wärmebelastung Projektion	Tage mit Wärmebelastung / Jahr lt. REMO A1B	2071 - 2100	R	-	5 km	aus Bilddatei, Umrechnung Skala	WWF / IfW
3.	${\bf Regenerations m\"{o}glichkei-}$ ${\bf ten}$	Erreichbarkeit von Grünflächen (gewichtet)	2009	R	_	50 m	Widerstandsanaly- se	ALK
4.	Schadstoffbelastung	Emissionen von NO_x , CO , PM10, $NMVOC$	2004	R	_	1 km	Normierung, Addition	LUBW
5.	Senioren	Anteil Personen ü. 65 J.	2025	(V)	Poly	Gem. / Bez.	Abgleich S Bez.	StatAmtS / Pestel
6.	Alte Menschen	Anteil Personen ü. 75 J.	2025	(V)	Poly	Gem. / Bez.	Abgleich S Bez.	StatAmtS / Pestel
7.	Alleinstehende	Haushaltsgröße	2006 / 2009	(V)	Poly	Gem. / Bez.	Abgleich S Bez.	StatAmtS / Pestel
8.	Kinder	Anteil Personen u. 7 J.	2025	(V)	Poly	Gem. / Bez.	Abgleich S Bez.	StatAmtS / Pestel
9.	Bildungsstand	Quote Grundschule \rightarrow Gymnasium	2008 / 2009	(V)	Poly	Gem.	_	StaLaBW
10.	Armut	Ungebundene Kaufkraft / Ew.	2005	(V)	Poly	Gem. / Bez.	Abgleich S Bez.	StaLaBW
11.	Migrationshintergrund	Ausländeranteil	2008	(V)	Poly	Gem. / Bez.	Abgleich S Bez.	StaLaBW
12.	Bevölkerungsdichte	Bevölkerungsdichte	2005 / 2006 / 2009	R		50 m	eigene Berechnung	ALK / StatAmtS, VRS
13.	Sensitivität von Einrichtungen	Lage und Kapazität von Einrichtungen	2007	V	Pkt	_	Geocodierung der Adressen	VRS
14.	Flächeninanspruchnahme	SuV-Wachstum seit 1988	1988 - 2008	(V)	Poly	Gem. / Gmrk.	_	AmtlFlStat
15.	Entwicklung der Flächeninanspruchnahme	SuV-Wachstum seit 2004 im Vgl. zu 14.	2004 - 2008	(V)	Poly	Gem. / Gmrk.	eigene Berechnung	AmtlFlStat
16.	Regionale Entwicklungsachsen	Länge von / Nähe zu Achsen lt. RegPl	2002	V	L	-	eigene Berechnung	VRS
17.	Finanzieller Spielraum	Schuldenstand / Ew.	2009	(V)	Poly	Gem.	-	StaLaBW



Ergänzung zum Vulnerabilitätsbericht der Region Stuttgart

Mai 2011

Manuel Weis

Neue Daten zur natürlichen Bodenerosionsgefährdung landwirtschaftlich genutzter Flächen

Mit den durch das Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (LGRB) im Auftrag der LUBW vorgelegten "Arbeitskarten Bodenerosion" liegen seit kurzem landesweit für jedes landwirtschaftlich genutzte Flurstück Ergebnisse zum K-Faktor (Erodierbarkeit der Böden), S-Faktor (Einfluss der Hangneigung) und R-Faktor (Regenerosivitätsfaktor) der Allgemeinen Bodenabtragsgleichung vor, mit denen die *natürliche* Bodenerosionsgefährdung abgeschätzt werden kann. Der aktuelle Bewirtschaftungseinfluss wird dabei nicht berücksichtigt.

Das in Kapitel 2.2.2.3 des Vulnerabilitätsberichts vorgestellte Bewertungsmodell zur Abschätzung der Klimasensitivität der ackerbaulichen Nutzung verwendet die *aktuelle* Erosionsgefährdung, womit die heutige Nutzungsart der Ackerflächen in die Bewertung einbezogen wird (verwendete Datengrundlage: Waldmann 2007). Die nun vorliegenden Daten zur *natürlichen* Gefährdung sind für die Formulierung von Anpassungsstrategien an den Klimawandel eine gute Ergänzung (vgl. Vulnerabilitätsbericht S. 21). Einen Mehrwehrt liefern sie nicht zuletzt deshalb, weil neben den Ackerflächen auch die natürliche Erosionsgefährdung von Grünlandflurstücken berechnet wurde. Vor dem Hintergrund des zu beobachtenden zunehmenden Grünlandumbruchs gewinnen diese Informationen an Bedeutung und wurden daher für die vorliegende Auswertung entsprechend aufbereitet.

Die Bezugsgeometrie der "Arbeitskarten Bodenerosion" bilden Flurstücke, wobei sich die Bewertung der natürlichen Erosionsgefährdung stets nur auf den landwirtschaftlich genutzten Teil eines Flurstücks bezieht (Waldmann 2010). Um eine Vergleichbarkeit mit den im Vulnerabilitätsbericht gedruckten Karten zu gewährleisten, deren Angaben sich nicht auf Flurstücke, sondern auf Flurstückgruppen (Feldblöcke, vgl. Vulnerabilitätsbericht S. 50) beziehen, wurden die neuen Informationen auf die bisherige Geometrie übertragen, indem die flächengewichteten Mittelwerte des Bodenabtrags berechnet wurden.

