

**3. Schlussbericht zum UBA-Forschungsprojekt
Klimaauswirkungen und Anpassung in Deutschland**

**Aufbau eines Fachinformationssystems
„Klimafolgen und Anpassung“ (FISKA)
FKZ: 206 41 100**

**TEILVORHABEN
POTSDAM-INSTITUT FÜR KLIMAFOLGENFORSCHUNG**

*Lena Österle
Chris Kollas
Prof. Dr. Manfred Stock (Projektleiter)
Dr. Felicitas Suckow
Petra Lasch
Dr. Andrea Lüttger
Dr. Frank Wechsung
Dr. Hermann Österle
Dr. Valentina Krysanova
Dr. Fred Hattermann
Shaochun Huang*

*Martin Wodinski (2011)
Dr. Thomas Kartschall (2011)*

Potsdam Institut für Klimafolgenforschung e.V. (PIK)
Postfach 601203, 14412 Potsdam
Tel. (0331) 288-2506
stock@pik-potsdam.de

Berichts-Kennblatt

1. Förderkennzeichen 206 41 100	2.	3.
4. Titel des Berichts Aufbau eines Fachinformationssystems „Klimafolgen und Anpassung“ (FISKA)		
5. Autor(en), Name(n), Vorname(n) Stock, Manfred (Leiter) Österle, Lena Kollas, Chris Suckow, Felicitas Lasch, Petra Lüttger, Andrea Krysanova, Valentina Wechsung, Frank Österle, Hermann Hattermann, Fred Huang, Shaochun Wodinski, Martin Kartschall, Thomas		8. Abschlussdatum 31.01.2012
		9. Veröffentlichungsdatum ---
6. Durchführende Institution (Name, Anschrift) Potsdam Institut für Klimafolgenforschung e.V. Telegraphenberg D-14473 Potsdam		10. UFOPLAN-Nr. ---
		11. Seitenzahl: 165 + Anhang
7. Fördernde Institution (Name, Anschrift) Umweltbundesamt Wörlitzer Platz 1 06844 Dessau-Roßlau		12. Literaturangaben: 156 + 30 Weblinks
		13. Tabellen und Diagramme: 42
		14. Abbildungen: 49
15. Zusätzliche Angaben ---		
16. Kurzfassung <p>Zum Aufbau eines Fachinformationssystems „Klimafolgen und Anpassung“ (FISKA) wurde ein GIS-gestütztes Werkzeug entwickelt und erprobt, mit dem sich mögliche Auswirkungen des Klimawandels in Deutschland auf der Basis relativ einfacher Wirkungsbeziehungen in Kartenform darstellen lassen. In der Aufbauphase standen als Klimadaten auf Tagesbasis Beobachtungsdaten des DWD und Klimaszenerien bis 2100 der Regionalen Klimamodelle WETTREG und REMO zur Verfügung.</p> <p>Für jede Wirkungsbeziehung verknüpft ein bestimmter Algorithmus Parameter der Klimaänderung und Geodaten im GIS-Berechnungsraster eingabeseitig miteinander um daraus ausgabeseitig eine spezifische Klimawirkung für jede Rasterzelle zu berechnen. Jede Rechenvorschrift zu Algorithmus, In- und Outputdaten wird als lauffähiger Programmcode in das Werkzeug eingebettet, um Karten der Klimawirkungen zeitnah erzeugen zu können.</p> <p>Folgende Klimawirkungen wurden bisher in FISKA implementiert und erfolgreich getestet: Meteorologische Kenntage, Schwüleindikator/Hitzeindex, potenzielle Malariainfektion, zwei verschiedene Indikatoren zur Pflanzenphänologie, ökologische Raumgliederung Deutschlands, Reifezahl Mais, Huglin-Index für Weinbau, zwei verschiedene Waldbrandindizes, Anbauindikator für Baumarten, Fotovoltaikpotenzial und zwei Tourismusindikatoren zu Badetagen und Schneesicherheit. Weitere Klimawirkungen wurden zur Implementierung vorbereitet oder auf ihre Machbarkeit geprüft.</p> <p>Das in FISKA bereitgestellte GIS-gestützte Werkzeug kann als flexibel verwendbarer Standard zur vergleichenden Betrachtung weiterer einfacher Klimawirkungen dienen.</p>		
17. Schlagwörter Klimawandel, Klimafolgen, Vulnerabilität, Anpassung		
18. Preis ---	19.	20.

Report Cover Sheet

1. Reference No. 206 41 100	19.	19.
4. Report Title The specialized information system "climate impacts and adaptation" (FISKA)		
5. Author(s), Name(s), First Name(s) Stock, Manfred (Speaker) Österle, Lena Kollas, Chris Suckow, Felicitas Lasch, Petra Lüttger, Andrea Krysanova, Valentina Wechsung, Frank Österle, Hermann Hattermann, Fred Huang Shaochun Wodinski, Martin Kartschall, Thomas		8. Report Date 31.01.2012
		9. Publication Date ---
6. Institution (Name, Address) Potsdam Institute for Climate Impact Research Telegraphenberg D-14473 Potsdam		10. UFOPLAN-Ref.No. ---
		11. No. of Pages: 165 + Attachment
7. Sponsoring Agency (Name, Address) Umweltbundesamt (Federal Environment Agency) Wörlitzer Platz 1 06844 Dessau-Roßlau		12. No. of References: 156 + 30 Weblinks
		13. No. of Tables: 42
		14. No. of Figures: 49
15. Supplementary Notes ---		
16. Abstract <p>In the context of a specialized information system "climate impacts and adaptation" (FISKA) a GIS-supported tool was developed and tested which allows the mapping of possible impacts of climate change in Germany based on relatively simple cause-effect relations. Grid-based daily climate data were used, which were either observational data from the German Weather Service (DWD) or scenarios of past and future climate change up to 2100, simulated with the regional climate models WETTREG and REMO. For each cause-effect relationship a specific algorithm has been defined linking the climate and geo input data, in order to calculate the resulting climate impact output data in each grid cell. For each cause-effect relation the combination of algorithm, input-, and output-data is transferred into an executable program code embedded in the GIS tool. This procedure allows the generation of impact maps within reasonable time.</p> <p>So far program codes have been developed, implemented, and successfully tested for the following climate impacts: meteorological threshold days, sultriness/heat index, potential malaria infection risk, two different indicators for plant phenology, ecological landscape patterns of Germany, ripeness number for maize, Huglin index for viticulture, two different forest fire indices, cultivation indicator for tree species, potential for photovoltaics, and two tourism indicators, one for swimming days and another one for snow availability. Further climate impact relations have been prepared but need additional efforts for implementation; others were examined for feasibility.</p> <p>In general the GIS-supported tool in FISKA can serve as a flexible standard for comparative analysis of a variety of elementary cause-effect representations of climate impacts.</p>		
17. Key Words Climate change, climate impact, vulnerability, adaptation		
18. Price ---	19.	20.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungen.....	7
Tabellen.....	9
1 Grundlagen, Zielsetzung und Aufgabenstellung.....	11
1.1 Ausgangssituation.....	11
1.2 Zielsetzung und Aufgabenstellung	12
1.3 Fachliche und wissenschaftliche Grundlagen der Methode	12
1.3.1 Vulnerabilität klimasensitiver Systeme.....	12
1.3.2 Umsetzung des Vulnerabilitätskonzepts in FSKA	15
1.3.3 Berechnungsraster.....	16
1.3.4 Grenzen der Implementierung komplexer Wirkungsbeziehungen.....	17
2 Auswahl, Umsetzung und Dokumentation von Wirkmodellen	21
2.1 Übersicht der bearbeiteten Wirkmodelle	21
2.2 Kriterien und Konzepte für die Auswahl der Wirkmodelle	22
2.2.1 Gesellschaftliche Relevanz (R).....	22
2.2.2 Operationelle Umsetzung (O).....	23
2.2.3 Wissenschaftliche Behandlung (W).....	23
2.3 In FSKA verwendete Daten.....	24
2.3.1 Verwendete Klimadaten	24
2.3.2 Validierung der Klimaszenarien.....	26
2.3.3 Geodaten	28
2.4 Dokumentation der Wirkmodelle, Ergebnisse und Steckbriefe.....	32
2.4.1 Wirkmodelle	32
2.4.2 Ergebnisdarstellung	35
2.4.3 Steckbriefe	35
3 Implementierte Wirkmodelle.....	38
3.1 Jahresmittelwerte / Meteorologische Kenntage (PIK-01)	38
3.2 Schwüleindikator und Hitzeindex (PIK-02)	47
3.3 Austrieb der drei Baumarten Buche, Eiche und Birke (PIK-06).....	51
3.4 Thermische Bedingungen im Weinbau / Huglin-Index (PIK-10).....	53
3.5 Reifezahl für die Maissortenwahl (PIK-11)	57
3.6 Waldbrandindex nach Käse (PIK-13)	58
3.7 Waldbrandindikator nach Brushek (PIK-14)	69
3.8 Anbauindikator für die Baumarten Buche, Fichte und Kiefer (PIK-15)	74

3.9	Fotovoltaikpotenzial (PIK-16)	79
3.10	Tourismus: Schneehöhe / Schneesicherheit (PIK-18).....	82
3.11	Tourismus: Potenzielle Badetage (PIK-19)	89
4	Ansätze für die Implementierung weiterer Wirkmodelle	94
4.1	Wassererosion in der Landwirtschaft (PIK-04)	94
4.2	Änderung der Artenverbreitung / Beispiel Elsbeere (PIK-07)	98
4.3	Pilzlicher Schaderreger im Obstbau: Apfelschorf (PIK-08).....	101
4.4	Weizen- und Maisertragsänderung (PIK-12)	102
5	Zurückgestellte Implementierungen	106
5.1	Lokale Hochwassergefahr (PIK-03)	106
5.2	Potenzielle Bodenfeuchte (PIK-05)	115
5.3	Tierischer Schaderreger im Obstbau: Apfelwickler (PIK-09)	116
5.4	Unfallhäufigkeit (PIK-17)	117
5.5	Bioenergiepotenzial (PIK-20)	121
5.6	Sturmschadenrisiko (PIK-21)	122
6	Glossar zu FISKA.....	125
7	Steckbriefe (Faksimile).....	129
7.1	PIK-01 Jahresmittelwerte / Meteorologische Kenntage.....	131
7.2	PIK-02 Schwüleindikator und Hitzeindex	134
7.3	PIK-06 Austrieb der drei Baumarten Buche, Eiche und Birke	137
7.4	PIK-10 Thermische Bedingungen im Weinbau / Huglin-Index.....	139
7.5	PIK-11 Reifezahl für die Maissortenwahl	141
7.6	PIK-13 Waldbrandindex nach Käse	143
7.7	PIK-14 Waldbrandindikator nach Bruscek.....	146
7.8	PIK-15 Anbauindikator für die Baumarten Buche, Fichte und Kiefer	148
7.9	PIK-16 Fotovoltaikpotenzial.....	150
7.10	PIK-18 Tourismus: Schneehöhe / Schneesicherheit	152
7.11	PIK-19 Tourismus: Potenzielle Badetage.....	154
	Literatur	156
	Weblinks	164
	Anhang	165

Abbildungen

Abb. 1.3.1:	Analyseschema der Vulnerabilität klimasensitiver Systeme. 1) Die Klimaänderung ist ein Stimulus zur Zustandsänderung des Systems = Klimawirkung. 2) parallel wirkende nichtklimatische Umwelt- und Zustandsänderungen, z. B. Landnutzungsänderungen. 3) Rückwirkungen von Klimawirkungen auf die Umwelt oder interne Systemparameter ergeben sekundäre Klimawirkungen. 4) proaktive Anpassung an zukünftig erwartete Klimawirkungen, z. B. in der räumlichen Planung.	13
Abb. 1.3.2:	Vereinfachte Ursache-Wirkungs-Beziehung von der Klimaänderung zur Klimawirkung als Prozess (oben) und als Input-Output-Modell in FISKA (unten) Die beteiligten Umweltfaktoren werden aus Geobasisdaten, die sozioökonomischen Faktoren aus Geofachdaten übernommen (Stock 2007).	15
Abb. 1.3.3:	a) Standardverfahren zur pixelbezogenen Berechnung von Klimawirkungen. $K =$ Klimastimulus, $G =$ Geodaten und $W =$ Klimawirkung sind miteinander am gleichen regionalen Bezugspunkt verknüpft. b) Die Klimawirkung W_2 zum Zeitpunkt t_2 hängt von Klimawirkungen ab, die zu einem früheren Zeitpunkt t_1 stattfanden; z. B. im Vorjahr. c) Die Klimawirkung an einem Ort ist abhängig von der Wirkung an anderen Orten, z. B. bei Hochwasser infolge von zusammenfließenden Abflüssen nach Starkregenereignissen.	18
Abb. 1.3.4:	Entwicklung der Abflüsse am Elbe-Pegel Havelberg. Dargestellt sind jeweils Spannweite, innere Quartile, Median und Mittelwert; Links: Messdaten im Zeitraum 1951-2003 und in den Rechtecken für den Referenzzeitraum (1961-1990). Rechts: Simulation für den Zeitraum 2004-2053 für das Szenario T2 (ähnlich dem A1B-Szenario) für 100 Realisierungen mit dem Klimamodell STAR II und dem Hydrologiemodell SWIM (Conradt <i>et al.</i> 2012).	19
Abb. 3.1.1:	Mittlere Anzahl der Sommertage im Zeitraum 1971/2000	41
Abb. 3.1.2:	Differenzen der mittleren Anzahl der Sommertage im Zeitraum 1971/2000	41
Abb. 3.1.3:	Entwicklung der mittleren Anzahl der Sommertage im Modell WETTREG (modellintern)	42
Abb. 3.1.4:	Differenzen der mittleren Anzahl der Sommertage im Modell WETTREG	42
Abb. 3.1.5:	Entwicklung der mittleren Anzahl der Sommertage im Modell REMO (modellintern)	43
Abb. 3.1.6:	Differenzen der mittleren Anzahl der Sommertage im Modell REMO	43
Abb. 3.1.7:	Entwicklung der mittleren Anzahl der Sommertage nach WETTREG-Änderungssignal	45
Abb. 3.1.8:	Entwicklung der mittleren Anzahl der Sommertage nach REMO-Änderungssignal	45
Abb. 3.2.1:	Test des Moduls PIK-02 an Hand der Größe „Anzahl schwüler Tage“ für die Zeiträume 1991-2000 und 2021-2030 für den Datensatz WETTREG A1B (Mittel über alle 20 Realisierungen)	49
Abb. 3.4.1:	Huglin-Index (WETTREG) für einen Kontrollzeitraum 1991-2000, Szenarien für 2021-2030 und 2051-2060 (A1B; Mittel über alle 20 Realisierungen)	55
Abb. 3.6.1:	Anzahl der Waldbrände und Schadflächen in Deutschland im Zeitraum 1977-2010 (Datengrundlage BLE 2002 bis 2011 und Bruscek 1994)	58
Abb. 3.6.2:	Anteil der Bundesländer an den Waldbränden im Zeitraum 2002-2010 (Datengrundlage BLE 2003 bis 2011)	59
Abb. 3.6.3:	Einteilung der Bundesrepublik Deutschland in Waldbrandrisikogebiete (Quelle AID 2001)	61
Abb. 3.7.1:	Zahl der Waldbrände in Brandenburg im Vergleich zum Verhältnis Sommertage: Niederschlag in der Vegetationsperiode, aus Bruscek (1994)	69
Abb. 3.7.2:	Bruscek-Index und Zahl der Waldbrände in der DDR und Brandenburg im Zeitraum 1977 bis 1988	71
Abb. 3.7.3:	Bruscek-Index und Zahl der Waldbrände in verschiedenen Bundesländern im Zeitraum 2002 bis 2010	72
Abb. 3.7.4:	Waldbrandindikator nach Käse (Indexwerte 1,1 bis 2,4) und Bruscek (Indexwerte 0 bis 0,18)	72
Abb. 3.8.1:	Ökologische Toleranzkurve für die Abhängigkeit der Lebensvorgänge von Organismen von Umweltfaktoren (nach Hauer, Toleranzkurve).	75
Abb. 3.8.2:	Verbreitungsgebiete von Kiefer (li.) und Buche (re.) innerhalb Deutschlands. dunkel: Vorkommen, hell: kein Vorkommen (Mátyás 2004). Mitte: Verbreitungsgebiet von Fichte dunkelgrün: 51-100% Anteil, hellgrün: 1-50% Anteil, grau: Waldgebiete (Köble & Seufert 2001).	76

