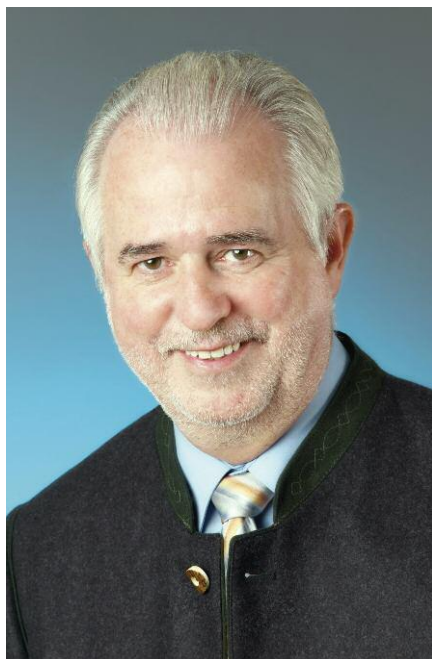


IMPAKT

Integriertes Maßnahmenprogramm
zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels
im Freistaat Thüringen



Vorwort



Das Klima hat seit jeher die Entwicklung des Lebens auf dem Planeten Erde beeinflusst. Eine große Herausforderung unserer Zeit ist der Klimawandel, der zu einem erheblichen Teil vom Menschen verursacht ist. Die Gesellschaft muss noch mehr tun, um die Treibhausgase und die globale Erwärmung zu reduzieren. Gleichzeitig müssen sich die Menschen auf den Klimawandel einstellen: seine Auswirkungen beobachten, die Klimaentwicklung richtig einschätzen und rechtzeitig Wege der Anpassung gehen.

Die Klimaveränderungen machen nicht vor Thüringen Halt. Deshalb hat die Thüringer Landesregierung, aufbauend auf dem Thüringer Klima- und Anpassungsprogramm von 2009, das Integrierte Maßnahmenprogramm zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels im Freistaat Thüringen (IMPAKT) erstellt.

Darin werden die für Thüringen vorliegenden Klimadaten wissenschaftlich ausgewertet. Anhand ausgewählter Klimamodelle werden verschiedene Szenarien der regionalen Klimaentwicklung in Thüringen dargestellt. Aus den erkennbaren Trends haben Experten der Firma GeoNet Umweltconsulting - in Zusammenarbeit mit den Fachministerien und der Thüringer Klimaagentur - für verschiedene Handlungsfelder mögliche Folgen und den Anpassungsbedarf abgeleitet.

IMPAKT empfiehlt der Politik und der Gesellschaft ein Paket von rund 170 Maßnahmen. Das Paket ermöglicht dem Freistaat sowohl eine gezielte Prävention als auch eine kluge Reaktion auf die Auswirkungen klimatischer Veränderungen. Die Wirksamkeit einzelner Maßnahmen können mit geeigneten Indikatoren überprüft werden. Ergänzt um ein geplantes Monitoring-System für den Klimawandel in Thüringen lassen sich damit die Empfehlungen an die tatsächliche Entwicklung anpassen.

Mit IMPAKT ist Thüringen gut für die Anpassung an den Klimawandel gerüstet. Das Programm bildet den Ausgangspunkt für den gesellschaftlichen Dialog und das strategische Handeln. Denn die eigentliche Aufgabe besteht darin, die Anpassungen in gemeinschaftlicher Anstrengung umzusetzen. Dazu wünsche ich uns im Interesse unserer und der nachfolgenden Generationen viel Erfolg!

A handwritten signature in black ink, reading "Jürgen Reinholz".

Jürgen Reinholz
Minister für Landwirtschaft,
Forsten, Umwelt und Naturschutz

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	2
Abbildungsverzeichnis	4
Tabellenverzeichnis	6
Abkürzungsverzeichnis	7
1. Ausgangslage und Ziele	11
2. Der Entwicklungsprozess von IMPAKT	15
3. Regionale Auswirkungen des (globalen) Klimawandels in Thüringen	18
3.1 Methodik	18
3.2 Ergebnisse für die Hauptklimaparameter	22
3.2.1 Temperatur	22
3.2.2 Niederschlag	23
3.2.3 Wind	30
3.3 Umgang mit den Modellergebnissen	33
4. Klimafolgen und Anpassungsmaßnahmen in den für Thüringen relevanten Handlungsfeldern	36
4.1 Menschliche Gesundheit	36
4.1.1 Nichtinfektiöse Krankheiten	37
4.1.2 Infektiöse Krankheiten	43
4.2 Wasserwirtschaft	46
4.2.1 Oberflächengewässer	47
4.2.2 Grundwasser	53
4.2.3 Fernwasserversorgung	55
4.3 Landwirtschaft	57
4.3.1 Ackerbau	58
4.3.2 Tierhaltung	62
4.4 Boden	65
4.4.1 Erosion	65
4.4.2 Bodenschadverdichtung	68
4.4.3 Standorttypischer Humusgehalt	70
4.5 Wald und Forstwirtschaft	71
4.5.1 Waldwachstum	71
4.5.2 Holzernte	74
4.5.3 Waldbrand	76
4.5.4 Windwurf und -bruch	78
4.6 Naturschutz	80
4.7 Verkehrswesen	85
4.7.1 Straßenschäden	85
4.7.2 Straßenentwässerung	88
4.7.3 Verkehrssicherheit	90

4.8	Tourismus	94
4.9	Bauwesen	98
	4.9.1 Bauwerke	99
	4.9.2 Stadtklima und Innenraumklima	102
4.10	Energiewirtschaft	105
	4.10.1 Erneuerbare Energien	105
	4.10.2 Energiebedarf	110
	4.10.3 Kritische Energieinfrastruktur	112
4.11	Katastrophenschutz	114
4.12	Raumordnung und Landesplanung	118
5.	Vorschläge für ein indikatorengestütztes Klimafolgenanpassungs- monitoring im Freistaat Thüringen	122
6.	Fazit und Ausblick	126
	Quellenverzeichnis	127
	Anhang: Abbildungen	134

Abbildungsverzeichnis

- Abb. 1: Klimaszenarien und prognostizierter globaler Temperaturverlauf (IPCC 2007)
- Abb. 2: Vereinfachtes Flussdiagramm zur ENVELOPE-Methode
- Abb. 3: Vorherrschende Windrichtungen und Windgeschwindigkeiten in Thüringen
- Abb. 4: Abhängigkeit des beobachteten durchschnittlichen Tagesniederschlags an den Thüringer Wetterstationen von ihrer Höhe über NN
- Abb. 5: Jahresdurchschnittstemperatur im Referenzzeitraum 1961 - 1990 und in den drei Klimaprojektionszeiträumen
- Abb. 6: Jahreszeitliche Durchschnittstemperaturen im Referenzzeitraum 1961 - 1990 und in den drei Klimaprojektionszeiträumen (Mittel für Gesamtthüringen)
- Abb. 7: Durchschnittliche jährliche Niederschlagssumme für drei Klimaprojektionszeiträume im Vergleich zum Referenzzeitraum 1961 - 1990
- Abb. 8: Durchschnittliche Niederschlagssumme im Sommer (J/J/A) für drei Klimaprojektionszeiträume im Vergleich zum Referenzzeitraum 1961 - 1990
- Abb. 9: Durchschnittliche Niederschlagssumme im Winter (D/J/F) für drei Klimaprojektionszeiträume im Vergleich zum Referenzzeitraum 1961 - 1990
- Abb. 10: Durchschnittliche Niederschlagssumme im Frühling (M/A/M) für drei Klimaprojektionszeiträume im Vergleich zum Referenzzeitraum 1961 - 1990
- Abb. 11: Durchschnittliche Niederschlagssumme im Herbst (S/O/N) für drei Klimaprojektionszeiträume im Vergleich zum Referenzzeitraum 1961 - 1990
- Abb. 12: Durchschnittliche jahreszeitliche Niederschlagssummen im Referenzzeitraum 1961 - 1990 und in drei Klimaprojektionszeiträumen (Mittel für Gesamtthüringen)
- Abb. 13: Durchschnittliche Jahreswindstärke für drei Klimaprojektionszeiträume im Vergleich zum Referenzzeitraum 1961 - 1990
- Abb. 14: Durchschnittliche Windgeschwindigkeit im Sommer (J/J/A) für drei Klimaprojektionszeiträume im Vergleich zum Referenzzeitraum 1961 - 1990
- Abb. 15: Durchschnittliche Windgeschwindigkeit im Winter (D/J/F) für drei Klimaprojektionszeiträume im Vergleich zum Referenzzeitraum 1961 - 1990
- Abb. 16: Durchschnittliche jahreszeitliche Windgeschwindigkeit im Referenzzeitraum 1961 - 1990 und in drei Klimaprojektionszeiträumen (Mittel für Gesamtthüringen)
- Abb. 17: Durchschnittliche jährliche Auftrittshäufigkeit von Hitzetagen in den drei Klimaprojektionszeiträumen und dem Referenzzeitraum 1961 - 1990
- Abb. 18: Extremwerte der jährlichen Auftrittshäufigkeit von Hitzetagen für die drei Klimaprojektionszeiträume und den Referenzzeitraum 1961 - 1990 in den Thüringer Großstädten
- Abb. 19: Durchschnittliche sommerliche (J/J/A) Sonnenscheindauer für die drei Klimaprojektionszeiträume im Vergleich zum Referenzzeitraum 1961 - 1990
- Abb. 20: Demographie in Deutschland – Zu erwartende Veränderung der Bevölkerungszahlen nach Bundesländern, 2060 gegenüber 2010 (in %)
- Abb. 21: Durchschnittliche Auftrittshäufigkeit von Starkregenereignissen > 50 mm/Tag für die drei Klimaprojektionszeiträume und den Referenzzeitraum 1961 - 1990
- Abb. 22: Extremwerte der maximalen Tagesniederschlagsmengen für die drei Klimaprojektionszeiträume und den Referenzzeitraum 1961 - 1990 in den acht großen FEG Thüringens
- Abb. 23: Durchschnittliche jährliche Auftrittshäufigkeit von Trockenperioden für die drei Klimaprojektionszeiträume und den Referenzzeitraum 1961 - 1990
- Abb. 24: Durchschnittliche jährliche KWB (meteorologisches Jahr) je Grundwasserkörper für die drei Klimaprojektionszeiträume im Vergleich zum Referenzzeitraum 1961 - 1990
- Abb. 25: Klimatische Wasserbilanz für das meteorologische Jahr sowie den hydrologischen Sommer und Winter in den Einzugsgebieten der drei großen Thüringer Talsperren für die drei Klimaprojektionszeiträume und den Referenzzeitraum 1961 - 1990

- Abb. 26: Durchschnittliche jährliche KWB in der ackerbaulichen Vegetationsperiode in den drei Klimaprojektionszeiträumen im Vergleich zum Referenzzeitraum 1961 - 1990
- Abb. 27: Durchschnittlich jährliche Auftretshäufigkeit von Frostperioden für die drei Klimaprojektionszeiträume und den Referenzzeitraum 1961 - 1990
- Abb. 28: Durchschnittliche jährliche Auftretshäufigkeit von erosiven Starkregenereignissen $> 20 \text{ mm/d}$ im Frühling (M/A/M) und Herbst (S/O/N) für die drei Klimaprojektionszeiträume im Vergleich zum Referenzzeitraum 1961 - 1990
- Abb. 29: Durchschnittliche KWB in der forstlichen Vegetationsperiode je Wuchsbezirk für die drei Klimaprojektionszeiträume im Vergleich zum Referenzzeitraum 1961 - 1990
- Abb. 30: Durchschnittliche Niederschlagssumme im hydrologischen Winterhalbjahr je Wuchsbezirk für die drei Klimaprojektionszeiträume im Vergleich zum Referenzzeitraum 1961 - 1990
- Abb. 31: Durchschnittliche jährliche Auftretshäufigkeit von Tagen mit hoher und sehr hoher Waldbrandgefahr je Wuchsbezirk für die drei Klimaprojektionszeiträume im Vergleich zum Referenzzeitraum 1961 - 1990
- Abb. 32: Maximale Jahreswindböengeschwindigkeit in 10 m Höhe je Wuchsbezirk für die drei Klimaprojektionszeiträume im Vergleich zum Referenzzeitraum 1961 - 1990
- Abb. 33: Durchschnittliche jährliche Auftretshäufigkeit von Tagen mit $T_{\text{max}} > 30 \text{ °C}$ je Naturraum für die drei Klimaprojektionszeiträume im Vergleich zum Referenzzeitraum 1961 - 1990
- Abb. 34: Durchschnittliche jährliche Auftretshäufigkeit von zwei aufeinanderfolgenden Tagen mit $T_{\text{min}} < 0 \text{ °C}$ (Tag 1) und $T_{\text{min}} > 0 \text{ °C}$ (Tag 2) für die drei Klimaprojektionszeiträume im Vergleich zum Referenzzeitraum 1961 - 1990
- Abb. 35: Durchschnittliche jährliche Auftretshäufigkeit von Tagen mit $T_{\text{max}} > 25 \text{ °C}$ für die drei Klimaprojektionszeiträume im Vergleich zum Referenzzeitraum 1961 - 1990
- Abb. 36: Durchschnittliche einjähriger Tagesniederschlag für die drei Klimaprojektionszeiträume im Vergleich zum Referenzzeitraum 1961 - 1990
- Abb. 37: Durchschnittliche jährliche Auftretshäufigkeit von Sturmereignissen $> 28 \text{ m/s}$ für die drei Klimaprojektionszeiträume im Vergleich zum Referenzzeitraum 1961 - 1990
- Abb. 38: Maximale Tagesschneemenge für die drei Klimaprojektionszeiträume im Vergleich zum Referenzzeitraum 1961 - 1990
- Abb. 39: Durchschnittliche jährliche Niederschlagsmenge als Schnee im Naturraum Thüringer Wald für die drei Klimaprojektionszeiträume im Vergleich zum Referenzzeitraum 1961 - 1990
- Abb. 40: Durchschnittliche jährliche Auftretshäufigkeit von Tagen mit „Touristenklima“ für die drei Klimaprojektionszeiträume im Vergleich zum Referenzzeitraum 1961 - 1990
- Abb. 41: Maximale Jahreswindböengeschwindigkeit in 10 m Höhe über der Erdoberfläche für die drei Klimaprojektionszeiträume im Vergleich zum Referenzzeitraum 1961 - 1990
- Abb. 42: 3-Tagesmaximumtemperatur in Extremjahren für die drei Klimaprojektionszeiträume und den Referenzzeitraum 1961 - 1990
- Abb. 43: Prozentuale Verteilung der erneuerbaren Stromerzeugung (Endenergie) in Thüringen 2011
- Abb. 44: jährliche Auftretshäufigkeit von mittleren Tageswindgeschwindigkeiten zwischen 8 und 18 m/s für die drei Klimaprojektionszeiträume im Vergleich zum Referenzzeitraum 1961 - 1990
- Abb. 45: Kummulierte durchschnittliche Sonnenscheindauer in den Monaten März bis Mai und September bis November für die drei Klimaprojektionszeiträume im Vergleich zum Referenzzeitraum 1961 - 1990
- Abb. 46: Durchschnittliche Temperatursummendifferenz $< 15 \text{ °C}$ in der Heizperiode für die drei Klimaprojektionszeiträume im Vergleich zum Referenzzeitraum 1961 - 1990
- Abb. 47: Durchschnittliche Temperatursummendifferenz $> 26 \text{ °C}$ für die drei Klimaprojektionszeiträume im Vergleich zum Referenzzeitraum 1961 - 1990
- Abb. 48: Durchschnittliche jährliche Auftretshäufigkeit von Tagen mit hoher und sehr hoher Flächenbrandgefahr für die drei Klimaprojektionszeiträume im Vergleich zum Referenzzeitraum 1961 - 1990

Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Maßnahmen zur Klimafolgenanpassung im Handlungsfeld Gesundheit (nichtinfektiöse Krankheiten)
Tab. 2:	Maßnahmen zur Klimafolgenanpassung im Handlungsfeld Gesundheit (infektiöse Krankheiten)
Tab. 3:	Maßnahmen zur Klimafolgenanpassung im Handlungsfeld Wasserwirtschaft (Oberflächengewässer)
Tab. 4:	Maßnahmen zur Klimafolgenanpassung im Handlungsfeld Wasserwirtschaft (Grundwasser)
Tab. 5:	Maßnahmen zur Klimafolgenanpassung im Handlungsfeld Landwirtschaft (Ackerbau)
Tab. 6:	Maßnahmen zur Klimafolgenanpassung im Handlungsfeld Landwirtschaft (Tierhaltung)
Tab. 7:	Maßnahmen zur Klimafolgenanpassung im Handlungsfeld Boden (Erosion)
Tab. 8:	Maßnahmen zur Klimafolgenanpassung im Handlungsfeld Boden (Bodenschadverdichtung)
Tab. 9:	Maßnahmen zur Klimafolgenanpassung im Handlungsfeld Boden (standorttypischer Humusgehalt)
Tab. 10:	Maßnahmen zur Klimafolgenanpassung im Handlungsfeld Forstwirtschaft (Waldwachstum)
Tab. 11:	Maßnahmen zur Klimafolgenanpassung im Handlungsfeld Forstwirtschaft (Holzernte)
Tab. 12:	Maßnahmen zur Klimafolgenanpassung im Handlungsfeld Forstwirtschaft (Waldbrand)
Tab. 13:	Maßnahmen zur Klimafolgenanpassung im Handlungsfeld Forstwirtschaft (Waldwurf und -bruch)
Tab. 14:	Maßnahmen zur Klimafolgenanpassung im Handlungsfeld Naturschutz
Tab. 15:	Maßnahmen zur Klimafolgenanpassung im Handlungsfeld Verkehrswesen (Straßenschäden)
Tab. 16:	Maßnahmen zur Klimafolgenanpassung im Handlungsfeld Verkehrswesen (Straßenentwässerung)
Tab. 17:	Maßnahmen zur Klimafolgenanpassung im Handlungsfeld Verkehrswesen (Verkehrssicherheit)
Tab. 18:	Maßnahmen zur Klimafolgenanpassung im Handlungsfeld Tourismus
Tab. 19:	Maßnahmen zur Klimafolgenanpassung im Handlungsfeld Bauwesen (Bauwerke)
Tab. 20:	Maßnahmen zur Klimafolgenanpassung im Handlungsfeld Bauwesen (Stadt- und Gebäudeklima)
Tab. 21:	Maßnahmen zur Klimafolgenanpassung im Handlungsfeld Energiewirtschaft (Erneuerbare Energien)
Tab. 22:	Maßnahmen zur Klimafolgenanpassung im Handlungsfeld Katastrophenschutz
Tab. 23:	Maßnahmen zur Klimafolgenanpassung im Handlungsfeld Raumordnung und Landesplanung
Tab. 24:	Vorschläge für ein Impact-Indikatorensystem
Tab. 25:	Vorschläge für ein Response-Indikatorensystem

Abkürzungsverzeichnis

ABAG	Allgemeine Bodenabtragsgleichung	KULAP	Kulturlandschaftsprogramm
ARGEBAU	Bauministerkonferenz	KWB	Klimatische Wasserbilanz
ASRA	Technischen Regeln für Arbeitsstätten	LABO	Bund/Länderarbeitsgemeinschaft Bodenschutz
ATKIS	Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem	LEADER	Liaison entre actions de développement de l'économie rurale
AUM	Agrarumweltmaßnahme	LEP	Landesentwicklungsprogramm
BASt	Bundesanstalt für Straßenwesen	MKRO	Ministerkonferenz für Raumordnung
BauGB	Baugesetzbuch	MW	Megawatt
BfN	Bundesamt für Naturschutz	NN	Normalnull
BNatSchG	Bundesnaturschutzgesetz	ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
BUND	Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V.	REP	Regionales Entwicklungskonzept
CLM	Climate Limited-area Modelling-Community	REMO	Regional Climate Modelling
DAS	Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel	RI	Response-Indikatoren
DGM	Digitales Geländemodell	ROG	Raumordnungsgesetz
DIBt	Deutsches Institut für Bautechnik	SRES	Special Report on Emissions and Scenarios
DIN	Deutsches Institut für Normung	SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
DLM	Digitales Landschaftsmodell	STAR	Statistical Regional Model
DWD	Deutscher Wetterdienst	ThürBodSchG	Thüringer Bodenschutzgesetz
EE	Erneuerbare Energien	ThürBKG	Thüringer Brand- und Katastrophenschutzgesetz
EEG	Gesetz über den Vorrang von erneuerbaren Energien	ThürKatSVO	Thüringer Katastrophenschutzverordnung
FBI	Flächenbrandindex	ThürNatG	Thüringer Naturschutzgesetz
FEG	Flusseinzugsgebiet	ThürWaldG	Thüringer Waldgesetz
FFH	Flora-Fauna-Habitat	ThürWG	Thüringer Wassergesetz
FITNAH	Flow Over Irregular Terrain With Natural And Anthropogenic Heat Sources	TrinkwV	Trinkwasserverordnung
GAP	Gemeinsame Agrarpolitik der EU	UV	ultraviolett
GRW	Gemeinschaftsaufgabe zur Verbesserung der regionalen Wirtschaftsstruktur	VDI	Verband Deutscher Ingenieure
GOK	Geländeoberkante	WBI	Waldbrandindex
GWK	Grundwasserkörper	WBZ	Wuchsbezirk
I+K	Information und Kommunikation	WETTREG	Wetterlagen-basierte Regionalisierungsmethode
II	Impact Indikatoren	WHG	Wasserhaushaltsgesetz
IMPAKT	Integrierten Maßnahmenprogramms zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels im Freistaat Thüringen	WKA	Windkraftanlage
IMUK	Institut für Meteorologie und Klimatologie der Universität Hannover	WRRL	Wasserrahmenrichtlinie
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change		
KLIFF	Klimafolgenforschung in Niedersachsen		
KOSTRA	Koordinierte Starkniederschlags-Regionalisierungs-Auswertungen		

Ausgangslage und Ziele

1. Ausgangslage und Ziele

Mit dem 2009 veröffentlichten „Thüringer Klima- und Anpassungsprogramm“ (TMLNU 2009) hat der Freistaat Thüringen den Prozess der Klimafolgenanpassung im Freistaat initiiert. Zur Unterstützung des Anpassungsprozesses wurde im Jahr 2011 die Thüringer Klimaagentur als Fachreferat innerhalb der Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie (TLUG) gegründet.

Unter deren fachlicher Begleitung hat das Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Forsten, Umwelt und Naturschutz (TMLFUN) ebenfalls in 2011 die GEO-NET Umweltconsulting GmbH, Hannover, in Zusammenarbeit mit Prof. Dr. Günter Groß vom Institut für Meteorologie und Klimatologie (IMUK) der Leibniz-Universität Hannover, mit der Erarbeitung des vorliegenden „Integrierten Maßnahmenprogramms zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels im Freistaat Thüringen (IMPAKT)“ beauftragt.

IMPAKT ist eine konsequente regionale Reaktion auf den globalen (IPCC 2007), europäischen (EU-Kommission 2007 und 2009) sowie den nationalen (Bundesregierung 2008 und 2011) Konsens, dass die wissenschaftlichen Erkenntnisse der Klimaforschung eine proaktive, das heißt frühzeitige, vorausschauende und klar im Hinblick auf zukünftige Herausforderungen planende und handelnde Adaption an die Folgen des zu erwartenden Klimawandels auf allen Maßstabsebenen erfordern.

Die Ziele von IMPAKT lauten:

- Bereitstellung räumlich hoch aufgelöster Klimamodelldaten der Vergangenheit und der Zukunft für Thüringen,
- räumlich differenzierte Analyse der klimasensitiven Handlungsfelder des Freistaates hinsichtlich der Chancen und Risiken des Klimawandels,
- Erarbeitung von handlungsfeldspezifischen Maßnahmenportfolios zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels unter intensiver Beteiligung der zuständigen Ministerien und deren nachgeordneter Fachbehörden sowie
- Erarbeitung von Indikatoren für ein Monitoring von Klimafolgen- und Klimaanpassungsmaßnahmen

Das vorliegende Programm stellt die fachliche Grundlage für den weiteren, kooperativ-strategisch ausgerichteten Weg zur Anpassung an den Klimawandel im Freistaat Thüringen dar, auf dem die Landesregierung die Anpassungskapazität der einzelnen Handlungsfelder erhöhen und somit deren Vulnerabilität gegenüber dem Klimawandel verringern, aber auch das Mainstreaming des Anpassungserfordernisses in behördliche und private Entscheidungsprozesse unterstützen will.

Soweit die Einzelmaßnahmen vom Land umzusetzen sind, kann dies nur nach Maßgabe des Landeshaushaltes im Rahmen der jeweils vorhandenen Haushaltsmittel erfolgen. Die entsprechenden Maßnahmen stehen deshalb unter dem Vorbehalt der Zurverfügungstellung von Haushaltsmitteln durch den Haushaltsgesetzgeber und führen nicht zu Vorfestlegungen im Hinblick auf zukünftige Haushalte des Freistaates.

Der Entwicklungsprozess von IMPAKT

2. Der Entwicklungsprozess von IMPAKT

Die Entwicklung von IMPAKT beruht im Wesentlichen auf zwei Teilschritten. Im ersten Teilschritt „Regionaler Klimawandel in Thüringen und seine Auswirkungen auf die klimasensitiven Handlungsfelder des Freistaats“ wurden zunächst grundlegende Entwicklungen des Klimawandels räumlich hoch aufgelöst analysiert und visualisiert sowie der fachlich korrekte Umgang mit den zugrunde gelegten Modellergebnissen abgesichert (Kapitel 3).

Parallel zu dieser Analyse wurde eine erste Beteiligungsrunde der klimasensitiven Handlungsfelder des Freistaates auf der Ebene der Landesbehörden durchgeführt. Hierbei wurde mithilfe einer standardisierten Befragung und bilateralen Gesprächen das Ziel verfolgt, für die klimasensitiven Handlungsfelder des Freistaats klimatische Leitparameter zu identifizieren. Auf der Basis dieser Parameter wurde anschließend in Abstimmung mit den Vertretern der jeweiligen Handlungsfelder eine handlungsfeldspezifische Klimafolgenanalyse zu zentralen Chancen und Risiken durchgeführt.

Die den gesamten Freistaat Thüringen bzw. handlungsfeldspezifische Teilräume betreffenden Analyseergebnisse bildeten gemeinsam mit dem allgemeinen Stand der Wissenschaft zur Klimafolgenanpassung sowie der Sichtweise und den Erfahrungen der Handlungsfelder in Thüringen die Grundlage für den zweiten Teilschritt „Entwicklung eines integrierten Maßnahmenprogramms zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels im Freistaat Thüringen“. In einer zweiten interministeriellen Beteiligungsrunde wurden hier mithilfe von leitfragengestützten Fachgesprächen die handlungsfeldspezifische Anpassungsnotwendigkeit an die Folgen des Klimawandels erörtert sowie allgemeine und konkrete Anpassungsmaßnahmen benannt, diskutiert und bewertet (Kapitel 4).

Weiterhin wurden auch Indikatoren identifiziert, auf deren Basis ein dauerhaftes Klimafolgenanpassungsmonitoring im Freistaat etabliert werden kann (Kapitel 5).

Regionale Auswirkungen des (globalen) Klimawandels in Thüringen

3. Regionale Auswirkungen des (globalen) Klimawandels in Thüringen

3.1 Methodik

Im 4. Sachstandsbericht des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) wird der aktuelle wissenschaftliche Kenntnisstand der Klima- und Klimafolgenforschung zusammengefasst (IPCC 2007). Im Rahmen des Berichtes sind u. a. verschiedene Zukunftsszenarien (sog. SRES-Szenarien) entwickelt worden, wie sich der Ausstoß von Treibhausgasen als Motor des Klimawandels entwickeln könnte (Abb. 1). Das A1B-Szenario hat sich dabei als diejenige Zukunftsperspektive herauskristallisiert, die in der Klimafolgenanpassungsforschung und -praxis für am wahrscheinlichsten gehalten wird.

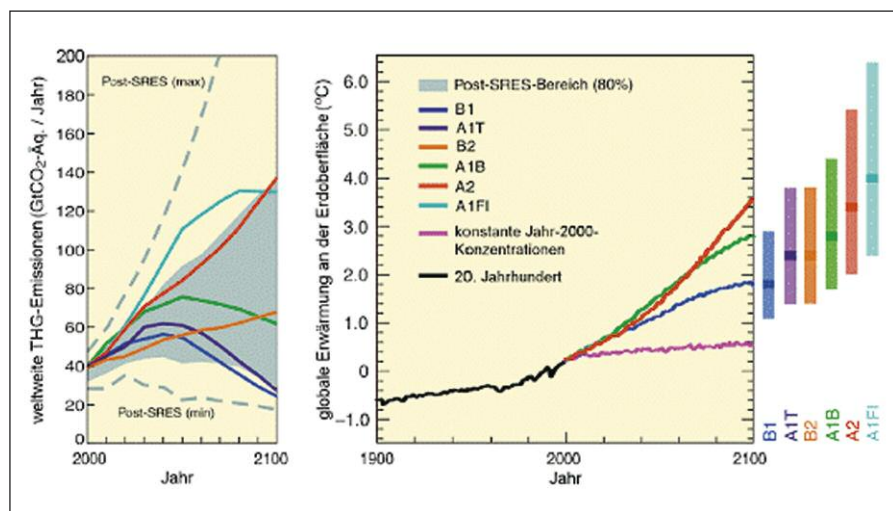


Abb. 1: Klimaszenarien und prognostizierter globaler Temperaturverlauf (IPCC 2007)

Nach Abb. 1 ergibt sich aus dem A1B-Szenario eine allmähliche Erhöhung der globalen Mitteltemperatur. Parallel dazu wird auch eine räumlich divergierende Veränderung in der Intensität und Häufigkeit von Niederschlägen sowie von extremen Wetterereignissen erwartet. Die räumliche Auflösung dieser Aussagen beträgt etwa 100 km. Anpassungsprozesse müssen insbesondere kleinräumig vor Ort erfolgen. Deshalb werden mittlerweile für einzelne Erdteile bzw. Staaten sogenannte regionale Klimamodelle betrieben. Für den bundesdeutschen Raum stehen gegenwärtig Modellergebnisse über die dynamischen Modelle CLM und REMO in einer räumlichen Auflösung von ca. 10 bis 20 km, sowie die statistischen, auf Wetterstationen bezogenen Verfahren WETTREG und STAR zur Verfügung.

Der Vorteil der dynamischen Klimamodelle gegenüber den statistischen Modellen liegt in der Bereitstellung flächendeckender, konsistenter Datensätze, bei denen die (bekannten) Abhängigkeiten des atmosphärischen Geschehens berücksichtigt werden. Dieses ist vor allem dann von Relevanz, wenn einzelne Parameter zu einem Summenparameter (z. B. klimatische Wasserbilanz) aggregiert werden sollen. Aus diesen Gründen wurde der vorliegenden Studie das Klimamodell CLM für das Klimaszenario A1B (Lauf 1; Zeitraum 2001 - 2100) in Verbindung mit dem Referenzszenario C20 (Lauf 1; Zeitraum 1961 - 2000) zugrunde gelegt.

Die Ergebnisse für das dynamische Klimamodell CLM liegen auf einem - verglichen mit dem globalen Maßstab - feinen Rechengitter von ca. 20 km vor. Allerdings sind verglei-

chende Regionalstudien über klimasensitive Systeme unterhalb der Bundeslandebene und insbesondere der Antrieb von räumlich hoch aufgelösten Wirkmodellen regelmäßig auf eine räumlich noch feinere Auflösung der Klimadaten angewiesen. Darüber hinaus ist CLM nicht in der Lage, fein strukturierte Landnutzungsarten, Höhenverhältnisse oder auch Städte räumlich aufzulösen und in den Klimaprojektionen ausreichend zu berücksichtigen. Diese Aufgabe übernehmen kleinräumige, an den entsprechenden Raum angepasste mesoskalige Simulationsmodelle. Diese sind in der Lage, die Wirkungen der Heterogenität der naturräumlichen Gliederung einer Landschaft auf die Verteilung der meteorologischen Größen zu erfassen.

Die Regionalisierung für das Bundesland Thüringen erfolgte mithilfe des Methodenpakets ENVELOPE, dessen Ablauf in Abb. 2 dargestellt ist. Methodischer Ausgangspunkt des Pakets ist die Bereitstellung von Standortdaten in der für die Klimadaten anvisierten räumlichen Auflösung von 1 km. Die Standortdaten bestehen zum einen aus Informationen zur Landnutzungsstruktur, die aus dem digitalen ATKIS DLM (Digitales Landschaftsmodell) abgeleitet werden können. Um den speziellen Anforderungen der Modellanalyse gerecht zu werden, wurde bei der Aufbereitung der Nutzungsstrukturen ein vereinfachter, 15-klassiger Nutzungsschlüssel verwendet, auf dessen Basis nach dem Majoritätsansatz ein Raster mit 1 km Auflösung abgeleitet wurde (Anhang, Abb. 1). Zum anderen ist auf Basis des ATKIS DGM25 (Digitales Geländemodell) sowie aus randlich zusätzlich eingefügten SRTM-Höhendaten (Shuttle Radar Topography Mission) ein einheitliches Höhenmodell in der Auflösung von 1 km für den Untersuchungsraum generiert worden. Die Generalisierung innerhalb der Rasterzellen erfolgte dabei über eine Mittelwertbildung (Anhang, Abb. 2).

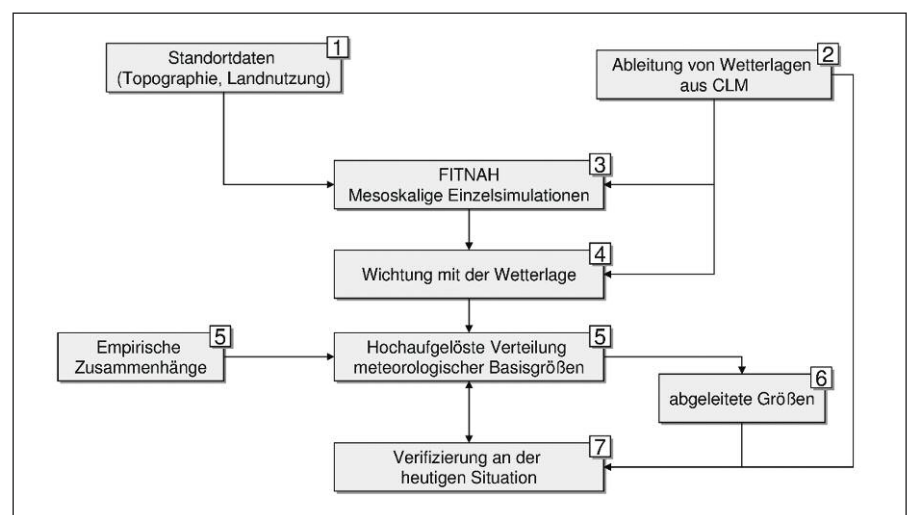


Abb. 2: Vereinfachtes Flussdiagramm zur ENVELOPE-Methode

Neben diesen Standortdaten bildet die Ableitung von Wetterlagen aus dem regionalen Klimamodell die zweite wichtige Grundlage für die Modellierungen. Hierzu werden die Häufigkeitsverteilung von Windgeschwindigkeit und Windrichtung für den anvisierten Analysezeitraum (Dekaden, Jahre oder Jahreszeiten) analysiert. Die Ergebnisse dieser beiden Arbeitsschritte werden in das mesoskalige Modell FITNAH (Flow Over Irregular Terrain With Natural And Anthropogenic Heat Sources) eingespeist (Groß 2002, Venkatesan 1999, Groß 1993, Groß 1992, Frentzen et al. 1987), das seinen Mehrwert für me-

meteorologische Fragestellungen in Thüringen bereits mehrfach gezeigt hat (Groß et al. 1997, Groß et al. 1998, Groß 2000, Groß et al. 2000). In FITNAH ist für jede meteorologische Variable eine physikalisch fundierte mathematische Berechnungsvorschrift aufgestellt. Mesoskalige Modelle basieren daher, wie Wettervorhersage- und Klimamodelle auch, auf einem Satz sehr ähnlicher Bilanz- und Erhaltungsgleichungen.

Ausgehend von definierten Fragestellungen werden die Ergebnisse der regionalen Klimaszenarienrechnungen CLM problemspezifisch ausgewertet, so dass sie als übergeordnete Eingangsdaten für das mesoskalige Modell verwendet werden können. Diese Wetterlageninformationen beinhalten in der Hauptsache die Häufigkeit des Auftretens einer bestimmten Kombination von Windrichtung und Windgeschwindigkeit. In Thüringen herrschen bevorzugt Südwest- bis Westwetterlagen mit einem weniger ausgeprägten zweiten Maximum um Nordost vor (Abb. 3). Für alle Windrichtungen tritt ein breites Spektrum von Windgeschwindigkeiten auf. Die aus diesen Informationen berechneten Häufigkeitsverteilungen für Windrichtung und Windgeschwindigkeit zeigen die Bevorzugung der Windrichtungen aus Südwest und häufigste Windgeschwindigkeiten um 6 m/s.

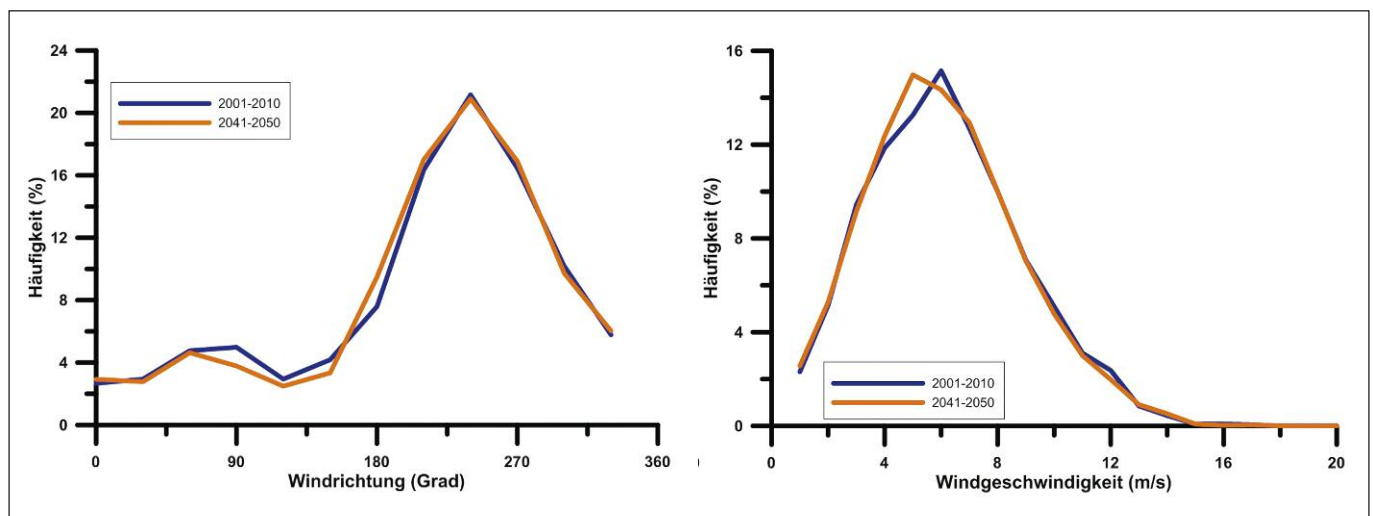


Abb. 3 Vorherrschende Windrichtungen und Windgeschwindigkeiten in Thüringen

Die Auswertungen für andere Dekaden der ersten Hälfte des 21. Jahrhunderts zeigen ein sehr ähnliches Bild mit nur geringfügigen Veränderungen. Diese Windinformationen spannen eine Fläche auf, in der sich das meteorologische Geschehen abspielt und die als Grundlagen genommen werden, um die Auswahl der mit dem mesoskaligen Modell durchzuführenden Simulationen zu treffen. Bei der Untersuchung zum Thüringer Regionalklima werden jeweils Rechnungen für 12 Windrichtungen im Abstand von 30 Grad und für zwei Windgeschwindigkeitsklassen von 4 m/s und von 12 m/s durchgeführt. Diese Daten beziehen sich auf den Höhenwind, während die bodennahen Verteilungen mit dem mesoskaligen Modell unter Einbeziehung der detaillierten Landnutzungs- und Höhendaten berechnet werden.

Die endgültige räumliche Verteilung der Klimagrößen, wie beispielsweise der Wind, erhält man aus der Interpolation und der Wichtung der FITNAH-Resultate für die einzelnen Simulationen mit der Häufigkeit des Auftretens der entsprechenden Wetterlage aus den CLM-Ergebnissen. Diese Vorgehensweise wird als statistisch-dynamisches Regionalisierungsverfahren bezeichnet.

Bei der Kombination der mesoskaligen Ergebnisse mit den Ergebnissen der regionalen Klimamodellierung wird darauf geachtet, dass der Mittelwert des 1 km-Rasters mit dem entsprechenden Gitterpunktwert des CLM übereinstimmt. Die FITNAH-Simulationen stellen keine eigenen Klimarechnungen dar, sondern interpolieren intelligent die regionalen CLM-Klimamodelldaten unter Beachtung von Landnutzung und Orografie auf ein 1 km-Raster. Die mittleren CLM Ergebnisse für eine Rasterzelle - und damit die Konsistenz der Daten - bleiben dabei erhalten. Der Niederschlag wird im mesoskaligen Modell nicht explizit berechnet. Für diese Größe werden die Ergebnisse aus CLM direkt verwendet und anschließend in Abhängigkeit von der Geländehöhe modifiziert, die eine positive Korrelation mit der durchschnittlichen Tagesniederschlagsmenge aufweist (Abb. 4).

Für eine weitere Korrektur wird die in dem mesoskaligen Modell berechnete Vertikalgeschwindigkeit herangezogen. Im Luv eines Gebirges wird aufgrund des erzwungenen Aufsteigens mehr Niederschlag fallen als im Lee, in dem das Absinken eine Neigung zur Wolkenauflösung und damit zu einer Verringerung der Niederschläge zeigt. In Abhängigkeit von der Stärke der Vertikalgeschwindigkeit wird der aktuelle, lokale CLM-Niederschlag modifiziert so dass im Luv bis maximal 50 % mehr Niederschlag fällt und im Lee um bis zu 50 % weniger. Aber auch bei dieser Modifikation wird dafür Sorge getragen, dass der über eine Rasterzelle des regionalen Klimamodells berechnete Niederschlag nicht verändert, sondern ggf. nur innerhalb der Zelle umverteilt wird. Im Ergebnis liefert das Modell-Methodenpaket ENVELOPE / FITNAH also Daten für die Temperatur, den Wind und den Niederschlag, die in einem letzten Schritt - sofern vorhanden und verfügbar - anhand von Beobachtungsdaten des DWD verifiziert werden. Aus der statistischen Analyse bzw. Verrechnung dieser Hauptparameter können anschließend weitere (Summen-)Parameter abgeleitet werden. Da die kleinräumige Wolkenbildung gegenwärtig noch nicht modelliert werden kann, ist eine Regionalisierung der Sonnenscheindauer allerdings nicht möglich.

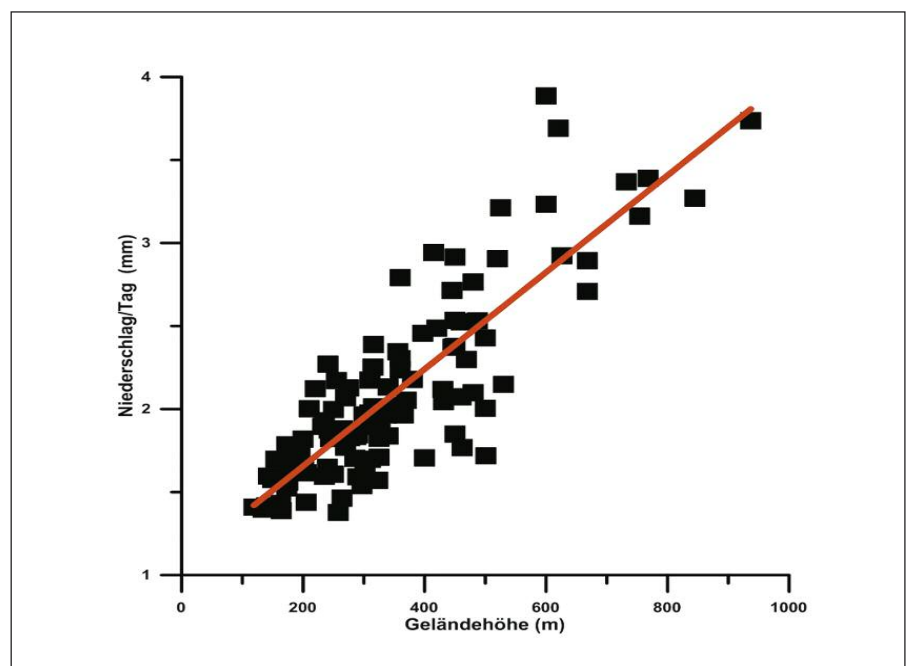


Abb. 4: Abhängigkeit des beobachteten durchschnittlichen Tagesniederschlags an den Thüringer Wetterstationen von ihrer Höhe über NN

3.2 Ergebnisse für die Hauptklimaparameter

3.2.1 Temperatur

Wie Abb. 5 zeigt, ergibt sich aus der durchgeführten Regionalisierung für den Referenzzeitraum eine Jahresdurchschnittstemperatur für Gesamtthüringen von ca. 7 °C. Der Temperaturgradient zeigt dabei erwartungsgemäß eine starke Höhenkorrelation. So liegen die wärmsten Regionen mit bis zu 10 °C vor allem im Thüringer Becken und die kältesten mit 5 °C in den Höhenlagen des Thüringer Waldes.

Unter dem Einfluss des Klimawandels wird es wahrscheinlich, insbes. langfristig zu einer flächendeckenden Erwärmung im Freistaat kommen.

Die räumliche Differenz in dieser Entwicklung fällt sehr gering aus, so dass kein Teilraum in Thüringen existiert, der signifikant stärker oder schwächer von der Erwärmung betroffen wäre. Die zu vernachlässigende räumliche Varianz im Änderungssignal der Jahresdurchschnittstemperatur gilt auch für die meteorologischen Jahreszeiten. Aus diesem Grund wird hier auf deren kartographische Darstellung verzichtet und stattdessen die Mittelwertergebnisse für ganz Thüringen in einem Balkendiagramm dargestellt (Abb. 6). Demnach ist mit der stärksten Temperaturzunahme im Sommer (langfristig 4 °C) und mit der schwächsten Zunahme im Frühling (langfristig 2,7 °C) zu rechnen. Der Herbst und der Winter liegen mit einer langfristigen durchschnittlichen Erwärmung um 3,5 °C bzw. 3,7 °C zwischen diesen beiden Extremen.

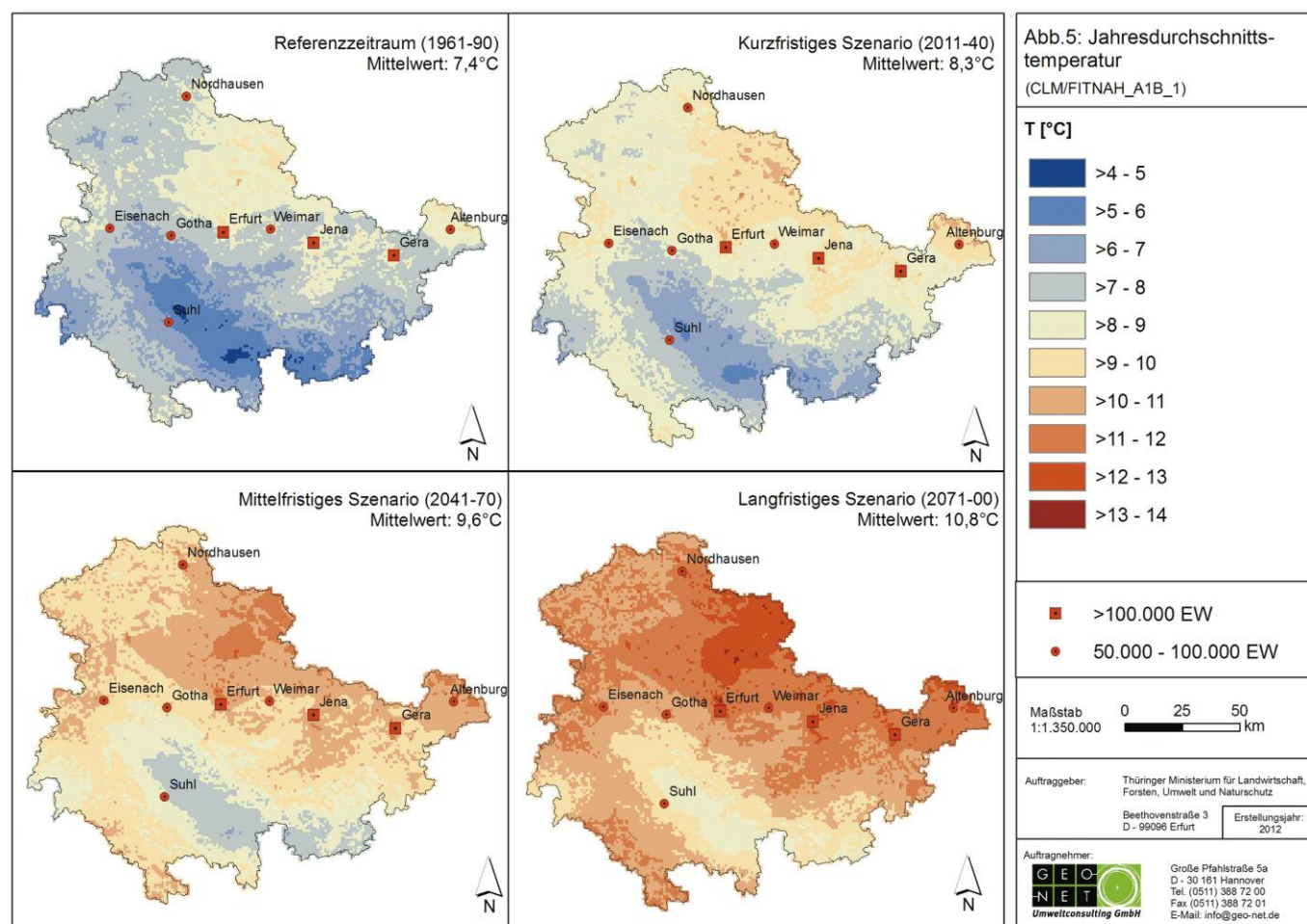
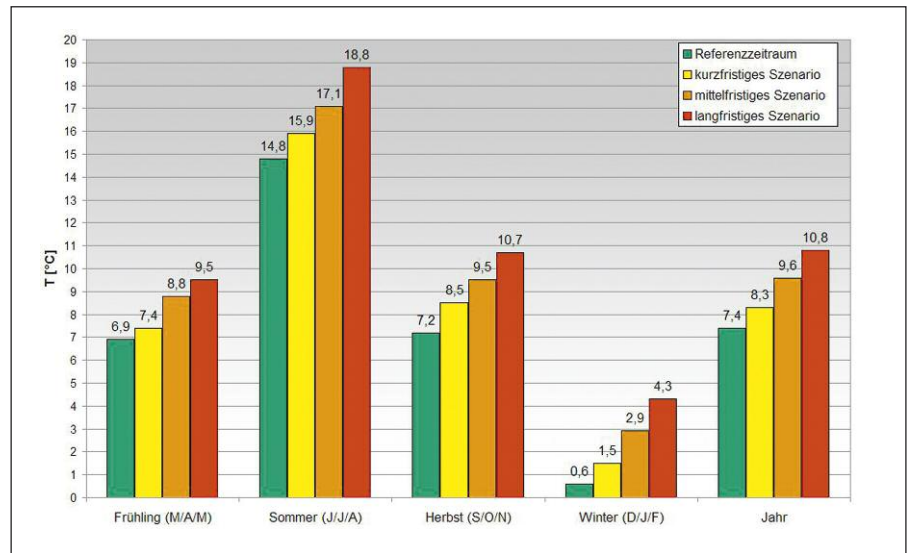


Abb. 5: Jahresdurchschnittstemperatur im Referenzzeitraum 1961 - 1990 und in den drei Klimaprojektionszeiträumen

Abb. 6: Jahreszeitliche Durchschnittstemperaturen im Referenzzeitraum 1961 - 1990 und in den drei Klimaprojektionszeiträumen (Mittel für Gesamtthüringen)



3.2.2 Niederschlag

Wie Abb. 7 zeigt, liegt die räumliche Varianz der durchschnittlichen Jahresniederschlagssumme in Thüringen bei etwa 1000 mm. Die niederschlagsreichsten Gebiete liegen dabei in den Hochlagen des Thüringer Waldes sowie im thüringischen Teil der Rhön. Hier zeigt das Modell eine Jahresniederschlagssumme bis zu 1500 mm. Den Gegenpart bilden das Thüringer Becken und das Saaletal, die mit durchschnittlich 450 mm Niederschlag im Jahr nicht nur die trockensten Regionen Thüringens darstellen, sondern gleichzeitig auch zu den niederschlagsärmsten Räumen Deutschlands gehören.

Dieses räumliche Muster wird sich unter dem Einfluss des Klimawandels nicht grundlegend ändern, denn die relativen Änderungen in der Jahresniederschlagssumme liegen in den Zukunftsszenarien im Maximum zwischen - 8 % und + 7 % (im Mittel aller Flächen sogar nur zwischen - 4 % und + 2 %) und damit deutlich unterhalb der aktuellen Klimavariabilität.

Insgesamt ist also bis 2100 im weitaus überwiegenden Teil Thüringens mit annähernd konstanten durchschnittlichen Jahresniederschlagsmengen zu rechnen. Dabei zeigt sich im kurz- und langfristigen Szenario ein leichter Trend zu moderat abnehmenden Niederschlagsmengen im Vergleich zum Referenzzeitraum und im mittelfristigen Szenario ein leichter Trend zu moderat steigenden Jahresniederschlagssummen.

Es wird an dieser Stelle ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die räumliche Verteilung der vom Modell bereitgestellten Niederschlagssummen sehr plausibel erscheint, wohingegen die absoluten Niederschlagsmengen vor allem in den niederschlagsreicheren Gebieten eher zu hohe Werte aufweisen. Diese aus den CLM-Daten - und nicht aus der Regionalisierung - stammenden Abweichungen von den punktuellen Beobachtungswerten stellen für die vorliegende Studie aber kein methodisches Problem dar, da sich der Erkenntnisgewinn hier ausschließlich aus den sich in den Zukunftsszenarien gegenüber dem Referenzzeitraum ergebenden Änderungen und nicht aus den absoluten Werten ergibt.

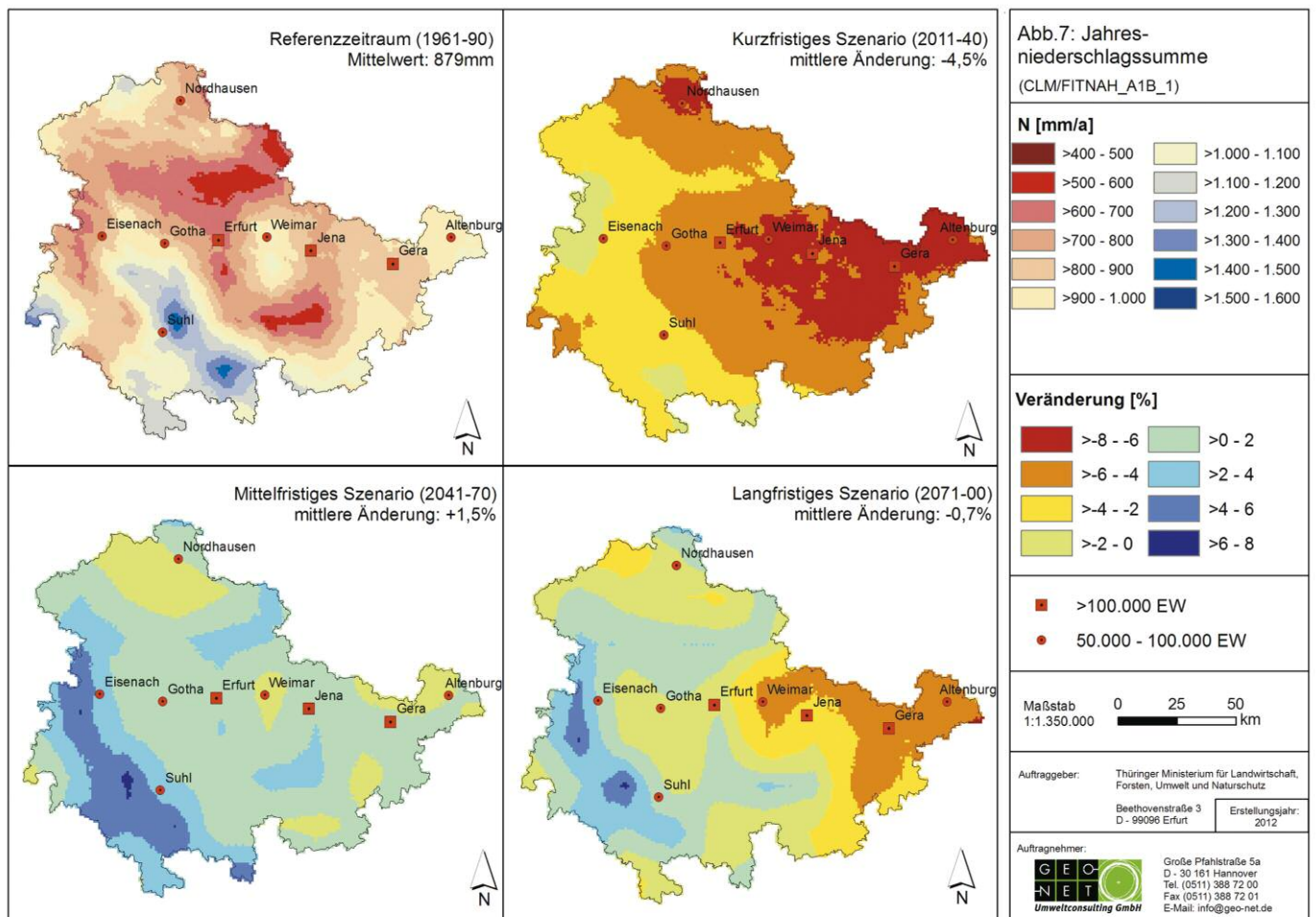


Abb. 7: Durchschnittliche jährliche Niederschlagssumme für drei Klimaprojektionszeiträume im Vergleich zum Referenzzeitraum 1961 - 1990

Deutlich signifikantere Veränderungen ergeben sich bei jahreszeitlicher Auflösung der Niederschlagssummen. So ergibt sich für die Sommermonate Juni, Juli und August eine allmähliche Abnahme der Niederschlagsmengen (Abb. 8). Kurzfristig zeigt sich dieser robuste Trend erst im äußersten Norden und Süden des Freistaats, während in den übrigen Teilräumen sogar mit einer leichten Zunahme der durchschnittlichen sommerlichen Niederschlagssummen gerechnet werden kann. Im mittelfristigen Szenario zeigt sich dann mit Ausnahme des Großraumes Erfurt eine Abnahme der Niederschlagssummen, die im Raummittel bei 5 % und im äußersten Süden auch bis zu 12 % beträgt. Im langfristigen Szenario ergibt sich eine flächendeckende Abnahme, die im Mittel bei 13 % liegt.

Die regional stärksten Reduzierungen sind mit bis zu 27 % im Süden Thüringens und die geringsten Abnahmen in den westlichen und vor allem östlichen Randgebieten des Thüringer Waldes (inklusive des Saaletals) zu erwarten. Folglich sind mittel- bis langfristig vor allem diejenigen Gebiete von einer abnehmenden sommerlichen Niederschlagssumme

3.2 Ergebnisse für die Hauptklimaparameter

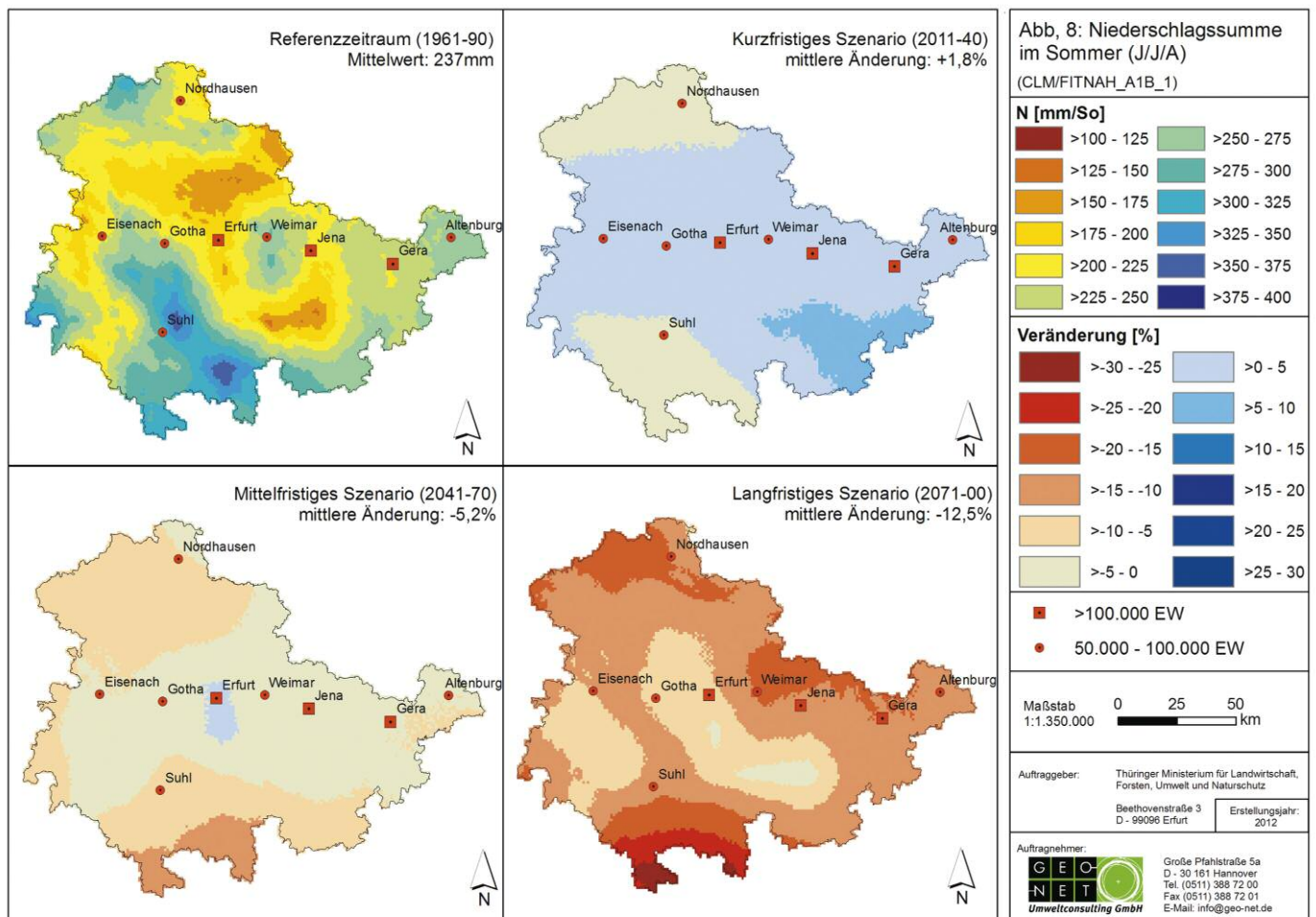


Abb. 8: Durchschnittliche Niederschlagssumme im Sommer (J/J/A) für drei Klimaprojektionszeiträume im Vergleich zum Referenzzeitraum 1961 - 1990

betroffen, für die im Referenzzeitraum eher höhere Niederschläge modelliert werden. Aber auch im bisher niederschlagsarmen Thüringer Becken und Saaletal werden die Sommerniederschläge ab etwa Mitte des Jahrhunderts signifikant unterhalb der Werte aus der aktuellen Klimanormalperiode liegen.

Eine dem Trend zu geringeren Sommerniederschlägen gegenläufige Entwicklung zeigt sich in den Wintermonaten Dezember, Januar und Februar (Abb. 9). Hier ist ab Mitte des Jahrhunderts mit einem annähernd flächendeckenden Trend zu signifikant steigenden Niederschlagssummen zu rechnen. Kurzfristig ist diese Tendenz allerdings noch sehr schwach ausgeprägt und es existieren auch Teilräume, in denen es zu leichten Abnahmen kommt. Die Niederschlagszunahmen werden im mittelfristigen Szenario mit Werten von bis zu 13 % zunächst vor allem im Südwesten spürbar werden. Langfristig werden auch im Harz und Harzvorland mit dem Süden vergleichbare Werte erreicht (bis zu 33 %). Auch im östlichen Thüringen zeigt sich mittel- bis langfristig eine moderate Zunahme der Winterniederschlagssummen um bis zu 15 %.

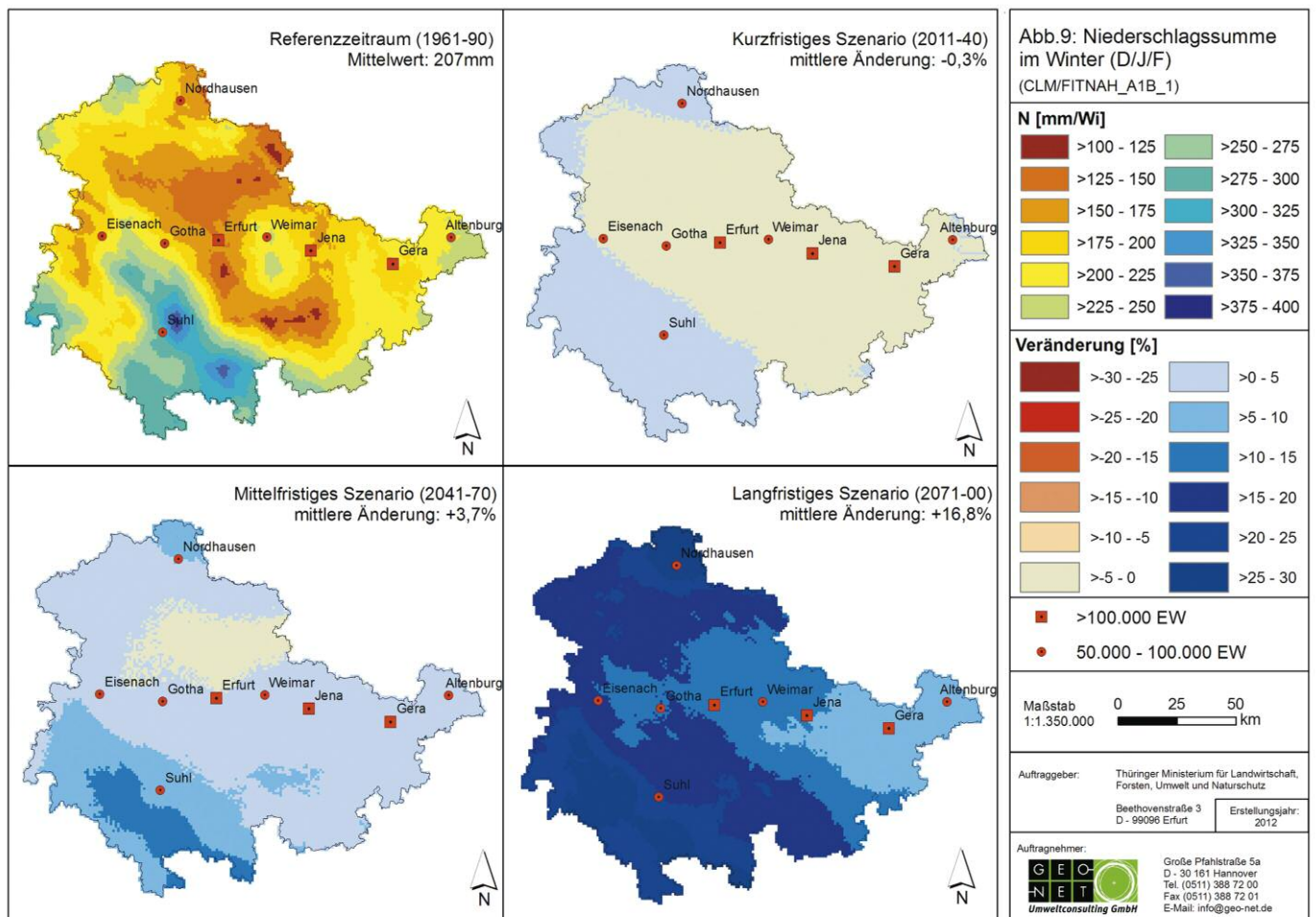


Abb. 9: Durchschnittliche Niederschlagssumme im Winter (D/J/F) für drei Klimaprojektionszeiträume im Vergleich zum Referenzzeitraum 1961 - 1990

Ein grundsätzlich mit den Wintermonaten vergleichbarer, wenn auch moderater ausfallender Trend ergibt sich für den Frühling (Abb. 10). Auch hier zeigt sich kurzfristig eine stabile Niederschlagssumme mit leichtem Trend zu rückläufigen Werten, der sich ab Mitte des Jahrhunderts zu einer flächendeckenden Tendenz zu erhöhten Niederschlagsmengen im Vergleich zur aktuellen Klimanormalperiode umkehrt. Anders als in den Wintermonaten entwickelt sich der Trend aber im langfristigen Szenario nicht weiter, sondern stagniert in etwa auf dem Niveau des mittelfristigen Szenarios. Ein weiterer Unterschied zur winterlichen Entwicklung ergibt sich aus der räumlichen Verteilung der Änderungen. Im Frühjahr zeigen sich die größten prozentualen Zunahmen im Vergleich zur Referenzperiode ab ca. 2040 eher im Osten (Saaleetal) und der Mitte des Freistaats.

3.2 Ergebnisse für die Hauptklimaparameter

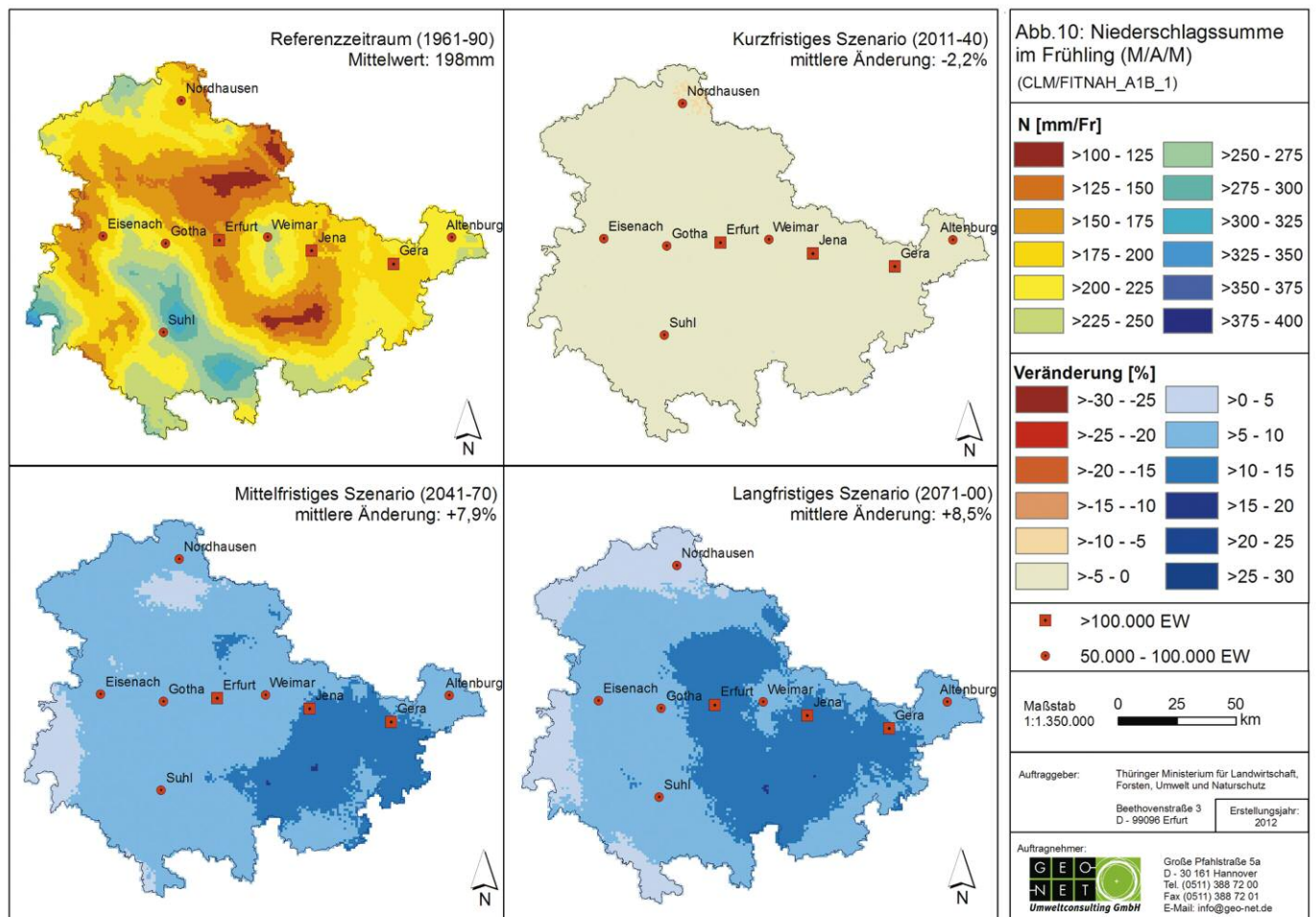


Abb. 10: Durchschnittliche Niederschlagssumme im Frühling (M/A/M) für drei Klimaprojektionszeiträume im Vergleich zum Referenzzeitraum 1961 - 1990

Im Herbst ist kein vergleichbar robuster Trend wie in den übrigen Jahreszeiten erkennbar (Abb. 11). So zeigt sich in den Monaten September, Oktober und November vor allem kurzfristig, aber auch zum Ende des Jahrhunderts in weiten Teilen Thüringens eine Abnahme der Niederschlagssummen um bis zu 10 %, während sich im mittelfristigen Zeitraum zwischen diesen beiden Szenarien ein flächendeckender Trend zu erhöhten Niederschlägen zeigt. Auffällig ist auch hier wieder das Saaletal, das im mittel- und langfristigen Szenario die höchsten Niederschlagszunahmen verzeichnet.

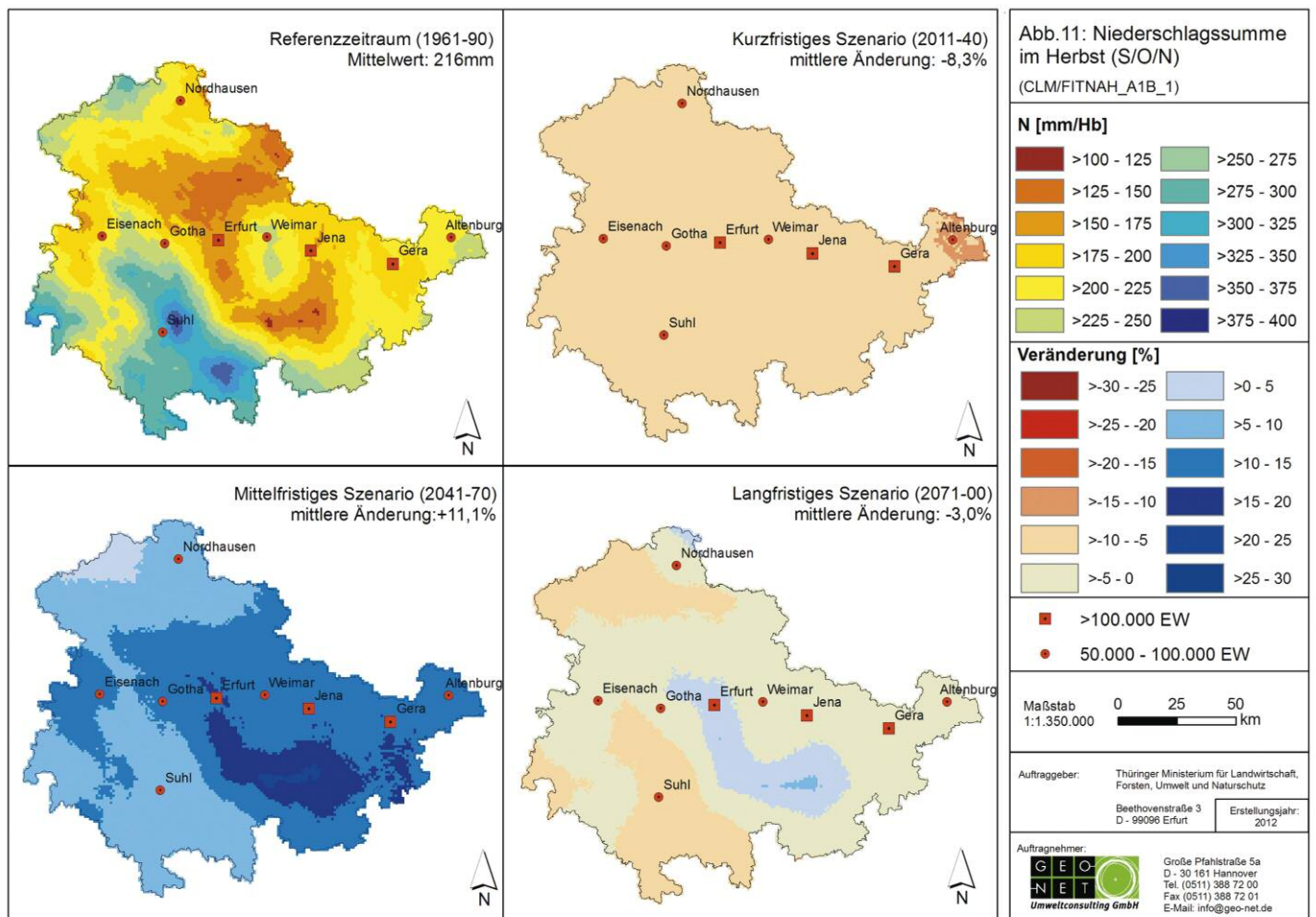


Abb. 11: Durchschnittliche Niederschlagssumme im Herbst (S/O/N) für drei Klimaprojektionszeiträume im Vergleich zum Referenzzeitraum 1961 - 1990

Insgesamt lassen sich aus den Regionalisierungsergebnissen für die Niederschlagssumme vier wichtige Erkenntnisse für Thüringen ableiten:

- Die Jahresniederschlagssumme wird unter dem Einfluss des Klimawandels in allen Thüringer Teilräumen in etwa konstant bleiben. Dabei kommt es weiterhin zu - auf die natürliche Klimavariabilität zurückzuführende Schwankungen - von wenigen Prozentpunkten.
- Es zeigt sich eine signifikante Änderungstendenz in der innerjährlichen Niederschlagsverteilung ab ca. 2040. Dabei ist eine Umverteilung der Niederschlagssummen vom Sommer in den Winter insbesondere im Süden bzw. Südwesten sowie im Norden des Freistaats zu erwarten. In einzelnen Teilräumen Thüringens werden Werte von bis zu - 30 % im Sommer und bis zu + 35 % im Winter erreicht, was als eine erhebliche Veränderung des Niederschlagsregimes bewertet werden kann.

3.2 Ergebnisse für die Hauptklimaparameter

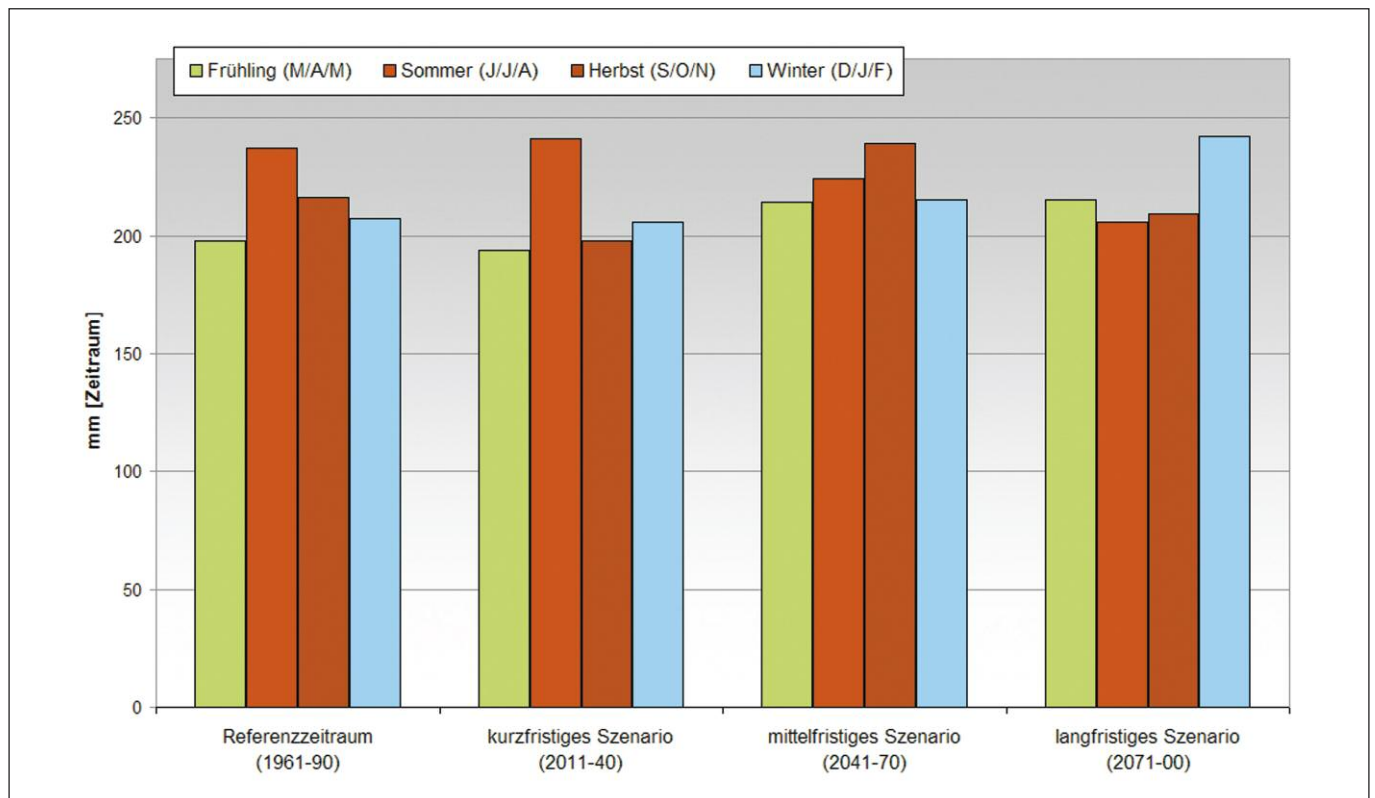


Abb. 12: Durchschnittliche jahreszeitliche Niederschlagssummen im Referenzzeitraum 1961 - 1990 und in drei Klimaprojektionszeiträumen (Mittel für Gesamtthüringen)

- Für die Zwischenjahreszeiten, insbesondere für den Herbst, ist kein eindeutiger Trend festzustellen.
- Der Winter wird die Jahreszeit mit den größten Veränderungen sein. Am Ende des Jahrhunderts wird er den Sommer als ursprünglich niederschlagsreichste Jahreszeit abgelöst haben (Abb. 12). Letzterer wird dann die Jahreszeit mit den geringsten Niederschlagsersparungen sein.