Es sei darauf hingewiesen, dass den "Arbeitskarten Bodenerosion" die Bodenschätzung zugrunde liegt, wohingegen die Bewertung der aktuellen Erosionsgefährdung auf Grundlage der digitalen Bodenkarte der Region Stuttgart 1:50.000 vorgenommen wurden. Diskrepanzen in den Aussagen sind ggf. mit den unterschiedlichen Datengrundlagen zu erklären.

Die folgenden Karten 1 bis 3 sind Äquivalente der Abbildungen 33 bis 35 im Vulnerabilitätsbericht. Sie zeigen die natürliche Bodenerosionsgefährdung der heutigen Ackerflächen und stellen sie auch in Kombination mit den künftigen Veränderungen des Niederschlagsregimes dar (zur Problematik der Klimaprojektionen siehe Vulnerabilitätsbericht S. 54). Die Karten 4 und 5 zeigen die Verbreitung von Grünlandflächen in der Region Stuttgart beziehungsweise deren natürliche Erosionsgefährdung.



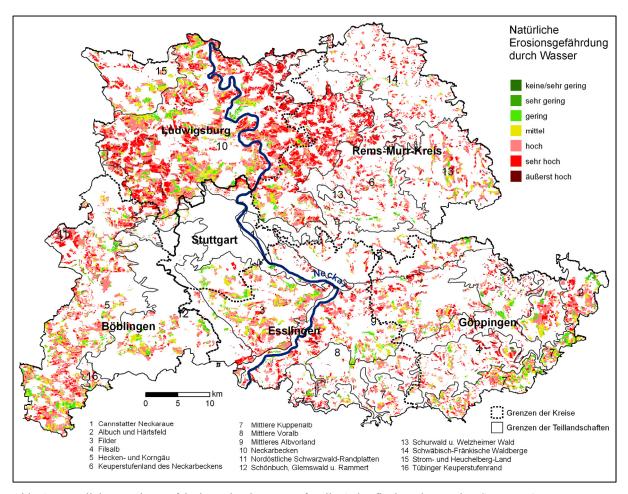


Abb. 1. Natürliche Erosionsgefährdung durch Wasser für die Ackerflächen der Region Stuttgart (Bezugsgeometrie: Feldblöcke) (Datengrundlage: Waldmann 2010). Zur Skalierung der Bewertungsklassen siehe Anhang.

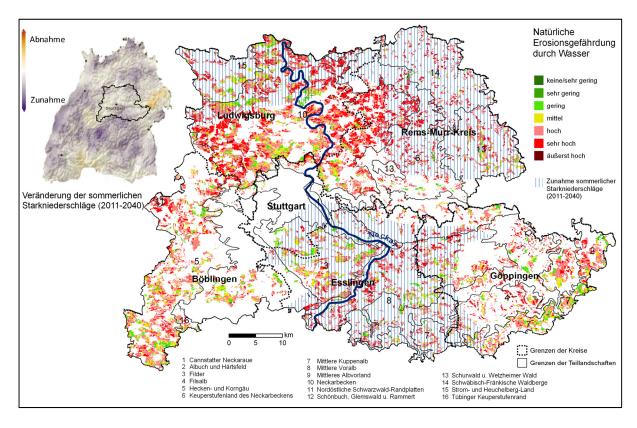




Abb. 2: Natürliche Erosionsgefährdung durch Wasser für die Ackerflächen der Region Stuttgart und künftige Veränderung sommerlicher Starkniederschläge. Die Nebenkarte stellt für Baden-Württemberg dar, wo mit hoher Wahrscheinlichkeit sommerliche Starkniederschläge zu- oder abnehmen. Quelle: IMK-TRO/KIT 2010 (entnommen aus Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg & Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr Baden-Württemberg 2010: 9). Die Hauptkarte beschreibt für die Region Stuttgart die Erosionsgefährdung durch Wasser auf Feldblockbasis und kennzeichnet außerdem Bereiche, in denen es mit hoher Wahrscheinlichkeit zu einer starken Zunahme sommerlicher Starkniederschläge kommt (Datengrundlagen: Waldmann 2010, ebenda). Zur Skalierung der Bewertungsklassen siehe Anhang.