Abb. 3.8.3:	Klimatischer Waldbauindikator nach Mitscherlich, DWD-Daten, Zeitraum 1971-1990, Kiefer (li.), Fichte (mi.) und Buche (re.).	76
Abb. 3.8.4:	Waldbauindikator Kiefer: Vergleich der DWD-Beobachtungsdaten (Links) und der Ergebnisse der Modelle WETTREG (Mitte) und REMO (Rechts) für den Zeitraum 1971-1990.	77
Abb. 3.8.5:	Waldbauindikator Buche: Vergleich der DWD-Beobachtungsdaten (Links) und der Ergebnisse der Modelle WETTREG (Mitte) und REMO (Rechts) für den Zeitraum 1971-1990.	78
Abb. 3.9.1:	Fotovoltaikpotenzial in Europa 2006, nach PVGIS © European Communities, 2001-2008 (vgl. Sári et al. 2007 und PVGIS)	80
Abb. 3.9.2:	In FISKA berechnetes Fotovoltaikpotenzial für Deutschland für die Jahre 1991-2000 unter Nutzung der Beobachtungsdaten des DWD	81
Abb. 3.10.1:	Simulierte und beobachtete Episode der Schneedeckenentwicklung in der Wintersaison 1928/1929 (Dezember bis März) an der Station Potsdam	88
Abb. 3.11.1:	Häufigkeitsverteilung registrierter Besucherzahlen im bayerischer Bad während der Sommersaisons 2000-2004.	90
Abb. 3.11.2:	Mittlere tägliche Besucherzahlen in Abhängigkeit von der 17-Uhr-Temperatur im bayerischen Bad während der Sommersaisons 2000-2004.	90
Abb. 3.11.3:	Zusammenhang zwischen der 17-Uhr-Temperatur des bayerischen Bads und dem Mittelwert der täglichen Maximaltemperaturen (Tmax) der vier nächstgelegenen Bodenseestationen in Baden-Württemberg während der Sommersaisons 2000-2004.	91
Abb. 3.11.4:	Auswirkungen des Klimawandels auf den Sommertourismus in Europa (JRC, Impacts of climate change on tourism); links: 1961-1990, rechts: 2071-2100 (Szenario A2).	93
Abb. 4.1.1:	Erosionsrisiko für Deutschland, berechnet mit FISKA-PIK-04	95
Abb. 4.1.2:	Potenzielle Erosionsgefährdung Deutschlands (Wurbs & Steininger 2011)	96
Abb. 4.1.3:	Potenzielles jährliches Abtragsrisiko pro Landkreis als Produkt der LS-, R-, und K-Faktoren (der P- und C-Faktor wurde gleich 1 gesetzt) Quelle: Erhard et al. (2002)	96
Abb. 4.1.4:	Änderung des Erosionsrisikos auf landwirtschaftlichen Flächen, links: DWD-Daten 1991-2000, Mitte: WettReg-A1B-Szenario 2081-2100, rechts: Differenz.	97
Abb. 4.2.1:	Verbreitungsgebiet der Elsbeere in Europa nach Daten der natürlichen Vegetation (EUFORGEN, Distribution maps).	98
Abb. 4.2.2:	Reale Verbreitung der Art <i>Sorbus torminalis</i> L.; 1 = Vorkommen, 0 = kein Vorkommen; Datenquelle: EUFORGEN, Distribution maps	99
Abb. 4.2.3:	Verbreitung von <i>Sorbus torminalis</i> nach Climate-Envelope-Ansatz berechnet mittels Generalized Linear Model (GLM) und CRU-Klimadaten 1961-1990; von 0,0 (kein Vorkommen) bis 1,0 (sicheres Vorkommen)	100
Abb. 5.1.1:	Beispiel zur Extrapolation der Niederschläge für ein regionales Rasterfeld aus dem KOSTRA-Atlas (MUNLV NRW 2004, DWD 1997, 2005)	107
Abb. 5.1.2:	Diagramm von Niederschlagsintensität ($\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$) und Niederschlagsdauer für verschiedene Niederschlagstypen und -ereignisse (Geiger et al. 1991). Mit Kreuzen markiert sind Extremereignisse in Deutschland, rot: Füssen (25.05.1920), magenta: Zinnwald (12.-13.08.2002) und blau: Dortmund (26.07.2008).	108
Abb. 5.1.3:	Diagramm der Abhängigkeit des Abflusses von Niederschlag und CN-Wert als Maß für das Aufnahmevermögen der Böden.	109
Abb. 5.1.4:	Ergebnisse der berechneten CN-Werte für Deutschland und beschreibt die regional differenzierte Sensitivität für lokale Starkniederschlagsfluten.	114
Abb. 5.4.1:	Häufigkeit von Unfällen mit Personenschäden über dem Maximum der täglichen Lufttemperatur in Berlin (2006-2008)	119
Abb. 5.4.2:	Häufigkeit von Unfällen mit Personenschäden über dem Maximum der täglichen Lufttemperatur in Sachsen (2006-2008)	120
Abb. 5.4.3:	Häufigkeit von Unfällen mit Personenschäden über dem Maximum des täglichen Dampfdruckes in Berlin im Jahre 2008	120
Abb. 5.6.1:	Integriertes Sturmwurfisiko für Waldflächen (oben) und zum Vergleich Schäden beim Sturm Kyrill (unten) Quelle: NRW-Studie des PIK (Kropp et al. 2009a)	123
Abb. 5.6.2:	Räumliche Verteilung der Schadensätze in Deutschland und deren Änderungen im A1B-Szenario in näherer und fernerer Zukunft gegenüber 1984-2008, abgeleitet mit dem statistischen Schadenmodell Sturm/-Hagel des PIK, Mittelwerte des 30-jährigen Zeitraums (Gerstengarbe 2011).	124

Tabellen

Tab. 1.3.1:	Beispiele für Elemente von Vulnerabilitätsanalysen (ohne Anspruch auf Vollständigkeit). Einige Stimuli und Wirkungen treten bei mehreren klimasensitiven Systemen auf.	15
Tab. 2.1.1:	Überblick über die Zugehörigkeit der FISKA Wirkmodelle (WM) zu verschiedenen Bereichen der Deutschen Anpassungsstrategie zur Anpassung an den Klimawandel, ihre Bearbeitung (frühere Berichte und aktuelle Überarbeitung in 2011), Umsetzung, Machbarkeitsanalyse (MA) zur Implementierung (A) oder Nichtimplementierung in FISKA (B = bedingt möglich, C = zurückgestellt)	22
Tab. 2.3.1:	Elemente der Klimadaten bzw. Klimaszenarien	24
Tab. 2.3.2:	Inhalt der Klimadateien des DWD (Beispiel)	24
Tab. 2.3.3:	Inhalt der Klimadateien des Regionalmodells WETTREG (Beispiel)	25
Tab. 2.3.4:	Inhalt der Klimadateien des Regionalmodells REMO (Beispiel)	25
Tab. 2.3.5:	Verfügbarkeit meteorologischer Größen in FISKA	26
Tab. 2.3.6:	Geofachdaten-Übersicht	29
Tab. 2.4.1:	Verwendete meteorologische Größen in den Wirkmodellen PIK-xx und Verfügbarkeit in FISKA)	32
Tab. 2.4.2:	Minimum der Verfügbarkeit der meteorologische Größen in den implementierten Wirkmodellen PIK-xx der Klasse A innerhalb von FISKA	33
Tab. 3.1.1:	Verwendete meteorologische Größen und Verfügbarkeit für das Wirkmodell PIK-01	38
Tab. 3.1.2:	Im Wirkmodell PIK-01 implementierte Kennstage und Kenngrößen	39
Tab. 3.2.1:	Verwendete meteorologische Größen und Verfügbarkeit für das Wirkmodell PIK-02	47
Tab. 3.2.2:	Hitzeindex und Stufeneinteilung	48
Tab. 3.3.1:	Verwendete meteorologische Größen und Verfügbarkeit für das Wirkmodell PIK-06	51
Tab. 3.3.2:	Parameterwerte bei der Berechnung des Blattaustriebs	51
Tab. 3.3.3:	Validierung der Phänologiedaten	52
Tab. 3.4.1:	Verwendete meteorologische Größen und Verfügbarkeit für das Wirkmodell PIK-10	53
Tab. 3.4.2:	Ausgewählte anbauwürdige Rebsorten und zugehörige Index-Intervalle des Huglin-Indexes (Huglin 1978, Huglin 1986)	54
Tab. 3.5.1:	Verwendete meteorologische Größen und Verfügbarkeit für das Wirkmodell PIK-11	57
Tab. 3.6.1:	Verwendete meteorologische Größen und Verfügbarkeit für das Wirkmodell PIK-13	58
Tab. 3.6.2:	Waldbrandgefahrenklassen für Brandenburg (TBF=durchschnittliche Totalbrandfläche je 100.000 ha Waldfläche)	60
Tab. 3.6.3:	Ableitung von Warnstufen nach WBKZ und Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Waldbränden nach Käse (1969)	63
Tab. 3.6.4:	Ableitung von Warnstufen aus den WZ nach TGL 24334 (1971)	64
Tab. 3.6.5:	Stufen der Waldbrandgefährdung nach dem Waldbrandgefahrenindex M-68 (internationale Skalierung)	65
Tab. 3.7.1:	Verwendete meteorologische Größen und Verfügbarkeit für das Wirkmodell PIK-14	69
Tab. 3.8.1:	Verwendete meteorologische Größen und Verfügbarkeit für das Wirkmodell PIK-15	74
Tab. 3.9.1:	Verwendete meteorologische Größen und Verfügbarkeit für das Wirkmodell PIK-16	79
Tab. 3.9.2:	Vergleichsrechnungen des Wirkmodells PIK-16 mit zwei anderen Solarrechnern (DWD 1991-2000)	80
Tab. 3.10.1:	Verwendete meteorologische Größen und Verfügbarkeit für das Wirkmodell PIK-18	82
Tab. 3.10.2:	Beobachtete und modellierte mittlere Schneehöhen und Gesamtsumme der Schneedeckentage im Zeitraum 1961 bis 1998 in Baden-Württemberg und an der Station Potsdam	87
Tab. 3.11.1:	Verwendete meteorologische Größen und Verfügbarkeit für das Wirkmodell PIK-19	89
Tab. 4.1.1:	Klasseneinteilung des Erosionsrisikos für Böden in Deutschland	95
Tab. 4.2.1:	Vergleich von DWD-Beobachtungsdaten und CRU-Daten für die bioklimatischen Variablen des Verbreitungsmodells am Ort Potsdam.	101
Tab. 5.1.1:	Ausschnitt aus der BÜK1000 Tabelle Horizont (Originalgröße: 2395 Datensätze), mit den für die Berechnung des CN-Wertes für den obersten Horizont benötigten Spalten. Die Bodenklassifikation für Tongehalt und Rohdichte trocken sind in den Spalten FEINBOD und TRDSV_STUFE angegeben.	110
Tab. 5.1.2:	Bodenarten mit den Grenzwerten der Anteile der Fraktionen nach KA4.	111
Tab. 5.1.3:	Einstufung der Rohdichte trocken RT gemäß Bodenkundlicher Kartieranleitung (AG BODEN 1994). Die Spalte RT wurde mit Horizont. TRDS_STUFE verknüpft und als Wert der Rohdichte (Spalte RT_mittel) gewählt.	111

Tab. 5.1.4:	Die gesättigte Leitfähigkeit SC (saturated conductivity) des Bodens wird aus effektiver Lagerungsdichte Ld (Bulk_density) und Bodenart ermittelt (nach AG BODEN 1994).	112
Tab. 5.1.5:	Zuordnung der Bodeneinheiten nach BÜK1000 zu Hydrologischen Bodentypen (Hydro_Soil_Group, HSG) mithilfe ihrer SC-Werte	112
Tab. 5.1.6:	Hauptlandnutzungsarten des Bodens nach BÜK1000	113
Tab. 5.1.7:	Zuordnung der CN-Werte zu den Böden nach Nutzungsart und hydrologischem Bodentyp nach Maidment (1993)	113
Tab. 5.1.8:	Zuordnung von Bodeneinheiten nach BÜK1000 zu Hydrologischen Bodentypen (Hydro_Soil_Group, HSG) nach dem SWIM-Verfahren (Krysanova <i>et al.</i> 2000)	113

1 Grundlagen, Zielsetzung und Aufgabenstellung

1.1 Ausgangssituation

Das Vorhaben zum Aufbau eines Fachinformationssystems „Klimafolgen und Anpassung“ (FSKA) wurde am 01.03.2007 gestartet, hatte eine erste Projektphase bis zum 31.10.2008 sowie eine zweite Projektphase bis zum 31.10.2009. Es ist eine Aktivität im Rahmen des UBA Kompetenzzentrums Klimafolgen und Anpassung (KomPass). Im Jahre 2011 erfolgte in Abstimmung mit dem Auftraggeber eine Überarbeitung wesentlicher Teile des Schlussberichtes und einiger Rechenkern. Im Ergebnis dieser Arbeiten entstand der hiermit vorliegende 3. Abschlussbericht.