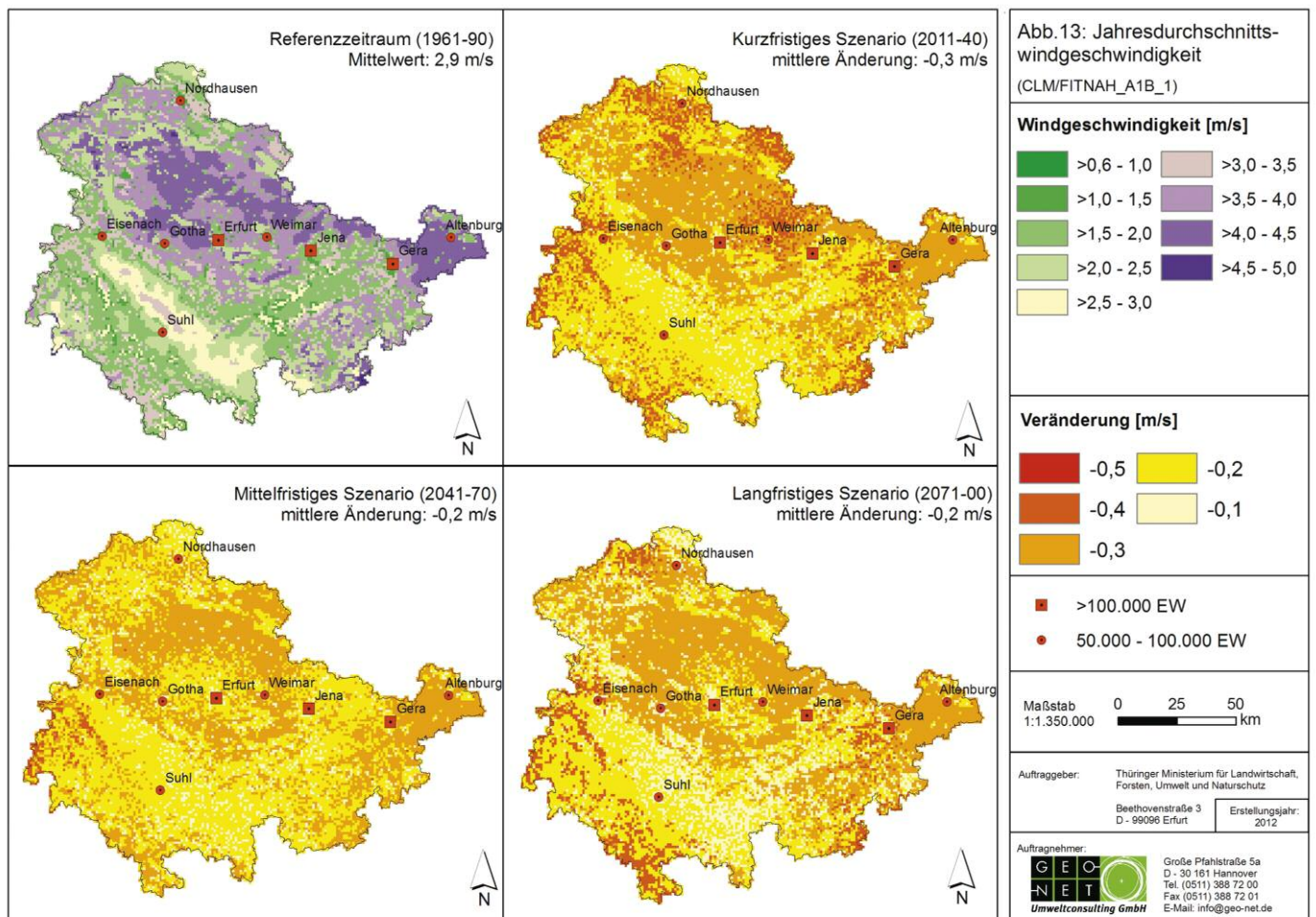


Abb. 13: Durchschnittliche Jahreswindstärke für drei Klimaprojektionszeiträume im Vergleich zum Referenzzeitraum 1961 - 1990

3.2.3 Wind

In Abb. 13 ist das Regionalisierungsergebnis der durchschnittlichen Jahreswindstärke - bezogen auf 10 m Höhe - abgebildet. Im Referenzzeitraum treten die höchsten Windgeschwindigkeiten im Bereich des Thüringer Beckens sowie im Altenburger Land auf. Im Thüringer Wald sind aufgrund der abschwächenden Wirkung der dichten Bewaldung die geringsten Durchschnittswindgeschwindigkeiten in 10 m über Grund zu verzeichnen. Unter dem Einfluss des Klimawandels werden diese in allen betrachteten Zeiträumen flächendeckend zurückgehen. Die Abnahmen liegen im Jahresmittel zwischen 0,1 und 0,4 m/s, vereinzelt auch bei 0,5 m/s. Der Unterschied zwischen den einzelnen Projektionszeiträumen fällt dabei eher gering aus, allerdings sind die insgesamt deutlichsten Abnahmen im kurzfristigen Szenario zu erwarten. Regional zeigen sich in allen Zukunftsszenarien die geringsten Abnahmen im Thüringer Wald und die stärksten westlich des Höhenzuges. Im kurzfristigen Szenario sind zusätzlich auch in den nördlichen Regionen sowie vereinzelt im Osten des Freistaats mit vergleichsweise starken Abnahmen zu rechnen.

3.2 Ergebnisse für die Hauptklimaparameter

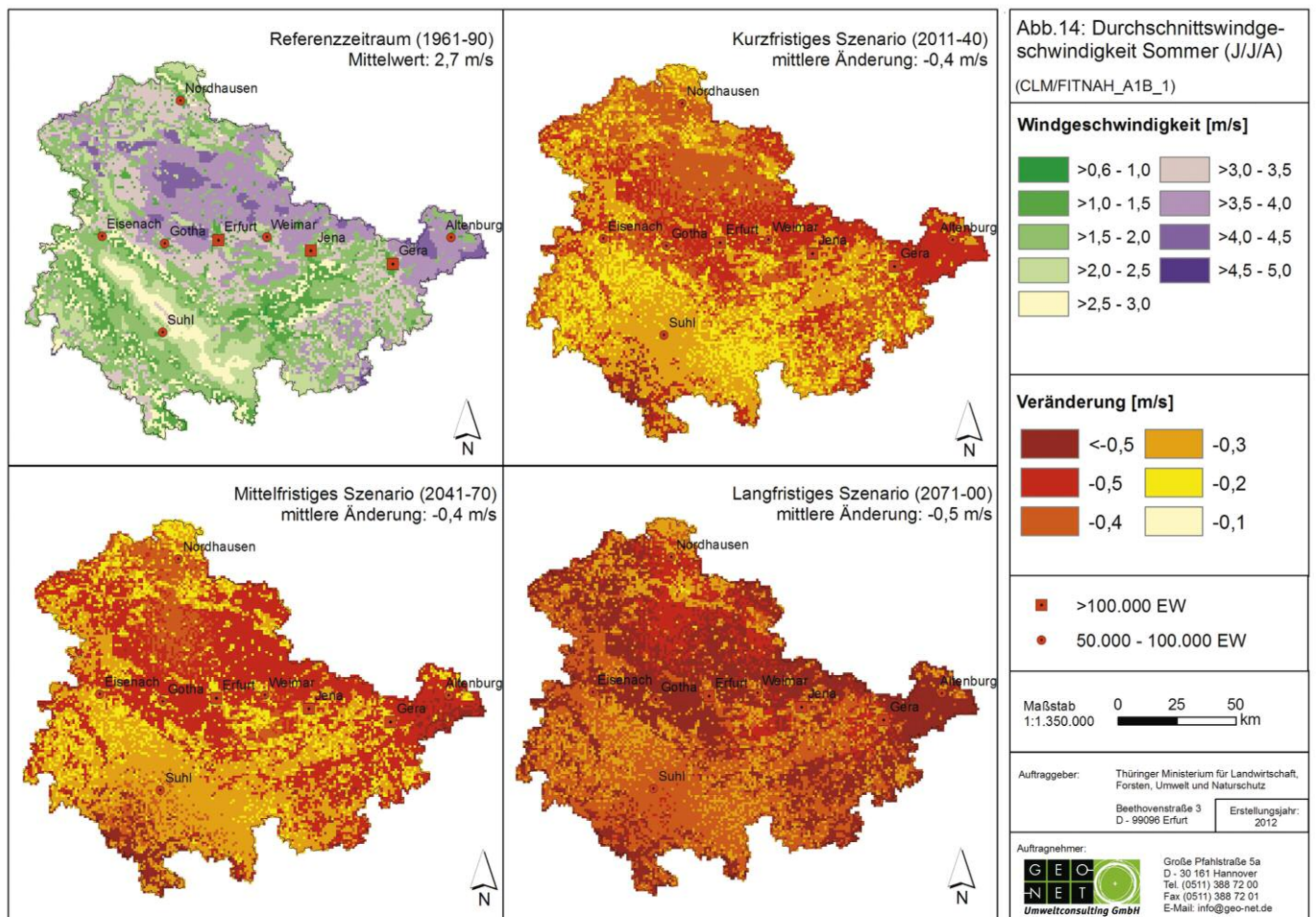


Abb. 14: Durchschnittliche Windgeschwindigkeit im Sommer (J/J/A) für drei Klimaprojektionszeiträume im Vergleich zum Referenzzeitraum 1961 - 1990

Die Regionalisierungsergebnisse für das Frühjahr und den Herbst entsprechen in etwa denjenigen für das meteorologische Jahr und sind daher hier nicht abgebildet. Auch in den Sommermonaten geht die Windgeschwindigkeit in allen Szenarien flächendeckend zurück. Allerdings fällt dieser Rückgang im Durchschnitt um 0,1 - 0,2 m/s höher als im Jahresdurchschnitt aus und erreicht auf einzelnen Teilflächen auch bis zu 0,9 m/s. Das Maximum der sommerlichen Windgeschwindigkeitsabnahme tritt erst zum Ende des Jahrhunderts auf. Räumlich betrachtet findet man die stärksten Windgeschwindigkeitsabnahmen im Sommer vor allem im Thüringer Becken sowie im Osten und Südwesten des Freistaats (Abb. 14).

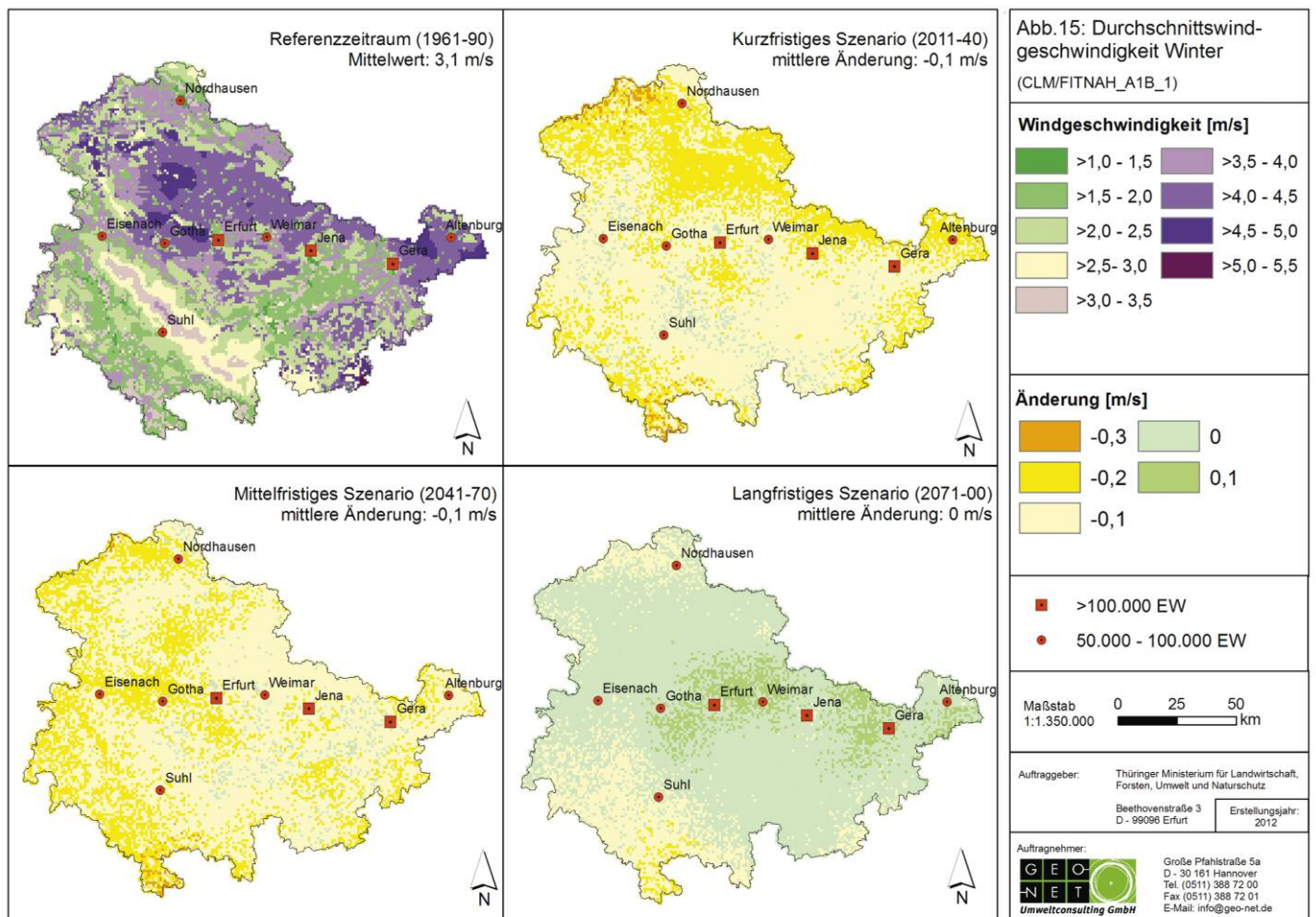


Abb. 15: Durchschnittliche Windgeschwindigkeit im Winter (D/J/F) für drei Klimaprojektionszeiträume im Vergleich zum Referenzzeitraum 1961 - 1990

Der Winter ist die einzige Jahreszeit, in der es in einzelnen Gebieten zu einem leichten Anstieg der durchschnittlichen Windgeschwindigkeit kommt (Abb. 15). Dieser Anstieg ist allerdings auf das langfristige Szenario und Zentralthüringen beschränkt. Im kurz- und mittelfristigen Szenario herrschen Abnahmen vor, die zumeist bei 0,1 bis 0,2 m/s liegen. Auch hier sind die geringsten Abnahmen wieder im Thüringer Wald zu verzeichnen. Vereinzelt zeigen die Ergebnisse hier auch keine Änderungen in den Windgeschwindigkeiten bzw. im äußersten Nordwesten auch ein Rückgang um 0,3 m/s.

Wie Abb. 16 zeigt, bleibt die jahreszeitliche Rangfolge der durchschnittlichen Windgeschwindigkeiten (Winter > Herbst > Frühling > Sommer) unter dem Einfluss des Klimawandels erhalten. Allerdings pendeln sich die Werte schon ab dem kurzfristigen Szenario auf einem etwas geringeren Niveau ein als im Referenzzeitraum.

3.2 Ergebnisse für die Hauptklimaparameter

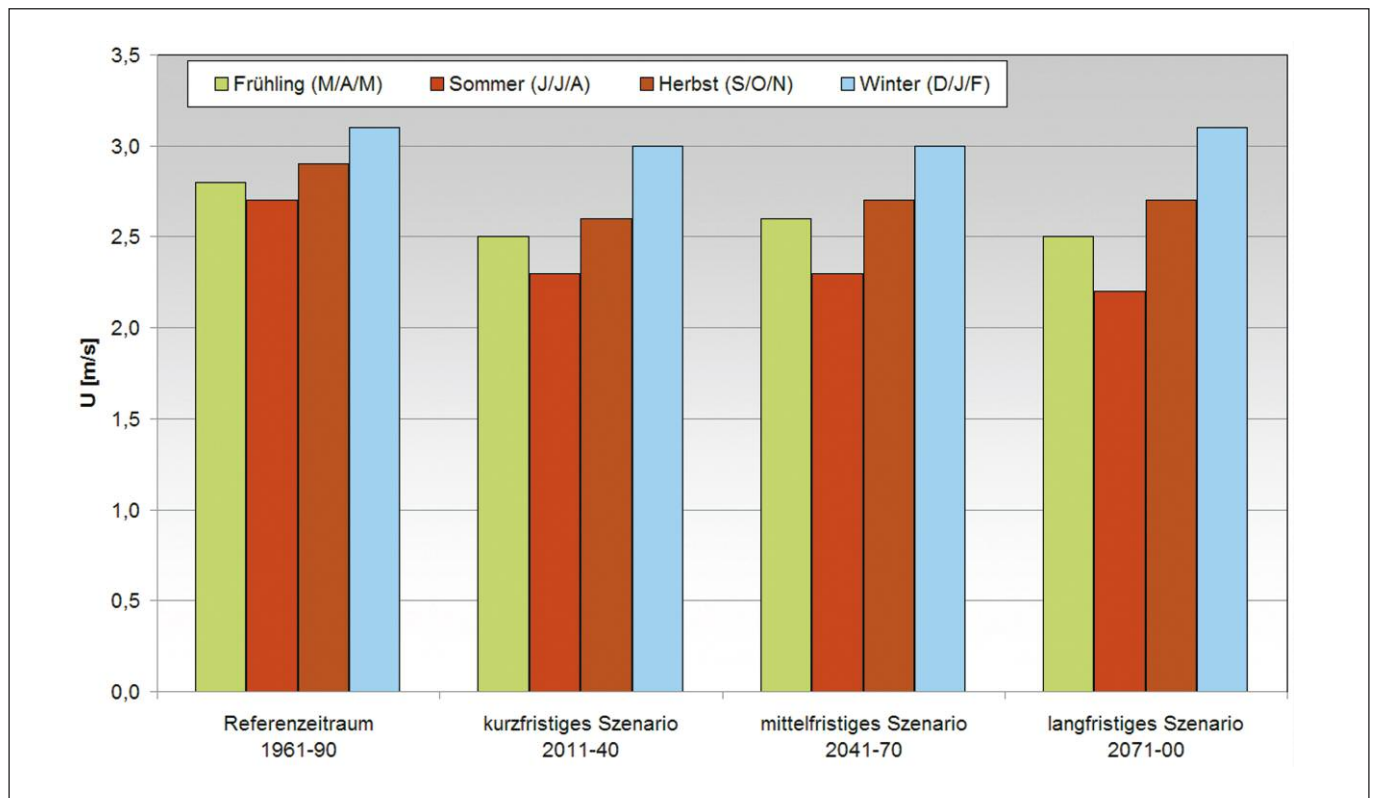


Abb. 16: Durchschnittliche jahreszeitliche Windgeschwindigkeit im Referenzzeitraum 1961 - 1990 und in drei Klimaprojektionszeiträumen (Mittel für Gesamthüringen)

3.3 Umgang mit den Modellergebnissen

Die Projektion des Regionalklimas und seiner Folgen hat vielfältige Unsicherheiten, die sich gegenseitig verstärken können. Ein Grund ist, dass z. B. die Höhe der Emissionen von zahlreichen Faktoren wie Bevölkerungswachstum, künftiger Änderung der Landnutzungsform, fortschreitender Energiepreise oder auch dem Einsatz moderner Technologien abhängig ist, die heute noch nicht genau vorhergesagt werden können. Wie die Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS) feststellt, lassen sich auch die Klimawirksamkeit der verschiedenen Treibhausgasemissionen und die komplizierten Rückkopplungseffekte in der Atmosphäre derzeit nicht sicher bestimmen.

Modelle sind immer nur Annäherungen an die Wirklichkeit, die niemals sämtliche Faktoren des Systems abbilden können. Je weiter also der Blick in die Zukunft gerichtet wird und je kleinräumiger die Aussagen gemacht werden sollen, desto unsicherer werden die Aussagen. Trotz dieser Einschränkungen zeigen alle Klimamodelle eindeutige und robuste Trends für künftige plausible Klimaentwicklungen, die in einer weiteren Erwärmung und stärkeren räumlichen und zeitlichen Polarisierung der Niederschläge bestehen.

Klimafolgen und Anpassungsmaßnahmen
in den für Thüringen relevanten Handlungsfeldern

4. Klimafolgen und Anpassungsmaßnahmen in den für Thüringen relevanten Handlungsfeldern

Im Thüringer Klima- und Anpassungsprogramm von 2009 wurden elf relevante klimasensitive Handlungsfelder identifiziert und erste Erkenntnisse und Handlungsansätze beschrieben. Für IM-PAKT wurde die Themenpalette um das Handlungsfeld Energiewirtschaft ergänzt, so dass folgende zwölf Unterkapitel entstanden sind:

- Menschliche Gesundheit,
- Wasserwirtschaft,
- Landwirtschaft,
- Boden,
- Wald und Forstwirtschaft,
- Naturschutz,
- Verkehrswesen,
- Tourismus,
- Bauwesen,
- Energiewirtschaft,
- Katastrophenschutz sowie
- Raumordnung und Landesplanung.

Diese Handlungsfelder werden im Folgenden nach einem einheitlichen Schema analysiert. Die einzelnen Hauptkapitel beginnen jeweils mit einleitenden Hinweisen zu handlungsfeldspezifischen

- Zielen,
- Planungshorizonten und -instrumenten sowie
- klimatischen und nichtklimatischen (sozioökonomischen) Sensitivitäten.

Innerhalb der Hauptkapitel werden anschließend unter zusätzlicher Berücksichtigung dieser Aspekte sowie der Auswertung von klimatischen Leitparametern, Expertenmeinungen der Akteure des Thüringer Klimaanpassungsnetzwerkes und dem Stand der Wissenschaft zunächst Klimafolgen ab- und Handlungsnotwendigkeiten eingeschätzt. In Abhängigkeit der Analyseergebnisse werden darauf aufbauend Anpassungsmaßnahmen identifiziert und nach den Kriterien zeitliche Dringlichkeit, zeitliche Umsetzbarkeit und Kosten bewertet. Weiterhin werden die Zuständigkeiten für deren Umsetzung benannt.

Die Einschätzung der Kriterien erfolgte aus fachlicher Sicht der einzelnen Handlungsfelder. Eine Umsetzung der Einzelmaßnahmen ist generell abhängig von der Verfügbarkeit der erforderlichen finanziellen und personellen Ressourcen.

Anpassungsmaßnahmen des Landes sollen grundsätzlich nur subsidiär zu Maßnahmen anderer staatlicher Entscheidungsträger und nichtstaatlicher Akteure erfolgen. Zudem sollen sie einen Mehrwert im Vergleich zu entsprechenden Maßnahmen auf anderen staatlichen Entscheidungsebenen und im Vergleich zu Maßnahmen nichtstaatlicher Akteure liefern.

Bei allen Maßnahmen ist auf ein angemessenes und vernünftiges Verhältnis der Mitteleinsätze zu den erwartenden klimabedingten Chancen und Risiken einerseits sowie der zu erzielenden Wirkung andererseits achten.

4.1 Menschliche Gesundheit

Die Gesundheit ist das höchste Gut des Menschen. Der Erhalt der Leistungsfähigkeit und der Bedarfsgerechtigkeit des Gesundheitswesens sind daher im Zusammenhang mit dem Klimawandel die wichtigsten **Ziele** des Handlungsfeldes. Dabei gilt grundsätzlich das Vorsorgeprinzip, wonach gesundheitliche Schäden und Risiken frühzeitig erkannt und minimiert werden sollen.

Ein klassischer strategischer **Planungshorizont** im engeren Sinne existiert speziell für das Handlungsfeld Gesundheit nicht. Dieser ergibt sich vielmehr aus den vielfältigen Querverbindungen zu diversen anderen Handlungsfeldern wie dem Bauwesen bzw. der Stadtplanung (z. B. Stadtentwicklung, Krankenhausplanung), dem Naturschutz (z. B. Umgang mit Neophyten) oder aber der Wasserwirtschaft (z. B. Trinkwasserqualität, Hochwasserschutz), so dass grundsätzlich sowohl kurz-, mittel- und auch langfristige Betrachtungen Relevanz für das Handlungsfeld Gesundheit besitzen. Im Gesundheitswesen kommen grundsätzlich die **(strategischen) Instrumente** der Prophylaxe bzw. Vorsorge (risikominimierendes Verhalten, Impfungen, Vorsorgeuntersuchungen) sowie der Diagnostik und der Therapie zum Einsatz.

Für die Bevölkerung im Allgemeinen und die jeweiligen Risikogruppen im Speziellen lassen sich vielfältige **klima- bzw. witterungssensitive Gesundheitsrisiken** identifizieren, die bei den Betroffenen entweder direkt oder indirekt zu Verletzungen, Folgeerkrankungen und Todesfällen führen können. Diese Risiken lassen sich nach SPERK u. MÜCKE (2009) grundsätzlich untergliedern in

- nichtinfektiöse Krankheiten und
- infektiöse Krankheiten.

Neben dem Klimawandel wird die menschliche Gesundheit perspektivisch noch durch einige **weitere sozioökonomische Faktoren** beeinflusst, die in Abhängigkeit vom betrachteten Krankheitstyp den Auswirkungen des Klimawandels entweder übergeordnet, nachgeordnet oder in etwa gleichrangig einzuordnen sind. Zu diesen Faktoren gehört insbesondere der demographische Wandel. Eine alternde Bevölkerung ist grundsätzlich anfälliger sowohl gegenüber infektiösen als auch nichtinfektiösen Krankheiten. Darüber hinaus spielt auch die Entwicklung des Freizeitverhaltens eine bedeutende Rolle. So erhöht ein vermehrter Aufenthalt im Freien die Exposition gegenüber vielen Krankheiten (z. B. dem Hautkrebs) nicht unwesentlich. In diesem Zusam-

menhang ist auch die Entwicklung des ästhetischen Körperideals von Belang, das gegenwärtig einem dunklen (sonnengebräunten) Teint entspricht. Dadurch geraten jedoch die Schutzmaßnahmen vor zu hoher UV-Strahlung (ultraviolette Strahlung) (und dem damit verbundenen Hautkrebsrisiko) zunehmend in den Hintergrund. Auch die Globalisierung hat durch die Einschleppung von Krankheiten und Krankheitsüberträgern einen wachsenden Einfluss auf die menschliche Gesundheit auch in Thüringen. Letztlich determiniert auch die Entwicklung der Wohnraumqualität sowie des Wohnverhaltens und des hygienischen Zustandes von Gebäuden den gesundheitlichen Zustand der Bevölkerung. Der Mensch verbringt heute bis zu 90 % seiner Zeit in Innenräumen, die sich zum einen insbesondere in unsanierten Altbaubeständen stark aufheizen können und zum anderen bei hohem Feuchtigkeitsgehalt aufgrund unzureichender Belüftung und/oder Dämmung mit Pilzen und Bakterien belastet sein können.

4.1.1 Nicht infektiöse Krankheiten

Auswirkungen des Klimawandels

Herz-Kreislauferkrankungen durch Hitzestress

Wie die Erfahrungen des Hitzesommers 2003 gezeigt haben, kann eine dauerhaft hohe Lufttemperatur insbesondere bei Kleinkindern, Menschen mit Vorerkrankungen und hochaltrigen Menschen zu einer erhöhten Morbidität und Mortalität bezüglich Herz-Kreislauferkrankungen führen. Die Abschätzung des klimawandelbedingten Auftrittsriskos dieser Erkrankungen erfolgt daher hier anhand der jährlichen Auftrittshäufigkeit von Tagen mit einer Maximaltemperatur von $> 30^{\circ}\text{C}$ (Abb. 17).

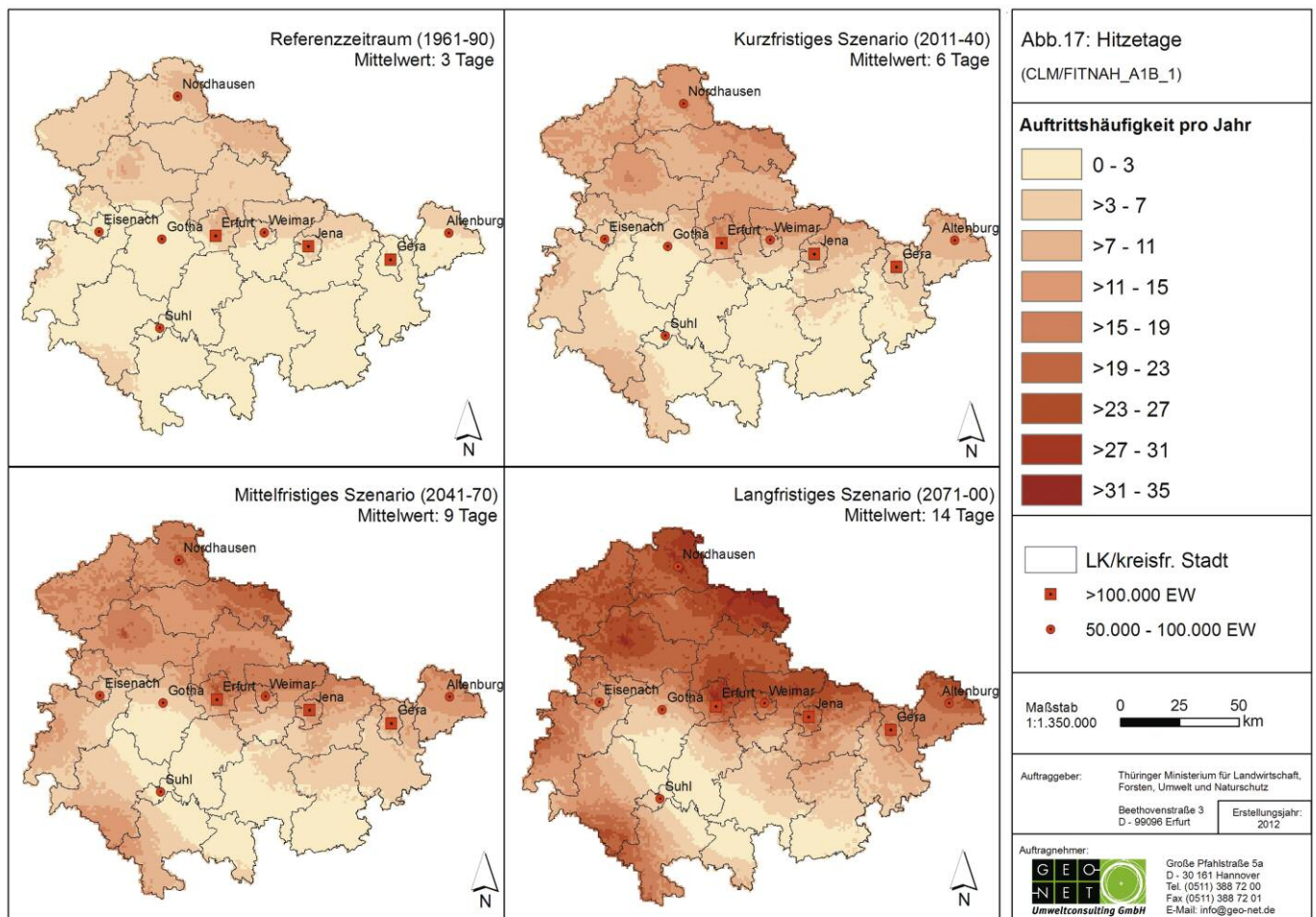


Abb. 17: Durchschnittliche jährliche Auftrittshäufigkeit von Hitzetagen in den drei Klimaprojektionszeiträumen und dem Referenzzeitraum 1961 - 1990

Folgende grundsätzliche Trends lassen sich für Thüringen ableiten:

- robuster und flächendeckender Trend zu erhöhten Auftrittshäufigkeiten von Hitzetagen,
- die Entwicklung erfolgt mit regionalen Unterschieden: Zunahme am stärksten im nördlichen Teil Thüringens (Brennpunkte sind die Großräume Erfurt und Nordhausen; keine nennenswerte Zunahme im Thüringer Wald).

Insgesamt ist also für große Teile Thüringens mit einer Zunahme des Risikos von vermehrten Herz-Kreislauferkrankungen durch Hitzestress zu rechnen. Aufgrund der hohen Einwohnerdichte und Hitze verstärkenden stadtklimatischen Einflüssen (Städtische Wärmeinseln) weisen urbane Räume für diesen Krankheitstypus ein noch größeres Risiko- bzw. Schadenspotential auf, als die ländliche Peripherie. Insbesondere Altersheime, Krankenhäuser sowie sonstige Pflege- und Betreuungseinrichtungen sind hier als sensible Nutzungen zu beachten. Aus Abb. 18 geht in diesem Zusammenhang hervor, dass die Stadt Erfurt gegenwärtig und auch zukünftig die am stärksten von Hitzetagen betroffene Thüringer Großstadt ist bzw. sein wird. Allerdings nivelliert sich der Unterschied vor allem zu Jena im Laufe des Jahrhunderts auf hohem Niveau. In Extremjahren sind in beiden Städten schon zur Mitte des Jahrhunderts ca. 45 Hitzetage (gegenüber ca. 25 im Referenzzeitraum) zu erwarten. Angesichts der beschriebenen Entwicklungen besteht zur Vorsorge vor hitzebedingten Herz-Kreislauferkrankungen eine besonders dringliche Handlungsnotwendigkeit.

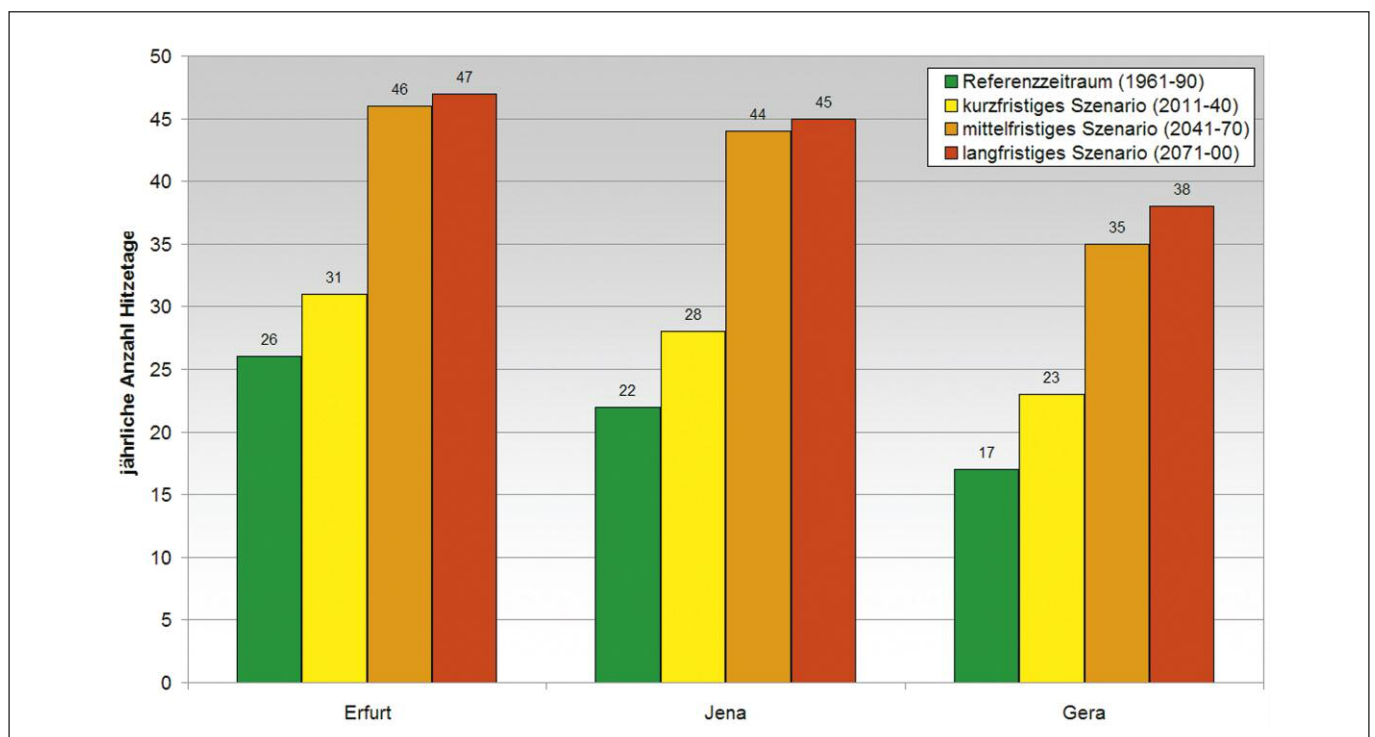


Abb. 18: Extremwerte der jährlichen Auftrittshäufigkeit von Hitzetagen für die drei Klimaprojektionszeiträume und den Referenzzeitraum 1961 - 1990 in den Thüringer Großstädten

Hautkrebs

In Deutschland erkranken jährlich rd. 200.000 Menschen neu an Hautkrebs. Als Risikogruppe gelten insbesondere hellhäutige Personen mit Sommersprossen und rötlichen Haaren. Die Erkrankungswerte haben sich seit den 1980er Jahren in etwa vervierfacht. Mehr als 90 % der Erkrankungen entfallen auf die nur sehr selten Metastasen bildenden Formen Basaliom und Spinaliome, die auch unter dem Begriff „weißer Hautkrebs“ bekannt sind. Das maligne Melanom („schwarzer Hautkrebs“) tritt im Vergleich zwar sehr viel seltener auf, führt aber in jährlich mehr als 2000 Fällen zum Tode (ZfKD 2010). Auch wenn speziell für Thüringen keine Zahlen verfügbar sind, so kann doch begründet davon ausgegangen werden, dass sich diese Entwicklung auf den Freistaat übertragen lässt. Als Hauptursache für alle Hautkrebsarten gilt kurzweilige, ultraviolette Sonneneinstrahlung (Steinmetz 2009). Je länger die Sonnenscheindauer, desto höher ist die Einwirkungszeit der UV-Strahlung auf ungeschützte Hautpartien. Dadurch stellt das Klima zusammen mit dem individuellen Hauttyp den Haupteinflussfaktor für das Hautkrebsrisiko dar. Der Zeitraum mit den höchsten UV-Einstrahlungswerten sind in Thüringen die Sommermonate Juni bis August. Eine Regionalisierung der Sonnenscheindauer war im Rah-

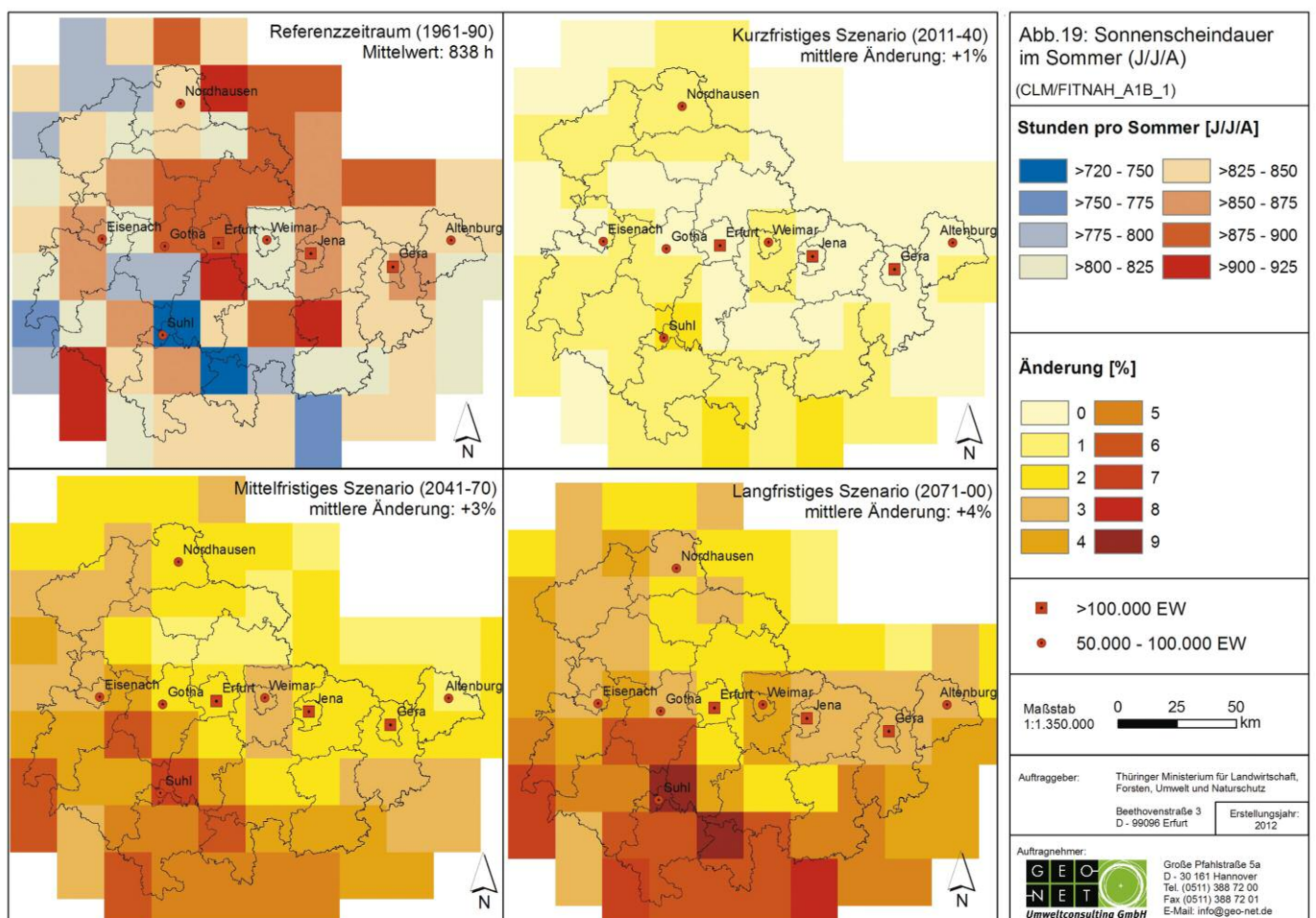


Abb. 19: Durchschnittliche sommerliche (J/J/A) Sonnenscheindauer für die drei Klimaprojektionszeiträume im Vergleich zum Referenzzeitraum 1961 - 1990

men dieses Projektes aufgrund der aktuell nur großräumig möglichen Modellierung von Wolkenbildungen nicht möglich, so dass hier auf das ursprüngliche Rechengitter des regionalen Klimamodells CLM von ca. 18 x 18 km zurückgegriffen werden muss. Aus Abb. 19 lassen sich für diesen Jahresabschnitt folgende Trends ableiten:

- robuster und flächendeckender Trend zu einer erhöhten Sonnenscheindauer,
- Entwicklung erfolgt mit regionalen Unterschieden: Zunahme am stärksten im Südwesten Thüringens (langfristig um bis zu 9 % bzw. 70 Stunden erhöhter Wert).

Es lässt sich also festhalten, dass der Klimawandel zukünftig zu einem weiter erhöhten Hautkrebsrisiko in der Thüringer Bevölkerung beitragen wird und sich hieraus mit Blick auf das Vorsorgeprinzip des Gesundheitswesens eine Handlungsnotwendigkeit ergibt.

Weitere nichtinfektiöse Krankheiten

Neben Herz-Kreislauferkrankungen und dem Hautkrebs nimmt der regionale Klimawandel in Thüringen noch auf eine Reihe weiterer nichtinfektiöser Krankheiten Einfluss. Zu erwähnen sind hier Verletzungen und Todesfälle, die in direktem Zusammenhang mit Extremwetterlagen stehen. Hierzu zählen sowohl direkte als auch indirekte Folgen von häufig mit Gewittern einhergehenden Unwettern. Über die zukünftige quantitative und räumliche Entwicklung von Gewittern geben die gegenwärtig verfügbaren Klimamodelle keine unmittelbare Auskunft. Tendenziell erscheint es aber plausibel, dass aufgrund des erhöhten Energiegehaltes der Atmosphäre mit häufigeren und intensiveren Gewittern gerechnet werden muss.

Über Extremereignisse hinaus ist auch mit einer weiter erhöhten Ausbreitungsgefahr von Allergien zu rechnen (vgl. Mücke und Augustin 2009). Diese lässt sich aus einer flächendeckend verlängerten Vegetationsperiode und einer entsprechend längeren Pollenflugsaison in Verbindung bringen. Weiterhin spielt dabei auch die Ausbreitung von allergenen (z. T. einwandernden) Pflanzen und Insekten eine wichtige Rolle. In diesem Zusammenhang wird vor allem der Ambrosia sowie dem Eichenprozessionsspinner, deren Ausbreitung jeweils durch ein wärmeres Klima gefördert wird, eine besondere Relevanz beigemessen (vgl. Eis und Helm 2009).

Chancen im Themenbereich nichtinfektiöse Krankheiten

Jährlich verunglücken bei Verkehrsunfällen in Thüringen mehrere 1000 Menschen (Thüringer Allgemeine 2012). Es kann begründet davon ausgegangen werden, dass ein nicht unwesentlicher

Anteil davon durch Schnee- und Eisglätte ausgelöst wird. Angesichts der Rückläufigkeit von Schneemengen sowie der Auftretshäufigkeit von Frostperioden und Frost-Tau-Wechselhäufigkeiten (vgl. Kap. 4.7.3) ist zu erwarten, dass der Klimawandel die Chance beinhaltet, dass es zukünftig im Winterhalbjahr zu weniger Verletzten und Toten durch witterungsbedingte Verkehrsunfälle und auch sonstige mit Glatteis verbundene Unfälle (z. B. Stürze) kommen wird.

Maßnahmen

Herz-Kreislauferkrankungen durch Hitzestress

Hitzebedingte Herz-Kreislauferkrankungen sind für das Handlungsfeld Gesundheit die wohl relevantesten Klimafolgen. Bei deren Management kann der Verhaltensanpassung in der Bevölkerung eine Schlüsselrolle zugeschrieben werden (GE01). Die Anpassung selbst muss sowohl im Berufsalltag (vgl. hierzu TLAtV 2012, BAUA 2011), als auch während der Freizeit (z. B. Vermeidung von Ausdauersport, Aufsuchen von kühleren Naherholungsmöglichkeiten) erfolgen. Insbesondere die Risikogruppen (Kleinkinder, hochaltrige und kranke Personen) sind oftmals aber nur sehr bedingt selbständig in der Lage, sich adäquat an Hitze anzupassen. Die Handlungszuständigkeit geht hier auf Pflege- und Betreuungspersonal über. Um deren Kompetenzen entsprechend zu fördern, sollte die Implementierung der Auswirkungen des Klimawandels auf die Gesundheit im Allgemeinen sowie der Hitzeproblematik im Speziellen in die Aus-, Fort- und Weiterbildung von Medizinerinnen und Pflegepersonal in Thüringen angestrebt werden (GE02). Da nicht jede hilfebedürftige Person in das Pflege- und Betreuungssystem eingebunden ist, kommt auch dem sozialen Netzwerk eine wichtige Rolle zu. Vereinzelt wird hier im Rahmen von Nachbarschaftshilfemodellen mit sog. Trinkpatenschaften gearbeitet (Ärztezeitung 2010), die organisiert und koordiniert sowie über entsprechende Kampagnen beworben werden müssen (GE03). Die Voraussetzung für gezielte Maßnahmen ist eine frühzeitige Warnung der jeweils zuständigen Akteure (vgl. Ingedahl und Thieme 2009). Mit dem mittlerweile etablierten mailgestützten Hitzewarnsystem des Deutschen Wetterdienstes (DWD) ist hierfür bundesweit eine sehr gute Informationsbasis geschaffen worden (GE04).

Über die bisher benannten, tendenziell weniger kostenintensiven Maßnahmen hinaus, kann der Hitzeproblematik auch über investive Maßnahmen begegnet werden. Im Bereich von privaten und öffentlichen Gebäuden sind hierbei vor allem die energetische Gebäudesanierung zu nennen, die nicht nur den Heizbedarf der Gebäude verringert, sondern auch eine sommerliche Überhitzung der Innenräume verhindern oder zumindest hinauszögern kann. Insbesondere mittel- bis langfristig müssen Investitionen in die Dämmung und den sommerlichen Wärmeschutz von Ge-

bäuden (vgl. Kapitel 4.9.2) ggf. durch die Installation von Klimaanlage ergänzt werden (GE05). Die öffentliche Hand kann hier mit entsprechenden Maßnahmen in öffentlichen Gebäuden, die z. T. bereits initiiert wurden, eine Vorbildfunktion übernehmen und über Förderprogramme Anreize für Gebäudebesitzer schaffen (GE06). Insbesondere bezüglich der Begegnung der Städtischen Wärmeinseln tragen Politik und Verwaltung aber auch eine Hauptverantwortung. Unter dem Ansatz einer klimawandelgerechten Stadtentwicklung lassen sich hier vielfältige Maßnahmen zur Abkühlung des Stadtkörpers umsetzen (z. B. Entsiegelung, Erhalt und Förderung von städtischen Grünanlagen und Kaltluftschneisen; vgl. MUNLV 2010), die allesamt fundiertes und räumlich hoch aufgelöste Informationen über die jeweilige stadtklimatologische Situation – und damit regelmäßig zu aktualisierende Stadtklimaanalysen – erfordern (GE07).

Hautkrebs

Die Vorbeugung vor Hautkrebs liegt in erster Linie in der Eigenverantwortung der Bevölkerung. Das Hautkrebsrisiko kann durch einige zumeist leicht umsetzbare Anpassungsmaßnahmen im Beruf (vgl. hierzu TLAtV 2012) und in der Freizeit (insbesondere beim Sonnenbaden) deutlich verringert werden (GE08). Dass aber auch die medizinische Forschung (GE09) eine Schlüsselposition bei dem Management des steigenden Hautkrebsrisikos einnimmt, zeigt das Verhältnis von Neuerkrankungen und Sterbefällen. So nimmt zwar die Zahl der Neuerkrankungen weiterhin zu, die Sterblichkeit konnte aber konstant gehalten werden, was insbesondere auf erfolgreiche Früherkennung sowie z. T. etablierte Therapiemethoden zurückgeführt wird (ZfKD 2010). Neben Forschungen zu Früherkennung und Therapie, die offenbar erfolgreich sind, das Gesundheitssystem aber finanziell belasten, muss gleichzeitig auch auf weniger kostenintensive prophylaktische Ansätze der Aufklärung und Vorsorge gesetzt werden. Die Aufklärung der Bevölkerung kann von behördlicher Seite durch die Initiierung einer Kampagne zur Prophylaxe von Hautkrebs unter-

stützt werden (GE10). Eine Aufklärungsfunktion haben auch Fach- und Hausärzte zu übernehmen, die ihre Risikopatienten über ein adäquates Verhalten entsprechend informieren sollten. Hierzu bedarf es wiederum einer nachhaltigen Implementierung der gesundheitlichen Auswirkungen des Klimawandels in die Aus-, Fort- und Weiterbildung von Medizinerinnen (GE11).

Weitere nichtinfektiöse Krankheiten

Um gesundheitlichen Schäden durch Unwetter effektiv vorbeugen zu können, spielen insbesondere die Etablierung räumlich und zeitlich hoch aufgelöster Warnsysteme sowie die entsprechende Verhaltensanpassung der Bevölkerung eine entscheidende Rolle. Mit der Unwetterwarnzentrale des DWD ist bereits ein System bundesweit etabliert worden, das landkreisgenaue Warnungen herausgibt, die sowohl im Internet verfügbar sind als auch über die Massenmedien verbreitet werden und die in Thüringen per Mail-Verteiler allen Landkreisen und kreisfreien Städten aktuell zur Verfügung gestellt werden (GE12). Derartige Systeme werden zukünftig eine noch größere Bedeutung erlangen und eine zunehmend relevante Entscheidungsgrundlage für das Verhalten der Bevölkerung im Beruf und in der Freizeit darstellen (GE13).

Das lokale Vorhandensein und die lokale Ausbreitungsgeschwindigkeit allergener Pflanzen sind in Thüringen oftmals nicht genau bekannt. Hier bedarf es also zunächst eines Monitorings, das sich insbesondere auf sensible Bereiche innerhalb von Ortschaften (Kindergärten, Spielplätze, Naherholungsgebiete) konzentrieren sollte. Sofern dadurch allergene Bestände neophytischer Arten ermittelt werden, sollte diesen durch eine nachhaltige Bekämpfung entgegengetreten werden (GE14). Allergene Pflanzen verbreiten sich nicht selten über Saatgut und Vogelfutter, deren Reinigung technisch möglich, bisher aber nicht rechtlich geregelt ist. Hier herrscht Steuerungsbedarf auf nationaler und europäischer Ebene, auf den die Landespolitik in den geeigneten Gremien hinweisen sollte (GE15).

Tab. 1: Maßnahmen zur Klimafolgenanpassung im Handlungsfeld Gesundheit (nicht-infektiöse Krankheiten)

Herz-Kreislaufkrankungen durch Hitzestress

GE01	Verhaltensanpassungen in der Bevölkerung in Beruf und Freizeit	Zeitliche Dringlichkeit	mittel (3 bis 10 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	-
		Zuständigkeit	eigenverantwortlich / betrieblich
		Kosten	nicht abschätzbar
GE02	Implementierung in die Aus-, Fort- und Weiterbildung von Pflege/Betreuungspersonal	Zeitliche Dringlichkeit	mittel (3 bis 10 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	(vermutlich) in Planung o. Vorbereitung
		Zuständigkeit	Verantwortliche für Ausbildung (z. B. Kultusministerium)
		Kosten	nicht abschätzbar

Fortsetzung von Tab. 1: Maßnahmen zur Klimafolgenanpassung im Handlungsfeld Gesundheit (nicht-infektiöse Krankheiten)			
GE03	Kampagnen für Nachbarschaftshilfemodelle	Zeitliche Dringlichkeit	mittel (3 bis 10 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	langfristig (> 10 Jahre)
		Zuständigkeit	Vereine / Selbsthilfeeinrichtungen
		Kosten	nicht abschätzbar
GE04	Hitzewarnungen E-Mail Verteiler auf Basis des DWD-Warnsystems ausgeben	Zeitliche Dringlichkeit	hoch (bis 3 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	bereits umgesetzt o. durchgeführt
		Zuständigkeit	TMSFG
		Kosten	keine
GE05	Öffentliche und private Investitionen in die Gebäudekühlung	Zeitliche Dringlichkeit	mittel (3 bis 10 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	langfristig (> 10 Jahre)
		Zuständigkeit	Verantwortliche für Gebäudesanierung bzw. -errichtung
		Kosten	nicht abschätzbar
GE06	Förderprogramme energetische Gebäudesanierung/ sommerlicher Wärmeschutz	Zeitliche Dringlichkeit	mittel (3 bis 10 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	langfristig (> 10 Jahre)
		Zuständigkeit	Verantwortliche für Gebäudesanierung bzw. -errichtung
		Kosten	nicht abschätzbar
GE07	Öffentliche Investitionen in die klimagerechte Stadtentwicklung	Zeitliche Dringlichkeit	mittel (3 bis 10 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	langfristig (> 10 Jahre)
		Zuständigkeit	Verantwortliche für Stadtentwicklung
		Kosten	nicht abschätzbar
Hautkrebs			
GE08	Verhaltensanpassungen der Bevölkerung in Beruf und Freizeit	Zeitliche Dringlichkeit	mittel (3 bis 10 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	-
		Zuständigkeit	eigenverantwortlich/betrieblich
		Kosten	nicht abschätzbar
GE09	Forschungen zu Früherkennung und Therapien	Zeitliche Dringlichkeit	hoch (bis 3 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	langfristig (> 10 Jahre)
		Zuständigkeit	z. B. Kultusministerium
		Kosten	nicht abschätzbar
GE10	Aufklärungskampagnen	Zeitliche Dringlichkeit	mittel (3 bis 10 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	langfristig (> 10 Jahre)
		Zuständigkeit	u. a. Ärzte, TMSFG
		Kosten	mittel
GE11	Implementierung in die Aus-, Fort- und Weiterbildung von Mediziner*innen	Zeitliche Dringlichkeit	mittel (3 bis 10 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	(vermutlich) in Planung o. Vorbereitung
		Zuständigkeit	Verantwortliche für Ausbildung (z. B. Kultusministerium)
		Kosten	nicht abschätzbar
Weitere nichtinfektiöse Krankheiten			
GE12	Unwetterwarnungen über einen regionalen Mailverteiler zur Verfügung stellen	Zeitliche Dringlichkeit	hoch (bis 3 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	bereits umgesetzt o. durchgeführt
		Zuständigkeit	TMSFG
		Kosten	keine

Fortsetzung von Tab. 1: Maßnahmen zur Klimafolgenanpassung im Handlungsfeld Gesundheit (nicht-infektiöse Krankheiten)			
GE13	Verhaltensanpassungen der Bevölkerung in Beruf und Freizeit	Zeitliche Dringlichkeit	mittel (3 bis 10 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	-
		Zuständigkeit	eigenverantwortlich / betrieblich
		Kosten	nicht abschätzbar
GE14	Systematisches Monitoring und Bekämpfung von allergenen Pflanzen in sensiblen Bereichen	Zeitliche Dringlichkeit	mittel (3 bis 10 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	langfristig (> 10 Jahre)
		Zuständigkeit	z. B. TMLFUN
		Kosten	nicht abschätzbar
GE15	Rechtsgrundlage zur Verhinderung der Verbreitung von allergenen Pflanzen über Saatgut und Vogelfutter schaffen	Zeitliche Dringlichkeit	mittel (3 bis 10 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	mittelfristig (3 bis 10 Jahre)
		Zuständigkeit	Gesetzgeber (EU, Bund, Land)
		Kosten	nicht abschätzbar

4.1.2 Infektiöse Krankheiten

Auswirkungen des Klimawandels

Vektorbasierte Krankheiten

Vektorbasierte Krankheiten werden durch einen Erreger verursacht, der seinerseits wiederum in der Regel auf einen Wirt angewiesen ist. Das Klima bzw. der Klimawandel wirkt sich als abiotischer Faktor auf die räumliche Verbreitung, die Fitness und die Fortpflanzungsrate des Wirtes und damit indirekt auch auf die Ausbreitung des Erregers aus. Für Thüringen werden insbesondere folgende Erreger-Wirt-Kombinationen für relevant gehalten:

- Borreliose - Zecke,
- FSME - Zecke,
- Hantavirusinfektionen - Nagetiere (insbesondere Rötelmaus).

Bei allen Wirtstieren kann davon ausgegangen werden, dass sich ihre Lebensbedingungen unter dem Einfluss des Klimawandels flächendeckend in Thüringen verbessern. Dieses gilt insbesondere für thermophile Arten wie Zecken. Die Ektoparasiten können beim Blutsaugen sowohl Borreliose, eine vielfältige klinische Symptome auslösende bakterielle Infektionskrankheit, als auch die virale FSME (grippeähnliche Symptome, ggf. auch in Verbindung mit einer Hirnhautentzündung) übertragen. Dabei ist der Borreliose in Thüringen aufgrund der deutlicher höheren Auftretshäufigkeit (rd. 2000 Fälle pro Jahr) eine weitaus größere Relevanz beizumessen als der FSME (< 5 Fälle pro Jahr). Sowohl für FSME, als auch für Borreliose wurden Risikogebiete auf Landkreisebene ausgewiesen (TLLV 2007; Anhang, Abb. 4 und Anhang, Abb. 5). Demnach sind gegenwärtig insbesondere Ost-Thüringen bzw. der mittlere und östliche Teil des Thüringer Waldes besondere Gefahrenräume. Der Lebensraum der den Hantavirus

übertragenden Rötelmaus sind vornehmlich Buchenwälder. Das Robert-Koch-Institut benennt hier explizit Westthüringen als Risikogebiet (RKI 2010). Grundsätzlich kann mit einer weiteren Ausbreitung der Risikogebiete für FSME, Borreliose und Hantavirus gerechnet werden. Die Ausbreitung wird vor allem dort besonders erfolgreich verlaufen, wo (ausbleibende) Fröste bzw. Frostperioden keinen begrenzenden Einfluss mehr auf die Populationsgrößen ausüben können, also vornehmlich außerhalb der Mittelgebirge.

Als besonders gefährdet, sich mit Borreliose, FSME oder Hantaviren zu infizieren gelten Personen und Berufsgruppen, die sich viel in der freien Natur insbesondere im Wald aufhalten:

- forst-, landwirtschaftliche und gartenbauliche Berufe,
- Waldkindergartenkinder,
- Camper, Angler, Wanderer,
- Pilz- und Beerensammler.

(Trink-)wasserassoziierte Krankheiten

Als Folge der zu erwartenden erhöhten Auftretshäufigkeit von Hochwasser (vgl. Kapitel 4.2.1) besteht die Gefahr, dass vermehrt Krankheitserreger in den Wasserkreislauf und damit auch in die Talsperren gelangen, die rund 40 % der Thüringer Bevölkerung mit Trinkwasser versorgen. Ungeklärt ist bis dato die Frage, welchen Einfluss eine steigende Bodentemperatur auf die Qualität des Trinkwassers innerhalb der Leitungssysteme hat.

In den Thüringer Badegewässern besteht darüber hinaus flächendeckend das Risiko, dass es zukünftig in den Sommermonaten durch erhöhte Wassertemperatur zu einer weiter steigenden Auftretshäufigkeit von Blaualgenblüten kommt. Bestimmte Blaualgentypen können bei Verschlucken zu Übelkeit, Durchfall und Erbrechen führen sowie Entzündungen, allergische Reaktionen und Reizungen an Haut, Schleimhäuten und Augen auslösen.

Lebensmittelassoziierte Krankheiten

Ebenfalls aufgrund steigender Temperaturen erhöht sich flächendeckend - vor allem außerhalb der Mittelgebirge - die Gefahr der schnelleren Verderblichkeit von Lebensmitteln, was in Verbindung mit unsachgemäßer Lagerung und Zubereitung zu einem verstärkten Risiko von Infektionshäufigkeiten mit Salmonellen führen kann.

Chancen im Themenbereich infektiöse Krankheiten

Allerdings wird der Klimawandel nicht nur steigende bzw. neue Gesundheitsrisiken mit sich bringen, sondern er birgt gerade für vektorbasierte Krankheiten auch die Chance, dass sie zukünftig seltener auftreten werden. Zu dieser Gruppe gehören insbesondere akute Infektionen der oberen Atemwege (sog. Erkältungs- und Grippekrankheiten). Die sie auslösenden Viren werden mit einer Vorliebe für nass-kaltes Wetter in Verbindung gebracht, dass unter dem Einfluss des Klimawandels grundsätzlich seltener auftreten wird (vgl. Kapitel 3.2). Dadurch sollte sich vor allem außerhalb der Mittelgebirge perspektivisch das Infektionsrisiko verringern.

Maßnahmen

Vektorbasierte Krankheiten

Die hohe Effektivität (> 95 %, vgl. Kunz 2002) der bereits seit längerer Zeit verfügbaren FSME-Impfstoffe zeigt, dass für impfbare Krankheiten eine nahezu vollständige Risikovermeidung möglich ist (GE17). Für Krankheiten, die noch nicht impfbar sind (z. B. Hantaviren), kommt der Unterstützung von medizinischer Forschung eine Schlüsselrolle zu (GE18). Krankheiten, die grundsätzlich nicht impfbar sind (Borreliose), muss mit anderen Maßnahmen begegnet werden. Von behördlicher Seite kann hier insbesondere ein Beitrag durch Aufklärungskampagnen geleistet werden (GE19). Ein Informationsblatt sowie die Ausweisung von Risikogebieten wurden zu Borreliose und FSME von dem TLLV bereits vorgelegt (TLLV 2007). Das kann perspektivisch durch Informationen zum Hantavirus ergänzt werden. Um vor allem die räumlichen Informationen auf aktuellem Stand halten zu können, bedarf es eines regelmäßigen Monitorings der Erkrankungszahlen.

Zudem sollte auch geprüft werden, inwiefern zusätzlich regelmäßige Untersuchungen zur Entwicklung der Infektionsrate der Wirte realisiert werden können (GE20). Auf der Ebene der Risikogruppen ist insbesondere eine angepasste Verhaltensweise (z. B. das Tragen langer Kleidung und das Absuchen des Körpers) von entscheidender Bedeutung (GE16).

(Trink)wasserassoziierte Krankheiten

Durch die Trinkwasserverordnung und die hochwertige Talsperrenbewirtschaftung erreicht die Trinkwasserqualität in Thüringen heute ein sehr hohes Niveau. Dieses Management wird angesichts der zu erwartenden Klimafolgen noch relevanter und muss nachhaltig technisch-finanziell gesichert werden (GE21). In diesem Zusammenhang kommt der Erforschung der Frage, ob Wasserleitungen aufgrund steigender Bodentemperaturen zukünftig tiefer verlegt werden müssen, eine zentrale Bedeutung zu (GE22). Auch die Qualität der Thüringer Badegewässer wird schon heute regelmäßig überwacht und die Gewässer bei einer Grenzwertüberschreitung ggf. gesperrt (GE23). Die Untersuchungsergebnisse werden über ein online verfügbares Informationssystem veröffentlicht (GE24; TLLV 2012).

Lebensmittelassoziierte Krankheiten

Auch wenn in den Medien immer wieder mal über Negativbeispiele aus der Lebensmittelbranche berichtet wird, weisen die Lebensmittel in Deutschland und Thüringen dank strenger Kontrollen sowohl bei der gewerblichen Herstellung und Weiterverarbeitung ein grundsätzlich hohes Qualitätsniveau auf, das u. a. durch keimfreie Produkte gekennzeichnet ist. Angesichts der zu erwartenden Klimafolgen sind die Kontrollintensitäten und -intervalle zumindest beizubehalten und insbesondere während Hitzeperioden ggf. auch auszudehnen (GE25). Auf Seiten der privaten Verbraucher muss zukünftig noch mehr auf eine fachgerechte Zubereitung und Lagerung insbesondere von rohem Fleisch (vor allem Hühnerfleisch) geachtet werden (GE26). Eine Aufklärungskampagne zum richtigen Umgang mit Lebensmitteln und auch dessen frühzeitig Einbindung in die schulische Ausbildung kann hier risikominimierend wirken (GE27). Mit einem Merkblatt zum Schutz vor Salmonellen hat der Freistaat Thüringen diesen Prozess bereits initiiert (TLLV 2012a).

Tab. 2: Maßnahmen zur Klimafolgenanpassung im Handlungsfeld Gesundheit (infektiöse Krankheiten)

Vektorbasierte Krankheiten			
GE16	Verhaltensanpassungen der Bevölkerung in Beruf und Freizeit	Zeitliche Dringlichkeit	mittel (3 bis 10 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	-
		Zuständigkeit	eigenverantwortlich / betrieblich
		Kosten	nicht abschätzbar
GE17	Impfungen	Zeitliche Dringlichkeit	mittel (3 bis 10 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	langfristig (> 10 Jahre)
		Zuständigkeit	Wissenschaft / Forschung / Bund
		Kosten	nicht abschätzbar
GE18	Medizinische Forschung zu Impfstoffen	Zeitliche Dringlichkeit	mittel (3 bis 10 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	langfristig (> 10 Jahre)
		Zuständigkeit	Wissenschaft / Forschung / Bund
		Kosten	nicht abschätzbar
GE19	Aufklärungskampagnen	Zeitliche Dringlichkeit	mittel (3 bis 10 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	langfristig (> 10 Jahre)
		Zuständigkeit	u. a. Ärzte, TMSFG
		Kosten	mittel
GE20	Ausweisung und regelmäßige Aktualisierung von Risikogebieten	Zeitliche Dringlichkeit	mittel (3 bis 10 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	langfristig (> 10 Jahre)
		Zuständigkeit	Bund
		Kosten	nicht abschätzbar
(Trink-)wasserassoziierte Krankheiten			
GE21	Nachhaltiges Trinkwasserqualitätsmanagements	Zeitliche Dringlichkeit	hoch (bis 3 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	bereits umgesetzt o. durchgeführt
		Zuständigkeit	TMLFUN, TMSFG
		Kosten	hoch
GE22	Forschungsprojekt zur Verlegungstiefe von Wasserleitungen initiieren	Zeitliche Dringlichkeit	mittel (3 bis 10 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	langfristig (> 10 Jahre)
		Zuständigkeit	Forschungseinrichtungen / Kultusministerium
		Kosten	nicht abschätzbar
GE23	Installation eines nachhaltigen Badegewässerqualitätsmanagements	Zeitliche Dringlichkeit	hoch (bis 3 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	bereits umgesetzt o. durchgeführt
		Zuständigkeit	TMSFG, Gesundheitsämter
		Kosten	hoch
GE24	Badegewässermonitoring und Betreiben eines öffentlichen Onlineinformationssystems	Zeitliche Dringlichkeit	hoch (bis 3 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	bereits umgesetzt o. durchgeführt
		Zuständigkeit	TMSFG, Gesundheitsämter
		Kosten	hoch
Lebensmittelassoziierte Krankheiten			
GE25	Regelmäßige Qualitätskontrollen bei der Herstellung und Verarbeitung von Lebensmitteln	Zeitliche Dringlichkeit	hoch (bis 3 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	bereits umgesetzt o. durchgeführt
		Zuständigkeit	Lebensmittelämter, TMSFG
		Kosten	hoch
GE26	Verhaltensanpassung der Verbraucher	Zeitliche Dringlichkeit	mittel (3 bis 10 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	-
		Zuständigkeit	eigenverantwortlich / betrieblich
		Kosten	nicht abschätzbar
GE27	Kampagnen zum richtigen Umgang mit Lebensmitteln	Zeitliche Dringlichkeit	mittel (3 bis 10 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	langfristig (> 10 Jahre)
		Zuständigkeit	u. a. Lebensmittelindustrie, TMSFG
		Kosten	nicht abschätzbar

4.2 Wasserwirtschaft

Gewässer sind nachhaltig zu bewirtschaften um ihre Funktions- und Leistungsfähigkeit als Bestandteil des Naturhaushaltes und als Lebensraum zu erhalten und zu verbessern. Die zentralen **Ziele** der Thüringer Wasserwirtschaft liegen daher im nachhaltigen Management des Grundwassers und der Oberflächengewässer. Für sie ist gemäß EU-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) bzw. Wasserhaushaltsgesetz (WHG) und Thüringer Wassergesetz (ThürWG) ein guter ökologischer (Oberflächengewässer), chemischer (Grundwasser und Oberflächengewässer) und quantitativer Zustand (Grundwasser) zu erreichen und zu sichern. Laut EU-Hochwasserrisikomanagementrichtlinie müssen auch im Freistaat Thüringen Risiken und Folgen von Hochwasserereignissen für die Bevölkerung, die Infrastruktur aber auch für zahlreiche weitere Schutzgüter (z. B. kulturelle Objekte, Land- und Forstwirtschaftsflächen, Wasserschutzgebiete, FFH-Gebiete) minimiert werden. Zudem gilt der Vorsorgegrundsatz zum Schutz der für die öffentliche Wasserversorgung genutzten Wasserressourcen. Wichtige **fachliche Vorgaben** stellen gewässertypologische Leitbilder, Zustandsbewertungen und Defizitanalysen der Gewässer sowie Pegel-, Güte- und Grundwassermessstellen bzw. -messwerte (z. B. HQ100) und computergestützte Wasserhaushaltsmodelle dar. Auf deren Basis werden die Bewirtschaftungspläne und Maßnahmenprogramme nach WRRL und die Hochwasserrisikomanagementpläne erarbeitet. Der **Planungshorizont** der Wasserwirtschaft richtet sich ebenfalls nach den Vorgaben der EU-WRRL und der EU-Hochwasserrisikomanagementrichtlinie. Das z. B. in der WRRL angegebene Ziel „Erreichung des guten Zustands bis 2015“ ist nicht nur bis dahin zu erreichen, sondern auch

dauerhaft zu sichern. Dies bedeutet, dass neben einem kurzfristigen auch ein mittel- und langfristiger Zeitraum bei der Klimafolgenanpassung zu berücksichtigen ist. Dieses gilt insbesondere auch für Infrastrukturvorhaben (z. B. technische Bauwerke zum Hochwasserschutz, Talsperren, Wasserversorgungsanlagen), für die meist schon aus betriebswirtschaftlichen Gründen Nutzungszeiträume von > 50 Jahren erforderlich sind.

Die Abhängigkeit der Wasserwirtschaft vom Klimageschehen und damit die hohe **Klimasensitivität** der für Thüringen zentralen Themenfelder

- Oberflächengewässer (Hochwasserereignisse und Niedrigwasserperioden),
 - Grundwasser (quantitativer und qualitativer Zustand),
 - Trinkwasserversorgung (Sicherheit und Qualität)
- sind offensichtlich.

Insbesondere die Trinkwasserversorgung ist aber auch von **sozio-ökonomischen** Faktoren abhängig. Hier spielen vor allem der demografische Wandel und die wirtschaftliche Situation eine wesentliche Rolle. Mit rückläufiger Einwohnerzahl in Thüringen (Abb. 20) wird auch der Wasserbedarf weiter zurückgehen. Auch wenn einige Unsicherheiten in dieser Entwicklung - insbesondere unter Beachtung der Zuwanderungspolitik - bestehen, so kann doch grundsätzlich von einem robusten Trend ausgegangen werden. Aus der wirtschaftlichen Situation ergeben sich Tages- und Wochenpendlereffekte, die in einigen Regionen Thüringens deutliche Auswirkungen auf den Wasserbedarf haben. Weitere zu erwartende technische Innovationen z. B. für wassersparende Armaturen und der sinkende Wasserbedarf in den Industrien werden bedarfsreduzierend wirken.

Abb. 20: Demografie in Deutschland – Zu erwartende Veränderung der Bevölkerungszahlen nach Bundesländern, 2060 gegenüber 2010 (in %)



4.2.1 Oberflächengewässer

Auswirkungen des Klimawandels

Hochwasser

Nicht erst das Hochwasser in der Saale und in weiteren Gewässern in Thüringen von 1994 hat gezeigt, welch hohes Schadenspotential Hochwasserereignisse auch für den Freistaat Thüringen bergen. Intensität und Häufigkeit der Ereignisse sind zumeist das Ergebnis des Zusammenwirkens vieler Faktoren. 1994 war dies die Kombination von Starkregen und schnellem Abtauen einer Schneedecke. In anderen Fällen könnten beispielsweise lang andauernde Niederschläge, meist in Kombination mit der dann erschöpften Wasseraufnahmefähigkeit der Böden, oder auch Eisstau in den Gewässern, ähnliche Folgen haben.

Zusammenhänge zwischen Klimawandel und Hochwasserrisiken sollen nun beispielhaft anhand der Entwicklung von Starkregen-

ereignissen dargestellt werden. Abb. 21 zeigt die jährliche Auftretshäufigkeit von Starkregenereignissen > 50 mm/Tag in den acht großen Flusseinzugsgebieten (FEG) Thüringens. Grundsätzlich lassen sich folgende Aussagen treffen:

Starkregenereignisse treten definitionsgemäß selten auf. Die durchschnittliche Auftretshäufigkeit liegt in ganz Thüringen im Referenzzeitraum bei einem derartigen Ereignis innerhalb von 10 Jahren. Die höchsten Werte sind in den Hochlagen des Thüringer Waldes, vor allem im Schiefergebirge, zu erwarten, die über die FEG von Main, Saale, Werra, Ilm und Unstrut entwässert werden. Im kurz- und mittelfristigen Szenario verändert sich die durchschnittliche Auftretshäufigkeit von Starkregenereignissen zunächst nicht und es kommt zu keiner signifikanten räumlichen Umverteilung.

Im langfristigen Szenario ist jedoch mit einer deutlich erhöhten Auftretshäufigkeit von Starkregenereignissen zu rechnen. Die durchschnittliche Auftretshäufigkeit wird auf ein derartiges Ereignis innerhalb von 5 Jahren steigen. Der Anstieg fällt besonders

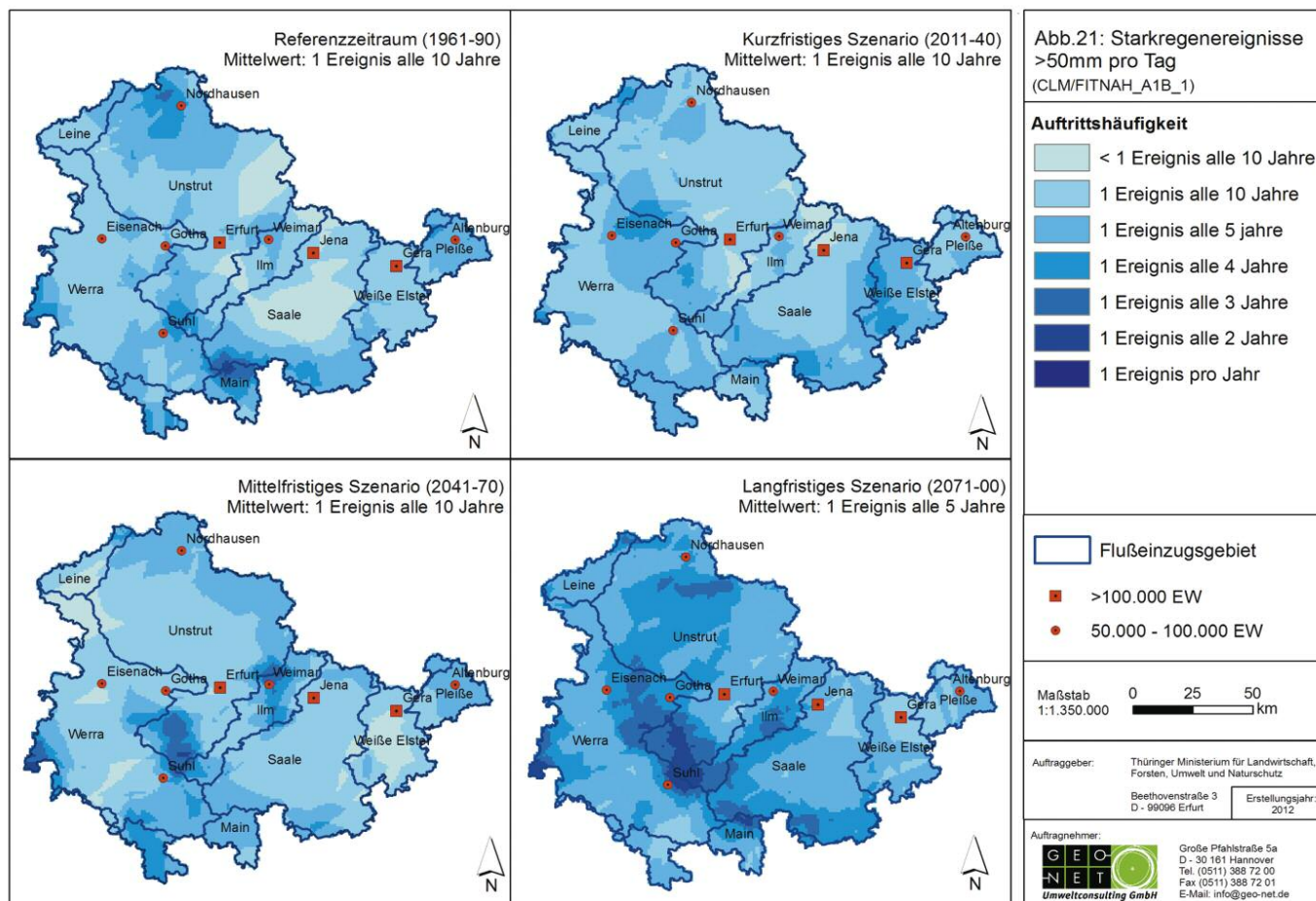


Abb. 21: Durchschnittliche Auftretshäufigkeit von Starkregenereignissen > 50 mm/Tag für die drei Klimaprojektionszeiträume und den Referenzzeitraum 1961 - 90

deutlich in den Einzugsgebieten aus, die den Thüringer Wald entwässern, aber auch im von der Unstrut und der Ilm entwässerten Thüringer Becken ist ein erheblicher Anstieg gegenüber dem Referenzzeitraum zu erwarten.

Neben der Häufigkeit von Starkregenereignissen ist auch deren Intensität von Relevanz. Abb. 22 zeigt daher die maximale Tagesniederschlagsmenge, die in Extremjahren durch die Fließgewässer abgeführt werden muss. Die Extremwertanalyse erlaubt zwei relevante Rückschlüsse:

- Erstens ergibt sich für den kurz- und mittelfristigen Zeitraum eher eine leichte Abnahme der Extremniederschlagsintensität. Dieses trifft vor allem auf die Einzugsgebiete von Werra und Unstrut zu.
- Zweitens zeigt sich im langfristigen Szenario fast flächendeckend ein Trend zu deutlich intensiveren Extremereignissen. Am offensichtlichsten ist dieser Trend im Schiefergebirge ausgeprägt, aus dem zum Ende des Jahrhunderts bis zu 200 mm/d abgeführt werden müssen, was einem Anstieg von fast 100 % gegenüber dem Referenzzeitraum entspricht.

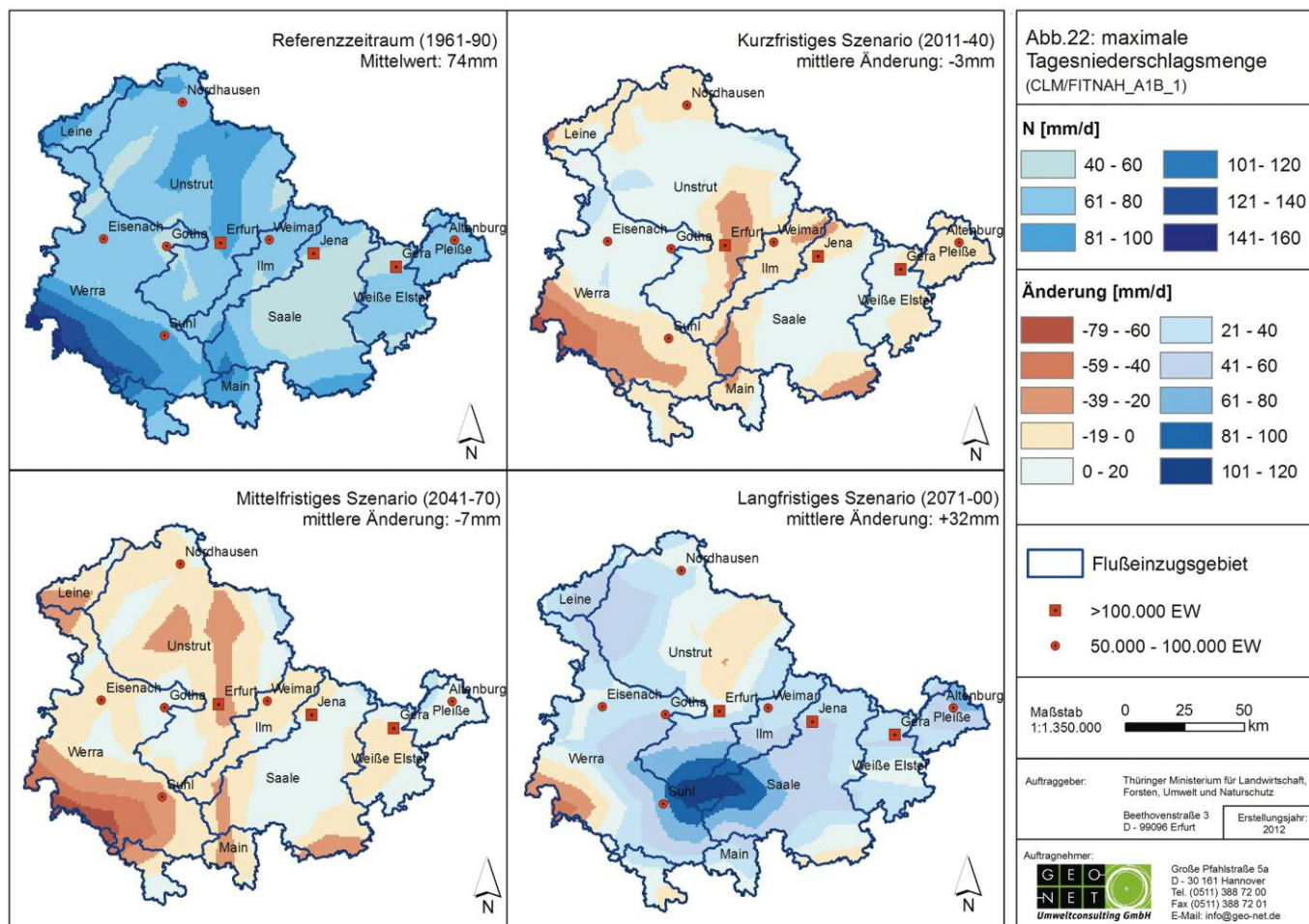


Abb. 22: Extremwerte der maximalen Tagesniederschlagsmengen für die drei Klimaprojektionszeiträume und den Referenzzeitraum 1961 - 1990 in den acht großen FEG Thüringens

Grundsätzlich deuten die Ergebnisse der Mittel- und Extremwertanalyse darauf hin, dass das durch Starkregenereignisse verursachte Hochwasserrisiko in Thüringen bis zur Mitte des Jahrhunderts annähernd konstant bleiben könnte und es erst zum Ende des Jahrhunderts zu einer deutlich erhöhten Gefahr von Starkregenereignissen und damit möglicherweise zu häufigeren und intensiveren Hochwasserereignissen kommen würde. Dieses Risiko ergibt sich insbesondere für die Einzugsgebiete, die das Schiefergebirge in Richtung Elbe entwässern. Unter der Prämisse, dass bestehende oder zu entwickelnde Pegelmodelle zu einem vergleichbaren Ergebnis kommen, unterstreicht die Analyse die gegenwärtig unternommenen Anstrengungen im Hochwasserschutz, die mit Blick auf das Ende des Jahrhunderts noch intensiviert werden müssen. Es wird nochmals darauf hingewiesen, dass es neben Starkregen noch viele andere die Hochwassergefahr bestimmende Faktoren gibt.