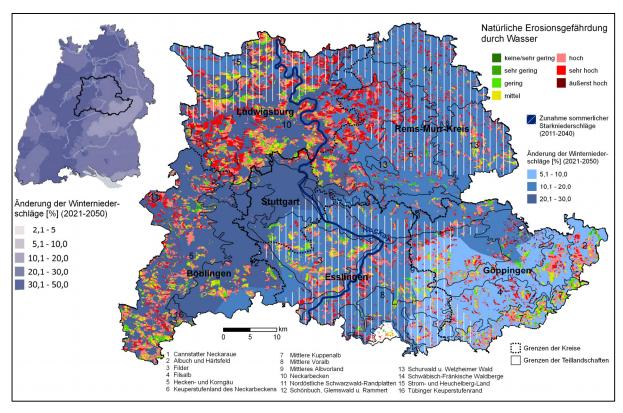


Abb. 3: Erosionsgefährdung durch Wasser für die Ackerflächen der Region Stuttgart und künftige Veränderung des Niederschlagsregimes. Die Nebenkarte stellt für Baden-Württemberg die prozentuale Änderung der Wintersumme (Nov.-Apr.) des Niederschlags dar. Es wurde der Zeitraum 2021 bis 2050 in Bezug auf 1971 bis 2000 simuliert. Quelle: LUBW 2007 (entnommen aus Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg & Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr Baden-Württemberg 2010: 9). Die Hauptkarte beschreibt für die Region Stuttgart die natürliche Erosionsgefährdung durch Wasser auf Feldblockbasis und stellt gleichzeitig die Veränderung der Winterniederschläge und der sommerlichen Starkniederschläge dar (Datengrundlagen: Waldmann 2010, ebenda). Zur Skalierung der Bewertungsklassen siehe Anhang.



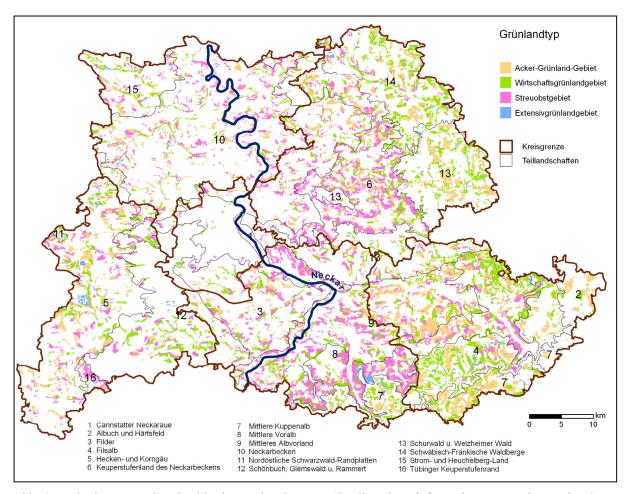


Abb. 4: Verbreitung von Grünland in der Region Stuttgart (Quelle: Biotopinformationssystem der Region Stuttgart).



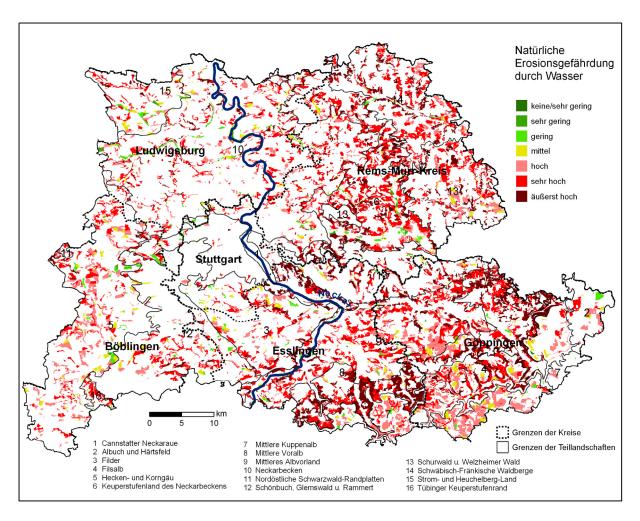


Abb. 5 Natürliche Erosionsgefährdung durch Wasser für das Grünland in der Region Stuttgart (Bezugsgeometrie: Grünlandgebiete, Biotopinformationssystem der Region Stuttgart) (Datengrundlage: Waldmann 2010).



Literatur

Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg & Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr Baden-Württemberg (2010): Klimawandel in Baden-Württemberg – Fakten – Folgen – Perspektiven, Stuttgart.

Waldmann, F. (2007): Bodenzustandsbericht der Region Stuttgart. Fachthema Bodenerosion durch Wasser – Datengrundlagen, Methoden, Ergebnisse (unveröffentlichtes Gutachten).

Waldmann, F. (2010): Arbeitskarten Bodenerosion – Berechnung und Bereitstellung landesweiter Daten zur potenziellen, natürlichen Bodenerosionsgefährdung durch Wasser nach DIN 19708 (unveröffentlichtes Gutachten).

Anhang

Tab. A-1: Klasseneinteilung – Natürliche Bodenerosionsgefährdung durch Wasser nach DIN 19708 (ergänzt um die Stufe "äußerst hoch") (nach Waldmann 2010).

Mittlerer langjähriger Bodenabtrag [t/ha*a ⁻¹)	Natürliche Bodenerosi- onsgefährdung			
< 0,5	keine bis sehr gering			
0,5 bis <2,5	sehr gering			
2,5 bis <5,0	gering			
5,0 bis <7,5	mittel			
7,5 bis <15	hoch			
15 bis <35	sehr hoch			
<u>≥</u> 35	äußerst hoch			