Projektphase 1

In der ersten Projektphase waren neben dem Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK) als weitere Partner die Climate & Environment Consulting Potsdam GmbH (CEC-Potsdam) und die Großmann Ingenieur Consult GmbH (GICON) beteiligt. Gegenstand der Arbeiten war die Konzeptentwicklung bis zum System-Prototyp und die Implementierung einer Reihe von Klimawirkungen zur Demonstration der Leistungsfähigkeit von FSKA. Die informationstechnische Seite des Fachinformationssystems umfasst folgende Teile:

- Eine sogenannte Fachschale zur Einbindung der Klimawirkungsketten in Form von Input-Output-Modellen (I/O-Modell, Rechenkern) in die GIS-Umgebung des UBA (PIK & GICON),
- Ein angekoppeltes Expertensystem namens „Interaktives Diagnose- und Präsentationstool“ (IDP) zur vereinfachten Bereitstellung und Visualisierung der Daten der Klimaszenarien (Kreienkamp & Spekat 2007, CEC-Potsdam) und
- Eine Internet- und Web-Applikation FSKA-WEB (GICON).

Als auszuwertende Klimaszenarien wurden vorgesehen:

- DWD-Beobachtungsdaten im Zeitraum 1971 bis 2000,
- je 20 Realisierungen (Emissionsszenarien A1B, A2, B1, Zeitraum 1961 bis 2100) mit dem Klimamodell WETTREG (Spekat *et al.* 2007, CEC Potsdam),
- je eine Realisierung (Emissionsszenarien A1B, A2, B1, Zeitraum 1951 bis 2100) mit dem Klimamodell REMO des Max-Planck-Instituts für Meteorologie Hamburg (Jacob *et al.* 2008).

Projektphase 2

In der zweiten Projektphase ging es um die Erweiterung und Validierung weiterer Klimawirkungen im Hinblick auf die Anforderungen der Deutschen Anpassungsstrategie (DAS) zur Anpassung an den Klimawandel (Deutscher Bundestag 2008). Neben dem PIK hatte die Hochschule Vechta, Lehrstuhl für Landschaftsökologie, den Projektauftrag zur Entwicklung von Rechenkernen zu folgenden Klimawirkungen:

- Integration der Ökologischen Raumgliederung Deutschlands,
- Rechenkern Potenzielle temperaturabhängige Malariainfektionen,
- Rechenkern Pflanzenphänologie.

Zum Teilvorhaben der Hochschule Vechta gibt es einen separaten Abschlussbericht (Holy *et al.* 2009). In einem weiteren eigenständigen Projekt hat GICON die Aufgabe, das Fachinformationssystem FSKA weiter auszubauen, die informationstechnische

Ausgestaltung und die Einbeziehung von Rechenkernen weiterer Partner zu unterstützen.

Projektphase 3

Bei einer beim UBA erfolgten Prüfung des 2. Abschlußberichts entstand ein viele Punkte umfassender Klärungsbedarf mit detaillierten Hinweisen, die dem PIK im April 2011 übermittelt wurden. Auf dieser Grundlage wurde der Bericht umfassend überarbeitet und ergänzt.

1.2 Zielsetzung und Aufgabenstellung

Das übergeordnete Ziel des Vorhabens wurde bei Aufgabenstellung 2007 mit den drei folgenden Punkten beschrieben:

- Bereitstellung von Informationsgrundlagen bzgl. Klimaänderungen und Klimafolgen zur Entwicklung von Anpassungsstrategien,
- Entwicklung eines Werkzeugs im Sinne eines Expertensystems zur Erfüllung von KomPass-Aufgaben (UBA, [KomPass](#)),
- Generierung von sogenannten Risikokarten für die öffentlichkeitsbezogene Kommunikation von möglichen künftigen Risiken eines Klimawandels.

Für die Einsatz- und Verwendungsmöglichkeiten von FSKA sowohl für die UBA-interne Arbeit als auch für die Information der Öffentlichkeit und vor allem im Hinblick auf die Unterstützung der Umsetzung der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel soll eine repräsentative Zahl von Klimawirkungen in FSKA nach den folgenden drei Kriterien ausgewählt und implementiert werden:

- (R) gesellschaftliche Relevanz, angelehnt an Tabelle 2 der Leistungsbeschreibung des UBA von 2006 und an die sektoralen Bereiche der DAS,
- (O) operationelle Umsetzbarkeit im Rahmen des FSKA-Tools und
- (W) wissenschaftliche Unterlegung der implementierten Wirkungszusammenhänge.

Die Zielsetzung des Vorhabens ist daher die Ergänzung des Fachinformationssystems mit weiteren wichtigen Klimawirkungen mit möglichst breiter thematischer Streuung, um die vielfältigen Themen der DAS so weit wie möglich erfassen zu können.

Ein wesentliches Ziel ist ferner, mit FSKA ein offenes, flexibles und erweiterungsfähiges Werkzeug zu schaffen, das zukünftig schrittweise um weitere Klimawirkungen erweitert werden kann. Arbeitsgruppen an verschiedenen Institutionen, Hochschulen, der außeruniversitären Forschung oder Fachbehörden, die Modelle zu den Auswirkungen des Klimawandels entwickeln, sollen sich zur Bereitstellung ihrer Klimawirkungen in FSKA animieren lassen.

1.3 Fachliche und wissenschaftliche Grundlagen der Methode

1.3.1 Vulnerabilität klimasensitiver Systeme

Erwartet wird, dass der Klimawandel, neben einigen zeitweise auch positiven Effekten, vermehrte Gefahren für Menschen und schützenswerte Güter weltweit und auch in Deutschland mit sich bringt. Die mit einem veränderten Auftreten von Extremereignissen verbundene Gefährdung kann durch das Risiko als Maß für die Wahrscheinlichkeit des Eintritts der damit verbundenen Schäden quantifiziert werden. Da-

neben gibt es aber noch Schäden, die nicht aus Einzelereignissen herrühren, sondern aus einer Trendverschiebung der Betriebsbedingungen in relevanten Wirtschaftssektoren aus ihrem für das bisherige regionale Klima ermittelten Optimum. Die Konsequenzen des Klimawandels ergeben sich nicht direkt aus den Ergebnissen der Klimamodelle, sondern erfordern Methoden zur Analyse der raum- und sektorbezogenen Vulnerabilität (Zebisch *et al.* 2005, Stock *et al.* 2009).

Wir verwenden den aus dem englischen abgeleiteten Begriff Vulnerabilität für Verwundbarkeit gegenüber dem Globalen Wandel und Klimawandel. Vulnerabilität bedeutet die Anfälligkeit des Mensch-Umwelt-Systems gegenüber den in der Regel nachteiligen Auswirkungen des Klimawandels. Der Klimawandel umfasst Veränderungen von Mittelwert, Variabilität und Extremen der regionalen Klimaparameter. Die Auswirkungen hängen von der Dynamik dieser Veränderungen und der Dynamik der Reaktion des Systems darauf ab. Letzteres wird durch die Empfindlichkeit und das Anpassungspotenzial des Systems bestimmt.

Angesichts unvermeidlicher Unsicherheiten der regionalen Klimaszenarien spielt das Vulnerabilitätskonzept eine wesentliche Rolle, wie in Abbildung 1.3.1 schematisch skizziert.

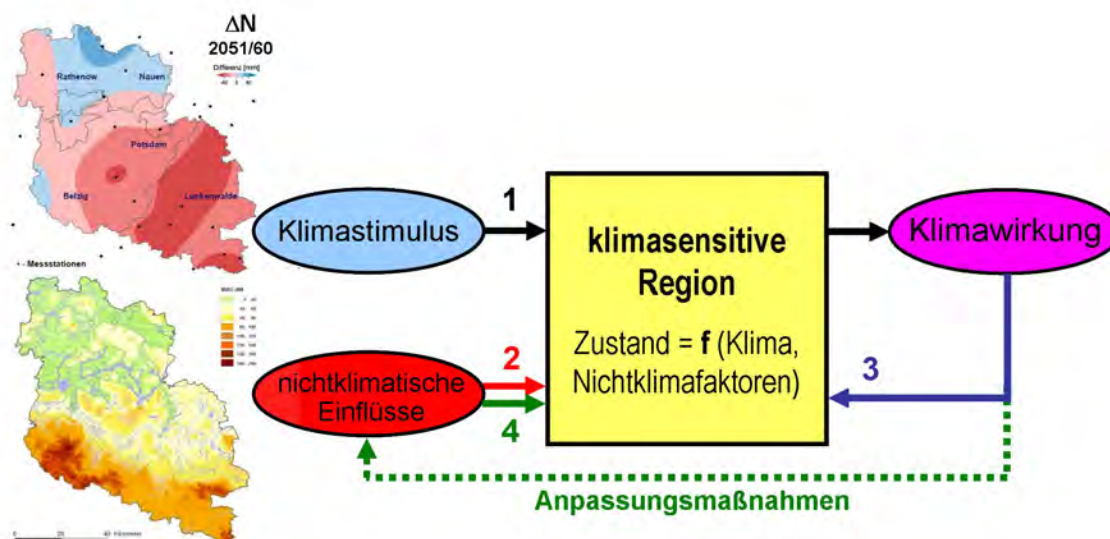


Abb. 1.3.1: Analyseschema der Vulnerabilität klimasensitiver Systeme. 1) Die Klimaänderung ist ein Stimulus zur Zustandsänderung des Systems = Klimawirkung. 2) parallel wirken nichtklimatische Umwelt- und Zustandsänderungen, z. B. Landnutzungsänderungen. 3) Rückwirkungen von Klimawirkungen auf die Umwelt oder interne Systemparameter ergeben sekundäre Klimawirkungen. 4) proaktive Anpassung an zukünftig erwartete Klimawirkungen, z. B. in der räumlichen Planung (abgeleitet aus Stock *et al.* 2009).

Im Zentrum der Analyse steht ein klimasensitives System mit den vom Klimawandel betroffenen wirtschaftlichen Sektoren und Ressourcen einer Region. Als Klimastimulus bezeichnen wir hier die Merkmale einer regionalen Klimaänderung, die in einer Ursache-Wirkungs-Beziehung bestimmte (oftmals nachteilige) Klimawirkungen auf das System zur Folge haben. Zwei Typen von Klimastimuli mit verschiedenartigen Ursache-Wirkungs-Beziehungen sind grundsätzlich zu unterscheiden:

- Allmähliche Trendverschiebungen der Klimaparameter (Mittel- und Extremwerte) mit der Folge, dass ökologisch oder ökonomisch an das bestehende Klima optimierte Prozesse weniger effizient oder anders verlaufen und

- charakteristische Veränderungen in Häufigkeit, Andauer und Stärke von Extremwetterereignissen dergestalt, dass bestehende Risiken sich verschärfen oder bisher in einer Region vernachlässigbare Risiken relevant werden.

Die Klimaszenarien liefern vor allem Klimastimuli des ersten Typs, beim zweiten Typ lassen die noch bestehenden Unsicherheiten nur sehr vorsichtige Eingrenzungen der Risiken zu, vor allem mit Hilfe nichtklimatischer Indikatoren der Vulnerabilität.

Die Verknüpfungen der Ursachen und Wirkungen stellen sich wie folgt dar (vgl. Abb. 1.3.1):

(1) Ein System befindet sich in einem Zustand, der es gegenüber Klimastimuli mehr oder weniger empfindlich macht und eine entsprechende Klimawirkung zur Folge hat. Klimafolgenanalysen beschränken sich meist weitgehend auf diesen Teil der Wirkungskette, wobei als Klimastimuli Veränderungen der regionalen Klimaparameter aus Klimamodellrechnungen verwendet werden.

(2) Parallel zum Klimawandel verändern andere zivilisatorische Einflüsse den Zustand des Systems und damit wiederum die Klimawirkungen. Die Berücksichtigung dieser Einflussfaktoren in Form von regionalen Indikatoren, soweit sie in Form von Geodaten vorliegen, liefert wesentliche Erkenntnisse zur Klimasensitivität auch da, wo die Klimaszenarien zu unsichere Daten liefern.

(3) Die Klimawirkung eines Klimastimulus hat wiederum Umweltveränderungen und damit eine Zustandsänderung des Systems zur Folge, z. B. eine Beschädigung. Dies kann die Klimasensitivität gegenüber weiteren Klimastimuli, wie z. B. Extremwetterereignissen, erhöhen und wiederum sekundäre Klimawirkungen mit kritischeren Folgen nach sich ziehen, als es ohne die Vorschädigung der Fall wäre.

(4) Der Zustand eines Systems und damit seine Klimasensitivität wird vor allem durch nichtklimatische Einflüsse bestimmt, z. B. auch durch Vorsorge und Reparaturmaßnahmen. Hier setzt proaktiv und vorsorgend die Anpassungsstrategie bei Planung und Ausführung unter Berücksichtigung der zu erwartenden Wirkungen des Klimawandels an, um die Klimasensitivität und damit mögliche Schäden zu verringern.

Die Vulnerabilität eines „klimasensitiven Systems“ hinsichtlich der Wirkungen des Klimawandels ist daher eine Funktion des Klimastimulus, seiner Größenordnung und Rate, der Sensitivität (Empfindlichkeit gegenüber dem Stimulus) des betrachteten Systems und dessen Anpassungsmaßnahmen, wie z. B. durch räumliche Planung. Tabelle 1.3.1 listet Beispiele für die Elemente von Vulnerabilitätsanalysen auf.