Niedrigwasser

Niedrigwasserperioden kann am besten mit ausgereiften Vermeidungsstrategien begegnet werden, die zugleich einer auf Ressourceneffizienz und Nachhaltigkeit ausgerichteten Umweltpolitik am besten entsprechen. Damit ließe sich ein nicht unerheblicher Teil potenzieller Niedrigwasserperioden vermeiden.

Sofern Niedrigwasserperioden dennoch nicht vermieden werden können, haben sie erhebliche Auswirkungen, zum Beispiel auf die Wasserkraftnutzung, auf Brauch- und Kühlwasser nutzende Industrien und Gewerbe und auf limnologische Lebensgemeinschaften. Auswirkungen auf die Schifffahrt sind in Thüringen von untergeordneter Bedeutung. Niedrigwässer führen zu verringerter Fließgeschwindigkeit und (insbesondere in den Sommermonaten) zu erhöhter Wassertemperatur. Folgen davon können unter anderem verringerte Sauerstoffaufnahme aus der Luft, geringere Sauerstoffkapazität des Wassers, Stresssituationen für die Organismen im Fließgewässer, verstärktes Algenwachstum sowie Anreicherungen von Schad- und Nährstoffen infolge der geringeren Verdünnung sein. Auch touristische Nutzungen wie Wasserwandern und Baden werden erschwert, was für die jeweilige Region nachteilige wirtschaftliche Folgen hat.

Ein wesentlicher Faktor zum Zustandekommen von Niedrigwasserperioden ist beispielsweise neben hohen Temperaturen und erhöhten Verdunstungsraten anhaltende Niederschlagsarmut im Einzugsgebiet des Fließgewässers. Beispielhaft wird deshalb das Auftreten von Trockenperioden als Leitparameter gewählt. Abb. 23 zeigt die Entwicklung der durchschnittlichen jährlichen Aufttrittshäufigkeit von Trockenperioden mit ≥ 11 Tagen in Folge ohne Niederschlag in den acht großen Einzugsgebieten Thüringens. Folgende Trends lassen sich ableiten:

- Trockenperioden werden häufiger,
- räumliche Differenzierung, wobei die Einzugsgebiete der Unstrut (stärkster Trend), der Saale und der Werra besonders betroffen sind.

Mit steigender Häufigkeit von Perioden ohne messbaren Niederschlag wird sich auch das Risiko von extremen Niedrigwasserabflüssen und -pegelständen in den Flusseinzugsgebieten erhöhen.

Entscheidend zur Vermeidung und, soweit unvermeidbar, zur Beherrschung von Niedrigwasserperioden ist eine geeignete Vermeidungsstrategie, die Wasserbedarf und Wasserdargebot in Einklang bringen muss. Hierzu können und sollten gehören:

- vorübergehende Anpassungen von Erlaubnissen und Bewilligungen zur Entnahme von Wasser aus Gewässern oder deren Abhängigkeit von bestimmten Minimaldurchflüssen in Fließgewässern bzw. Minimalwasserständen in Standgewässern,
- „intelligente“ Gebührensysteme, die die Nutzung von Wasser während Niedrigwasserperioden im Vergleich zu Perioden mit normaler Wasserführung verteuern,
- individuelles Verbrauchsverhalten (mehr Sparsamkeit) schulen und im Ergebnis anpassen.

Längerfristig gilt es, wassereffiziente Technologien in die Praxis zu überführen und, wo sie noch nicht oder nur ungenügend vorhanden sind, sie zunächst zu entwickeln. Neben dem Wasserbedarfsmanagement könnte darüber hinaus in einigen Extremfällen auch ein Niedrigwassermanagement erforderlich werden. Es wird aber betont, dass damit an den Symptomen und nicht an der Ursache „kuriert“ wird. D. h. ein ausschließliches Niedrigwassermanagement würde dem Umweltrecht zu Grunde liegenden Verursacherprinzip widersprechen und ist abzulehnen.

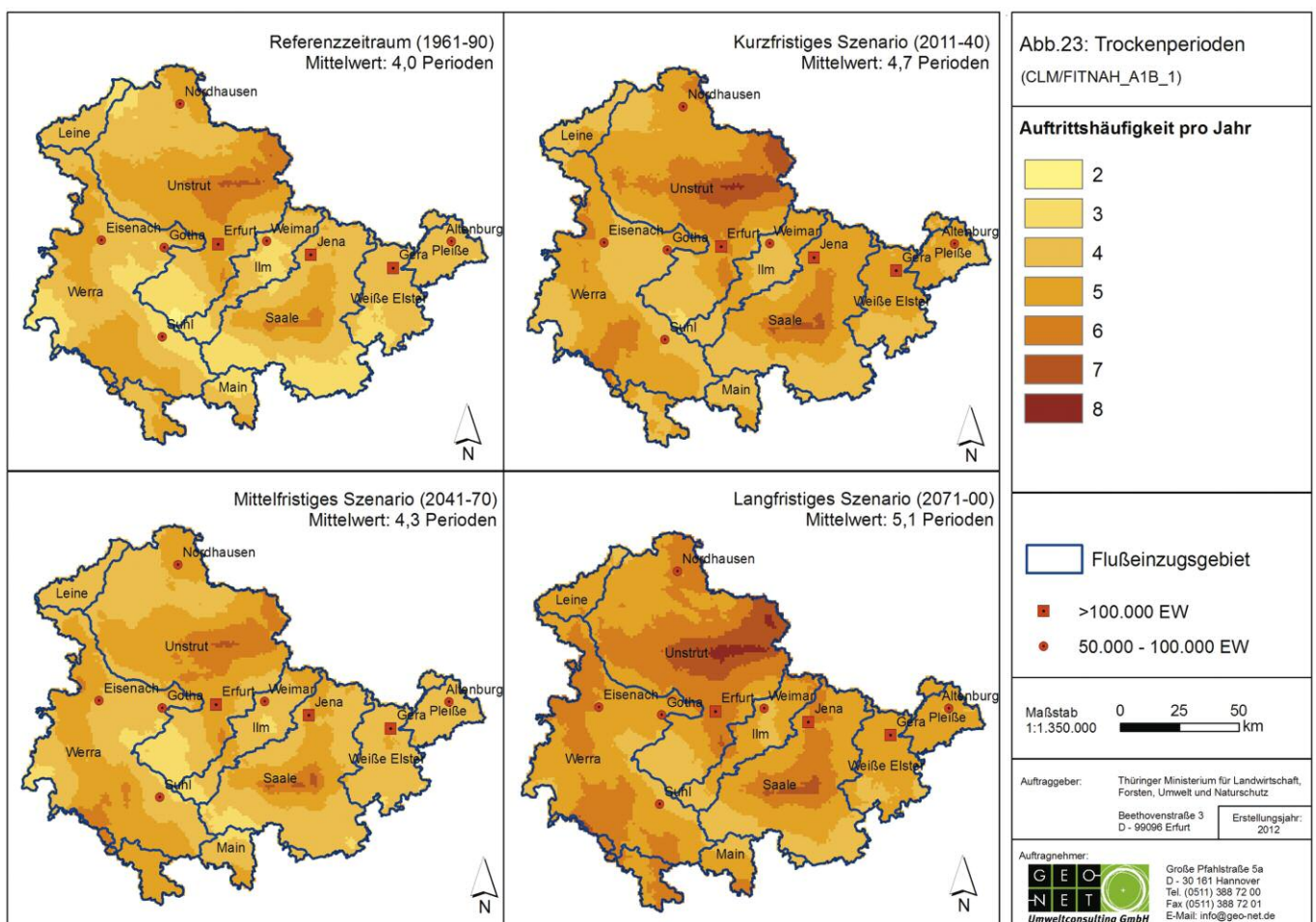


Abb. 23: Durchschnittliche jährliche Auftretshäufigkeit von Trockenperioden für die drei Klimaprojektionszeiträume und den Referenzzeitraum 1961 - 1990

Maßnahmen

Die vorgenommenen indikatorbasierten Analysen zur regionalen Entwicklung von Hochwasserereignissen und Niedrigwasserperioden bedürfen der Validierung. Hierfür stehen dem Freistaat Thüringen bereits heute die Modelle J2000 und J2000g zur Verfügung, die mit den im Projekt regionalisierten Klimadaten vorangetrieben werden sollten (WW01 und WW13). Die entsprechenden Ergebnisse können anschließend für die Berechnung von Bemessungshochwassern sowie bei der Aufstellung von Hochwasserrisikomanagementplänen und Bewirtschaftungsplänen Berücksichtigung finden (WW02 und WW14). Zum Umgang mit Hochwasserereignissen und Niedrigwasserperioden existieren bereits heute etablierte Maßnahmenportfolios, die mit Ergänzungen auch den Ansprüchen der Klimafolgenanpassung genügen könnten (vgl. LAWA und Finke 1995, LAWA 2007).

Hochwasser

Zur Verringerung der Gefahren aus Hochwasserereignissen werden insbesondere Maßnahmen der Hochwasservorsorge, Maßnahmen zur Gewinnung natürlicher Rückhalteflächen und Maßnahmen des technischen Hochwasserschutzes eine zentrale Rolle spielen. Konkrete Maßnahmen im Sinne der Hochwasserrisikomanagementrichtlinie werden in den Jahren 2013 / 2014 für die Risikogebiete abgeleitet und fließen in die auf Ebene der Flussgebiete zu erstellenden Hochwasserrisikomanagementpläne mit ein. Flankierend dazu stellt der Freistaat Thüringen ein Landesprogramm Hochwasserschutz auf, aus dem die für Thüringen spezifischen Inhalte für die Hochwasserrisikomanagementpläne entwickelt werden. Wesentliche Aspekte des Landesprogramms Hochwasserschutz werden eine vorausschauende Flächen- und Bauvorsorge (insbesondere die Wiedergewinnung natürlicher Rückhalteflächen), die Information und Sensibilisierung der Öffentlichkeit vor Hochwasserrisiken, die Eigenvorsorge und Eigenverantwortung der Betroffenen und ein am jeweiligen Schutzbedarf und an Kosten-Nutzen-Relationen ausgerichteter technischer Hochwasserschutz sein.

Hochwasser lassen sich aber weder durch einen optimierten natürlichen Wasserrückhalt noch durch technische Maßnahmen oder andere Vorsorgemaßnahmen gänzlich vermeiden. Diese allgemeingültige Aussage gilt unter dem Einfluss des Klimawandels umso mehr. Dennoch können bereits jetzt bei der Maßnahmenplanung im Hochwasserschutz die Belange des Klimawandels geeignet berücksichtigt werden. So kann bei der Sanierung oder dem Neubau von Deichen ein auf der Basis von WW01 zu ermittelnder Klimazuschlag auf die Deichhöhe erfolgen (WW08). Darüber hinaus wird der auf Ebene der LAWA derzeit erarbeitete Maßnahmenkatalog der Hochwasserschutzmaßnahmen hinsichtlich ihres Beitrags zur Klimaanpassung bewertet. Das wurde für den Maßnahmenkatalog der WRRL-Maßnahmen bereits erfolgreich durchgeführt. Es lässt sich bereits feststellen, dass Maßnahmen zum natürlichen Wasserrückhalt zukünftig eine bedeutende Rolle im Hinblick auf die Anpassung an die Klimafolgen spielen werden. Darüber hinaus werden zahlreiche Maßnahmen zur Verbesserung der Gewässerstruktur der WRRL positive Effekte aufweisen.

Niedrigwasser

Die mit Abstand wichtigste Maßnahme im Rahmen einer nachhaltigen Niedrigwasser-Vermeidungsstrategie ist eine Bedarfs- und Verbrauchssteuerung, die dem natürlichen Wasserdargebot in heißen und niederschlagsarmen Phasen entspricht. Hierauf kann, wie oben dargestellt, unter anderem mittels Verbesserung des Verbraucherbewusstseins, Anpassung von Entnahmerechten, „intelligente Gebührensysteme“ und längerfristig mit der Entwicklung und Einführung wassereffizienter Technologien in die Praxis reagiert werden.

Um dem erhöhten Risiko von extremen Niedrigwasserperioden entgegenzuwirken, könnte auch ein Teil der (winterlichen) Hochwasser zurückgehalten und in den Sommermonaten allmählich zum Abfluss gebracht werden. Für einige Teilräume Thüringens könnten multifunktionale Talsperren diese Aufgaben übernehmen (WW15).

Tab. 3: Maßnahmen zur Klimafolgenanpassung im Handlungsfeld Wasserwirtschaft (Oberflächengewässer)

Hochwasser			
WW01	Antrieb des Modells J2000 bzw. J2000g mit Daten zum Klimawandel	Zeitliche Dringlichkeit	hoch (bis 3 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	in Umsetzung o. Durchführung
		Zuständigkeit	TLUG Klimaagentur
		Kosten	10.000 €
WW02	Berücksichtigung des Klimawandels bei der Berechnung von Bemessungshochwassern bzw. der Aufstellung von Hochwasserrisikomanagementplänen	Zeitliche Dringlichkeit	hoch (bis 3 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	in Planung o. Vorbereitung
		Zuständigkeit	TLUG Ref. 51, Ref. 53
		Kosten	gering

Fortsetzung von Tab. 3: Maßnahmen zur Klimafolgenanpassung im Handlungsfeld Wasserwirtschaft (Oberflächengewässer)			
WW03	Entsiegelung zum Wasserrückhalt in der Fläche	Zeitliche Dringlichkeit	kann später erfolgen (> 10 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	in Planung o. Vorbereitung
		Zuständigkeit	Grundstücksbesitzer, Gemeinden, Straßenbaulasträger etc. – Freistaat für ggf. finanzielle Anreize
		Kosten	abhängig von Entsiegelungsfläche
WW04	Waldmehrung und Anlage von Auenwäldern	Zeitliche Dringlichkeit	mittelfristig (3 bis 10 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	mittelfristig (3 bis 10 Jahre) bis langfristig (> 10 Jahre)
		Zuständigkeit	TLVwA, TMLFUN, Thüringen Forst
		Kosten	abhängig vom Flächenbedarf
WW05	Dezentrale Versickerung des Niederschlagswassers von versiegelten Flächen	Zeitliche Dringlichkeit	mittel- bis langfristig (3 bis > 10 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	in Planung o. Vorbereitung
		Zuständigkeit	Abwasserbeseitigungspflichtige (Gemeinden oder Abwasserzweckverbände) sowie Straßenbaulasträger (Gemeinden, Kreise, Land oder Bund); Grundstückseigentümer
		Kosten	hoch
		Kosten	hoch
WW06	Renaturierung von Flussläufen und Auen	Zeitliche Dringlichkeit	mittel (3 bis 10 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	mittel (3 bis 10 Jahre) und kann später erfolgen (> 10 Jahre)
		Zuständigkeit	TLVwA, TMLFUN
		Kosten	mittel
WW07	Errichtung von Hochwasserschutzmauern	Zeitliche Dringlichkeit	kann später erfolgen (> 10 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	langfristig (> 10 Jahre)
		Zuständigkeit	TLVwA, TMLFUN
		Kosten	hoch
WW08	Lokal zu ermittelnder Klimazuschlag auf die Deichhöhe	Zeitliche Dringlichkeit	kann später erfolgen (> 10 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	langfristig (> 10 Jahre)
		Zuständigkeit	TLUG, TMLFUN
		Kosten	mittel
WW09	Maßnahmen der Flächen-, Bau-, Verhaltens- und Risikovorsorge	Zeitliche Dringlichkeit	mittel bis hoch
		Zeitliche Umsetzbarkeit	bereits umgesetzt o. durchgeführt, tlw. auch mittelfristig (3 bis 10 Jahre) bis langfristig (> 10 Jahre) im Rahmen der Hochwasserrisikomanagementpläne
		Zuständigkeit	verschiedene
		Kosten	gering
Niedrigwasser			
WW10	vorübergehende Anpassungen von Erlaubnissen und Bewilligungen zur Entnahme von Wasser aus Gewässern oder deren Abhängigkeit von bestimmten Minimaldurchflüssen in Fließgewässern bzw. Minimalwasserständen in Standgewässern	Zeitliche Dringlichkeit	hoch
		Zeitliche Umsetzbarkeit	fortlaufend
		Zuständigkeit	Behörden
		Kosten	niedrig, da laufendes Geschäft
WW11	„intelligente“ Gebührensysteme, die die Nutzung von Wasser während Niedrigwasserperioden im Vergleich zu Perioden mit normaler Wasserführung verteuern	Zeitliche Dringlichkeit	hoch
		Zeitliche Umsetzbarkeit	fortlaufend
		Zuständigkeit	Behörden
		Kosten	niedrig, da laufendes Geschäft

Fortsetzung von Tab. 3: Maßnahmen zur Klimafolgenanpassung im Handlungsfeld Wasserwirtschaft (Oberflächengewässer)			
WW12	Individuelles Verbrauchsverhalten (mehr Sparsamkeit) schulen und im Ergebnis anpassen	Zeitliche Dringlichkeit	hoch
		Zeitliche Umsetzbarkeit	fortlaufend
		Zuständigkeit	Behörden
		Kosten	niedrig
WW13	Antrieb des Modells J2000 bzw. J2000g mit Daten zum Klimawandel	Zeitliche Dringlichkeit	hoch (bis 3 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	in Umsetzung o. Durchführung
		Zuständigkeit	TLUG Klimaagentur
		Kosten	Schätzung 10.000 €
WW14	Berücksichtigung des Klimawandels bei der Aufstellung von Bewirtschaftungsplänen von Talsperren	Zeitliche Dringlichkeit	mittel (3 bis 10 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	mittelfristig (3 bis 10 Jahr)
		Zuständigkeit	Talsperrenbetreiber, Wasserbehörden
		Kosten	gering
WW15	(winterlicher) Hochwasserrückhalt in Talsperren	Zeitliche Dringlichkeit	hoch (bis 3 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	in Umsetzung o. Durchführung
		Zuständigkeit	Talsperrenbetreiber, Wasserbehörden
		Kosten	abhängig von jeweiligen örtlichen und regionalen Gegebenheiten

4.2.2 Grundwasser

Auswirkungen des Klimawandels

Grundwasserkörper (GWK) sind im Sinne der EU-Wasserrahmenrichtlinie als eigene Schutzgüter zu betrachten, deren mengenmäßig und qualitativer guter Zustand nachhaltig zu sichern ist. Da rund 60 % des in Thüringen benötigten Trinkwassers über Grundwasserbrunnen bezogen werden und auch einige Unternehmen über nicht unerhebliche Grundwasserförderrechte verfügen, ist der Grundwasserschutz für die Wasserversorgung der Thüringer Bevölkerung sowie für die regionale Wirtschaft von besonderer Bedeutung.

Wissenschaftliche Bewertungsgrundlage ist die Klimatische Wasserbilanz (KWB). Diese ist ein Indikator für das dem Wasserhaushalt nach Abzug der Verdunstung (berechnet nach Haude) potentiell zur Verfügung stehende Wasser (KWB = Niederschlag - Verdunstung), berücksichtigt aber sämtliche Einflüsse des Bodens (wie z. B. den oberirdischen Abfluss) nicht. In der Praxis erweist sich die Erfassung der einzelnen Parameter oft als schwierig, so dass Schlussfolgerungen hieraus zum mengenmäßigen Zustand nur schwer herzuleiten sind. Zudem befindet sich die nach EU-WRRL geforderte Bewertung des mengenmäßigen Zustands der GWK aktuell in Überarbeitung, so dass sie für diese Studie noch nicht herangezogen werden kann. Es zeichnet sich aber ab, dass insbesondere für einige GWK des Thüringer Beckens das Ziel eines guten Zustandes gegenwärtig nicht erreicht wird.

Abb. 24 gibt Auskunft über die klimawandelbedingte Änderung der klimatischen Jahreswasserbilanz der 78 GWK Thüringens. Aus der Darstellung lassen sich folgende wesentliche Aussagen ableiten: Die Wasserversorgung der GWK weist bereits im Referenzzeitraum eine große räumliche Schwankungsbreite auf. So sind die GWK in den Hochlagen des Thüringer Waldes mit teilweise > 1.000 mm/a deutlich besser wasserversorgt als die GWK in den nördlichen Beckenlagen, deren Bilanz z. T. nur wenige Millimeter über Null liegt. Ein GWK mit negativer KWB existiert im Referenzzeitraum bisher nicht.

Zum Berichtsstand des Bewirtschaftungsplans 2009 waren die GWK Helme-Unstrut-Aue, Nordthüringer Buntsandsteinaustrich-Kleine Wipper, Östliches Thüringer Keuperbecken, Gera-Unstrut-Aue und Nördliches Thüringer Keuperbecken nicht im guten mengenmäßigen Zustand. Risiken wurden zudem für die GWK Tannrodaer Sattel und Saale-Roda-Buntsandsteinplatte gesehen. Hierbei hat es sich aber ausnahmslos um rein nominelle und keinesfalls tatsächliche Übernutzungen des Grundwasserdargebotes gehandelt. Die Anpassung der zulässigen Entnahmemengen an diese Situation wird derzeit angestrebt.

Insgesamt ist davon auszugehen, dass künftig alle GWK Thüringens schlechter wasserversorgt sein werden als heute. Trotzdem besteht kein Risiko, den mengenmäßigen Zustand zu verfehlen, da auch auf der Entnahmeseite u. a. infolge der Anpassung von Erlaubnissen und Bewilligungen zur Wasserentnahme und durch wassersparende Technologien eine abnehmende Tendenz zu erwarten ist.

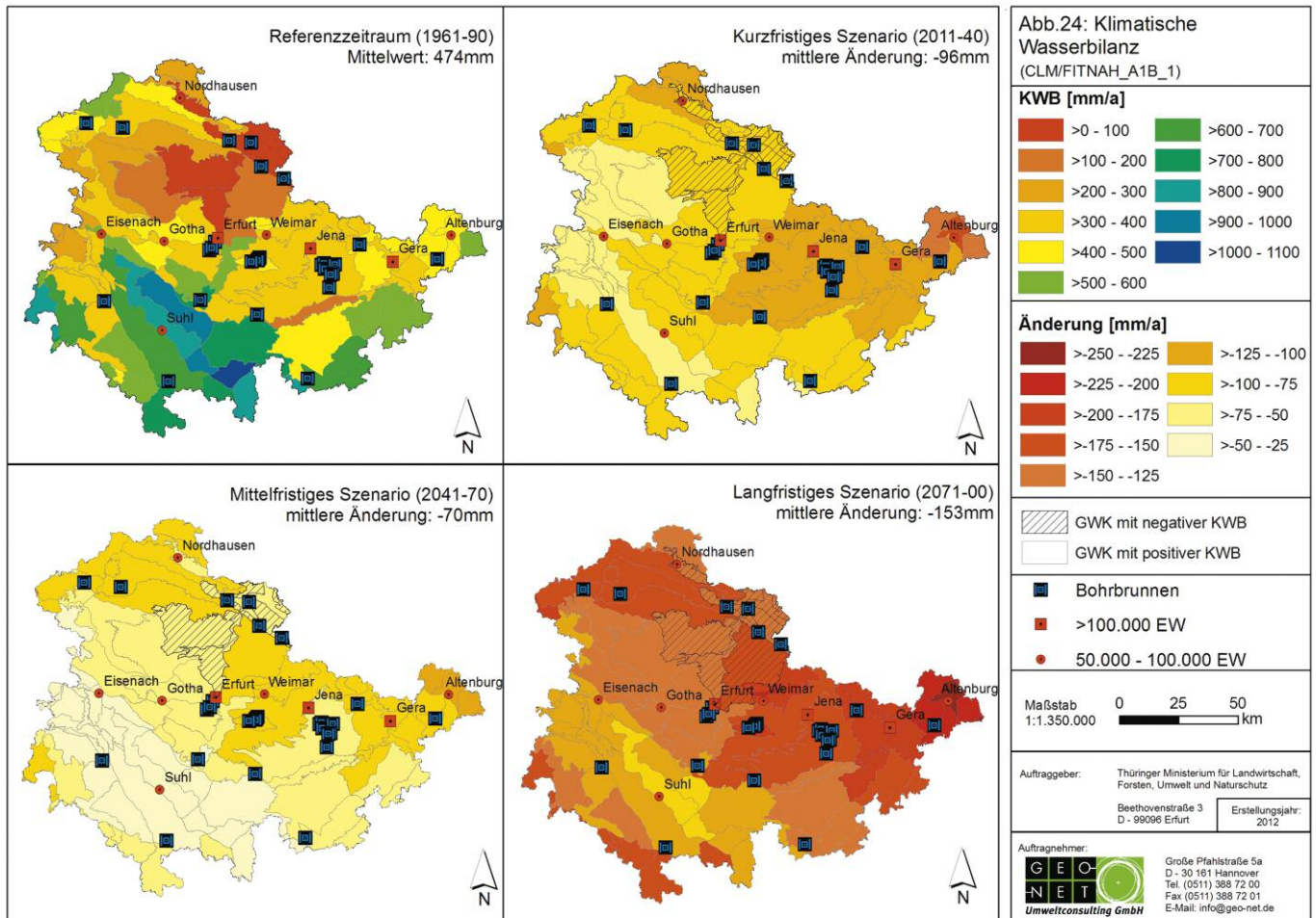


Abb. 24: Durchschnittliche jährliche KWB (meteorologisches Jahr) je Grundwasserkörper für die drei Klimaprojektionszeiträume im Vergleich zum Referenzzeitraum 1961 - 1990

Maßnahmen

Da die KWB sämtliche Einflüsse des Bodens (wie z. B. den oberirdischen Abfluss) nicht berücksichtigt, bedarf die vorgenommene indikatorbasierte Analyse zum zukünftigen Zustand der Grundwasserkörper einer Validierung. Hierfür steht dem Freistaat Thüringen bereits heute das Modell J2000 bzw. J2000g zur Verfügung, das mit den im Projekt regionalisierten Klimadaten angetrieben werden sollte (WW16). Dem Grundwasserhaushalt kommen zum einen sämtliche Maßnahmen des natürlichen Wasserrückhalts (WW03-WW06) sowie der angepassten Steuerung von Entwässerungssystemen zu Gute. Im Zusammenhang mit der Waldmehrung (WW04) ist mit Blick auf die Grundwasserneubildung relevant, dass auch ein Waldumbau bestehender Wälder die Neubildungsrate erhöhen kann (WW17). So werden unter Laubwäldern bis zu 100 mm/a mehr Grundwasser neugebildet als unter Nadelwald (Müller 1996; Gutsch et al. 2011). Notwendige Randbedingung ist das Erreichen eines land- und forstwirtschaftlichen Optimums zwischen Wassermangel und Staunässe, also die bedarfsgerechte Wasserversorgung land- und forstwirtschaftlicher Kulturen.

Tab. 4: Maßnahmen zur Klimafolgenanpassung im Handlungsfeld Wasserwirtschaft (Grundwasser)

WW16	Antrieb des Modells J2000 bzw. J2000g mit Daten zum Klimawandel	Zeitliche Dringlichkeit	mittel (3 bis 10 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	in Planung o. Vorbereitung
		Zuständigkeit	TLUG Klimaagentur
		Kosten	10.000 €
WW17	Waldumbau von Nadel- zu Laubwald	Zeitliche Dringlichkeit	kann später erfolgen (> 10 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	in Planung o. Vorbereitung
		Zuständigkeit	Forstwirtschaft
		Kosten	bestimmt hoch

Zusätzlich: WW03, WW04, WW05, WW06

4.2.3 Fernwasserversorgung

Auswirkungen des Klimawandels

Etwa 40 % des Trinkwasserbedarfs in Thüringen werden aus Fernwasserversorgungssystemen gedeckt. Dieser Anteil wird vorwiegend von den drei wichtigsten Talsperren Ohra (Entnahme ca. 22 Mio. m³/a), Schönbrunn (ca. 13 Mio. m³/a) und Leibis-Lichte (ca. 17 Mio. m³/a) gespeist (Anhang, Abb. 6). Um die Sicherheit der Trinkwasserversorgung für die aus diesen Talsperren mit Wasser versorgte Bevölkerung einschätzen zu können, wird der Parameter der Klimatischen Wasserbilanz für verschiedene innerjährliche Zeitabschnitte in Einzugsgebieten der Talsperrenzuflüsse (Zuflüsse zur Gera, zur Oberen Werra und zur Schwarza) analysiert (Abb. 25). Aus der Grafik lassen sich folgende Schlussfolgerungen ableiten:

- Die drei großen Talsperren speichern, bezogen auf das meteorologische Jahr, i. d. R. ausreichend Rohwasser. Dieses gilt sowohl für den Referenzzeitraum als auch für die Projektionszeiträume. Dabei zeigt sich unter dem Einfluss des Klimawandels ein moderater Trend abnehmender Bilanzwerte, der im Einzugsgebiet der Ohratalsperre am deutlichsten ausgeprägt ist (linker Teil der Abbildung).
- 75 - 90 % der Bilanzmenge gehen für alle Einzugsgebiete heute und zukünftig auf das hydrologische Winterhalbjahr zurück. In den Projektionszeiträumen ergibt sich gegenüber dem Referenzzeitraum ein Trend zu abnehmenden Bilanzwerten, der für alle Einzugsgebiete in etwa gleich ausfällt.
- Im Sommerhalbjahr liegt die KWB nur im leicht positiven Bereich. Die gilt insbesondere für das Einzugsgebiet der Ohratalsperre. Hier wird der Klimawandel zu einer weiteren Bilanzverschlechterung beitragen. Dennoch scheint auch zukünftig eine negative Wasserbilanz unwahrscheinlich. Für die Talsperren Schönbrunn und Leibis-Lichte hingegen blieben hiernach die Bilanzwerte in etwa konstant.

Würden technische Anlagen wie die existierenden Überleitungsstollen in die Talsperren Ohra und Leibis-Lichte berücksichtigt, so würde eine weitere Risikoverminderung deutlich.

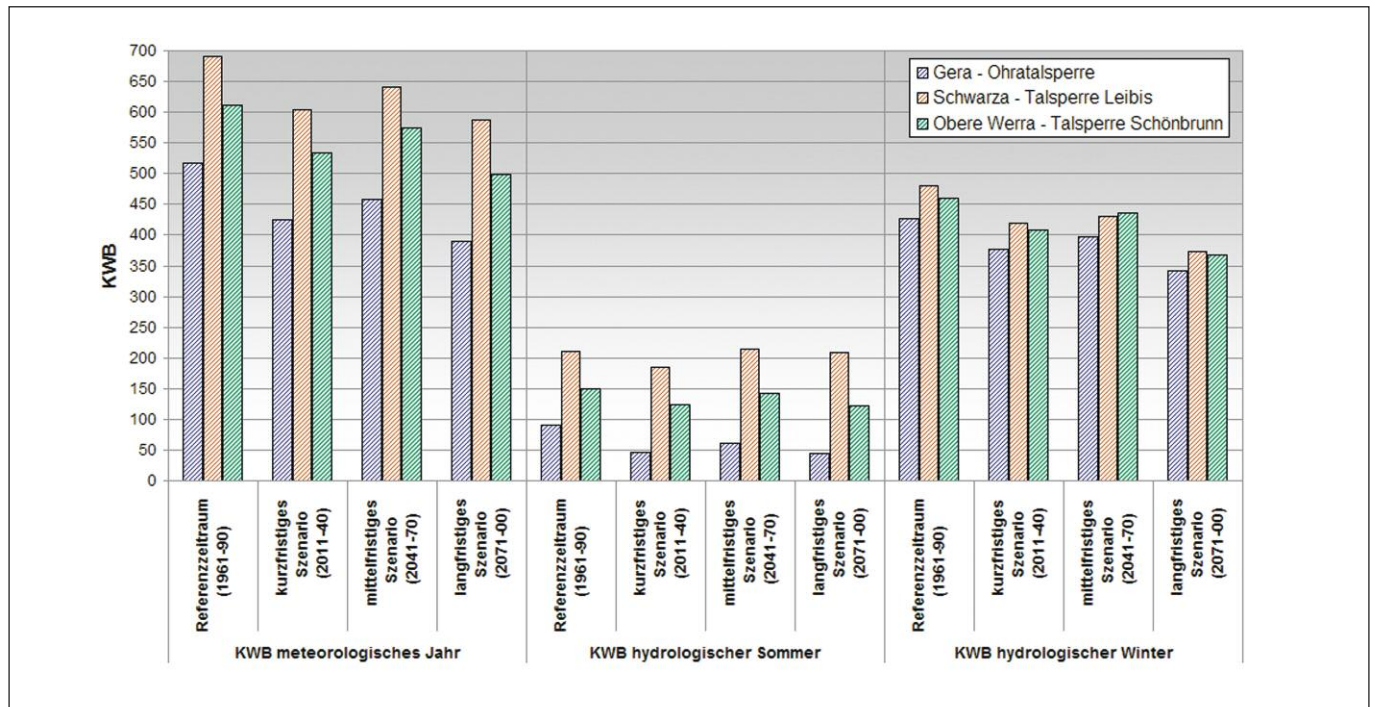


Abb. 25: Klimatische Wasserbilanz für das meteorologische Jahr sowie den hydrologischen Sommer und Winter in den Einzugsgebieten der drei großen Thüringer Talsperren für die drei Klimaprojektionszeiträume und den Referenzzeitraum 1961 - 1990

Insgesamt kommt es in allen Einzugsgebieten, Projektionszeiträumen und betrachteten innerjährlichen Zeitabschnitten zu einer abnehmenden KWB. Diese werden voraussichtlich keine spürbaren Auswirkungen auf die Wasserversorgung aus Talsperren haben. Für die Talsperren Schönbrunn und Leibis-Lichte bleiben hiernach die Werte für das Sommerhalbjahr nahezu unverändert. Auch für die Regionen, die aus der Ohratalsperr mit Wasser versorgt werden, ist die Trinkwasserversorgung auch künftig gesichert. Die Bilanzrückgänge sind gering, die Bilanzen weiterhin im positiven Bereich und vorhandene technische Vorkehrungen wie Überleitungsstollen in die Talsperren und Anlagen zur Nutzung örtlicher Dargebote für die Wasserversorgung geben zusätzliche Sicherheit. Technische Innovationen und der demografische Wandel werden zudem zur Reduzierung des Wasserverbrauchs beitragen. Insofern ergibt sich für den Themenbereich Wasserversorgung aus Talsperren also keine unmittelbare Notwendigkeit zum Handeln bzw. zur Identifizierung von Anpassungsmaßnahmen.

4.3 Landwirtschaft

Die Landwirtschaft hat im ländlich geprägten Thüringen traditionell eine wichtige Rolle, rd. 56 % der Landesfläche unterliegen gegenwärtig einer Grünland- oder Ackernutzung. Auch die Tierhaltung besitzt eine hohe Relevanz für den Freistaat. Entsprechend der klimatischen und pedologischen Bedingungen sind für Thüringen von der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL) neun verschiedene Agrarräume definiert worden, von denen insbesondere die nördlichen (Thüringer Becken und seine Randlagen, Eichsfeld) und östlichen Agrarräume (Ostthüringer Lößgebiet) von besonderer Bedeutung für den Ackerbau im Freistaat sind (Anhang, Abb. 7). Das vorrangige **Ziel** der Landwirtschaft ist die Versorgung der Bevölkerung mit qualitativ hochwertigen und gesunden pflanzlichen und tierischen Nahrungsmitteln bei gleichzeitig hoher Wertschöpfung. Darüber hinaus sollen Landwirte als Energiewirte durch den Anbau und die energetische Umwandlung von nachwachsenden Rohstoffen heute auch einen Beitrag zur Energiewende leisten sowie durch angepasste Arbeitsweisen zum Umwelt- und Naturschutz beitragen.

Zur Unterstützung der Umsetzung dieses Zielkanons steht den landwirtschaftlichen Akteuren eine Reihe von strategischen (**Planungs-Instrumenten**) zur Verfügung. Grundsätzlich bildet die gute fachliche Praxis den Maßstab für eine zeitgemäße Landwirtschaft, an der sich alle Betriebe in Thüringen zu orientieren haben. Mit dem cross compliance, also der Verknüpfung von Prämienszahlungen mit der Einhaltung von Umweltstandards, und den Agrarumweltmaßnahmen (AUM) existieren darüber hinaus von der EU bzw. dem Bund gesteuerte Förderinstrumentarien, die den Landwirt zu Maßnahmen anregen, die über die gute fachliche Praxis hinausgehen. Zur Anpassung der Thüringer Landwirtschaft an die Folgen des Klimawandels haben Ministerium und Fachbehörde bereits drei Strategie- bzw. Fachpapiere verfasst (TLL 2009, TLL 2009a und TMLFUN 2012), weswegen der Landwirtschaft im Freistaat eine Vorreiterrolle im Anpassungsprozess zugesprochen werden kann.

Klassische **Planungshorizonte** in der Landwirtschaft sind abhängig vom betrachteten Themenfeld. Für den herkömmlichen Ackerbau ergibt sich aus der Notwendigkeit zur Einhaltung einer bestimmten Fruchtfolge ein 3 - 5-jähriger Planungszeitraum, wobei Anbauentscheidungen für konkrete Schläge jedes Jahr von neuem getroffen werden müssen. Für Kurzumtriebsplantagen und insbesondere Agroforstsysteme kann sich auch ein deutlich längerer Planungshorizont ergeben. Die strategische Planung eines Landwirtes und auch die Viehhaltung orientieren sich grundsätzlich

an den Abschreibungsfristen von Investitionen in die Betriebsinfrastruktur wie Stallungen oder Landmaschinen (ca. 10 - 25 Jahre), üblichen Pachtzeiten (12 - 20 Jahre) oder gesetzlichen Regelungen wie der Gemeinsamen Agrarpolitik der EU (7 - 9 Jahre) bzw. dem EEG (Förderung von Biogasanlagen: 20 Jahre). Für die Klimafolgenanpassung in der Landwirtschaft erscheint daher ein Betrachtungszeitraum bis zum Jahr 2040 grundsätzlich zielführend. Im Sinne der Nachhaltigkeit und unter Einbeziehung neuer Betriebssysteme, wie Agroforst, sollten aber auch darüber hinaus gehende Zeiträume Berücksichtigung finden.

Die Sensitivität der Landwirtschaft gegenüber klimatischen Einflüssen ist für den Ackerbau aufgrund der bekannten biologischen Wachstumsfaktoren und der Abhängigkeit der Flächenbefahrbarkeit von Standort- sowie Witterungsfaktoren immens. Aber auch die Viehhaltung als zweiter großer Themenbereich der Landwirtschaft weist eine Abhängigkeit vom klimatischen Geschehen auf. So haben Nutztiere wie z. B. Milchkühe ein thermisches Optimum und können außerhalb dieser Temperaturspanne an Hitze- bzw. Kältestress leiden.

Über den Klimawandel hinaus wird die Zukunft der Thüringer Landwirtschaft auch von **sozioökonomischen Einflussfaktoren** berührt. Zu den ökonomischen Faktoren zählt zum einen die Entwicklung der Agrarförderbedingungen (z. B. GAP, AUM oder EEG). Auch wenn die Förderbedingungen und -inhalte selbst einem stetigen Wandel unterliegen, so kann doch begründet angenommen werden, dass die europäische und damit auch die thüringische Landwirtschaft in den kommenden Jahrzehnten mit einer Förderung bedacht wird, damit sie den an sie gestellten Anforderungen gerecht werden kann. Zum anderen wird die Entwicklung der regionalen, nationalen und internationalen (Agrar-) Märkte eine nicht unwesentliche Rolle für die Landwirtschaft im Freistaat spielen. Auf der Nachfrageseite ist global aufgrund einer weiter wachsenden Weltbevölkerung auch mit einem weiter steigenden Nahrungsmittelbedarf zu rechnen. Inwiefern dieser Trend mittel- bis langfristig auch Auswirkungen auf die Produktion in Thüringen haben wird, kann gegenwärtig allerdings nicht belastbar abgeschätzt werden. Eine wichtige Einflussgröße stellt auch die Preisentwicklung fossiler Brennstoffe dar. Eine zu erwartende Verteuerung wird einerseits Biokraftstoffe konkurrenzfähiger machen, andererseits aber auch die Produktionskosten insbesondere im Ackerbau steigen lassen. Letztlich werden auch soziologische Faktoren wie ethische Ansprüche an die Fleischproduktion oder Essgewohnheiten sowie technische Innovationen einen Einfluss auf die Thüringer Landwirtschaft der Zukunft ausüben.

4.3.1 Ackerbau

Auswirkungen des Klimawandels

Der Anbau landwirtschaftlicher Kulturen ist von pflanzenspezifischen klimatischen Faktoren abhängig. Das mögliche Anbauspektrum bzw. die mögliche jährliche Anzahl von Aussaaten und Ernten wird dabei wesentlich von der Länge der thermischen Vegetationsperiode (hier definiert als die Dauer zwischen dem ersten und dem letzten Tag eines Jahres mit einer Durchschnittstemperatur von $> 5^{\circ}\text{C}$) beeinflusst. Die längste Vegetationszeit herrscht im Referenzzeitraum mit bis zu 265 Tagen in den am intensivsten landwirtschaftlich genutzten Agrarräumen des Thüringer Beckens und des Ostthüringer Lößgebietes (Anhang, Abb. 8). In Richtung Mittelgebirge nimmt die Vegetationszeit ab und erreicht ihr Minimum im Agrarraum Thüringer Wald, wo die Vegetationsperiode durchschnittlich rund $2\frac{1}{2}$ Monate kürzer ausfällt als in den nördlichen Anbaugebieten. Unter dem Einfluss des Klimawandels ver-

längert sich die thermische Vegetationsperiode langfristig sehr deutlich. Dieser Trend zeigt räumlich einen recht homogenen Verlauf. Allerdings liegen die jeweils größten Zunahmen in den Hauptanbauregionen Thüringens, wo zum Ende des Jahrhunderts aus thermischer Sicht ein Anbau in bis zu elf Monaten des Jahres möglich sein wird. Eine verlängerte Vegetationszeit kann grundsätzlich als Chance für die Landwirtschaft bezeichnet werden, eröffnet sie doch Perspektiven für eine Zweikulturnutzung.

Inwiefern diese Entwicklung auch tatsächlich pflanzenbaulich genutzt werden kann, hängt nicht unwesentlich mit dem den Kulturen zur Verfügung stehenden Wasserangebot zusammen. Dieses wird in der vorliegenden Analyse mithilfe der Klimatischen Wasserbilanz (KWB) in der thermischen Vegetationszeit abgeschätzt. Aus Abb. 26 lassen sich folgende relevante Ergebnisse ableiten:

- In den Hauptagrarräumen (insbesondere im Thüringer Becken) herrscht bereits im Referenzzeitraum eine angespannte natürliche Wasserversorgungssituation mit z. T. negativen Bilanzwerten.

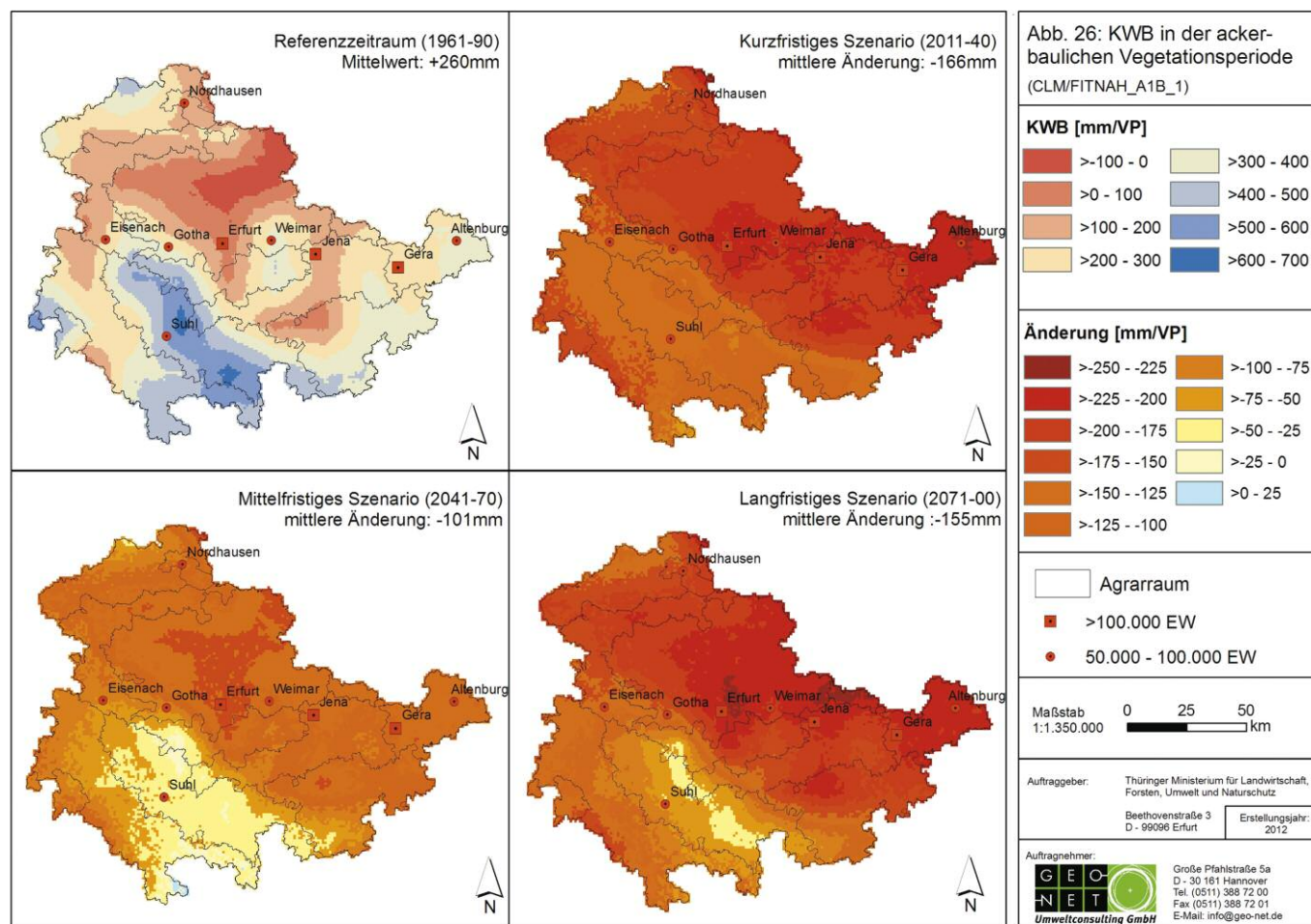


Abb. 26: Durchschnittliche jährliche KWB in der ackerbaulichen Vegetationsperiode in den drei Klimaprojektionszeiträumen im Vergleich zum Referenzzeitraum 1961 - 1990

- Unter dem Einfluss des Klimawandels wird sich die Wasserbilanz in allen betrachteten Projektionszeiträumen in allen relevanten Anbaugebieten flächendeckend verschlechtern, so dass sich die Gebiete mit einer KWB unter bzw. um 0 mm deutlich ausweiten werden.
- Diese Entwicklung ist im zentralen Thüringer Becken und im Ostthüringer Lößgebiet am deutlichsten ausgeprägt. Hier geht der Bilanzwert bereits im kurzfristigen Szenario um bis zu 245 mm gegenüber dem Referenzzeitraum zurück.

Ein entscheidender Faktor für die Pflanzenproduktion ist auch die innerhalb der Vegetationsperiode zur Verfügung stehende Wassermenge. Eine kontinuierliche Wasserbereitstellung kann dabei als Optimum betrachtet werden. Trockenperioden hingegen hemmen das Wachstum. Derartige Perioden (hier definiert als 11 aufeinanderfolgende Tage ohne messbaren Niederschlag) kommen in den Hauptagarräumen Thüringens im Referenzzeitraum 4 - 6 mal vor, mit einem ausgeprägten Maximum im Thüringer Becken. Unter dem Einfluss des Klimawandels ergibt sich eine Tendenz zu einer um 1 - 2 Perioden pro Jahr ansteigenden Aufttrittshäufigkeit und damit ein steigendes Risiko von Ertragseinbußen für alle Kulturarten (Anhang, Abb. 9).

Auch **Spätfröste** (hier definiert als ein Tag mit $T_{\min} < 0^\circ\text{C}$ nach Beginn der ackerbaulichen Vegetationsperiode) können als Extremereignisse das Pflanzenwachstum hemmen bzw. beenden. Flächige Spätfröste treten in der aktuellen Klimanormalperiode in Thüringen durchschnittlich etwa alle 2 - 3 Jahre, in den nördlichen und östlichen Hauptanbaugebieten eher alle 4 - 5 Jahre auf. Insbesondere ab der Mitte des laufenden Jahrhunderts ergibt sich ein flächendeckender, robuster Trend zu einer geringeren Aufttrittshäufigkeit von Spätfrösten < 10 Jahren (Anhang, Abb. 10). Insbesondere für Winterungen wie den Winterweizen oder -roggen kann diese Tendenz als Chance bezeichnet werden.

Neben Trockenperioden und Spätfrösten existiert mit Stürmen noch ein drittes Extremereignis, das lokal oder auch großräumig Ernteaufschläge hervorrufen kann. **Schwere Stürme** mit Böen $> 28\text{ m/s}$ (entspricht in etwa Beaufort 10) kommen im Thüringer Becken und seinen Randlagen 3 - 4 mal und im Ostthüringer Lößgürtel 4 - 5 mal pro Jahr vor. In den drei Projektionszeiträumen zeichnet sich ein robuster Trend zu häufigeren Sturmereignissen ab, der sich insbesondere ab der Mitte des Jahrhunderts durchsetzen wird. Bis ca. 2050 wird der Hot-Spot der Zunahme im Thüringer Becken liegen, sich dann aber allmählich auch auf die weiteren Hauptanbaugebiete ausweiten. Auf einzelnen Flächen werden zum Ende des Jahrhunderts 8 bis 9 schwere Stürme pro Jahr der Normalfall sein (Anhang, Abb. 11). Wenn diese Extremereignisse mit Gewittern bzw. Hagelschauern einhergehen, kann hieraus ein nicht unerheblich erhöhtes Risiko von großflächigen

Schäden insbesondere an Getreidebeständen abgeleitet werden.

Letztlich wird der Klimawandel auch Auswirkungen auf das Spektrum von Pflanzenschädlingen und Unkräutern haben. So wird der Trend zu wärmeren und trockeneren Sommern tendenziell zu einem Bedeutungsverlust von Pilzen aber zu einem Bedeutungsgewinn von wärmeliebenden (z. B. Hirsen, Franzosenkraut, Gänsefuß, Samtpappel, Ochsenzunge) oder einwandernden (z. B. Ambrosia, Eleusine, Cyperus) Unkräutern sowie von thermophilen Insekten wie dem Westlichen Maiswurzelbohrer führen (TLL 2009). Grundsätzlich muss sich die Thüringer Landwirtschaft also auf ein verändertes Schädlingsspektrum einstellen.

Insgesamt ergeben sich durch den Klimawandel für den Ackerbau in den Hauptanbauregionen des Freistaats sowohl Chancen als auch Risiken. So wird sich einerseits die ackerbauliche Vegetationsperiode deutlich verlängern und die Anzahl von Spätfrösten verringern. Diese Entwicklungen werden sich – unterstützt durch den zunehmenden CO_2 -Düngeeffekt der Atmosphäre – grundsätzlich positiv auf die Ertragserwartungen auswirken. Andererseits werden die Landwirte vor allem im Thüringer Becken mit (weiter) sinkenden Wasserbilanzen sowie häufigeren Trockenperioden und Stürmen konfrontiert, was wiederum zu Ertragseinbußen führen kann. Um diese in Grenzen zu halten und die positiven Effekte möglichst umfänglich nutzen zu können, ergibt sich eine Anpassungsnotwendigkeit insbesondere im Zusammenhang mit dem ertragslimitierenden Produktionsfaktor Wasser.

Maßnahmen

Mithilfe des indikatorbasierten Vorgehens konnten in der vorliegende Analyse räumlich hochaufgelöste Aussagen darüber getroffen werden, welche Chancen und Risiken sich wo in Thüringen ergeben werden. Welche Effekte für konkrete Kulturen eintreten, kann nur mithilfe von rechnergestützten Ertrags- / Wachstumsmodellen ermittelt werden. Im Freistaat Thüringen wurde für solche Fragestellungen das Modell YIELDSTAT in Verbindung mit WETTREG-Daten zur Anwendung gebracht (TLL 2012; Mirschel et al. 2009). Um die Modellergebnisse unmittelbar mit den in IMPAKT erzielten Erkenntnissen vergleichbar zu machen, sollte auch der Antrieb mit den für IMPAKT regionalisierten CLM-Daten in Erwägung gezogen werden (LW01).

Zur proaktiven Anpassung an die ermittelten Risiken bzw. zur Nutzung der identifizierten Chancen steht der Thüringer Landwirtschaft ein breit gefächertes Portfolio an potentiellen Maßnahmen zur Verfügung (TLL 2009a, von Buttlar et al. 2011). Um dem zu erwartenden Wassermangel in der Vegetationsperiode zu begegnen, stellt die Ausweitung der Feldberegnung eine Option dar (LW02). Die Feldberegnung findet in Thüringen bisher vornehm-

lich im Gemüseanbau Anwendung, besitzt aber auch für den Ackerbau ein enormes Potential, wie Beispiele aus vergleichbaren Regionen Deutschlands zeigen (vgl. z. B. Battermann und Theuvsen 2009).

Eine weitere Möglichkeit, um der Verknappung des Produktionsfaktors Wasser entgegen zu treten und die sich bietenden Chancen zu nutzen, sind angepasste Fruchtfolgen bzw. die Verwendung angepasster Sorten und Arten. Hierbei spielt die verstärkte Einbindung von wassereffizienteren bzw. trockenheitstoleranteren Kulturen wie z. B. C4-Pflanzen (LW03) eine ebenso entscheidende Rolle wie die Ausweitung eines Anbaus von Winterungen (z. B. Winterroggen, Winterweizen oder Wintergerste), die von höheren Temperaturen in Verbindung mit einer abnehmenden Spätfrostgefahr und einer besseren Wasserversorgung profitieren (LW04). Auch die Einbindung bisher in Thüringen noch nicht großflächig etablierter Kulturen (z. B. Sorghum, Sonnenblumen, Miscanthus, Silphie oder Topinambur) in Fruchtfolgen besitzt als Risikodiversifizierungsstrategie eine große Relevanz für die Thüringer Landwirtschaft (LW05). Entsprechende Anbauversuche können auf den bereits existierenden Versuchsflächen (LW06) gemeinsam mit dem Anpassungspotential regionsspezifischer züchterischer Weiterentwicklungen (LW07) etablierter Kulturen durchgeführt werden.

Grundsätzlich gilt, dass Saat- und Erntetermine an die früher einsetzende und länger andauernde Vegetationsperiode angepasst werden müssen (LW08). Unter der Prämisse eines ausreichenden Wasserangebotes kann in diesem Zusammenhang auch die Zweikulturnutzung eine adäquate Anpassung an den Klimawandel sein (LW09).

Um den Boden vor zusätzlicher Austrocknung zu schützen, können ergänzend die Verdunstung mindernde Maßnahmen der Bodenbearbeitung (LW10; z. B. konservierende Bodenbearbeitung, Direktsaatverfahren) oder die Pflanzung von Windschutzhecken (LW11) angewendet werden. Ferner kann auch eine angepasste Bestandesführung in den Bereichen des Düngemanagements (Düngezeitpunkt und -menge) und des integrierten Pflanzenschutzes (vor allem bez. phytopathogener Insekten) die Anpassung der Landwirtschaft unterstützen (LW12).

Mit Ausnahme der Züchtung und des Versuchsanbaus handelt es sich bei den genannten Anpassungsmaßnahmen um solche, die im Verantwortungsbereich des Landwirtes liegen. Die Bereitstellung von Forschungsergebnissen und die Erarbeitung von Empfehlungen sind hingegen eine zentrale Aufgabe der Landesverwaltung, die unter dem Klimawandelaspekt eine noch höhere Bedeutung erlangen wird (LW13). Um die Auswirkungen des Klimawandels und adäquate Anpassungsmaßnahmen bei den Landwirten bekannt zu machen, erscheint eine behördlich gesteuerte Beratungs- bzw. Aufklärungskampagne, die mithilfe landwirtschaftlicher Berater umgesetzt werden könnte, erstrebenswert (LW14). Darüber hinaus sollten auch Möglichkeiten der Implementierung der Klimafolgenanpassung in die AUM (LW14) sowie der Finanzierung von investiven Programmen (z. B. zur Ertüchtigung von außer Betrieb befindlichen Beregnungsanlagen) geprüft werden (LW15).

Die Handlungsalternativen zur Anpassung der Thüringer Landwirtschaft an die Folgen des Klimawandels sind also überaus vielfältiger Natur. Die Vergangenheit hat gezeigt, dass die regionale Landwirtschaft hochgradig flexibel ist, weshalb in Summe ihre Anpassungskapazität als besonders hoch eingestuft werden kann.

Tab. 5: Maßnahmen zur Klimafolgenanpassung im Handlungsfeld Landwirtschaft (Ackerbau)

LW01	Anwendung des Modells YIELDSTAT mit Daten zum Klimawandel	Zeitliche Dringlichkeit	mittel (3 bis 10 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	bereits umgesetzt o. durchgeführt, in Planung o. Vorbereitung, mittelfristig (3 - 10 Jahre)
		Zuständigkeit	TMLFUN (TLL, ZALF)
		Kosten in	~ 20.000 €
LW02	Ausweitung der Feldberegnung	Zeitliche Dringlichkeit	mittel (3 bis 10 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	mittelfristig (3 bis 10 Jahre); es besteht noch Untersuchungsbedarf
		Zuständigkeit	landwirtschaftliche Betriebe
		Kosten	keine Aussage möglich - wird zzt. in der TLL überschlägig erarbeitet
LW03	Einbindung von wassereffizienten Kulturen in die Fruchtfolge	Zeitliche Dringlichkeit	hoch (bis 3 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	mittelfristig (3 bis 10 Jahre); es besteht noch Untersuchungsbedarf
		Zuständigkeit	TMLFUN → TLL (wird in der TLL bearbeitet) Landwirtschaftliche Unternehmensentscheidung, gesteuert durch die Marktakzeptanz, Verwertung sichern (Biogas und/oder Milchvieh)
		Kosten	Zeitreihen erforderlich (mind. 5-jährig); nur Berechnung konkreter Kulturen im Fruchtfolgesystem im Vergleich zu Referenzsystemen sinnvoll
LW04	Ausweitung des Anbaus von Winterungen	Zeitliche Dringlichkeit	mittel (3 bis 10 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	mittelfristig (3 - 10 Jahre); es besteht noch Untersuchungsbedarf
		Zuständigkeit	TMLFUN → TLL (Forschungsprojekt ab 2013 ist in der Beantragung) Landwirtschaftliche Unternehmensentscheidung, gesteuert durch die Marktakzeptanz
		Kosten	Zeitreihen erforderlich (mind. 5-jährig); nur Berechnung konkreter Kulturen im Fruchtfolgesystem im Vergleich zu Referenzsystemen sinnvoll

Fortsetzung von Tab. 5: Maßnahmen zur Klimafolgenanpassung im Handlungsfeld Landwirtschaft (Ackerbau)			
LW05	Einbindung neuer Kulturen in die Fruchtfolge	Zeitliche Dringlichkeit	mittel (3 bis 10 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	mittelfristig (3 bis 10 Jahre); es besteht noch Untersuchungsbedarf
		Zuständigkeit	TMLFUN → TLL (Forschungsprojekt ab 2013 ist in der Beantragung) Landwirtschaftliche Unternehmensentscheidung, gesteuert durch die Marktakzeptanz
		Kosten	Zeitreihen erforderlich (mind. 5-jährig); nur Berechnung konkreter Kulturen im Fruchtfolgesystem im Vergleich zu Referenzsystemen sinnvoll
LW06	Anbauversuche zu klimaangepassten Kulturen	Zeitliche Dringlichkeit	hoch (bis 3 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	kurzfristig (bis 3 Jahre), es besteht noch Untersuchungsbedarf
		Zuständigkeit	TMLFUN → TLL (Forschungsprojekt ab 2013 ist in der Beantragung)
		Kosten	Zeitreihen erforderlich (mind. 5-jährig); nur Berechnung konkreter Kulturen im Fruchtfolgesystem im Vergleich zu Referenzsystemen sinnvoll
LW07	Züchtung klimaangepasster Arten und Sorten	Zeitliche Dringlichkeit	hoch (bis 3 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	langfristig (> 10 Jahre)
		Zuständigkeit	Entwicklung: Zuchtunternehmen TLL: Regionale Anbaueignung (Landessortenversuche)
		Kosten in	keine Aussage möglich („Durchschnittlich investieren Pflanzenzüchter in Deutschland 16,1 Prozent ihres Umsatzes in Forschung und Entwicklung.“ Bundesverband Deutscher Pflanzenzüchter)
LW08	Anpassung von Saatterminen	Zeitliche Dringlichkeit	hoch (bis 3 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	mittelfristig (3 bis 10 Jahre), es besteht noch Untersuchungsbedarf
		Zuständigkeit	TMLFUN → TLL (Forschungsprojekt ab 2013 ist in der Beantragung)
		Kosten	Zeitreihen erforderlich (mind. 5-jährig); nur Berechnung konkreter Kulturen im Fruchtfolgesystem im Vergleich zu Referenzsystemen sinnvoll
LW09	Zweikulturnutzung	Zeitliche Dringlichkeit	hoch (bis 3 Jahre) bis mittel (3 bis 10 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	bereits umgesetzt o. durchgeführt, es besteht noch Untersuchungsbedarf (in Kombination mit LW02: mittelfristig [3 - 10 Jahre] bis langfristig [> 10 Jahre] umsetzbar)
		Zuständigkeit	TMLFUN → TLL
		Kosten	Zeitreihen erforderlich (mind. 5-jährig); nur Berechnung konkreter Kulturen im Fruchtfolgesystem im Vergleich zu Referenzsystemen sinnvoll
LW10	angepasste Bodenbearbeitung	Zeitliche Dringlichkeit	hoch (bis 3 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	kurzfristig (bis 3 Jahre) bis mittelfristig (3 bis 10 Jahre), es besteht noch Untersuchungsbedarf
		Zuständigkeit	TMLFUN → TLL (Forschungsprojekt ab 2013 ist in der Beantragung)
		Kosten	Zeitreihen erforderlich (mind. 5-jährig); nur Berechnung konkreter Kulturen im Fruchtfolgesystem im Vergleich zu Referenzsystemen sinnvoll
LW11	Pflanzung von Windschutzhecken	Zeitliche Dringlichkeit	mittel (3 bis 10 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	kurzfristig (bis 3 Jahre) [Etablierung]
		Zuständigkeit	landwirtschaftliche Unternehmensentscheidung, Winderosion ist in TH kein kritischer Bereich, ggf. als Erhöhung der Agrobiodiversität (KULAP) bzw. in Kombination mit Nutzung (KUP/ Agroforst)
		Kosten	Kosten Hecke: 4.500 - bis 15.000 €/km (Anlage) + 0,19 €/m ² bis 500 bzw. 1.250 €/km (Pflege) (Stand 2000; Umrechnung in €) KULAP-Prämie: 450 €/ha (aktuell) Kosten Energieholz: 1.129 bis 1.419 €/ha je nach Ertragsniveau (berechnet auf 24 Jahre, 4-jähriger Umtrieb bei 6 Ernten, 20 ha Schlaggröße, Vermarktung nach Trocknung) (Stand Juli 2012, 2. Geänderte Auflage 2013)
LW12	Angepasste Bestandesführung in den Bereichen Düngemittelmanagement und Pflanzenschutz	Zeitliche Dringlichkeit	hoch (bis 3 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	kurzfristig (bis 3 Jahre), es besteht Untersuchungsbedarf
		Zuständigkeit	TMLFUN → TLL (Forschungsprojekt ab 2013 ist in der Beantragung) → Ableitungen, da konkrete Versuche im heutigen Klima nicht weiterhelfen
		Kosten	Zeitreihen erforderlich (mind. 5-jährig); nur Berechnung konkreter Kulturen im Fruchtfolgesystem im Vergleich zu Referenzsystemen sinnvoll
LW13	Bereitstellung von Forschungsergebnissen und Empfehlungen	Zeitliche Dringlichkeit	hoch (bis 3 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	bereits umgesetzt o. durchgeführt, es besteht noch Untersuchungsbedarf
		Zuständigkeit	TMLFUN → TLL
		Kosten	das kommt auf Qualität und Anzahl an
LW14	Beratungs- und Aufklärungskampagnen	Zeitliche Dringlichkeit	hoch (bis 3 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	bereits umgesetzt o. durchgeführt
		Zuständigkeit	TMLFUN → TLL
		Kosten	das kommt auf Qualität und Anzahl an
LW15	Implementierung der Klimafolgenanpassung in AUM	Zeitliche Dringlichkeit	hoch (bis 3 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	kurzfristig (bis 3 Jahre)
		Zuständigkeit	TMLFUN → TLL
		Kosten in	die Kosten variieren je nach Maßnahme
LW16	Förderprogramm für Investitionen zur Klimafolgenanpassung	Zeitliche Dringlichkeit	hoch (bis 3 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	kurzfristig (bis 3 Jahre)
		Zuständigkeit	TMLFUN → TLL
		Kosten	die Kosten variieren je nach konkreter Investition

4.3.2 Tierhaltung

Auswirkungen des Klimawandels

Eine weitere hochgradig relevante Bedeutung kommt in Thüringen der landwirtschaftlichen Tierhaltung zu, die vornehmlich außerhalb der Ackerbauregionen angesiedelt ist. Die Milchvieh- und Mutterkuh- sowie Schafhaltung sind dabei räumlich eng mit der Grünlandwirtschaft im und am Thüringer Wald verknüpft. Da diese Tierarten hauptsächlich auf der Weide oder in Kaltställen gehalten werden, sind sie dem Klimawandel sehr viel direkter ausgesetzt, als die außerhalb des Mittelgebirges (eher im nördlichen und östlichen Thüringen) verorteten Schweine- und Geflügelzuchten, die zumeist mit klimatisierten Stallanlagen arbeiten.

Allen genannten Tierarten ist gemein, dass die **Temperatur** den entscheidenden Faktor für die Analyse der Auswirkungen des Kli-

mawandels darstellt. Jede Tierart verfügt über einen thermischen Optimalbereich, außerhalb dessen es zu hitze- und kältebedingten Stresssituationen und damit zu Leistungseinbußen bzw. gesundheitlichen Beeinträchtigungen kommen kann (KLIFF 2011). Für das obere Ende der Skala wurde bereits im Zusammenhang mit der menschlichen Gesundheit darauf hingewiesen, dass es in vielen Regionen Thüringens zu einer erhöhten Auftrittshäufigkeit und Intensität von Hitzetagen kommen wird (vgl. Kapitel 4.1.1). Auch im Thüringer Wald ist diese Tendenz erkennbar, sie ist allerdings sehr viel schwächer ausgeprägt, als in den übrigen Landesteilen. Die hier verorteten Mutter- und Milchkuhbetriebe sowie die Schafhaltung weisen dementsprechend eine relativ geringe Betroffenheit vom Klimawandel auf, die Zunahme von hitzestressbedingten Folgen wird hier voraussichtlich eher gering ausfallen. Die Schweine- sowie Geflügelzucht- und -haltungsbetriebe im Norden und Osten Thüringens werden hingegen sehr viel stärker von der zunehmenden Hitzeproblematik betroffen

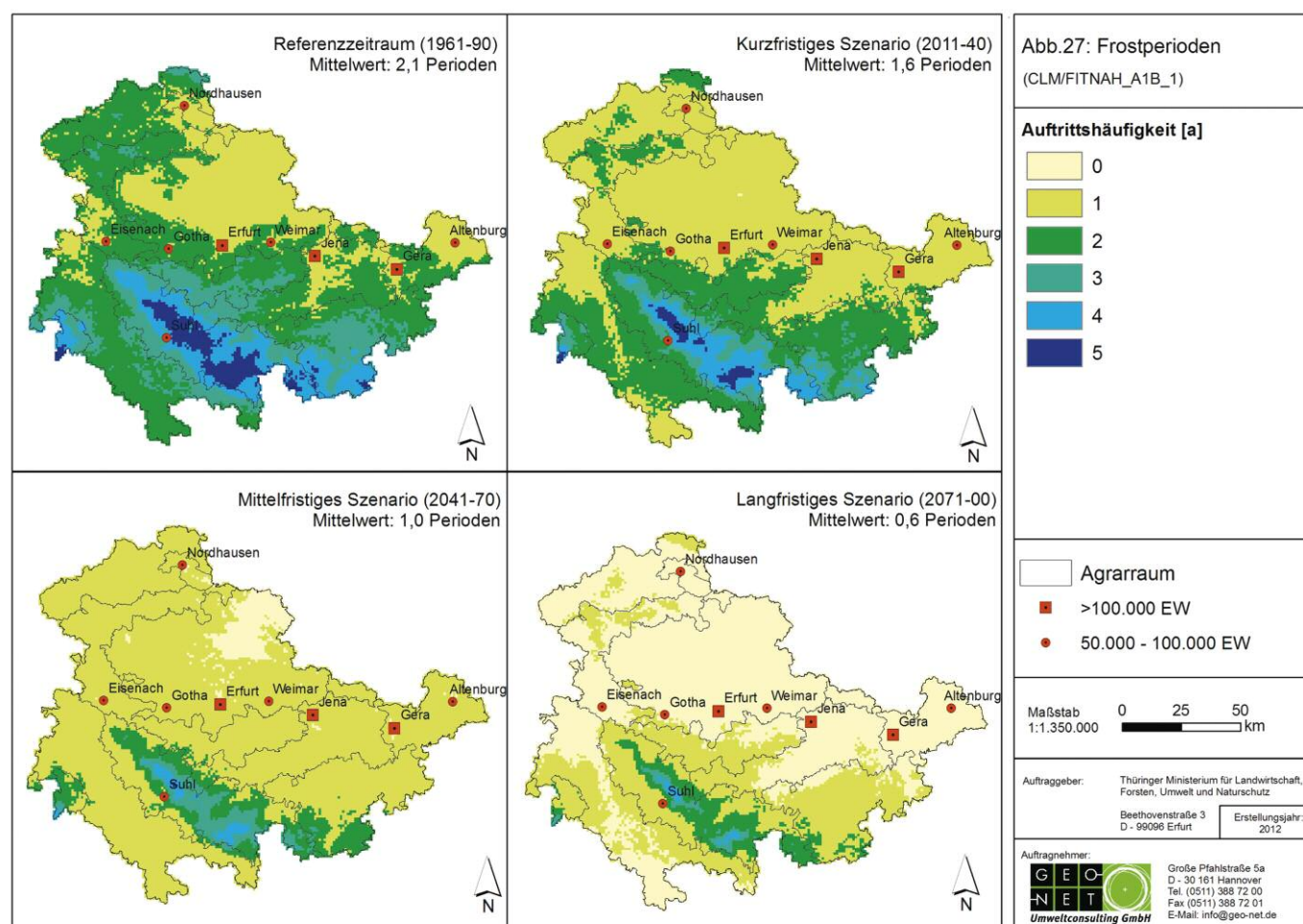


Abb. 27: Durchschnittlich jährliche Auftrittshäufigkeit von Frostperioden für die drei Klimaprojektionszeiträume und den Referenzzeitraum 1961 - 1990

sein. Hier besteht das Risiko, dass die bestehenden Klimaanlagen mit der Temperierung der Stallungen überfordert sind bzw. die Energiekosten für die Klimatisierung deutlich ansteigen werden.

Während die Zunahme von Hitzesituationen also vornehmlich mit Risiken verbunden ist, zeichnet sich am anderen Ende der Temperaturskala eine Entspannung ab. So werden sich Frostperioden (hier definiert als sieben aufeinanderfolgende Tage mit $T_{\min} < -5^{\circ}\text{C}$) im Laufe des Jahrhunderts vor allem im Mittelgebirgsraum deutlich verringern und in weiten Teilen Thüringens zum Jahrhundertende gar nicht mehr auftreten (Abb. 27). Mit dieser Entwicklung ist die Chance verbunden, dass die Milch- und Mutterkühe im Thüringer Wald zukünftig deutlich seltener unter Folgen von Kältestress zu leiden haben und dass die Energiekosten zur Beheizung von Schweine- und Geflügelställen zurückgehen werden.

Mit steigenden Temperaturen und weniger Frosttagen steigt allerdings auch das Risiko der Einschleppung bisher hier unbekannter Krankheiten und Parasiten, die sich vorzugsweise in wärmeren Klimaten ausbreiten. Der globale Handel mit Tieren und Tierfutter erhöht dieses Risiko. Hier wird also in Zukunft der Fokus noch mehr auf der Desinfektionskette und dem Rein-Raus-Prinzip in den Ställen sowie der Rückverfolgbarkeit der Futterchargen liegen. Zudem muss beim Auftreten "eingeschleppter" Krankheitsfälle mit höheren Leistungs- und ggf. Tierverlusten gerechnet werden, bis die Krankheit identifiziert ist. Eine primäre Beeinträchtigung des Pflanzenbaus mit Wirkung auf die Tierproduktion wird die erwartungsgemäß schlechtere Futterqualität und Siliereignung, aufgrund der zunehmenden Frühsommer- und Sommertrockenheit haben.

Maßnahmen

Die landwirtschaftliche Tierhaltung bzw. Viehzucht sieht sich in erster Linie der Notwendigkeit der Anpassung an häufigere und intensivere Hitzeperioden ausgesetzt. Welches konkrete Risiko für die Tiere mit dem entsprechenden Hitzestress verbunden ist, sollte im Rahmen von Einzeltierversuchen überprüft werden (LW17). Dem Hitzephänomen selbst kann durch technische Lösungen im Bereich der Klimatisierung von Stallungen begegnet werden (LW18). Bei der Geflügel- und Schweinezucht sind Klimaanlagen bereits heute Stand der Technik. Inwiefern die bestehenden Anlagen auch zum Ende ihrer Abschreibungsfrist in der Lage sind, die notwendige Kühlleistung zu erbringen bzw. ob zukünftig leistungsstärkere Anlagen (ggf. auch für die Kühlung von Rinderstallungen) verwendet werden müssen, bedarf der intensiven Prüfung (LW19). Bei den Haltungsbedingungen muss in Freiland-/ Weidehaltung, Außenklima- und Warmställe unterschieden werden, dementsprechend unterschiedlich aufwändig gestalten sich die Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel. Ein besonderes Augenmerk gilt hierbei vor allem der Wasserversorgung in den genannten Haltungssystemen (LW20).

Weiterhin ist ein angepasstes Nährstoffmanagement für die Tiere eine Anpassungsoption (LW21). Diese zielt darauf ab, die verminderte Nährstoffaufnahme unter Hitzestress durch eine erhöhte Energiedichte des Futters auszugleichen, wobei jedoch die Fütterungsgrundlagen besonders für Wiederkäuer unbedingt zu beachten sind. Letztlich kommt auch der Züchtung von hitzetoleranteren Rassen mit einer besseren Fähigkeit zur Thermoregulation eine wichtige Rolle zu (LW22). Auch die Einführung von hitzetoleranten Rassen aus anderen Klimaregionen ist eine denkbare Option (LW23). Hier käme positiv hinzu, dass diese Tiere bereits ein Erregerspektrum tragen, das hilfreich bei der Identifizierung von Krankheiten sein kann, die in Thüringen zzt. noch nicht ver-

Tab. 6: Maßnahmen zur Klimafolgenanpassung im Handlungsfeld Landwirtschaft (Tierhaltung)

LW17	Einzeltierversuche zu den Folgen des Klimawandels	Zeitliche Dringlichkeit	hoch (bis 3 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	kurzfristig (bis 3 Jahre), es besteht noch Untersuchungsbedarf
		Zuständigkeit	TMLFUN → TLL (Projekt ab 2013 ist in der Beantragung)
		Kosten	Zeitreihen erforderlich (mind. 5-jährig in Klimakammer); nur Berechnung konkreter Tierartengruppen im jeweiligen Haltungssystem im Vergleich zu Referenzsystemen sinnvoll
LW18	Klimatisierung von Stallungen	Zeitliche Dringlichkeit	hoch (bis 3 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	kurzfristig (bis 3 Jahre), es besteht noch Untersuchungsbedarf
		Zuständigkeit	TMLFUN → TLL (Projekt ab 2013 ist in der Beantragung) Landwirtschaftliche Unternehmensentscheidung
		Kosten	Zeitreihen erforderlich (mind. 5-jährig, 20-jährig wie Klimabetrachtungen); nur Berechnung konkreter Tierartengruppen im jeweiligen Haltungssystem im Vergleich zu Referenzsystemen sinnvoll

Fortsetzung von Tab. 6: Maßnahmen zur Klimafolgenanpassung im Handlungsfeld Landwirtschaft (Tierhaltung)			
LW19	Prüfung der Leistungsfähigkeit bestehender Klimaanlagen unter veränderten Klimabedingungen	Zeitliche Dringlichkeit	hoch (bis 3 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	kurzfristig (bis 3 Jahre), es besteht noch Untersuchungsbedarf
		Zuständigkeit	TMLFUN → TLL (Projekt ab 2013 ist in der Beantragung)
		Kosten	Zeitreihen erforderlich (mind. 20-jährig wie Klimabetrachtungen); nur Berechnung konkreter Tierartengruppen im jeweiligen Haltungssystem im Vergleich zu Referenzsystemen sinnvoll
LW20	Angepasstes Wasserversorgungsmanagement in allen Haltungssystemen	Zeitliche Dringlichkeit	mittel (3 bis 10 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	kurzfristig (bis 3 Jahre)
		Zuständigkeit	Einzelbetrieb
		Kosten	Einzelbetrieblich variabel, je nach Haltungssystem und Bauweise
LW21	Klimaangepasstes Nährstoffmanagement	Zeitliche Dringlichkeit	mittel (3 bis 10 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	kurzfristig (bis 3 Jahre), es besteht noch Untersuchungsbedarf
		Zuständigkeit	TMLFUN → TLL
		Kosten	Zeitreihen erforderlich (mind. 5-jährig); nur Berechnung konkreter Tierartengruppen im jeweiligen Haltungssystem im Vergleich zu Referenzsystemen sinnvoll
LW22	Züchtung von hitzetoleranten Rassen	Zeitliche Dringlichkeit	mittel (3 bis 10 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	langfristig (> 10 Jahre); es besteht noch Untersuchungsbedarf
		Zuständigkeit	Zuchtunternehmen
		Kosten	abhängig von Tierart und Nutzungsrichtung
LW23	Einführung von hitzetoleranten Rassen aus anderen Klimaregionen	Zeitliche Dringlichkeit	mittel (3 bis 10 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	mittelfristig (3 bis 10 Jahre); es besteht noch Untersuchungsbedarf
		Zuständigkeit	Zuchtunternehmen, Einzelbetrieb
		Kosten	Zeitreihen erforderlich (mind. 10-jährig); nur Berechnung konkreter Tierartengruppen im jeweiligen Haltungssystem im Vergleich zu Referenzsystemen sinnvoll
LW24	Bereitstellung von Forschungsergebnissen und abgeleiteten Empfehlungen	Zeitliche Dringlichkeit	hoch (bis 3 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	bereits umgesetzt o. durchgeführt; es besteht noch Untersuchungsbedarf
		Zuständigkeit	TMLFUN → TLL
		Kosten	das kommt auf Qualität und Anzahl an
LW25	Beratungs- und Aufklärungskampagnen	Zeitliche Dringlichkeit	hoch (bis 3 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	bereits umgesetzt o. durchgeführt
		Zuständigkeit	TMLFUN → TLL
		Kosten	das kommt auf Qualität und Anzahl an
LW26	Förderprogramm für Investitionen zur Klimafolgenanpassung	Zeitliche Dringlichkeit	hoch (bis 3 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	kurzfristig (bis 3 Jahre)
		Zuständigkeit	TMLFUN → TLL
		Kosten	die Kosten variieren je nach konkreter Investition

breitet sind. Diese Tiere zeigen ggf. auch eine erworbene Vitalität gegenüber diesen Erregern / Parasiten, die für z. B. Kreuzungen mit heimischen Rassen genutzt werden kann. Grundsätzlich ist zukünftig aber auch dem Gesundheitsmanagement daher noch mehr Beachtung zu schenken.

Wie für den Ackerbau gilt auch für die landwirtschaftliche Tier-

zucht, dass die Behörden den spezifischen Anpassungsprozess durch die Bereitstellung von Forschungsergebnissen und die Erarbeitung von Empfehlungen (LW24) sowie Beratungs- und Aufklärungskampagnen (LW25) unterstützen können. Auch die Finanzierung von investiven Programmen (z. B. angepasste Klimatisierung von Stallungen) sollten geprüft werden (LW26).

4.4 Boden

Böden erfüllen eine Vielzahl von Funktionen für den Naturhaushalt und die menschliche Gesellschaft. Dabei werden vielfältige Nutzungsansprüche an die Böden gestellt. Gleichzeitig sind Böden leicht zerstörbar und nicht vermehrbar. Im Widerstreit der Nutzungen muss daher die begrenzte Ressource Boden so eingesetzt werden, dass sie ihre Funktionen optimal erfüllen kann.

Der Schutz des Bodens als nicht erneuerbare Ressource und wesentliches Element einer nachhaltigen Entwicklung nimmt einen zunehmenden Stellenwert in der umweltpolitischen Diskussion ein. Wichtiges Ergebnis dieser Entwicklung ist das Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG), welches am 01. März 1999 in Kraft getreten ist. Der Gesetzgeber hat die Bedeutung der Böden erkannt und formuliert die nachhaltige Sicherung und Wiederherstellung der Bodenfunktion folgendermaßen:

1. Natürliche Bodenfunktionen:

- Lebensgrundlage und Lebensraum für Menschen, Tiere, Pflanzen und Bodenorganismen,
- Bestandteil des Naturhaushaltes, insbesondere mit seinen Wasser- und Nährstoffkreisläufen,
- Abbau-, Ausgleichs- und Aufbaumedium für stoffliche Einwirkungen aufgrund der Filter-, Puffer- und Stoffumwandlungseigenschaften, insbesondere auch der Schutz des Grundwassers.

2. Funktionen als Archiv der Natur- und Kulturgeschichte

3. Nutzungsfunktion:

- Rohstofflagerfläche,
- Fläche für Siedlung und Erholung,
- Standort für land- und forstwirtschaftliche Nutzung,
- Standort für sonstige wirtschaftliche und öffentliche Nutzungen, Verkehr, Ver- und Entsorgung.

Zur Umsetzung eines flächendeckenden Bodenschutzes sind in Ergänzung zur Bodenschutzgesetzgebung eine Fülle bestehender gesetzlicher Bestimmungen anwendbar, so z. B. Bestimmungen des Naturschutzes und des Baurechtes. Dabei gilt, es die in § 2 BBodSchG genannten Bodenfunktionen zu erhalten bzw. zu verbessern. Die Bund / Länderarbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO) hat folgende Betroffenheiten für den Bodenschutz durch den Klimawandel dargestellt (LABO 2010):

- Risiko von abnehmenden Humusgehalten und -vorräten,
- zunehmende potenzielle Wasser- und Winderosionsgefährdung,
- zunehmendes Risiko von Bodenschadverdichtungen sowie
- Veränderungen des Bodenwasserhaushaltes.

Klima ist ein wesentlicher Standortfaktor. Deshalb sind in die Bewertung der oben genannten Bodenfunktionen Klimaparameter einzubeziehen. Das Auftreten von Erosion wird neben der Reliefausprägung auch durch das abfließende Niederschlagswasser in Wechselwirkung mit der jeweiligen Landnutzung maßgeblich beeinflusst. Auch die vom Bodenwassergehalt abhängige Bodenschadverdichtungsgefahr und der vor allem mit der Bodentemperatur in Verbindung stehende Ab- und Umbau des organischen Oberbodens (Humus) weisen eine hohe Klimasensitivität auf. Nicht berücksichtigt werden hier die Veränderungen der landwirtschaftlichen Flächenbewirtschaftung aufgrund des Klimageschehens (Veränderung Fruchtfolgen, Befahrungszeiten, Art der Bodenbearbeitung etc.), die wiederum eine dominante Wirkung auf die genannten Bodengefährdungen und Bodeneigenschaften haben können.

Das Schutzgut Boden wird von vielen anderen Handlungsfeldern (vor allem von der Land- und Forstwirtschaft, aber auch von anderen wie dem Bau- oder Verkehrswesen) genutzt oder geplant und steht mit ihnen in wechselseitigen Beziehungen. Aus diesem Grund können auch keine klassischen, dem Handlungsfeld Boden eigene **Planungshorizonte** oder **Planungsinstrumente** benannt werden. Vielmehr richten sich diese nach dem Blickwinkel des den Boden nutzenden Handlungsfeldes. So stellen z. B. die Agrarumweltmaßnahmen bzw. das KULAP (Umweltgerechte Landwirtschaft, Erhaltung der Kulturlandschaft, Naturschutz und Landschaftspflege in Thüringen) gegenwärtig ein wichtiges Instrumentarium für die Vorbeugung von Erosion dar. Da sich Böden über sehr lange Zeiträume entwickeln, aber sich durch menschliche Eingriffe auch innerhalb weniger Jahre verändern können, sind für das Handlungsfeld grundsätzlich kurz, mittel- und langfristig angelegte Betrachtungen angeraten.

Auch für die Betrachtung **sozioökonomischer Faktoren**, die neben dem Klimawandel die Zielverfolgungen im Handlungsfeld Boden beeinflussen, gilt, dass sie grundsätzlich von dem den Boden nutzenden Handlungsfeld abhängig sind. Für fast alle Bodennutzungsarten ist die weitere Entwicklung des Flächenverbrauchs bzw. der Bodenversiegelung im Zuge des Landnutzungswandels hochgradig relevant. Die Entwicklungen der letzten Jahre deuten in diesem Zusammenhang auf einen robusten (wenn auch sich verlangsamen) Trend zu mehr versiegelter Fläche durch z. B. Verkehrs-, Siedlungs- und Infrastrukturmaßnahmen hin.

4.4.1 Erosion

Auswirkungen des Klimawandels

Die Erosionsgefährdung durch Wind spielt in Thüringen eine sehr untergeordnete Rolle. Die Wassererosionsgefahr auf agrarisch ge-

nutzten Flächen stellt hingegen in allen Teilräumen Thüringens ein relevantes Thema dar. In Abhängigkeit von Hanglänge und Hangneigung weisen die Agrarräume Thüringer Wald, Rhön, Thüringer Schiefergebirge und Harzvorland / Eichsfeld das größte Erosionsgefährdungspotential auf (Anhang, Abb. 12). Im Thüringer Wald und seinen Randlagen spielt die landwirtschaftliche Flächennutzung allerdings nur eine sehr untergeordnete Rolle, die zudem von der eher weniger erosionsgefährdeten Grünlandnutzung dominiert wird. Welche Erosionsgefährdung sich auf den einzelnen Schlägen ergibt, hängt dem Modellansatz der Allgemeinen Bodenabtragsgleichung (ABAG) entsprechend neben dem Relief (LS-Faktor), der Bodenerodibilität (K-Faktor), der Art der Bodenbearbeitung und der Bodenbedeckung (C-Faktor) sowie etwaigen Erosionsschutzmaßnahmen (P-Faktor) wesentlich von der Häufigkeit des Auftretens erosionswirksamer Niederschläge ab (R-Faktor). In der vorliegenden Analyse wird die Entwicklung des R-Faktors mithilfe der Auftrittshäufigkeit von Starkniederschlägen

> 20 mm/d im Frühjahr und Herbst analysiert. Während dieser Jahreszeiten kommt es am häufigsten vor, dass Böden durch Bodenbearbeitung oder noch frühe Entwicklungsphasen der angebauten Kulturart wenig bedeckt und damit der erosiven Wirkung von Starkregen ausgesetzt sind. Aus der Analyse (Abb. 28) können folgende Aussagen bzw. Tendenzen abgeleitet werden:

- Erosionswirksame Niederschläge treten im Referenzzeitraum im gesamten Gebiet Thüringens mindestens einmal pro Jahr in den relevanten Jahreszeiten auf; das Auftrittsmaximum liegt in den Höhenlagen des Thüringer Waldes sowie in Ost- und Mittelthüringens.
- In den Projektionszeiträumen kommt es nur in den südwestlichen (grünlandgeprägten) Agrarräumen Thüringens ab etwa Mitte des Jahrhunderts zu einem moderaten Anstieg des Auftretens von erosiven Niederschlägen. Mittelfristig und langfristig können auch in Teilen Nord- und Ostthüringens die Stark-

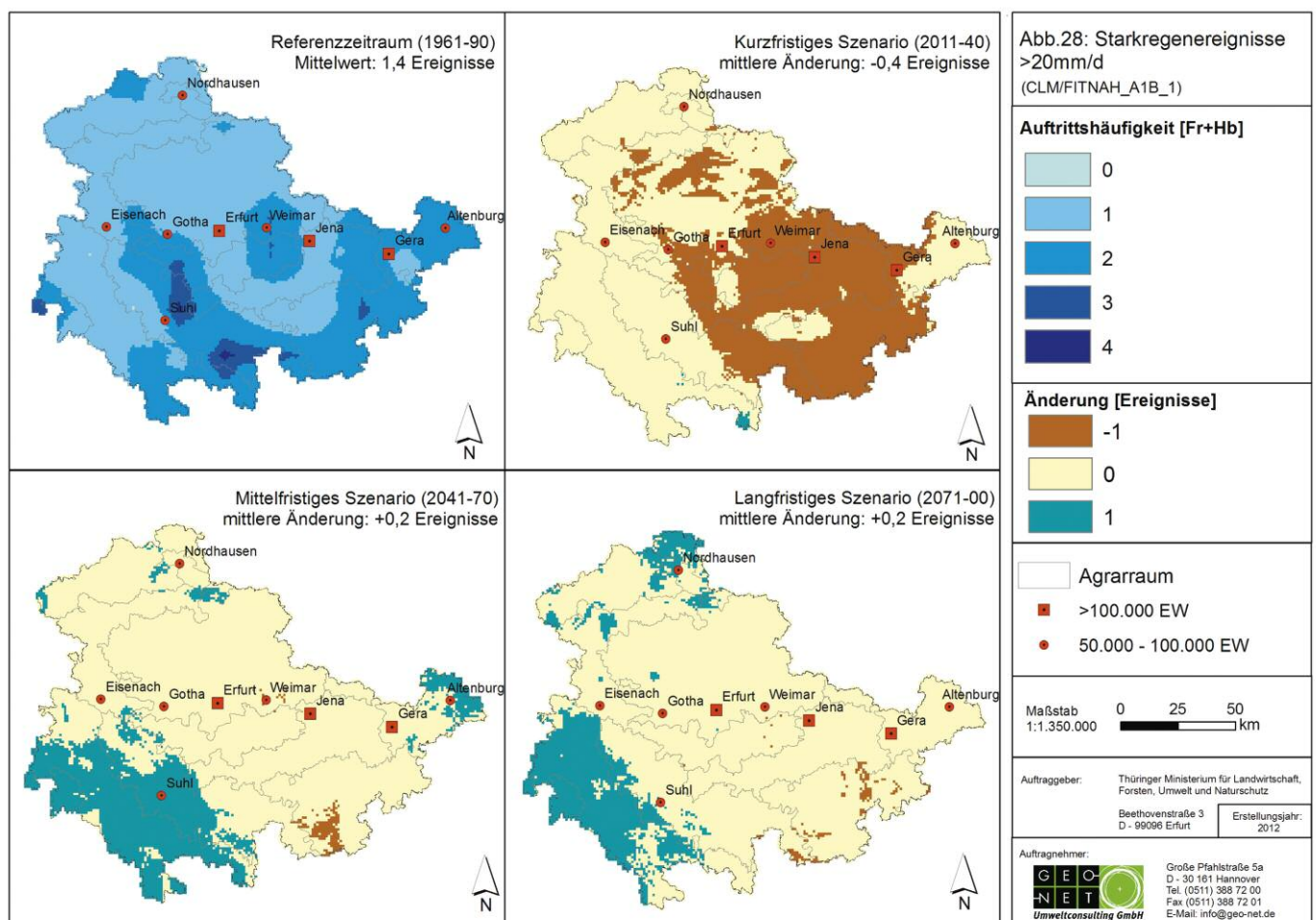


Abb. 28: Durchschnittliche jährliche Auftrittshäufigkeit von erosiven Starkregenereignissen > 20 mm/d im Frühjahr (M/A/M) und Herbst (S/O/N) für die drei Klimaprojektionszeiträume im Vergleich zum Referenzzeitraum 1961 - 1990

niederschläge leicht zunehmen. In den übrigen Teilräumen bleiben die Werte in etwa konstant oder gehen im kurzfristigen Szenario sogar leicht zurück.

Insgesamt lässt sich aus der Analyse ableiten, dass sich aus der Sicht des Klimawandels für die ackerbaulich genutzten Flächen in Südwestthüringen und in Teilen Nordthüringens- und Ostthüringens mittel- und langfristig eine (zusätzliche) Handlungsnotwendigkeit hinsichtlich des Erosionsschutzes ergibt.

Maßnahmen

Die vorgenommenen indikatorbasierten Analysen zur regionalen Entwicklung der Wassererosion bedürfen der Validierung mithilfe der geodaten- und faktorbasierten ABAG und auf Basis der im Projekt regionalisierten Klimadaten. Bei dieser Modellierung kommt es in erster Linie auf die Neuberechnung des R-Faktors an, aber auch die Vegetationsentwicklung und der Zeitpunkt der Bodenbearbeitung unterliegt einem Wandel, so dass ggf. auch die Möglichkeit der Anpassung des C-Faktors geprüft werden sollte (BO01). Die Modellergebnisse sollten ihrerseits durch Messprogramme überprüft werden, um noch mehr Wissen über den tatsächlichen Zusammenhang zwischen Starkregenereignissen und real stattfindender Erosion zu generieren (BO02; „Erosionsmonitoring“).

Wassererosion findet auch unter dem Einfluss des Klimawandels vor allem auf Ackerbaustandorten statt, so dass insbesondere landwirtschaftliche Maßnahmen von Relevanz sind (vgl. TLL 2008, TLL 2009). Eine bedeutende Funktion nehmen Bodenbearbei-

tungssysteme mit reduzierter Eingriffsintensität ein, die in der Lage sind, die zunehmende Erosionsgefährdung durch Starkregenereignisse zu kompensieren (Wurbs und Steininger 2010). Mulch- bzw. Direktsaat- und Mulchpflanzverfahren sind seit 2007 auf ausgewiesenen Feldblöcken (Gewässerschutz-Kulisse) über die freiwilligen Agrarumweltmaßnahmen förderfähig (BO03). Bei Reihenkulturen (z. B. Mais, Zuckerrübe) sind Engsaat (< 45 cm Reihenabstand) oder Breitsaat beim Mais geeignete Maßnahmen das Erosionsrisiko zu vermindern. Weitere Möglichkeiten zur Verringerung der Erosionsgefahr sind die Verkürzung der Hanglänge durch Schlagteilung, durch Anbau von erosionsanfälligen Kulturen im Wechsel mit wenig anfälligen Kulturen quer zum Hang oder durch Erosionsschutzstreifen (z. B. Grünstreifen, Agroforst-Streifen) sowie die Begrünung von erosiven Abflussbahnen.

Neben angepassten Anbautechniken sind auch der Anbau weniger erosionsanfälliger Kulturen (z. B. Wintergerste, -roggen, -raps) auf erosionsgefährdeten Flächen, die Erhöhung der Bodenbedeckung in Brachezeiten (z. B. durch einen verstärkten Zwischenfruchtanbau) (BO04), die Sicherung der Aggregatstabilität des Bodengefüges sichernde Humusreproduktion sowie die Erhaltung der Infiltrations- und Wasserspeicherfähigkeit des Bodengefüges geeignete Reaktionen auf die zu erwartenden Klimafolgen. Um die Erosion in den Mittelgebirgen und seinen besonders betroffenen Randlagen weiterhin auf einem niedrigen Niveau halten zu können, ist auf stark erosionsgefährdeten Hängen auch ein Grünlanderhalt anzustreben (BO05). Ferner ist eine betriebs- und schlagbezogene Erosionsberatung für die Transferierung von etablierten und neuen Erkenntnissen und Methoden in die landwirtschaftliche Praxis von entscheidender Bedeutung (BO06).

Tab. 7: Maßnahmen zur Klimafolgenanpassung im Handlungsfeld Boden (Erosion)

BO01	Modellierung des zukünftigen Erosionspotentials mit Daten zum Klimawandel	Zeitliche Dringlichkeit	hoch (bis 3 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	mittelfristig (3 bis 10 Jahre)
		Zuständigkeit	TLUG Ref. 64
		Kosten	gering, da Arbeitsaufgabe TLUG
BO02	Erosionsmonitoring	Zeitliche Dringlichkeit	hoch (bis 3 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	mittelfristig (3 bis 10 Jahre)
		Zuständigkeit	nur über Drittmittelprojekt realisierbar
		Kosten	hoch
BO03	Förderung erosionsmindernder Maßnahmen in landwirtschaftliche Förderinstrumentarien	Zeitliche Dringlichkeit	hoch (bis 3 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	kurzfristig (bis 3 Jahre), neue Förderperiode ab 2014
		Zuständigkeit	TMLFUN
		Kosten	von den verfügbaren Mitteln und der Förderkulisse abhängig

Fortsetzung von Tab. 7: Maßnahmen zur Klimafolgenanpassung im Handlungsfeld Boden (Erosion)

BO04	Erhöhung der Bodenbedeckung in Brachezeiten	Zeitliche Dringlichkeit	bisher Förderung in der Gewässerschutz-Kulisse über W21 im KULAP, Ausweitung auf alle erosionsgefährdeten Flächen wünschenswert
		Zeitliche Umsetzbarkeit	kurzfristig (bis 3 Jahre), neue Förderperiode ab 2014
		Zuständigkeit	TMLFUN
		Kosten	von den verfügbaren Mitteln und der Förderkulisse abhängig (bisher 84 €/ha)
BO05	Grünlanderhalt auf stark erosionsgefährdeten Hängen	Zeitliche Dringlichkeit	hoch (bis 3 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	kurzfristig (bis 3 Jahre)
		Zuständigkeit	TMLFUN
		Kosten	gering
BO06	Regional differenzierte bzw. schlagbezogene Erosionsberatung von Landwirten	Zeitliche Dringlichkeit	hoch (bis 3 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	mittelfristig (3 bis 10 Jahre), von 2010 - 2012 regional durch Dienstleister in Gewässerschutzkooperationen realisiert, da Officialberatung in Thüringen abgeschafft, Weiterführung wünschenswert
		Zuständigkeit	TMLFUN und TLL
		Kosten	Dienstleistung Dritter: Werkverträge mit Beratungsunternehmen

4.4.2 Bodenschadverdichtung

Auswirkungen des Klimawandels

Neben der Erosionsgefährdung stellt auch die Bodenschadverdichtung ein klimasensitives Teilsystem für das Handlungsfeld Boden dar. Für Thüringen existiert eine Übersichtskarte, die den Freistaat in drei Gefährdungsklassen einteilt. Demnach bestehen auf etwa 40 % der Fläche Thüringens Schadverdichtungsrisiken. Flächenhaft vom Verdichtungsrisiko betroffen sind vor allem die Agrarräume Ostthüringer Bundsandsteingebiet, die Randlagen des Thüringer Beckens sowie Südwestthüringen. Aber auch das Thüringer Becken weist stellenweise eine hohe Verdichtungsgefährdung auf (Anhang, Abb. 13).

Eine tatsächlich stattfindende Schadverdichtung ist stets auch durch ein aktives Eingreifen des Bewirtschafters determiniert (z. B. Befahrung des nassen Boden mit schwerem Gerät). Die mechanische Bodenstabilität weist eine primäre Abhängigkeit vom Bodenwassergehalt auf, der seinerseits im Wesentlichen von lokal fallenden Niederschlagsmengen abhängig ist. Dabei steigt prinzipiell mit einem zunehmenden Sättigungsgrad des Bodens auch das Risiko einer Schadverdichtung durch Befahrung oder Bearbeitung des Bodens.

Wie Kapitel 3.2.2 gezeigt hat, ist auf das meteorologische Jahr bezogen nicht mit steigenden Niederschlagsmengen und damit auch nicht mit einem grundsätzlich höheren Risiko von Schadverdichtungen zu rechnen. Allerdings wurde auch gezeigt, dass eine z. T. nicht unwesentliche innerjährliche Umverteilung der Niederschläge zu erwarten ist, so dass aufgrund von signifikanten Niederschlagszunahmen in einzelnen Teilräumen zur Mitte des

Jahrhunderts im Frühling und Herbst (z. B. beim Düngen, bei der Bodenbearbeitung) mit einem erhöhten Risiko der Bodenschadverdichtung gerechnet werden muss, während in den Sommermonaten durch signifikant sinkende Niederschlagssummen auch die Chance einer abnehmenden Verdichtungsgefährdung (z. B. bei der belastungsintensiven Getreideernte) besteht.

Die sich in den Zwischenjahreszeiten erhöhende Gefahr einer Schadverdichtung durch Befahrung oder Bearbeitung wird flächendeckend noch durch einen robusten Trend zu einer abnehmenden Auftrittshäufigkeit von Frostperioden pro Jahr gefördert (Anhang, Abb. 24). Denn schon kurz andauernder und geringmächtig ausgeprägter Bodenfrosts kann durch seine Umlagerungswirkung - und die Volumenänderung des Bodenwassers - bereits verdichtete Bodengefüge vorwiegend in der Krume wieder auflockern. Insgesamt ist also zu erwarten, dass zwar der Einfluss des Bodenfrostes als der Schadverdichtung entgegenwirkender Faktor unter dem Einfluss des Klimawandels in keinem der Thüringer Agrarräume gänzlich verloren geht, aber erheblich geringer werden wird. Angesichts dieses Ergebnisses und des erhöhten Verdichtungsrisikos im Frühjahr und Herbst erscheint eine weitere Intensivierung der Anstrengungen zur Vorbeugung der Schadverdichtung angemessen.

Maßnahmen

Die vorgenommene indikatorbasierte Analyse zur regionalen Entwicklung des Schadverdichtungsrisikos bedarf zunächst einer modellgestützten Validierung auf Basis der im Projekt regionalisierten Klimadaten (BO09). Lösungsansätze zur Minimierung von Bodenschadverdichtungen selbst sind weitgehend bekannt und auch für die Klimafolgenanpassung anwendbar (vgl. Sommer und

Brunotte 2001, TLL 2008). Folgende Optionen bestehen:

- Nutzung technischer Möglichkeiten,
- bodenschonende Arbeitsverfahren,
- Stabilisierung des Bodengefüges.

Die ersten beiden Maßnahmenpakete zielen auf eine Minimierung der mechanischen Belastung des Bodens ab (BO10). Dieses kann Nutzung technischer Möglichkeiten, z. B. die durch eine Anpassung der Fahrwerke der Feldtechnik (großvolumig, breite Reifen, mit geringem Innendruck, Zwillingsbereifung, Gleisbandfahrwerken, Erhöhung der Achsenzahl) erreicht werden. Dabei ist darauf zu achten, dass der Kontaktflächendruck stärker abnimmt als die Radlast zunimmt. Oder es kann über den Einsatz von innovativem und leichtem Karosseriematerial das Fahrzeuggesamtgewicht reduziert bzw. die Gewichtsübertragung auf den Untergrund optimiert werden. Die konkrete Wirkung bestimmter Techniken auf den ausgeübten Bodendruck bedarf allerdings noch eingehender Forschungen (BO11). Nach guter fachlicher Praxis ist das Befahren zu feuchter und damit instabiler Böden nicht erlaubt. Dieser Sachverhalt wird für sowohl landwirtschaftliche Böden als auch für die forstliche Holzernte insbesondere im Winter und zeitigen Frühjahr eine besondere Relevanz besitzen, da in dieser Zeit mit einer noch stärkeren Bodensättigung zu rechnen ist. Voraussetzung für die Wahl des richtigen Befahrzeitpunktes sind repräsentative und regionalspezifische Informationen zur Bodenfeuchte für alle relevanten Bodentypen in Thüringen oder besser noch schlaggenaue Bodenfeuchtwerte (BO12). Auch die Anwendung bodenschonender Arbeitsverfahren, wie die Zusammenlegung von Arbeitsgängen (z. B. durch Unterfußdüngung bei der Saat), dem angepassten, eingeschränkten Trans-

portverkehr auf dem Acker (z. B. durch Einsatz von bodenschonender Überladewagen beim Erntetransport auf dem Acker, Benutzung permanenter Fahrspuren etc.) oder das Onland-Pflügen (Pflügen ohne Befahrung der Ackerfurche) kann die (punktuell konzentrierte) mechanische Belastung des Bodens verringern.

Mit dem dritten Maßnahmenpaket wird das Ziel verfolgt, die Tragfähigkeit des Bodens durch eine Stabilisierung des Bodengefüges zu erhöhen (BO13). Folgende konkrete Maßnahmen können in diesem Zusammenhang benannt werden:

- Förderung und Erhalt eines günstigen, stabilen Bodengefüges durch Erhalt des Humusgehaltes und durch Zwischenfruchtanbau,
- nichtwendende, flachlockernde Bodenbearbeitung oder Direktsaatverfahren führt zu einer Erhöhung der Tragfähigkeit der nicht bearbeiteten Krume.

Um Verdichtungen im Boden wieder aufzulösen, können folgende Maßnahmen hilfreich sein:

- Lockerung der dichten Krume durch krumentiefes Bearbeiten,
- Wenden statt Grubbern im Herbst, um die verdichteten Aggregate dem Frost zugänglich zu machen,
- Anbau von tiefwurzelnden Kulturen und Förderung der Regenwurmaktivität z. B. durch Zwischenfruchtanbau.

Um das Schadverdichtungsrisiko noch mehr ins Bewusstsein der Bewirtschafter zu rücken, ist letztlich auch die Integration dieses Themas in das Portfolio der Agrarumweltmaßnahmen (BO14) sowie eine exponierte Stellung des Themas in der Aus-, Fort- und Weiterbildung von Land- und Forstwirten ein wichtiger Baustein (BO15).

Tab. 8: Maßnahmen zur Klimafolgenanpassung im Handlungsfeld Boden (Bodenschadverdichtung)

BO09	modellgestützte Analyse des zukünftigen Schadverdichtungsrisikos im Jahresverlauf	Zeitliche Dringlichkeit	hoch (bis 3 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	kurzfristig (bis 3 Jahre)
		Zuständigkeit	TMLFUN
		Kosten	Dienstleistung Dritter
BO10	Minimierung der mechanischen Belastung des Bodens durch Nutzung technischer Möglichkeiten und Anwendung bodenschonender Anbauverfahren	Zeitliche Dringlichkeit	hoch
		Zeitliche Umsetzbarkeit	von der Nutzungsdauer der noch aktuell eingesetzten Maschinen bzw. Ausstattung abhängig: vom Investitionspotential der Betriebe abhängig
		Zuständigkeit	Betrieb
		Kosten	k. A.
BO11	Forschungen zum Zusammenhang zwischen bestimmten Fahrzeugtechniken und dem ausgeübten Bodendruck bzw. deren Wirkung auf den Boden	Zeitliche Dringlichkeit	hoch (bis 3 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	laufend
		Zuständigkeit	angewandte Forschung
		Kosten	k. A.
BO12	Aktuelle und regionalspezifische Informationen zur Befahrbarkeit von gefährdeten Standorten	Zeitliche Dringlichkeit	mittel (3 bis 10 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	kurzfristig (bis 3 Jahre) bis mittelfristig (3 bis 10 Jahre)
		Zuständigkeit	TLL
		Kosten	k. A.

Fortsetzung von Tab. 8: Maßnahmen zur Klimafolgenanpassung im Handlungsfeld Boden (Bodenschadverdichtung)			
BO13	Erhöhung der Tragfähigkeit des Bodens durch Stabilisierung des Bodengefüges	Zeitliche Dringlichkeit	hoch (bis 3 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	in Umsetzung o. Durchführung
		Zuständigkeit	Betrieb
		Kosten	k. A.
BO14	Implementierung des Schadverdichtungsthema in Aus-, Fort- und Weiterbildungs-Portfolio	Zeitliche Dringlichkeit	kann später erfolgen (> 10 Jahre), da in der nächsten Förderperiode ab 2014 nicht vorgesehen
		Zeitliche Umsetzbarkeit	langfristig (> 10 Jahre)
		Zuständigkeit	k. A.
		Kosten	k. A.
BO15	Implementierung des Schadverdichtungsthema in Aus-, Fort- und Weiterbildung relevanter Akteure	Zeitliche Dringlichkeit	Schadverdichtung ist immer Thema, sollte sich aufgrund des Klimawandels etwas ändern dann mittelfristig, damit Landwirte bei Neuinvestitionen diese Änderungen berücksichtigen können
		Zeitliche Umsetzbarkeit	k. A.
		Zuständigkeit	k. A.
		Kosten	k. A.

4.4.3 Standorttypischer Humusgehalt

Auswirkungen des Klimawandels

Der Humusgehalt des Oberbodens ist neben nicht klimatischen Einflussgrößen wie der Bodenart bzw. des Bodenwasserregimes und der Bewirtschaftung auch maßgeblich vom Klima abhängig. Grundsätzlich gilt, dass mit steigender Bodentemperatur die Mineralisierungsprozesse schneller und umfangreicher ablaufen und es dadurch zu einem Humusschwund im Oberboden kommen kann. Wie Kapitel 3.2.1 gezeigt hat, ist in Thüringen langfristig flächendeckend in allen Jahreszeiten mit einem robusten Temperaturanstieg je nach Jahreszeit zwischen 2,5 °C (Frühling) und 4 °C (Sommer) zu rechnen. Dieser Umstand unterstützt also die These, dass der Klimawandel mit einem steigenden Risiko von Humusschwund verbunden sein könnte. Andererseits können Extremereignisse wie die Zunahme von Trockenperioden sowie die innerjährliche Verschiebung der Niederschlagsmengen die Mineralisation aufgrund von Wasser- bzw. Sauerstoffmangel hemmen und dadurch zu einer Humusanreicherung führen. Vor allem in der kalten Jahreszeit, wenn die Evapotranspiration sehr gering ausfällt, ist mit einer zunehmenden Porensättigung und damit mit

einer steigenden Gefahr des Sauerstoffmangels für die zu dieser Jahreszeit von Natur aus nur eingeschränkt aktiven Mikroorganismen zu rechnen. Zusammenfassend zeigt sich, dass die Humusbildung des Bodens unter dem Einfluss des Klimawandels sowohl fördernden als auch hemmenden Faktoren unterworfen sein wird. Es gibt aktuell noch keinen gesicherten Kenntnisstand darüber, welche Entwicklung in der Summe überwiegt, so dass über eine etwaige Handlungsnotwendigkeit gegenwärtig noch keine Aussage getroffen werden kann.

Grundsätzlich fördert ein hoher Humusgehalt die Wasserspeicherkapazität und die Infiltrationskapazität des Bodens und wirkt damit den negativen Folgen des Klimawandels wie z. B. Wasserknappheit und Oberflächenabfluss entgegen.

Maßnahmen

Da die Anpassungsnotwendigkeit aufgrund fehlenden Wissens noch nicht bewertet werden kann, beschränken sich die Maßnahmen im Bereich des standorttypischen Humusgehaltes gegenwärtig auf die Unterstützung der Forschung zur summarischen Wirkung des Klimawandels.

Tab. 9: Maßnahmen zur Klimafolgenanpassung im Handlungsfeld Boden (standorttypischer Humusgehalt)			
BO16	Forschungen zur Gesamtwirkung des Klimawandels auf den standorttypischen Humusgehalt	Zeitliche Dringlichkeit	kann später erfolgen (> 10 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	langfristig (> 10 Jahre)
		Zuständigkeit	TLL / TLUG / TLWJF
		Kosten	langfristig (> 10 Jahre)

4.5 Wald und Forstwirtschaft

Wald und Forstwirtschaft haben in Thüringen wegen ihrer Bedeutung für die regionale Holzwirtschaft als auch hinsichtlich der Erholungsfunktion für den Menschen, der Speicherkapazität für den Landschaftswasserhaushalt sowie des ökologischen Werts für die Lebensgemeinschaften der verschiedenen Waldökosysteme traditionell einen hohen Stellenwert. Dieser Stellenwert wird vor allem in den stark bewaldeten Wuchsbezirken des Thüringer Waldes und des Vogtlandes deutlich. Auf diese Teilräume und dazu ergänzend auch auf das bereits heute von Trockenstress betroffene Altenburg-Zeitzer Löss-Hügelland, wird in der vorliegenden Analyse ein besonderes Augenmerk gerichtet (Anhang, Abb. 14). Eine Bedeutung kann auch dem Hainich als Nationalpark und Weltnaturerbe beigemessen werden.

Das Thüringer Waldgesetz (ThürWaldG) gibt den rechtsverbindlichen Rahmen für eine multifunktionale und nachhaltige Waldbewirtschaftung in Thüringen. Danach sollen der Erhalt des Waldes und seine multifunktionale Leistungsfähigkeit sowie dessen Mehrung insbesondere durch Bewahrung bzw. Entwicklung naturnaher Wälder mit standortgerechter Baumartenzusammensetzung und stabilen Strukturen erreicht werden. Gemäß dieser gesetzlichen Zielstellung und aufbauend auf dem im Rahmen des Dialogprozesses „Wald im Wandel“ entwickelten „Leitbild einer nachhaltigen Waldentwicklung in Thüringen“ (TMLFUN 2010) ist die Forstwirtschaft im Freistaat daher konsequenterweise auf den Erhalt und die integrative Entwicklung der Nutz-, Schutz- und Erholungsfunktion des Waldes ausgerichtet. In diesem Zieldreieck wird die Bedeutung des Waldes für den globalen Klimaschutz, für den Erhalt und die Wiederherstellung der Biologischen Vielfalt sowie für die Wirtschaftskraft des ländlichen Raumes besonders betont und darüber hinaus die Notwendigkeit einer Anpassung der Thüringer Wälder an sich ändernde Rahmenbedingungen festgehalten.

Die Zielformulierungen verdeutlichen bereits, dass die Forstwirtschaft im Allgemeinen und in Thüringen im Speziellen traditionell langfristig und damit im ursprünglichen Sinne auf Nachhaltigkeit ausgerichtet ist. Der konkrete **Planungshorizont** ist von der jeweils angebaute Baumart abhängig und liegt in der Regel bei über 100 Jahren. Für die Planungen mit der Baumart Eiche tendiert der Planungshorizont sogar gegen 200 Jahre. Der jüngst überarbeitete Bestandeszieltypenkatalog trägt diesem Umstand Rechnung. Die dort enthaltenen Baumartenempfehlungen sind auf den Zeitraum 2041 - 2070 ausgelegt (Frischbier et al. 2010). Sie sind im Staatswald verbindlich zu verwenden, im Körperschafts- und Privatwald haben sie empfehlenden Charakter, da nach § 20 ThürWaldG die Wahl der Baumarten dem Waldbesitzer zu überlassen ist, soweit hierdurch die Erfüllung der Grundpflichten nicht gefährdet sind (§ 19 Abs. 2 Nr. 4 ThürWaldG). Die Forsteinrichtung beinhaltet als

zentrales mittelfristiges **Planungsinstrument** die Pflege- und Verjüngungsmaßnahmen für die nächsten 10 Jahre. Mit der Entscheidung über die in diesen 10 Jahren durchzuführenden Verjüngungsnutzungen werden im Zuge der Forsteinrichtung für die konkrete Teilfläche (Bestand) auch Zielangaben für die folgende Waldgeneration getroffen (z. B. vorgesehene Baumarten bzw. Bestandeszieltypen). Durch diese Entscheidung wird ein weit über die Forsteinrichtungsplanung hinaus gehender zeitlicher Horizont für die jeweilige Teilfläche gesetzt.

Die Forstwirtschaft ist ein hochgradig **klimasensitives** Handlungsfeld. So gehören neben Nährstoffen und Licht insbesondere auch Wasser und Wärme zu den limitierenden Waldwachstumsfaktoren. Das Waldbrandrisiko wird von klimatischen Verhältnissen wesentlich beeinflusst. Stürme können insbesondere in monokulturell geprägten Nadelwaldbeständen große Schäden anrichten. Letztlich ist durch die notwendige Befahrbarkeit der Rückwege und Forststraßen auch die Holzernte ein witterungsabhängiges Thema.

Ein wichtiger **nichtklimatischer Einflussfaktor** stellt für die Forstwirtschaft vor allem die Entwicklung der Gemeinsamen Agrarpolitik der EU dar, durch die wichtige Themen wie die Erstaufforstung landwirtschaftlicher Flächen und der Walddumbau gefördert werden. Aktuell zeichnet sich zwar weder eine nennenswerte Waldmehrung noch ein Waldflächenverlust ab, mittel- bis langfristige Entwicklungen können hier aber nur sehr schwer eingeschätzt werden. Grundsätzlich lässt sich nicht ausschließen, dass vor allem angesichts globaler Zusammenhänge der Lebensmittelsicherung und Energiegewinnung der Nutzungsdruck auf Waldflächen auch wieder zunehmen wird. Selbiges ist aktuell und in absehbarer Zukunft durch den zunehmenden Flächenbedarf für (Verkehrs-) Infrastrukturmaßnahmen (z. B. ober- und unterirdischer Netzausbau im Zuge der Energiewende) zu erwarten. Letztlich überlagert auch die Entwicklung der Marktnachfrage nach dem Rohstoff Holz die Notwendigkeiten der Anpassung an die Folgen des Klimawandels. Aufgrund der Orientierung an ökologischen Waldbauleitbildern können die genannten Einflüsse in Thüringen gegenwärtig noch relativ erfolgreich gepuffert werden, da sie auf eine multifunktionale Nachhaltigkeit unter bestmöglicher Umsetzung integrativer Lösungen ausgerichtet sind.

4.5.1 Waldwachstum

Auswirkungen des Klimawandels

Das Waldwachstum ist das Ergebnis eines komplexen Faktorengefüges. Die grundsätzlich wuchsfähigen Baumarten werden dabei maßgeblich von der Länge der forstlichen Vegetationsperiode (hier definiert als der erste und der letzte Tag im Jahr, an dem die Tages-

durchschnittstemperatur 10 °C überschritten wird) beeinflusst. Der Klimawandel wird in diesem Zusammenhang zu zwei generellen Entwicklungen führen (Anhang, Abb. 15):

- Die Vegetationszeit für Gehölze wird sich im Laufe des Jahrhunderts allmählich deutlich um bis zu 6 Wochen verlängern.
- Die bereits im Referenzzeitraum erkennbaren regionalen Unterschiede werden zwar unter dem Einfluss des Klimawandels weiter bestehen bleiben, sich aber zusehends nivellieren. Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass die Verlängerung der Vegetationsperiode besonders stark in den Wuchsbezirken der Mittelgebirgsregionen ausgeprägt ist.

Aus waldbaulicher Sicht ist eine verlängerte Vegetationsperiode grundsätzlich positiv einzuschätzen, da mit ihr die Chance eines höheren Holzzuwachses und einer besseren Bonität verbunden sein kann. Inwiefern Pflanzen diese längere potenzielle Wach-

tumsphase tatsächlich auch im Wachstum umsetzen können, hängt im Wesentlichen aber vom Wasserangebot in dieser Zeit ab, dass näherungsweise über die Klimatische Wasserbilanz (KWB) abgebildet werden kann (Abb. 29). Die KWB ergibt sich aus der Menge des gefallenen Niederschlages abzüglich der potenziellen Wasserverdunstung. Diese Wassermenge beschreibt die Menge tatsächlich pflanzenverfügbaren Niederschlagswassers. Folgende Aussagen und Tendenzen können aus der Analyse abgeleitet werden:

- Unter dem Einfluss des Klimawandels wird sich die KWB in allen Thüringer Wuchsbezirken deutlich gegenüber dem Referenzzeitraum verschlechtern.
- Die Entwicklung vollzieht sich mit regionalen Unterschieden. Die geringsten Abnahmen sind in den Hochlagen des Thüringer Waldes zu erwarten, hier werden auch langfristig noch positive Wasserbilanzen erreicht. Die stärksten Abnahmen liegen

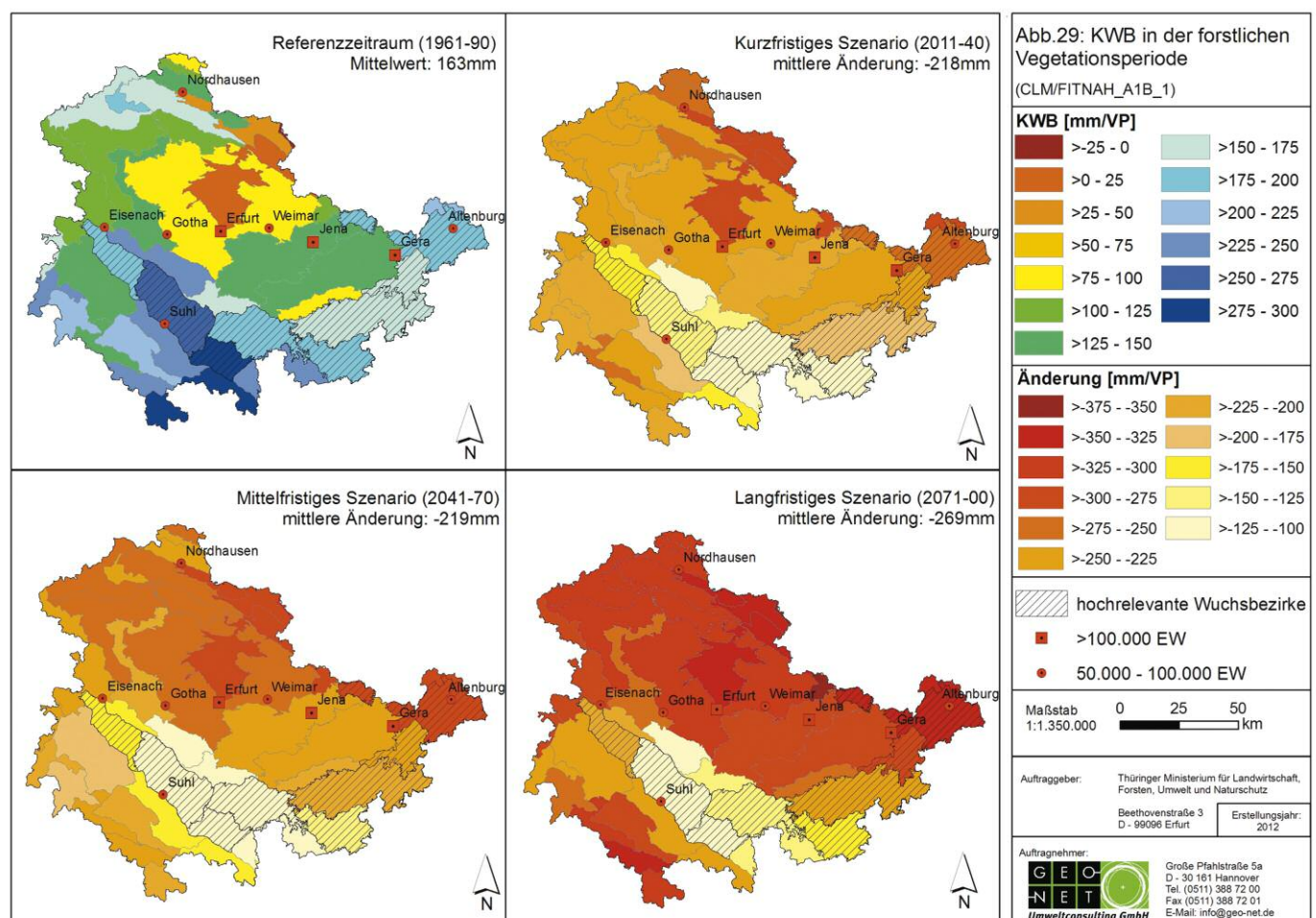


Abb. 29: Durchschnittliche KWB in der forstlichen Vegetationsperiode je Wuchsbezirk für die drei Klimaprojektionszeiträume im Vergleich zum Referenzzeitraum 1961 - 1990

im Nordosten vor, speziell im Wuchsbezirk Altenburg-Zeitzer Löss-Hügelland. Hier sowie in den Wuchsbezirken Unteres Vogtland und Ronneburger Schieferplatte wird es bereits im kurzfristigen Szenario zu negativen Wasserbilanzen kommen.

Insgesamt ist also für die betrachteten forstlichen Wuchsbezirke Thüringens festzustellen, dass sie sich von einer guten bis sehr guten Wasserversorgung in Richtung einer mäßigen bis schlechten Wasserversorgung entwickeln. Diese Tendenz wird von einem Trend zu einer flächendeckend moderat erhöhten Auftretshäufigkeit von Trockenperioden mit > 11 Tage ohne Niederschlag (Anhang, Abb. 16) sowie einer flächendeckend und insbesondere im Nordosten sehr deutlich erhöhten Auftretshäufigkeit von Spätfrösten mit $T_{\min} < 0^\circ\text{C}$ nach Beginn der forstlichen Vegetationsperiode begleitet (Anhang, Abb. 17). Aus diesen Umständen ergibt sich insbesondere für die nordöstlichen Wuchsbezirke, bei denen z. T. bereits heute schon Trockenschäden festzustellen sind, eine ernst zu nehmende Gefahr für die Vitalität gegenwärtiger und zukünftiger Waldbestände. Denn Trockenstress führt zum einen zu einer verminderten Wuchsleistung der Bäume und macht sie zum anderen auch anfälliger für Schädlingsbefall. Insbesondere Schädlinge wie Borkenkäfer, Eichenprozessionsspinner, Fichtengespinntblattwespe, Eichenwickler und Nonnenspinner, deren Lebensbedingungen durch das wärmere Klima zusätzlich begünstigt werden, können unter diesen klimatischen Bedingungen zu noch relevanteren Risikofaktoren werden. Obwohl die durchgeführten Analysen nicht mit einem forstlichen Wachstumsmodell verifiziert werden konnten, so deutet für die Thüringer Forstwirtschaft doch vieles darauf hin, dass die Klimarisiken recht deutlich gegenüber den mit der verlängerten Vegetationsperiode verbundenen Chancen überwiegen und sich damit eine dringliche Anpassungsnotwendigkeit für das Handlungsfeld ergibt.

Maßnahmen

Wie sich das Zusammenspiel der in der Klimafolgenabschätzung analysierten Parameter letztlich auf die einzelnen Baumarten auswirkt, kann aufbauend auf den hier erzielten Erkenntnissen nur in Zusammenhang mit computergestützten Wachstumsmodellen geklärt werden (FW01), die es für verschiedenste Wälder bereits gibt und deren Anwendbarkeit in diversen Projekten nachgewiesen wurde (z. B. FZW 2010). Dabei sollte u. a. die bis dato ungeklärte Forschungsfrage im Mittelpunkt stehen, bis zu welchem Umfang die heimischen Wirtschaftsbaumarten Klimaextreme, insbesondere Trockenheit und Hitze ertragen können (FW02).

Um den Klimarisiken für das Waldwachstum zu begegnen, sollte der Fokus der Waldbewirtschaftung auf eine hohe Strukturvielfalt sowohl hinsichtlich der Baumartenzusammensetzung (Mischwaldwirtschaft) als auch hinsichtlich der Altersklassen gerichtet werden (FW03). Diese Strategie der Risikodiversifikation durch Waldumbau hat ihren Eingang bereits in der überarbeiteten Fassung des Bestandeszieltypenkatalogs gefunden. Dieser Katalog sollte fortlaufend an die neuen Erkenntnisse aus der Klima- und Waldforschung angepasst werden (FW04). Dabei ist auch die Anbauwürdigkeit bisher nicht heimischer Baumarten zu prüfen (FW05). So wird beispielsweise der in Nordamerika beheimatete Douglasie aufgrund ihrer höheren Trockenheitstoleranz im Vergleich zur Fichte insbesondere in Ostthüringen ein etwas höheres Flächenpotential beigemessen. Möglicherweise können Trockenschäden auch durch spezielle forstliche Bewirtschaftungsverfahren (z. B. geändertes Durchforstungsregime) vorgebeugt werden, die den lokalen Wasserhaushalt positiv beeinflussen. Hierzu besteht allerdings noch dringlicher Forschungsbedarf (FW06).

Tab. 10: Maßnahmen zur Klimafolgenanpassung im Handlungsfeld Forstwirtschaft (Waldwachstum)

FW01	Antrieb von baumartenspezifischen Wachstumsmodellen mit Daten zum Klimawandel	Zeitliche Dringlichkeit	hoch (bis 3 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	kurzfristig (bis 3 Jahre)
		Zuständigkeit	Forstliches Forschungs- und Versuchswesen (Service- und Kompetenzzentrum der ThüringenForst - AöR)
		Kosten	Kosten 120.000 € (Personal und Modelle)
FW02	Forschungen zu Extremereignissen und heimischen Wirtschaftsbaumarten	Zeitliche Dringlichkeit	hoch (bis 3 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	mittelfristig (3 bis 10 Jahre)
		Zuständigkeit	Forstliches Forschungs- und Versuchswesen (Service- und Kompetenzzentrum der ThüringenForst - AöR), Klimaforschung
		Kosten	mittel
FW03	Schaffung einer hohen Strukturvielfalt hinsichtlich Altersklassen und Baumarten	Zeitliche Dringlichkeit	dauerhafte Aufgabe
		Zeitliche Umsetzbarkeit	permanent
		Zuständigkeit	Waldeigentümer & Bewirtschafter
		Kosten	nicht genau quantifizierbar, die Kosten für den Waldumbau variieren zwischen 0 € bei vernünftiger Pflege der Bestände und ausreichendem Verjüngungspotential bis zu 20.000 €/ha bei Einbringung von Baumarten inklusive Zaunbau & -sicherung, nachfolgender Pflege und Kultursicherung

Fortsetzung von Tab. 10: Maßnahmen zur Klimafolgenanpassung im Handlungsfeld Forstwirtschaft (Waldwachstum)			
FW04	Fortlaufende Anpassung des Bestandeszieltypenkatalogs an die Erkenntnisse der Klimaforschung	Zeitliche Dringlichkeit	dauerhafte Aufgabe
		Zeitliche Umsetzbarkeit	zeitlich gebündelt bei Vorliegen neuer Erkenntnisse
		Zuständigkeit	Forstverwaltung in Zusammenarbeit mit dem Forstlichen Forschungs- und Versuchswesen (Service- und Kompetenzzentrum der ThüringenForst - AöR)
		Kosten	mittel
FW05	Prüfung der Anbauwürdigkeit von Gastbaumarten	Zeitliche Dringlichkeit	hoch (bis 3 Jahre), aufgrund der langen Laufzeit bis erste Erkenntnisse abgeleitet werden können
		Zeitliche Umsetzbarkeit	kurzfristig (bis 3 Jahre), jedoch mit konkreten Erkenntnissen in ca. 20 bis 50 Jahren
		Zuständigkeit	Forstverwaltung in Zusammenarbeit mit dem Forstlichen Forschungs- und Versuchswesen (Service- und Kompetenzzentrum der ThüringenForst - AöR)
		Kosten	ca. 15.000 €/ha für Versuchsanlage, Pflege und Monitoring
FW06	Forschungen zu den Auswirkungen von bestimmten forstlichen Bewirtschaftungsweisen auf den Wasserhaushalt	Zeitliche Dringlichkeit	hoch (bis 3 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	kurzfristig (bis 3 Jahre) bis mittelfristig (3 bis 10 Jahre)
		Zuständigkeit	Forstliches Forschungs- und Versuchswesen (Service- und Kompetenzzentrum der ThüringenForst - AöR), Klimaforschung
		Kosten	40.000 € für Versuchsanlage, Messinstrumente und Versuchsbetreuung über 5 Jahre
FW07	Ausweitung des vorbeugenden Waldschutzes	Zeitliche Dringlichkeit	mittel (3 bis 10 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	kurzfristig (bis 3 Jahre)
		Zuständigkeit	Forstliches Forschungs- und Versuchswesen (Service- und Kompetenzzentrum der ThüringenForst - AöR), Klimaforschung in Zusammenarbeit mit Waldeigentümern
		Kosten	30.000 €/Jahr (Personal)
FW08	Netzwerkbildung mit Klimazwillingen	Zeitliche Dringlichkeit	permanente Aufgabe
		Zeitliche Umsetzbarkeit	in Umsetzung o. Durchführung
		Zuständigkeit	Forstverwaltung, Forstliches Forschungs- und Versuchswesen (Service- und Kompetenzzentrum der ThüringenForst - AöR), Waldeigentümer, Politik, Verbände
		Kosten	gering

Dem zunehmenden Risiko durch bekannte Schädlinge kann durch eine Ausweitung des vorbeugenden Waldschutzes (FW07) begegnet werden (Forstschutzmeldedienst und Prognosen über die Populationsentwicklungen). Um den nationalen und internationalen Erfahrungsaustausch (z. B. über bestimmte Baumarten und deren Schädlinge) weiter auszubauen, ist letztlich auch die überregionale Netzwerkbildung mit Akteuren aus Naturräumen, die bereits heute in den für Thüringen zukünftig zu erwartenden klimatischen Verhältnisse wirtschaften (sog. „Klimazwillinge“) als äußerst relevant einzustufen (FW08).

4.5.2 Holzernte

Auswirkungen des Klimawandels

Die Holzernte findet in aller Regel im Winterhalbjahr statt. Holzeinschlag und Holzbringung erfolgen häufig hochmechanisiert mit Holzernte- und Rückefahrzeugen. Diese sind auf eine funktionsstüchtige Bestandesfeinerschließung angewiesen. Da es sich

bei diesen Rückewegen um unbefestigte Waldwege handelt, können in Abhängigkeit vom Bodentyp regenreiche Perioden zu einer eingeschränkten Nutzung bis hin zur Unpassierbarkeit führen. Wie Abb. 30 zeigt, existiert unter dem Einfluss des Klimawandels ein flächendeckend robuster Trend zu höheren Niederschlagssummen in der Erntezeit. Dieser Trend gilt insbesondere für den südlichen Teil Thüringens, inklusive den Wuchsbezirken des Thüringer Waldes. Aus dieser Entwicklung kann die Gefahr einer nicht unwesentlichen Beeinträchtigung der Holzernte sowie zu Bodenschadverdichtungen in allen hochrelevanten Wuchsbezirken – insbesondere im Mittleren Thüringer Wald und Hohen Schiefergebirge - abgeleitet werden, die eines Managements bedürfen.

Maßnahmen

Der Verschlechterung der witterungsbedingten Erntebedingungen kann durch ein flexibilisiertes Zeitmanagement begegnet werden (FW09). Diese Maßnahme zielt darauf ab, die Holzernte möglichst auf (niederschlagsarme) Zeitpunkte zu legen, an denen die Wege

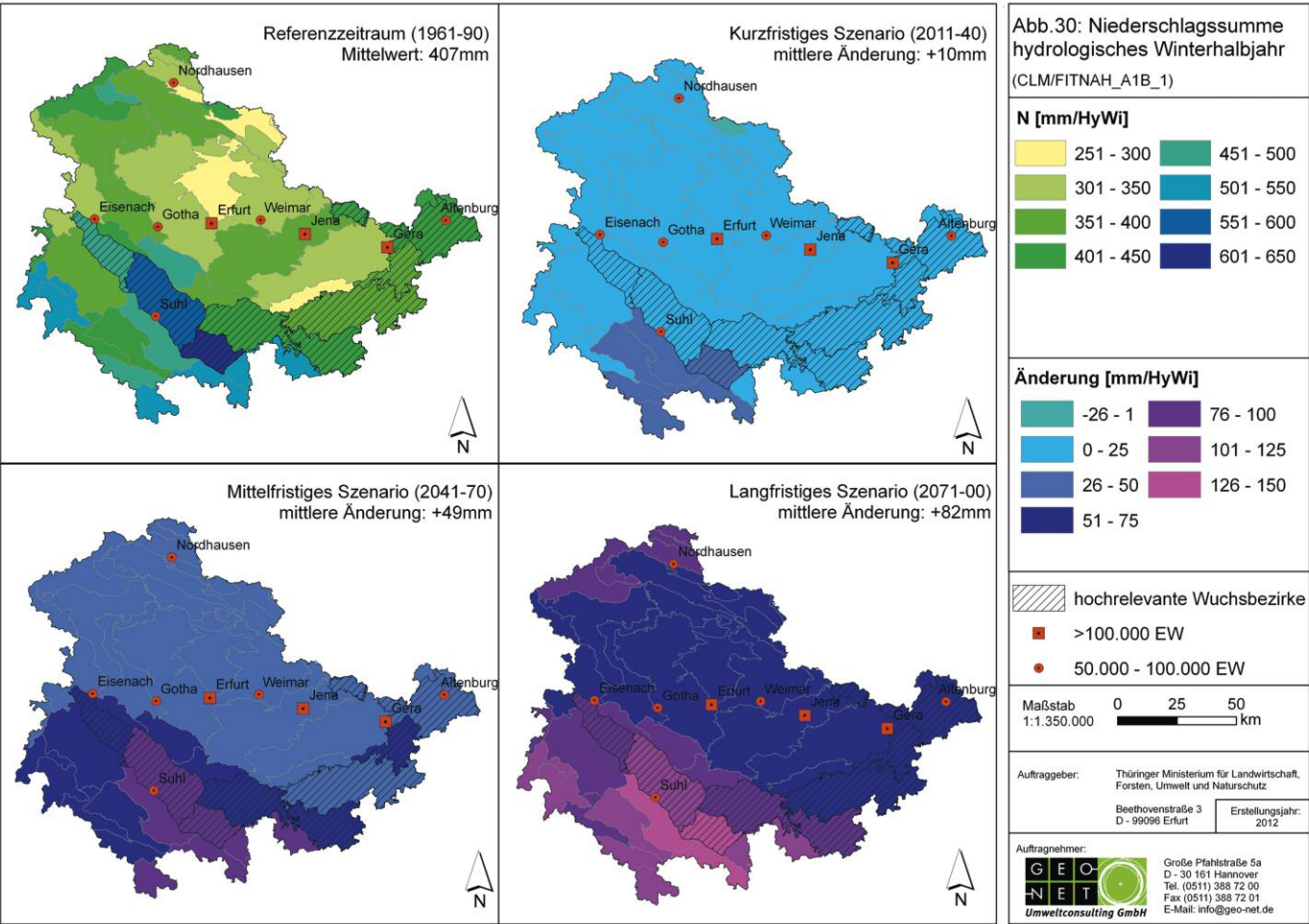


Abb. 30: Durchschnittliche Niederschlagssumme im hydrologischen Winterhalbjahr je Wuchsbezirk für die drei Klimaprojektionszeiträume im Vergleich zum Referenzzeitraum 1961 - 1990

Tab. 11: Maßnahmen zur Klimafolgenanpassung im Handlungsfeld Forstwirtschaft (Holzernte)			
FW09	zeitliche Flexibilisierung des Erntemanagements	Zeitliche Dringlichkeit	hoch (bis 3 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	in Umsetzung o. Durchführung
		Zuständigkeit	Waldeigentümer und Bewirtschafter
		Kosten	gering
FW10	Einsatz von angepasster Erntetechnik	Zeitliche Dringlichkeit	hoch (bis 3 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	in Umsetzung o. Durchführung
		Zuständigkeit	Waldeigentümer und Bewirtschafter
		Kosten	mittel

eine ausreichende Befahrbarkeit mit schwerem Gerät erlauben. Ergänzend oder alternativ kann der Klimafolge auch mit einer angepassten Erntetechnik (FW10) (z. B. mit Boogiebändern bzw. Traktionsbändern ausgestattete Fahrwerke und verstärkter Einsatz von Seilwinden) oder einer mit Zusatzkosten verbundenen Zwischenlagerung begegnet werden.

4.5.3 Waldbrand

Auswirkungen des Klimawandels

Waldbrände sind zwar in der Regel auf das Fehlverhalten von Menschen und seltener auf Selbstentzündungen zurück zu führen, bestimmte klimatische Verhältnisse erhöhen oder verringern aber die Gefahr von flächenhaften Waldbränden. Das Zusammenwirken der Parameter Lufttemperatur, relative Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit, Niederschlagsrate bzw. Schneemenge sowie kurz- und langwellige Strahlung der Atmosphäre ist hier entscheidend. Dieses wird vom Deutschen Wetterdienst tagesaktuell mithilfe eines 5-stufigen Waldbrandindex (WBI) zwischen März und Oktober deutschlandweit bewertet und der Allgemeinheit zugänglich gemacht (DWD 2011). Unter Verwendung dieses Summenparameters in Verbindung mit den regionalisierten Klimadaten kann auch die zukünftige Entwicklung der jährlichen Auftrittshäufigkeit von Tagen mit hoher oder sehr hoher Waldbrandgefahrstufe (Stufen 4 und 5) für Thüringen abgeschätzt werden (Abb. 31). Aus der Analyse lassen sich folgende grundsätzlichen Aussagen ableiten:

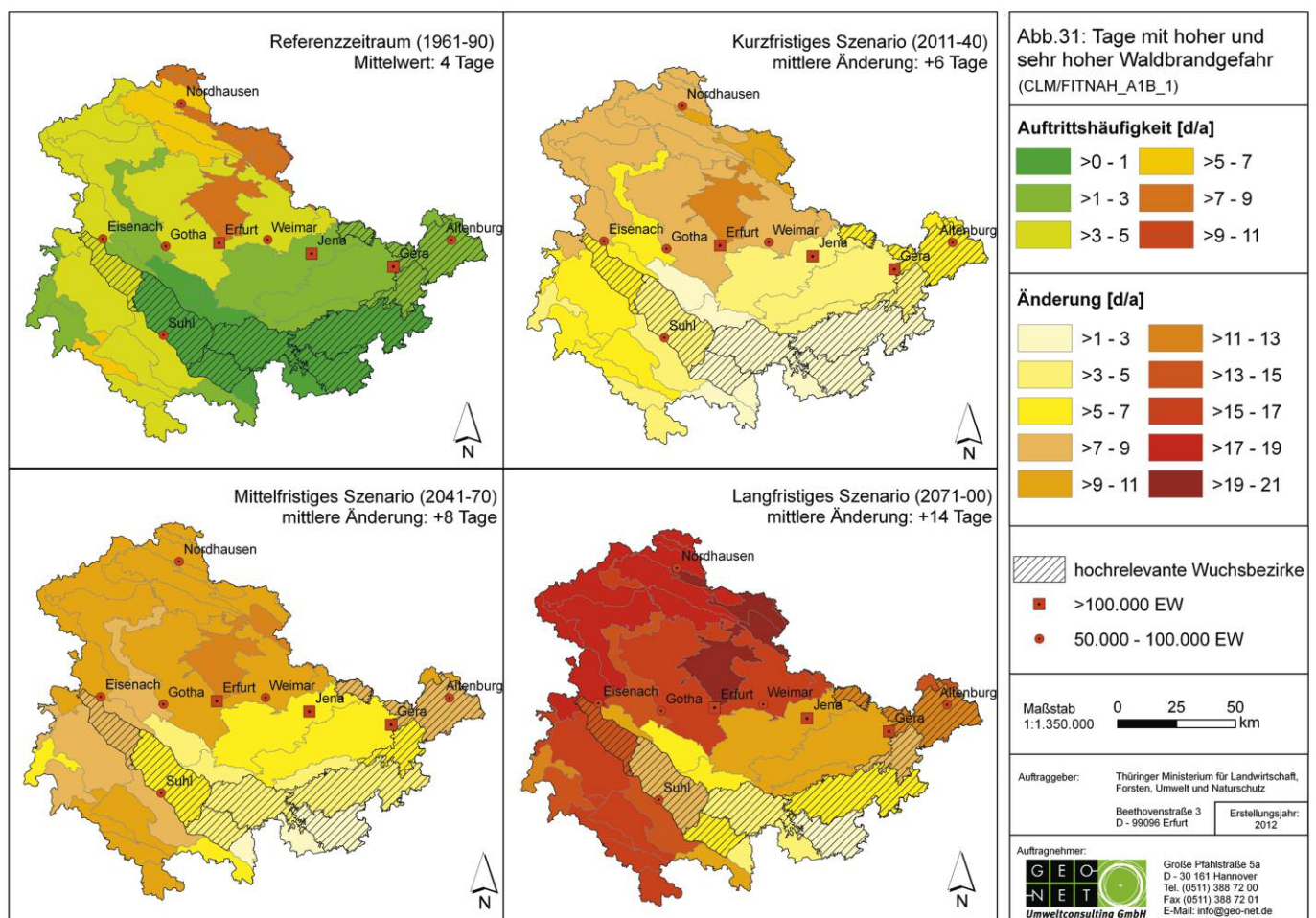


Abb. 31: Durchschnittliche jährliche Auftrittshäufigkeit von Tagen mit hoher und sehr hoher Waldbrandgefahr je Wuchsbezirk für die drei Klimaprojektionszeiträume im Vergleich zum Referenzzeitraum 1961 - 1990

- Die generelle Waldbrandgefahr ist in den stärker bewaldeten Gebieten des Freistaats im Referenzzeitraum als eher gering einzuschätzen. Dieses gilt auch und insbesondere für die als hochrelevant eingestuften Wuchsbezirke. Hier ist an maximal fünf Tagen pro Jahr mit einer hohen oder sehr hohen Waldbrandgefahr zu rechnen. Einzig im Harzvorland ergeben sich vergleichsweise leicht erhöhte Werte von bis zu 11 Kenn-
tagen.
- Unter dem Einfluss des Klimawandels wird sich die Waldbrandgefahr im Freistaat sehr deutlich bereits kurz- bis mittelfristig erhöhen. Die Entwicklung verläuft regional differenziert. In den hochrelevanten Wuchsbezirken fällt sie mit 3 - 10 zusätzlichen Kenn-
tagen moderater aus, als in den übrigen Landesteilen. Besonders betroffen sind die nördlichen Bezirke, in denen zukünftig bis zu 30 Tage mit hoher oder sehr hoher Wald-
brandgefahr erreicht werden.

Obwohl das Waldbrandgefahrenniveau im Vergleich zu anderen Bundesländern (z. B. Brandenburg) auch unter dem Einfluss des Klimawandels immer noch als vergleichs-
weise moderat bezeichnet werden kann, erscheint angesichts der geschilderten Ent-
wicklungen dennoch eine proaktive Anpassungsnotwendigkeit insbesondere in den Ost-
thüringischen Nadelbaumbeständen unbedingt gegeben.

Maßnahmen

Angesichts der zwar erhöhten, aber aller Voraussicht nach mit bewährten Mitteln zu be-
wältigenden Waldbrandgefahr, erscheinen zunächst eine Intensivierung des Bereit-
schaftsdienstes bei Feuerwehren (FW11) sowie der Kontrollgänge in den betroffenen Re-
vieren („Brandherdfrüherkennung“; FW12) sowie eine verstärkte Sensibilisierung der
Bevölkerung zu Gefahrenzeiten (z. B. durch die Medien oder durch Beschilderung; FW13)
ausreichende Anpassungsmaßnahmen zu sein. In Ausnahmefällen kann auch auf das
Instrument der Waldsperrung zurückgegriffen werden (FW14).

Tab. 12: Maßnahmen zur Klimafolgenanpassung im Handlungsfeld Forstwirtschaft (Waldbrand)

FW11	Intensivierung von Bereitschaftsdiensten bei Feuerwehren	Zeitliche Dringlichkeit	kann später erfolgen (> 10 Jahre), gegebenenfalls regionale Ausnahmen (Ostthüringen)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	langfristig (> 10 Jahre), gegebenenfalls regionale Ausnahmen (Ostthüringen)
		Zuständigkeit	Forstverwaltung in Zusammenarbeit mit Waldeigentümer
		Kosten	mittel
FW12	Verstärkte Kontrollgänge	Zeitliche Dringlichkeit	kann später erfolgen (> 10 Jahre), gegebenenfalls regionale Ausnahmen (Ostthüringen)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	langfristig (> 10 Jahre), gegebenenfalls regionale Ausnahmen (Ostthüringen)
		Zuständigkeit	Waldeigentümer und Bewirtschafter
		Kosten	gering
FW13	Sensibilisierung der Bevölkerung	Zeitliche Dringlichkeit	dauerhafte Aufgabe
		Zeitliche Umsetzbarkeit	permanent
		Zuständigkeit	Forstverwaltung, Forstliches Forschungs- und Versuchswesen (Service- und Kompetenzzentrum der ThüringenForst - AöR), Waldeigentümer, Politik, Verbände
		Kosten	gering
FW14	Waldsperrungen	Zeitliche Dringlichkeit	situationsabhängig, kurzfristig
		Zeitliche Umsetzbarkeit	in Umsetzung o. Durchführung
		Zuständigkeit	Forstverwaltung in Zusammenarbeit mit Waldeigentümer
		Kosten	gering

4.5.4 Windwurf und -bruch

Auswirkungen des Klimawandels

Nicht erst seit dem Sturmtief Kyrill, das im Januar 2007 in Thüringen auf rd. 11.000 ha Fläche Windbruchschäden (davon mehr als 50 % Kahlfächen) hinterließ (TMLNU 2007), ist das hohe Waldschadenpotential von Stürmen bekannt. Für die Klimafolgenanpassung ist in diesem Zusammenhang zum einen die Entwicklung der Auftrittshäufigkeit von Stürmen relevant, die zu flächenhaftem Windbruch bzw. Windwurf führen können (hier definiert als ein Ereignis mit Sturmböen > 28 m/s in 10 m über GOK - entspricht in etwa Beaufort 10). Für diese Ereignisse kann festgehalten werden, dass sie ab etwa der Mitte des Jahrhunderts einen robusten und flächendeckenden Trend zu erhöhten Auftrittshäufigkeit - je

nach regionalem Ausgangswert zwischen 25 % bis 100 % - zeigen (Anhang, Abb. 18). Zum anderen ist auch von Bedeutung, welche absoluten Windgeschwindigkeiten auftreten werden (Abb. 32).

Auch hier zeigt sich im Verlauf des Jahrhunderts eine eindeutige Tendenz zu intensiveren Sturmereignissen, insbesondere in den hochrelevanten Wuchsbezirken des Thüringer Waldes und des Vogtlandes. Insgesamt muss in Thüringen also mit intensiveren und häufigeren Stürmen gerechnet werden. Insbesondere in den östlichen Wuchsbezirken, die gleichzeitig unter zunehmenden sommerlichen Trockenstress und winterlichen Durchfeuchtungsgrad des Bodens leiden und damit anfälliger gegenüber Stürmen reagieren werden, ergibt sich hieraus ein signifikant steigendes Schadensrisiko und demzufolge auch eine dringliche Anpassungsnotwendigkeit.

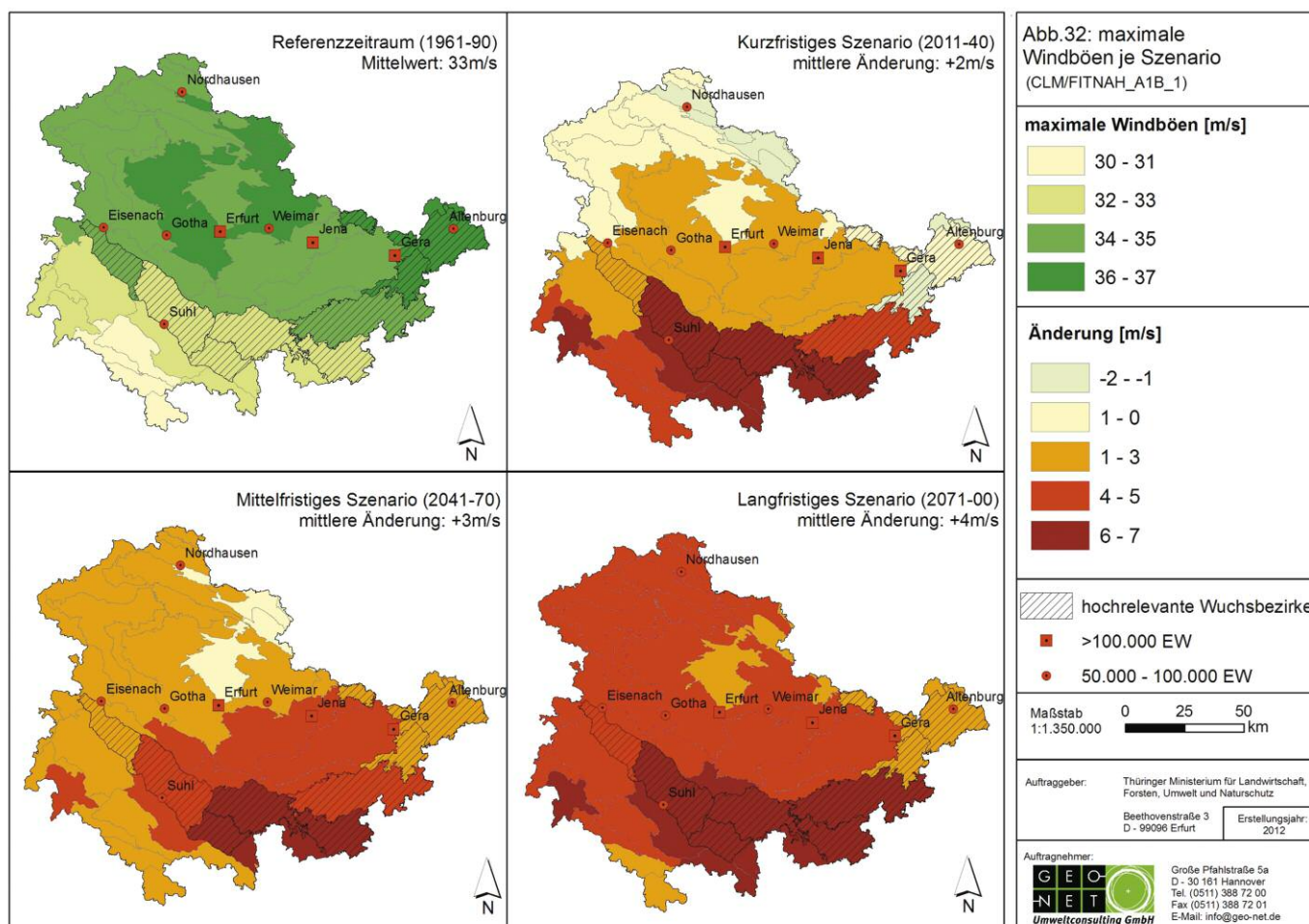


Abb. 32: Maximale Jahreswindböengeschwindigkeit in 10 m Höhe je Wuchsbezirk für die drei Klimaprojektionszeiträume im Vergleich zum Referenzzeitraum 1961 - 1990

Maßnahmen

Die Anpassungskapazität gegenüber Sturmschäden ist im Handlungsfeld Forstwirtschaft generell eingeschränkt, da es keine „sturmesistenten“ Baumarten gibt. Eine vollkommene Risikovermeidung ist folglich nicht möglich. Die modellgestützte Ausweisung von Risikogebieten (FW15) und eine darauf aufbauende Baumartenempfehlung für sturm-exponierte Standorte (FW16) können im Schadensfall das Ausmaß aber minimieren. Dabei ist auf die Schaffung von strukturreichen Beständen (bez. Alters- und Baumartenstruktur) zu achten. Der aus der gezielten Vereinzelung von Bäumen resultierende weniger windbruchgefährdete Habitus (FW17) kann Sturmschäden ebenso vorbeugen, wie die lokale Bevorzugung von pfahlwurzelbildenden Baumarten wie der Kiefer oder der Eiche gegenüber Flachwurzlern wie der Fichte. Die Erfahrungen mit Kyrill haben außerdem gezeigt, dass ein verbessertes Schadensmanagement notwendig ist, das z. B. durch die Ausweisung von Holzlagerplätzen die Aufräumarbeiten erleichtern und beschleunigen kann (FW18).

Tab. 13: Maßnahmen zur Klimafolgenanpassung im Handlungsfeld Forstwirtschaft (Windwurf und -bruch)

FW15	Ausweisung von Risikogebieten	Zeitliche Dringlichkeit	hoch (bis 3 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	kurzfristig (bis 3 Jahre)
		Zuständigkeit	Forstliches Forschungs- und Versuchswesen (Service- und Kompetenzzentrum der ThüringenForst - AöR), Klimaforschung
		Kosten	120.000 € (Personal, Daten und Modelle)
FW16	Baumartenempfehlungen für sturm-exponierte Standorte	Zeitliche Dringlichkeit	mittel (3 bis 10 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	kurzfristig (bis 3 Jahre) bis mittelfristig (3 bis 10 Jahre)
		Zuständigkeit	Forstverwaltung in Zusammenarbeit mit dem Forstlichen Forschungs- und Versuchswesen (Service- und Kompetenzzentrum der ThüringenForst - AöR)
		Kosten	mittel
FW17	Gezielte Vereinzelung von Bäumen	Zeitliche Dringlichkeit	dauerhafte Aufgabe
		Zeitliche Umsetzbarkeit	permanent
		Zuständigkeit	Waldeigentümer & Bewirtschafter
		Kosten	gering
FW18	Optimiertes Schadensmanagement (z.B. Ausweisung von Holzlagerflächen)	Zeitliche Dringlichkeit	hoch (bis 3 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	kurzfristig (bis 3 Jahre) bis mittelfristig (3 bis 10 Jahre)
		Zuständigkeit	Forstverwaltung, Forstliches Forschungs- und Versuchswesen (Service- und Kompetenzzentrum der ThüringenForst - AöR), Waldeigentümer, Politik, Verbände
		Kosten	mittel bis hoch

4.6 Naturschutz

Der Freistaat Thüringen wird in sieben größere und 45 kleinere Naturräume gegliedert. Insgesamt gehören > 50 % der Landesfläche in Thüringen einer relevanten Schutzkategorie an (Anhang, Abb. 19). Die konkreten naturschutzfachlichen **Ziele** in diesen Gebieten können den jeweiligen Schutzgebietsverordnungen entnommen werden. Zielsetzung des Naturschutzes in Thüringen ist es, die biologische Vielfalt zu erhalten und zu schützen. Gleichzeitig sollen die Leistungs- und Funktionsfähigkeit der Naturgüter einschließlich ihrer nachhaltigen Nutzungsfähigkeit und die Schönheit, Eigenart, Vielfalt und der Erholungswert der Landschaft gesichert werden. Bestandteil dieser Zielsetzung ist es, natürliche (zumeist sehr langsam) verlaufende Veränderungen biotischer und abiotischer Faktoren und damit in der spezifischen Artenzusammensetzung nicht nur zu tolerieren, sondern die natürliche Dynamik als implizite Eigenschaft der Natur wahrzunehmen.

Die **Klimasensitivität** des Naturschutzes ergibt sich folglich nicht aus dem Phänomen veränderter Klimabedingungen selbst, sondern vielmehr aus einer anthropogen oder anderweitig beeinflussten erhöhten Geschwindigkeit eines Klimawandels, die die Anpassungskapazität vieler Arten überfordern kann. Besonders empfindlich reagieren die Arten auf ein verändertes Temperaturregime (Dauer der Vegetationsperiode bzw. einzelner Entwicklungsstadien, Hitzestress, Kältestress) bzw. Niederschlagsregime (Trockenstress, Feuchtestress). Neben dem Klimawandel ist die Sensitivität des Naturschutzes im Freistaat noch von einer Reihe weiterer **sozioökonomischer Faktoren** abhängig. Zu nennen sind hier insbesondere die Art und Intensität der Landnutzung im Allgemeinen sowie die weitere Entwicklung des Flächenverbrauchs bzw. die Beeinträchtigung, Zerschneidung und Zerstörung von Lebensräumen im Speziellen.

Auch wenn der Naturschutz per se mit einer langfristigen Perspektive verknüpft ist, orientiert sich die naturschutzfachliche Praxis eher an vergleichsweise kurzfristigen **Planungshorizonten**. So spielt für Thüringen gegenwärtig vor allem die von der UN ausgerichtete Dekade der biologischen Vielfalt (2011 bis 2020) eine bedeutende Rolle, was u. a. Anlass für die Ausarbeitung der „Thüringer Strategie zur Erhaltung der biologischen Vielfalt“ war (TMLFUN 2012). Darüber hinaus verpflichtet die FFH-Richtlinie den Freistaat beispielsweise dazu, alle sechs Jahre einen Bericht über die durchgeführten Maßnahmen und den Entwicklungszustand in den gemeldeten Schutzgebieten zu erstellen. Das BNatSchG bzw. das ThürNatG, die FFH- und die Vogelschutzrichtlinie legen den **rechtlichen Rahmen** für den Naturschutz in Thüringen fest. Auf der nachgeordneten Ebene sind darüber hinaus die Schutzgebietsverordnungen sowie die Landschafts(rahmen)pläne von Relevanz. Neben diesen rechtlichen Rahmenbe-

dingungen stellen die Förder- und Schutzprogramme wichtige Instrumente dar, die das Naturschutzhandeln im Freistaat lenken. Hierzu gehören die landwirtschaftlich geprägten Agrarumweltmaßnahmen ebenso wie Artenhilfsprogramme oder das Programm zur Förderung von Maßnahmen des Naturschutzes und der Landschaftspflege in Thüringen sowie das Programm zur Entwicklung von Natur und Landschaft. Die bereits erwähnte „Thüringer Strategie zur Erhaltung der biologischen Vielfalt“ zeigt auf, wie die Instrumente des Naturschutzes zur Erhaltung der biologischen Vielfalt eingesetzt werden sollen.

Auswirkungen des Klimawandels

Erste klimawandelbedingte Veränderungen in der Thüringer Pflanzen- und Tierwelt sind bereits beobachtet worden (TMLNU 2009). So ist es zu einer Ausbreitung wärmeliebender z. T. gebietsfremder und invasiver Arten, zu Abweichungen bei Schlupfterminen von Insekten sowie bei Ankunfts- und Wegzugsterminen und zur Vorverlegung der Brutzeit bei Vögeln gekommen. Diese Phänomene werden ganz grundsätzlich auf eine Erhöhung der Jahresdurchschnittstemperatur und der damit verbundenen verlängerten Vegetationszeit zurückgeführt. Angesichts der allgemein bekannten Prognosen sowie der im Rahmen dieses Projektes ermittelten Klimatrends (vgl. Kapitel 3.2.1 und Anhang, Abb. 20) kann es als äußerst wahrscheinlich gelten, dass sich diese Entwicklung fortsetzen wird. Dabei wird das Risiko von Schutzzielverfehlungen vor allem für die nur in den Hochlagen der Mittelgebirge vorkommenden Arten mit geringeren Temperaturansprüchen sowie für solche mit einem engen ökologischen Toleranzbereich (wozu auch eine Reihe „Rote Liste Arten“ gehören) erwartet.

Neben diesen allmählichen Veränderungen des Temperaturregimes ergeben sich Risiken insbesondere aus Extremereignissen. Hierzu gehören Tage mit besonders hohen Temperaturen (hier definiert als Tage mit $T_{\max} > 30^\circ\text{C}$), oberhalb derer es bei einheimischen Tier- und Pflanzenarten zu Hitzestress kommen kann. Angesichts einer deutlich erhöhten Auftrittshäufigkeit von heißen Tagen, wird das Hitzestressrisiko für empfindliche Arten und Lebensgemeinschaften zukünftig deutlich steigen (Abb. 33). Die größten Zunahmen sind dabei in den nördlichen Naturräumen zu erwarten, in denen bereits heute das größte Risiko für Hitzestress besteht. Hier muss zukünftig mit einer Verdoppelung bis Verdreifachung der Tage gerechnet werden, an denen die Temperatur die 30°C -Marke überschreitet. Im Mittelgebirge verläuft die Entwicklung mit auch langfristig nicht mehr als plus drei Tagen hingegen vergleichsweise moderat.

Parallel zu der sich allmählich erhöhenden Auftrittshäufigkeit von Tagen mit Extremtemperaturen wird sich auch die durchschnittliche Anzahl von Trockenperioden (hier definiert als elf aufeinander-

derfolgende Tage ohne Niederschlag) und damit die Gefahr von Trockenstress flächendeckend weiter erhöhen (Anhang, Abb. 21). Dieses Phänomen kann über seine Auswirkungen auf die Wasserverfügbarkeit vor allem in Feuchtbiotopen wie Mooren, Sümpfen oder Teichen zu bestandsbedrohenden Auswirkungen führen.

Auf dem anderen Ende der Extremereignisskala kann eine erhöhte Intensität und Auftretshäufigkeit von Starkregenereignissen die Tier- und Pflanzenwelt nachhaltig schädigen, in dem Biotope durch sie kurz- oder längerfristig überflutet und ggf. sogar zerstört werden. Unter dem Einfluss des Klimawandels zeigen sich in diesem Zusammenhang vor allem zwei robuste Trends (Anhang, Abb. 22). Erstens ist in den östlichen Naturräumen im Vergleich zur Klimanormalperiode nicht mit einer erhöhten Auftretshäufigkeit von Starkregenereignissen > 20 mm zu rechnen. In den übrigen Naturräumen, insbesondere in den südöstlichen zeigt sich zweitens ab Mitte des Jahrhunderts eine steigende Häufigkeit.

Insgesamt zeigt die Analyse zumeist flächendeckend und bereits im kurzfristigen Szenario naturschutzfachlich relevante Veränderungen. Folglich muss davon ausgegangen werden, dass in allen Naturräumen das Risiko von Schutzzielverfehlungen steigt. Insbesondere der intensivere Hitze- und Trockenstress, der ggf. auch häufiger in Kombination auftreten kann sowie die länger werdende Vegetationsperiode wird entsprechend empfindliche Arten in Bedrängnis bringen, wärme- und trockenheitsliebende Arten sowie Ubiquisten hingegen fördern und damit eine Veränderung im Arteninventar der Biozönosen der einzelnen Naturräume begünstigen. Insgesamt ist der Verlust der Biologischen Vielfalt bereits heute eine große Herausforderung, die sich unter dem Einfluss des Klimawandels noch verschärfen wird. Je nach spezifischen Schutzzielen in den einzelnen Naturräumen ist zu erwarten, dass sich hieraus Handlungsnotwendigkeiten für einzelne Schutzgebiete bzw. für das gesamte Naturschutzmanagement des Freistaats ergeben.