Klimastimulus	klimasensitives System	zivilisatorische Einflüsse	Klimawirkung
Temperaturanstieg	Gletscher, Permafrostgebiete	Luftverschmutzung	Gletscherschwund
Meeresspiegelanstieg	Küsten und Niederungen	Küstenschutz	Landverlust d. Sturmfluten
mehr, längere und stärkere Stürme	Wald- und Forstgebiete	Forstmanagement, Landnutzung	mehr Sturmschäden
intensivere und längere Hitzewellen	städtische Ballungsräume	Stadt- und Gebäudeplanung, Sozialstruktur	Einbußen an Lebenstagen und Lebensqualität
mehr und längere Trockenperioden	Agrarwirtschaft	Sortenwahl, Landnutzung & -bewirtschaftung	vermehrte Ernteeinbußen und -ausfälle
mehr, extremere und längere Regenfälle	Flusseinzugsgebiete & Hochwasserzonen	Gewässer- & Einzugsgebietsmanagement	mehr Überflutungs- und Erosionsschäden

Klimastimulus	klimasensitives System	zivilisatorische Einflüsse	Klimawirkung
extremere Kälteperioden und Eisregen	Infrastruktur und Transport	Logistik & betriebliches Management	Produktionsausfälle und Infrastrukturschäden
veränderte Wasserbilanz	Wasserressourcen	Management von Stau- & Rückhaltesystemen	Rückgang bei Grundwasser- und Seenspiegel
veränderte Klimazonen	Ökosysteme und Ökosystemfunktionen	Naturschutz, Landnutzung	veränderte Artenvielfalt und Artenmigration

Tab. 1.3.1: Beispiele für Elemente von Vulnerabilitätsanalysen (ohne Anspruch auf Vollständigkeit). Einige Stimuli und Wirkungen treten bei mehreren klimasensitiven Systemen auf.

1.3.2 Umsetzung des Vulnerabilitätskonzepts in FISKA

Im Allgemeinen sind die oben diskutierten klimasensitiven Systeme sehr komplex mit vielen unabhängigen Parametern in meist mehreren gekoppelten Prozessen, die zudem eine nichtlineare Dynamik zeigen. Entsprechend aufwändig sind Entwicklung und Anwendung der Rechenmodelle, die diese Dynamik erfassen sollen. Hinzu kommt, dass Rechenläufe mit solchen Modellen in der Regel sehr zeitaufwändig sind, insbesondere wenn mit den Ergebnissen räumlich hoch aufgelöste Risikokarten für ganz Deutschland generiert werden sollen. Ein weiterer Nachteil der so erzeugten Aussagen ist, dass sie mit verschiedenen Modellen und unterschiedlichen Kriterien erstellt wurden, so dass eine Vergleichbarkeit fehlt.

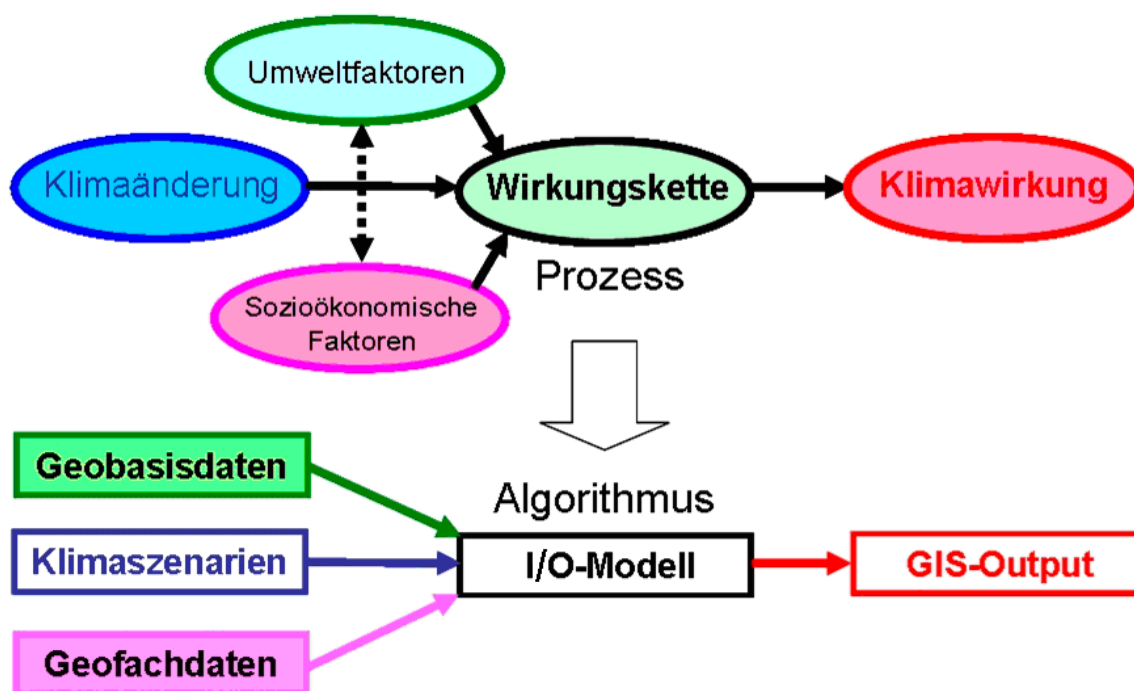


Abb. 1.3.2: Vereinfachte Ursache-Wirkungs-Beziehung von der Klimaänderung zur Klimawirkung als Prozess (oben) und als Input-Output-Modell in FISKA (unten). Die beteiligten Umweltfaktoren werden aus Geobasisdaten, die sozioökonomischen Faktoren aus Geofachdaten übernommen (Stock 2007).

Für die Implementierung bestimmter ausgewählter Klimawirkungen in FISKA wurde daher der Ansatz verfolgt, statt umfassender komplexer Rechenmodelle einfache lineare Wirkungsketten zu ermitteln, die nur die für eine bestimmte Klimawirkung relevanten Parameter und Prozesse nach einem einheitlichen Verfahren abbilden (siehe

Abbildung 1.3.2). Die Abfolge von Klimaänderungen zur Klimawirkung wird vereinfacht als linearer Prozess einer Kette von Ursachen-Wirkungs-Teilschritten betrachtet. Die prozessorientierte Wirkungskette wird dann in einen Algorithmus transformiert und dieser als im Rechner ausführbares Input-Output-Modell (I/O-Modell oder Rechenkern) implementiert. Als Input-Daten werden die für die Wirkung relevanten Klimavariablen der Klimaszenarien sowie die für die im Prozess identifizierten nicht-klimatischen Wirkungsfaktoren verfügbaren Geobasis- und Geofachdaten verwendet.

1.3.3 Berechnungsraster

Ein wichtiges Bindeglied zwischen punkt- und flächenbezogenen Ausgangsdaten, den Berechnungsalgorithmen und der Ergebnisvisualisierung über Kartendarstellungen ist das **FISKA-Berechnungsraster**. Dabei handelt es sich um eine aus einzelnen Zellen bestehende Matrix, die über dem Betrachtungsraum Deutschland liegt.

Die FISKA-Rahmenanwendung sorgt dafür, dass für jede Zelle des Rasters die benötigten Ausgangsdaten bereitgestellt sowie die pro Wirkbeziehung definierten Berechnungsalgorithmen durchgeführt werden und ruft dazu jeweils den integrierten Rechenkern auf.

Die Zellgröße des Berechnungsrasters kann prinzipiell frei gewählt werden, zur Zeit trifft der Nutzer des Systems über die Programmoberfläche eine Auswahl aus den voreingestellten Zellgrößen 1 km x 1 km, 2 km x 2 km, 4 km x 4 km und 8 km x 8 km.

Das Berechnungsraster ist programmtechnisch obligat zu wählen. Es wird innerhalb von FISKA benutzt, um unterschiedlich strukturierte Ausgangsdaten (WETTREG punktbezogen, REMO Raster, andere) für die eigentlichen Rechenkerne in einer standardisierten Form bereitzustellen und nach Abschluss der Berechnung die Darstellung in Kartenform vorzubereiten.

Das Berechnungsraster steht in direktem Bezug zur Granularität der Geo-Ausgangsdaten (BÜK, u.a.): durch kleine Zellgrößen können zum Beispiel unterschiedliche Bodenarten auf engem Raum berücksichtigt werden. Die implementierten Klimawirkmodelle können somit im Bedarfsfall besser den jeweils relevanten Geodaten-Attributen „folgen“.

Kleine Zellgrößen erhöhen allerdings den Rechenaufwand und beeinflussen damit die Performance. Der Nutzer kann also wählen, ob er langsam und „feiner“ oder schneller und „gröber“ rechnen will. Als Sekundäreffekt verbessert sich bei kleinen Zellgrößen die Bildqualität der erzeugten Karten.

Die regionalen Klimamodelle liefern für kleinere Berechnungsraster als etwa 10km x 10km nur scheinbar eine höhere Genauigkeit. Eine gewisse Berechtigung hat ein kleineres Raster allenfalls für die Höhenkorrektur der Lufttemperatur in Gebirgsregionen, hat aber auch da Grenzen. Durch die bei gröberer Auflösung vorgenommenen und validierten Parametrisierungen komplexer Prozesse, wie Verdunstung, Kondensation, Wolkenbildung etc., kann die höhere Auflösung sogar zusätzliche Fehler mit sich bringen, weil die Parametrisierung nicht daran angepasst wurde.

Hinweis

Bei einer Reihe von Testläufen der in **FiskaRechenlauf.exe** (Version 1.0.0.0 © BISANTECH 2007) als *dll* eingebetteten Wirkmodelle wurde festgestellt, dass die Wahl von Berechnungsrastern der Größe 4 km x 4 km und 8 km x 8 km zum Abbruch der Datenaufbereitung innerhalb der Initialisierung von FISKA vor dem Aufruf der

PIK-Wirkmodelle führte. Die interne Fehlermeldung wies einen Abbruch des Programms während der Initialisierung aus:



Bezeichnung	Fortschritt	Status	Wirkmodell	gestartet	beendet
01-Test 2x2	100	✓	PIK-01 Mittelwerte/Kenntage	30.01.2012 15:29	30.01.2012 15:34
01-Test 4x4	0	✗	PIK-01 Mittelwerte/Kenntage	30.01.2012 15:19	30.01.2012 15:19

Die erweiterte Fehlerbeschreibung enthielt:

Fehler bei der Berechnung: Object reference not set to an instance of object ...

```
Fehler bei der Berechnung: Object reference not set to an instance of an object.
at FiskaCalc.DbCpd.CalculateLocGrid1(ArcInfoAsciiGrid elevGrid, DbCpdProgress pg, RunningCLC rdc) in F:\SW_ENTW\FISKA\App\FISKA\FiskaCalc\DbCpd.cs:line 2334
at FiskaCa...
```

Diese Fehler traten bei der Initialisierung der Rechenläufe unter folgende Auswahlkombinationen auf:

- REMO 4 km x 4 km und
- REMO 8 km x 8 km.

Getestet wurden dazu PIK-01, PIK-02, PIK-06 und PIK-10. Auf weitere Tests wurde dann aus Zeitgründen verzichtet, da dieser Fehler in der aktuellen FISKA-Version nicht mehr auftreten soll.

Diese Fehler traten nicht auf bei

- Auflösungen 2 km x 2 km bzw. 1 km x 1 km für REMO,
- Verwendung von Szenarien des DWD (Beobachtungsdaten) bzw. WETTREG.

Dieser Fehler ist in der aktuellen Version von *FiskaRechenlauf.exe* nach Angaben von GICON GmbH behoben

1.3.4 Grenzen der Implementierung komplexer Wirkungsbeziehungen

Die vorgenommene weitgehende Vereinfachung der Systematik von Klimawirkungen zu linearen Input-Output-Modellen war im Rahmen der Prototypentwicklung notwendig, um die Rechenzeiten auf ein handhabbares Niveau zu reduzieren. Dabei wird der Wirkungsprozess für jede räumliche Gitterzelle unabhängig von den anderen berechnet. Dies entspricht dem Fall a) in Abbildung 1.3.3. Klimastimulus, nichtklimatische Faktoren und Klimawirkung werden für das gleiche Pixel berechnet. Für eine zieladäquate Implementierung von manchen relevanten Klimawirkungen in FISKA kann es aber erforderlich sein, auch Elemente der Rückkopplungsschleife (3) in Abbildung 1.3.1, bzw. die Fälle b) und c) in Abbildung 1.3.3 berücksichtigen zu können, d.h. die zeitliche Vorgeschichte bzw. räumlich über mehrere Pixel verteilte Abhängigkeiten.

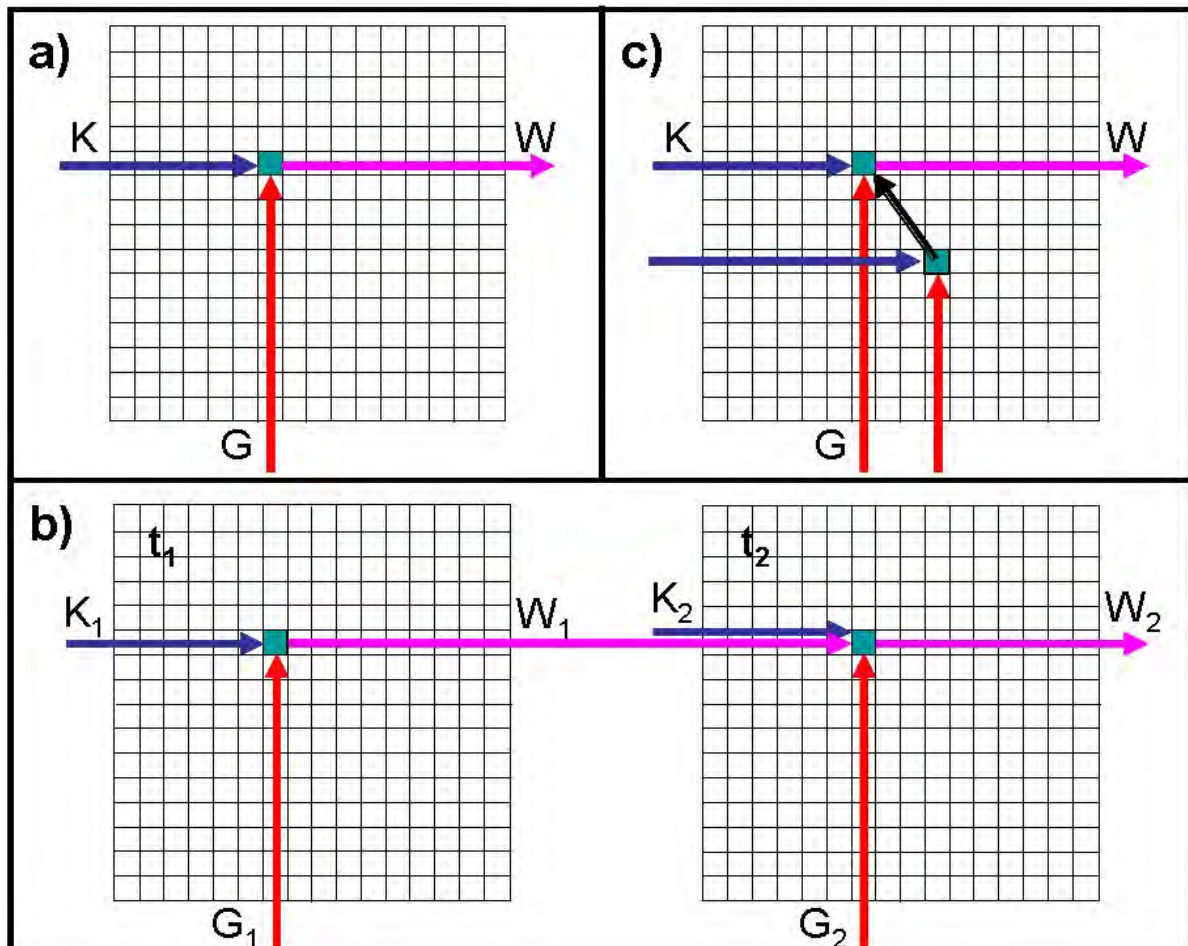


Abb. 1.3.3: a) Standardverfahren zur pixelbezogenen Berechnung von Klimawirkungen. K = Klimastimulus, G = Geodaten und W = Klimawirkung sind miteinander am gleichen regionalen Bezugspunkt verknüpft.
 b) Die Klimawirkung W_2 zum Zeitpunkt t_2 hängt von Klimawirkungen ab, die zu einem früheren Zeitpunkt t_1 stattfanden; z. B. im Vorjahr.
 c) Die Klimawirkung an einem Ort ist abhängig von der Wirkung an anderen Orten, z. B. bei Hochwasser infolge von zusammenfließenden Abflüssen nach Starkregenereignissen.

Die Vulnerabilität eines „klimasensitiven Systems“ hinsichtlich der Auswirkungen des Klimawandels (Klimawirkung) ist dann eine Funktion mehrerer Klimastimuli, ihrer Größenordnung und Rate, der Sensitivität des betrachteten Systems (Empfindlichkeit gegenüber den Stimuli) und des Anpassungspotenzials, als Teil zivilisatorischer Einflüsse, wie z. B. der räumlichen Planung. Ob und wie sich dies operationell mit vertretbarem Aufwand in FISKA implementieren lässt, wurde in einer Machbarkeitsanalyse untersucht. Im Fall b) führt eine Implementierung im günstigsten Falle zu einem mehr als doppelt so hohem Zeitaufwand, was bei der Auswahl der Wirkungsfaktoren zu berücksichtigen ist. Im Fall c) wächst der Rechenaufwand mit der Fakultät der Verknüpfungen. Daher erscheint nicht nur der Aufwand zunehmend unverträglich, sondern es sollte sich die Belastbarkeit der Ergebnisse durch Fehlerfortpflanzung entsprechend verringern.

Bei der Analyse der Machbarkeit spielen die Unsicherheiten im Klimastimulus eine wesentliche Rolle, insbesondere bei den Wirkungen extremer Wetterereignisse. Ein Extremwetterereignis ist ein mit extremen Wetterbedingungen wie Hitze, Sturm oder Starkniederschlag verbundenes Ereignis, das am gegebenen Ort und zur gegebenen Jahreszeit selten ist. Definitionsgemäß ist die Charakteristik von „Extremwetter“ von Ort zu Ort unterschiedlich und die Definitionen für „selten“ variieren. Üblicherweise ist

ein Wetterereignis „extrem“, wenn es außerhalb des Bereichs zwischen dem 10. und 90. Perzentil der beobachteten Wahrscheinlichkeitsverteilung liegt (IPCC 2007). Es ist auch üblich, solch seltene Ereignisse mit langen Wiederkehrperioden bzw. einer hohen Jährlichkeit zu verbinden, z. B. HQ100 oder HQ500 für hundert- bzw. fünfhundertjährige Ereignisse. Im Gegensatz zu Extremereignissen, die nicht mit Wetterbedingungen zusammenhängen (z. B. Erdbeben), kann sich allerdings die Wahrscheinlichkeitsverteilung für Extremwetterereignisse und damit die Jährlichkeit infolge von Klimaänderungen ebenfalls verändern. Folglich kann es durch den Klimawandel zu einer Veränderung von Ausmaß und Häufigkeit von Extremwetterereignissen kommen.

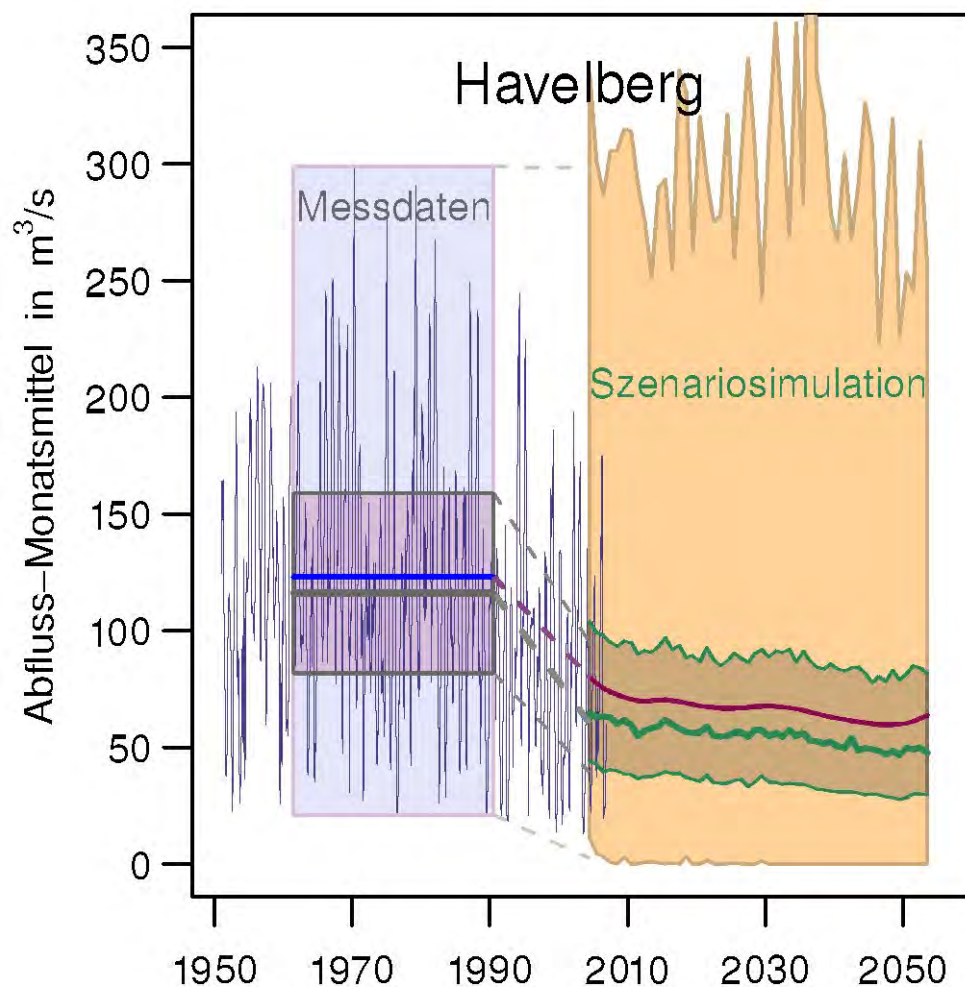


Abb. 1.3.4: Entwicklung der Abflüsse am Elbe-Pegel Havelberg. Dargestellt sind jeweils Spannweite, innere Quartile, Median und Mittelwert; Links: Messdaten im Zeitraum 1951-2003 und in den Rechtecken für den Referenzzeitraum (1961–1990). Rechts: Simulation für den Zeitraum 2004-2053 für das Szenario T2 (ähnlich dem A1B-Szenario) für 100 Realisierungen mit dem Klimamodell STAR II und dem Hydrologiemodell SWIM (Conradt *et al.* 2012).

Die für entsprechende Aussagen erforderliche Wahrscheinlichkeitsverteilung lässt sich nur mit Hilfe vieler Ereignisdaten bzw. vieler unterschiedlicher Rechenläufe (Ensembles) mit regionalen Klimamodellen ermitteln. Am Beispiel der Wirkungen extremer Niederschläge in einem Flusseinzugsgebiet (Fall c in Abb. 1.3.3) wird dies im Folgenden erläutert. Abbildung 1.3.4 zeigt die in der Vergangenheit beobachteten sowie die für die zukünftige Entwicklung im Klimawandel simulierten Abflüsse im

Flusseinzugsgebiet der Elbe am Pegel Havelberg (Conradt *et al.* 2012). Links dargestellt sind die Messdaten am Pegel im Zeitraum 1951-2003 und rechts die Simulationsergebnisse für den Zeitraum 2004-2053 für ein Szenario ähnlich dem A1B-Szenario. Die Simulationen wurden mit 100 Realisierungen des regionalen Klimamodells STAR II und dem damit gekoppelten Hydrologiemodell SWIM durchgeführt, sodass die bei einzelnen Rechenläufen vorhandene Stichproben-Unsicherheit zu einer Bandbreite der Verteilungsstatistik für Hoch- und Niedrigwasser am Pegel wird. Die starke Abnahme der Abflüsse in der Vergangenheit etwa seit 1990 hat wesentliche zivilisatorische Ursachen, z. B. Veränderungen beim Braunkohletagebau in Ostdeutschland. Zukünftig sind durch den Klimawandel weiter zurückgehende mittlere Abflüsse sowie vor allem im Sommer sehr niedrige und weiter abnehmende Niedrigwerte der Abflüsse zu erwarten. Dennoch können in Zukunft immer wieder sehr hohe Abflussspitzen auftreten, vor allem im Winter, gelegentlich aber auch im Sommer.

Die Genauigkeit der komplexen Modellkette wurde durch Vergleich der Beobachtungsdaten mit Simulationsergebnissen der Vergangenheit überprüft und die Übereinstimmung als sehr gut erachtet. Die durch Regionalmodelle projizierten Veränderungen der Niederschläge und die damit verbundenen Unsicherheiten hinsichtlich der Wirkungen auf Abflüsse sind daher nur mit Hilfe von Wahrscheinlichkeitsverteilungen auf der Basis von Multi-Rechenläufen zu ermitteln und daher nicht in FISKA machbar. Dies gilt für die Wirkungen seltener extremer Wetterereignisse generell, für Hoch- und Niedrigwasser in Flusseinzugsgebieten sowie für die damit zusammenhängende Frage der Verfügbarkeit von Kühlwasser für Kraftwerke an Flüssen.

Auch für die Frage der Entwicklung des Windenergiepotenzials sind die von den Regionalmodellen gelieferten Winddaten zu unsicher und es bedarf für ein Ergebnis der Ermittlung einer Wahrscheinlichkeitsverteilung aus Multi-Rechenläufen (Donat *et al.* 2011).

2 Auswahl, Umsetzung und Dokumentation von Wirkmodellen

2.1 Übersicht der bearbeiteten Wirkmodelle

Eine Übersicht der in FISKA bearbeiteten Klimawirkungen und des Ergebnisses ihrer erfolgreichen oder verhinderten Implementierung als Wirkmodell gibt Tabelle 2.1.1. Zu einem großen Teil wurden die Arbeitsergebnisse in folgenden früher gelieferten Teil-, Zwischen-, oder Schlussberichten bereits dargestellt:

(i)	30.04.2007	Sachstandsbericht
(ii)	15.08.2007	1. Zwischenbericht
(iii)	30.11.2007	2. Zwischenbericht
(iv)	14.04.2008	3. Zwischenbericht
(v)	01.08.2008	4. Zwischenbericht
(vi)	31.10.2008	1. Endbericht Phase 1
(vii)	03.12.2008	5. Zwischenbericht
(viii)	23.02.2009	6. Zwischenbericht, inklusive 1. Teilbericht der Uni Vechta
(ix)	28.05.2009	7. Zwischenbericht
(x)	04.06.2009	2. Teilbericht der Uni Vechta
(xi)	14.10.2009	Abschlussbericht der Uni Vechta
(xii)	09.11.2009	2. Schlussbericht Phase 2

Bereich, Klimawirkung	WM	Berichte	Implementierung
Meteorologische Kenntage (alle Bereiche) <ul style="list-style-type: none"> Regentage Frosttage Eistage heiße Tage Sommertage Tropennächte heitere Tage trübe Tage Länge der Vegetationsperiode Niederschlag in der Vegetationsperiode 	PIK-01		A: implementiert
1. Gesundheit <ul style="list-style-type: none"> Schwüleindikator und Hitzeindex Potenzielle temperaturabhängige Malariainfektion 	PIK-02 VEC-1	2011 +(v)+(xii) 2009(xi)	A: implementiert A: implementiert
2. Bauwesen <ul style="list-style-type: none"> Wärmebelastung in Städten 	PIK-02	2011+(xii)	A: implementiert
3. Wasserhaushalt, Wasserwirtschaft <ul style="list-style-type: none"> Hochwassergefahr 	PIK-03	2009(xii)	C: zurückgestellt
4. Boden <ul style="list-style-type: none"> Wassererosion Bodenfeuchte 	PIK-04 PIK-05	2009(xii) +2008(v) +2009(viii)	B: bedingt möglich C: zurückgestellt