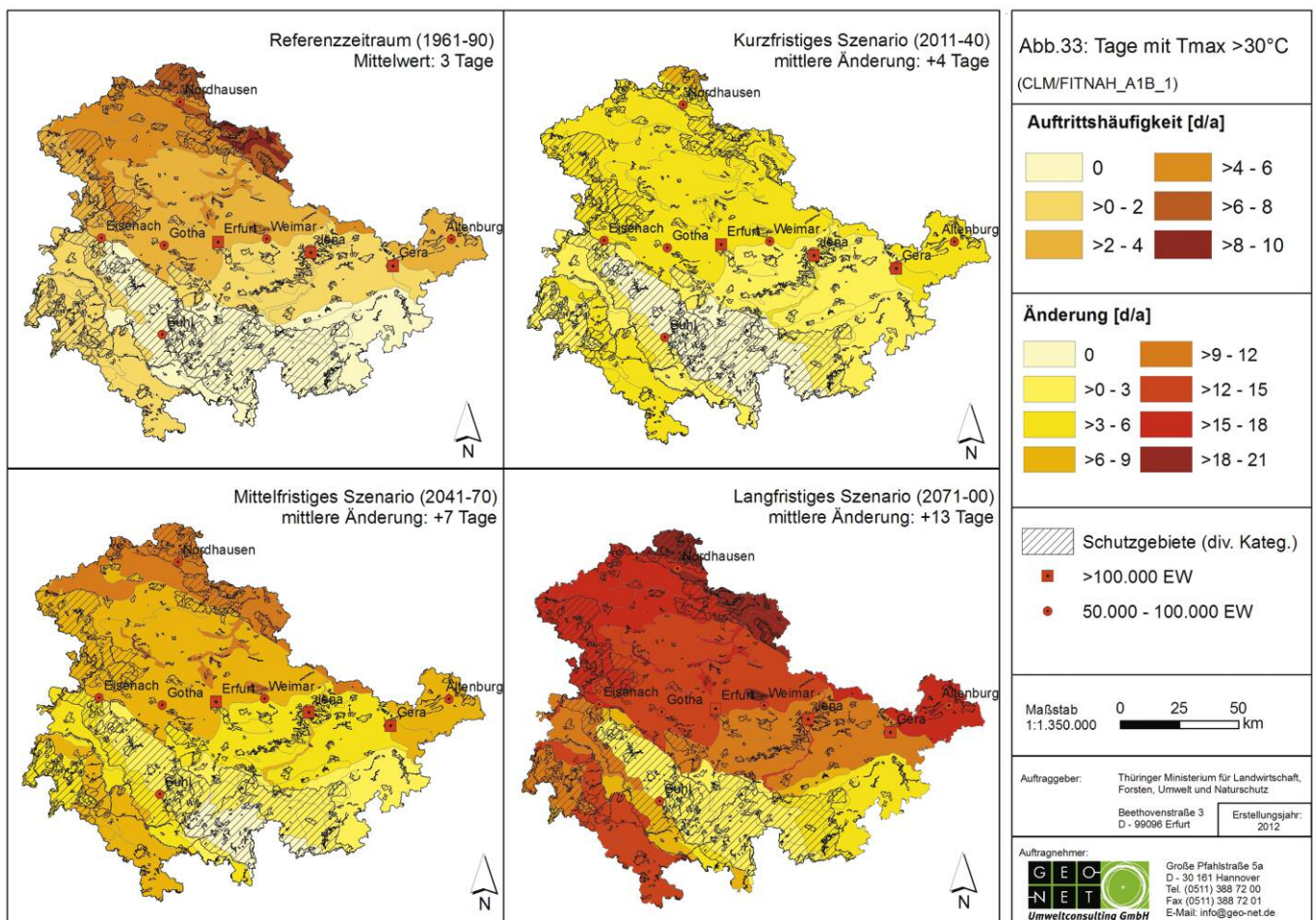


Abb. 33: Durchschnittliche jährliche Auftretshäufigkeit von Tagen mit Tmax > 30 °C je Naturraum für die drei Klimaprojektionszeiträume im Vergleich zum Referenzzeitraum 1961 - 1990

Maßnahmen

Der Klimawandel ist einer von vielen (zumeist negativen) Einflussfaktoren, der auf die Schutzgüter des Naturschutzes, insbesondere die biologische Vielfalt einwirkt. Daher gilt ganz allgemein, dass eine Reduzierung von bestehenden Bedrohungen und Beeinträchtigungen wie Nähr- und Schadstoffeinträge, direkte Zerstörung von Lebensräumen, Intensivierung der Landnutzung bzw. Aufgabe bestimmter Formen der Landnutzung den Stress für die Arten- und Lebensgemeinschaften verringert und so ihre Anfälligkeit gegenüber den Klimaänderungen positiv beeinflusst (NA01). Dieses gilt auch für die Förderung naturnaher Ökosysteme zur Pufferung von Klimaextremen. Hierzu gehören beispielsweise Maßnahmen wie der bereits begonnene naturnahe Waldumbau (NA02) oder die Anlage und Entwicklung naturnaher Grünflächen im besiedelten Bereich (NA03).

Eine möglichst vielfältige Landnutzung (Prinzip der differenzierten Landnutzung) kann darüber hinaus die mit dem Klimawandel verbundenen Risiken streuen und so das potentielle Schadensausmaß verringern (NA04). Dasselbe Ziel ist mit der Sicherung bzw. Schaffung einer ausreichenden Anzahl von Schutzgebieten mit ausgeprägten standörtlichen Gradienten (Höhen- und Feuchtigkeitsgradienten, Relief- und Expositionsunterschiede) unter Einbeziehung von Pufferzonen verbunden (NA05).

Um die wanderfähigen Arten in die Lage zu versetzen, ihre durch den Klimawandel gefährdeten Lebensräume verlassen und adäquate Ersatzlebensräume aufsuchen zu können, bedarf es einer Verbesserung des Biotopverbundes von geeigneten Landschaftsbestandteilen sowie der Schaffung von Wanderungsmöglichkeiten durch großräumige Biotopverbundachsen. Elementarer Bestandteil dieses Ansatzes ist die Erarbeitung und Umsetzung eines behördenverbindlichen Konzeptes für ein landesweites Biotopverbundsystem (NA06). Darin soll die Erhaltung unzerschnittener, verkehrsarmer Räume hinsichtlich ihrer Ausdehnung und Qualität (NA07) eine ebenso gewichtige Stellung einnehmen, wie die Erhaltung und Entwicklung des „Grünen Bandes“ als bedeutendem europäischen Biotopverbund (NA08), die Beseitigung anthropogener Barrieren an Verkehrswegen (z. B. durch Bau von Grünbrücken) und in Fließgewässern sowie sonstiger zerschneidend wirkender Strukturen (NA09).

Bei den aufgeführten Maßnahmen handelt es sich vorrangig um allgemeingültige naturschutzfachliche Ansätze, die bereits im Zu-

sammenhang mit anderen Problemlagen vorgeschlagen werden und z. B. größtenteils in der „Thüringer Strategie zur Erhaltung der Biologischen Vielfalt“ verankert sind. Der Klimawandel unterstreicht aber die Notwendigkeit dieser Managementansätze ganz deutlich. Darüber hinaus führt der Klimawandel aber auch zu weiteren Problemen, die ganz konkrete Lösungen erfordern.

Um z. B. der steigenden Gefahr von Trockenstress zu begegnen, kommt dem Wasserrückhalt in der Landschaft eine besondere Bedeutung zu. Dieses kann beispielsweise durch die Wiedervernässung von Mooren (NA10) oder die stringente Auenrenaturierung gemäß WRRL (NA11) erreicht werden. Zur Vorbeugung der weiteren Ausbreitung und Einführung invasiver Neobiota muss § 40 BNatschG konsequent umgesetzt werden. Hierzu gehören insbesondere die Überwachung und gegebenenfalls auch das Ergreifen von Maßnahmen zur Verhinderung einer weiteren Ausdehnung sowie von Gefährdungen für Mensch und Natur (NA12). Bei den relevanten Akteuren (z. B. Landwirte, Jäger, Gartenbesitzer und weitere Landnutzer) bedarf es auch der Aufklärungsarbeit über die Folgen der Etablierung von invasiven Arten auch für die heimische Flora und Fauna (NA13).

Eine Betrachtung einzelner Schutzgebiete oder Arten konnte im Rahmen der vorliegenden Analyse nicht geleistet werden. Das Monitoring der klimasensitiven Arten und Lebensräume stellt daher einen notwendigen nächsten Schritt dar. Um entscheiden zu können, in welchen Bereichen prioritär Maßnahmen durchgeführt werden müssen, bedarf es einer Fortführung von floristischen und faunistischen Erfassungen, die hinsichtlich der Erfassung potentieller Klimafolgen weiterentwickelt werden sollen (NA14). Es erscheint außerdem sinnvoll, zunächst Biotopen mit landesweiter bzw. europaweiter Bedeutung (FFH-Lebensraumtypen) einen Vorrang bei den Erhebungen und der Maßnahmenumsetzung einzuräumen. Neben den im Rahmen von IMPAKT erzeugten Daten, kann auch die im Auftrag des BfN erstellte Internetplattform, auf der Klimadaten und -szenarien für einzelne Schutzgebiete bereitgestellt werden, eine solide Grundlage für die Analysen darstellen (PIK 2011). Je nach Ergebnis der Detailstudien können verschiedene Maßnahmen ergriffen werden. Es existiert z. B. die Möglichkeit der Initiierung gezielter Artenschutzprogramme (NA15). Darüber hinaus wird die Schutzgebietskonzeption des Freistaats als wichtige Basis eines Biotopverbundsystems fortgeschrieben und die Schutzgebietsziele sowie das Schutzgebietsmanagement werden ggf. angepasst (NA16).

Tab. 14: Maßnahmen zur Klimafolgenanpassung im Handlungsfeld Naturschutz

NA01	Eindämmung zusätzlicher Stressfaktoren (z.B. Beeinträchtigung/Zerstörung von Lebensräumen)	Zeitliche Dringlichkeit	hoch (bis 3 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	kurzfristig (bis 3 Jahre)
		Zuständigkeit	alle Politikbereiche
		Kosten	gering bis hoch
NA02	Naturnaher Waldumbau und Herausnahme von 25.000 ha Wald aus der forstlichen Nutzung	Zeitliche Dringlichkeit	hoch (bis 3 Jahre), mittel (3 bis 10 Jahre) und kann später erfolgen (> 10 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	in Umsetzung o. Durchführung
		Zuständigkeit	Landesforstverwaltung
		Kosten	können nur von der Landesforstverwaltung benannt werden
NA03	Entwicklung naturnaher Grünflächen im besiedelten Bereich	Zeitliche Dringlichkeit	mittel (3 bis 10 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	mittelfristig (3 bis 10 Jahre)
		Zuständigkeit	Kommunen
		Kosten	gering, partiell kann der bestehende Pflegeaufwand ggf. reduziert werden, so dass Einspareffekte möglich sind
NA04	Hoher Differenzierungsgrad der Landnutzung	Zeitliche Dringlichkeit	hoch (bis 3 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	langfristig (> 10 Jahre)
		Zuständigkeit	alle Politikbereiche
		Kosten	keine, aber ggf. Interessenkonflikte
NA05	Sicherung bzw. Schaffung einer ausreichenden Anzahl von Schutzgebieten mit ausgeprägten standörtlichen Gradienten und ggf. Anpassung des Schutzgebietsmanagements	Zeitliche Dringlichkeit	hoch (bis 3 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	in Planung o. Vorbereitung
		Zuständigkeit	Naturschutzverwaltung
		Kosten	gering bis mittel
NA06	Behörden verbindliches Konzept für ein landesweites Biotopverbundsystem	Zeitliche Dringlichkeit	hoch (bis 3 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	in Erarbeitung
		Zuständigkeit	Naturschutzverwaltung
		Kosten	für Konzepterstellung mittel, Höhe der Umsetzungskosten hängt von Konzept ab
NA07	Erhaltung unzerschnittener, verkehrsarmer Räume	Zeitliche Dringlichkeit	hoch (bis 3 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	dauerhafte Aufgabe (> 10 Jahre)
		Zuständigkeit	alle Verwaltungsbereiche mit Einfluss auf die Landschaftsstruktur
		Kosten	gering
NA08	Erhaltung und Entwicklung des „Grünen Bandes“	Zeitliche Dringlichkeit	hoch (bis 3 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	dauerhafte Aufgabe (> 10 Jahre)
		Zuständigkeit	Naturschutzverwaltung
		Kosten	mittel
NA09	Beseitigung anthropogener Barrieren an Verkehrswegen und in Fließgewässern	Zeitliche Dringlichkeit	hoch (bis 3 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	langfristig (> 10 Jahre)
		Zuständigkeit	TMLFUN, TMBLV
		Kosten	mittel bis hoch
NA10	Wiedervernässung von Mooren	Zeitliche Dringlichkeit	hoch (bis 3 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	langfristig (> 10 Jahre)
		Zuständigkeit	Naturschutz-, Forst- und Wasserwirtschaftsverwaltung
		Kosten	gering

Fortsetzung von Tab. 14: Maßnahmen zur Klimafolgenanpassung im Handlungsfeld Naturschutz			
NA11	Auenrenaturierung	Zeitliche Dringlichkeit	hoch (bis 3 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	langfristig (> 10 Jahre)
		Zuständigkeit	Naturschutz- und Wasserwirtschaftsverwaltung
		Kosten	gering bis mittel, je nach Vorgehensweise (aber hohe Interessenskonflikte)
NA12	Überwachung/ Maßnahmen zur Verhinderung einer Ausbreitung invasiver Arten	Zeitliche Dringlichkeit	hoch (bis 3 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	dauerhafte Aufgabe (> 10 Jahre)
		Zuständigkeit	Naturschutzverwaltung
		Kosten	gering
NA13	Aufklärungsarbeit über die Folgen der Etablierung von invasiven Arten bei relevanten Akteuren	Zeitliche Dringlichkeit	hoch (bis 3 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	dauerhafte Aufgabe (> 10 Jahre)
		Zuständigkeit	Naturschutzverwaltung
		Kosten	gering
NA14	Detailstudien zu Klimafolgen und Einführung eines Klimamonitoring Biodiversität	Zeitliche Dringlichkeit	hoch (bis 3 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	kurzfristig (bis 3 Jahre)
		Zuständigkeit	TMLFUN, TLUG
		Kosten	gering bis mittel
NA15	Initiierung von Artenhilfsprogrammen	Zeitliche Dringlichkeit	hoch (bis 3 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	langfristig (> 10 Jahre)
		Zuständigkeit	Naturschutzverwaltung
		Kosten	gering bis mittel
NA16	Fortschreibung der Schutzgebietskonzeption des Freistaats, ggf. Anpassung von Schutzziele	Zeitliche Dringlichkeit	hoch (bis 3 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	mittelfristig (3 bis 10 Jahre)
		Zuständigkeit	Naturschutzverwaltung
		Kosten	gering

4.7 Verkehrswesen

Der Freistaat Thüringen verfügt über ein weitverzweigtes und qualitativ hochwertiges Verkehrswegenetz. Dieses gilt sowohl für das übergeordnete (Autobahnen, Bundesstraßen und Fernzugverbindungen) als auch für das nachgeordnete (Land-, Kreis- und Gemeindestraßen, ÖPNV) Wegenetz. Von besonderer Bedeutung für Thüringen sind die den Freistaat mit den angrenzenden Bundesländern und dem europäischen Ausland verbindenden Verkehrswege. Bezüglich des Straßennetzes sind die in Ost-West-Richtung verlaufende Bundesautobahn A 4, die Berlin und München verbindende A 9 sowie die Autobahnen A 38, A 71 und A 73 besonders hervorzuheben (Anhang, Abb. 23).

Das zentrale **Ziel** des Thüringer Verkehrswesens ist die vorausschauende Planung und Realisierung von Verkehrsinfrastruktur. Ein wesentliches Element dieses Oberziels ist die ökonomische Effizienz bez. Unterhaltung, Erneuerung und Ausbau sowie Funktionsfähigkeit des Verkehrssystems. Weiterhin wird auch das Ziel einer sozialen Ausgewogenheit hinsichtlich der gerechten Verteilung von Mobilitätschancen und der Verkehrssicherheit verfolgt. Drittens beinhaltet eine nachhaltige Verkehrsplanung auch das Ziel einer ökologischen Verträglichkeit des Verkehrs (Ausbau des ÖPNV und des nichtmotorisierten Verkehrs).

Das Ziel einer vorausschauenden Verkehrsinfrastrukturplanung ist per se mit spezifischen **Planungshorizonten** verknüpft, die sich beim Neubau nach Dringlichkeit, Nutzen-Kosten-Verhältnis und Netzanschluss richten. Für eine Fahrbahndecke liegt der Planungshorizont bei ca. 15 Jahren, für die Tragschicht bei mindestens 30 Jahren und für spezielle Bauwerke (z. B. Brücken) bei bis zu 100 Jahren. Zentrale **Planungsinstrumente** sind die vom BMVBS herausgegebenen Richtlinien für die Straßenplanung und der KOSTRA-Atlas, die im Zuständigkeitsbereich des Landes Thüringen eine Mindestanforderung darstellen und daher bei Bedarf verschärfend konkretisiert werden könnten. Darüber hinaus besitzen auch DIN-Normen, z. B. für Baustoffe und die Bauwerksausbildung sowie für die Einstufung der Bedeutung der Straßen auch Verkehrszählungen eine Relevanz für das Verkehrswesen.

Die **Klimasensitivität** des Verkehrswesens ergibt sich daraus, dass sowohl die Infrastruktur als auch deren Nutzer den jeweils herrschenden Witterungsbedingungen unmittelbar ausgesetzt sind. Für den Straßenbau gilt dabei, dass vor allem eine Frost-, (Stark-) Regen- und Hitzesensitivität besteht, die sich ggf. in Form von Schlaglochbildung, Straßenüberflutungen und Spurrillenbildung manifestiert. Aber auch die Verkehrssicherheit weist über Schnee- und eisbedingte Unfallgefahren und sturmbedingte Unpassierbarkeit von Talbrücken eine Klimasensitivität auf.

Neben dem Klimawandel spielt für die Auslastung des Verkehrsnetzes zum einen die wirtschaftliche Entwicklung in Thüringen, Deutschland und Europa eine bedeutende Rolle (**ökonomischer Faktor**). Unter der Prämisse eines zumindest moderaten Wirtschaftswachstums ist hierbei davon auszugehen, dass die Verkehrsbelastung auch weiterhin noch grundsätzlich zunehmen wird. Dieses betrifft insbesondere das übergeordnete Netz. Für das lokale und regionale (untergeordnete) Verkehrsnetz kann sich zum anderen aber z. B. auch aufgrund des demografischen Wandels auch eine verringerte Belastung und dementsprechend eine Abstufung der Bedeutung der jeweiligen Straße ergeben (**sozio-logischer Faktor**). Zudem müssen Änderungen des Mobilitätsverhaltens und der Verkehrssysteme Rechnung getragen werden.

4.7.1 Straßenschäden

Auswirkungen des Klimawandels

Schäden am Straßenbelag verursachen durch ihre Reparaturbedürftigkeit zum einen nicht unerhebliche Kosten für die öffentliche Hand und können zum anderen auch zu Gefahrensituationen im Straßenverkehr führen. Witterungs- bzw. klimaabhängige Straßenschäden sind insbesondere die Schlagloch- und Spurrillenbildung.

Schlaglochbildung

Schlaglöcher entstehen vor allem durch einen kurzfristigen Frost-Tau Wechsel. Hierbei dringt Wasser in den ggf. vorgeschädigten Straßenbelag ein und gefriert. Durch das Volumenwachstum beim Aggregatübergang von Wasser zu Eis wird eine Sprengwirkung entfaltet, die umso schädigender ausfällt, desto häufiger sich das Straßenmaterial in kurzer Zeit dehnt und wieder entspannt. Wie Abb. 34 zeigt, treten solche Witterungswechsel, hier operationalisiert durch zwei aufeinanderfolgende Tage mit $T_{\min} < 0\text{ °C}$ (Tag 1) und $T_{\min} > 0\text{ °C}$ (Tag 2), im Referenzzeitraum am häufigsten in den Mittelgebirgsregionen, aber auch im Nordwesten des Freistaats auf. Folglich sind vor allem die südlichen Abschnitte der A 71 / 73 und der A 9, die A 38 und der westliche Abschnitt der A 4 sowie die die Autobahnen verbindenden Bundesstraßen gegenwärtig als besonders gefährdet einzustufen. In den Projektionszeiträumen ist ein großflächiger, robuster Trend zu selteneren Frost-Tau-Wechselereignissen erkennbar. Dieser ist in den Mittelgebirgsregionen allerdings relativ schwach ausgeprägt, so dass es auch zukünftig entlang der A 71 sowie der B 281, B 247, B 4 nur zu einer leichten Entspannung gegenüber der Situation im Referenzzeitraum kommen wird. Insgesamt kann also langfristig eher mit rückläufigen Frost-Tau-Wechseln bedingten Straßenschäden gerechnet werden, so dass sich hier keine zusätzliche Handlungsnotwendigkeit ergibt.

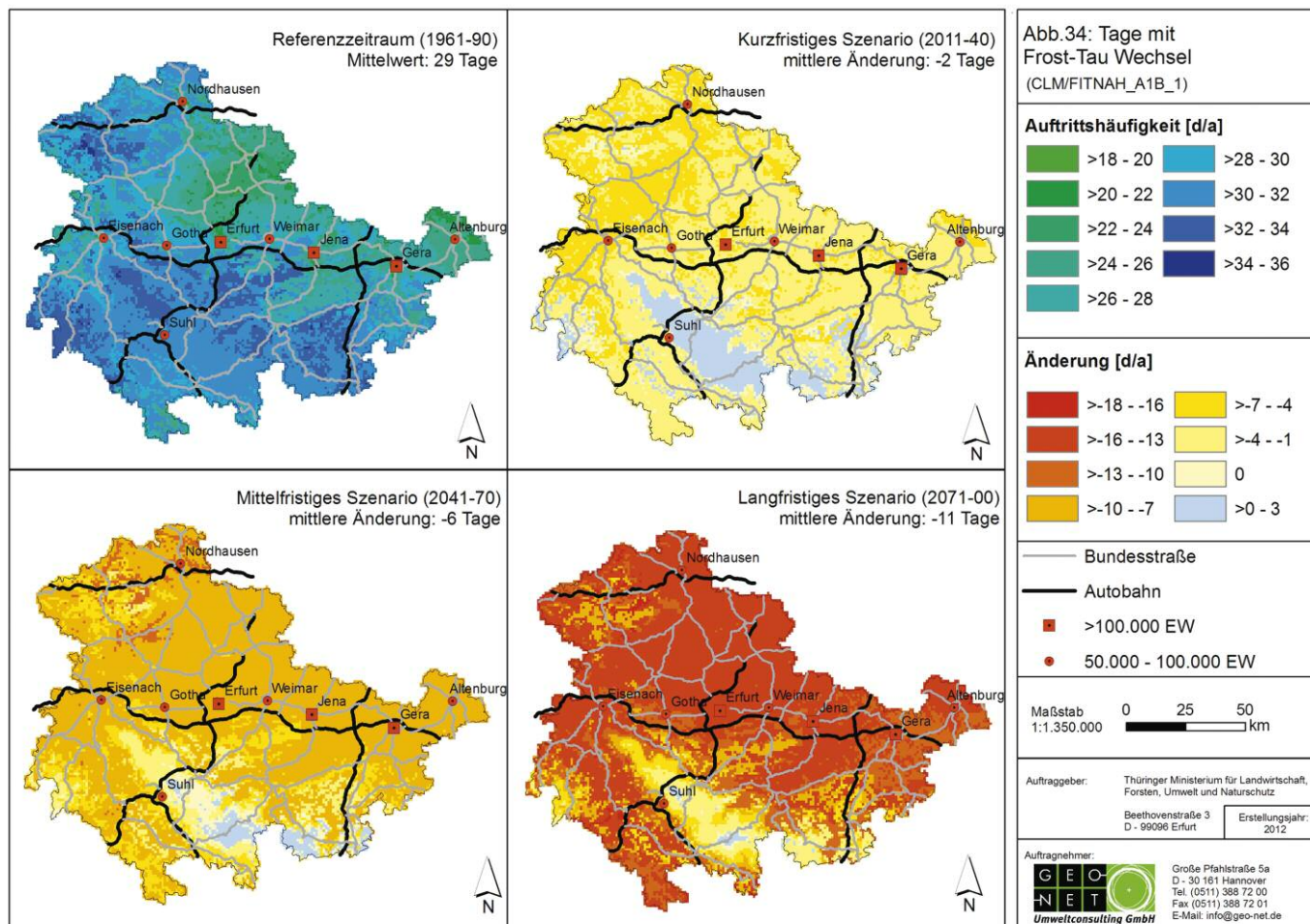


Abb. 34: Durchschnittliche jährliche Aufttrittshäufigkeit von zwei aufeinanderfolgenden Tagen mit $T_{\min} < 0^{\circ}\text{C}$ (Tag 1) und $T_{\min} > 0^{\circ}\text{C}$ (Tag 2) für die drei Klimaprojektionszeiträume im Vergleich zum Referenzzeitraum 1961 - 1990

Spurrillenbildung

Während sich die Schlaglochbildung eher in den Wintermonaten vollzieht, sind in den Sommermonaten hitzebedingte Straßenschäden von Relevanz. Durch hohe Lufttemperaturen und eine hohe Strahlungsintensität in Verbindung mit einer geringen Albedo heizt sich die Fahrbahndecke stark auf, was im Zusammenspiel mit einer hohen Verkehrsbelastung (vor allem durch Schwerlastverkehr) zu einer unerwünschten Verformung des Straßenkörpers („Spurrillenbildung“) führen kann.

Das Risiko des Auftretens solcher Schäden auf den Bundesfernstraßen des Freistaats wird hier anhand des Leitindikators der durchschnittlichen jährlichen Aufttrittshäufigkeit von Tagen mit

einer Maximumtemperatur von $> 25^{\circ}\text{C}$ analysiert (Abb. 35). Unter dem Einfluss des Klimawandels wird sich die Aufttrittshäufigkeit dieser Kenntage flächendeckend erhöhen. Von dieser Entwicklung werden mit dem Norden und Nordwesten insbesondere die bereits heute am stärksten betroffenen Räume berührt sein. Folglich werden auch zukünftig die A 38 und der nördliche Abschnitt der A 71 sowie die B 247 und die B 4 weiterhin das größte Risiko hitzebedingter Straßenschäden aufweisen, allerdings auf einem deutlich höheren Niveau. Aber auch für die übrigen wichtigen Fernstraßen in Thüringen ergibt sich ein steigendes Risiko von witterungsbedingter Spurrillenbildung, so dass sich für ganz Thüringen eine Handlungsnotwendigkeit ergibt.

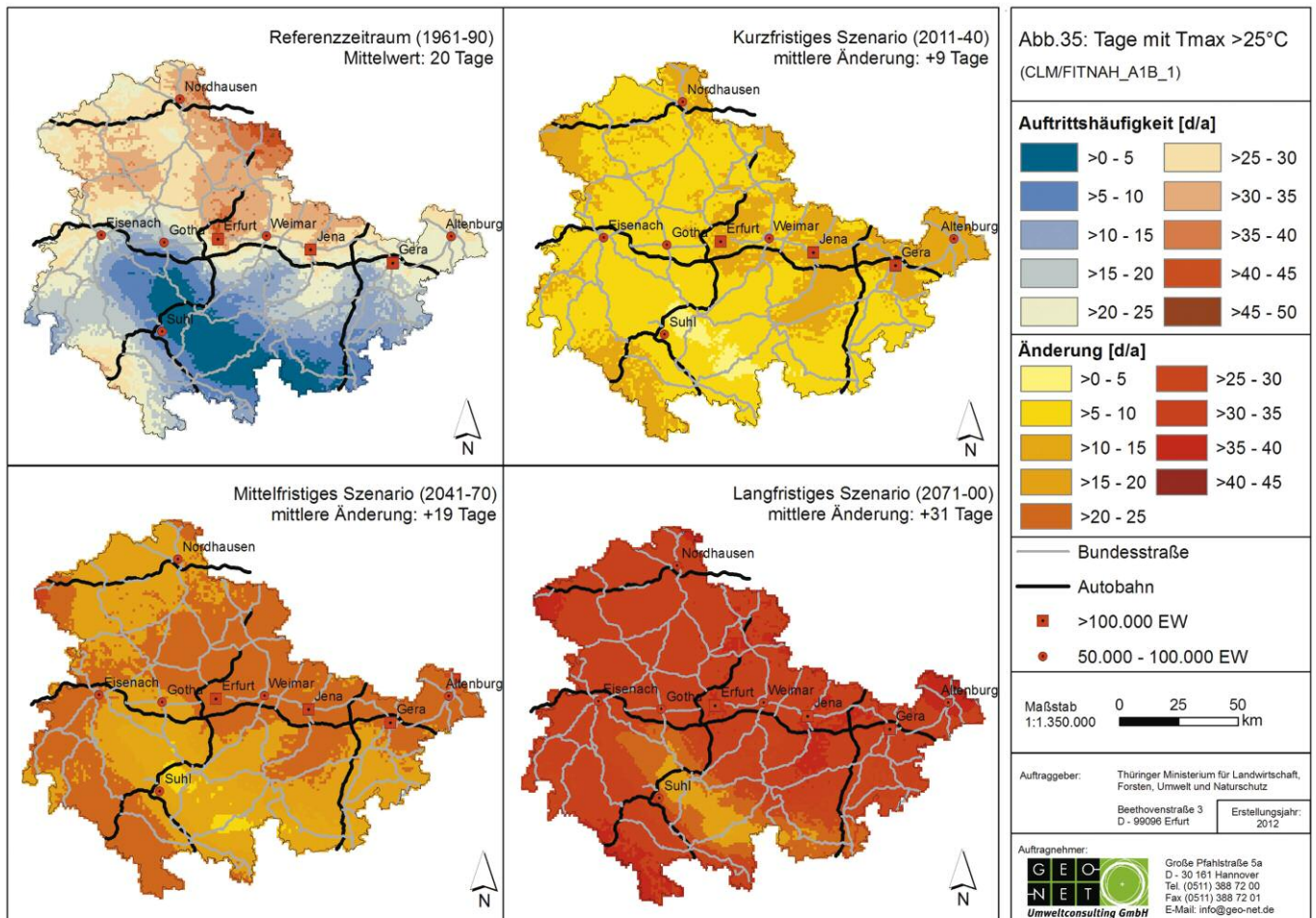


Abb. 35: Durchschnittliche jährliche Auftretshäufigkeit von Tagen mit Tmax > 25 °C für die drei Klimaprojektionszeiträume im Vergleich zum Referenzzeitraum 1961 - 1990

Maßnahmen

Spurrillenbildung

Der zunehmenden Gefahr von hitzebedingten Straßenschäden kann reaktiv durch ein verbessertes Management und kürzere Intervalle bei der Beseitigung der Schäden (z. B. bei der Ausfräsung von Spurrillen) begegnet werden (VK01). Vorbeugend weist insbesondere die Anpassung der verwendeten Baumaterialien für die Erneuerung der Straßendecke bzw. den Straßenausbau eine Relevanz auf. Grundsätzlich finden hier gegenwärtig und aller Voraussicht nach auch zukünftig zum einen Asphalt-/Bitumenmischungen und zum anderen Zement-/Betonmischungen Verwendung. Letztere sind zwar prinzipiell langlebiger und hitzebestän-

diger, die unmittelbare Verfügbarkeit der notwendigen Rohstoffe ist aber nicht in jeder Region gegeben, so dass hier mit höheren Kosten gegenüber Asphaltdecken gerechnet werden muss. Zudem bedingen die unvermeidbaren Fugen eine höhere Frostanfälligkeit, so dass die betonbasierten Straßen insbesondere für den nördlichen Teil Thüringens mittel- bis langfristig eine Option darstellen, da hier die Frostgefahr im Laufe des Jahrhunderts deutlich abnehmen wird und auch die Transportwege für die Rohstoffe kürzer sind als im südlichen Teil des Freistaats. Diese Kurzdiskussion zeigt, dass bei der Straßenneubau- und Straßensanierungsplanung zukünftig verstärkt die Auswirkungen des Klimawandels berücksichtigt werden müssen (VK02). Die Diskussion um diese beiden grundsätzlichen Alternativen sollte in der näheren Zukunft durch Forschungen im Bereich von Zuschlags-

stoffen bereichert werden (VK03), die in der Lage sind, die Straßen widerstandsfähiger gegenüber den zu erwartenden Klimaänderungen zu machen (z. B. Gummigranulate). Eine langfristige, weil bis dato noch nicht marktreife Alternative bietet möglicherweise auch die Nutzung von Geothermie und/oder der Einstrahlungsenergie, die mithilfe von Absorptionskältetechnik die Straßendecke aktiv abkühlt und nach isländischem Vorbild im Winter

bei Bedarf auch zu deren Aufheizung beitragen kann, um etwaiger Glättegefahr vorzubeugen. Die ausgedehnte Bepflanzung der Straßenränder mit Alleen zur Beschattung des Straßenkörpers ist eher keine großflächige Alternative, da das Unfallrisiko durch den Laubfall sowie die Kosten für die Verkehrssicherung nicht unerheblich ansteigen.

Tab. 15: Maßnahmen zur Klimafolgenanpassung im Handlungsfeld Verkehrswesen (Straßenschäden)

VK01	Schadensmanagement	Zeitliche Dringlichkeit	hoch (bis 3 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	bereits umgesetzt o. durchgeführt
		Zuständigkeit	SBA, TLBV
		Kosten	Personaleinsatzkosten
VK02	Verstärkte Berücksichtigung des Klimawandels bei der Wahl des Straßenbelags	Zeitliche Dringlichkeit	k. A.
		Zeitliche Umsetzbarkeit	k. A.
		Zuständigkeit	BASSt (Forschungsaufgabe)
		Kosten	k. A. (Leistung Dritter)
VK03	Förderung von Forschungen im Bereich von Straßenbelagzusatzstoffen	Zeitliche Dringlichkeit	k. A.
		Zeitliche Umsetzbarkeit	k. A.
		Zuständigkeit	BASSt (Forschungsaufgabe)
		Kosten	k. A. (Leistung Dritter)

4.7.2 Straßenentwässerung

Auswirkungen des Klimawandels

Der KOSTRA-Atlas benennt ein einjährliches Niederschlagsereignis innerhalb von 15 Minuten als Bemessungsgrundlage für die Auslegung der Straßenentwässerungskanäle innerhalb von Ortschaften und auf Brücken. Seltenere Extremereignisse werden im Straßenbau aus Kosten-Nutzen-Überlegungen heraus nicht berücksichtigt. Temporäre Straßenüberschwemmungen, die u. a. mit Aquaplaninggefahr verbunden sein können, müssen folglich akzeptiert werden. Die Frage, ob zukünftig andere Bemessungsregenspenden für die Entwässerungsplanung herangezogen werden müssen, wird hier anhand des Leitindikators einer einjährigen Tagesniederschlagsmenge analysiert (Abb. 36). Als zentrale Ergebnisse lassen sich folgende Aussagen festhalten:

- Die einjährige Tagesregenspende wird sich in allen Teilräumen Thüringens nicht unerheblich (bis zu 30 %) verändern.
- Die Veränderungen zeigen einen räumlich indifferenten Trend,

d. h. es existieren in jedem Szenario sowohl Teilräume mit einer abnehmenden als auch mit einer zunehmenden Niederschlagsmenge.

- Die Veränderungen zeigen einen zeitlich indifferenten Trend, d. h. dass die einzelnen Teilräume in der Regel keiner gleichgerichteten Entwicklung unterliegen, dieses gilt am deutlichsten für die A 38; einzig im Bereich der A 9 lässt sich eine Tendenz zu robust, aber moderat sinkenden einjährigen Tagesniederschlägen ableiten.

Auch wenn die Ergebnisse keinen eindeutig gerichteten Trend zeigen, so steht doch fest, dass sich die Bemessungsregensmengen ändern werden und dass sich die Straßenplanung und der Straßenbau an diese veränderten Bedingungen anpassen müssen. Eine entsprechende Handlungsnotwendigkeit kann auch aus dem Umstand abgeleitet werden, dass es ab etwa Mitte des Jahrhunderts in einzelnen Regionen des Freistaats auch zu häufigeren und intensiveren Starkregenereignissen kommen wird (Abb. 21 und Abb. 22), welche u. a. eine zusätzliche statische Belastung für Brückenbauwerke darstellt.

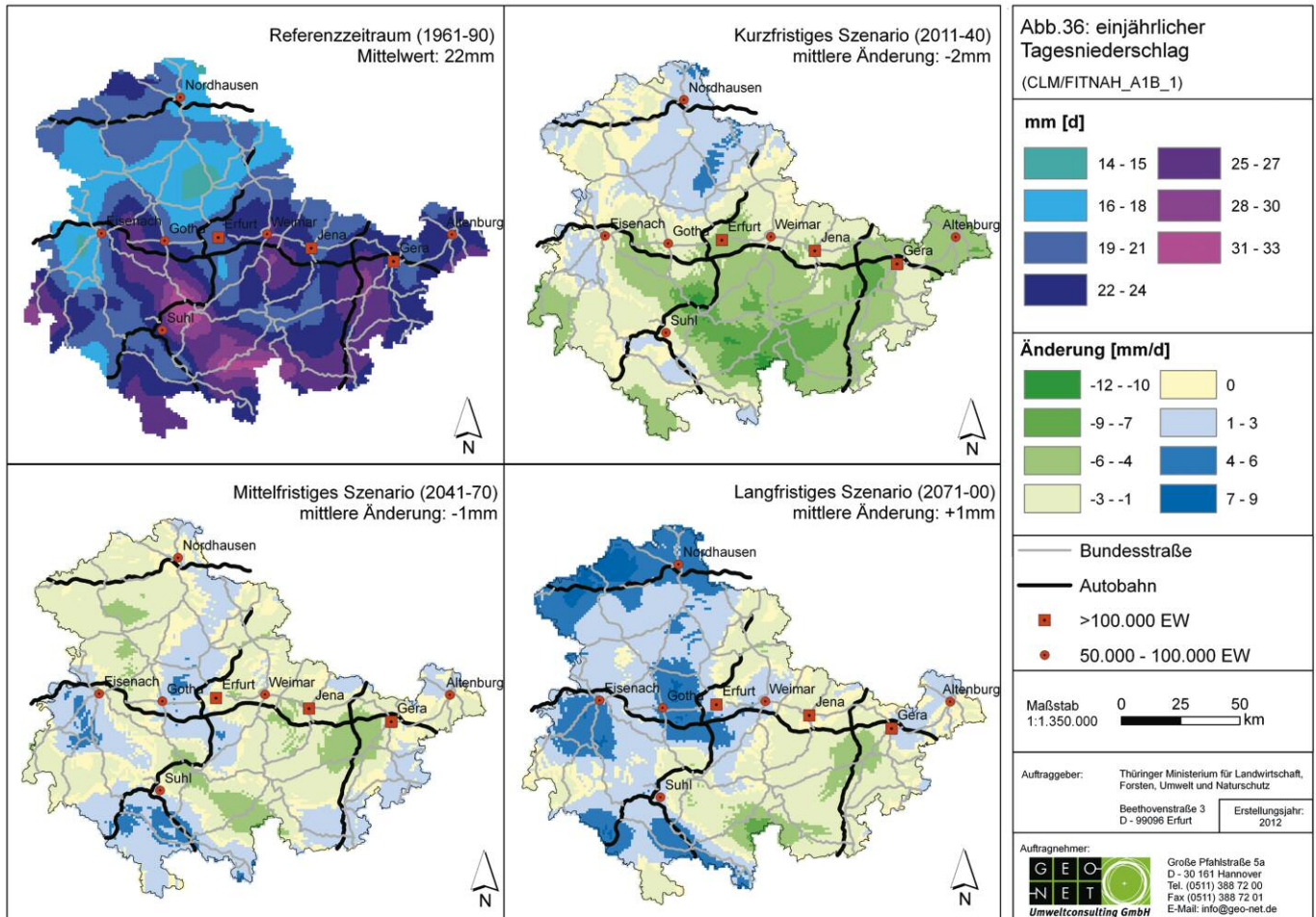


Abb. 36: Durchschnittliche einjähriger Tagesniederschlag für die drei Klimaprojektionszeiträume im Vergleich zum Referenzzeitraum 1961 - 1990

Maßnahmen

Eine entscheidende Maßnahme bei der Straßenentwässerungsplanung ist die Berücksichtigung der sich zukünftig verändernden Bemessungsregenspenden. Eine entsprechende Anpassung des KOSTRA-Atlas kann diese verbindlich festlegen (VK05). Für den gegenwärtigen Straßenbestand stellen (stationäre und/oder automatisierte) Warnungen vor Aquaplaninggefahr eine wichtige Maßnahme zur Anpassung an veränderte Intensitäten und Auftretsräume von Starkregenereignissen dar (VK06). Auf der freien Strecke außerhalb von Ortschaften gilt der Querneigungswechsel als entwässerungsschwache Zone, die über spezielle Entwässerungsrinnen im Straßenbelag entwässert werden müssen. Diese Systeme sind hinsichtlich des veränderten Niederschlagsregimes zu überprüfen und zu optimieren (VK07).

Extremere Niederschläge, als die gängigen Bemessungsgrößen können auch zukünftig nicht zur Dimensionierung der Entwässerungskanäle herangezogen werden. Allerdings kann das bisher nicht vorhandene Wissen über regions- und straßentypenspezifische Kippunkte für Niederschlagsmengen, ab denen das Entwässerungssystem überlastet ist, wichtige Grundlageninformationen für prophylaktische Maßnahmen (z. B. die zusätzliche Anlage eines Regenrückhaltebeckens) oder Notfallpläne (z. B. bei Massenunfällen) liefern. Entsprechende Untersuchungen mit der Priorität auf Brückenbauwerken, für die eine extreme Niederschlagsmenge auch aus statischer Sicht relevant sein könnte, sollte daher im Rahmen von Forschungsaktivitäten gefördert werden (VK08).

Tab. 16: Maßnahmen zur Klimafolgenanpassung im Handlungsfeld Verkehrswesen (Straßenentwässerung)

VK05	Vorausschauende Anpassung des KOSTRA-Atlas	Zeitliche Dringlichkeit	k. A.
		Zeitliche Umsetzbarkeit	k. A.
		Zuständigkeit	DWD
		Kosten	k. A. (Leistung Dritter)
VK06	Warnungen vor Aquaplaninggefahr	Zeitliche Dringlichkeit	hoch (bis 3 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	in Umsetzung o. Durchführung
		Zuständigkeit	TLBV
		Kosten	mittel
VK07	Überprüfung von entwässerungsschwachen Zonen hinsichtlich veränderter Niederschlagsregime	Zeitliche Dringlichkeit	hoch (bis 3 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	bereits umgesetzt o. durchgeführt
		Zuständigkeit	SBA, TLBV
		Kosten	mittel
VK08	Forschungen zu regionsspezifischen Kipppunkten der Entwässerungssysteme	Zeitliche Dringlichkeit	k. A.
		Zeitliche Umsetzbarkeit	k. A.
		Zuständigkeit	BASSt (Forschungsaufgabe)
		Kosten	k. A. (Leistung Dritter)

4.7.3 Verkehrssicherheit

Die Verkehrssicherheit auf den Thüringer Straßen wird wesentlich von ihrem qualitativen Zustand, der Verkehrsregelung sowie dem Verhalten der Verkehrsteilnehmer bestimmt. Aber auch Wetter und Klima üben in Form von sturm-, eis- und schneebedingten Verkehrsrissen einen bedeutenden Einfluss auf die Verkehrssicherheit im Freistaat aus.

Auswirkungen des Klimawandels

Sturmbedingte Verkehrsrissen

Stürme können den Straßen-, Bahn- und Flugverkehr beeinträchtigen oder ihn sogar ganz zum Erliegen bringen. Dieses kann mittelbar beispielsweise über umstürzende (ggf. durch vorherige Trockenperioden vorgeschädigte) Bäume oder unmittelbar durch die hohen Windgeschwindigkeiten selbst verursacht werden. Aufgrund lokalklimatischer Besonderheiten („Düseneffekt“) sind (Autobahn-) Brücken über Flusstäler die am stärksten betroffenen Straßenabschnitte, von denen es zur Überführung von u. a. Saale, Werra, Unstrut und Ilm im Freistaat Thüringen mehrere Dutzend gibt. Auf deren uneingeschränkte Passierbarkeit ist insbe-

sondere die häufig auf just-in-time Lieferungen ausgelegte Logistikbranche angewiesen.

Auch wenn die zwar generell hohe, aber für lokalklimatische Phänomene immer noch zu grobe räumliche Auflösung der für IM-PAKT erzeugten Daten keine Aussagen für einzelne Brückenbauwerke erlauben, so kann aus den Daten zumindest ein Trend über die Entwicklung der jährlichen Auftrittshäufigkeit von Sturmergebnissen (hier definiert als Tage mit Böenwindgeschwindigkeiten > 28 m/s bezogen auf 10 m über GOK; entspricht etwa Beaufort 10 - schwerer Sturm) ermittelt werden (Abb. 37). Derartige Ereignisse kommen in Thüringen im Referenzzeitraum vermehrt vor allem im östlichen Teil des Freistaats vor, durch den ein Abschnitt der A 4 und insbesondere die A 9 führen. In den Projektionszeiträumen zeigt sich insbesondere ab Mitte des Jahrhunderts ein robuster Trend zu einer flächendeckend zunehmenden Auftrittshäufigkeit von schweren Stürmen. Die größten Zunahmen zeigen sich in Mittelthüringen, entlang dem südlichen Abschnitt der A 71 und dem mittleren Abschnitt der A 4. Insgesamt ist also insbesondere in den benannten Abschnitten mit einem sturmbedingt erhöhten Risiko der Unpassierbarkeit von Autobahntalbrücken bzw. der Einschränkung von Bahn- und Flugverkehr in Thüringen zu rechnen.

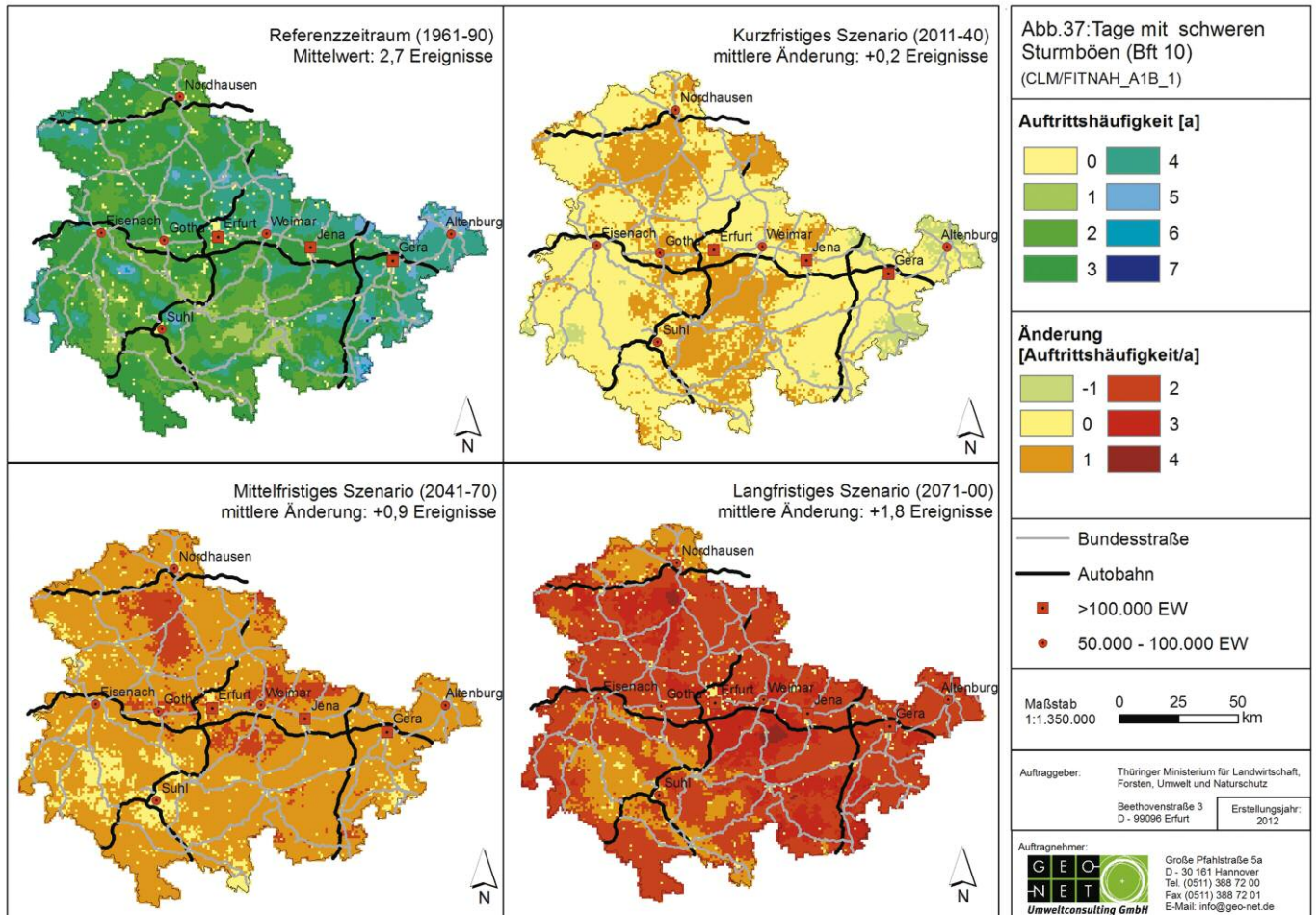


Abb. 37: Durchschnittliche jährliche Auftrittshäufigkeit von Sturmereignissen > 28 m/s für die drei Klimaprojektionszeiträume im Vergleich zum Referenzzeitraum 1961 - 1990

Schnee- und eisbedingte Verkehrsrissen

Insbesondere die kalte Jahreszeit birgt neben der Gefahr von Straßenschäden noch weitere Risiken für das Verkehrswesen. So bedeuten beispielsweise Schneefall und Frostperioden auch ein erhöhtes Unfallrisiko für alle Verkehrsteilnehmer. Darüber hinaus verursachen sie durch die Notwendigkeit von Räumfahzeugsätzen und Streumittelverbrauch Kosten für die öffentliche Hand und können in Extremsituationen auch zu Störungen an Oberleitungen von Bahnstrecken führen. Im Zuge der grundsätzlichen Erwärmung des Freistaats, der auch und insbesondere die Wintermonate betreffen wird (vgl. Kapitel 3.2.1), ist auch mit einem flächendeckend robusten und deutlichen Trend einer abnehmenden Auftrittshäufigkeit von Frostperioden (hier definiert als sieben aufeinanderfolgende Tage mit $T_{\min} < 5\text{ °C}$) sowie als Schnee fall-

lendem Niederschlag zu rechnen (Anhang, Abb. 24 und Anhang, Abb. 25). Frostperioden und Schneefälle werden langfristig im nördlichen Thüringen sogar (fast) gänzlich ausbleiben, während sie in und am Mittelgebirge zwar allmählich zurück gehen, aber dennoch auf einem relevanten Niveau bleiben werden. Diese für durchschnittliche Jahre geltenden Aussagen lassen sich nicht gänzlich auf eine Extremjahrbetrachtung übertragen. Denn zumindest in West- und Mittelthüringen existieren entlang der A 38, A 4, A 71 sowie vor allem entlang der B 285 und B 19 Teilabschnitte, in denen extreme Schneefalltage zukünftig noch intensiver ausfallen werden (Abb. 38).

Insgesamt zeigt sich, dass es auch unter dem Einfluss des Klimawandels weiterhin zu verkehrsbedingten Risiken in Verbindung mit Frost und Schneefall kommen wird. Dabei ist grundsätzlich –

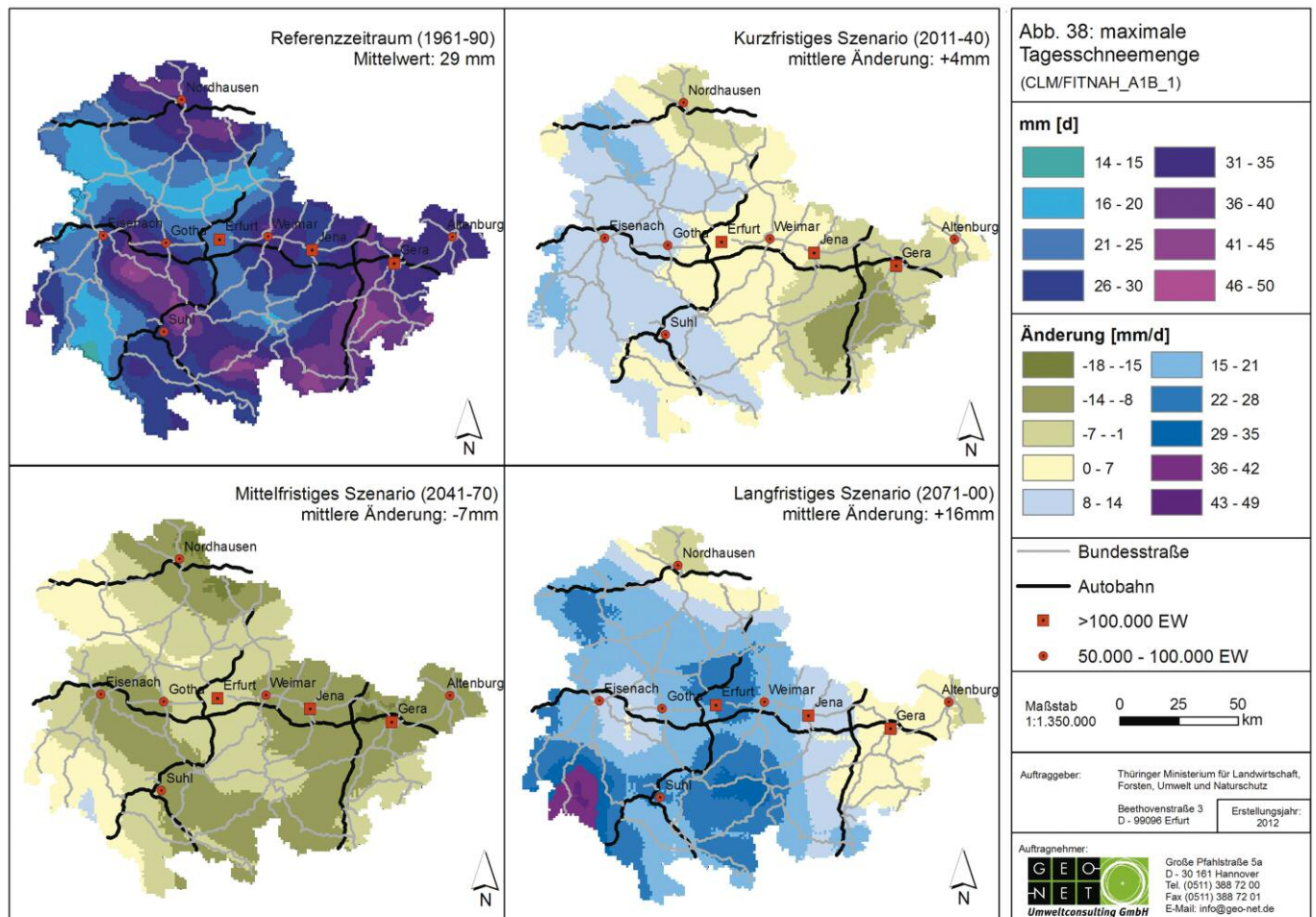


Abb. 38: Maximale Tagesschneemenge für die drei Klimaprojektionszeiträume im Vergleich zum Referenzzeitraum 1961 - 1990

insbesondere im nördlichen Thüringen - zwar mit weniger Unfallrisiko- und Räumfahrzeugeinsatztagen aber für einzelne Teilräume - insbesondere im westlichen Teil des Freistaats – auch mit intensiveren Einzelereignissen zu rechnen. Aus dieser Verschiebung von häufigen Ereignissen mit einer eher geringen Bedeutung für die Verkehrssicherheit hin zu seltenen Ereignissen mit einer hohen Bedeutung für die Verkehrssicherheit ergibt sich für das Thüringer Verkehrswesen eine Anpassungsnotwendigkeit.

Maßnahmen

Sturmbedingte Verkehrsrisiken

Entlang von risikoexponierten Alleen und Straßen mit Begleitgrün kann der erhöhten Verkehrssicherheitsgefährdung durch Sturmereignisse durch die gezielte Entfernung von Straßenbäumen be-

gnet werden. Als Entscheidungsbasis sollte eine Bestandsaufnahme erarbeitet werden (VK09), die neben Daten zum Klimawandel auch die Monitoringergebnisse des bestehenden (Straßen-) Baumkatasters berücksichtigen sollte, das seinerseits entsprechend fortgeführt und ausgeweitet werden sollte (VK10).

Die zunehmende Sturmhäufigkeit hat aber auch direkte Auswirkungen auf die Passierbarkeit von Brücken. Automatische Windmess- und Verkehrsleitsysteme (VK11) sind bereits heute Stand der Technik. Sie können Geschwindigkeitsbegrenzungen und ggf. auch Brücken(teil)sperren auslösen (VK12). Seitens der Unternehmer kann eine Anpassungsreaktion in Form einer höheren Auslastung der Lastkraftwagen und damit der Vermeidung von Leerfahrten erfolgen, denn leere LKW sind besonders anfällig gegenüber Seitenwind. Um die Passierbarkeit der Brücken noch verlässlicher zu gewährleisten, besteht für den Straßenbaulastträger

die Option, Windabweiser an den Brückenbauwerken zu installieren (VK13). Nachrüstungen sind in Thüringen gegenwärtig aus statischen Gründen noch in der Erprobungsphase (z. B. auf der A 71 zwischen Ilmenau und Suhl und zudem relativ kostenintensiv, so dass hier noch Forschungsbedarf besteht. Auch hier gilt, dass im Rahmen eines Risikoscreenings jede einzelne Talbrücke hinsichtlich ihrer Eignung unter Klimawandelbedingungen überprüft werden sollte (VK14). So lange Brücken auch weiterhin - und zukünftig wohl noch häufiger - gesperrt werden müssen, besteht erhöhter Bedarf an ausreichend Stellplätzen entlang der Fernstraßen, der gegenwärtig nicht immer gedeckt werden kann. Folglich lässt sich u. a. auch aufgrund des Klimawandels der Ausbau von bestehenden Park- und Rastplätzen begründen (VK15).

Schnee- und eisbedingte Verkehrsriskiken

Wie die Auswertungen gezeigt haben, werden in Thüringen auch zukünftig schnee- und eisbedingte Verkehrsriskiken eine Rolle spielen. Der Verschiebung hin zu selteneren, aber intensiveren Risikosituationen muss der Straßenbaulastträger durch ein angepasstes Management begegnen, bei dem die gegenwärtigen Auftausalz- und Räumfahrzeugkapazitäten zumindest aufrechtzuerhalten sind (VK16) und ggf. Notfallpläne für Extremsituationen zu erstellen sind (VK17). Mit Bezug zu den Verkehrsteilnehmern ist die Einführung der M+S-Reifenpflicht bei Glatteis, Schneeglätte, Schneematsch, Eis- oder Reifglätte (sog. „Winterreifenpflicht“) grundsätzlich zu begrüßen (VK18).

Tab. 17: Maßnahmen zur Klimafolgenanpassung im Handlungsfeld Verkehrswesen (Verkehrssicherheit)

Sturmbedingte Verkehrsriskiken			
VK09	Bestandsaufnahme Straßenbäume	Zeitliche Dringlichkeit	hoch (bis 3 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	in Umsetzung o. Durchführung
		Zuständigkeit	TLBV
		Kosten	Personaleinsatz
VK10	Fortführung und Ausweitung des Straßenbaumkatasters	Zeitliche Dringlichkeit	hoch (bis 3 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	in Umsetzung o. Durchführung
		Zuständigkeit	TLBV
		Kosten	Personal- und Softwarekosten
VK11	Windmessgestützte Verkehrsleit-systeme	Zeitliche Dringlichkeit	hoch (bis 3 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	in Umsetzung o. Durchführung
		Zuständigkeit	TLBV
		Kosten	hoch
VK12	Geschwindigkeitsbegrenzungen und Brücken(teil)sperrungen zu witterungsbedingten Gefahren-zeiten	Zeitliche Dringlichkeit	hoch (bis 3 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	in Umsetzung o. Durchführung
		Zuständigkeit	TLBV
		Kosten	hoch
VK13	Installation von Windabweisern an besonders windexponierten Talbrücken	Zeitliche Dringlichkeit	hoch (bis 3 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	in Umsetzung o. Durchführung
		Zuständigkeit	TLBV
		Kosten	hoch
VK14	Risikoscreening aller Autobahn-talbrücken hinsichtlich ihrer Klimawandelrobustheit	Zeitliche Dringlichkeit	k. A.
		Zeitliche Umsetzbarkeit	k. A.
		Zuständigkeit	BAS (Forschungsaufgabe)
		Kosten	k. A. (Leistung Dritter)
VK15	Ausbau von bestehenden Park- und Rastplätzen	Zeitliche Dringlichkeit	hoch (bis 3 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	in Umsetzung o. Durchführung
		Zuständigkeit	TLBV
		Kosten	hoch
Schnee- und eisbedingte Verkehrsriskiken			
VK16	Winterdienstmanagement	Zeitliche Dringlichkeit	hoch (bis 3 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	in Umsetzung o. Durchführung
		Zuständigkeit	Autobahnmeistereien
		Kosten	Mittel

Fortsetzung von Tab. 17: Maßnahmen zur Klimafolgenanpassung im Handlungsfeld Verkehrswesen (Verkehrssicherheit)			
VK17	Erarbeitung von Notfallplänen für Extremsituationen	Zeitliche Dringlichkeit	k. A.
		Zeitliche Umsetzbarkeit	k. A.
		Zuständigkeit	Katastrophenschutz
		Kosten	k. A. (Leistung Dritter)
VK18	Beibehaltung und stärkere Kontrolle der Winterreifenpflicht	Zeitliche Dringlichkeit	k. A.
		Zeitliche Umsetzbarkeit	k. A.
		Zuständigkeit	Polizei
		Kosten	k. A. (Leistung Dritter)

4.8 Tourismus

Die Tourismuswirtschaft ist für Thüringen ein wichtiger Wirtschaftszweig. Die Hauptthemensäulen für den Thüringer Tourismus im Marketing- und Produktbereich sind der Kultur- und Städtetourismus, Natur- und Aktivtourismus sowie Wellness- und Gesundheitstourismus. Der Freistaat Thüringen bietet seinen Gästen ein vielfältiges, ganzjährig attraktives touristisches Angebot. In den Wintermonaten spielt insbesondere der Wintersporttourismus im Thüringer Wald eine zentrale Rolle. Allerdings erfordert die zu erwartende Klimaerwärmung mit voraussichtlich nicht mehr ausreichenden Schneelagen in allen Teilen des Thüringer Waldes Anpassungsmaßnahmen.

Die **Ziele** des Tourismus in Thüringen sind in der Landestourismuskonzeption Thüringen 2015 (TMWAT 2011) wie folgt definiert:

- Aufbau der Tourismusmarke Thüringen,
- Beschleunigung des quantitativen und qualitativen Wachstums im Thüringen-Tourismus,
- Optimierung von Organisation und Kooperation der Tourismusakteure.

Der Tourismus in Thüringen hat einen strategischen **Planungshorizont**. Dieser liegt entsprechend der für den Freistaat erarbeiteten thematischen Tourismuskonzepte zwischen 5 und 15 Jahren.

Aus der Zweckbindungsfrist der im Rahmen der Gemeinschaftsaufgabe zur Verbesserung der regionalen Wirtschaftsstruktur (GRW) geförderten Investitionen in touristische Infrastruktur (z. B. Ski-, Rad- und Wanderwege) ergibt sich darüber hinaus ein 15 - 25-jähriger Zeithorizont, so dass insbesondere die Ergebnisse für das kurzfristige Klimaszenario (2011 - 2040) Relevanz für das Handlungsfeld besitzen.

Die GRW stellt das wichtigste Förderinstrument für die touristisch geprägten Kommunen, eingetragenen Vereine und auch für die gewerbliche Wirtschaft dar. Weitere Förderinstrumentarien sind in der Förderfibel des Thüringer Ministeriums für Wirtschaft, Arbeit und Technologie (TMWAT 2012) zusammengefasst.

Auf der formellen Ebene beinhalten der Landesentwicklungsplan sowie die auf seiner Basis erarbeiteten Festsetzungen in den Regional- und Bauleitplänen relevante **Planungsgrundlagen** für den Tourismus. Auf informeller Ebene stellen die Landestourismuskonzeption Thüringen 2015 (TMWAT 2011) sowie die Kulturtourismuskonzeption Thüringen 2015 (TMWAT 2011) und spezielle Analysen zum Wintersport-Tourismus im Thüringer Wald (TMWAT 2008) und Sommersport-Tourismus in Thüringen (TMWAT 2009) wichtige Instrumente mit Relevanz für den gesamten Freistaat dar. Darüber hinaus können z. B. im Rahmen von LEADER erarbeitete Regionale Entwicklungsstrategien die strategische Ausrichtung des regionalen bzw. lokalen Tourismus beeinflussen.

Die **Klimasensitivität** des Tourismus liegt für den Winter(sport)tourismus deutlich auf der Hand. Alle weiteren Tourismussegmente werden durch ein angenehmes Bioklima zumindest begünstigt.

Die Entwicklung des Tourismus im Freistaat Thüringen ist über den Klimawandel hinaus noch von **sozioökonomischen Faktoren** abhängig. Zu nennen ist hier die demografische Entwicklung in Verbindung mit der Finanzkraft der alternden Bevölkerung. Hier ist davon auszugehen, dass ältere Menschen einen weiter steigenden Anteil am Umsatz in der Tourismusbranche einnehmen werden. Einen entscheidenden Faktor stellt auch die Entwicklung des Reiseverhaltens dar. Hier ist aktuell ein Trend zu häufigeren, aber kürzeren Reisen zu erkennen. Zudem verschärfen sich aus der weiter zunehmenden Globalisierung des Tourismus auch bestehende Konkurrenzsituationen zu vergleichbaren Angeboten in anderen Teilen der Erde (vgl. hierzu auch Petermann et al. 2006).

Auswirkungen des Klimawandels

Wintersporttourismus

Mit den Wintersportregionen um Oberhof, Steinach und Masserberg befinden sich die beliebtesten Wintersportorte des Freistaats im Thüringer Wald. Die Nachfrage nach den diversen Angeboten in diesen und weiteren Wintertourismusorten ist eng mit der lokalen Schneesicherheit verknüpft. Diese ist schon gegenwärtig in einzelnen Jahren nicht mehr überall gegeben. Dieser Trend (hier abgebildet über die jährliche Summe des als Schnee fallenden Niederschlags) wird sich unter dem Einfluss des Klimawandels fortsetzen (Abb. 39). Mit den stärksten Abnahmen der Schneefallmenge muss dabei in den vorgenannten Wintersportregionen gerechnet werden. In den ersten Jahrzehnten werden die Schneemengen hier nur moderat abnehmen, sich langfristig

allerdings mehr als halbieren. Im Umkehrschluss bedeutet dies aber auch, dass in den Hochlagen des Thüringer Waldes auch zum Ende des Jahrhunderts noch relevante Schneemengen fallen werden.

Diese Entwicklung ist nicht mit grundsätzlich niedrigeren Niederschlagsmengen zu erklären, denn die Niederschlagssumme in den Wintermonaten steigt allmählich an (vgl. Kapitel 3.2.2). Vielmehr liegt das Erklärungsmoment in den flächendeckend steigenden Durchschnittstemperaturen, die dazu führen, dass der Niederschlag zunehmend nicht mehr als Schnee, sondern als Regen fällt. So liegt in weiten Teilen des Thüringer Waldes die durchschnittliche Temperatur in den Wintermonaten Dezember, Januar und Februar im Referenzzeitraum noch unter dem Gefrierpunkt, was mit einer großen Wahrscheinlichkeit verbunden ist, dass der Niederschlag als Schnee fällt und auch liegen bleibt (An-

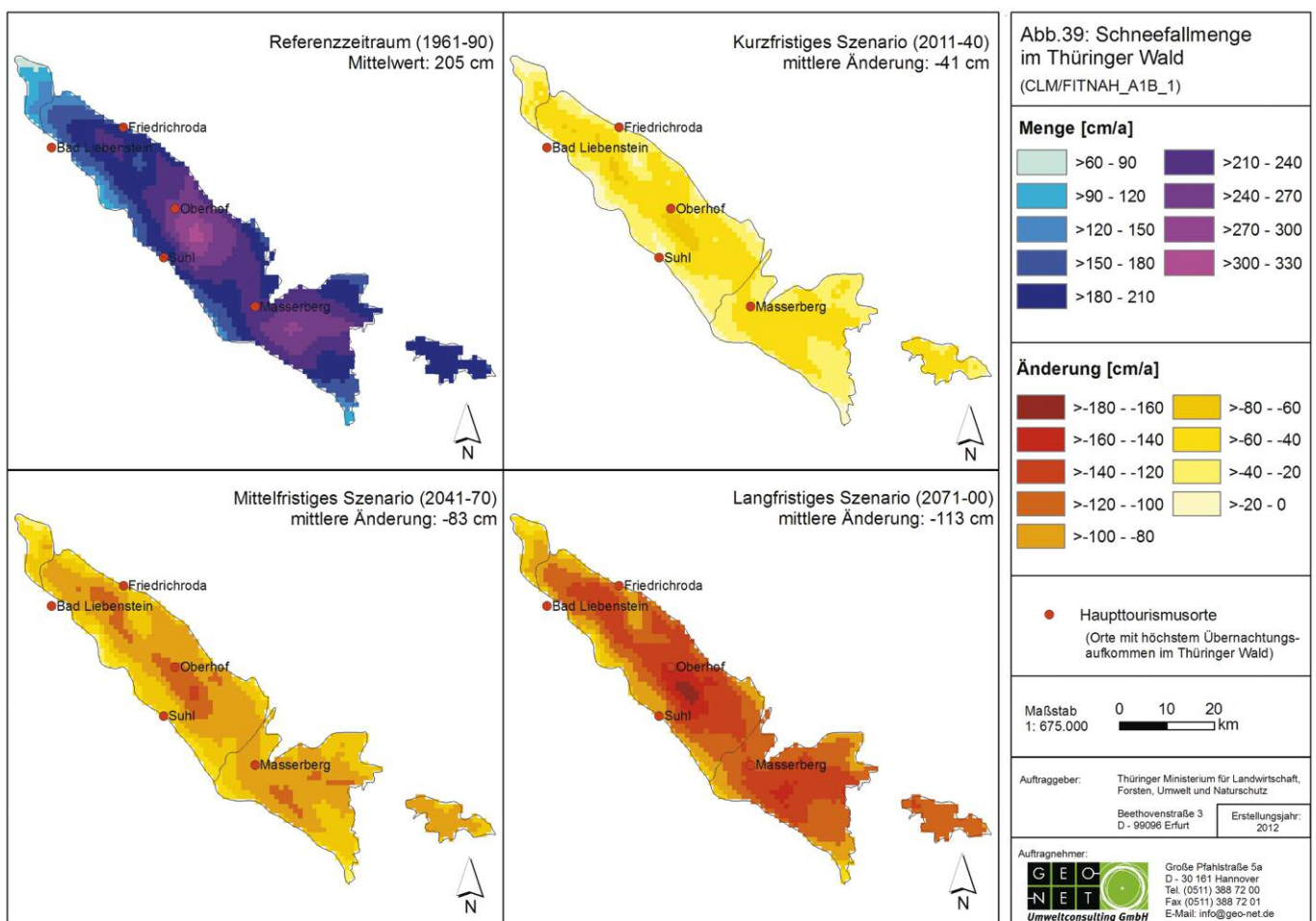


Abb. 39: Durchschnittliche jährliche Niederschlagsmenge als Schnee im Naturraum Thüringer Wald für die drei Klimaprojektionszeiträume im Vergleich zum Referenzzeitraum 1961 - 1990

hang, Abb. 26). Im Laufe des Jahrhunderts schrumpft die Fläche mit negativen Durchschnittstemperaturen zunächst deutlich zusammen, und löst sich ab ca. Mitte des Jahrhunderts gänzlich auf. In den Hauptwintersportregionen des Freistaats ist dabei noch am längsten mit negativen Durchschnittstemperaturen zu rechnen. Mit dieser Entwicklung sinkt nicht nur die jährlich fallende Schneemenge, sondern auch die Wahrscheinlichkeit, dass der noch fallende Schnee (dauerhaft) liegen bleibt.

Auch wenn der Winter(sport)tourismus im Thüringer Wald in seiner gegenwärtigen Struktur in den kommenden zwei bis drei Jahrzehnten aller Voraussicht nach noch nicht durch den Klimawandel in seiner Existenz bedroht ist, so muss ein der Nachhaltigkeit verpflichteter Winter(sport)tourismus auch den mittel- bis langfristig zu erwartenden Entwicklungen mit proaktiven Anpassungsmaßnahmen begegnen.

Weitere Tourismussegmente

Um die Auswirkungen des Klimawandels auf die weiteren (wirtschaftlich) für Thüringen relevanten Marktsegmente (Kultur- und Städtereisen, Wander-, Radwander- und Wasserwandertourismus, Wellness- und Gesundheitstourismus) abschätzen zu können, wird in Anlehnung an das vom DWD verwendete Klima-Michel-Modell zur Abbildung des Bioklimas ein „Touristenklima“ definiert. Demnach fühlt sich ein Tourist am wohlsten, wenn die Tagestemperatur zwischen 15 °C und 30 °C liegt und gleichzeitig kein relevanter Niederschlag fällt ($< 0,5 \text{ mm/d}$).

Im Referenzzeitraum 1961 - 1990 sind von den zehn Thüringer Tourismusorten mit den höchsten Übernachtungszahlen im Jahr 2010 (Haupttourismusorte) die Städte Erfurt und Jena sowie Eisenach und Bad Sulza tourismusklimatisch besonders begünstigt.

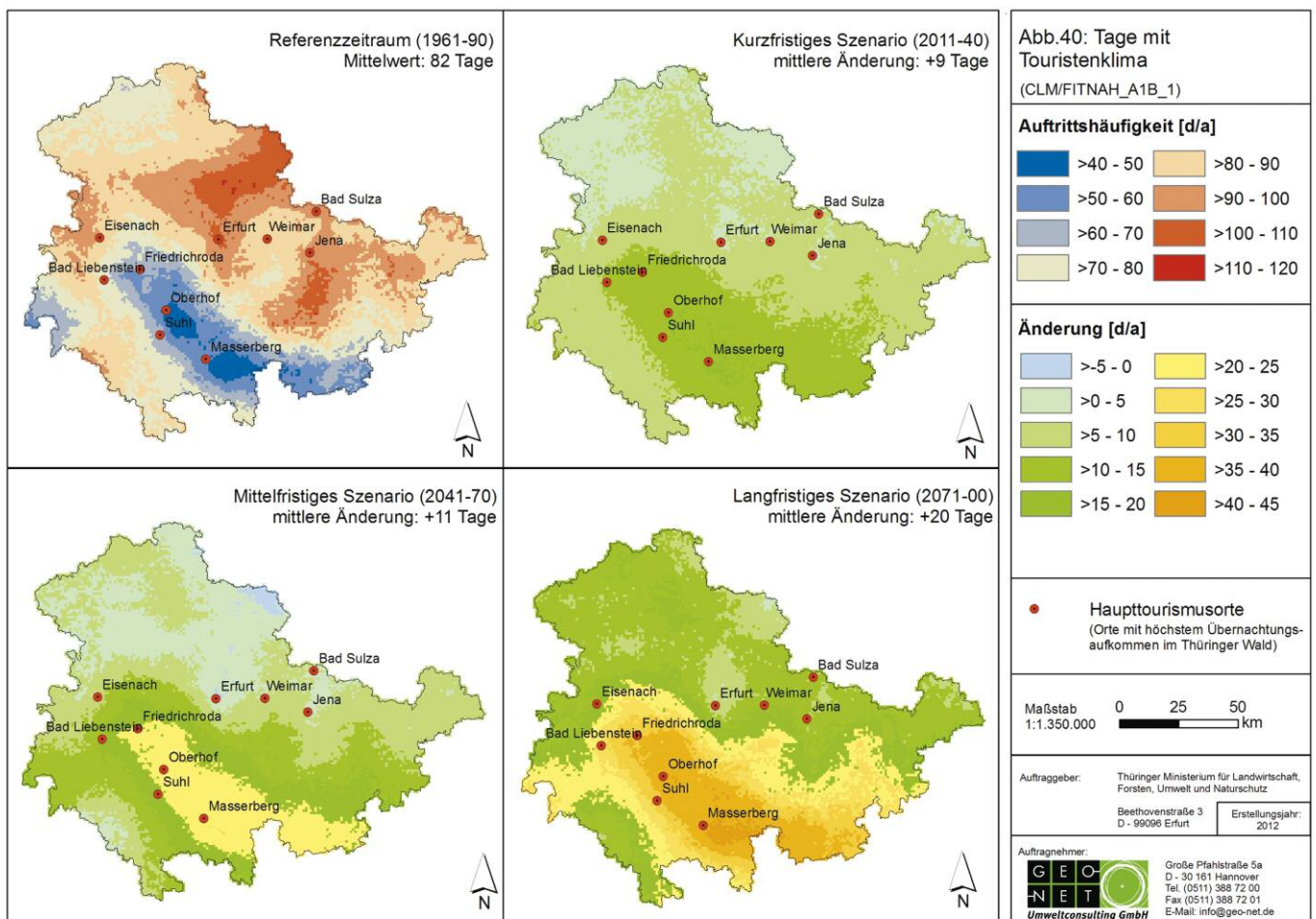


Abb. 40: Durchschnittliche jährliche Auftrittshäufigkeit von Tagen mit „Touristenklima“ für die drei Klimaprojektionszeiträume im Vergleich zum Referenzzeitraum 1961 - 1990

tigt. Bei den Orten im und am Thüringer Wald (vor allem Oberhof und Masserberg) hingegen stellen sich im Referenzzeitraum entsprechend ihrer Höhenlage deutlich seltener die für die betrachteten Tourismusarten als angenehm definierten klimatischen Zustände ein (Abb. 40). In den Projektionszeiträumen zeigt sich allerdings ein robuster Trend, dass insbesondere hier die Auftrittshäufigkeit von Tagen mit Touristenklima sehr deutlich ansteigen wird. Zwar zeigt sich diese Tendenz auch bei den anderen Haupttourismusorten, sie fällt allerdings im Mittelgebirge langfristig doppelt so stark aus als andernorts.

Zusammenfassend lässt sich also festhalten, dass sich das klimatische Potenzial für Tourismussegmente wie Kultur- und Städtereisen, Wandern (auch Rad- und Wasserwandern), Reiten oder Camping flächendeckend erhöhen wird. Der Thüringer Wald kann dabei als großer Gewinner herausgestellt werden. Die Potenziale des Thüringer Waldes außerhalb der Wintersaison sind sowohl in der Wintersport-Tourismus-Konzeption (TMWAT 2008) unter dem Thema „Ganzjahresnutzung“ als auch in der Sommersport-Tourismus-Konzeption (TMWAT 2009) dargestellt.

Maßnahmen

Eine wesentliche Anpassungsmaßnahme an den Klimawandel im Segment Wintersport-Tourismus ist, dass wintersportspezifische Investitionen (z. B. in Beschneiungsanlagen), die angesichts der Ergebnisse der Klimafolgenanalyse durchaus noch sinnvoll sein können, nur noch auf wirkliche Topgebiete, wie z. B. die Winter-

sportregion Oberhof oder Steinach, beschränkt werden sollten (TO01), für die zukünftig z. B. aufgrund einer topographischen bzw. klimatischen Gunstlage ein ausreichendes Maß an Schneesicherheit besteht (vgl. hierzu auch Abegg 2011).

Im Weiteren werden notwendige Investitionen in Wintersportregionen unterstützt, wenn sie gleichzeitig auch einen Mehrwert für die übrigen Jahreszeiten aufweisen (TO02). Ein good practice Beispiel hierfür ist die infrastrukturelle Aufwertung des Rennsteiges, der sowohl im Winter durch Skilangläufer als auch in den übrigen Jahreszeiten durch Wanderer und Radfahrer frequentiert wird. Weiteres Beispiel sind Skilifte, die auch im Sommer von Wanderern oder Mountainbikern genutzt werden können.

Ein weiterer Maßnahmenkomplex umfasst die Diversifizierung der touristischen Angebote in den Wintersportregionen durch andere Formen des Wintertourismus, wie z. B. Wellness, spezielle Kulturangebote oder Winterwandern. Die stark auf den Wintersport-tourismus ausgerichteten Regionen entwickeln Konzepte und Tourismusangebote zur ganzjährigen Nutzung der Region und vermarkten diese entsprechend (TO03).

Basis für die Anpassungsmaßnahmen sind die Wintersport- und Sommersport-Tourismus-Konzeptionen, die u. a. Entwicklungspotenziale für den Thüringer Wald (u. a. im Hinblick auf Ganzjahresangebote) aufzeigen. Im Weiteren geben u. a. die Landestourismuskonzeption Thüringen sowie das Konzept Kulturtourismus den Rahmen für die weitere Entwicklung des Thüringer Tourismus vor.

Tab. 18: Maßnahmen zur Klimafolgenanpassung im Handlungsfeld Tourismus

TO01	Beschränkung wintersportspezifischer Investitionen auf Topgebiete	Zeitliche Dringlichkeit	mittel (3 bis 10 Jahre) bis kann später erfolgen (> 10 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	in Umsetzung o. Durchführung
		Zuständigkeit	Regionen, Landkreise, Kommunen
		Kosten	unterschiedlich
TO02	Investitionen in Wintersportregionen unterstützen, wenn sie Ganzjahrestourismus fördern	Zeitliche Dringlichkeit	mittel (3 bis 10 Jahre) bis kann später erfolgen (> 10 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	in Umsetzung
		Zuständigkeit	Regionen, Landkreise, Kommunen
		Kosten	unterschiedlich
TO03	Diversifizierung des touristischen Angebotes hinsichtlich zeitlicher und inhaltlicher Komponenten (ganzjährige Nutzung)	Zeitliche Dringlichkeit	mittel (3 bis 10 Jahre) bis kann später erfolgen (> 10 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	in Umsetzung
		Zuständigkeit	Touristische Leistungsträger, Verbände, Kommunen, Landkreise
		Kosten	unterschiedlich

4.9 Bauwesen

Das Bauwesen wird sich zukünftig verstärkt an dem **Leitbild des Nachhaltigen Bauens** orientieren, welches gegenwärtig im Rahmen des Normungsvorhabens CEN/TC 350 „Nachhaltigkeit von Gebäuden“ europaweit standardisiert wird. Die Umsetzung des Leitbildes betrifft den gesamten Lebenszyklus eines Bauwerkes von der Planung und der Erstellung über die Nutzung und Erneuerung bis hin zum Rückbau. Wesentliche Ziele liegen dabei in der Minimierung des Verbrauchs von Energie und Ressourcen, in der verstärkten Nutzung erneuerbarer Ressourcen, in einer möglichst geringen Belastung des Naturhaushalts und einer ansprechenden Gestaltung unseres Lebensumfeldes. Der Bund (Bundesministerium für Verkehr, Bauwesen und Städtebau) hat für seine Gebäude mit dem „Leitfaden Nachhaltiges Bauen“ allgemeingültige Grundsätze und Methoden entwickelt, die sich auch zur Nutzung für andere Bauherren anbieten – wie die Länder, die Kommunen oder die Privatwirtschaft. Im Hinblick auf den Klimawandel sind hier Kriteriensteckbriefe wie „Thermischer Komfort im Sommer“ oder „Widerstandsfähigkeit gegen Naturgewalten (Wind, Starkregen, Hagel, Schnee, Hochwasser)“ hilfreich. Thüringen hat diesen Leitfaden bereits auf Landesebene in seinen „Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Freistaats Thüringen (RLBau)“ verankert.

Der zeitliche **Planungshorizont** im Bauwesen ist von den Nutzungsdauern der Bauelemente im Lebenszyklus eines Gebäudes abhängig. Bauwerke sind auf Dauerhaftigkeit ausgelegt und werden in der Regel 100 Jahre und länger genutzt. Verschiedene Bauelemente haben eine kürzere Nutzungsdauer und müssen im Rahmen der Instandhaltung und Instandsetzung saniert oder erneuert werden. Insbesondere haustechnische Anlagen haben nur relativ geringe Nutzungsdauern von ca. 15 bis 25 Jahre.

Die **Klimasensitivität** von Bauwerken ergibt sich insbesondere daraus, dass zum einen ihre Hüllen unmittelbar extremen Witterungseinflüssen wie Stürmen, Hagel, Blitze, Hitze, Frost und Schnee etc. ausgesetzt sind und entsprechend Schaden nehmen können. Zum anderen ist aber auch das Gebäudeinnenklima für die in den Bauwerken lebenden und arbeitenden Menschen hochgradig von den herrschenden klimatischen Bedingungen abhängig. Eine besondere Bedeutung ist in diesem Zusammenhang dem Stadtklima beizumessen, das sich u. a. dadurch auszeichnet, dass sich der Stadtkörper gegenüber dem Umland deutlich stärker aufheizt und dadurch etwaige Hitzeperioden noch verstärkt. Dieses sogenannte „urban heat“-Phänomen wurde jüngst im Rahmen einer ExWoSt-Studie am Beispiel der Stadt Jena analysiert (ThINK 2012).