Bereich, Klimawirkung	WM	Berichte	Implementierung
5. Biologische Vielfalt, Naturschutz <ul style="list-style-type: none"> • Phänologie für 3 Baumarten: Buche, Eiche, Birke • Artenverschiebung (Elsbeere) • Pflanzenphänologie • Ökologische Raumgliederung Deutschlands • Austrocknung von Seen • Veränderung der Arten in Gebirgen 	PIK-06 PIK-07 VEC-2 VEC-3 MA MA		A: implementiert B: bedingt möglich A: implementiert A: implementiert nicht machbar nicht machbar
6. Landwirtschaft <ul style="list-style-type: none"> • Pilzlicher Schaderreger: Apfelschorf • Tierischer Schaderreger: Apfelwickler • Thermische Bedingungen im Weinbau • Reifezahl Mais • Weizenertragsänderung 	PIK-08 PIK-09 PIK-10 PIK-11 PIK-12	2009(xii) 2008(vi) 2008(vi) 2011+(v) 2011+(v) 2009(viii)	B: bedingt möglich C: zurückgestellt A: implementiert A: implementiert B: bedingt möglich
7. Wald- und Forstwirtschaft <ul style="list-style-type: none"> • Waldbrandindex nach Käse • Waldbrandindikator nach Bruscek • Anbauindikator für Baumarten: Buche, Kiefer und Fichte 	PIK-13 PIK-14 PIK-15		A: implementiert A: implementiert A: implementiert
8. Fischerei			
9. Energiewirtschaft <ul style="list-style-type: none"> • Fotovoltaikpotenzial • Bioenergiepotenzial • Verfügbarkeit von Kühlwasser • Windausbeutepotenzial 	PIK-16 PIK-20 MA MA		A: implementiert C: zurückgestellt nicht machbar nicht machbar
10. Finanzwirtschaft			
11. Verkehr <ul style="list-style-type: none"> • Unfallhäufigkeit • Niedrigwasserperioden 	PIK-17 MA	2009(xii)	C: zurückgestellt nicht machbar
12. Industrie u. Gewerbe <ul style="list-style-type: none"> • Schneehöhe 	PIK-18	2011+(xii)	A: implementiert
13. Tourismus <ul style="list-style-type: none"> • Tourismusindikator / Badetage • Tourismusindikator / Schneesicherheit 	PIK-19 PIK-18	2009(xii) 2011+(viii) 2011+(viii)	A: implementiert A: implementiert
14. Raum-, Regional- und Bauleitplanung sowie Bevölkerungsschutz <ul style="list-style-type: none"> • Sturmschadenrisiko • Anzahl extremer Wetterereignisse 	PIK-21 MA		C: zurückgestellt nicht machbar

Tab. 2.1.1: Überblick über die Zugehörigkeit der FISKA Wirkmodelle (**WM**) zu verschiedenen Bereichen der Deutschen Anpassungsstrategie zur Anpassung an den Klimawandel, ihre Bearbeitung (frühere Berichte und **aktuelle Überarbeitung in 2011**), Umsetzung, Machbarkeitsanalyse (MA) zur Implementierung (**A**) oder Nichtimplementierung in FISKA (B = bedingt möglich, C = zurückgestellt)

2.2 Kriterien und Konzepte für die Auswahl der Wirkmodelle

Die Wirkmodelle für UBA-FISKA wurden nach den in Kapitel 1.2 angeführten Kriterien ausgewählt:

2.2.1 Gesellschaftliche Relevanz (R)

Die Auswahl orientierte sich an der vom UBA in der Leistungsbeschreibung von 2006 angegebenen Liste und den später in der Deutschen Anpassungsstrategie zur An-

passung an den Klimawandel zusammengestellten Gesichtspunkten. Die ausgewählten Wirkmodelle wurden auf mehreren Sitzungen eines projektbegleitenden Fachbeirats vorgestellt und diskutiert.

2.2.2 Operationelle Umsetzung (O)

Die I/O-Modelle wurden bevorzugt nach möglichst einfachen Algorithmen mit überschaubarem Datenbedarf ausgewählt. Komplexe Modelle, die dynamisch über längere Zeiträume oder räumlich größere Gebiete berechnet werden müssen, lassen sich in den Ansatz von FSKA nicht oder nur eingeschränkt implementieren, hauptsächlich auf Grund des hohen Zeitaufwandes sowohl bei der Modellentwicklung, wie bei der Rechenzeit. In einigen Fällen ist die Analyse auf eine Machbarkeitsgrenze gestoßen (Windausbeutepotenzial, Sturmschadenrisiko, Bioenergiepotenzial, Flusshochwassergefahr, Veränderung der Arten in Gebirgen, Austrocknung von Seen).

Einige komplexere Modelle konnten trotz großen Personaleinsatzes bis zum Abschluss des Berichtes zu FSKA noch nicht abgeschlossen werden, wie z. B. beim statistischen Modell der Weizenertragsänderung und dem Sturzflutrisiko.

2.2.3 Wissenschaftliche Behandlung (W)

Ein vorrangiger Aspekt beim Aufbau von FSKA ist die Verfügbarkeit relevanter und abgesicherter Informationen zu Wirkmodellen und der dazu benötigten Daten. Mehrere ausgewählte Modellansätze basieren auf allgemein akzeptierten Publikationen bzw. auf am PIK entstandene Dissertationen und Publikationen:

- Austrieb der drei Baumarten Buche, Eiche und Birke (PIK-06),
- Thermische Bedingungen im Weinbau / Huglin-Index (PIK-10),
- Waldbrandindex nach Käse (PIK-13),
- Waldbrandindikator nach Bruscek (PIK-14),
- Tourismus: Potenzielle Badetage (PIK-19).

Dabei wurden sie in der Regel bereits mit anderen Modellansätzen in ihrer Güte verglichen und validiert. Alle Quellen sind in Steckbriefen aufgelistet, zitiert und nach Verfügbarkeit zu den Web-Quellen verlinkt.

Die genannten, für FSKA modellierten und implementierten Wirkmodelle liefern gute und z. T. neue Ergebnisse, wie z. B. zur Schneesicherheit.

Für eine Reihe von Klimawirkungen aus der mit dem UBA abgestimmten Umsetzungsliste (Tabelle 2.1.1) wurde nach einfach umsetzbaren Algorithmen und verfügbaren Daten gesucht, entweder vergeblich oder mit Hilfskonstruktionen, deren Ergebnisse aber teilweise mit Vorsicht zu behandeln sind, z. B. Artenverschiebung.

2.3 In FISKA verwendete Daten

2.3.1 Verwendete Klimadaten

Die in FISKA verwendeten Klimadaten, welche allen Wirkmodellen zur Verfügung gestellt werden können, enthalten (nicht immer vollständig) die in Tab 2.3.1. aufgeführten Elemente. Evtl. Fehlwerte sollen durch den Wert -999.0 gekennzeichnet werden.

Variable	Element	Einheit
ta	Tag	
mo	Monat	
jahr	Jahr	
TX	Tagesmaximum der Temperatur	°C
TM	Tagesmittel der Temperatur	°C
TN	Tagesminimum der Temperatur	°C
RR	Tagessumme des Niederschlages	mm
RF	Tagesmittel der relativen Feuchte	%
PP	Tagesmittel des Luftdrucks	hPa
DD	Tagesmittel des Dampfdrucks	hPa
SD	Tagessumme der Sonnenscheindauer	h
NN	Tagesmittel des Bedeckungsgrades	octas
FF	Tagesmittel der Windgeschwindigkeit	m/s

Tab. 2.3.1: Elemente der Klimadaten bzw. Klimaszenarien

2.3.1.1 DWD-Beobachtungsdaten des DWD

Bereitgestellt wurden in diesem Pool Beobachtungsdaten des Deutschen Wetterdienstes.

Überspannter Zeitraum: 1971 — 2000

Realisierungen: 1 (Beobachtungen)

Szenarien: Realität

Die ersten 6 Records einer Klimadatei (DWD):

ta	mo	jahr	TX	TM	TN	RR	RF	PP	DD	SD	NN	FF
1	1	1961	0.6	-3.2	-6.5	0.0	81.0	1017.9	4.0	6.4	0.9	3.9
2	1	1961	1.3	-3.0	-6.0	0.0	79.0	1014.0	4.3	7.2	2.4	3.7
3	1	1961	-0.5	-1.5	-6.0	0.0	92.0	1011.0	5.2	0.0	7.9	2.9
4	1	1961	3.2	1.6	-0.4	2.1	86.0	1003.2	6.0	0.0	7.9	6.4
5	1	1961	1.7	1.0	-4.2	2.1	100.0	1015.4	6.9	0.0	8.0	2.2

Tab. 2.3.2: Inhalt der Klimadateien des DWD (Beispiel)

2.3.1.2 Datensätze des statischen regionales Klimamodells WETTREG

In einem zweiten Pool standen Ergebnisse des statischen regionalen Klimamodells WETTREG der Firma CEC Potsdam GmbH zur Verfügung.

Überspannter Zeitraum: 1961 — 2100

Realisierungen: 20

Szenarien: A1B, A2, B1

Die ersten 6 Records einer Klimadatei (WETTREG):

ta.mo.jahr	TX	TM	TN	RR	RF	PP	DD	SD	NN	FF	ET	GS
01.01.1961	-0.6	-3.7	-7.0	0.0	88.5	1017.7	3.9	6.5	3.4	3.2	0.0	61.0
02.01.1961	-1.3	-3.7	-5.2	0.0	85.4	1005.7	4.0	1.7	4.0	3.2	0.2	30.5
03.01.1961	-3.2	-6.7	-9.0	0.0	88.5	995.4	3.0	2.6	4.0	5.4	0.2	36.2
04.01.1961	-2.7	-5.3	-9.3	0.0	90.5	997.5	3.5	1.0	3.2	5.2	0.2	26.1
05.01.1961	0.0	-1.0	-4.5	20.7	96.9	988.4	5.7	0.0	7.9	8.8	0.1	19.7

Tab. 2.3.3: Inhalt der Klimadateien des Regionalmodells WETTREG (Beispiel)

2.3.1.3 Datensätze des Klimamodells REMO

Das regionale Klimamodell REMO ist eine Entwicklung des Max-Planck-Instituts für Meteorologie Hamburg.

Überspannter Zeitraum: 1951 -- 2100

Realisierungen: 1

Szenarien: A1B, A2, B1

Die ersten 6 Records einer Klimadatei (REMO):

ta mojahr	TX	TM	TN	RR	RF	PP	DD	SD	NN	FF	ET	GS
1. 1.1951	2.0	0.6	0.2	0.1	97.8	962.7	6.2	-29.9	3.7	4.4	1.6	-999.0 -999.0
2. 1.1951	4.4	2.2	0.2	0.3	97.1	962.3	6.9	-31.5	6.9	4.2	2.0	-999.0 -999.0
3. 1.1951	8.3	5.4	0.2	8.9	98.6	957.1	8.8	-4.6	7.7	6.1	14.8	-999.0 -999.0
4. 1.1951	6.2	2.5	1.0	0.0	91.7	958.7	6.7	-35.6	4.0	7.1	5.6	-999.0 -999.0
5. 1.1951	2.3	1.3	0.6	2.4	97.1	946.9	6.5	-6.6	7.2	6.1	6.0	-999.0 -999.0

Tab. 2.3.4: Inhalt der Klimadateien des Regionalmodells REMO (Beispiel)

2.3.1.4 Datenverfügbarkeit

Während der Überarbeitung der Rechenkerne des FISKA in der Phase 3 wurden im Ergebnis nicht plausibler Resultate einige Analysen zur Vollständigkeit und Richtigkeit der bereitgestellten Datensätze durchgeführt. Dabei trat Folgendes zu Tage:

- Bei den Beobachtungsdaten des DWD sind die Werte für die Sonnenscheindauer regional stark lückenhaft. Die vorhandenen Fehlwerte sind ordnungsgemäß mit -999.0 gekennzeichnet.
- Aus dem REMO-Datensatz werden innerhalb FISKA bei den Berechnungen nicht die Angaben zur Sonnenscheindauer zu Verfügung gestellt, sondern ein Wert der Strahlungsbilanz. Diese Werte sind innerhalb der Wirkmodelle nur deshalb erkennbar, weil sie teilweise außerhalb des natürlichen Bereiches der täglichen Sonnenscheindauer [0h...24h] liegen. Sie sind dabei nicht als Fehlwerte [-999.0] zu erkennen.

Einen Überblick über die Datenverfügbarkeit gibt Tabelle 2.3.5. Damit wird die Anwendbarkeit der Wirkmodelle für die betroffenen Klimadatenätze ggf. eingeschränkt bzw. unmöglich. Die Verfahrensweise des PIK hierzu wird im Abschnitt 2.4 näher erläutert. Dabei werden Programmentwicklern und potenziellen Nutzern in den entsprechenden Kapiteln der Wirkmodellbeschreibungen (Kap. 3.1 bis 3.11) bzw. den Steckbriefen mögliche Probleme signalisiert.

Meteorologische Größe	Einheit	DWD	WETTREG	REMO
Tagesminimum der Lufttemperatur	°C	●	●	●
Tagesmaximum der Lufttemperatur	°C	●	●	●
Tagesmittel der Lufttemperatur	°C	●	●	●
Tagesmittel des Bedeckungsgrads	octas	●	●	●
Tagessumme des Niederschlags	mm	●	●	●
Tagesmittel der relativen Feuchte	%	●	●	●
Tagesmittel der Windgeschwindigkeit	m/s	●	●	●
Tagesmittel des Luftdrucks	hPa	●	●	●
Tagesmittel des Dampfdrucks	hPa	●	●	●
Tagessumme der Sonnenscheindauer	h	●	●	●

Tab. 2.3.5: Verfügbarkeit meteorologischer Größen in FISKA

(● = im Datensatz vorhanden, ● = unvollständig, ● = fehlend)

2.3.1.5 Verwendungsmerkmale und Nutzungsmöglichkeiten der Klimaszenarien

Wichtige Merkmale und Möglichkeiten der Nutzung von Klimaszenarien in FISKA seien hier kurz aufgezählt:

- Es können **mehrere Einzelberechnungen** zu jedem Wirkmodell (z. B. zur Gegenüberstellung unterschiedlicher Zeiträume, Modelle, Szenarien, etc.) durchgeführt werden.
- Der Klimadatenbestand des FISKA ist erweiterbar (z. B. STAR, CLM).
- Die in FISKA verwendeten Klimaszenarien (Zukunft) basieren auf dem Antrieb des globalen Zirkulationsmodells ECHAM 5/MPI-OM T63L31, Lauf 1.
- Die Eingangsdaten entstammen GCM-Läufen auf der Basis unterschiedlicher Emissionen von Treibhausgasen (IPCC-Szenarios, z. B. A1B, A2 und B1).
- Die 20 bei WETTREG zur Verfügung stehenden „Realisierungen“ sind mögliche alternative Zustände des kommenden Klimas, jede einzelne Realisierung steht für sich und stellt einen Spezialfall dar. Bildet man Mittel über diese Realisierungen so werden extreme Zustände verwischt, betrachtet man einzelne Realisierungen, so wird nur ein wahrscheinliches Klima abgebildet.
- Durch die Interpolation der Klimadaten zwischen den Klimastationen werden die Ergebnisse über den Raum ebenfalls gemittelt dargestellt.
- Es empfiehlt sich bei der Betrachtung der Wirkmodelle, Zeiträume zu mitteln, da nur so der Zustand des Klimas repräsentiert wird. Bei dem Vergleich von verschiedenen Zeiträumen sollten deren Dauer und Anzahl verwendeter Realisierungen gleich sein.

2.3.2 Validierung der Klimaszenarien

In FISKA werden Klimaszenarien für Deutschland aus Berechnungen der Modelle WETTREG und REMO eingesetzt. Für WETTREG liegen 20, für REMO eine Reali-

sierung vor. Verschiedene Realisierungen des zukünftigen Regionalklimas sind im Prinzip mögliche alternative Zukunftspfade unterschiedlicher, aber unbekannter Wahrscheinlichkeiten und unterschiedlichen Wirkungen. Daneben gibt es in Deutschland als weiteres statistisches Modell STAR (PIK Potsdam) sowie als weiteres dynamisches Modell CLM. Letzteres ist eine Gemeinschaftsentwicklung verschiedener Institutionen (vgl. Helmholtz-Zentrum Geesthacht, [CLM-Community](#)).

Mit zwei verschiedenen Methoden wurden Validierungen aller vier Klimamodelle beim DWD und am PIK durchgeführt. Beim DWD wurde untersucht, welche Unterschiede die Ergebnisse der regionalen Klimaszenarien im Vergleich zueinander zeigen. Dies wurde in der im Dezember 2008 vorgestellten Deutschen Anpassungsstrategie (Deutscher Bundestag 2008) an den Klimawandel vorgestellt. Neben der Abhängigkeit vom gewählten Emissionsszenario unterscheiden sich die Resultate der regionalen Klimamodelle deutlich. Betrachtet man die räumliche Verteilung der Erwärmung beispielhaft für ein mittleres Emissionsszenario A1B, so stimmen die dynamischen Klimamodelle REMO und CLM sowie das statistische Modell STAR hinsichtlich der Struktur einer sich nach Süden verstärkenden Erwärmung weitgehend überein. Das statistische Modell STAR regionalisiert dabei anhand der Vorgabe des Temperaturtrends des globalen Klimamodells und es ergibt sich für den Zeitraum 2021-2050 eine Erwärmung um 2 K. Demgegenüber weisen die dynamischen Klimamodelle mit Erwärmungen um 1 K für diesen Zeitraum nur etwa halb so hohe Werte aus. Das statistische Modell WETTREG zeigt für den Zeitraum 2021-2050 eine sich eher von Osten nach Westen verstärkende Erwärmung mit Werten um 0,5 K auf. Dieses Modell projiziert auch für den Zeitraum 2071-2100 mit Werten um 2 K die vergleichsweise geringste Erwärmung, während die dynamischen Klimamodelle REMO und CLM für diesen Zeitraum Erwärmungen um bis zu 3,5 K, in den deutschen Alpenregionen auch leicht darüber, erwarten lassen. Hinsichtlich der von der Erwärmung am stärksten betroffenen Jahreszeit sind sich hingegen alle Modelle einig: Diese wird besonders im Winter zu spüren sein.

Für die Auswirkungen des Klimawandels sind besonders auch Menge und Verteilung der Niederschläge maßgeblich. Zwar bleiben die Mengen in Deutschland auf das Jahr gerechnet annähernd konstant, doch muss mit einer Verschiebung des Niederschlagszyklus und der regionalen Verteilung gerechnet werden. So lassen die Ergebnisse aller vier Modelle schließen, dass die Niederschläge im Sommer bundesweit um bis zu 40% abnehmen könnten, wobei der Südwesten Deutschlands erneut besonders stark betroffen sein könnte. Die Ergebnisse der statistischen Modelle deuten auch für den Osten Deutschlands auf abnehmende Niederschläge im Sommer hin. Im Winter dagegen könnten die Niederschlagsmengen abhängig vom Modell um 0% bis 40% zunehmen. Das statistische WETTREG-Verfahren zeigt in den Mittelgebirgsregionen der Bundesländer Rheinland-Pfalz, Hessen sowie den nordöstlichen Landesteilen Bayerns sogar Gebiete, in denen die Winterniederschläge für den Zeitraum 2071-2100 um bis zu 70% gegenüber dem Kontrollzeitraum 1961-1990 ansteigen könnten. Die dynamischen Klimamodelle CLM und REMO deuten zudem auf einen zusätzlichen Anstieg der Niederschlagsmengen im Frühjahr hin, der aber geringer ausfällt als in den Wintermonaten.

Aus dem vom DWD durchgeführten Vergleich von WETTREG und REMO deutet sich an, dass sich Extremereignisse künftig im Ausmaß steigern und häufiger werden könnten. Beispielsweise könnten sich die Anzahl von Sommertagen ($T_{\max} > 25^{\circ}\text{C}$) bis zum Ende des Jahrhunderts verdoppeln, die Anzahl von heißen Tagen ($T_{\max} > 30^{\circ}\text{C}$) sogar verdreifachen. Erste Analysen lassen erwarten, dass auch die Intensität von Starkniederschlägen ansteigen kann. Auf der Basis dieser ersten Be-

trachtungen lassen sich, was die Entwicklung bei Windgeschwindigkeiten und Häufigkeiten von Sturmtagen betrifft, keine Unterschiede zu heutigen Verhältnissen feststellen. Hier sind noch weitere Untersuchungen erforderlich.

Am PIK wurde darüber hinaus untersucht, wie gut die Berechnungen für die vergangenen Jahrzehnte mit den Beobachtungsdaten übereinstimmen. Eine umfangreiche statistische Evaluierung der verschiedenen Modellergebnisse im Zeitraum 1976–2000 im Vergleich zu Beobachtungsdaten zeigt noch sehr große Unsicherheiten bis Unstimmigkeiten vor allem bei den dynamischen Modellen. Als hydrostatisches Modell sollte REMO zudem allenfalls bis zu einer Auflösung von 10 km eingesetzt werden, um die Fehler zu begrenzen. Demgegenüber schneiden die beiden statistischen Modelle im Vergleich Simulation/Beobachtung besser ab (Kücken *et al.* 2008). Bei vielen für die Auswirkungen von Extremereignissen wesentlichen Klimaparametern, wie z. B. bei der schon angesprochenen Entwicklung bei Windgeschwindigkeiten und Häufigkeiten von Sturmtagen ist der Bezug der Simulationsergebnisse zur Realität bei allen Modellen zweifelhaft. Bei der statistischen Validierung der regionalen Klimamodelle am PIK hatten diese unterschiedliche Vorgaben für den Validierungszeitraum. Während CLM, REMO und WETTREG durch einen Lauf eines GCMs (ECHAM5) angetrieben wurden, wurde bei STAR die beobachtete Temperaturentwicklung vorgegeben. Da der verwendete Lauf von ECHAM5 bei der Temperatur im Validierungszeitraum deutlich vom beobachteten Verlauf abweicht, wurde dieser Fehler von CLM, REMO und WETTREG übernommen, die schon dadurch gegenüber STAR im Nachteil waren. Es ist vorgesehen, die Validierung für alle Modelle mit den gleichen Vorgaben vorzunehmen.

2.3.3 Geodaten

Geodaten, neben den Geobasisdaten werden vor allem Geofachdaten in FISKA implementiert, die für Berechnungen innerhalb des FISKA genutzt werden sollen, können prinzipiell sowohl als **Rasterdaten** als auch als **Vektordaten** bereitgestellt werden. Eine Übersicht der für FISKA bereit gestellten Geofachdaten gibt Tabelle 2.3.6. Die Geofachdaten Corine Landcover, DGM250, Verwaltungseinheiten und BÜK 1000 sind beschafft worden und im FISKA eingearbeitet. Eine Hangneigungskarte wurde aus den Daten des DGM250 erzeugt und eingepflegt. Der Geodaten-Layer zu Großstädten Deutschlands wurde aus ESRI- und CORINE-Daten erzeugt und ebenfalls eingebunden. Die Shape-Datei CurveNumber zur Nutzung im Rechenkern für das Wirkmodell lokale Hochwassergefahr wurde mit den Daten aus der BÜK1000 realisiert (vgl. Kapitel 5.1). Die Berechnung von landnutzungsspezifischen Wirkmodellen erfolgt grundsätzlich über die gesamte Fläche Deutschlands, auch wenn die entsprechende Landnutzung dort nicht auftritt. Durch das anschließende Verschneiden in ArcGIS kann der Anwender selbst entscheiden, welche Landnutzungsklassen bei der Darstellung berücksichtigt werden. Die im FISKA mehrfach verwendete Bodenübersichtskarte (BÜK) im Maßstab 1:1.000.000 wird vom Herausgeber BGR mit einer Lagegenauigkeit von ± 1.000 m beschrieben. Der Geofachdatensatz Corine Landcover beschreibt keine Flächeneinheiten kleiner als 500 m x 500 m. Bei der Wahl des Berechnungsrasters ist der Auflösung des größten Datensatzes, der vom Anwender oder vom Wirkmodell genutzt wird, Rechnung zu tragen. Diese Auflösung sollte in der Regel nicht unterschritten werden. Auch bei der Interpretation der Ergebniskarten sind die Auflösungen der Datensätze und mögliche Wechselwirkungen zu berücksichtigen.

Nr.	Geofachdaten	Verwendung
1	CORINE Land Cover 2000	Schablone („Maske“) für Verschneidungen
2	Digitales Höhenmodell Deutschland (DGM250)	Input-Daten für Rechnungen im Rechenkern
3	Bodenübersichtskarte (BÜK1000)	Input-Daten für Rechnungen im Rechenkern
4	Verwaltungsgrenzen (Land-, Kreis-, Gemeinde) (VG250)	Schablone („Maske“) für Verschneidungen, als Hintergrundkarte, als Input-Daten für Rechnungen im Rechenkern
5	Hangneigung (erzeugt aus DGM250)	Input-Daten für Rechnungen im Rechenkern
6	Großstädte Deutschlands (PIK)	Input-Daten für Rechnungen im Rechenkern
7	CurveNumber (PIK, erzeugt aus BÜK1000)	Input-Daten für Rechnungen im Rechenkern

Tab. 2.3.6: Geofachdaten-Übersicht

Ein eigenständiger Datensatz zur naturräumlichen Gliederung Deutschlands ist an dieser Stelle nicht notwendig. Mit der Entwicklung und Implementierung des Rechenkerns zur Integration der Ökologischen Raumgliederung Deutschlands durch die Hochschule Vechta sollte eine entsprechende Informationsbasis zur Verfügung stehen (vgl. Holy *et al.* 2009).

Geofachdatensatz

1. CORINE Land Cover 2000 - Bodenbedeckungsdaten für Deutschland

Das europaweite Projekt CORINE Land Cover (CLC) hat die Bereitstellung von einheitlichen und damit vergleichbaren Daten der Bodenbedeckung für Europa zum Ziel. Es ist Teil des Programms CORINE (Coordination of Information on the Environment) der Europäischen Union. Die Kartierung der Bodenbedeckung und Landnutzung wurde europaweit auf der Basis von Satellitendaten im Maßstab 1:100.000 durchgeführt. Der Erfassung (CLC1990) liegen 13 Hauptklassen zugrunde, die je nach Nutzungsart (v. a. für die Landwirtschaft) weiter unterteilt werden und insgesamt 44 Landnutzungsklassen umfasst, von denen 37 Klassen in Deutschland relevant sind.

Im Rahmen von CORINE Land Cover 2000 (CLC2000) erfolgte die Aktualisierung des Datenbestandes zum Bezugsjahr 2000 und die Kartierung der Veränderungen gegenüber der Ersterfassung. Das Projekt CLC2000 und damit die flächendeckende Kartierung von Deutschland wurden im Auftrag des Umweltbundesamtes (UBA) vom Deutschen Fernerkundungsdatenzentrum (DFD) des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) geleitet. Damit steht eine verlässliche, objektive und vergleichbare Informationsgrundlage zur Beschreibung der aktuellen Situation um 2000 zur Verfügung.

Der Vektordatensatz CORINE Land Cover 2000 beinhaltet folgende Datenebenen:

- CORINE Land Cover 2000 (CLC2000),
- CORINE Land Cover 1990 korrigiert (rev_CLC1990),

- Veränderungen zwischen 1990 und 2000 (CLC_Changes).

Die Vektordaten stehen für das gesamte Gebiet von Deutschland sowie für die einzelnen Bundesländer in Einheiten der betroffenen topographischen Karten TK100 zur Verfügung und liegen im ArcInfo-Austauschformat e00 vor.