Neben dem Klimawandel spielen bei der zukunftsorientierten Betrachtung auch **sozioökonomische Faktoren** wie Aspekte des demografischen Wandels (mögliche perspektivische Nutzungsänderungen oder gar Rückbauten) und die Entwicklung des Wohn- und Lebensverhaltens der Menschen eine Rolle, beispielsweise wenn es darum geht, die Notwendigkeit von neuem Wohnraum in der Stadt (z. B. durch Nachverdichtung) zu planen und gegenüber neuen Bauplätzen im suburbanen bzw. ländlichen Raum abzuwägen. Aktuell wird in diesem Zusammenhang davon ausgegangen, dass sich der Trend zu wachsenden Städten und einer schrumpfenden Peripherie zumindest mittelfristig fortsetzt. Auch die Innovationen im Energiesektor haben letztlich Einfluss auf die Art und Weise, wie ein Gebäude errichtet oder saniert wird. Hier gehen die Forderungen zu Niedrigenergiegebäuden bzw. immer mehr auch zu energieerzeugenden Bauwerken. Zu nennen sind in diesem Zusammenhang das Erneuerbare Energien Wärme-Gesetz (EEWärmeG), die Energieeinsparverordnung (EnEV) und als rechtliche Ermächtigungsgrundlage der EnEV das Energieeinspargesetz (EnEG).

Die zentralen **rechtlichen Planungsgrundlagen** im Bauwesen sind das Baugesetzbuch und die Thüringer Bauordnung. **Bauplanungsrecht:** Gemäß Baugesetzbuch sollen die kommunalen Bauleitpläne eine nachhaltige städtebauliche Entwicklung gewährleisten, die die sozialen, wirtschaftlichen und umweltschützenden Anforderungen auch in Verantwortung gegenüber künftiger Generationen miteinander in Einklang bringt. Den Erfordernissen des Klimaschutzes soll sowohl durch Maßnahmen, die dem Klimawandel entgegenwirken, als auch durch solche, die der Anpassung an den Klimawandel dienen, Rechnung getragen werden. Hinsichtlich der Anpassung an den Klimawandel hat der Deutsche Städtetag mit seinem Positionspapier Empfehlungen u. a. für Stadtplanung, Städtebau, Stadtgrün etc. veröffentlicht, die auch für die Entwicklung in Thüringen relevant sind (Deutscher Städtetag 2012).

Bauordnungsrecht: Nach § 3 der Thüringer Bauordnung sind bauliche Anlagen so anzuordnen, zu errichten, zu ändern und instand zu halten, dass die öffentliche Sicherheit oder Ordnung, insbesondere Leben, Gesundheit oder die natürlichen Lebensgrundlagen, nicht gefährdet werden. Dabei sind die von der obersten Bauaufsichtsbehörde als Technische Baubestimmungen eingeführten technischen Regeln (Normen etc.) zu beachten. Diese unterliegen einem stetigen Überprüfungs- und Aktualisierungsprozess, in den die Fachgremien der Bauministerkonferenz (ARGE-BAU) in Kooperation mit dem Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) und dem Deutschen Institut für Normung (DIN) e. V. involviert sind. Dabei spielt die Klimaentwicklung zunehmend eine Rolle. Diesbezüglich wurden beispielsweise die Betrachtungszeiträume für die Einwirkungen durch Schnee- und Windlasten im

Jahre 2006 von 25 auf 50 Jahre geändert und Werte korrigiert. Die Entwicklungen des Klimawandels werden weiterhin im Fokus dieser Arbeitsgremien stehen; notwendige Veränderungen der Kennwerte werden - auch unter Berücksichtigung der lokalen Spezifika - bundesweit in die Technischen Baubestimmungen einfließen.

4.9.1 Bauwerke

Schadensrisiken für Bauwerke ergeben sich vor allem aus Starkniederschlägen, Schneelasten und Sturmereignissen. Aus der Sicht des Bauwesens ist dabei neben der Auftrittshäufigkeit bestimmter Kenntage auch die Entwicklung der Intensität der Einzelereignisse von Interesse. Auch Blitzeinschläge und Hagelschauer zählen zu den Elementarrisiken für Bauwerke. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt ist die Klimaforschung aber noch nicht in der Lage, einzelne Gewitterzellen zu modellieren, so dass noch keine verifizierte Aussage über Gewitterhäufigkeit geschweige denn über deren regionale Verteilung gemacht werden kann. Grundsätzlich kann aber begründet davon ausgegangen werden, dass es in Thüringen zukünftig aufgrund eines höheren Energiegehaltes der Atmosphäre zu häufigeren und ggf. auch intensiveren Gewittern kommen wird.

Hinsichtlich der nachfolgenden Ausführungen ist anzumerken, dass der Gebäudeeigentümer / Verfügungsberechtigte verpflichtet ist, im Rahmen einer ordnungsgemäßen Bauunterhaltung die bausicherheitsrechtlichen Anforderungen zu gewährleisten. Hinweise für die Überprüfung der Standsicherheit hat die Bauministertagung im Jahre 2006 veröffentlicht. Bei den landeseigenen Liegenschaften wird entsprechend diesen Hinweisen seit Langem verfahren; nach den „Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Freistaats Thüringen (RLBau)“ finden zur Feststellung notwendiger Bauunterhaltungsmaßnahmen - analog den Richtlinien des Bundes (RBBau) - regelmäßige (jährliche) Baubegehungen unter Beteiligung der Staatsbauverwaltung statt.

Auswirkungen des Klimawandels

Schadensrisiken durch Starkniederschläge

Starkniederschläge sind für Gebäude vor allem mit indirekten Schadensrisiken verbunden. So haben die zahlreichen u. a. niederschlagsbeeinflussten Hochwasser an Rhein, Elbe, Oder und auch Saale der letzten beiden Jahrzehnte zu Gebäude- und Bauwerkschäden in deutlich zweistelligen Milliardenbereich geführt. Aber auch wenn Flüsse durch die Starkregenereignisse nicht über die Ufer treten, kann rückstauendes Grundwasser zu Schäden an und in unterirdischen Gebäudeteilen wie Kellern oder Parkhäusern

führen. Dieses Risiko besteht vor allem in Auen und auennahen Bereichen aber auch dort, wo die Grundwasserflurabstände naturgemäß gering ausfallen oder wo Gebäude in lokale Senken gebaut wurden. Unter dem Einfluss des Klimawandels muss kurz- und mittelfristig nicht mit grundsätzlich häufigeren Starkregenereignissen (hier definiert als Niederschlagsmengen $> 50\text{mm/d}$) gerechnet werden. Langfristig zeigt sich flächendeckend eine erhöhte Auftrittshäufigkeit von Tagesniederschlagsmengen $> 50\text{ mm}$, so dass diese zum Ende des Jahrhunderts nicht mehr durchschnittlich alle 10, sondern alle 5 Jahre auftreten werden (vgl. Abb. 21 und Abb. 22). Vergleichbare Aussagen können auch über die Intensität der Starkniederschläge getroffen werden. Diese Ergebnisse unterstreichen die gegenwärtig unternommenen Anstrengungen im Hochwasser- und Gebäudeschutz, die mit Blick auf das Ende des Jahrhunderts noch intensiviert werden müssen.

Schadensrisiken durch Schneelasten

Große Schneelasten können eine Gefahr für die Stabilität von Dachkonstruktionen bedeuten. Insofern ist das Schneelastschadenrisiko auch für die Bauten in Thüringen von großer Relevanz. Unter dem Einfluss des Klimawandels zeichnet sich in durchschnittlichen Jahren zwar ein flächendeckend robuster und deutlicher Trend zu abnehmenden Schneefallmengen ab, zumindest in West- und Mittelthüringen können einzelne extreme Schneefalltage zukünftig aber noch intensiver ausfallen, so dass hier die Gefahr von Schneelastschäden ansteigt und sich ein Anpassungsbedarf vor allem hinsichtlich der Bauwerkstatiken ergeben kann (vgl. Anhang, Abb. 25 und Abb. 38). Dies wird im Rahmen der Fortschreibung der Technischen Baubestimmungen zu prüfen sein.

Schadensrisiken durch Stürme

Starkwindereignisse können direkte Sturmschäden an Gebäuden hinterlassen (zum Beispiel teilweise oder gänzlich abgedeckte Dächer). Gebäude können aber auch indirekt durch Windbruch/-wurf von Straßen- bzw. Gartenbäumen einem Sturmschadenrisiko ausgesetzt sein. Unter dem Einfluss des Klimawandels wird die Auftrittshäufigkeit von schweren Stürmen (hier definiert als Tage mit Windböen $> 28\text{ m/s}$ – entspricht in etwa Beaufort 10) und mit ihnen die Gefahr von Sturmschäden an Gebäuden flächendeckend ab etwa Mitte des Jahrhunderts signifikant zunehmen. Zudem zeigt sich im südlichen Thüringen eine eindeutige Tendenz zu intensiveren Sturmereignissen (Abb. 41). Vor allem dann, wenn die häufigeren und intensiveren Extremereignisse mit Gewittern und Hagelschauern einhergehen, ergeben sich ein nicht unerheblich erhöhtes Risiko von Gebäudeschäden und damit eine Handlungsnotwendigkeit.

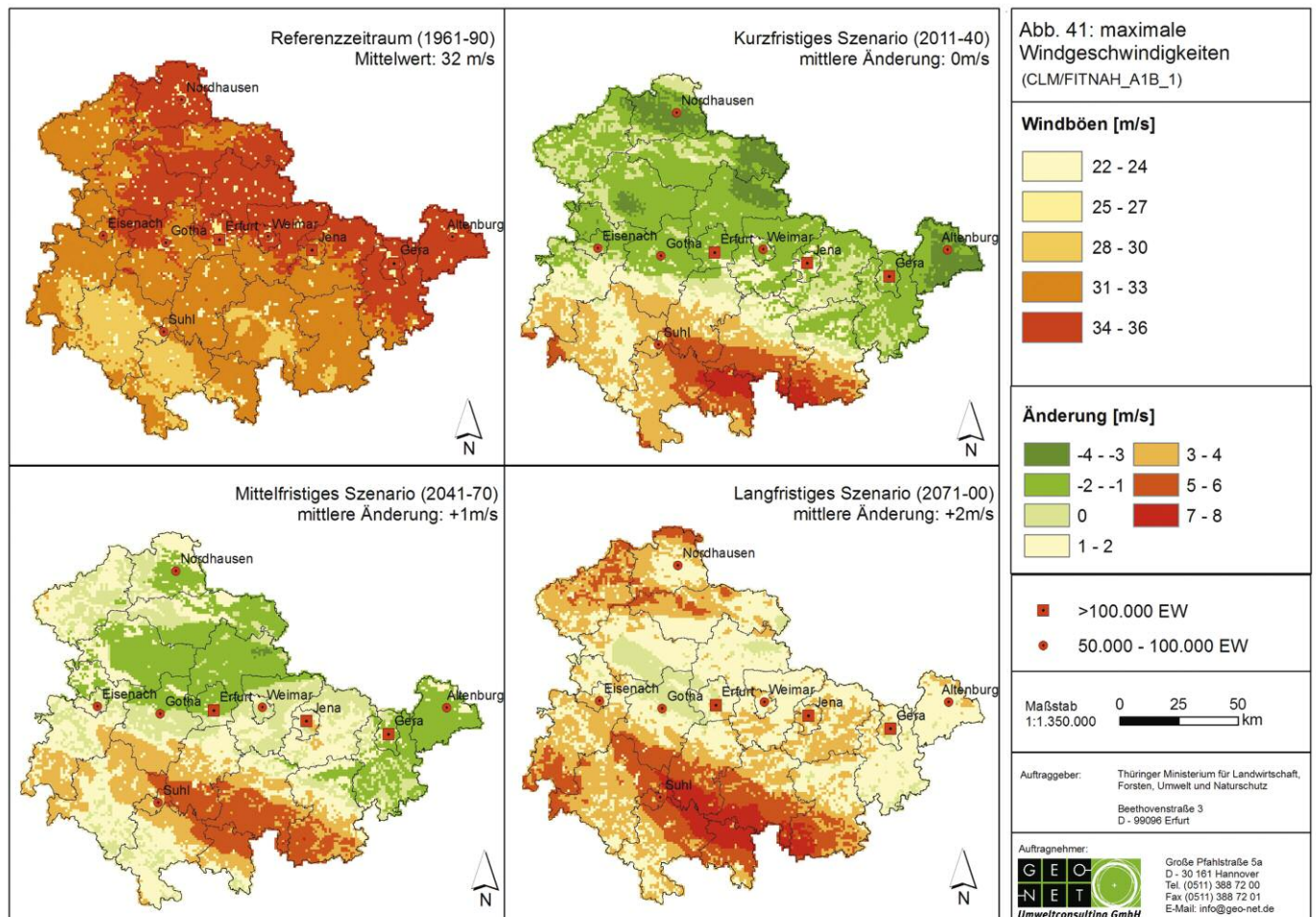


Abb. 41: Maximale Jahreswindböengeschwindigkeit in 10 m Höhe über der Erdoberfläche für die drei Klimaprojektionszeiträume im Vergleich zum Referenzzeitraum 1961 - 1990

Maßnahmen

Schadensrisiken durch Starkniederschläge

Die Begegnung von Hochwasserrisiken ist in erster Linie die Aufgabe der Wasserwirtschaft und des Katastrophenschutzes, so dass hier auf die entsprechenden Maßnahmenportfolios in den Kapiteln 4.2.1 und 4.11 verwiesen wird. Aus der handlungsfeldspezifischen Sicht des Bauwesens bestehen Risikomanagementoptionen vor allem darin, hochwassergefährdete Gebiete weitgehend von Bauwerken freizuhalten (BA01), bauliche Vorsorgemaßnahmen zu treffen sowie die im nichtöffentlichen Bereich bestehenden Bauwerke verstärkt gegen Elementarschäden zu versichern (BA02). Aktuell werden unter Federführung des TMLFUN die „Leitlinien Hochwasserrisikomanagement des Freistaats Thüringen“ erarbeitet, die sich auch mit der Bauvorsorge bei Hochwassergefahren befassen.

Schadensrisiken durch Schneelasten und Stürme

Der zentrale Ansatz, um den sich ändernden Auftrittshäufigkeiten und insbesondere Intensitäten von Extremwetterereignissen im Bauwesen zu begegnen, ist die Überprüfung und ggf. Fortschreibung der Technischen Baubestimmungen – insbesondere der Technischen Regeln zu Grundlagen der Tragwerksplanung und Einwirkungen. Hinsichtlich der Einwirkungen durch Windlasten und Schneelasten sind in den Nationalen Anhängen zu DIN EN 1991 (Eurocode 1) Schneelastzonen und Windlastzonen festgelegt, die in Verbindung mit den Zuordnungen nach Verwaltungsgrenzen parzellenscharfe Anwendungen ermöglichen. Da alle Regionen von Veränderungen hinsichtlich Auftrittshäufigkeit und Intensität betroffen sind, bedarf es bundesweiter Abstimmungen und Festlegungen (BA03).

Private/gewerbliche Gebäudeeigentümer können auf die steigenden Risiken – über die Anwendung der Technischen Baubestimmungen und einer ordnungsgemäßen Bauunterhaltung hinaus – mit dem Abschluss von Elementarschadenversicherungen reagieren (BA04). Hinsichtlich einer Gefährdung durch extreme Schneelasten wird in den vorgeannten Empfehlungen der Bauministerkonferenz insbesondere auch auf die Feststellung der zulässigen Schneebelastung der Konstruktion hingewiesen mit der Konsequenz, ggf. das Dach zu beräumen (BA05).

Tab. 19: Maßnahmen zur Klimafolgenanpassung im Handlungsfeld Bauwesen (Bauwerke)

Schadensrisiken durch Starkniederschläge			
BA01	Freihalten hochwassergefährdeter Gebiete von Bauvorhaben (Bauleitplanung)	Zeitliche Dringlichkeit	hoch (bis 3 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	findet bereits Beachtung
		Zuständigkeit	Kommunen
		Kosten	keine
BA02	Abschließen von Elementarschadenversicherungen	Zeitliche Dringlichkeit	kann später erfolgen (> 10 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	langfristig (> 10 Jahre)
		Zuständigkeit	private / gewerbliche Eigentümer
		Kosten	nicht einschätzbar
Schadensrisiken durch Schneelasten und Stürme			
BA03	Überprüfung und ggf. Fortschreibung der Technischen Baubestimmungen	Zeitliche Dringlichkeit	hoch
		Zeitliche Umsetzbarkeit	ständige Anpassung möglich
		Zuständigkeit	Land / ARGEBAU
		Kosten	keine
BA04	Abschließen von Elementarschadenversicherungen	Zeitliche Dringlichkeit	kann später erfolgen (> 10 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	langfristig (> 10 Jahre)
		Zuständigkeit	private / gewerbliche Eigentümer
		Kosten	nicht einschätzbar
BA05	Räumung von Dächern bei Erreichen der zulässigen Schneelast	Zeitliche Dringlichkeit	hoch
		Zeitliche Umsetzbarkeit	ständig
		Zuständigkeit	alle Gebäudeeigentümer / Verfügungsberechtigte
		Kosten	nicht einschätzbar

4.9.2 Stadtklima und Innenraumklima

Auswirkungen des Klimawandels

Einige Altbauten neigen unter hohen Temperaturen zu starker Aufheizung, was den Aufenthalt für die Bewohner oftmals sehr unangenehm werden lässt und insbesondere bei Kleinkindern, Menschen mit Vorerkrankungen und älteren Menschen zu gesundheitlichen Problemen führen kann (vgl. Kap. 4.1). Durch stadtklimatische Effekte können sich die Problemlagen noch zusätzlich verschärfen. An der klimawandelbedingten Entwicklung der Auftretshäufigkeit von Hitzetagen in durchschnittlichen und extremen Jahren lässt sich das Überhitzungsrisiko von Gebäuden abschätzen. Für den Freistaat Thüringen ist mit einem robusten und flächendeckenden Trend zu deutlich häufigeren Hitzeereignissen zu rechnen (vgl. Abb. 17). Diese Tendenz wird insbesondere dort

stark ausprägt sein, wo bereits heute die höchsten Werte erreicht werden: Im nördlichen Teil des Freistaates. Insbesondere für sensible Nutzungen (soziale Einrichtungen, Einrichtungen des Gesundheitswesens) und Bauwerke (nicht energetisch sanierte Altbaubestände) innerhalb der Großstädte Erfurt, Jena und Gera ergibt sich hieraus, vor allem auch unter Berücksichtigung stadtklimatischer Effekte, eine besondere Betroffenheit und Handlungsnotwendigkeit (vgl. Abb. 18).

Die leistungsseitige Auslegung von Anlagen mit maschineller Kühlung basiert auf der höchsten Temperatur, die in Extremjahren an drei aufeinanderfolgenden Tagen der Vergangenheit gemessen worden ist. Wie Abb. 42 verdeutlicht, wird sich der Kennwert für die heißen Tage unter dem Einfluss des Klimawandels flächendeckend deutlich erhöhen. Die stärksten Zunahmen sind dabei im Bereich des Thüringer Waldes zu erwarten. Eine ähnliche, aber

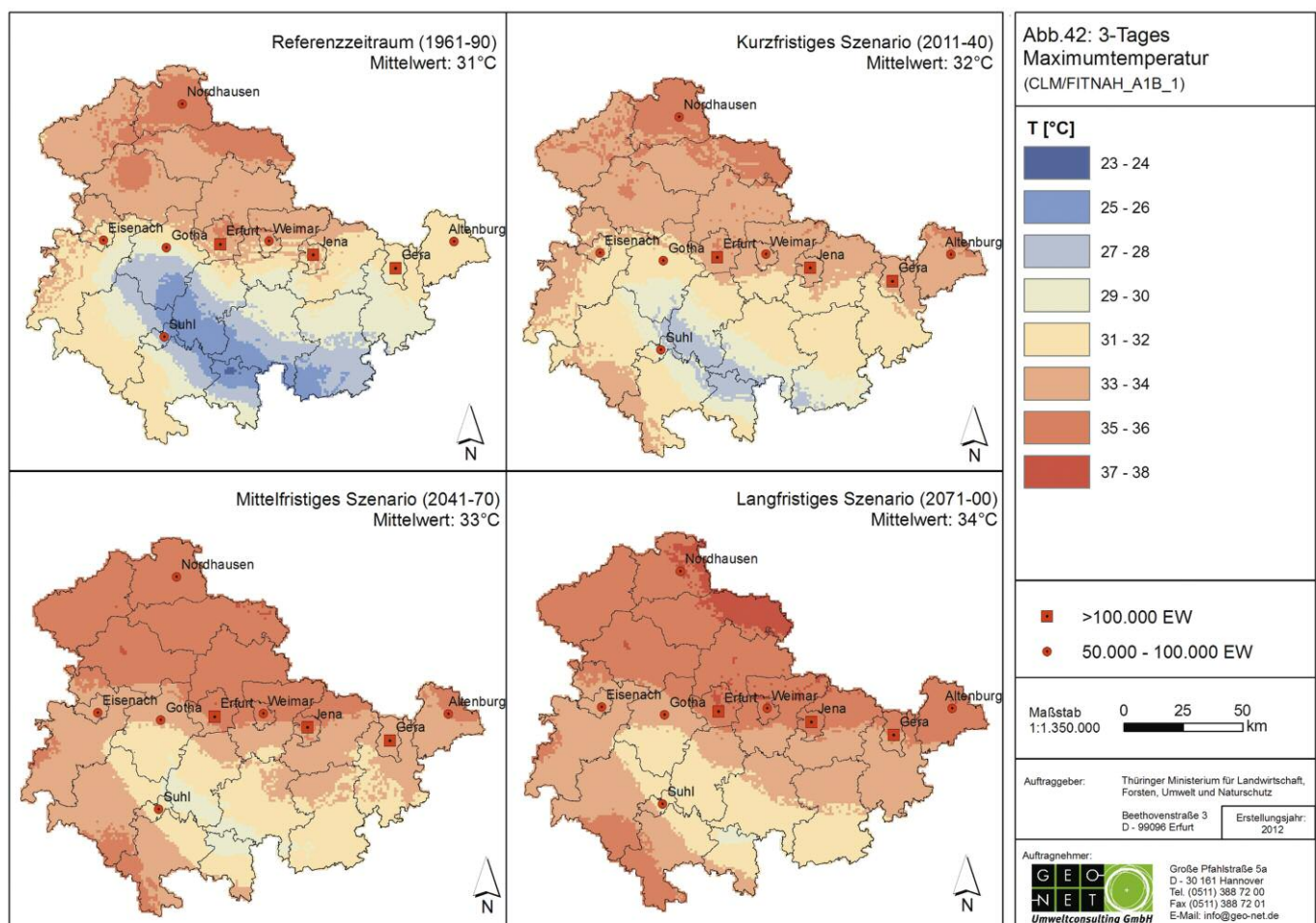


Abb. 42: 3-Tagesmaximumtemperatur in Extremjahren für die drei Klimaprojektionszeiträume und den Referenzzeitraum 1961 - 1990

verzögert ablaufende Entwicklung kann für das andere Ende der Temperaturskala attestiert werden (Anhang, Abb. 27). Diese Entwicklung ist bei der zukünftigen Fortschreibung der Bemessungsgrundlagen auf Bundesebene zu beachten.

Maßnahmen

Innenraumklima

Der zunehmenden Hitzebelastung in Gebäuden während der Sommermonate kann grundsätzlich durch eine Vielzahl von Maßnahmen begegnet werden. Die einzelnen Maßnahmen können sich dabei ergänzen und zielen letztlich darauf ab, die Aufheizung der Innenräume zu vermindern bzw. zu begrenzen. Dabei sind vorrangig bauliche Lösungen anzustreben, um den Einsatz energieintensiver Anlagen zu vermeiden.

Geeignete Maßnahmen zum sommerlichen Wärmeschutz (BA06) sind für jedes Einzelobjekt unter Berücksichtigung der nutzungsspezifischen Aspekte, Standortbedingungen und Ausgangssituation (Bestandssituation / Neubauplanung) zu betrachten. Eine optimale Gebäudeexposition, Verschattung durch Laubbäume, effektive Verschattungsvorrichtungen, Spezialverglasung sind wesentliche Beiträge zur Verminderung des Wärmeeintrags. Weitere Komponenten des sommerlichen Wärmeschutzes sind Wärmespeicherfähigkeit und Dämmeigenschaften der Gebäudehülle, Einplanung / Nutzung passiver Nachtauskühlung, etc. Entsprechend der stetigen Forschung und Entwicklung im Bauwesen sind zukünftig weitere innovative Technologien zu erwarten.

Vor allem in Gebäuden mit sensiblen Nutzungen wird sich vermehrt auch die Notwendigkeit einer maschinellen Kühlung ergeben, wobei energieeffiziente Lösungen wie beispielsweise Kühlung durch Bauteilaktivierung unter Nutzung erneuerbare Energien geprüft werden sollten.

Der energetischen Sanierung des Altbaubestandes kommt aufgrund seines hohen Anteils eine besondere Bedeutung zu (BA07). Eine der Spezifik des Bauwerks angepasste energieeffiziente Gebäudehülle senkt nicht nur den Heizenergiebedarf im Winter, sondern trägt auch zur Reduzierung des Aufheizungspotenzials des Gebäudes in den Sommermonaten bei. Zudem ist die energetische Sanierung ein wichtiger Beitrag zur Minderung der Treibhausgasemissionen und somit zum Klimaschutz (Synergieeffekte).

Baurechtliche Regelungen zum sommerlichen Wärmeschutz bestehen durch die Vorgaben der Energieeinsparverordnung in Verbindung mit den Bestimmungen der DIN 4108 Teil 2 (Sommerli-

cher Wärmeschutz) für beheizte Neubauten. Danach sind Wohn- und Nichtwohngebäude so auszuführen, dass die Grenzwerte der Innentemperaturen für sommerkühle Regionen 25 °C, für gemäßigte Regionen 26 °C und für sommerheiße Regionen 27 °C an nicht mehr als 10 % der Aufenthaltszeit überschritten werden sollen. Das Thüringer Gebiet ist zurzeit den Sommerklimaregionen sommerkühl und gemäßigt zugeordnet. Im Hinblick auf die Klimaentwicklung wird diese Norm bei der zukünftigen Fortschreibung überprüft werden müssen (BA08). Für den Gebäudebestand besteht in baurechtlicher Hinsicht Bestandsschutz. Im Rahmen der Eigenverantwortung obliegt es den Gebäudeeigentümern, bei Bedarf entsprechende Vorsorgemaßnahmen zu treffen.

Für die staatlichen Hochbaumaßnahmen des Landes gelten Leitlinien für den Klima- und Ressourcenschutz sowie die Energieeinsparung (Abschnitt K 21 der Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Freistaats Thüringen - RL Bau). Dabei sind insbesondere auch Planungshinweise zum sommerlichen Wärmeschutz gegeben, die bei Neubau- und Sanierungsmaßnahmen zu beachten sind. Der Staatliche Hochbau hat in den vergangenen zwanzig Jahren unter Beachtung der Standards zum sommerlichen Wärmeschutz ein enormes Neubau- und Sanierungsprogramm umgesetzt. Insofern ist der Landesbau auf gutem Weg, mit den noch anstehenden Neubau- und Sanierungsmaßnahmen die Anpassung sukzessive umzusetzen (Vorbildwirkung).

Stadtklima

Die öffentliche Hand zeichnet für die Abschwächung des „urban heat“-Phänomens hauptverantwortlich. Hier kann über die stadtplanerische Sicherung bzw. Neuschaffung von Kaltluftschneisen sowie die aktive Abkühlung des Stadtkörpers z. B. durch Entsiegelungsprogramme ein Anpassungsbeitrag geleistet werden. Darüber hinaus haben die Städte und Gemeinden die Möglichkeit, über das bestehende formale und informelle Planungsinstrumentarium möglichst früh den Weg für eine energieeffiziente Planung zu ebnen und Hemmnisse abzubauen. Als Verantwortliche für die Flächennutzungs- und Bebauungspläne haben sie die Chance, wichtige Rahmenbedingungen für den Klimaschutz und die Umsetzung von Energieeffizienzmaßnahmen in vielen Bereichen vorzugeben wie zum Beispiel bei

- der ökologisch sinnvollen Ausgestaltung von Wohnbau- und Gewerbegebieten mit Möglichkeiten zur Anwendung erneuerbarer Energien und zur Steigerung der Energieeffizienz,
- der Erneuerung und Bereitstellung der technischen und sozialen Infrastruktur,
- der Brachflächenreaktivierung mit Entsiegelungs-, Begrünungs- und der Dichtereduzierungsmöglichkeiten.

Daneben kommt die „energetische Stadtsanierung“ im Rahmen von städtebaulichen Sanierungs- oder Stadtumbaumaßnahmen in Betracht.

Weitere ausführliche Empfehlungen hinsichtlich Anpassungsmaßnahmen hat der Deutsche Städtetag in seinem Positionspapier vom 20. Juni 2012 veröffentlicht. Es obliegt den Städten und Gemeinden, im Rahmen der kommunalen Selbstverwaltung Maßnahmen zur Klimaanpassung vor Ort festzulegen (BA09).

Tab. 20: Maßnahmen zur Klimafolgenanpassung im Handlungsfeld Bauwesen (Stadt- und Gebäudeklima)			
BA06	Berücksichtigung des sommerlichen Wärmeschutzes bei der Gebäudeplanung	Zeitliche Dringlichkeit	hoch
		Zeitliche Umsetzbarkeit	ständige Aufgabe
		Zuständigkeit	alle Bauherren / Eigentümer / Verfügungsberechtigte
		Kosten	nicht einschätzbar
BA07	Energetische Sanierung des relevanten Altbaubestandes	Zeitliche Dringlichkeit	hoch
		Zeitliche Umsetzbarkeit	ständig
		Zuständigkeit	alle Eigentümer / Verfügungsberechtigte
		Kosten	nicht einschätzbar
BA08	Überprüfung und ggf. Fortschreibung der DIN 4108-2 (sommerlicher Wärmeschutz)	Zeitliche Dringlichkeit	mittel
		Zeitliche Umsetzbarkeit	ständige Anpassung möglich
		Zuständigkeit	Normenausschuss DIN e.V.
		Kosten	gering
BA09	Anpassungsmaßnahmen der Kommunen (Stadtplanung, Städtebau, Stadtgrün)	Zeitliche Dringlichkeit	mittel
		Zeitliche Umsetzbarkeit	ständig
		Zuständigkeit	Kommunen
		Kosten	nicht einschätzbar

4.10 Energiewirtschaft

Energie gehört zu den Megathemen der Zukunft. Dieses gilt global ebenso wie im Freistaat Thüringen. Daher hat die Landesregierung, auch vor dem Hintergrund der politischen Diskussionen um den Atomausstieg, ein Eckpunktepapier zur Energiewende verabschiedet und darin u. a. drei zentrale energiepolitische **Leitlinien** formuliert, die die Energiewende im Freistaat nachhaltig steuern sollen. Demnach ist es das erste Ziel Thüringens, die Energieversorgungssicherheit im Freistaat nachhaltig zu gewährleisten. Dieses soll durch eine integrative Entwicklung von erneuerbaren Energien, Netzen und Speichern erreicht werden. Zweitens wird das Ziel verfolgt, die Bezahlbarkeit einer solchen Energieversorgung zu sichern. In diesem Zusammenhang werden eine Stärkung der dezentralen Energieerzeugung sowie eine Unterstützung kommunaler Stadtwerke angestrebt. Zum Dritten soll auch eine umwelt- und klimaverträgliche Energieversorgung durchgesetzt werden. Hierbei kommen sowohl dem weiteren Ausbau der erneuerbaren Energien, als auch der Steigerung der Energieeffizienz sowie Energieeinsparungen zentrale Rollen zu. Konkret hat sich der Freistaat Thüringen das Ziel gesetzt, den Anteil regenerativer Energien am Nettostromverbrauch bis 2020 auf 45 % (2010: 23,2 %) sowie am Endenergieverbrauch auf 30 % (2010: 19,1 %) zu erhöhen (Freistaat Thüringen 2011). Darüber hinaus wurde im Rahmen der Nachhaltigkeitsberichterstattung des Freistaats der Zielwert formuliert, den energiebedingten CO₂-Ausstoß bis 2020 um 10 Prozentpunkte gegenüber dem Jahr 2010 zu senken (Nachhaltigkeitsbeirat Thüringen 2012).

Mit dieser Zielformulierung ist das Jahr 2020 als wichtiger zeitlicher **Planungshorizont** der Energiewirtschaft benannt. Unter Berücksichtigung der Ziele der Bundesregierung zum Ausbau der erneuerbaren Energien und der Energienetze besitzt aber auch ein darüber hinaus gehender Zeitraum mindestens bis 2050 für die Energiewirtschaft eine Relevanz. Neben dem erwähnten Eckpunktepapier zur Energiewende stellen der auf seiner Grundlage erarbeitete „Thüringer Bestands- und Potenzialatlas für erneuerbare Energien“ (TMWAT 2011a), das in Aufstellung befindliche Landesentwicklungsprogramm 2025 sowie die landesspezifischen Förderprogramme zur Energieeffizienz und zum Ausbau der EE die wichtigsten landespolitischen **Planungsgrundlagen bzw. -instrumente** für die Thüringer Energiewirtschaft dar. Für Betreiber von EE-Anlagen gehören vor allem die Konfiguration und Standortplanungen ihrer Anlagen (z. B. Micrositing von Windkraftparks) zu diesen Instrumenten. Die Aktivitäten im Freistaat werden auf der übergeordneten Ebene durch die politischen Beschlüsse der Bundesregierung (z. B. zum Netzausbau oder zur Novellierung des EEG) gesteuert, so dass Richtung und Geschwindigkeit der Energiewende in Thüringen sowohl durch interne als auch externe Faktoren bestimmt werden.

Im Regelfall wird die Energiewirtschaft als einer der Schlüsselfelder für einen erfolgreichen Klimaschutz betrachtet. Allerdings weisen Teile der Energiewirtschaft auch selbst eine bedeutende **Klimasensitivität** auf: Windkraftanlagen sind optimiert für mittlere Windgeschwindigkeiten, Solarthermie- und Photovoltaikanlagen erzeugen aus kurzwelliger Sonneneinstrahlung Wärme und Strom, Wasserkraftwerke sind auf einen kontinuierlichen Zufluss angewiesen und die Erzeugung von energetisch verwertbarer Biomasse wird unmittelbar von den Faktoren Licht, Wasser und Temperatur bestimmt. Darüber hinaus sind auch die Funktionsfähigkeit der kritischen Energieinfrastruktur (z. B. unter Extremwetterbedingungen) sowie der Energieverbrauch zur Beheizung und Kühlung von Bauwerken wichtige klimasensible Teilsysteme der Energiewirtschaft.

Neben dem Klimawandel wird die Energiewirtschaft bzw. die Energiewende zukünftig noch durch weitere sozioökonomische Faktoren beeinflusst. Hier spielt insbesondere die technologische Entwicklung in den Bereichen Energieeffizienz von Netzen, Speichern und Erneuerbare Energien eine zentrale Rolle. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Effizienz sowohl der Energieerzeugung als auch auf Seiten des Energieverbrauchs weiter steigen wird. Für den Energiebedarf ist zusätzlich der demografische Wandel von Bedeutung. Grundsätzlich ist in diesem Zusammenhang davon auszugehen, dass die Bevölkerungszahlen in Thüringen rückläufig sein werden (vgl. Abb. 20) und daher auch weniger Energie verbraucht wird. Neben der Effizienz und des Bedarfs weist auch die Entwicklung der politischen und rechtlichen Rahmenbedingungen auf der globalen, europäischen und nationalen Ebene eine große Bedeutung für die Energiewirtschaft in Thüringen auf. Auch wenn Details nicht prognostizierbar sind, kann grundsätzlich davon ausgegangen werden, dass die begonnene Energiewende zumindest in Deutschland weiter vorangetrieben wird. Einen wichtigen Faktor stellt hier letztlich auch die Akzeptanz der Bevölkerung dar, vor allem im Zusammenhang mit Entwicklungen wie steigender Energiepreise oder Belastung des Landschaftsbildes durch Stromnetze und EE-Anlagen.

4.10.1 Erneuerbare Energien

Innerhalb der erneuerbaren Energien erreichte in Thüringen die Windkraft mit 40,5 % im Jahr 2011 den zweitgrößten Anteil an der regenerativen Stromerzeugung. Auch die Solarenergie und die Wasserkraft nehmen eine wichtige Funktion für die Versorgungssicherheit wahr (Abb. 43). Diese drei Energieträger werden im Folgenden hinsichtlich der für sie zu erwartenden Klimafolgen und adäquater Anpassungsmaßnahmen thematisiert. Eine wesentliche Bedeutung für die Thüringer Energiewirtschaft besitzt darüber hinaus die Umwandlung von Biomasse in Strom und Wärme.

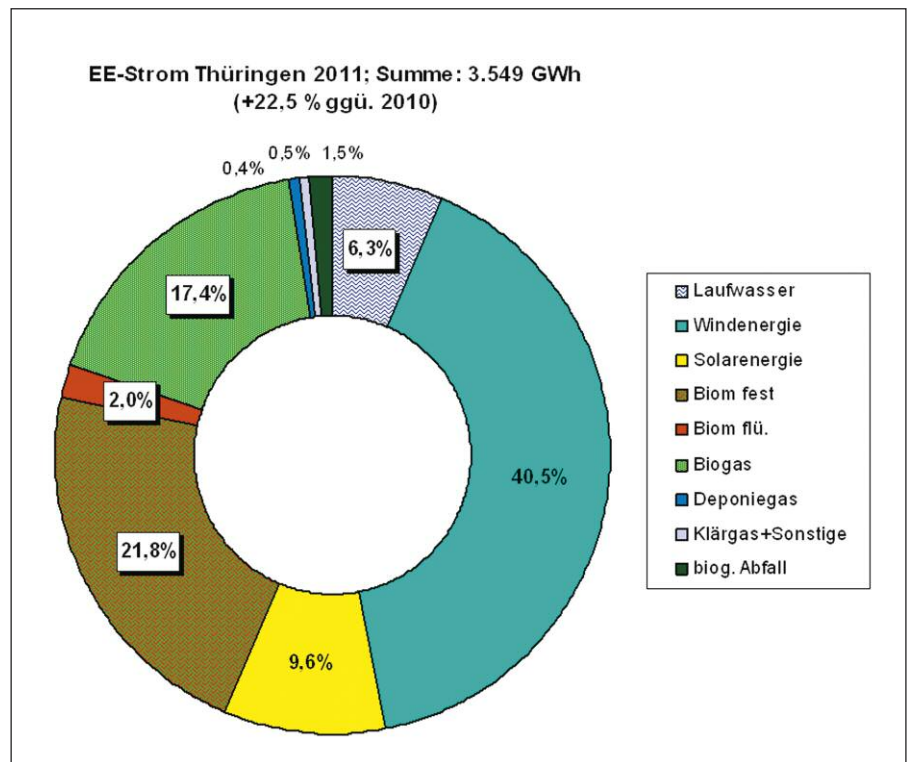


Abb. 43: Prozentuale Verteilung der erneuerbaren Stromerzeugung (Endenergie) in Thüringen 2011

Für dieses Segment wird auf die Ausführungen zur Forst- und Landwirtschaft verwiesen (Kapitel 4.3.1 und 4.5.1).

Auswirkungen des Klimawandels

Windkraft

Die Windkraft spielt bei der Energiewende eine tragende Rolle. In Thüringen leistet sie schon heute einen elementaren Beitrag zur regionalen Energieversorgung (Abb. 43). Die Windkraftnutzung konzentriert sich gegenwärtig vor allem in den nördlichen Landkreisen Thüringens. Die größten Leistungen sind im Unstrut-Hainich-Kreis sowie im Kyffhäuserkreis installiert (Anhang, Abb. 28).

Im Zusammenhang mit den Auswirkungen des Klimawandels lautet die zentrale Frage, ob die bestehenden und zukünftig zu errichtenden WKA ihre auf Basis von Mess- und Modelldaten für die Gegenwart errechneten Ertragspotentiale auch unter dem Einfluss des Klimawandels erreichen können bzw. ob die Gunsträume von heute auch die Gunsträume von morgen sind. In Kapitel 3.2.3 wurde in diesem Zusammenhang gezeigt, dass die durchschnitt-

liche Jahreswindgeschwindigkeit bezogen auf 10 m über Grund in allen Projektionszeiträumen im Vergleich zum Referenzzeitraum flächendeckend um für die Windkraftbranche durchaus relevante Größenordnungen von 0,2 - 0,3 m/s (vereinzelt auch um 0,5 m/s) zurückgehen wird.

Diese zunächst als ungünstig einzustufende Entwicklung ist für die Windenergieerzeugung aber nur dann von Relevanz, wenn sich der Rückgang auch in Windgeschwindigkeiten im Bereich der Nennleistung der WKA widerspiegelt. Die Nennleistung liegt für Anlagen, die dem Stand der Technik entsprechen bei 12 - 25 m/s in 120 m Höhe. Unter Zugrundelegung des logarithmischen Windprofils einer Anlage in landwirtschaftlicher Umgebung entspricht dieser Wert näherungsweise 8 - 18 m/s in 10 m Höhe (meteotest 2012). Wie Abb. 44 zeigt, ist für diese Spannweite mit einer robusten, flächendeckenden und bereits im kurzfristigen Projektionszeitraum vorhandenen Abnahme der Auftrittshäufigkeit gegenüber dem Referenzzeitraum zu rechnen. Die größten Abnahmen ergeben sich dabei voraussichtlich im Bereich des Thüringer Waldes. Hier wird die durchschnittliche Windgeschwindigkeit im Nennleistungsbereich einer WKA an ca. 30 Tagen pro Jahr sel-

tener erreicht. Demgegenüber werden Tage mit $U_{\text{mittel}} < 2 \text{ m/s}$ (entspricht etwa 4 m/s in 120 m Höhe) und $U_{\text{max}} > 18 \text{ m/s}$ (entspricht etwa $> 25 \text{ m/s}$ in 120 m Höhe), an denen eine WKA aufgrund zu geringer Windgeschwindigkeiten nicht anlaufen bzw. aufgrund zu hoher Windgeschwindigkeiten (zeitweise) abgeschaltet werden müssen, spätestens ab Mitte des Jahrhunderts flächendeckend deutlich zunehmen, auch und vor allem im Kyffhäuser- und Unstrut-Hainich-Kreis (Anhang, Abb. 29 und Anhang, Abb. 30). Aus dieser Entwicklung kann eine dringende Handlungsnotwendigkeit hinsichtlich der technischen Ausstattung der installierten WKA abgeleitet werden.

Solarenergie

Die unmittelbare Nutzung der Sonnenenergie in Form von Strom aus Photovoltaikanlagen hatte in Thüringen im Jahr 2011 einen Anteil von nahezu 10 % an der regenerativen Stromerzeugung

(Abb. 43). Der Anteil der solarthermischen Nutzung an erneuerbaren Energien im Wärmesektor lag bei ca. 1,2 %. Ein bedeutender Teil der solarenergetischen Anlagen befindet sich auf Privätdächern, so dass dieser Bereich der Energiewirtschaft eine besondere Relevanz für die breite, vor allem ländliche bis suburbane Bevölkerung aufweist. Den entscheidenden Parameter für beide Solarenergien stellt die Intensität und Dauer der kurzwelligen Einstrahlung dar. Diese kann durch die Sonnenscheindauer (definiert als die Zeiteinheit, in der eine kurzwellige Einstrahlung 120 W/m^2 übersteigt) operationalisiert werden. Eine Regionalisierung der Sonnenscheindauer war im Rahmen dieses Projektes aufgrund der aktuell nur großräumig möglichen Modellierung von Wolkenbildungen nicht möglich, so dass hier auf das ursprüngliche Rengitter des regionalen Klimamodells CLM von ca. $18 \times 18 \text{ km}$ zurückgegriffen werden muss.

Da die Nutzung von Solarenergie einer sehr viel stärkeren innerjährlichen Schwankung unterworfen ist als die übrigen regenera-

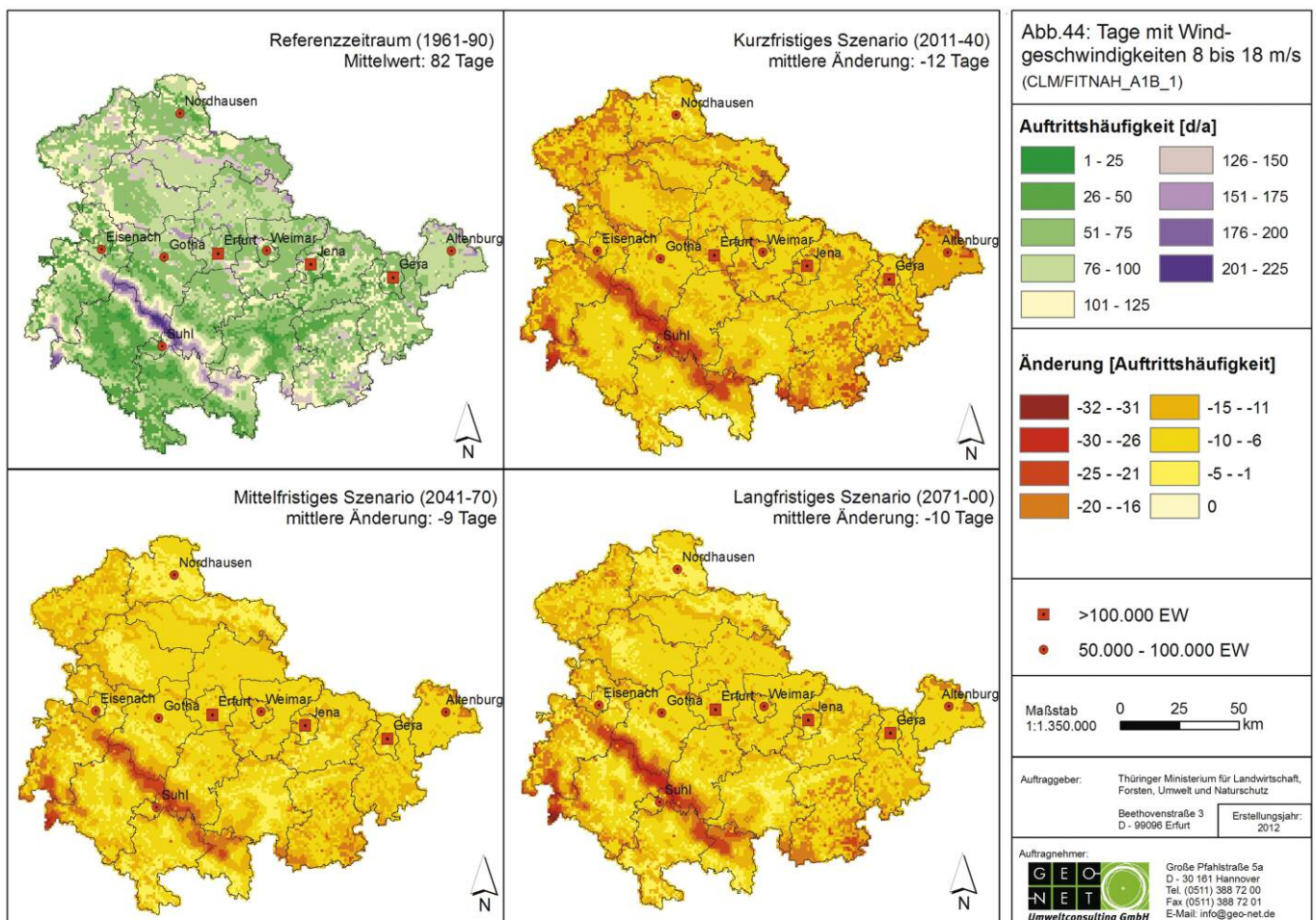


Abb. 44: Durchschnittliche jährliche Auftrittshäufigkeit von mittleren Tageswindgeschwindigkeiten zwischen 8 und 18 m/s für die drei Klimaprojektionszeiträume im Vergleich zum Referenzzeitraum 1961 - 1990

tiven Energieträger, spielen für die unterschiedlichen Nutzungsarten der Solarenergie (Solarthermie und Photovoltaik) saisonale Entwicklungen eine sehr viel größere Rolle als jährliche. So sind für PV-Anlagen vor allem die Sommermonate Juni, Juli und August von besonderem Interesse, weil hier 40 - 50 % der Energiemenge produziert wird. Für diesen Jahresabschnitt ist mit einem robusten Trend zu einer flächendeckend moderat steigenden Sonnenscheindauer zu rechnen (Abb. 19). Dabei ergibt sich die stärkere relative Zunahme im Süden und Südwesten, mit Werten von bis zu 9 % in den Mittelgebirgsregionen, die im Referenzzeitraum zu den eher weniger begünstigten Standorten zählen. Da die Werte in den übrigen Jahreszeiten konstant bleiben bzw. im Winter leicht abnehmen, ergibt sich die Chance, dass Photovoltaik-Anlagen zukünftig einen größeren Anteil zur Stromproduktion beitragen wer-

den. Es sollte geprüft werden, ob diese positive Entwicklung durch Maßnahmen unterstützt bzw. gefördert werden kann.

Für solarthermische Anlagen sind hingegen insbesondere die Übergangsjahreszeiten von Belang. Denn im Sommer liegt die Auslastung der Anlagen schon heute bei konstant 100 %, während im Winter auch unter dem Einfluss des Klimawandels kein nennenswerter Beitrag zur Wärmeversorgung zu erwarten ist. Im Laufe des Jahrhunderts zeigt sich für die Monate März bis Mai und September bis November kein robuster Trend (Abb. 45). Kurzfristig ist flächendeckend mit moderaten Zunahmen, mittel- und langfristig eher mit leichten Abnahmen zu rechnen. Aus der Analyse kann für die Solarthermie also weder eine Chance noch ein Risiko und damit auch keine Handlungsnotwendigkeit abgeleitet werden.

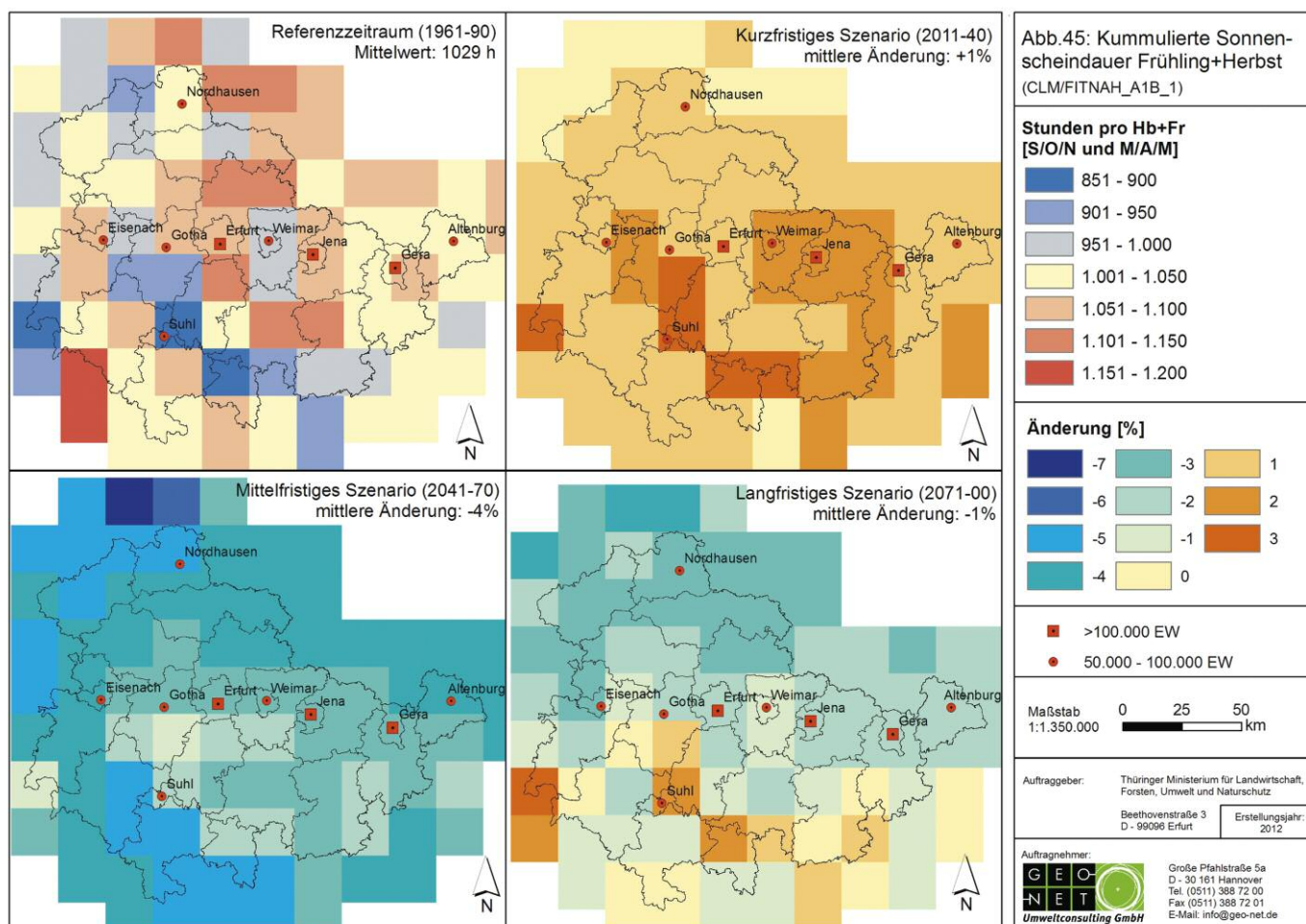


Abb. 45: Kummulierte durchschnittliche Sonnenscheindauer in den Monaten März bis Mai und September bis November für die drei Klimaprojektionszeiträume im Vergleich zum Referenzzeitraum 1961 - 1990

Wasserkraft

Auch wenn die Wasserkraft von der installierten Leistung her eine eher untergeordnete Rolle im Freistaat spielt, so besitzt sie als konstant zur Verfügung stehender Puffer doch eine besondere Bedeutung für die Versorgungssicherheit von Wirtschaft und Bevölkerung (Anteil an regenerativer Energieerzeugung 2011 von gut 6 %, vgl. Abb. 43). Vor allem die Saale und die Werra sowie in geringem Umfang auch die Weiße Elster unterliegen einer intensiven Nutzung durch Wasserkraftanlagen. Die größte Anlage Thüringens ist das Wasserkraftwerk Spichra an der Werra an der Grenze zu Hessen mit einer Leistung von 1,1 MW (Anhang, Abb. 31).

Inwiefern die Wasserkraft auch zukünftig ihre wichtige Pufferfunktion erfüllen kann, hängt primär von den Wasserständen der sie speisenden Fließgewässer ab. Diese wiederum sind eng verknüpft mit den Niederschlagsmengen in ihrem Einzugsgebiet. Aufgrund der Regulierbarkeit der meisten Fließgewässer können normale Niederschlags- und Pegelstandsschwankungen technisch gepuffert werden. Langanhaltende Trockenperioden, die mit der Gefahr von deutlich und längerfristig sinkenden Wasserständen im Fließgewässer verbunden sind, können hingegen einen erheblichen Einfluss auf die Leistungsfähigkeit der Anlagen ausüben. Derlei Trockenperioden (hier definiert als 11 aufeinanderfolgende Tage ohne Niederschlag) werden unter dem Einfluss des Klimawandels fast flächendeckend häufiger (und vermutlich auch länger) andauern als im Referenzzeitraum 1961 - 1990. Hiervon sind insbesondere die Einzugsgebiete von Saale und Werra betroffen, an denen die leistungsstärksten Anlagen liegen (Abb. 23). Unter der Prämisse, dass bestehende oder zu entwickelnde hydrologische Modelle, die zusätzlich hier nicht abgebildete Abflussbildungsorte berücksichtigen können, zu einem vergleichbaren Ergebnis kommen, kann aus dieser Entwicklung eine dringende Handlungsnotwendigkeit für die betroffenen Wasserkraftwerke bzw. eines intensiveren Niedrigwassermanagements abgeleitet werden. Dieses gilt umso mehr, da es zukünftig nicht

nur zu häufigeren Trockenperioden, sondern auch zu höheren Temperaturen und damit zu erhöhten Verdunstungsraten kommen wird, die sich ebenfalls wasserstandssenkend auswirken können.

Maßnahmen

Der zentrale Ansatz im energiewirtschaftlichen Themenfeld der erneuerbaren Energien sollte es sein, den Klimawandel weiterhin sowohl in grundsätzlichen politischen Entscheidungsprozessen und Zielformulierungen zu implementieren (EW01) als ihn auch in konkreten privatwirtschaftlichen Technologieentwicklungen, Investitionsentscheidungen und Standortplanungen zu berücksichtigen (EW02). In einem ersten Schritt sollten hierfür beispielsweise räumlich hochaufgelöste Wind- und Solarpotenzialstudien für Thüringen erstellt werden, die auch den lokalen Klimawandel thematisieren (EW03). Die im Rahmen von IMPAKT erzeugten Klimadaten bilden hierfür eine solide Datenbasis, die zur Unterstützung von konkreten (Investitions-)Entscheidungen aber einer noch höheren räumlichen Auflösung für konkrete Standorte bedarf, was anhand eines Modellprojektes (z. B. für einen aktuell in Planung befindlichen Windpark) demonstriert werden könnte (EW04).

Insbesondere die zu erwartenden klimawandelbedingten Entwicklungen im Wind- und Solarbereich zeigen, dass dem bereits heute existierenden Bedarf an Speichertechnologien zukünftig ein noch höherer Stellenwert beigemessen werden kann, so dass hier weitere Marktanreize geschaffen bzw. Förderprogramme aufgelegt werden sollten (EW05). Auch die Einbindung der Klimawandelproblematik in die Aus-, Fort- und Weiterbildung von Ingenieuren und Planern sollte Bestandteil eines adäquaten Maßnahmenportfolios sein (FW06).

Speziell für die Wasserkraft gilt, dass alle Maßnahmen zum Niedrigwassermanagement und zum nachhaltigen Grundwassermanagement auch der kontinuierlichen Bereitstellung von Wasserkraft zu Gute kommen (vgl. hierzu Kapitel 4.2.1).

Tab. 21: Maßnahmen zur Klimafolgenanpassung im Handlungsfeld Energiewirtschaft (Erneuerbare Energien)

EW01	Implementierung des Klimawandels in energiepolitische Entscheidungsprozesse und Zielformulierungen	Zeitliche Dringlichkeit	hoch (bis 3 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	In Umsetzung o. Durchführung
		Zuständigkeit	politische Akteure in Thüringen
		Kosten	gering
EW02	Berücksichtigung des Klimawandels in privatwirtschaftliche Entscheidungen zu EE	Zeitliche Dringlichkeit	hoch (bis 3 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	In Umsetzung o. Durchführung
		Zuständigkeit	Öffentlichkeitsarbeit, Politik, Bürger, Investoren
		Kosten	kann nicht abgeschätzt werden. Das TMWAT kann nur Einschätzungen zu Kosten die öffentliche Hand betreffend abgeben.

Fortsetzung von Tab. 21: Maßnahmen zur Klimafolgenanpassung im Handlungsfeld Energiewirtschaft (Erneuerbare Energien)			
EW03	Erstellung von räumlich hochaufgelösten Potentialstudien für EE-Träger unter Berücksichtigung des Klimawandels	Zeitliche Dringlichkeit	mittel (3 bis 10 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	in Umsetzung o. Durchführung
		Zuständigkeit	öffentliche Hand, Investoren
		Kosten	mittel (abhängig vom Bedarf)
EW04	Modellprojekt zur Berücksichtigung des Klimawandels bei der Standortplanung von EE-Anlagen	Zeitliche Dringlichkeit	mittel (3 bis 10 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	mittelfristig (3 bis 10 Jahre)
		Zuständigkeit	öffentliche Hand, Verbände Investoren
		Kosten	mittel (abhängig vom Projekt)
EW05	Schaffung von Marktanreizen und Förderprogrammen für Speichertechnologien	Zeitliche Dringlichkeit	hoch (bis 3 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	kurzfristig (bis 3 Jahre)
		Zuständigkeit	Gesetzgeber (EU, Bund, Länder)
		Kosten	hoch
EW06	Einbindung der Klimawandelproblematik in die Aus-, Fort- und Weiterbildung von Ingenieuren und Planern	Zeitliche Dringlichkeit	mittel (3 bis 10 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	in Umsetzung o. Durchführung
		Zuständigkeit	Bildungseinrichtungen, Berufsstandsorganisationen, Unternehmen
		Kosten	kann nicht abgeschätzt werden. Das TMWAT kann nur Einschätzungen zu Kosten die öffentliche Hand betreffend abgeben

4.10.2 Energiebedarf

Vor allem der ältere Wohnungs- und Gebäudebestand Thüringens wird gegenwärtig noch fast ausschließlich direkt oder indirekt mit fossilen Energieträgern beheizt. Zunehmend werden öffentliche und private Gebäude auch mit Klimaanlage ausgestattet, die zusätzlich Energie für die Gebäudekühlung verbrauchen. Folglich stellt die Bereitstellung von Heiz- und Kühlenergie eine nicht unwesentliche Emissionsquelle von Treibhausgasen in Thüringen dar und berührt damit unmittelbar das energiewirtschaftliche Ziel der Energieeinsparung.

Aus den Thüringer Gebäudereports (Wohn- und Nichtwohngebäude / Gebäudestudie Thüringen, Ecofys und Hamburg Institut, 2012; Nichtwohngebäudestudie Thüringen, Ecofys und Hamburg Institut, 2013) lässt sich folgender Ist-Stand entnehmen:

- Die Entwicklung in Thüringen zeigt einen deutlichen Rückgang der Neubautätigkeit in den letzten 20 Jahren von etwa 70 % für Nichtwohngebäude und 80 % im Bereich der Wohngebäude. Somit erhöht sich die Notwendigkeit, die Energieeffizienz von Bestandsgebäuden zu erhöhen und sie verstärkt mit erneuerbarer Wärme zu versorgen.
- Rund 18 % aller Ein- und Zweifamilienhäuser (EFH) und etwa 10 % aller Mehrfamilienhäuser (MFH) entstanden nach 1990, fast 2/3 aller EFH und 1/3 aller MFH stammen aus der Zeit vor 1948.

- 75 % aller Heizkessel wurden vor dem Jahr 2000 eingebaut. Dies bedeutet jeweils einen potenziellen Mehrverbrauch von durchschnittlich ca. 20 % im Vergleich zu modernen Anlagen.
- 16 % aller Heizungsanlagen in Wohngebäuden sind vor 1987 installiert worden. Der Mehrverbrauch gegenüber Neuanlagen kann hier 40 % und mehr betragen.
- Die insgesamt rund 70.000 Nichtwohngebäude im Freistaat verbrauchen 9.457 Gigawattstunden pro Jahr. Das entspricht 42 Prozent des Heiz- und Wärmeeaufkommens im gesamten Gebäudebestand. Durch geeignete Einspar- und Kostensenkungsmaßnahmen könnten davon 3.270 Gigawattstunden pro Jahr eingespart werden – darunter mit 1.945 Gigawattstunden der weitaus größte Teil in den Betrieben und Produktionsstätten.

Auswirkungen des Klimawandels

Heizenergie

In enger Anlehnung an die VDI-Richtlinie 3807 wird davon ausgegangen, dass eine Beheizung von Gebäuden an Tagen mit $T_{\text{mittel}} < 15^\circ\text{C}$ innerhalb der Heizperiode (1.9. bis 31.5. des Folgejahres) notwendig ist (sog. Heiztage). Im Zuge der allgemeinen Erhöhung der Durchschnittstemperaturen, die insbesondere auch die Wintermonate betrifft (vgl. Kapitel 3.2.1), wird sich unter dem Einfluss des Klimawandels auch die Anzahl der Heiztage flächendeckend deutlich verringern. Dabei zeigt sich ein deutliches Maximum in

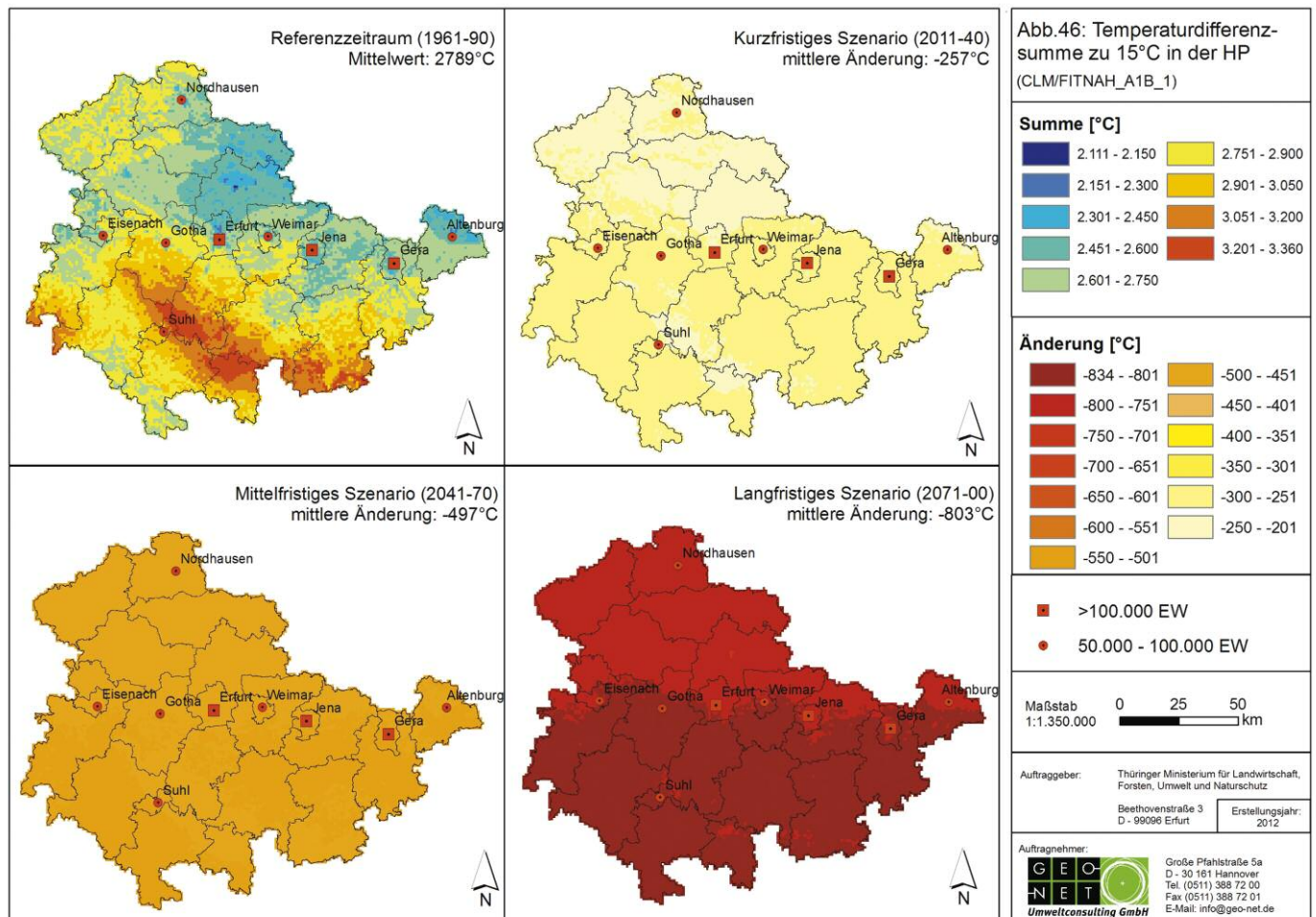


Abb. 46: Durchschnittliche Temperatursummendifferenz < 15 °C in der Heizperiode für die drei Klimaprojektionszeiträume im Vergleich zum Referenzzeitraum 1961 - 1990

den nördlichen und östlichen Teilen Thüringens, in denen mit Erfurt, Jena und Gera die bevölkerungsreichsten und damit die verbrauchsstärksten Räume des Freistaats liegen. Auch in den Mittelgebirgsregionen wird zukünftig nicht mehr die gesamte Heizperiode geheizt werden müssen, der Rückgang fällt hier aber absolut betrachtet geringer aus (Anhang, Abb. 32). Durch diesen robusten Trend wird sich der Heizenergieverbrauch flächendeckend allmählich aller Voraussicht nach deutlich verringern, so müssen im Laufe der Heizperiode schon im kurzfristigen Szenario insgesamt über 250 °C weniger heiztechnisch ausgeglichen werden als im Referenzzeitraum (Abb. 46). Mit dieser Entwicklung steigt zum einen für den Verbraucher die Chance, dass die vermutlich weiter steigenden Energiepreise zumindest teilweise gepuffert werden können. Zum anderen ist damit auch die Wahrscheinlichkeit verbunden, dass sich heizwärmebedingte Treibhausgasemissionen in relevanten Größenordnungen verringern werden.

Kühlenergie

Raumtemperaturen von deutlich über 20 °C werden gemeinhin als unangenehm eingestuft. Das Arbeiten in diesen Temperaturen kann in Einzelfällen sogar mit einer Gesundheitsgefährdung verbunden sein, so dass laut den Technischen Regeln für Arbeitsstätten (ASR A3.5) bei Außentemperaturen über 26 °C besondere Maßnahmen zur Abkühlung des Arbeitsplatzes ergriffen werden müssen. U. a. aus diesem Grund werden in immer mehr Büro-, aber auch Privatgebäuden Klimaanlage zur Regulierung der Raumtemperatur installiert. Um die Auswirkungen des Klimawandels auf den Kühlbedarf von Gebäuden abschätzen zu können, wurde die Temperaturdifferenzsumme von Tagesmittelwerten über 26 °C gebildet (Abb. 47). Dabei zeigt sich entsprechend dem Trend zur allgemeinen Erhöhung der Durchschnittstemperaturen, der insbesondere auch die Sommermonate betrifft (vgl. Ka-

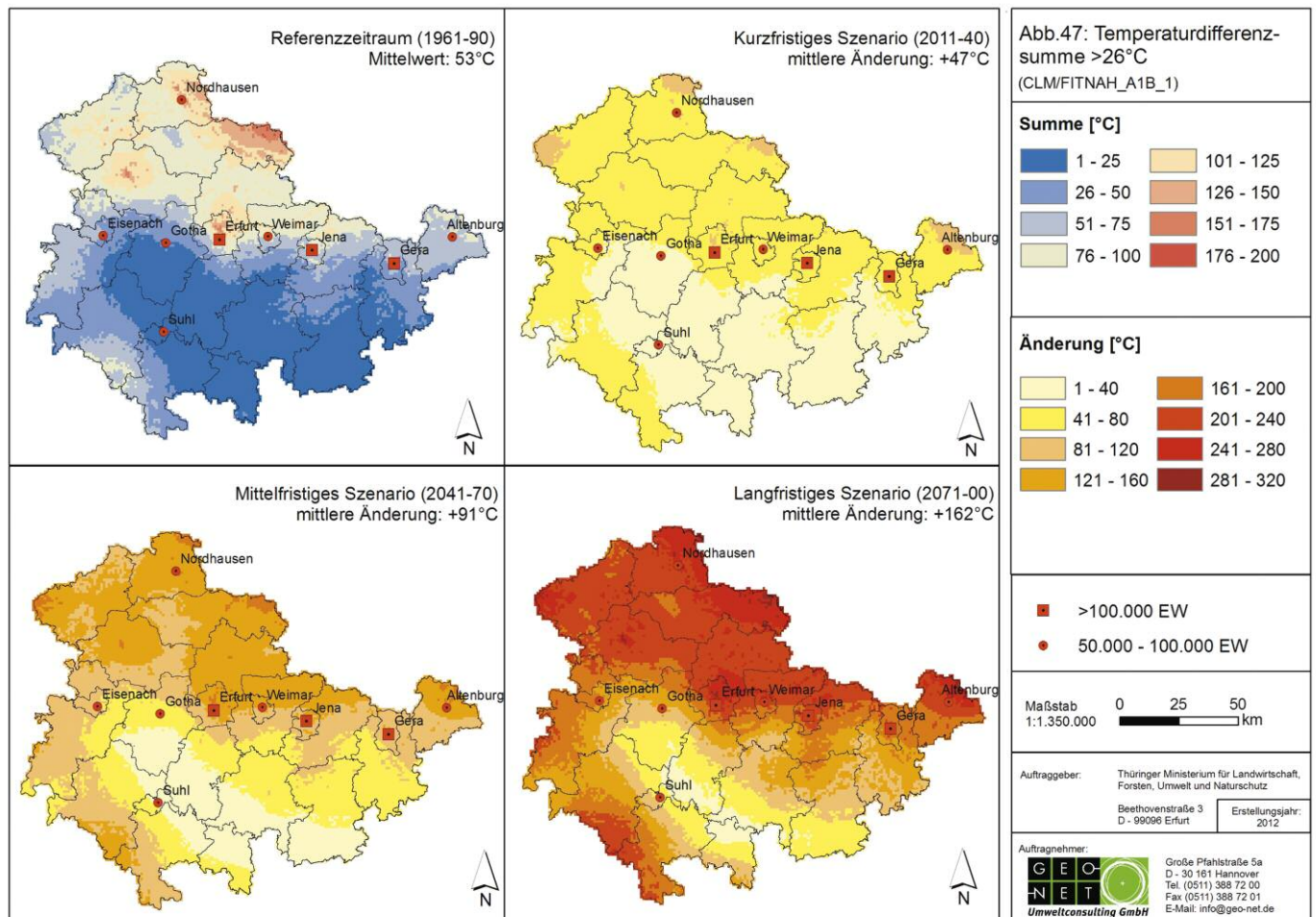


Abb. 47: Durchschnittliche Temperatursummendifferenz > 26 °C für die drei Klimaprojektionszeiträume im Vergleich zum Referenzzeitraum 1961 - 1990

pitel 3.2.1), eine robuste und flächendeckende Erhöhung der Temperatursumme, die durch aktive Kühlung ausgeglichen werden muss. Die Zunahmen sind außerhalb der Mittelgebirge, insbesondere im Norden und Nordwesten des Freistaats am höchsten und erreichen dort bis zu 300 °C. Um im Bereich der Gebäudekühlung dem Ziel der Energieeinsparung gerecht werden zu können, bedarf es also der Formulierung eines Anpassungsportfolios, das insbesondere alternative Kühlmethoden und Optionen zur Verhinderung einer Aufheizung der Gebäude thematisiert.

Maßnahmen

Sowohl zur Unterstützung der Chancen sowie zum Management der Herausforderungen im Zusammenhang mit einem erhöhten Kühlbedarf von Gebäuden spielt die energetische Sanierung von Bestandsgebäuden eine zentrale Rolle. Denn sie kann den Effekt

eines klimawandelbedingt verringerten Heizbedarfs erhöhen und gleichzeitig einen energieaufwendigen Kühlbedarf herabsetzen. Diese sowie weitere architektonische und stadtplanerische Maßnahmen, die die Aufheizung von Gebäuden verhindern, werden als originäre Aufgabe des Bauwesens in 4.9.2 beschrieben.

4.10.3 Kritische Energieinfrastruktur

Auswirkungen des Klimawandels

Neben der Erzeugung regenerativer Energie und dem Energieverbrauch für Heiz- und Kühlenergie stellt die kritische Energieinfrastruktur als Bindeglied der beiden Elemente das dritte große klimasensitive Thema der Energiewirtschaft dar. Dabei steht vor allem die Schädigung oberirdischer Leitungen (vornehmlich Stromleitungen) durch extreme Stürme und Schnee- bzw. Eislasten

ten im Mittelpunkt des Interesses. Derlei Ereignisse haben in Teilräumen Deutschlands bereits in der Vergangenheit zu vereinzelt großflächigen Blackouts geführt (zuletzt im Winter 2005 / 2006 im Münsterland). Der Großteil der Versorgungsunterbrechungen wird allerdings im Mittel- und Niederspannungsbereich verursacht.

Stürme und mit ihnen die Gefahr von Sturmschäden an der kritischen Energieinfrastruktur werden laut Prognose zukünftig sowohl hinsichtlich ihrer Auftrittshäufigkeit (bezogen auf Tage mit Böenwindgeschwindigkeiten $> 28 \text{ m/s}$) als auch hinsichtlich ihrer Intensität flächendeckend, insbesondere in den Mittelgebirgsregionen zunehmen (Anhang, Abb. 11 und Abb. 32). Dies hat vor allem Auswirkungen auf den Niederspannungsbereich. Die größte Gefahr für die Versorgungssicherheit geht hier von Bäumen aus, die in die Leitungen fallen.

Auch hohe Schnee- bzw. Eislasten können zu einer Schädigung an der oberirdischen Energieinfrastruktur führen. Zwar nimmt die durchschnittliche jährliche Menge an als Schnee fallendem Niederschlag im Laufe des Jahrhunderts kontinuierlich ab (Anhang, Abb. 25). Allerdings ist in Extremjahren, an die die Robustheit der kritischen Infrastrukturen angepasst sein muss, in einzelnen Teilräumen des Freistaats (insbesondere West- und Mittelthüringen) mit intensiveren einzelnen Schneefallereignissen zu rechnen (Abb. 38).

Sowohl für die in Planung oder in Errichtung befindlichen als auch für die bereits in Betrieb genommenen kritischen Energieinfrastrukturen ist in Teilräumen Thüringens also zukünftig mit einer erhöhten statischen Belastung zu rechnen, der es mit adäquaten Anpassungsmaßnahmen zu begegnen gilt, um die Versorgungssicherheit der Bevölkerung auch in Extremwettersituationen zu gewährleisten.

Maßnahmen

Angesichts der Analyseergebnisse sollte für die im Zuge der Energiewende in Planung befindlichen Überlandleitungen dringend geprüft werden, inwiefern deren Statik auch den sich verändernden Klimabedingungen standhalten kann (EW07). Ergänzend dazu sollte eine Aktualisierung der gesetzlichen Vorschriften zu Trassenbreiten bzw. Trassenverlauf im Mittel- und Niederspannungsbereich geprüft werden, um Baumschlag möglichst vorzubeugen (EW08). Darüber hinaus bedarf es auch einer Einschätzung der Anpassungsbedürftigkeit bereits errichteter kritischer Infrastrukturen. Dieses könnte beispielsweise über eine Risikokarte für den Freistaat Thüringen erfolgen (EW09), in der alle entsprechenden Leitungen und deren Verletzlichkeit gegenüber dem Klimawandel verzeichnet sind und ggf. Vorschläge für das Risikomanagement von prioritären Abschnitten („Hot-Spots“) gemacht werden (EW10). Hierzu gehören u. a. auch Notfallpläne für den Fall eines Blackouts in den jeweiligen Versorgungsgebieten.

Tabelle 22: Maßnahmen zur Klimafolgenanpassung im Handlungsfeld Energiewirtschaft (kritische Energieinfrastruktur)

EW07	Überprüfung geplanter kritischer Infrastrukturen hinsichtlich ihrer Robustheit gegenüber dem Klimawandel	Zeitliche Dringlichkeit	hoch (bis 3 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	mittelfristig (3 bis 10 Jahre)
		Zuständigkeit	öffentliche Hand, Netzbetreiber, Investoren
		Kosten	mittel
EW08	Prüfung einer gesetzlichen Definition von Trassenbreiten im Mittel- und Niederspannungsbereich (z.B. in Form einer DIN-Norm)	Zeitliche Dringlichkeit	hoch (bis 3 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	mittelfristig (3 bis 10 Jahre)
		Zuständigkeit	Gesetzgeber
		Kosten	mittel
EW09	Erarbeitung einer Risikokarte für bestehende kritische Infrastrukturen	Zeitliche Dringlichkeit	hoch (bis 3 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	mittelfristig (3 bis 10 Jahre)
		Zuständigkeit	öffentliche Hand
		Kosten	mittel
EW10	Anpassung des Risikomanagements für betroffene Versorgungsgebiete	Zeitliche Dringlichkeit	hoch (bis 3 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	in Umsetzung o. Durchführung
		Zuständigkeit	öffentliche Hand, Betreiber
		Kosten	mittel

4.11 Katastrophenschutz

Im Sinne von § 25 des Thüringer Brand- und Katastrophenschutzgesetzes (ThürBKG) ist eine Katastrophe *„ein Ereignis, bei dem Leben oder Gesundheit einer Vielzahl von Menschen, die natürlichen Lebensgrundlagen, erhebliche Sachwerte oder die lebensnotwendige Versorgung der Bevölkerung in ungewöhnlichem Ausmaß gefährdet oder geschädigt werden und die Gefahr nur abgewehrt werden kann, wenn die Behörden, Dienststellen, Organisationen, Einheiten, Einrichtungen und eingesetzten Kräfte unter einheitlicher Leitung zusammenwirken“*. Das **Ziel** des Katastrophenschutzes im Freistaat Thüringen ist es, solche Katastrophen bestmöglich zu bewältigen.

Aufgrund seines im Kern reaktiven Wesens existiert für den Katastrophenschutz kein klassischer strategischer **Planungshorizont**. Grundsätzlich ist es für den Umgang mit Katastrophen entsprechend des Top-Event-Ansatzes aber wichtig, welche Gefährdungssituationen mit welcher Häufigkeit und in welchem Ausmaß zukünftig auf die Aufgabenträger, insbesondere die bei den Landkreisen und kreisfreien Städten angesiedelten unteren Katastrophenschutzbehörden sowie auf die Feuerwehren, Rettungsdienste und privaten Hilfsorganisationen zukommen werden. Ein **Planungsinstrument** für diese Akteure ist die 2004 erstmals nach einem bundeseinheitlichen Schlüssel (BBK 2010) erstellte Verschlusssache „Gefährdungsabschätzung für den Freistaat Thüringen“ (VS-NfD), in der acht Hauptgefährdungen, die landesweit einheitlich verteilt sind und von denen alle Aufgabenträger gleichermaßen betroffen sind und andere relevante Gefährdungssituationen ermittelt worden sind. Zur Abwehr der Hauptgefährdungen wurden im ThürBKG die Bereiche festgelegt, für die Katastrophenschutz-Einheiten aufzustellen sind. Facharbeitsgruppen haben danach die entsprechenden Katastrophenschutz-Einheiten konzipiert, die in der Thüringer Katastrophenschutzverordnung (ThürKatSVO) als Mindeststandard normiert wurden. Die beiden Trupps der Führung, die beiden Einsatzzüge für die Bereiche Brandschutz / Hochwasser / Extremwetterlagen, der Gefahrgutzug sowie der Sanitäts- und Betreuungszug sind als Basiseinheiten jeweils dreiundzwanzigmal flächendeckend über das Land verteilt. Der Bergrettungszug, der Wasserrettungszug und die Tauchereinsatzgruppe sind als Spezialeinheiten in den Höhenlagen des Thüringer Waldes bzw. an Gewässern konzentriert (vgl. auch TIM 2010).

Von den 23 identifizierten Gefährdungssituationen weisen insbesondere die Themen Hochwasser / Staudammbruch, Extremwetterlagen, Flächenbrände und Massenankünfte von Verletzten auf Straßen und Schienen eine **Klimasensitivität** auf. Aber auch die Katastrophenschutzeinheiten selbst können durch den Aus-

fall kritischer Infrastrukturen oder durch hitzebedingte Be- bzw. Überlastung des Personals betroffen sein.

Über den Klimawandel hinaus ist der Katastrophenschutz auch von **sozioökonomischen Faktoren** abhängig. Hierzu zählt zum einen der demografische Wandel, der vor allem in ländlichen Gebieten zu einem Nachwuchsproblem in den freiwilligen Bereichen des Katastrophenschutzes (z. B. der Freiwilligen Feuerwehr) führt, auf den das Handlungsfeld historisch bedingt entscheidend aufbaut. Diese Problemlage wird zum einen durch ein verändertes Freizeitverhalten, zum anderen durch die „Pendlerproblematik“ verschärft, durch die ein relevanter Anteil an freiwilligen Hilfskräften an den Werktagen in ihrer Heimat nicht für Einsätze zur Verfügung steht. Da Bund und Land für die Bereitstellung der technischen Ausrüstung des Zivil- und Katastrophenschutzes zuständig sind, ist das Handlungsfeld auch vom politischen Sicherheitsbedarf und der Entwicklung der öffentlichen Haushalte abhängig.

Auswirkungen des Klimawandels

Hochwasser

Hochwasser haben ein quantifizierbares Auftretisrisiko und sind angesichts der Ereignisse der letzten Jahrzehnte (z. B. das Saale-Hochwasser von 1994, die Elbe-Flut 2002 und das Frühjahrshochwasser an Werra, Unstrut und Saale 2003) für den Katastrophenschutz von besonderer Relevanz. Durch Starkniederschläge (hier definiert als Ereignisse mit > 50 mm Niederschlag pro Tag) ausgelöste Hochwasserereignisse werden sich in ihrer Häufigkeit, Intensität und räumlichen Verteilung bis zur Mitte des Jahrhunderts nicht signifikant verändern. Erst zum Ende des Jahrhunderts ist in einzelnen Teilräumen des Freistaats mit einem erhöhten Hochwasserrisiko zu rechnen (vgl. Kapitel 4.2.1). Der Katastrophenschutz sollte also auch zukünftig auf Hochwasserereignisse eingestellt sein und den mittel- bis langfristigen Anpassungsbedarf seiner Notfallpläne eruieren.

Stürme

Wie Kyrill im Jahr 2007 gezeigt hat, können Stürme insbesondere in Wäldern und besiedelten Gebieten mit hohen Sach- und Personenschäden verbunden sein. Sturmereignisse und mit ihnen die Gefahr von katastrophalen Sturmschäden werden zukünftig sowohl hinsichtlich ihrer Auftretishäufigkeit (bezogen auf Tage mit Böenwindgeschwindigkeiten > 28 m/s) als auch hinsichtlich ihrer Intensität flächendeckend, insbesondere in den Mittelgebirgsregionen signifikant zunehmen (Anhang, Abb. 11). Auch hier ist zu prüfen, inwiefern sich für den Katastrophenschutz eine Anpassungsnotwendigkeit ergibt.

Flächenbrände

Flächenbrände entstehen heute vorrangig in Wäldern. Die Waldbrandgefahr lässt sich über den Waldbrandindex (WBI) hinreichend gut abbilden (vgl. Kapitel 4.5.3). Weiterhin sind aber auch landwirtschaftliche Flächen, vor allem in frisch abgeerntetem Zustand und bei Verbleib von Ernterückständen (z. B. Stroh), von einer Entzündungsgefahr betroffen. Zwar zielt der WBI auf die Gefährdungsbeurteilung von Waldbränden ab, die Auswahl seiner Modelleingangsgrößen macht aber deutlich, dass eine Übertragung auf landwirtschaftliche Flächen und sonstige Freiflächen und damit seine inhaltliche Ausweitung zu einem Flächenbrandindex (FBI) methodisch begründbar ist. Wie Abb. 48 zeigt, ergibt sich in den Projektionszeiträumen ein robuster und flächendeckender Trend zu einer signifikant erhöhten Auftrittshäufigkeit

von Tagen mit hoher und sehr hoher Flächenbrandgefahr. Die Zunahme wird dabei in den walddominierten Räumen ungleich schwächer ausfallen, als in den Hauptagarräumen des nördlichen Thüringens. Zum Schutz der Bevölkerung und von Sachgütern sollte für diese Entwicklung dringend der Anpassungsbedarf der örtlichen Feuerwehren insbesondere in den agrarisch dominierten Gebieten überprüft werden.

Massenanfälle von Verletzten auf Straßen und Schienen

Die Eintrittswahrscheinlichkeit von Massenanfällen von Verletzten wird durch schnee- und eisbedingte Gefahrensituationen erhöht. Dieses zusätzliche wetterbedingte Risiko ist gegenwärtig für die Mittelgebirgsregionen des Freistaats aufgrund der hier naturgemäß höheren Schneefallmenge ungleich höher einzuschätzen.

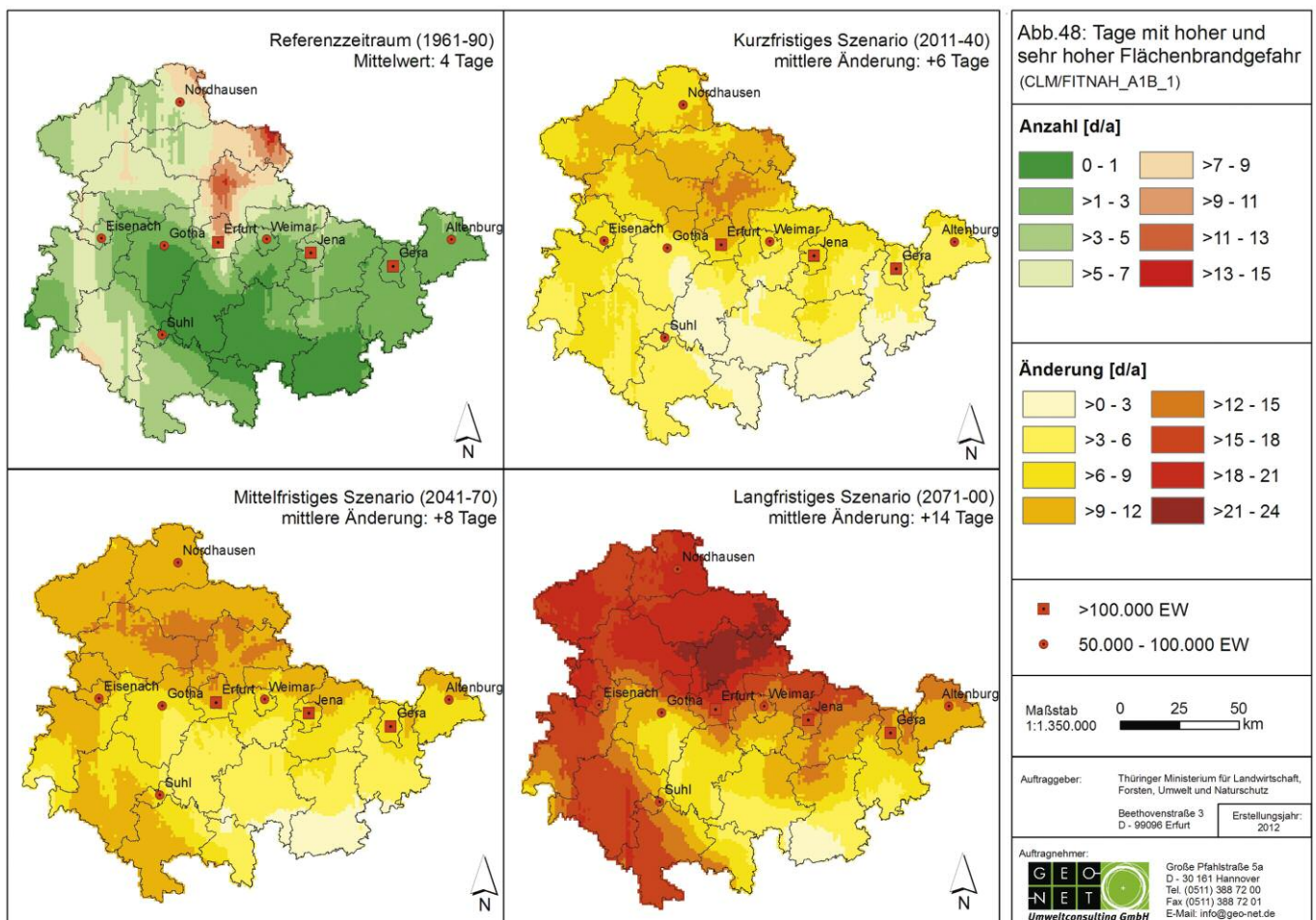


Abb. 48: Durchschnittliche jährliche Auftrittshäufigkeit von Tagen mit hoher und sehr hoher Flächenbrandgefahr für die drei Klimaprojektionszeiträume im Vergleich zum Referenzzeitraum 1961 - 1990

zen, als im übrigen Freistaat. Die durchschnittliche Schneefallmenge sowie die Auftrittshäufigkeit von Frostperioden wird im Laufe des Jahrhunderts deutlich geringer werden (Anhang, Abb. 25 und Anhang, Abb. 24). Dass diese Entwicklungen nicht gleichzeitig auch mit einer sinkenden Gefahr von Massenunfällen verbunden sein müssen, zeigt der Umstand, dass Einzelereignisse in Teilräumen zukünftig durchaus intensiver ausfallen können als im Referenzzeitraum (vgl. Abb. 38), so dass auch hier die Notwendigkeit der Katastrophenvorsorge weiterhin hohe Relevanz besitzt.

Eigene Betroffenheit

Der Klimawandel kann nicht nur als ursächliches Ereignis zu Katastropheneinsätzen führen, sondern auch das Personal und die Technik des Katastrophenschutzes selbst beeinträchtigen. In diesem Zusammenhang ist damit zu rechnen, dass die Leistungsfähigkeit des Personals in den Sommermonaten durch Hitzeereignisse deutlich stärker eingeschränkt sein könnte als gegenwärtig, wenn nicht adäquate Präventionsmaßnahmen ergriffen werden (Kap. 4.1.1). Auch für die vom Katastrophenschutz benötigte kritische Infrastruktur (z. B. Stromleitungen) besteht zukünftig durch einzelne Sturm- und Schneeereignisse ein erhöhtes Ausfallrisiko (Kap. 4.10.3), auf das der Katastrophenschutz vorbereitet sein sollte. Starker Frost und die Auftrittshäufigkeit von Frostperioden werden hingegen seltener die Einsätze des Katastrophenschutzes beeinträchtigen (vgl. Anhang, Abb. 27 und Anhang, Abb. 24).

Maßnahmen

Die Auswertungen haben gezeigt, dass der regionale Klimawandel in Thüringen tendenziell zu häufigeren und auch intensiveren, aber nicht zu vollkommen neuen Katastrophenzuständen führen wird. Dank der kontinuierlichen Gefährdungsabschätzung auf Kreisebene (KS01) und der daraus resultierenden Aufstellung und rechtlichen Fixierung der multifunktionalen Einheiten zur Katastrophenabwehr kann dem Handlungsfeld Katastrophenschutz im Freistaat Thüringen bereits heute eine hohe Anpassungskapazität hinsichtlich der Klimafolgen bescheinigt werden.

Daher müssen Anpassungsmaßnahmen darauf abzielen, diese hohe Qualität für die Zukunft zu sichern (vgl. BBK 2012).

Hierzu zählt die Verbesserung des Informationsangebotes über den Klimawandel und seine Folgen für den Katastrophenschutz (KS02) sowie effektive Systeme zur Warnung vor klimabedingten Gefahren (KS03). Eine thematisch querschnittsorientierte, aktorsgerechte Informationsplattform erscheint geeignet, die Umsetzung dieser Maßnahmen zu unterstützen. Diese Ansätze sollten mit einer Implementierung der Klimawandelproblematik in die Ausbildung und Schulung des Katastrophenschutzpersonals verknüpft werden (KS04).

Auch in der täglichen Arbeit der beteiligten Akteure können adäquate Maßnahmen die Anpassung an die Auswirkungen des Klimawandels unterstützen. In diesem Zusammenhang ist insbesondere eine weiter verbesserte Einsatzplanung (KS05), eine Optimierung der organisationsübergreifenden Zusammenarbeit (KS06) sowie eine bessere personelle Ausstattung zu nennen. Letzt genannte Maßnahme bezieht sich vor allem auf das Ehrenamt in der nichtpolizeilichen Gefahrenabwehr (z. B. die Freiwilligen Feuerwehren). Hier bedarf es auch mit Blick auf den demografischen Wandel verstärkter Anstrengungen zur Nachwuchsakquise und -förderung, insbesondere der betroffenen öffentlichen und privaten Hilfsorganisationen (KS07).

Das Schadensausmaß ist im konkreten Katastrophenfall ganz erheblich von der Selbsthilfefähigkeit der Bevölkerung abhängig. Die gesetzliche Aufgabe der Gemeinden, den Wissens- und Erfahrungsschatz im Selbstschutz zu verbessern, sollte zukünftig verstärkt wahrgenommen werden (KS08).

Letztlich kann auch die Beobachtung der Einsatzentwicklung dabei helfen, weiteren Anpassungsbedarf aufzudecken und die Wirksamkeit der identifizierten Maßnahmen zu beurteilen. Um die Vergleichbarkeit dieses bereits praktizierten Einsatzmonitorings über alle beteiligten Organisationen hinweg zu verbessern, ist es notwendig, den Katalog an ursächlichen Ereignissen zu harmonisieren und auch um konkrete Wetterereignisse zu erweitern (KS09).

Tab. 23: Maßnahmen zur Klimafolgenanpassung im Handlungsfeld Katastrophenschutz

KS01	Kontinuierliche Gefährdungsabschätzungen auf Kreisebene unter Berücksichtigung des Klimawandels	Zeitliche Dringlichkeit	hoch (bis 3 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	bereits umgesetzt o. durchgeführt
		Zuständigkeit	untere und obere KatS-Behörde
		Kosten	mittel
KS02	Verbesserung des Informationsangebotes über den Klimawandel für den Katastrophenschutz	Zeitliche Dringlichkeit	mittel (3 bis 10 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	mittelfristig (3 bis 10 Jahre)
		Zuständigkeit	Umweltbehörden; untere und obere KatS-Behörde
		Kosten	gering / mittel
KS03	Betrieb von effektiven Systemen zur Warnung vor klimabedingten Gefahren	Zeitliche Dringlichkeit	k. A.
		Zeitliche Umsetzbarkeit	k. A.
		Zuständigkeit	Umweltbehörden
		Kosten	k. A.
KS04	Implementierung der Klimawandelproblematik in die Ausbildung und Schulung des Personals	Zeitliche Dringlichkeit	mittel (3 bis 10 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	mittelfristig (3 bis 10 Jahre)
		Zuständigkeit	öffentliche und private Hilfsorganisationen (HiO)
		Kosten	gering
KS05	Optimierte Einsatzplanung	Zeitliche Dringlichkeit	mittel (3 bis 10 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	mittelfristig (3 bis 10 Jahre)
		Zuständigkeit	untere und obere KatS-Behörde
		Kosten	mittel
KS06	Optimierung der organisationsübergreifenden Zusammenarbeit	Zeitliche Dringlichkeit	hoch (bis 3 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	bereits durchgeführt bzw. in Umsetzung
		Zuständigkeit	KatS-Behörden und HiO
		Kosten	gering / mittel
KS07	Stärkung des Ehrenamtes in der Gefahrenabwehr	Zeitliche Dringlichkeit	hoch (bis 3 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	mittelfristig (3 bis 10 Jahre)
		Zuständigkeit	HiO und KatS-Behörden
		Kosten	k. A.
KS08	Stärkung der Selbsthilfefähigkeit der Bevölkerung	Zeitliche Dringlichkeit	hoch (bis 3 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	kurzfristig (bis 3 Jahre)
		Zuständigkeit	Gemeinden und Bund
		Kosten	mittel
KS09	Harmonisierung des Einsatzmonitorings über die einzelnen Organisationen hinweg	Zeitliche Dringlichkeit	mittel (3 bis 10 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	mittelfristig (3 bis 10 Jahre)
		Zuständigkeit	Bund bzw. Bundesebene der HiO
		Kosten	k. A.

4.12 Raumordnung und Landesplanung

„Wachstum und Innovation“, „Sicherung der Daseinsvorsorge“ und „Ressourcen bewahren, Kulturlandschaften gestalten“ sind die drei von der Ministerkonferenz für Raumordnung (MKRO) als Richtschnur vorgegebenen thematisch hochgradig querschnittsorientierten Leitbilder, an denen sich die **Erfordernisse** der Raumordnung und Landesplanung der Länder orientieren (MKRO 2006). Das in Neuaufstellung befindliche Landesentwicklungsprogramm (LEP 2025) des Freistaats Thüringen greift diesen Orientierungsrahmen auf und formuliert in seinem 1. Entwurf unter dem Leitgedanken „Kulturlandschaft im Wandel – Herausforderungen annehmen, Vielfalt bewahren, Veränderungen gestalten“ sechs **Aufgabenbereiche** an denen sich das Handeln der Raumordnung und Landesplanung in den kommenden Jahren ausrichten soll (TMLV 2011). Die Leitvorstellungen lauten:

- „Kulturlandschaft gestalten“,
- „Gleichwertige Lebensverhältnisse herstellen – Daseinsvorsorge sichern“,
- „Regionale Kooperation stärken“,
- „Wirtschaft entwickeln und Infrastruktur anpassen“,
- „Klimawandel mindern und Energieversorgung nachhaltig gestalten“,
- „Ressourcen bewahren – Freiraum entwickeln“.

Aus dem LEP 2025 bzw. aus den Aufstellungszyklen des LEP im Allgemeinen leitet sich auch der strategische **Planungshorizont** der Raumordnung und Landesplanung im Freistaat Thüringen von etwa 15 - 20 Jahren ab. Allerdings wird auch anerkannt, dass bestimmte Festsetzungen (z. B. zu infrastrukturellen Maßnahmen oder zu Landnutzungsarten) Auswirkungen auf teilweise sehr viel weiter in der Zukunft liegende Zeitpunkte haben. Der inhaltlich an die Vorgaben des Raumordnungsgesetzes (ROG) bzw. des raumordnungspolitischen Handlungsrahmens gebundene LEP stellt das zentrale **räumliche Planungsinstrument** auf Landesebene dar. Die darin enthaltenen Vorgaben für die Träger der Regionalplanung steuern ihrerseits formell die Festsetzungsoptionen in den vier Regionalen Planungsgemeinschaften Thüringens. Auf der informellen Ebene existiert darüber hinaus das oftmals über Förderprogramme finanzierte Instrument der Regionalen Entwicklungskonzepte (REK), die für miteinander verflochtene (oftmals ländliche) Teilräume Thüringens erarbeitet werden können.

Das Handlungsfeld Raumordnung und Landesplanung besitzt keine **Klimasensitivität** im hier transportierten Begriffsverständnis einer unmittelbaren Abhängigkeit von Klima- oder Witterungseinflüssen. Es sieht sich mit Blick auf die Klimafolgenanpassung vielmehr der großen Herausforderung gegenüber, die mit den raumbedeutsamen Anpassungsmaßnahmen verbundenen Einzelinter-

essen der klimasensitiven Handlungsfelder gegeneinander abzuwägen und im Sinne einer Klimaprüfung zum Ausgleich zu bringen (vgl. hierzu Kapitel 5.1 des 1. Entwurfs zum LEP 2025).

Neben dem Klimawandel wird die Ausrichtung der Raumordnung und Landesplanung noch durch eine Vielzahl weiterer **sozioökonomischer** Faktoren beeinflusst. Hierzu gehört vor allem der demografische Wandel. Er hat Auswirkungen auf originär raumplanerische Themen wie das Zentrale-Orte-System, die Siedlungsentwicklung, den Verkehr sowie die Ver- und Entsorgung. Einen wesentlichen Einfluss haben auch die Entwicklungen ausgelöst durch die Energiewende. Insbesondere großflächige Wind- und Solarparks weisen eine Raumrelevanz und damit einen Steuerungsbedarf auf. Aber auch die Netzausbauplanung des Bundes muss in die Landesplanung integriert werden. Dieses gilt auch für Verkehrsinfrastrukturprojekte wie dem Bau der ICE Strecke zwischen Erfurt und Leipzig / Halle.

In den Kapiteln 4.1 bis 4.12 wurde eine Vielzahl von Anpassungsmaßnahmen identifiziert und bewertet. Für die von der Raumordnung und Landesplanung wahrzunehmende Aufgabe sind hiervon einzig Ansätze mit Raumbedeutsamkeit von Belang. Raumbedeutsame Planungen und Maßnahmen sind gemäß § 3 Abs. 1 Nr. 6 Raumordnungsgesetz (ROG) Planungen, Vorhaben und sonstige Maßnahmen, durch die Raum in Anspruch genommen oder die räumliche Entwicklung oder Funktion eines Gebietes beeinflusst wird. Hierzu gehören sämtliche Bauvorhaben und Anlagen (einschließlich der technischen Infrastruktur) sowie Bodennutzungen vor allem im Außenbereich. Vor diesem Hintergrund sind für die Raumordnung und Landesplanung im Freistaat Thüringen folgende im Rahmen von IMPAKT identifizierte Maßnahmen potenziell von Bedeutung, wobei deutlich wird, dass sich in erster Linie aus den Bedürfnissen der Handlungsfelder Wasserwirtschaft, Naturschutz, Bauwesen und Energiewirtschaft eine Handlungsnotwendigkeit für die Raumordnung und Landesplanung ergibt:

- Waldmehrung und Anlage von Auenwäldern (WW04),
- Renaturierung von Flussläufen und Auen (WW06),
- Flächenvorsorge für den Hochwasserschutz (WW09),
- hoher Differenzierungsgrad der Landnutzung (NA04),
- Sicherung bzw. Schaffung einer ausreichenden Anzahl von Schutzgebieten mit ausgeprägten standörtlichen Gradienten und ggf. Anpassung des Schutzgebietsmanagements (NA05),
- Behörden verbindliches Konzept für ein landesweites Biotopverbundsystem (NA06),
- Erhalt unzerschnittener verkehrsarmer Räume (NA07),
- Erhaltung und Entwicklung des „Grünen Bandes“ (NA08),
- Fortschreibung der Schutzgebietskonzeption des Freistaats, ggf. Anpassung von Schutzziele (NA17),

- Freihalten hochwassergefährdeter Gebiete von Bauwerken (BA01),
- Anpassungsmaßnahmen der Kommunen (BA09),
- Implementierung des Klimawandels in energiepolitische Entscheidungsprozesse (EW01),
- Erstellung von räumlich hochaufgelösten Potenzialstudien für EE-Träger unter Berücksichtigung des Klimawandels (EW03).

Maßnahmen im eigenen Handlungsfeld

Die zentrale Maßnahme der Raumordnung und Landesplanung als originär querschnitts- und kompromissorientiertes Hand-

lungsfeld besteht in der Integration des Themas Klimawandel, seiner Folgen und den dafür raumbedeutsamen Reaktionen in die zentralen Instrumente der Raumplanung. Im Rahmen von Klima-prüfungen gilt es daher, klimawandelresistente Planwerke zu entwickeln (RO01). Hierzu ist es von großer Relevanz, Modellprojekte für Teilregionen Thüringens zu fördern und damit die Berücksichtigung des Klimawandels auch in die Regional- und Bauleitplanung hineinzutragen (RO02). In diesem Zusammenhang sollte es auch darum gehen, die Etablierung einer regionalen und lokalen Steuerung zu stärken, bei dem die Regionalplanung als Initiator, Mediator und Multiplikator eines Klimafolgenanpassungsprozesses auf regionaler und lokaler Ebene auftreten könnte (RO03).

Tab. 24: Maßnahmen zur Klimafolgenanpassung im Handlungsfeld Raumordnung und Landesplanung

RO01	Entwicklung klimawandelresistenter Planwerke (Klimaprüfung)	Zeitliche Dringlichkeit	hoch (bis 3 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	mittelfristig (3 bis 10 Jahre)
		Zuständigkeit	alle Planungsträger
		Kosten	gering
RO02	Förderung und Erarbeitung von Modellprojekten in Teilräumen Thüringens	Zeitliche Dringlichkeit	hoch (bis 3 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	in Planung o. Vorbereitung
		Zuständigkeit	TMBLV
		Kosten	mittel
RO03	Förderung von lokalen und regionalen Steuerungsansätzen in der Verwaltung (Governance)	Zeitliche Dringlichkeit	hoch (bis 3 Jahre)
		Zeitliche Umsetzbarkeit	mittelfristig (3 - 10 Jahre)
		Zuständigkeit	Fachressorts der Landesregierung, Landkreise, Kommunen
		Kosten	gering

Vorschläge für ein indikatorengestütztes
Klimafolgenanpassungsmonitoring
im Freistaat Thüringen

5. Vorschläge für ein indikatorengestütztes Klimafolgenanpassungsmonitoring im Freistaat Thüringen

Um Fehlentwicklungen (sog. Misadaption) im Thüringer Klimafolgenanpassungsprozess vorzubeugen, bedarf es eines prozessbegleitenden Monitorings auf der Basis von definierten Indikatoren. Eine Aufgabe der Thüringer Klimaagentur ist es, die Klimaentwicklung mit Messwerten zu erfassen, zu dokumentieren und fortzuschreiben. Zu dieser Beschreibung des aktuellen Zustandes dienen sog. „State-Indikatoren“. Dies sind neben den klassischen Klimaelementen wie z. B. Niederschlag und Temperatur auch daraus ableitbare Parameter wie Temperaturkenntagen und Niederschlagsextrema. Die Auswahl dieser handlungsfeldspezifischen Leitparameter orientiert sich an den Analysen in Kapitel 4.

Seine Entscheidungsunterstützungsfunktion kann das Instrumentarium nur erfüllen, wenn es sich sowohl

- auf die Überprüfung des tatsächlichen Eintretens der erwarteten Klimafolgen („Impact-Monitoring“)
- als auch im Rahmen eines Response-Monitoring auf die Umsetzung (Durchführungskontrolle) der in IMPAKT identifizierten Maßnahmen und den Effekt der umgesetzten Maßnahmen (Wirkungskontrolle) bezieht.

Ein vergleichbarer Ansatz wird gegenwärtig auch auf Bundesebene zur Kontrolle der Deutschen Anpassungsstrategie bzw. des Aktionsplans Anpassung verfolgt (UBA 2011), in dessen Entwicklung der Freistaat Thüringen über die Klimaagentur aktiv eingebunden ist.

Demnach sind die Bundesländer angehalten, auf das Instrument eines indikatorengestützten Monitoringsystems zurückgreifen, wie es beispielweise auch für die Thüringer Nachhaltigkeitsstrategie zur Anwendung kommt (Nachhaltigkeitsbeirat Thüringen 2012). Im Folgenden wird ein erstes Konzept vorgestellt, wie ein

entsprechendes Indikatorensystem für den Freistaat Thüringen ausgestaltet sein könnte. Der Konzeption liegt dabei die Prämisse zugrunde, den zusätzlichen Datenerhebungsaufwand so gering wie möglich zu halten, ausschließlich fortschreibbare Datenreihen zu verwenden und soweit wie möglich auf bereits bestehende Monitoringsysteme und Datenbanken zurückzugreifen.

Die Notwendigkeit der Installation eines solchen Monitorings wurde im IMPAKT-Entwicklungsprozess von fast allen Akteuren des interministeriellen Thüringer Anpassungsnetzwerkes unterstrichen. Dabei wurde häufig herausgestellt, dass der Klimawandel für das Eintreten eines bestimmten Ereignisses im Regelfall lediglich ein einzelner Bestandteil eines komplexen Wirkungsgefüges von klimatischen und sozioökonomischen Faktoren darstellt, und sich daher oftmals nur schwer Indikatoren identifizieren lassen, die ausschließlich die Auswirkungen des Klimawandels abbilden können. Dieser dem Klimafolgenmanagement inhärente Umstand sollte bei der zukünftigen Interpretation der Ergebnisse unbedingt Beachtung finden.

Bisher konnten insgesamt 31 Impact-Indikatoren (II) identifiziert werden (Tab. 24). Hierbei entfallen auf jedes klimasensitive Handlungsfeld mindestens ein, zumeist aber mehrere Indikatoren. Einzig für das Handlungsfeld Raumordnung und Landesplanung wurde aufgrund seiner Sonderstellung (vgl. Kapitel 4.12) auf die Definition von Indikatoren bewusst verzichtet. Nach Einschätzung der Akteure sollten die jeweils benötigten Daten mit überschaubarem Aufwand bereitgestellt und fortgeschrieben werden können. Speziell für den Naturschutz ergaben die Gespräche, dass zusätzliche Arbeit in die Identifizierung und Beobachtung der Indikatorarten investiert werden müsste.

Tab. 25: Vorschläge für ein Impact-Indikatorensystem

Nr.	Handlungsfeld	Impact-Indikator
II-GE-01	Gesundheit	Übersterblichkeit während Hitzeperioden
II-GE-02		Anzahl Hautkrebsfälle
II-GE-03		Anzahl Borreliosefälle
II-GE-04		FSME-Fälle
II-GE-05		Anzahl Hantavirusfälle
II-WW-01	Wasserwirtschaft	HQ ausgewählter Pegel
II-WW-02		NQ ausgewählter Pegel
II-WW-03		Hochwassermeldestufe 1
II-WW-04		Grundwasseroberfläche ausgewählter Messstellen
II-WW-05		GWK mit schlechtem mengenmäßigem Zustand
II-WW-06		Niederschlags-Abfluss-Verhältnis

Fortsetzung von Tab. 25: Vorschläge für ein Impact-Indikatorensystem

II-LW-01	Landwirtschaft	Ernteerträge der 10 Kulturen mit dem größten Flächenanteil
II-LW-02		Qualität der Ernteprodukte
II-LW-03		Anteil Auswinterungsflächen
II-LW-04		Tierleistungsniveau
II-LW-05		Wasserverfügbarkeit
II-LW-06		Niveau der Stickstoffdüngung
II-LW-07		Ertragsausfälle durch Extremwetterereignisse
II-BO-01	Boden	Ausgewählte Parameter der Bodendauerbeobachtungsflächen
II-FW-01	Forstwirtschaft	Holzzuwachs
II-FW-02		Schadholzaufkommen durch Kalamitäten
II-FW-03		Waldbrandhäufigkeit
II-NA-01	Naturschutz	Zustand und Verbreitung hochgradig klimasensibler Arten
II-NA-02		Anzahl und Verbreitung einwandernder, Wärme liebender Arten (invasiver Arten)
II-VK-01	Verkehr	witterungsbedingte Unfälle
II-TO-01	Tourismus	Übernachtungszahlen in ausgewählten wintersportgeprägten Orten
II-TO-02		Schneedecke in ausgewählten Skigebieten
II-BA-01	Bauwesen	Heizenergieverbräuche der Landesliegenschaften
II-BA-02		Witterungsbedingte Schäden an Landesliegenschaften
II-BA-03		Produktivität von landeseigenen Solaranlagen
II-EW-01	Energiewirtschaft	Ertragsleistungen von ausgewählten Anlagen zur Erzeugung von Energie aus Wasser-, Wind- und Solarkraft
II-EW-02		Heizenergieverbrauch
II-EW-03		Kühlenergieverbrauch
II-EW-04		Witterungsbedingte Schäden an kritischen Energieinfrastrukturen
II-KS-01	Katastrophenschutz	witterungsbedingte Einsatzstunden im Katastrophenfall

Wie eingangs des Kapitels erwähnt, muss das Monitoring von Anpassungsmaßnahmen zweistufig aufgebaut sein. In der ersten Stufe sollte im Rahmen einer Durchführungskontrolle überprüft werden, ob die in den Kapiteln 4.1 bis 4.12 identifizierten Maßnahmen auch tatsächlich in dem für sie vorgesehenen Zeitraum (Bewertungsparameter zeitliche Umsetzbarkeit) realisiert worden sind. Für diejenigen Maßnahmen, die nicht im Zeitplan liegen, ist zu analysieren, warum dieses so ist, und mithilfe welcher Instrumente eine Umsetzung unterstützt werden kann. Für diejenigen Maßnahmen, die bereits umgesetzt worden sind, bedarf es einer Wirkungskontrolle, die die Frage beantwortet, ob die angestrebte Wirkung erzielt wurde oder nicht.

Diese Frage kann mithilfe der in Tab. 25 aufgelisteten 16 Response-Indikatoren (RI) beantwortet werden. Hier gilt analog zum Monitoring von Klimafolgen, dass die Kausalkette zwischen der Maßnahmendurchführung und dem erzielten Effekt keinesfalls eindeutig nachvollziehbar sein muss, da im Regelfall noch weitere Faktoren einen Einfluss ausüben. Um dieses Faktorenge-

flecht auf den Beitrag seiner einzelnen Komponenten hin zu untersuchen, bedarf es einer Wirkungsanalyse, die je nach betrachtetem Untersuchungsgegenstand äußerst komplex sein kann. Dieser Umstand spiegelt sich auch in der geringeren Anzahl an Response- gegenüber Impact-Indikatoren wider, die sich noch dazu auf weniger Handlungsfelder verteilen. So konnten für die Handlungsfelder Gesundheit, Energiewirtschaft, Bauwesen und Katastrophenschutz keine geeigneten Response-Indikatoren identifiziert werden. Neben der großen Komplexität mit dem das Thema verbunden ist, liegt die Vermutung nahe, dass die Schwierigkeiten bei der Benennung von Response-Indikatoren auch in der fehlenden Erfahrung mit der Umsetzung und Wirkung von Anpassungsmaßnahmen zu suchen ist. Demzufolge kann davon ausgegangen werden, dass mit fortschreitendem Anpassungsprozess auch das Response-Indikatorensystem an inhaltlicher Substanz gewinnen wird. Daher wird hier vorgeschlagen, sich in den kommenden Jahren in Thüringen zunächst im Schwerpunkt mit der Erfolgskontrolle zu beschäftigen und parallel dazu das Response-System weiter zu entwickeln.

Tab. 26: Vorschläge für ein Response-Indikatorensystem

Nr.	Handlungsfeld	Response-Indikator
RI-WW-01	Wasserwirtschaft	Investitionen in den Hochwasserschutz
RI-WW-02		Investitionen in das Niedrigwassermanagement
RI-WW-03		Vergebene Wasserrechte
RI-LW-01	Landwirtschaft	Entwicklung der Nährstoffgehaltsklassen im Boden (Phosphor, Kalium)
RI-LW-02		Verschiebung der Pflanzenschutzanwendungsanteile zwischen den Wirkungsbereichen (Insektizide, Fungizide, ...)
RI-LW-03		Beregnete Fläche
RI-FW-01	Forstwirtschaft	Mischwaldanteil
RI-FW-02		Anteil nicht heimischer Baumarten
RI-FW-03		Umbaugrad gefährdeter Fichtenbestände
RI-FW-04		Investitionen in den Waldumbau
RI-NA-01	Naturschutz	Erhaltungszustände von FFH-Lebensräumen
RI-NA-02		nicht vernetzte Biotopverbundfläche
RI-VK-01	Verkehr	Häufigkeit von witterungsbedingten Brückensperrungen

Mit den geschilderten Vorschlägen zum Monitoringkonzept wurde ein erster Satz an Impact- und Response-Indikatoren identifiziert, der eine wichtige Komponente für die Erfolgskontrolle des Anpassungsprozesses im Freistaat Thüringen darstellen kann. Um als echtes Entscheidungsunterstützungssystem fungieren zu können, bedarf es allerdings noch eine Reihe weiterer Arbeitsschritte, die sich in den folgenden Stichpunkten zusammenfassen lassen und im Dialog mit den Akteuren des Thüringer Anpassungsnetzwerkes zeitnah diskutiert werden sollten:

- Überprüfung der Eignung der vorgeschlagenen Indikatoren sowie Modifizierungen und Ergänzungen,
- Einheitliche Beschreibung der Indikatoren,
- Festlegung des Skalenniveaus, des Raumbezugs und des Startjahres für die einzelnen Indikatoren,
- Abstimmung über den Umgang mit den Lücken im Indikatorensystem, insbesondere bei den Response-Indikatoren,
- Recherche in bestehenden Monitoringsystemen und Datenbanken, Bestimmung des Erhebungsaufwands,
- Abstimmung über einen endgültigen Indikatorensatz,
- Trendermittlung auf Basis eines geeigneten statistischen Verfahrens,
- Festlegung von Zielgrößen und Zielzeitpunkten für die einzelnen Indikatoren sowie
- Entwicklung eines ersten Indikatorenjahresberichtes.

Fazit und Ausblick

6. Fazit und Ausblick

Mit Vorstellung des Thüringer Klima- und Anpassungsprogramms im Jahr 2009 und der Bekenntnis zu seiner Fortschreibung hat der Freistaat Thüringen den Anpassungsprozess an die Folgen des Klimawandels in Thüringen initiiert und verstetigt. Das vorliegende „Integrierte Maßnahmenprogramm zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels im Freistaat Thüringen“ (IMPAKT) und die mit ihm verknüpfte Bereitstellung von räumlich hochaufgelösten Klimamodelldaten ist die konsequente Fortsetzung dieses Weges. Thüringen verfügt mit IMPAKT aktuell über ein umfangreiches, wissenschaftsbasiertes Maßnahmenportfolio zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels.

Als nächster Schritt kann eine Maßnahmenpriorisierung, bei der die Ziele aller Handlungsfelder gleichberechtigt verfolgt werden, hinsichtlich Dringlichkeit und unter Einbeziehung etwaiger Synergie- und Konfliktpotenziale vorgenommen werden. Dabei wird sich zeigen, ob zum einen Maßnahmen identifiziert werden können, deren Umsetzung vordringlich angegangen werden sollte, und zum anderen, wie Raumnutzungskonflikte und Wassernutzungskonflikte unter dem zusätzlichen Aspekt der Klimaanpassung gelöst werden können. Besonders interessant sind mögliche Synergieeffekte zwischen den Handlungsfeldern.

Für den Anpassungsprozess können fünf zentrale Maßnahmen benannt werden, auf die in naher Zukunft das Hauptaugenmerk des landesübergreifenden Thüringer Anpassungshandels liegen sollte:

- Fortführung des Thüringer Anpassungsnetzwerkes,
- Stärkung der Kompetenz der Thüringer Klimaagentur als zentrale Informations- und Beratungsstelle für Klima und Klimafolgenanpassung in Thüringen,
- Errichtung einer digitalen Informations- und Kommunikationsplattform,
- Durchführung querschnittsorientierter Modellprojekte auf kommunaler und regionaler Ebene und
- Implementierung eines Klimafolgenanpassungsmonitorings.

Die derzeitigen Ergebnisse im Rahmen von IMPAKT zeigen, dass der Prozess der Klimaanpassung in Thüringen viel versprechende Ansätze hat. Die Weiterentwicklung dieser Ansätze auf der Basis neuer Erkenntnisse zum Klimawandel ist die große Herausforderung für die kommenden Jahre.

Quellenverzeichnis

- Abegg, Bruno (2011): Tourismus im Klimawandel. Schaan: CIPRA (= CC.Alps Hintergrundbericht 01/2011). http://www.cipra.org/pdfs/964_de/at_download/file
- Ärztezeitung (2010): Trinkpaten helfen alten Menschen durch den Sommer. http://www.aerztezeitung.de/politik_gesellschaft/article/612626/trinkpaten-helfen-alten-menschen-durch-sommer.html
- Battermann, H. W. und Theuvsen, L. (2009): Feldberegnung in Nordost-Niedersachsen: Regionale Bedeutung und Auswirkungen differenzierter Wasserentnahmeerlaubnisse. Hannover: Fachverband Feldberegnung.
- BAUA (2011): Gesundes Klima und Wohlbefinden am Arbeitsplatz. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin: Dortmund.
- BBK (2010): Methode für die Risikoanalyse im Bevölkerungsschutz. Bonn: BBK (= Wissenschaftsforum, 8).
- BBK (2012): Klimawandel – Herausforderung für den Bevölkerungsschutz. Bonn: BBK (= Praxis im Bevölkerungsschutz, 5).
- Schuchhardt, B. und Schirmer, M. (Hg.) (2005): Klimawandel und Küste: Die Zukunft der Unterweserregion. Berlin: Springer.
- Bundesregierung (2008): Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Kabinettsbeschluss vom 17.12.2008.
- Bundesregierung (2011): Aktionsplanung Anpassung der deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Kabinettsbeschluss vom 31.08.2011. http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/aktionsplan_anpassung_klimawandel_bf.pdf
- Deutscher Städtetag (2012): Positionspapier Anpassung an den Klimawandel – Empfehlungen und Maßnahmen der Städte. http://www.staedtetag.de/imperia/md/content/dst/positionspapier_klimawandel_juni_2012.pdf
- DWD (2011): Informationen zum Waldbrandgefahrenindex. http://www.dwd.de/bvbw/generator/DWDWWW/Content/Landwirtschaft/Warndienste/Waldbrand/wbx__Informationen,templateId=raw,property=publication-File.pdf/wbx__Informationen.pdf
- Ecofys und Hamburginstitut (2012): Gebäudestudie Thüringen: Energieeffizienz und Erneuerbare Energien. <http://www.thueringen.de/de/publikationen/pic/pubdownload1284.pdf>
- Ecofys und Hamburginstitut (2013): Der Nicht-Wohngebäude-Report Thüringen. <http://www.thueringen.de/de/publikationen/pic/pubdownload1414.pdf>
- Eis, Dieter und Helm, Dieter (2009): Klimawandel: Ausbreitung von Ambrosien und die damit verbundenen Gesundheitsrisiken. In: UMID: Klimawandel und Gesundheit. Berlin: UBA, 56 S., S.17-20.
- EU-Kommission (2007): Grünbuch. Anpassung an den Klimawandel – Optionen für Maßnahmen der EU. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2007:0354:FIN:DE:PDF>
- EU-Kommission (2009): Weissbuch. Anpassung an den Klimawandel: Ein europäischer Aktionsrahmen. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2009:0147:FIN:DE:PDF>
- Frentzen, G., Heimann, D. und Wamser, M. (1987): Dokumentation des Regionalen Klimamodells (RKM) auf der Basis von FITNAH. Köln: Deutsche Forschungs- und Versuchsanstalt für Luft- und Raumfahrt (= Mitteilungen der Deutsche Forschungs- und Versuchsanstalt für Luft- und Raumfahrt, 87).

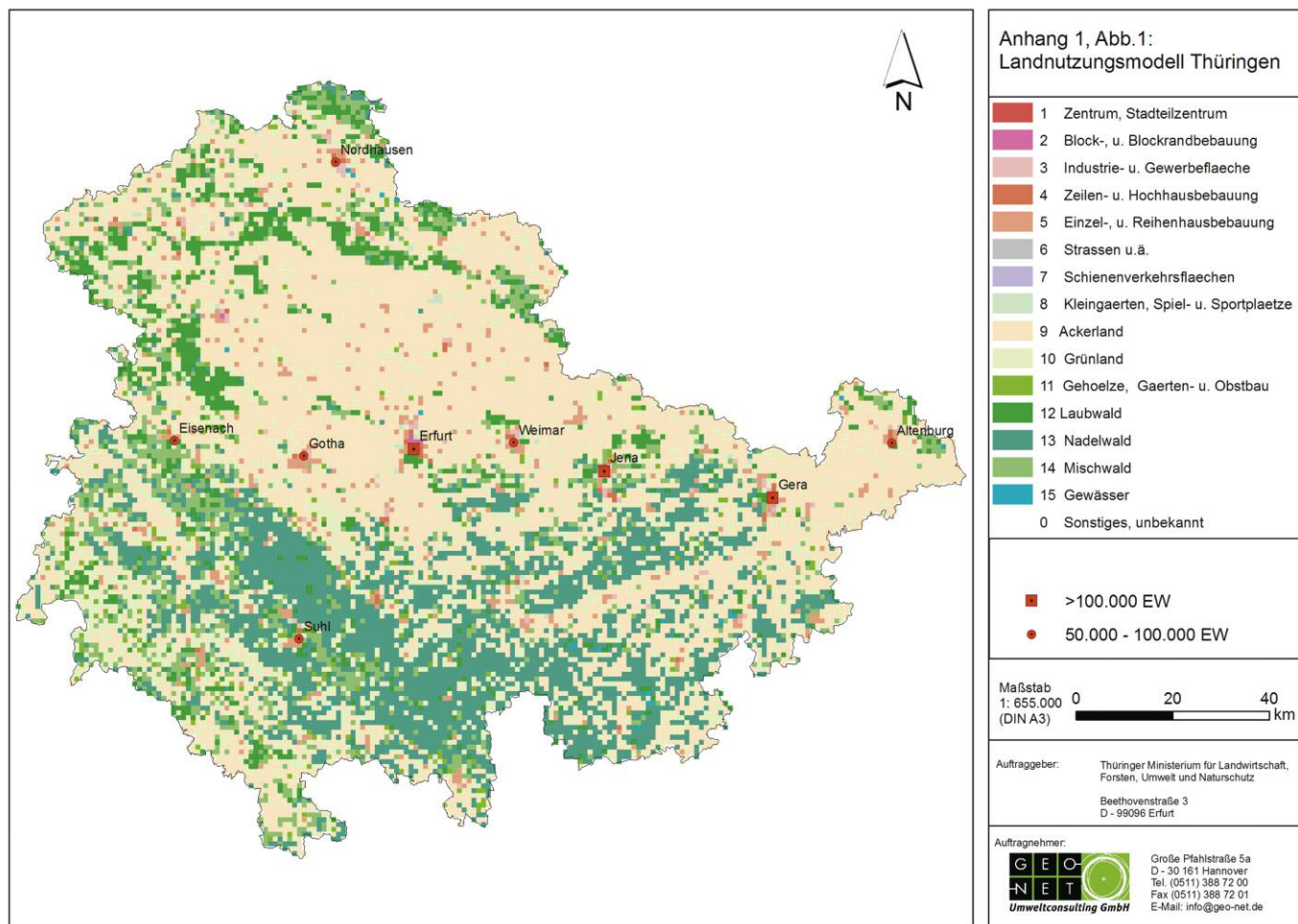
- FZW (= Forschungszentrum Waldökosysteme) (2010): Decision Support Systeme Wald und Klimawandel. <http://www.dss-wuk.de/> (30.04.2012)
- Freistaat Thüringen (2011): Neue Energie für Thüringen. Eckpunkte der Landesregierung. <http://www.thueringen.de/de/publikationen/pic/pubdownload1217.pdf>
- Frischbier, N., Profft, I. und Arenhövel, W. (2010): Die Ausweisung klimawandelangepasster Bestandeszieltypen für Thüringen. In: FORST und HOLZ, 65(4), S. 28-35.
- Groß, G. (1992): Results of supercomputer simulations of meteorological phenomena. Fluid Dynamic Research, 10, S. 483-498.
- Groß, G. (1993): Numerical simulation canopy flows. In: Physical Environment, 12. Heidelberg: Springer.
- Groß, G., Graf, J. und Heimann, D. (1997): Regionalklimasimulation für das Gebiet des Freistaats Thüringen einschließlich der Einflussgebiete der umliegenden Bundesländer. http://www.tlug-jena.de/imperia/md/content/tlug/abt4/klima/regionalklimasimulation_thuer_1997.pdf
- Groß, G., Graf, J. und Heimann, D. (1998): Regionale und lokale Windsysteme in Thüringen und ihre Wechselwirkungen am Beispiel von Weimar. Jena: TLUG (= Schriftenreihe der TLUG, 36). http://www.tlug-jena.de/imperia/md/content/tlug/abt4/klima/regionale_lokale_windsysteme_thuer_1998.pdf
- Groß, G., Graf, J. und Heimann, D. (2000): Simulation der regionalen und bodennahen lokalen Kaltluftabflüsse und Massenströme in Thüringen auf der Grundlage der TK25. http://www.tlug-jena.de/imperia/md/content/tlug/abt4/klima/simulation_kaltluftabfluesse_tuer_2000.pdf
- Groß, G. (2000): Numerische Simulationen zur Wirkung des Waldes auf das Mikro- und Lokalklima. http://www.tlug-jena.de/imperia/md/content/tlug/abt4/klima/numerische_simulation_wald_thuer_2000.pdf
- Groß, G. (2002): The exploration of boundary layer phenomena using an anisotropic mesoscale model. In: Meteorologische Zeitschrift, 11, S.295-302.
- Gutsch, M., Lasch, P., Suckow, F. und Reyer, C. (2011): Waldumbau in Brandenburg: Grundwasserneubildung unter Klimawandel – Poster. Potsdam: Potsdam Institut für Klimafolgenforschung.
- Ingedahl, Björn und Thieme, Imke (2009): Gesundheitliche Effekte des Klimawandels - Aufklärung und Bewusstseinsbildung als wesentlicher Bestandteil von Anpassungsmaßnahmen. In: UMID: Klimawandel und Gesundheit. Berlin: UBA, 56 S., S.5-7.
- IPCC (2007): Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 976pp.
- KLIFF (2011): Konsequenzen und Anpassungen für die niedersächsische Milch- und Rinderproduktion durch Klimaänderungen auf regionaler Skala. http://www.kliff-niedersachsen.de/vweb5-test.gwdg.de/?page_id=23
- Kunz, C (2002): TBE vaccination and the Austrian experience. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12628814?dopt=Abstract>
- LAWA (1995): Leitlinien für einen zukunftsweisenden Hochwasserschutz. Stuttgart: LAWASelbstverlag.
- LAWA und Finke, W. (2007): Leitlinien für ein nachhaltiges Niedrigwassermanagement. Berlin: Kulturbuchverlag.

- METEOTEST (2012): Windprofilrechner. <http://www.wind-data.ch/tools/profile.php>
- Mirschel, W., Wenkel, K.-O., Wieland, R., Albert, E. und Köstner, B. (2009): YIELDSTAT – ein modell zur regionalen Ertragsschätzung. In: Kage, H., Karsebaum, K. C. und Müller, T. (Hg.): Modellierung des Systems Nutzpflanze-Boden – Herausforderungen des 21. Jahrhunderts. Bonn: Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften e.V. (= Berichte der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, 4), 132 S., 43 - 48.
- MKRO (2006): Leitbilder und Handlungsstrategien für die Raumentwicklung in Deutschland. Berlin: BMVBS.
- MUNLV (Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen) (2010): Handbuch Stadtklima – Maßnahmen und Handlungskonzepte für Städte und Ballungsräume zur Anpassung an den Klimawandel. http://www.umwelt.nrw.de/umwelt/pdf/handbuch_stadtklima.pdf
- Mücke, Hans-Guido und Augustin, Jobst (2009): Fachgespräch Klimawandel und Gesundheit – Welche Probleme verursachen Wärme liebende Schadorganismen? In: UMID: Klimawandel und Gesundheit. Berlin: UBA, 56S., S. 11 - 12.
- Müller, J. (1996): Beziehungen zwischen Vegetationsstrukturen und Wasserhaushalt in Kiefern- und Buchenökosystemen. In: Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft (Hg.): Wald im Wandel. Hamburg: Max Wiedebusch Kommiss. Verl. (= Mitteilung der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, 185), 175 S. 112 - 128.
- Nachhaltigkeitsbeirat Thüringen (2012): Nachhaltigkeitsindikatoren – Zielwerte für Thüringen. <http://www.nachhaltigkeitsbeirat-thueringen.de/images/pdf/VorschlagslisteZielwerte.pdf>
- Petermann, T., Revermann, C. und Scherz, C. (2006): Zukunftstrends im Tourismus. Berlin: edition sigma.
- PIK (Potsdam Institut für Klimafolgenforschung) (2011): Klimawandel und Schutzgebiete. http://www.pik-potsdam.de/~wrobel/sg-klima-3/nav_bl.html
- RKI (2010): Informationen zur Vermeidung von Hantavirus-Infektionen. http://www.fli.bund.de/fileadmin/dam_uploads/tierseuchen/Hantaviren/Merkblatt_Hantavirus_Information_2010.pdf
- Sommer, C. und Brunotte, J. (2001): Bodenschadverdichtungen: Technische Möglichkeiten zur Vorsorge gegen Bodenschadverdichtungen in der pflanzlichen Produktion. Landtechnik 56 (5), S. 314 - 315
- Sperk, C. und Mücke, H.-D. (2009): Klimawandel und Gesundheit: Informations- und Überwachungssysteme in Deutschland - Ergebnisse der internetbasierten Studie zu Anpassungsmaßnahmen an gesundheitliche Auswirkungen des Klimawandels in Deutschland. Bonn: UBA (= Umwelt & Gesundheit 03/2009).
- Stachowiak, H. (1973): Allgemeine Modelltheorie. Wien: Springer.
- Steinmetz, Manfred (2009): Solare UV-Strahlung im Zeichen des erwarteten Klimawandels. In: UMID: Klimawandel und Gesundheit. Berlin: UBA, 56S., S. 24-28.
- ThINK (2012): JenKAS – Die Jenaer Klimaanpassungsstrategie. <http://www.jenkas.de/>
- Thüringer Allgemeine (2012): Zahl der Verkehrstoten in Thüringen gesunken. <http://www.thueringer-allgemeine.de/web/zgt/leben/blaulicht/detail/-/specific/Zahl-der-Verkehrstoten-in-Thueringen-gesunken-1510720240>
- TIM (2010): Thüringer Katastrophenschutzverordnung (ThürKatSVO) in Schaubildern. Erfurt: Thüringer Innenministerium.

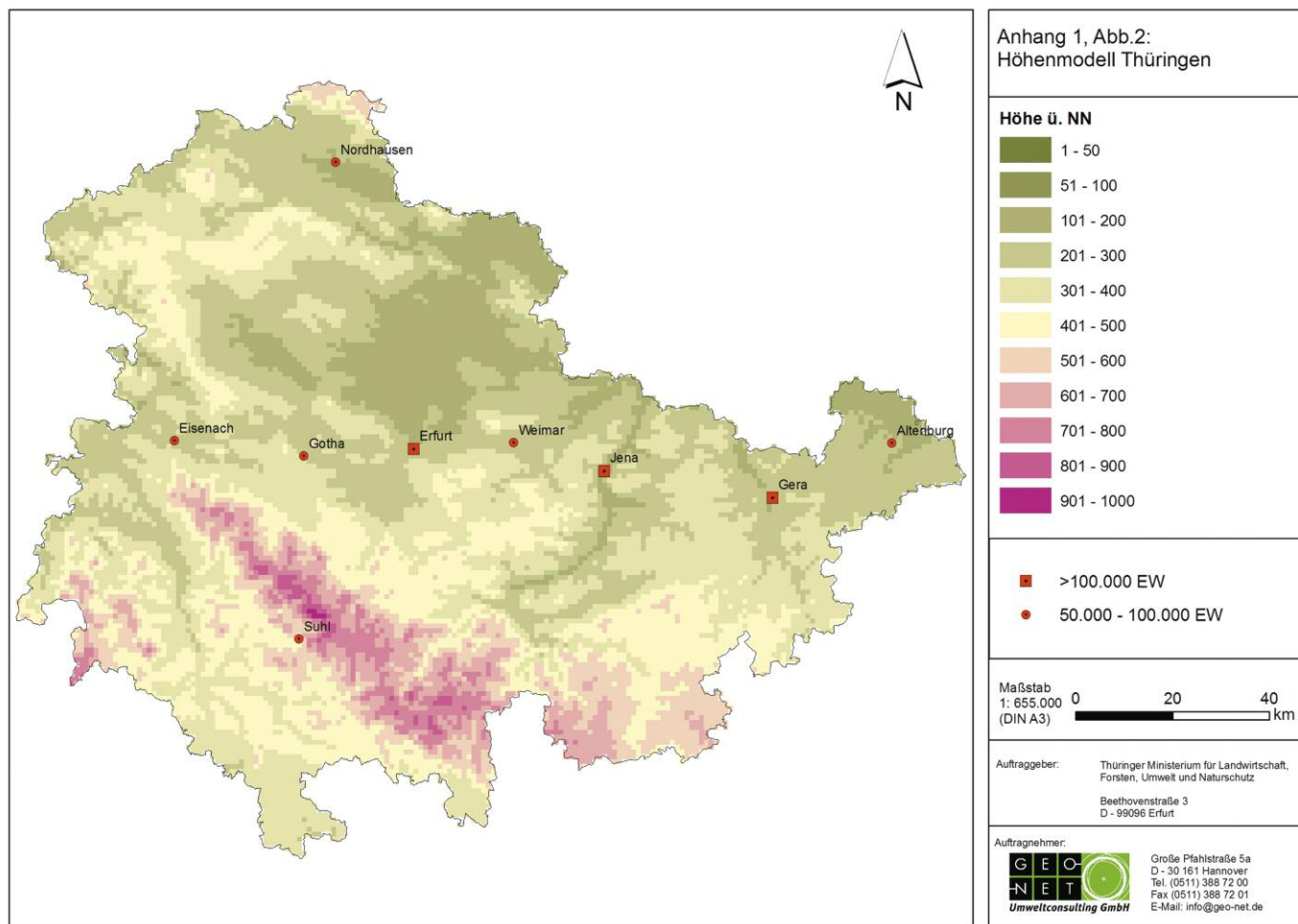
- TLaTV (2012): Sommerhitze. Was bei Tätigkeiten im Freien unter ungünstigen klimatischen Verhältnissen zu beachten ist. http://www.thueringen.de/imperia/md/content/tmsfg/abteilung5/arbeitschutz/merkbl_hitzearbeit.pdf
- TLL (2008): Landwirtschaftlicher Bodenschutz in Thüringen. <http://www.tll.de/ainfo/pdf/bods0508.pdf>
- TLL (2009): Anpassung der Thüringer Landwirtschaft an den Klimawandel. <http://www.tll.de/ainfo/pdf/lwkl0409.pdf>
- TLL (2009a): Pflanzenbau und Klimawandel – Schwerpunkt Fruchtartenbewertung. <http://www.tll.de/ainfo/archiv/pfkl0509.pdf>
- TLL (2012): Regionaldifferenzierte Abschätzung der Auswirkungen des Klimawandels auf die Erträge von wichtigen Fruchtarten im Freistaat Thüringen mittels Ertragssimulation mit YIELDSTAT. <http://www.tll.de/ainfo/pdf/yieldstat.pdf>
- TLLV (2007): Frühsommer-Meningoenzephalitis (FSME) in Thüringen. Merkblatt des Thüringer Landesamtes für Lebensmittelsicherheit und Verbraucherschutz. http://www.thueringen.de/imperia/md/content/tllv/medizinaluntersuchung/zecken_info_fsme.pdf
- TLLV (2012): Thüringer Trinkwasser- und Badegewässerinformationssystem. <http://twisth.thueringen.de/index.php/badegewaesser>
- TLLV (2012a): Schutz vor Salmonellen – Merkblatt für Verbraucher. <http://www.thueringen.de/de/tllv/medizinaluntersuchung/infektionshygiene/merkblaetter/content.html>
- TMBLV (2011): 1. Entwurf Landesentwicklungsprogramm – LEP Thüringen 2025. http://www.thueringen.de/imperia/md/content/tmbv/lep2025/lep_2025_-_entwurf_2011-07-12_gesamt.pdf
- TMLFUN (2012): Zukunftskatalog Thüringer Landwirtschaft 2020. http://www.thueringen.de/imperia/md/content/tmlnu/zukunftskatalog_landwirtschaft.pdf
- TMLFUN (2010): Wald im Wandel. Eine Chance für Thüringen. Dialog zur nachhaltigen Waldentwicklung in Thüringen. <http://www.thueringen.de/de/publikationen/pic/pubdownload1176.pdf>
- TMLNU (2009): Thüringer Klima- und Anpassungsprogramm. <http://www.thueringen.de/de/publikationen/pic/pubdownload1016.pdf>
- TMLNU (2007): Großschadereignis „Kyrill“ – Die Bewältigung einer Katastrophe.
- TMLFUN (2012a): Thüringer Strategie zur Erhaltung der biologischen Vielfalt. Erfurt: Fehldruck.
- TMWAT (2012): Landestourismuskonzeption 2015. <http://www.thueringen.de/de/publikationen/pic/pubdownload1258.pdf>
- TMWAT (2012a): Förderfibel 2011. In die Zukunft investieren. https://www.thueringen.de/imperia/md/content/wirtschaft/foerderfibel/f__rderfibel2011.pdf
- TMWAT (2011): Spezialkonzept Kulturtourismus Thüringen 2015. http://www.thueringen.de/imperia/md/content/tmwta/tourismus/spezialkonzept_kulturtourismus_th__ringen_2015.pdf
- TMWAT (2011a): Neue Energie für Thüringen - Thüringer Bestands- und Potenzialatlas für erneuerbare Energien. <http://thueringen.de/de/publikationen/pic/pubdownload1273.pdf>
- TMWAT (2009): Sommersporttourismus in Thüringen. Analyse – Entwicklungspotentiale – Handlungsempfehlungen. http://www.dshs-koeln.de/natursport/fileadmin/media/PDFs/sommersport_brosch__re.pdf

- TMWAT (2008): Wintersporttourismus im Thüringer Wald: Analyse – Entwicklungspotentiale – Handlungsempfehlungen. http://www.dshs-koeln.de/natursport/fileadmin/media/PDFs/wintersporttourismuskonzeption_04_2008.pdf
- UBA (2011): Entwicklung eines Indikatorensystems für die Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS). http://www.anpassung.net/cln_349/nn_700716/SharedDocs/Downloads/DE/Arbeitsstandsbericht__Indikatoren__2011,templateId=raw,property=publication-File.pdf/Arbeitsstandsbericht_Indikatoren_2011.pdf
- Venkatesan, R. (1999): Atmospheric model 'FITNAH' for complex terrain applications: report on case studies. Kalpakkam: Indira Gandhi Centre for Atomic Research (= IGC, 212).
- Von Buttlar, C., Karpenstein-Machan, M. und Bauböck, R. (2011): Potenziale für den Anbau und die Nutzung von Energiepflanzen unter Berücksichtigung des regionalisierten Klimawandel. In: LBEG (Hg.): Klimafolgenmanagement in der Metropolregion Hannover-Braunschweig-Göttingen. Hannover: Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (=Geoberichte, 18), 174 S., 40-58.
- Wurbs, D. und Steiniger, M. (2010): Wirkungen der Klimaänderungen auf die Böden: TV 02: Untersuchungen zu Auswirkungen des Klimawandels auf die Bodenerosion durch Wasser. Halle: Geoflux GbR (=UBA-FB 001463).
- ZfKD Zentrum für Krebsregisterdaten (2010): Aktuelle Zahlen aus dem Robert Koch-Institut – Vorkommen von Krebserkrankungen in Deutschland. In: Gesundheitsökonomie & Qualitätsmanagement 3, 15.

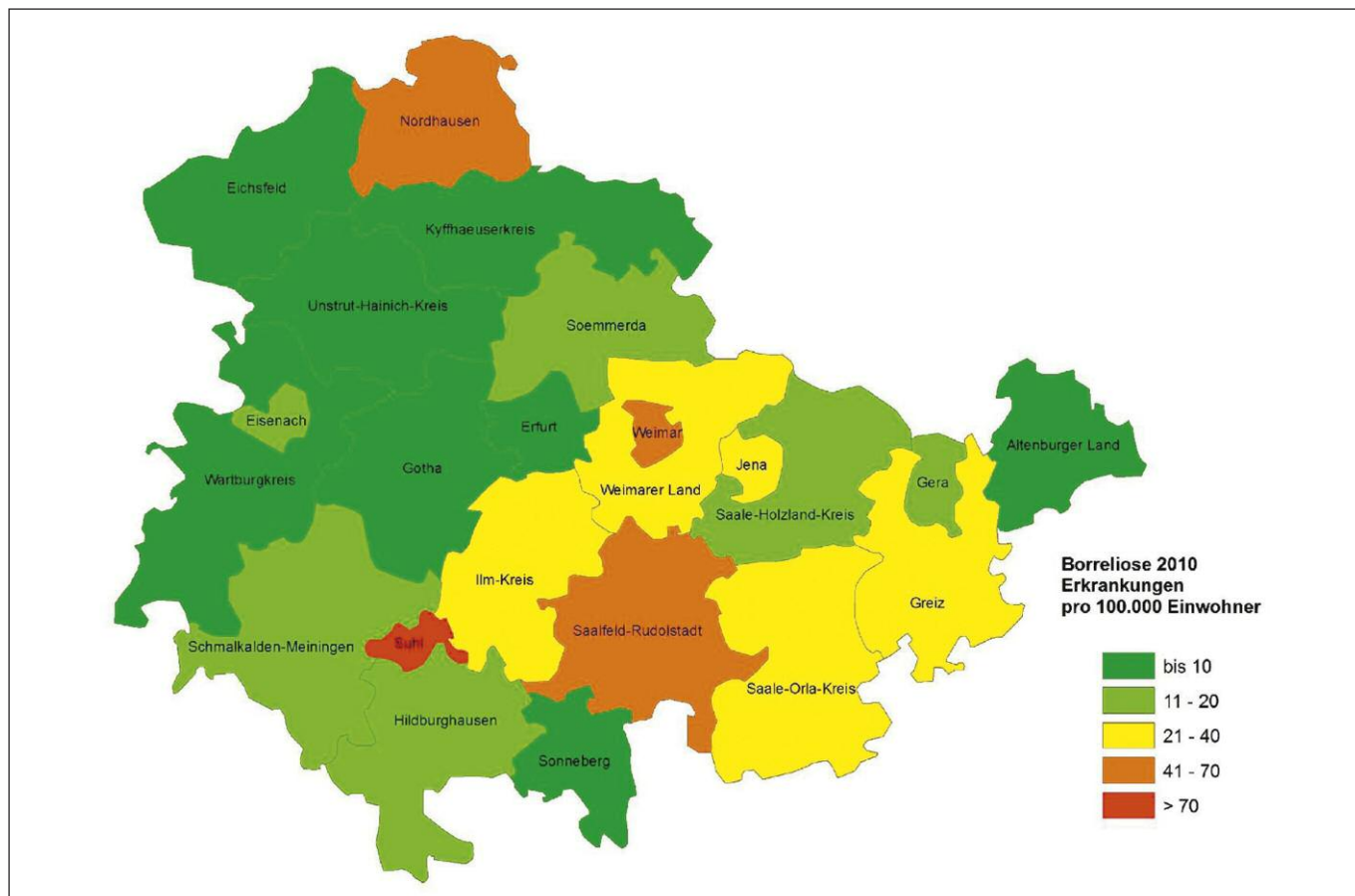
Anhang: Abbildungen



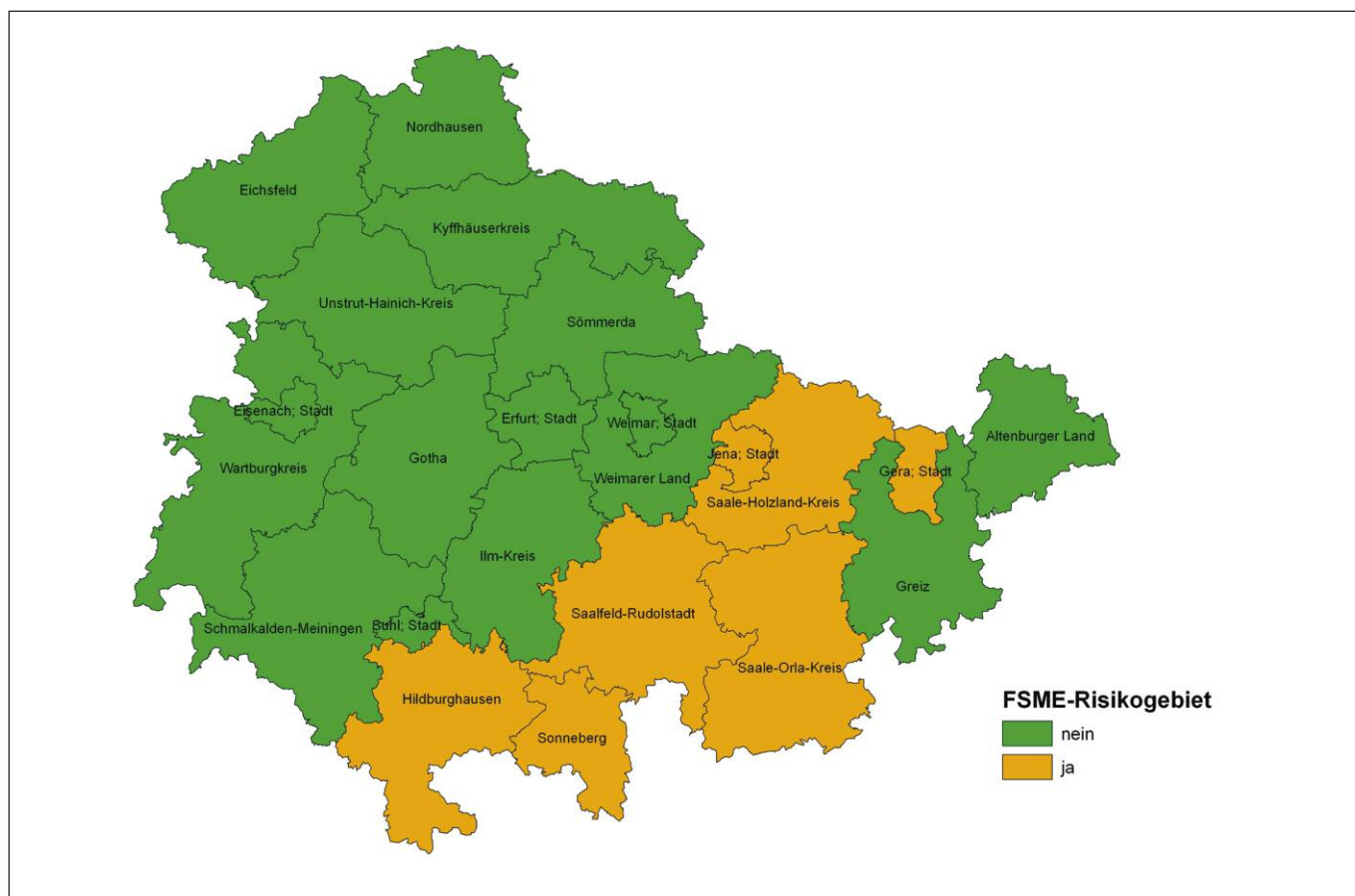
Anhang, Abb. 1: Landnutzungsmodell von Thüringen im 1 km-Raster



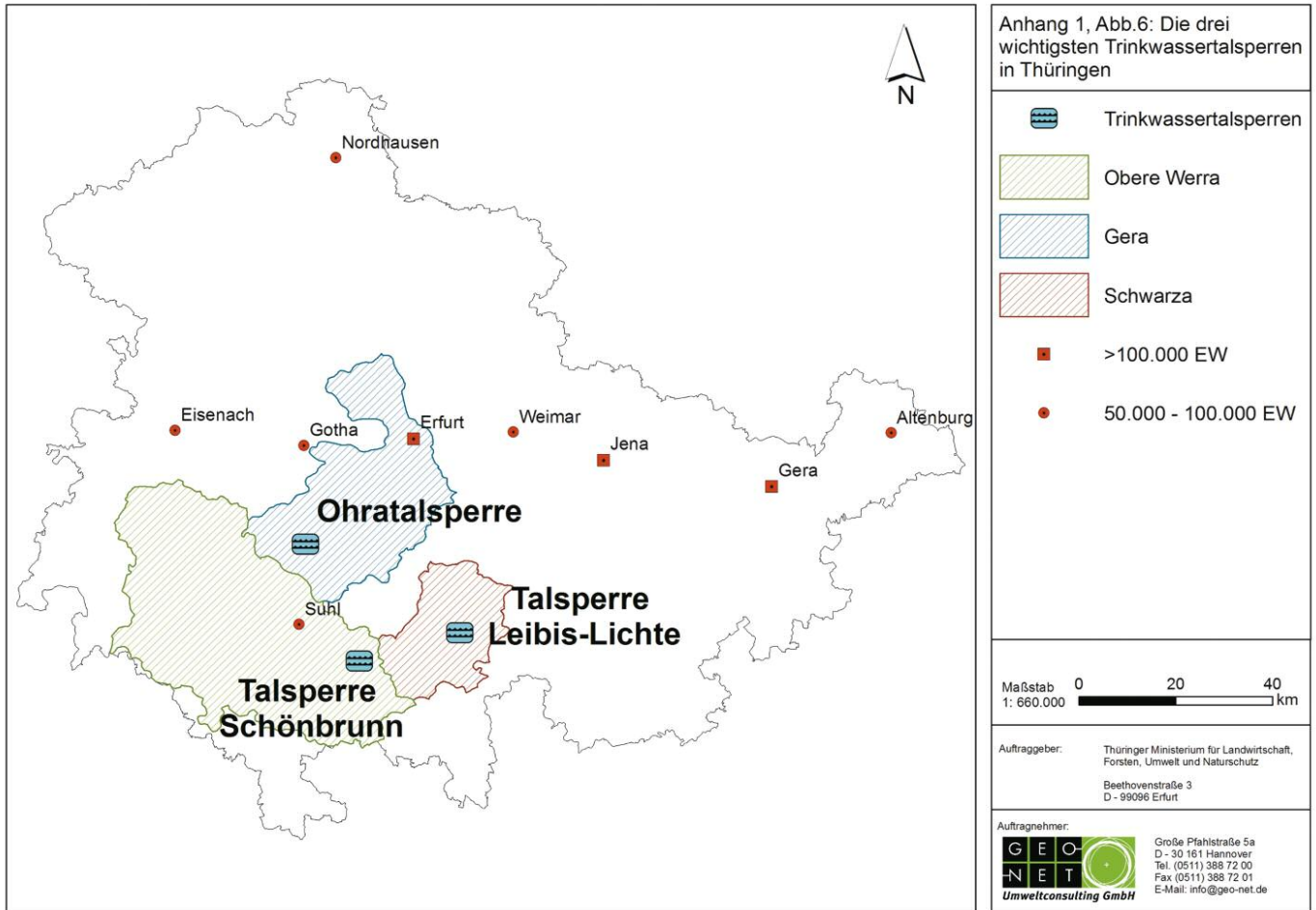
Anhang, Abb. 2: Höhenmodell von Thüringen im 1 km-Raster



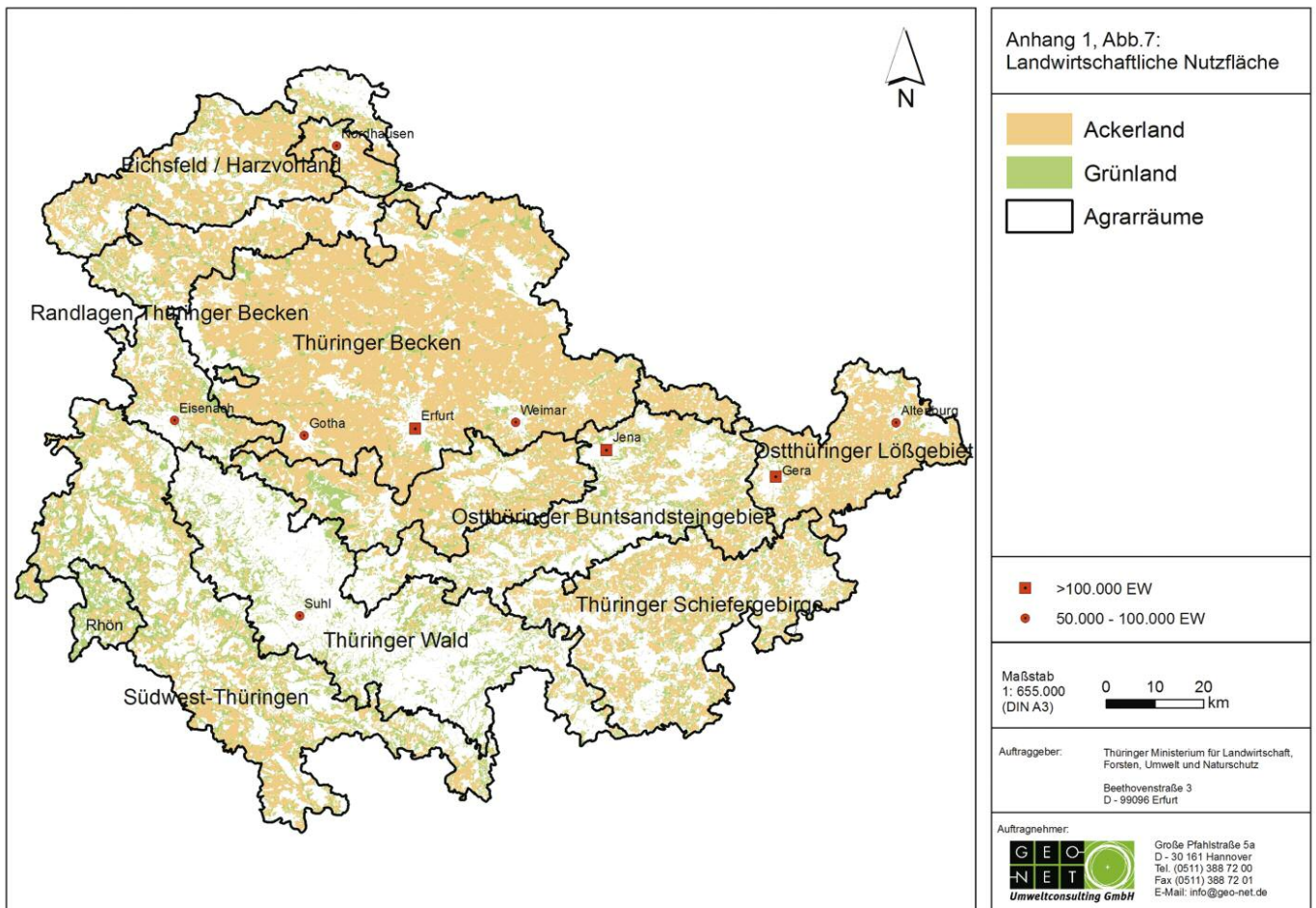
Anhang, Abb. 4: Borreliose-Risikogebiete in Thüringen (2010)



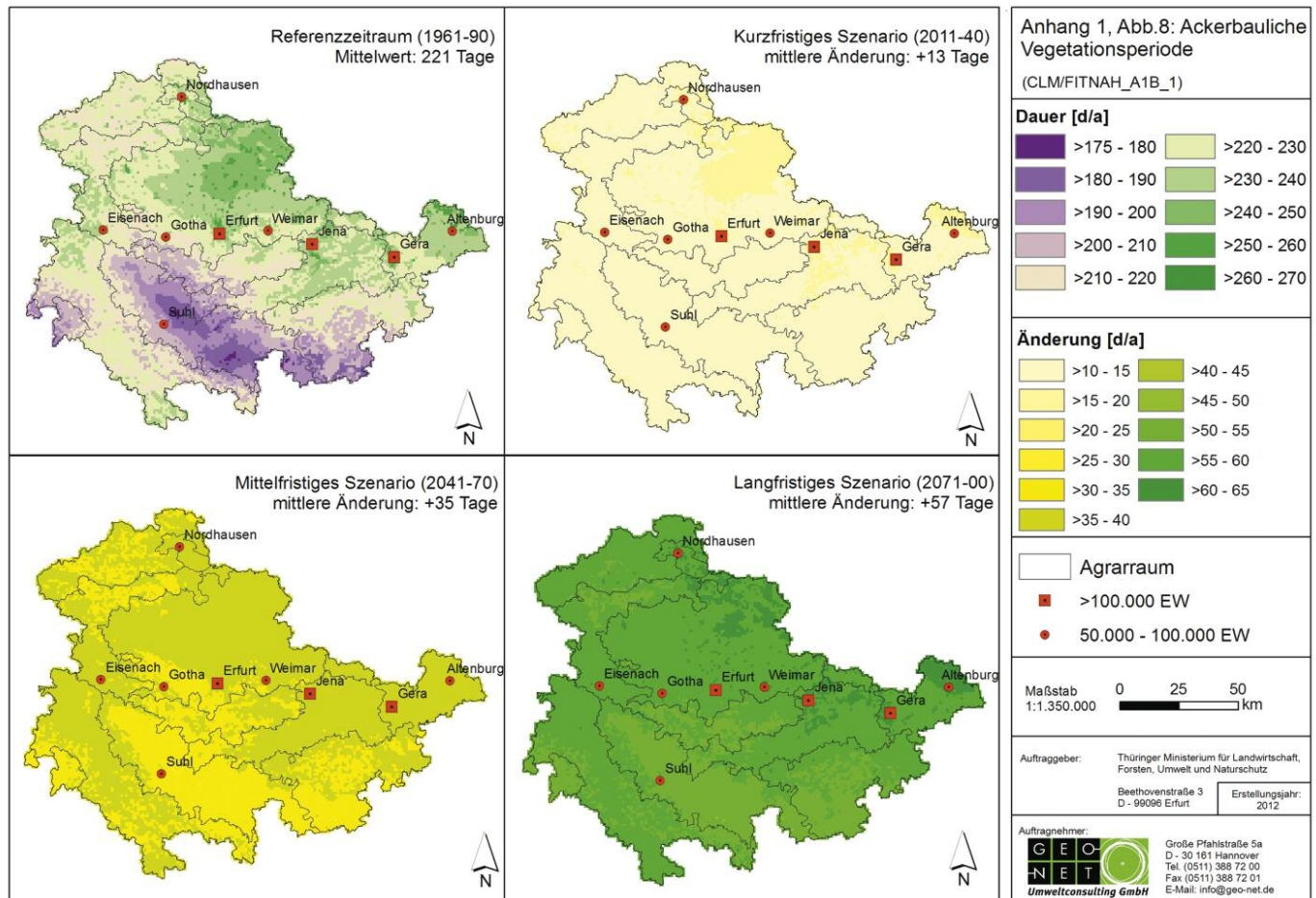
Anhang, Abb. 5: FSME-Risikogebiet in Thüringen (2007)



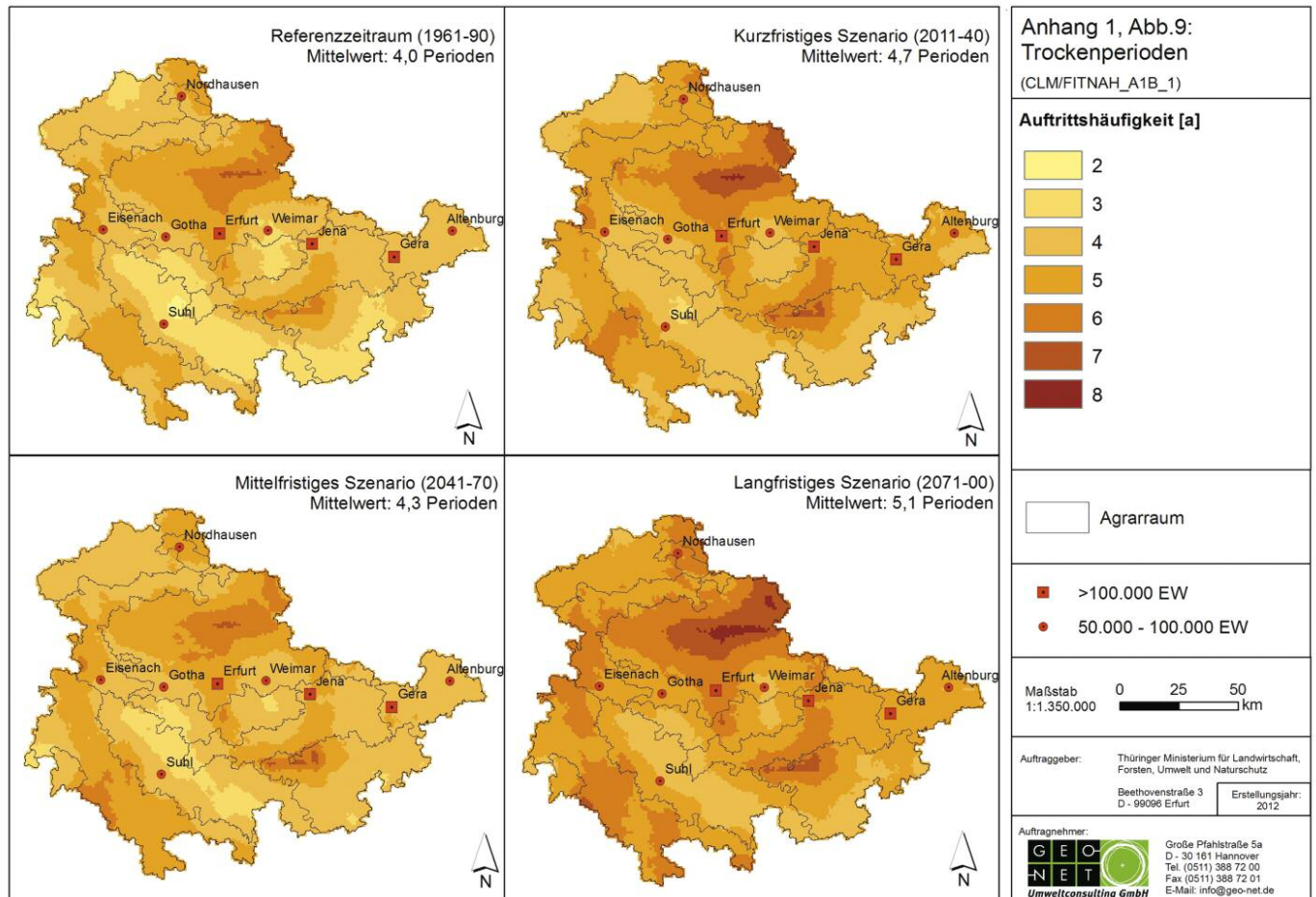
Anhang, Abb. 6: Die drei wichtigsten für die öffentliche Wasserversorgung genutzten Talsperren in Thüringen



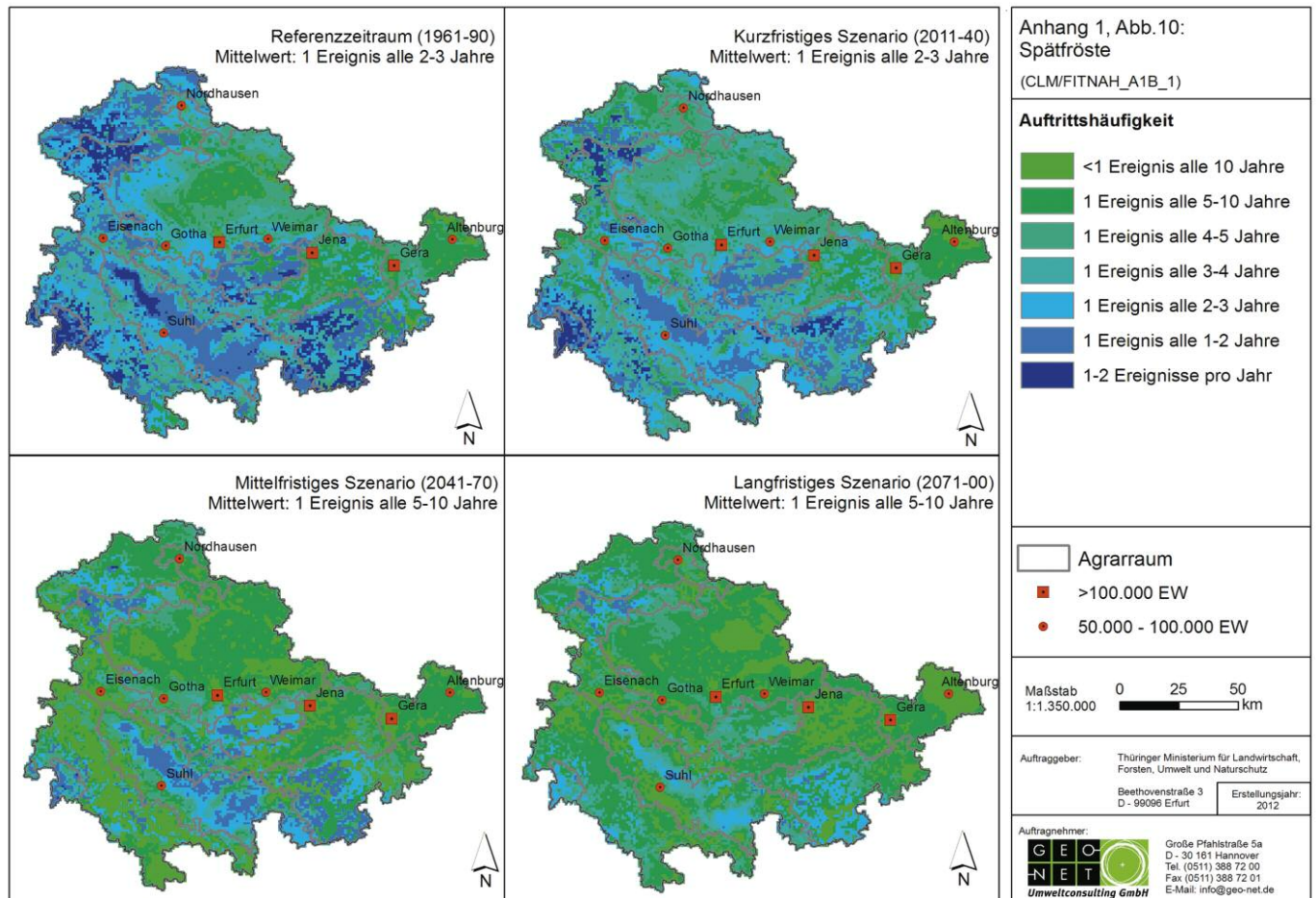
Anhang, Abb. 7: Landwirtschaftliche Nutzfläche in Thüringen



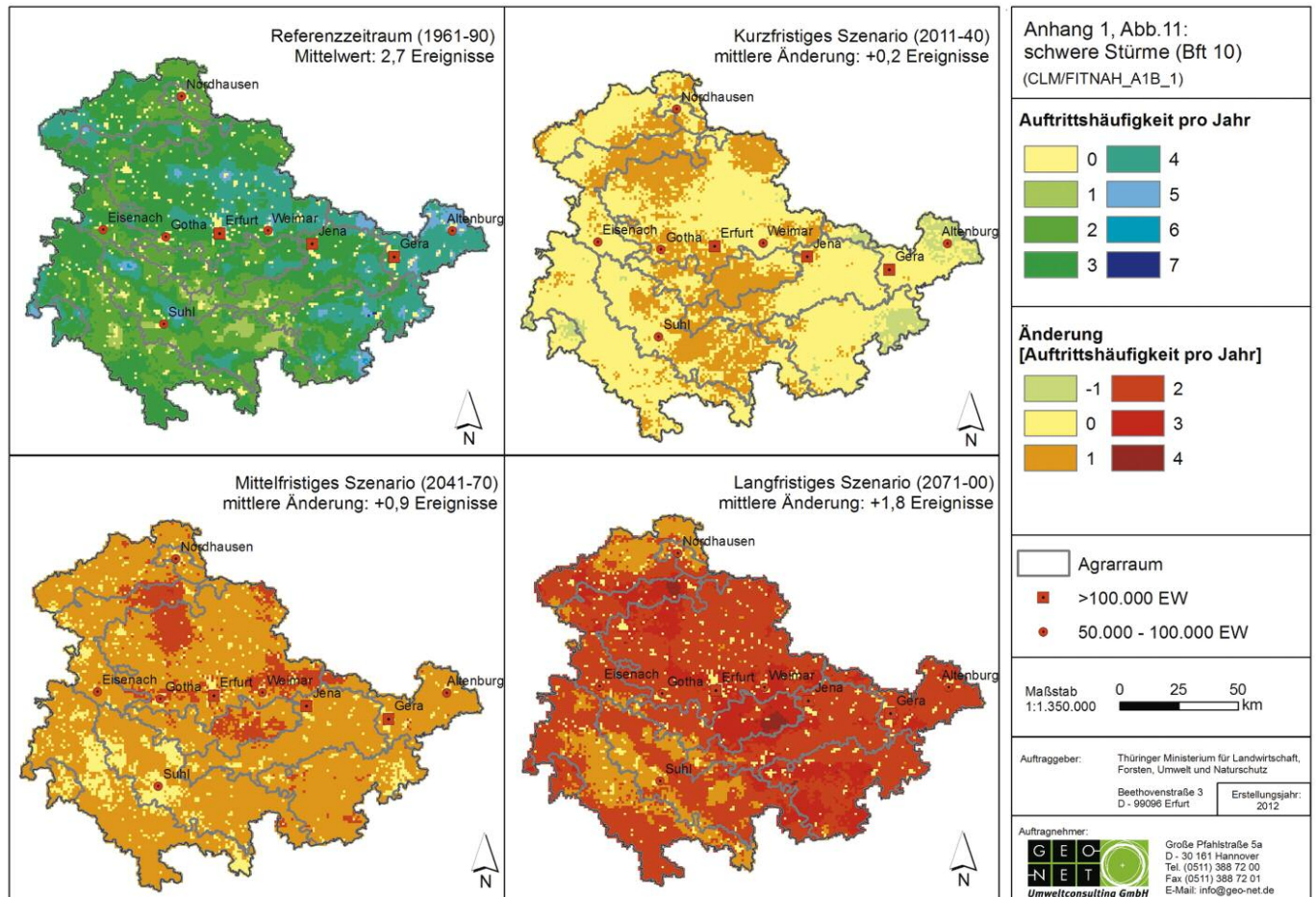
Anhang, Abb. 8: Durchschnittliche jährliche Länge der Ackerbaulichen Vegetationsperiode



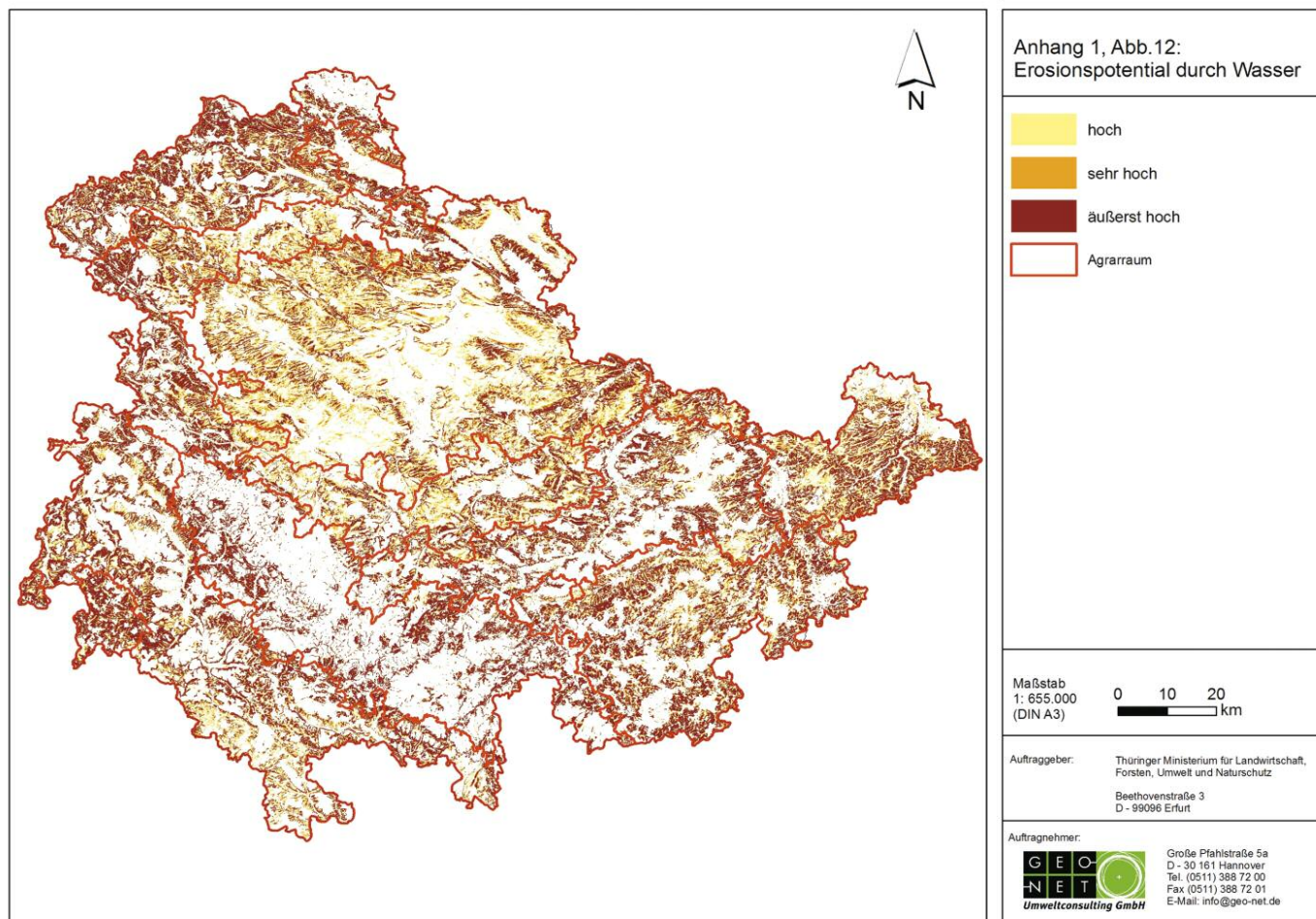
Anhang, Abb. 9: Durchschnittliche jährliche Auftrittshäufigkeit von Trockenperioden



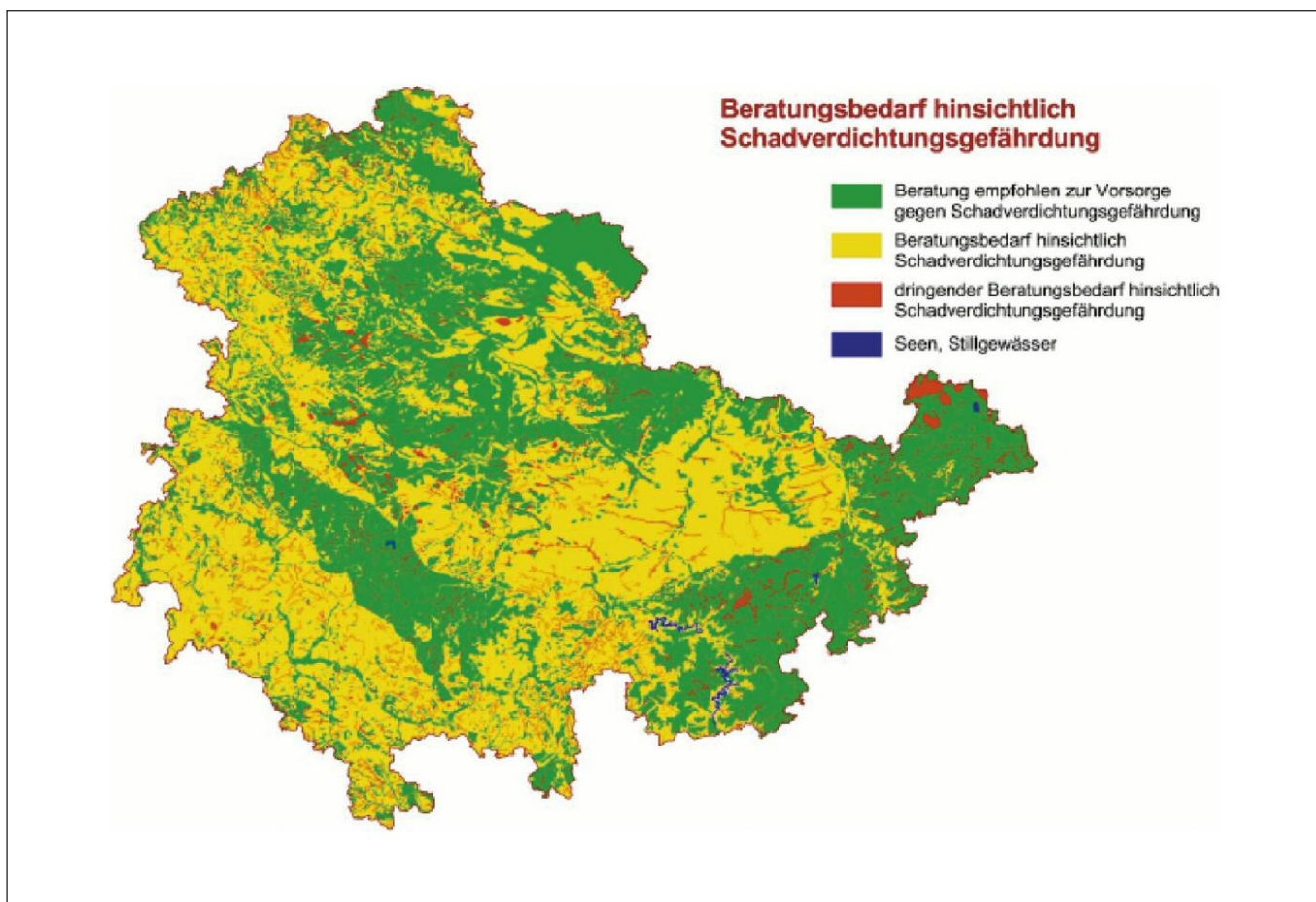
Anhang, Abb. 10: Durchschnittliche jährliche Auftrittshäufigkeit von Spätfrösten in der ackerbaulichen Vegetationsperiode



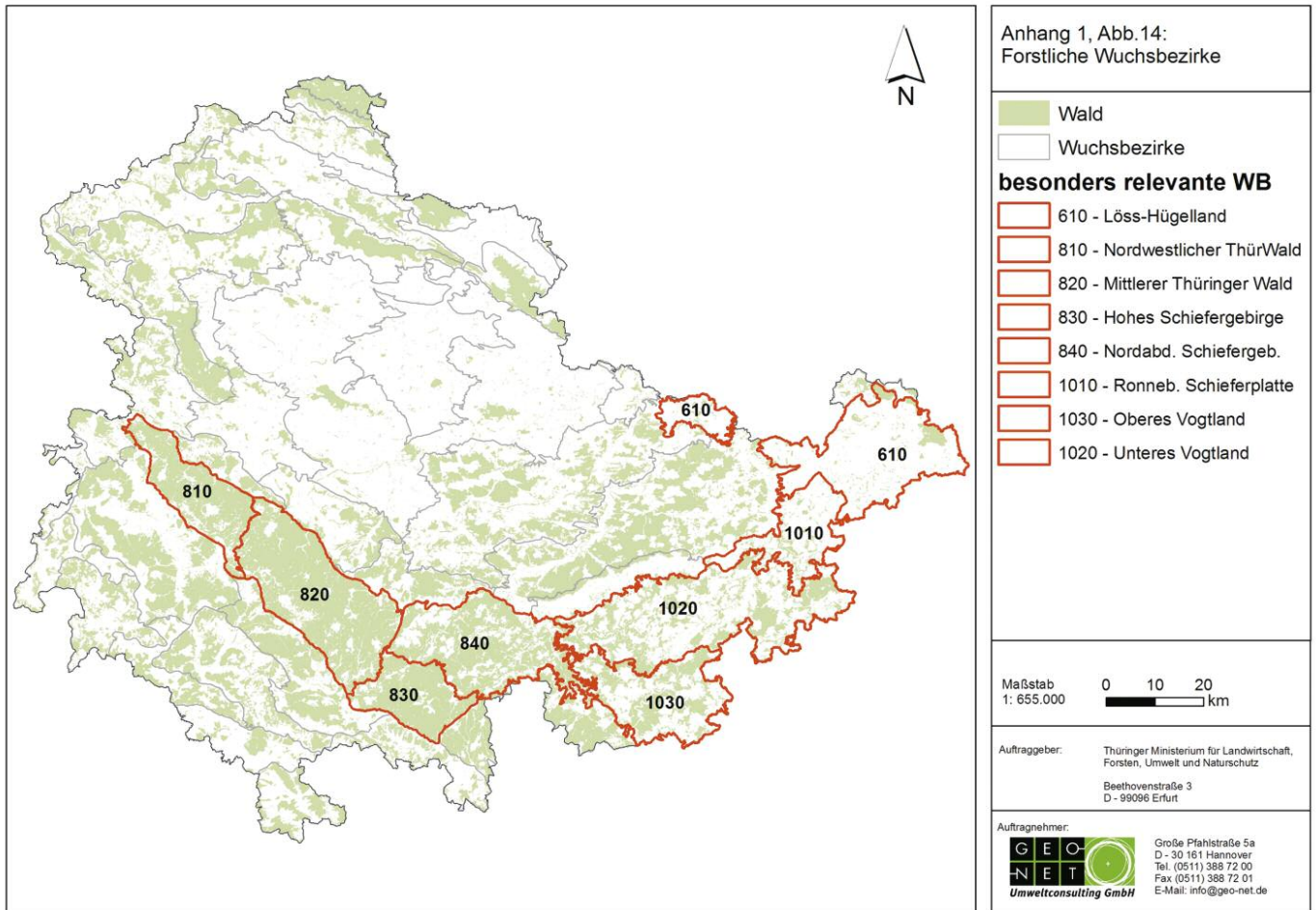
Anhang, Abb. 11: Durchschnittliche jährliche Auftrittshäufigkeit von schweren Stürmen



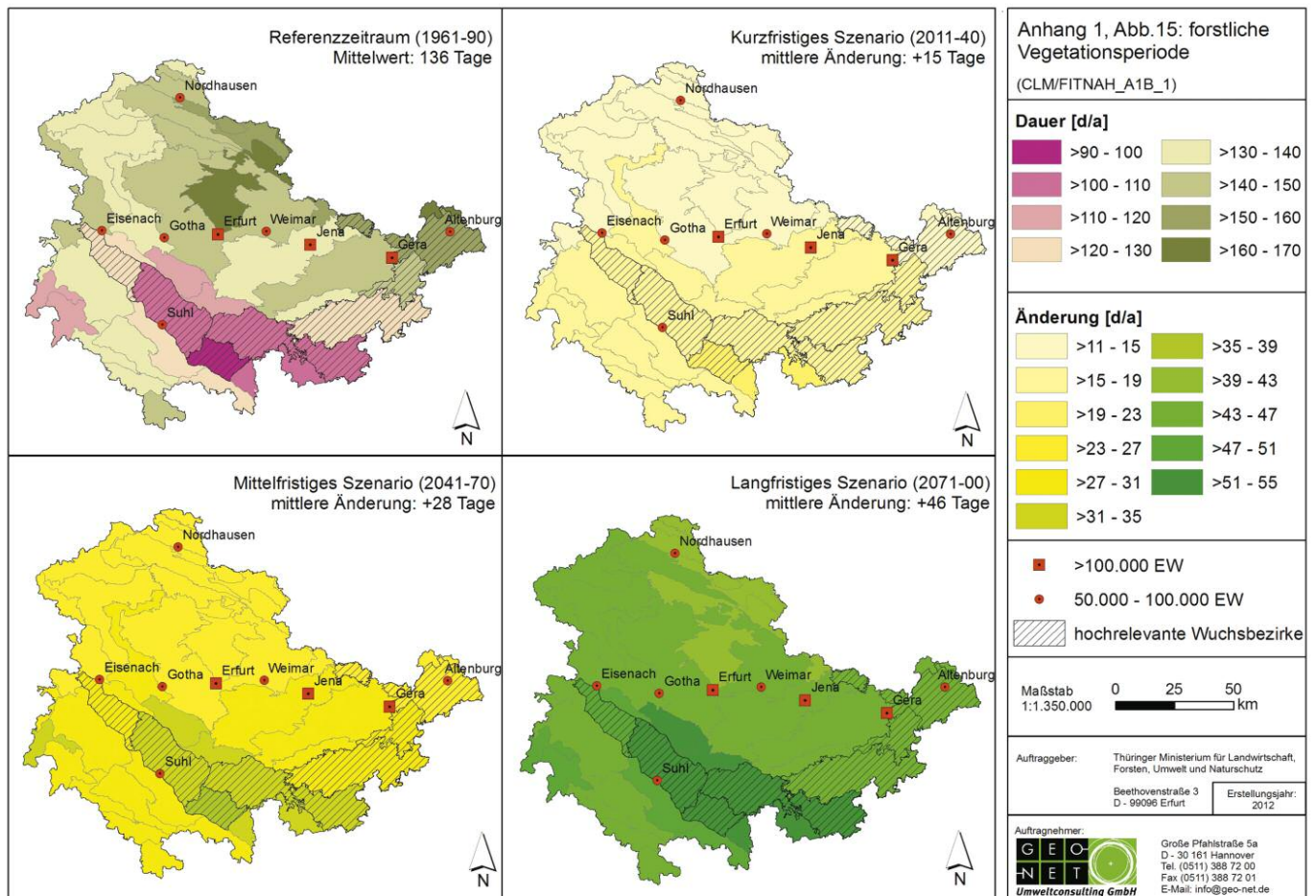
Anhang, Abb. 12: Klassifizierung des Erosionspotentials durch Wasser auf landwirtschaftlich genutzten Flächen in Thüringen (abgeleitet mit der ABAG auf Basis der Faktoren R, K, L und S)



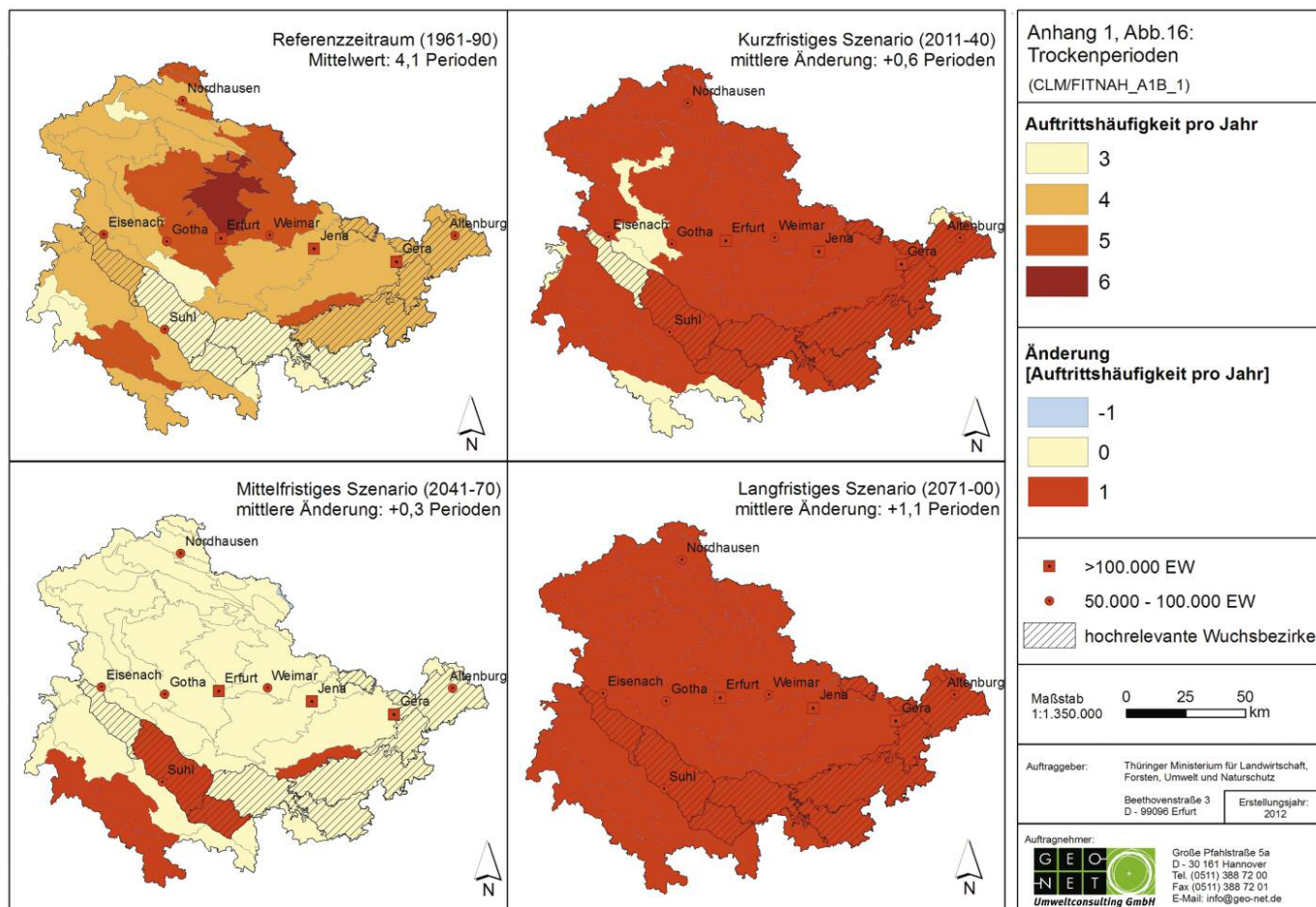
Anhang, Abb. 13: Beratungsbedarf hinsichtlich der Schadverdichtungsgefährdung des Bodens in Thüringen (Quelle: <http://www.tll.de/verstola/uploads/images/druckbel.gif>)



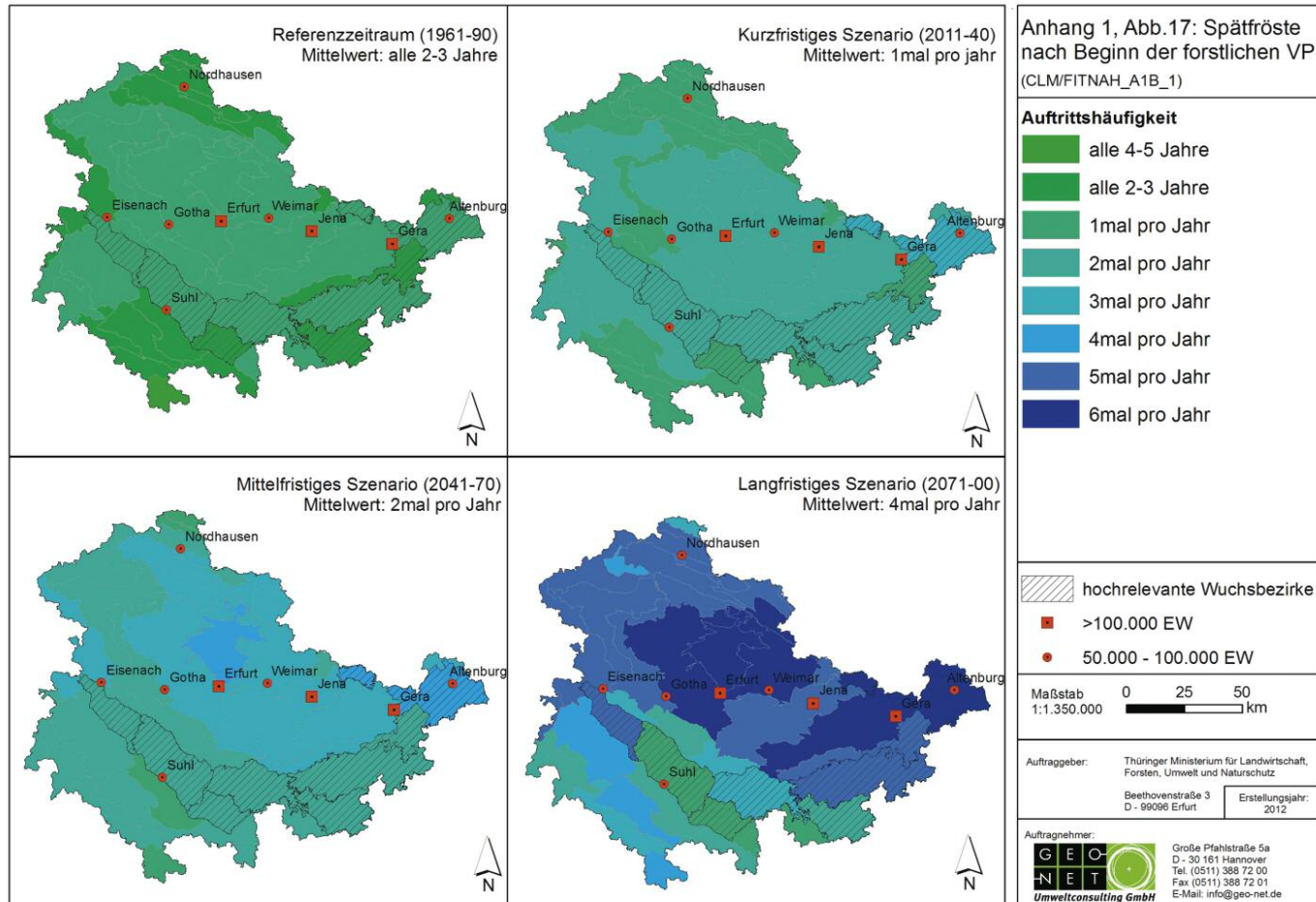
Anhang, Abb. 14: Forstliche Wuchsbezirke in Thüringen



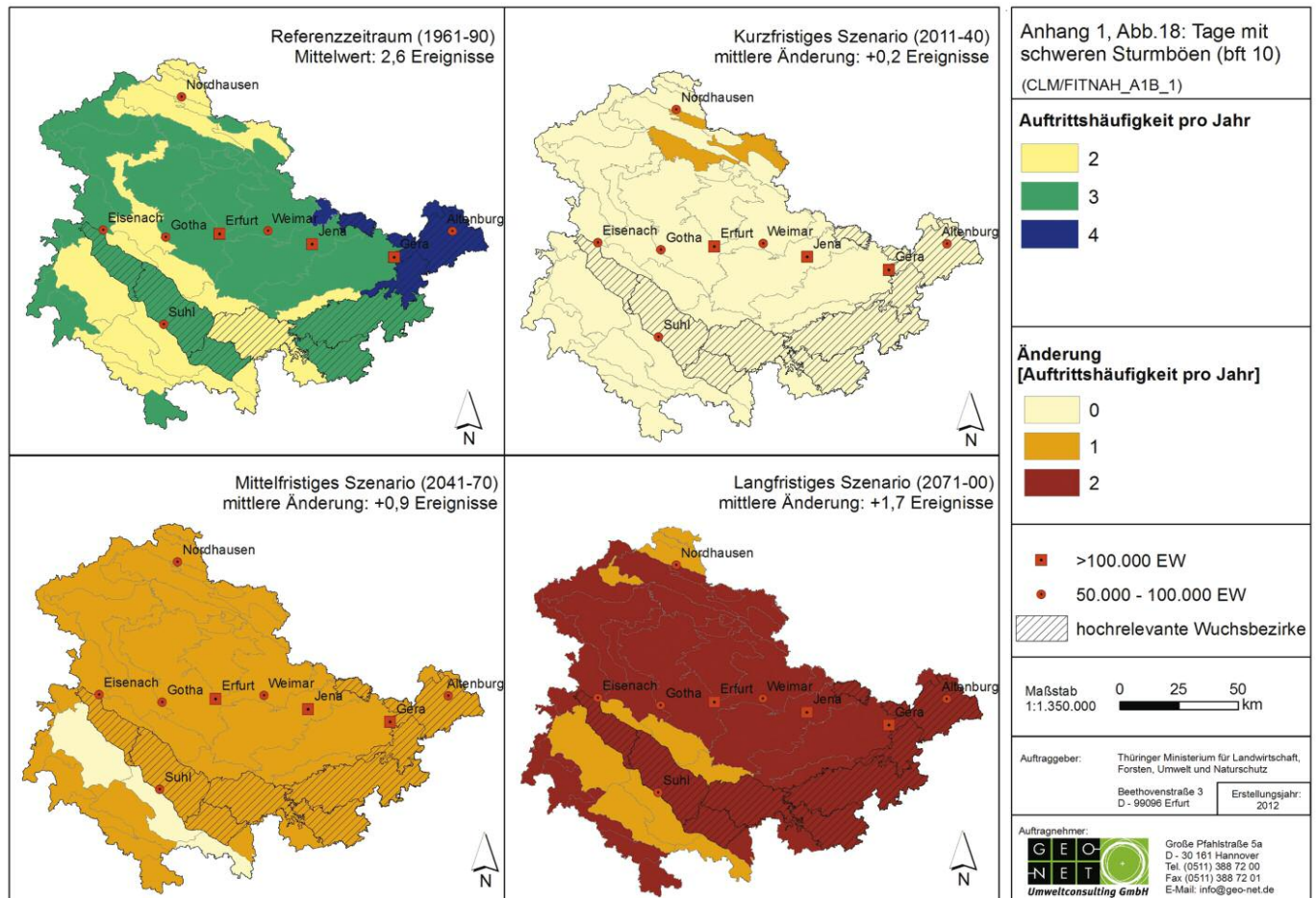
Anhang, Abb. 15: Durchschnittliche jährliche Länge der forstlichen Vegetationsperiode je Wuchsbezirk für die drei Klimaprojektionszeiträume im Vergleich zum Referenzzeitraum 1961 - 1990



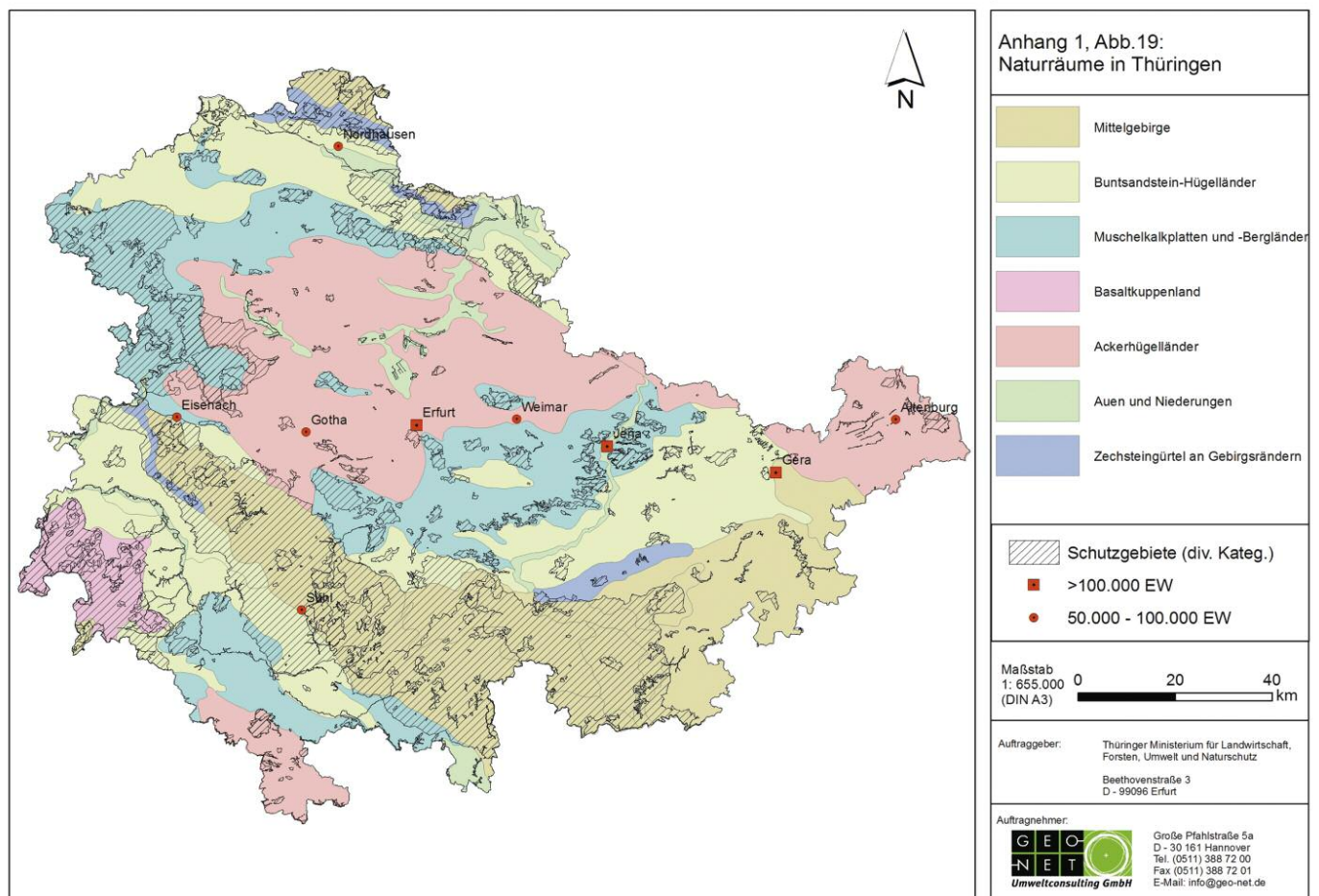
Anhang, Abb. 16: Durchschnittliche jährliche Auftrittshäufigkeit von Trockenperioden je Wuchsbezirk für die drei Klimaprojektionszeiträume im Vergleich zum Referenzzeitraum 1961 - 1990



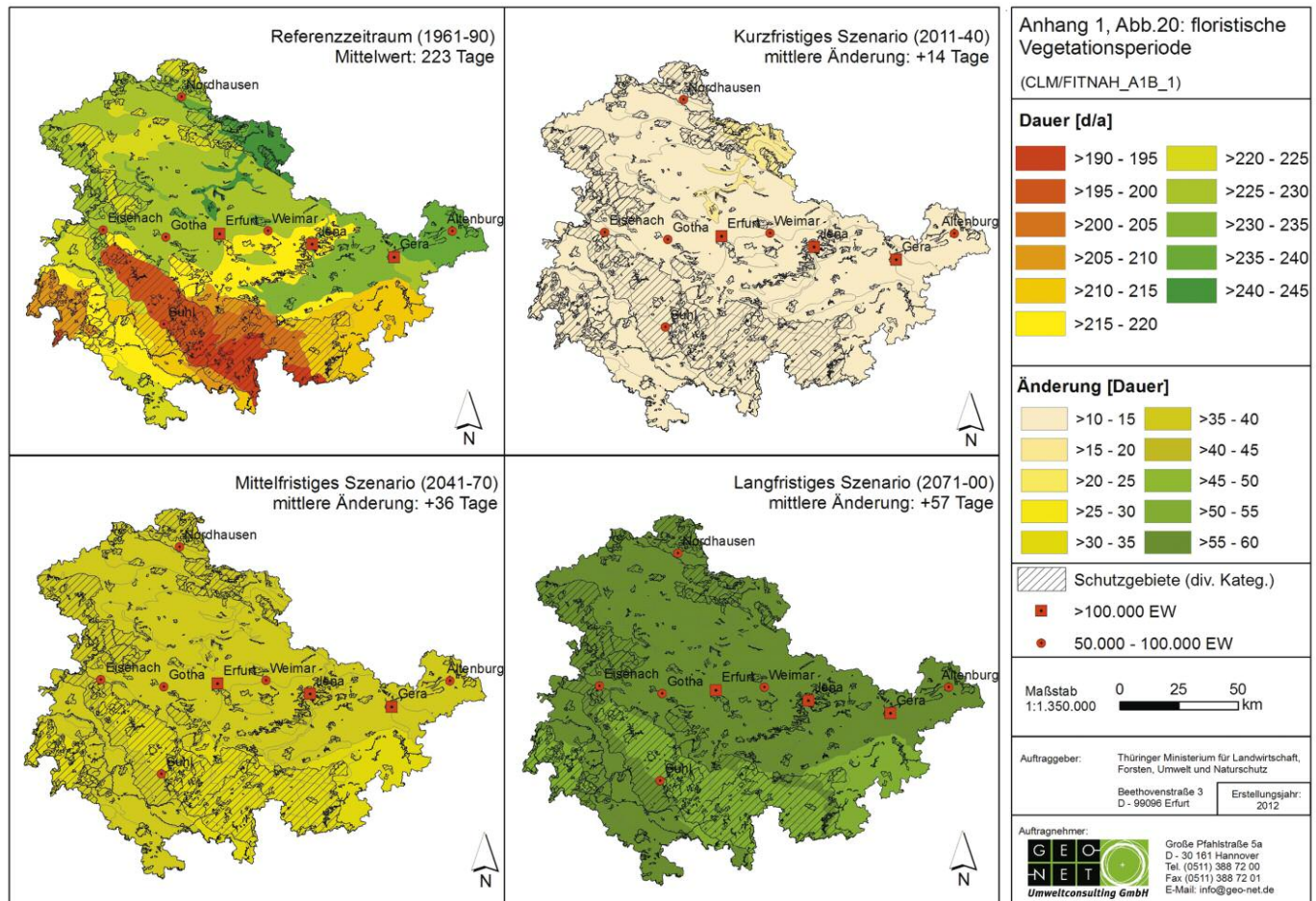
Anhang, Abb. 17: Durchschnittliche jährliche Auftrittshäufigkeit von Spätfrösten je Wuchsbezirk für die drei Klimaprojektionszeiträume und den Referenzzeitraum 1961 - 1990



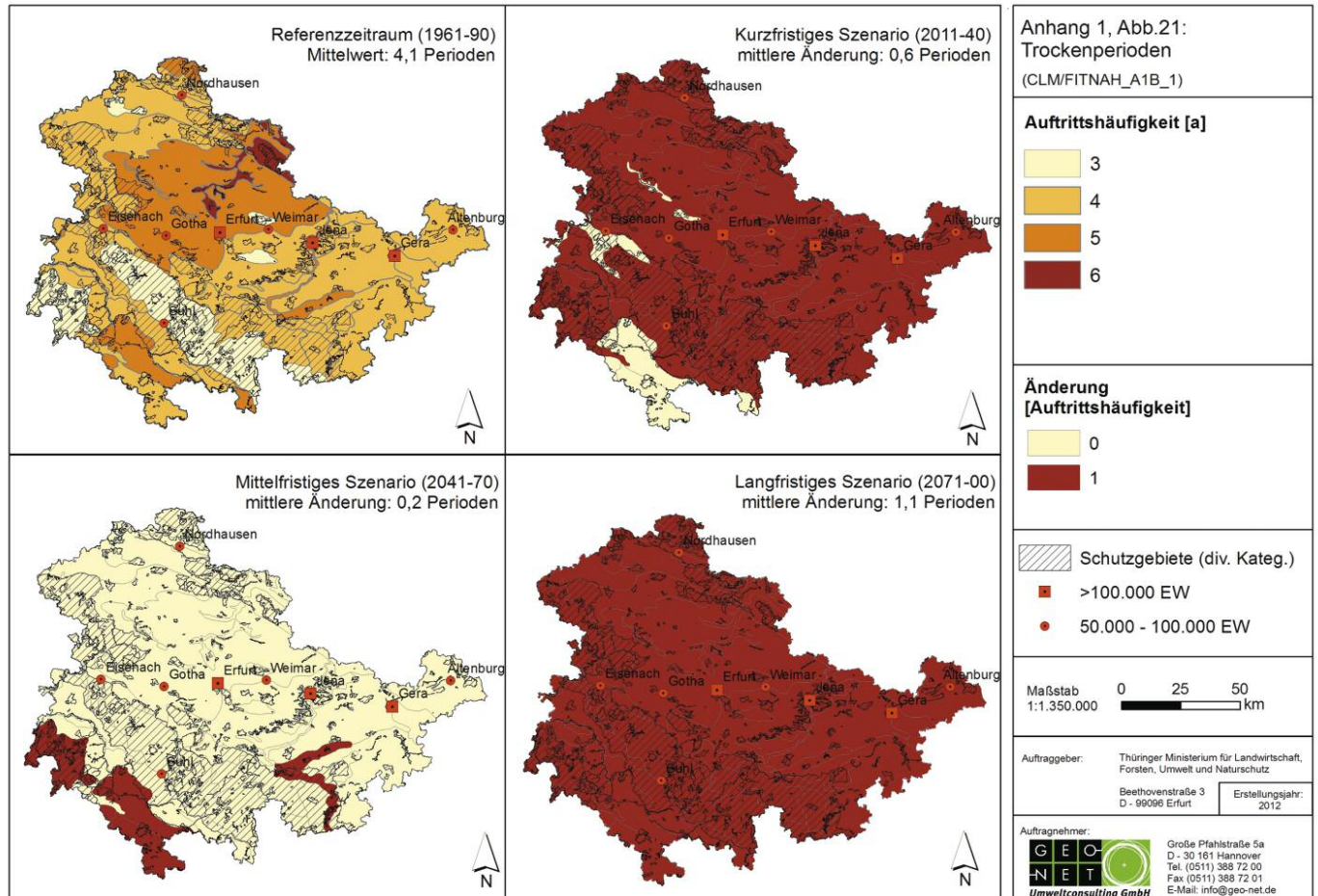
Anhang, Abb. 18: Durchschnittliche jährliche Auftrittshäufigkeit von schweren Stürmen (Beaufort 10) je Wuchsbezirk für die drei Klimaprojektionszeiträume im Vergleich zum Referenzzeitraum 1961 – 1990



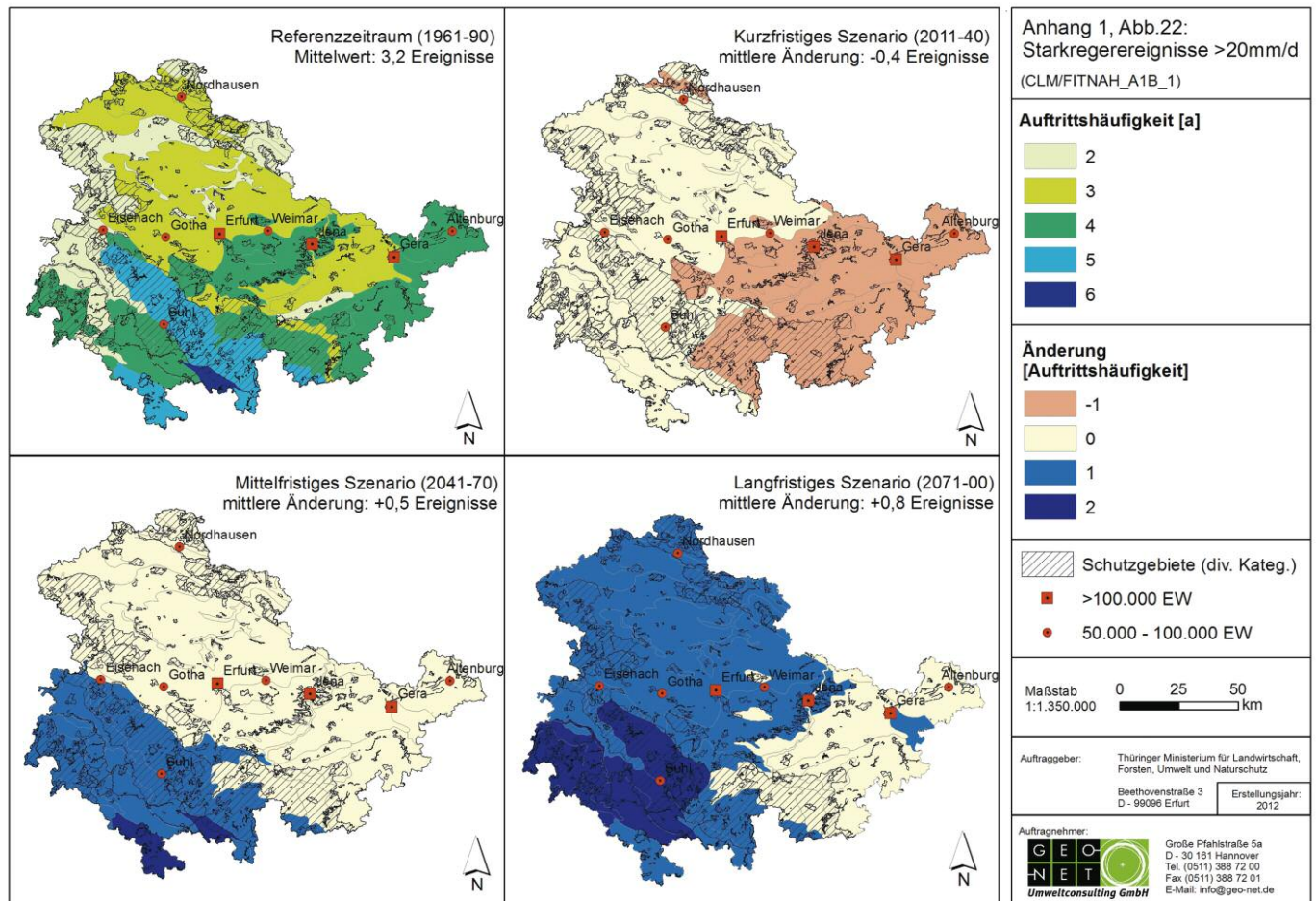
Anhang, Abb. 19: Die naturräumliche Gliederung Thüringens



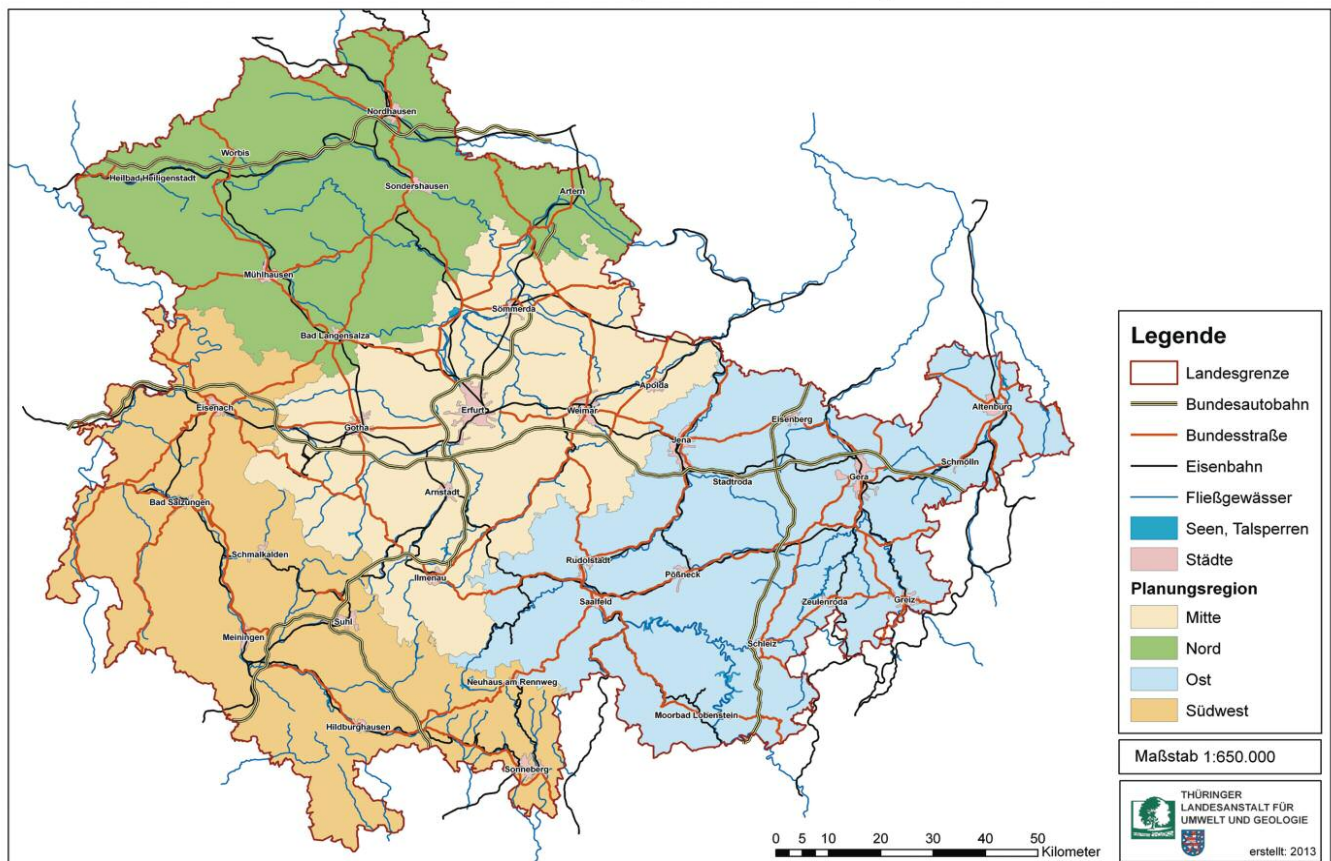
Anhang, Abb. 20: Durchschnittliche jährliche Länge der floristischen Vegetationsperiode mit $T_{mean} > 5^{\circ}C$ je Naturraum für die drei Klimaprojektionszeiträume im Vergleich zum Referenzzeitraum 1961 - 1990



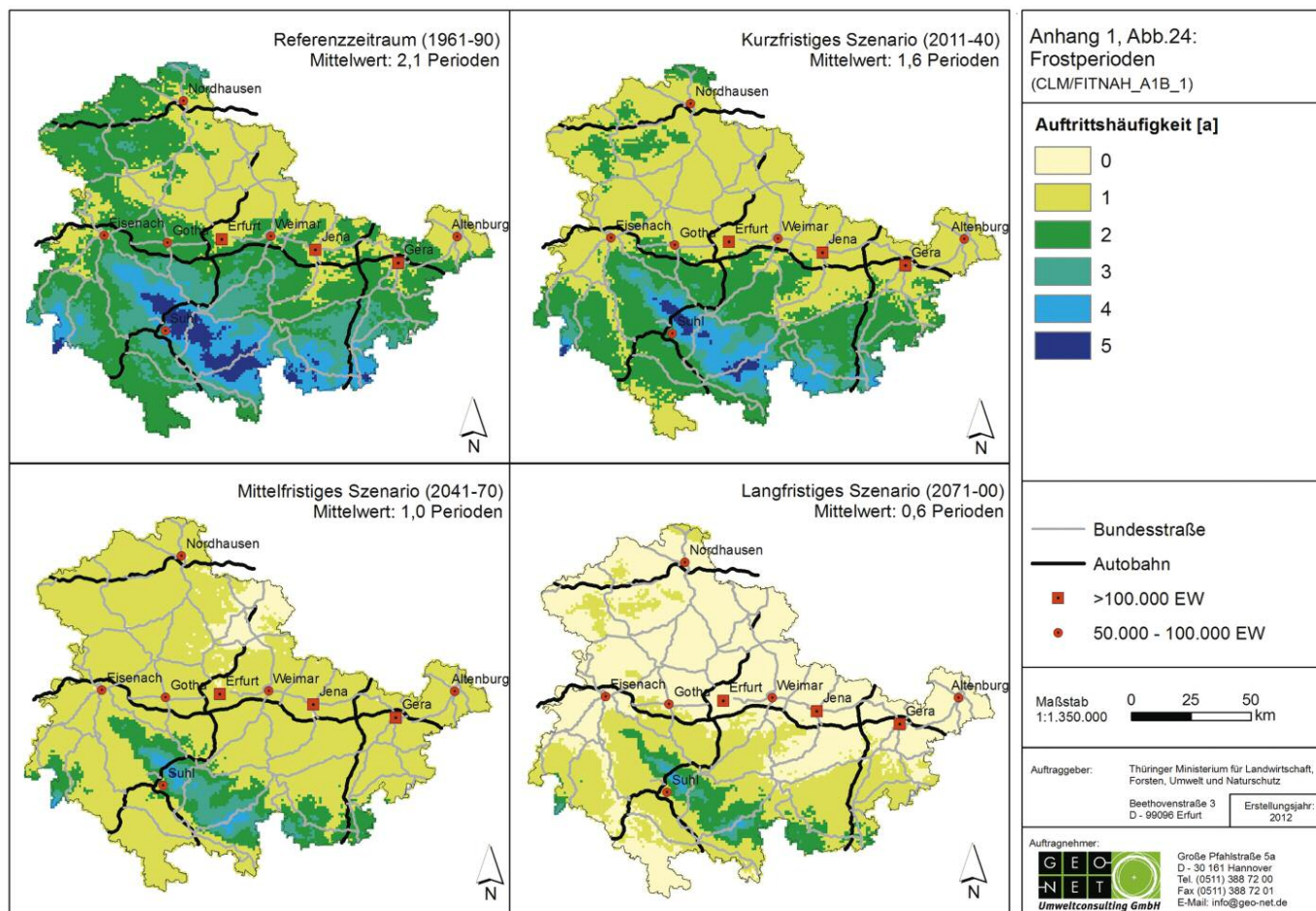
Anhang, Abb. 21: Durchschnittliche jährliche Auftrittshäufigkeit von Trockenperioden je Naturraum für die drei Klimaprojektionszeiträume im Vergleich zum Referenzzeitraum 1961 - 1990



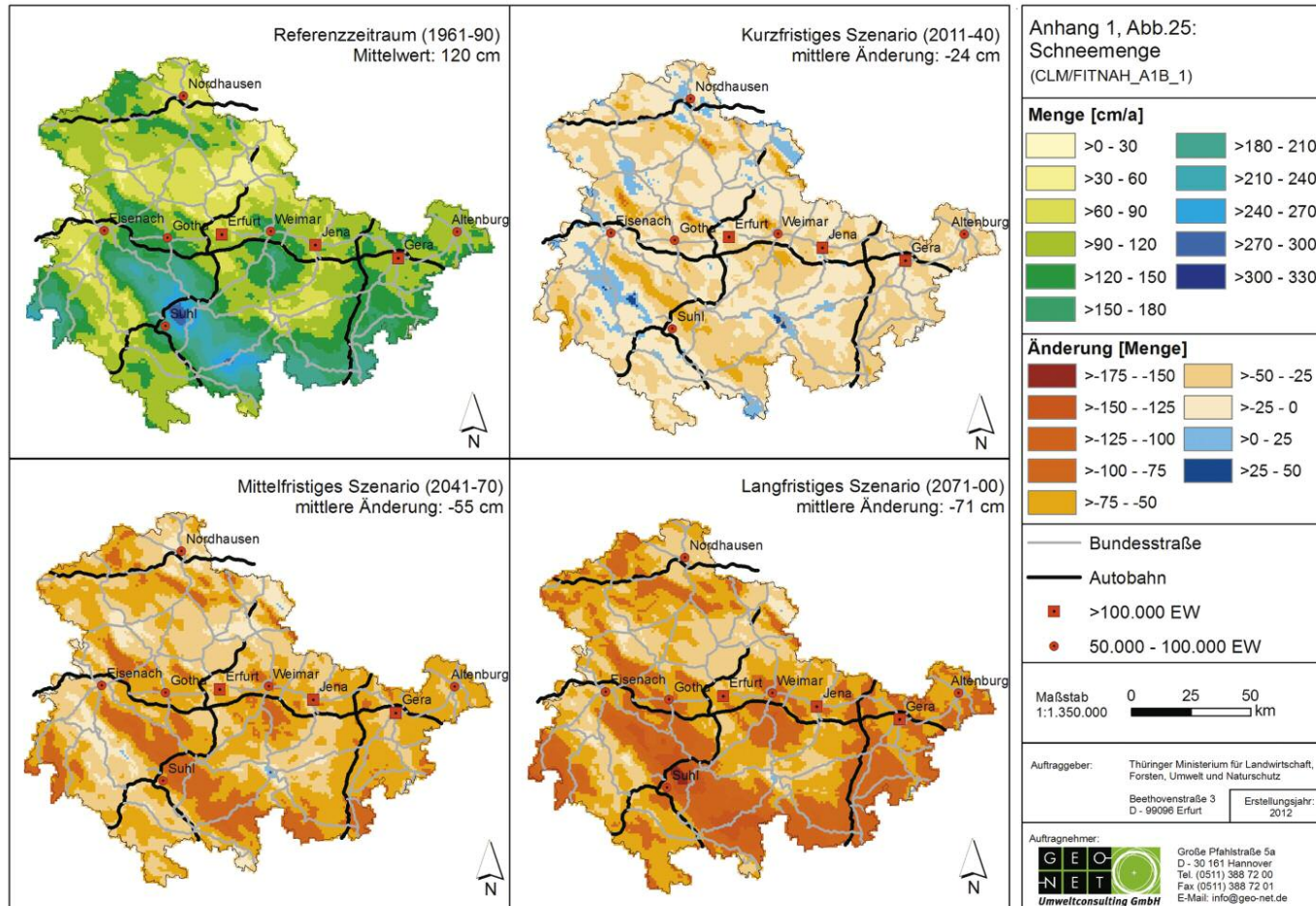
Anhang, Abb. 22: Durchschnittliche jährliche Auftrittshäufigkeit von Starkregenereignissen > 20 mm/d je Naturraum für die drei Klimaprojektionszeiträume im Vergleich zum Referenzzeitraum 1961 - 1990



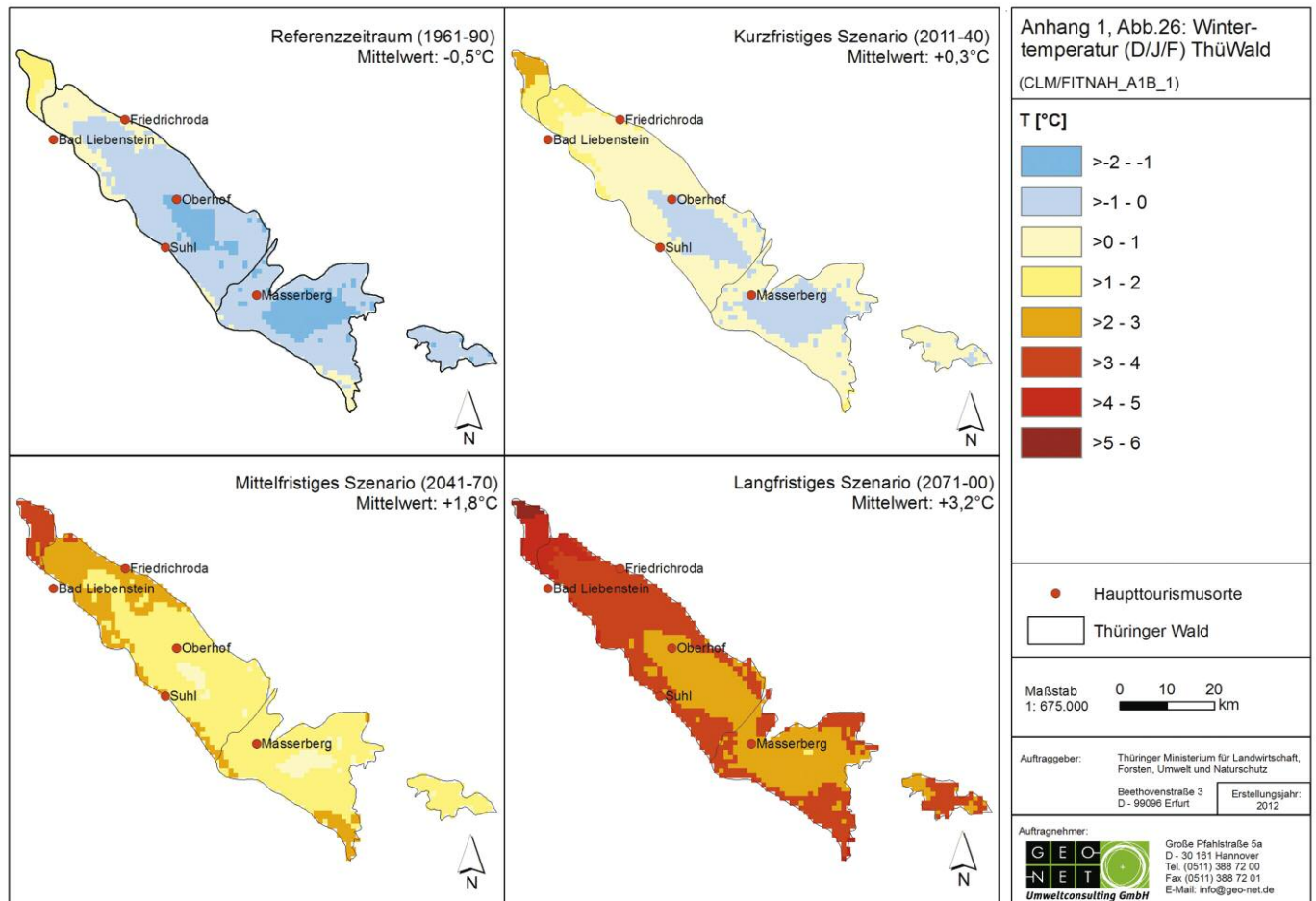
Anhang, Abb. 23: Verkehrswegenetz in Thüringen



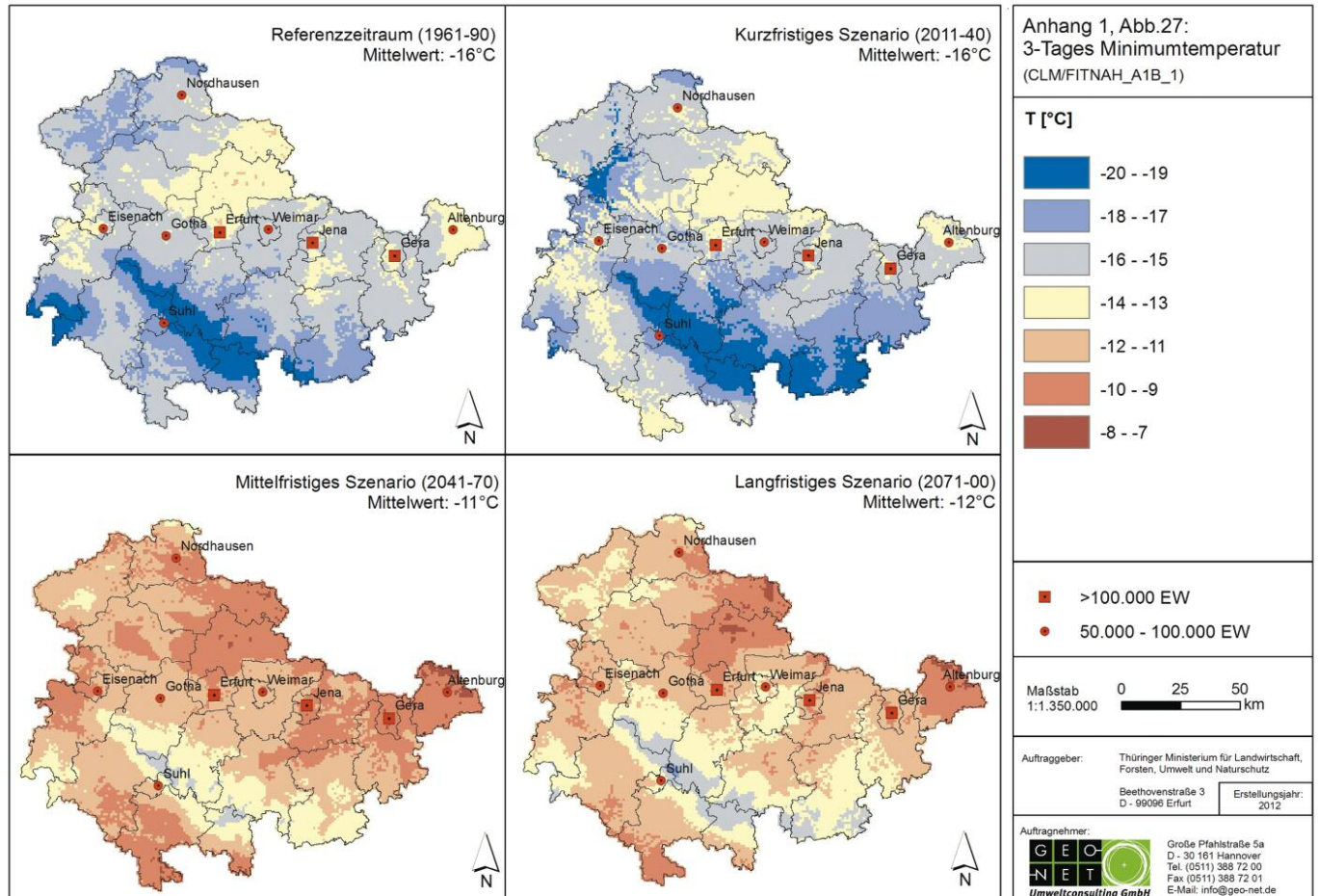
Anhang, Abb. 24: Durchschnittliche jährliche Auftrittshäufigkeit von Frostperioden für die drei Klimaprojektionszeiträume und den Referenzzeitraum 1961 - 1990



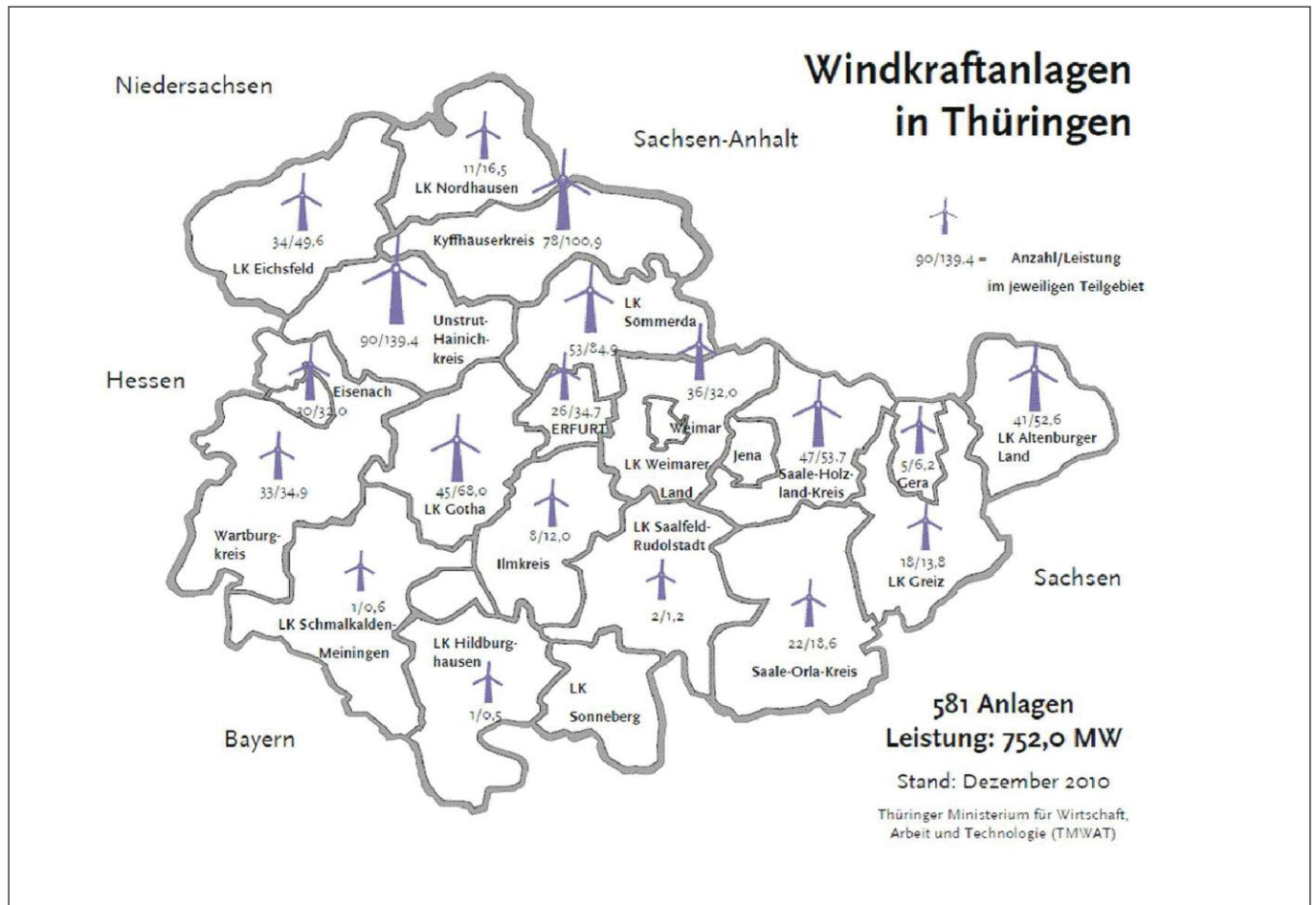
Anhang, Abb. 25: Durchschnittliche jährliche Niederschlagsmenge in Form von Schnee für die drei Klimaprojektionszeiträume im Vergleich zum Referenzzeitraum 1961 - 1990



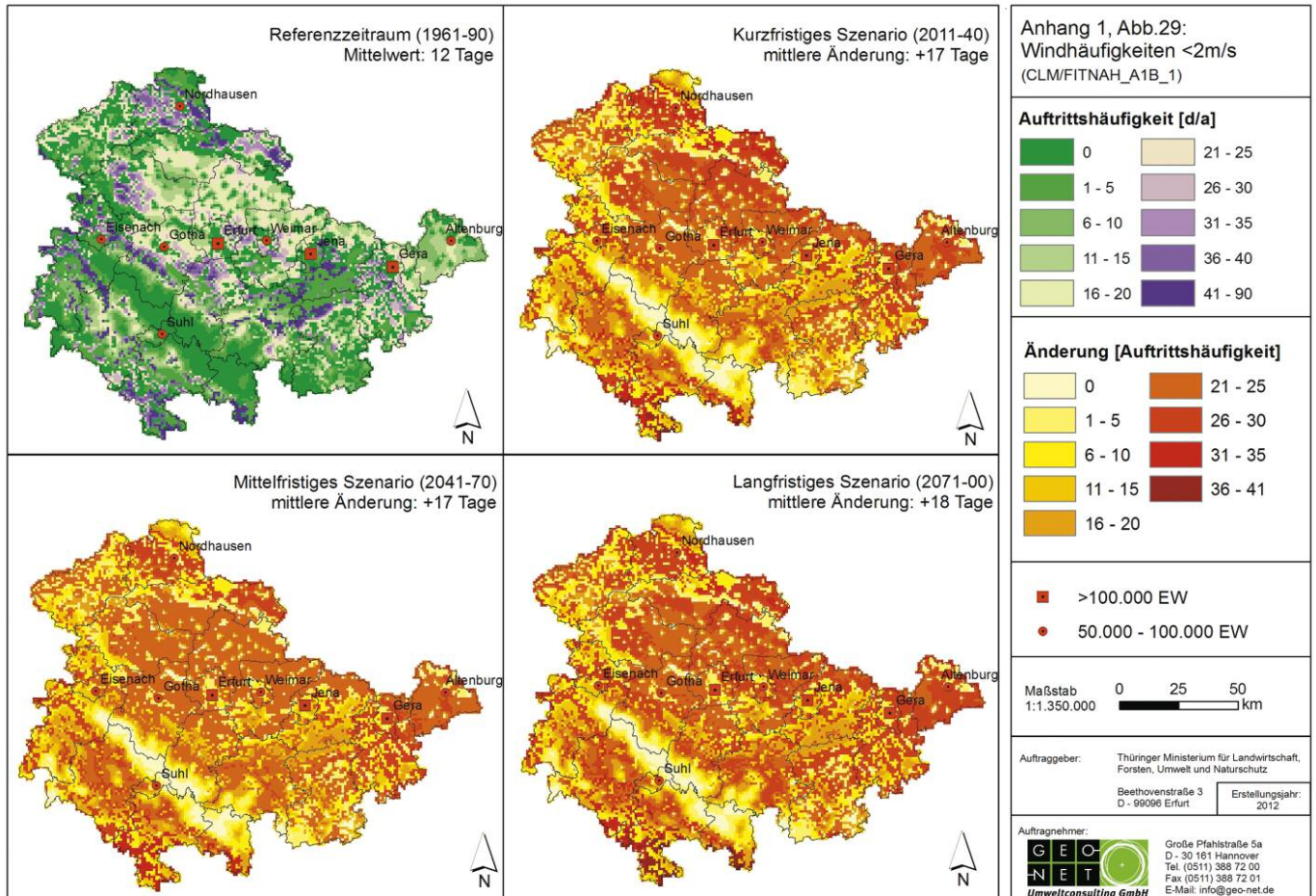
Anhang, Abb. 26: Durchschnittliche Wintertemperatur im Naturraum Thüringer Wald für die drei Klimaprojektionszeiträume und den Referenzzeitraum 1961 - 1990



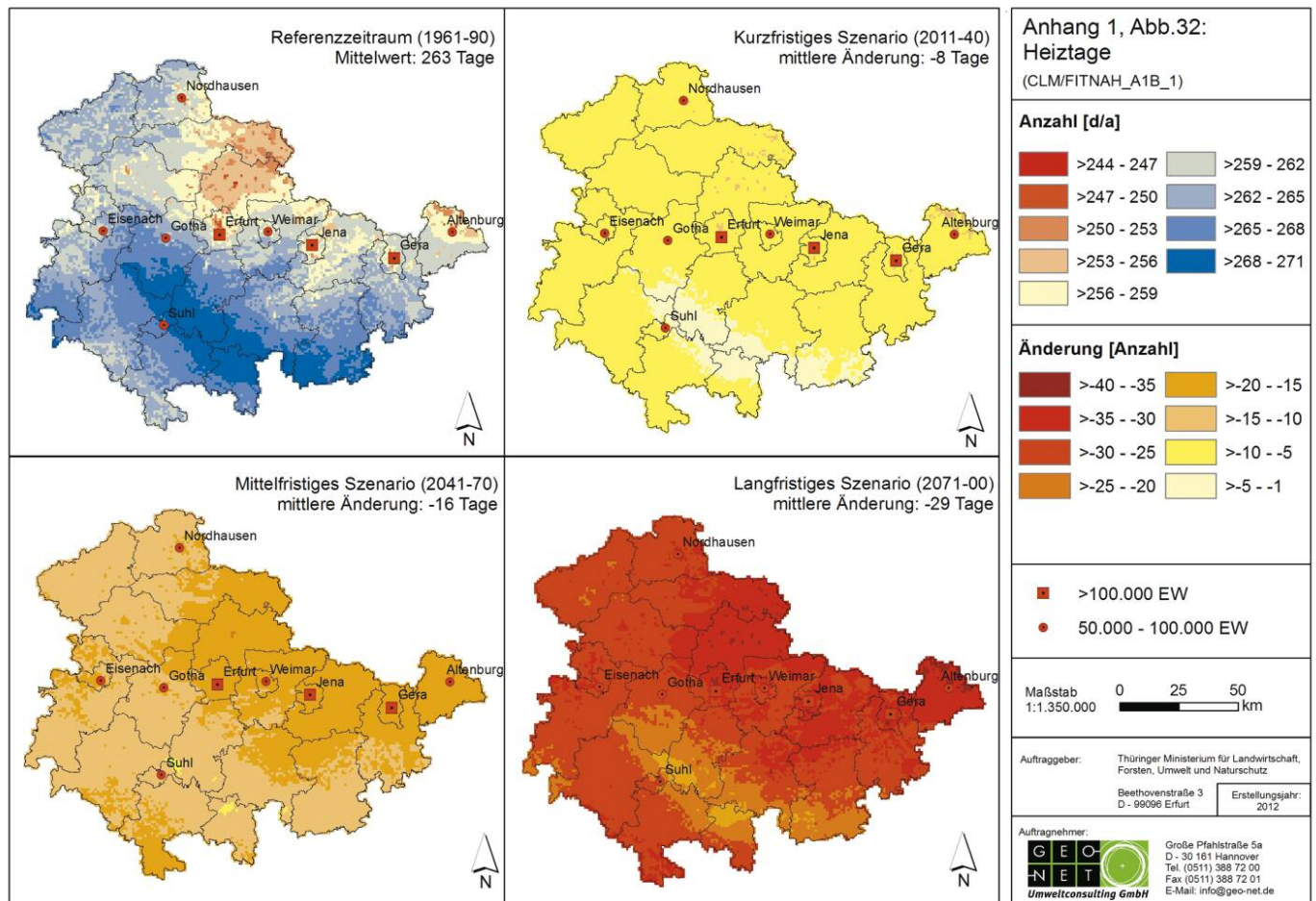
Anhang, Abb. 27: 3-Tagesminimumtemperatur in Extremjahren für die drei Klimaprojektionszeiträume und den Referenzzeitraum 1961 - 1990



Anhang, Abb. 28: Windkraftanlagenstandorte in Thüringen



Anhang, Abb. 29: Durchschnittliche jährliche Auftrittshäufigkeit von mittleren Tageswindgeschwindigkeiten < 2 m/s für die drei Klimaprojektionszeiträume im Vergleich zum Referenzzeitraum 1961 - 1990



Anhang, Abb. 32: Durchschnittliche jährliche Anzahl an Heiztagen in der Heizperiode für die drei Klimaprojektionszeiträume im Vergleich zum Referenzzeitraum 1961 - 1990

Integriertes Maßnahmenprogramm zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels im Freistaat Thüringen – IMPAKT –

Auftraggeber:

Thüringer Ministerium für Landwirtschaft,
Forsten, Umwelt und Naturschutz
Beethovenstraße 3
99096 Erfurt



Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie (TLUG),
Thüringer Klimaagentur
Göschwitzer Straße 41
07745 Jena



Auftragnehmer:

GEO-NET Umweltconsulting GmbH
Große Pfahlstraße 5a
30161 Hannover
info@geo-net.de
0511/3887200



In Zusammenarbeit mit:

Prof. Dr. G. Groß
anerkannt beratender Meteorologe (DMG), von der IHK Hannover-Hildesheim öffentlich
bestellter Gutachter für Immissionsfragen und Kleinklima, Professor am Institut für Me-
teorologie und Klimatologie der Leibniz Universität Hannover

Erfurt/Jena, Juli 2013

Verteilerhinweis

Diese Druckschrift wird von der Thüringer Landesregierung im Rahmen ihrer verfassungsmäßigen Verpflichtung zur Information der Öffentlichkeit herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von deren Kandidaten oder Helfern im Zeitraum von sechs Monaten vor einer Wahl zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für alle Arten von Wahlen. Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist auch die Weitergabe an Dritte zur Verwendung bei der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die vorliegende Druckschrift nicht so verwendet werden, dass dies als Parteinahme des Herausgebers zu Gunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte. Diese Beschränkungen gelten unabhängig vom Vertriebsweg, also unabhängig davon, auf welchem Wege und in welcher Anzahl diese Informationsschrift dem Empfänger zugegangen ist. Erlaubt ist jedoch den Parteien, diese Informationsschrift zur Unterrichtung ihrer Mitglieder zu verwenden.

Copyright: Diese Veröffentlichung ist urheberrechtlich geschützt. alle Rechte, auch die des Nachdrucks und der fotomechanischen Wiedergabe, sind dem Herausgeber vorbehalten

Impressum

Herausgeber: Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Forsten,
Umwelt und Naturschutz (TMLFUN)
- Stabsstelle Presse, Öffentlichkeitsarbeit, Reden -
Beethovenstraße 3
99096 Erfurt
Telefon: 0361 37-99922
Telefax: 0361 37-99950
www.thueringen.de/tmlfun
poststelle@tmlfun.thueringen.de

Redaktion: TMLFUN, Abteilung Umweltpolitik, Klima, Nachhaltigkeit, Naturschutz
Ref. 52, Klimawandel, Klimafolgen, Erneuerbare Energien

Fotonachweis: Titelbild: Dr. Kai. Pfannschmidt

Gestaltung / Druck: Medienagentur Frisch

Auflage: 1 000

Stand: Juli 2013