Mittlerweile wurde eine Aktualisierung von CORINE Land Cover mit dem Referenzjahr 2006 vorgenommen. Das Projekt CLC2006 für Deutschland wurde wiederum durch das Deutsche Fernerkundungsdatenzentrum im Auftrag des Umweltbundesamtes durchgeführt. Die Aktualisierung CORINE Land Cover 2006 für Deutschland ist seit Februar 2010 verfügbar. (Angaben nach: DLR, [CORINE Land Cover 2000](#))

2. Digitales Höhenmodell Deutschland (DGM250)

Das Digitale Geländemodell 1:250.000 (DGM250) des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie beschreibt die Geländeformen der Erdoberfläche durch eine in einem regelmäßigen Gitter angeordnete, in Lage und Höhe georeferenzierte Punktmenge. Die Gitterweite beträgt bei diesem Modell 200 m x 200 m. Der Datenbestand ist durch Resampling des DGM50 M745 mit einer Maschenweite von 200 m entstanden und hat eine Höhenauflösung von 1 m. Die Genauigkeit ergibt sich zu ± 26 m (Lage), bzw. ± 20 m (Höhe), der Aktualisierungsstand ist 1985 bis 1990 (entsprechend Quelldatenbestand). Das DGM250 liegt für die Gauß-Krüger-Abbildung im 3. Meridianstreifen (Bessel-Ellipsoid, Potsdam-Datum, Höhensystem Normal Null) im ArcInfo-Austauschformat e00 vor. (Angaben nach: BKG, [DGM250](#))

3. Bodenübersichtskarte (BÜK1000)

Nutzungsdifferenzierte Bodenübersichtskarte der Bundesrepublik Deutschland im Maßstab 1:1.000.000 (BÜK 1000 N2.3), BGR, Hannover, Stand 2007

Die BÜK 1000 N in der Version 2.3 stellt bundesweit die Verbreitung der Böden und deren Vergesellschaftung in einheitlicher Form auf dem Aggregierungsniveau der Leitbodenassoziationen und der generalisierten und angepassten Landnutzungs-klassen aus CORINE Land Cover 1990 dar.

Im Detail liegen die nachfolgenden Bodendaten als ArcGIS Geodatabase vor. Bei den Graphikdaten werden die Kartenpolygone gekennzeichnet durch

- Klimagebiete der Europäischen Bodenregionenkarte (Stand 1998),
- Bodengroßlandschaften (BÜK200, Stand 2003),
- Bodenkundliche Legendeneinheiten der Bodenkarte BÜK1000 1.0 (2005 aktualisiert),
- Landnutzungsklassen (CORINE Land Cover 1990, generalisiert).

Die Gesamtlegende umfasst 69 bodenkundliche Legendeneinheiten (mit Angaben zu Gründigkeit, Bodenarten, Wasserverhältnissen, Ausgangsgestein, Leit- und Begleitböden), geordnet nach Bodenverbreitungsgebieten, Teillegenden „Acker“, „Grünland“ und „Wald“: jeweils untergliedert nach Klimagebieten, (mit Angaben zu Ausgangsgestein, Leit- und Begleitböden).

Die flächenbezogenen Inhaltsdaten setzen sich aus 78 Wald-Referenzprofilen mit je 3 auf Bodenformen und 23 auf Horizonte bezogene Parameter, 78 Acker-Referenzprofile sowie 56 Grünland-Referenzprofile mit je 3 auf Bodenformen und 16 auf Horizonte bezogenen Parametern zusammen und sind als Sachdaten abgelegt. Die Version 2.3 basiert auf den topographischen Grundlagen der digitalen topographischen

Karte 1:1.000.000 (DTK1000-V) des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie, welche von der GBR in Teilen modifiziert wurde. (Angaben nach: BGR, [BÜK1000](#))

4. Verwaltungsgrenzen (Land-, Kreis-, Gemeinde) VG250

Der Datenbestand Verwaltungsgebiete 1:250.000 (VG250) des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie umfasst sämtliche Verwaltungseinheiten aller hierarchischen Verwaltungsebenen vom Staat bis zu den Gemeinden (NUTS 5 Level) mit:

- ihren Verwaltungsgrenzen
- den statistischen Schlüsselzahlen und dem Namen der Verwaltungseinheit
- der spezifischen Bezeichnung der Verwaltungsebene des jeweiligen Bundeslandes

(Angaben nach: BKG, [VG250](#))

5. Hangneigung

Die Hangneigung wurde direkt aus der DGM250 mit den Werkzeugen von ArcGIS erzeugt.

6. Großstädte Deutschlands

Die Identifizierung großer Stadtgebiete erfolgte auf der Grundlage der Layer „urban“ und „city“ des ESRI Data&Maps (ArcGIS 9.0, 2004) Datensatzes. Allen Siedlungsgebieten (urban), die zu Städten mit mehr als 50.000 Einwohnern gehören, wurde der Name der Stadt und die Einwohnerzahl (city) zugeordnet. Es ergaben sich 161 Stadtgebiete.

7. CurveNumber

Die CN-Werte für Deutschland beschreiben die regional differenzierte Sensitivität für lokale Starkniederschlagsfluten. Die Ableitung und Anwendung wird in Kapitel 5.1 detailliert beschrieben.

Alle oben beschriebenen Geofachdatensätze wurden zunächst manuell durch GICON in die zentrale Datenbank des Fachinformationssystems FISKA unter dem Datenbankmanagementsystem DBMS Oracle 10g R2 eingepflegt und werden als so genannte Spatial-Parameter im FISKA verwaltet, die sowohl zur Einschränkung des Betrachtungsraumes als auch als Eingangsparameter für die Rechenkerne (Plug-Ins) verwendet werden können.

In FISKA wurde ein Funktionsbaustein zur Generierung von Spatial-Parametern aus Geofachdaten erstellt. Unterstützt durch diesen Funktionsbaustein kann der FISKA-Nutzer selbst die Integration der gewünschten Geofachdaten vornehmen und Daten in das System einpflegen. Die Vorgehensweise bei der Integration wird im 2. Endbericht detailliert ausgeführt.

2.4 Dokumentation der Wirkmodelle, Ergebnisse und Steckbriefe

2.4.1 Wirkmodelle

2.4.1.1 Implementierte Wirkmodelle (Klasse A)

Diese Wirkmodelle werden durch das PIK per 01.01.2012 für die Nutzung freigegeben. Sie werden im vorliegenden Bericht in standardisierter Form dokumentiert. Soweit die Erarbeitung der Wirkmodelle originär innerhalb von FISKA erfolgte, werden die Quelltexte ebenfalls übergeben. Diese Module sind mit einem hochgestellten Index ^F gekennzeichnet. Mit dem vorliegenden Bericht umfasst die Klasse A folgende Wirkmodelle

- PIK-01^F: Jahresmittelwerte / Meteorologische Kenntage
- PIK-02^F: Schwüleindikator und Hitzeindex
- PIK-06: Austrieb der drei Baumarten Buche, Eiche und Birke
- PIK-10: Thermische Bedingungen im Weinbau / Huglin-Index
- PIK-11^F: Reifezahl für die Maissortenwahl
- PIK-13: Waldbrandindex nach Käse
- PIK-14: Waldbrandindikator nach Bruscek
- PIK-15: Anbauindikator für die Baumarten Buche, Fichte und Kiefer
- PIK-16^F: Fotovoltaikpotenzial
- PIK-18: Tourismus: Schneehöhe / Schneesicherheit
- PIK-19: Tourismus: Potenzielle Badetage

Durch das PIK erfolgt die Übergabe der Wirkmodelle als Module an das UBA im Format

dynamic link library (*.dll)

Als Compiler wurde die Compaq Visual Fortran Standard Edition 6.6 (©2000 CompaqComputer Cooperation) verwendet.

Eingabedaten

Dieser Teil der Dokumentation wurde allen Beschreibungen vorangestellt, um vor der detaillierten Beschreibung die Nutzbarkeit der Wirkmodelle für die verschiedenen in FISKA verwendbaren Klimaszenarienmodelle auszuweisen. Der Stand der Klimadatensätze entspricht den durch das UBA zur Verfügung gestellten Daten, soweit sie den Bearbeitern per 30.11.2009 (und unverändert ab 15.04.2011) vorlagen. Die im Wirkmodell benutzten meteorologischen Eingabedaten werden dazu in tabellarischer Form angegeben. Die Verfügbarkeit bei Nutzung verschiedener Klimaszenarienmodelle wird durch die Einträge grün, gelb und rot signalisiert (● = im Datensatz vorhanden, ● = unvollständig, ● = fehlend). Das angegebene Minimum wurde aus der Rangfolge (● > ● > ●) über alle Datenelemente gebildet.

Meteorologische Größe	Einheit	DWD	WETTREG	REMO
<i>Variablenbezeichnung</i>	<i>Einheit</i>	●	●	●
Minimum der Menge aller Daten	Einheit	●	●	●

Tab. 2.4.1: Verwendete meteorologische Größen in den Wirkmodellen PIK-xx und Verfügbarkeit in FISKA (● = im Datensatz vorhanden, ● = unvollständig, ● = fehlend)

Bei dem Überblick zur Datenverfügbarkeit für alle in der Klasse A implementierten Wirkmodelle zeigen sich für insgesamt 4 Modelle unzureichende bzw. fehlende (fehlerhafte) Daten (Tab. 2.4.2). Daraus ergibt sich, dass nur die WETTREG-Datensätze für alle Wirkmodelle ohne formale Einschränkungen nutzbar sind. Die DWD-Datensätze zeigen bei der Globalstrahlung räumliche bzw. zeitliche Lücken, die eine flächendeckende Anwendung verhindern. Für REMO-Datensätze sind einige Wirkmodelle (PIK-16, PIK-18, PIK-19) bzw. Teilvariablen (PIK-01) generell innerhalb FISKA nicht berechenbar.

Wirkmodell	DWD	WETTREG	REMO
PIK-01-Mittelwerte / Kenntage	●	●	●
PIK-02-Schwüle / Hitze	●	●	●
PIK-06-Austrieb drei Baumarten	●	●	●
PIK-10-Weinbau / Huglin-Index	●	●	●
PIK-11-Mais-Reifezahl	●	●	●
PIK-13-Waldbrand Käse	●	●	●
PIK-14-Waldbrand Brushek	●	●	●
PIK-15-Waldbauindikator	●	●	●
PIK-16-Fotovoltaikpotenzial	●	●	●
PIK-18-Schneetage	●	●	●
PIK-19-Badetage	●	●	●

Tab. 2.4.2: Minimum der Verfügbarkeit der meteorologische Größen in den implementierten Wirkmodellen PIK-xx der Klasse A innerhalb von FISKA

(● = im Datensatz vorhanden, ● = unvollständig, ● = fehlend)

Auswahl, Beschreibung bzw. Definition des Wirkmodells

Hier wird bei bereits in der Literatur publizierten Wirkmodellen die Definition des Wirkmodells angegeben. Soweit eine erstmalige Erarbeitung eines solchen Modells innerhalb von FISKA erfolgte bzw. eine weitgehende Modifikation existierender und referierbarer Lösungen erfolgte, ist eine ausführliche Beschreibung des Wirkmodells angefügt.

Validierung / Verifikation (nur falls möglich/notwendig)

In diesen Teilabschnitten werden Angaben zur (nicht immer zwingend in FISKA erfolgten) Modellvalidierung gemacht, soweit diese bereits vorhanden waren oder im Rahmen der Arbeiten zu FISKA erfolgte. Reine nur durch nicht algorithmische Verfahren definierte Kennzahlen (wie z. B. meteorologische Kenngrößen) entziehen sich naturgemäß einer Validierung. Für einige einfache abgeleitete Kenngrößen (z. B. Huglin-Index) ließen sich die berechneten Ergebnisse an Hand der realen Verteilungen jedoch ggf. verifizieren.

Interpretationshilfen

Für die weitere Nutzung und Auswertung werden in diesen Abschnitten Hinweise und Hilfen für die Auswertung und Interpretation der einzelnen Wirkmodelle gegeben.

Ergänzungen / Einschränkungen

Bereits bekannte bzw. im Rahmen der Bearbeitung erkannte Einschränkungen und Probleme werden angegeben und eingeschätzt. Diese Einschätzungen werden durch die Bearbeiter als wichtige Hinweise für die Nutzung der Ergebnisse verstanden. Insbesondere sollen diese Hinweise vor zu weitgehenden Interpretationen von Ergebnissen dienen.

Verbesserungsmöglichkeiten

Soweit sich im Rahmen der Bearbeitung Möglichkeiten für weitere Verbesserungen zeigten, werden diese hier aufgeführt und soweit möglich bezüglich Aufwand und möglichem Nutzeffekt vorab bewertet. Bei existierenden weiterführenden Ergebnissen werden diese angegeben und einer Bewertung unterzogen. Abhängig vom erreichten Kenntnis- und Bearbeitungsstand der existierenden Lösungen eine mögliche weitere Bearbeitung empfohlen oder nicht (z. B. PIK-10 Huglin-Index).

2.4.1.2 Zur Überarbeitung geeignete Wirkmodelle (Klasse B)

Diese Wirkmodelle sind durch das PIK bis auf weiteres nicht zur Nutzung freigegeben. Für diese Wirkmodelle erfolgt eine kurze Dokumentation des Bearbeitungsstandes per 30.11.2011. Dies wird durch Informationen zur weiteren Bearbeitung ergänzt. Diese Wirkmodelle sind mit zusätzlichem Aufwand innerhalb überschaubarer Fristen am PIK bis zu einer Freigabe implementierbar. Eine durchgängige Standardisierung der Dokumentation dieser Teile erweist sich vor Abschluss der noch notwendigen Arbeiten als nicht effizient. Es sind jedoch mindestens:

- Arbeitsstand
- Mängel, bzw. noch zu leistende Arbeiten

enthalten. Die Klasse B umfasst folgende Wirkmodelle

PIK-04^F: Wassererosion in der Landwirtschaft

PIK-07^F: Änderung der Artenverbreitung / Beispiel Elsbeere

PIK-08: Pilzlicher Schaderreger im Obstbau: Apfelschorf

PIK-12: Weizen- und Maisertragsänderung

2.4.1.3 Unbefristet zurückgestellte Wirkmodelle (Klasse C)

Diese Wirkmodelle werden vom PIK auf absehbare Zeit nicht freigegeben bzw. weiter bearbeitet. Im Wesentlichen kommen hier drei Begründungen zum Tragen:

- unzureichende Umsetzungsmöglichkeiten des wissenschaftlichen Bearbeitungsstandes im Rahmen von FISKA,
- unzureichende Datenbasis,
- unvertretbar hoher Bearbeitungsaufwand.

Die Dokumentation beinhaltet neben der Begründung den bis zum Abbruch erreichten Arbeitsstand, soweit eine der drei o. g. Begründungen erst im Laufe der Bearbeitung bzw. Revision festgestellt wurde. Die Klasse C umfasst folgende Module:

PIK-03: Lokale Hochwassergefahr,

PIK-05^F: Potenzielle Bodenfeuchte,

PIK-09: Tierischer Schaderreger im Obstbau: Apfelwickler,

PIK-17: Unfallhäufigkeit,

PIK-20: Bioenergiepotenzial,

PIK-21: Sturmschadenrisiko.

2.4.2 Ergebnisdarstellung

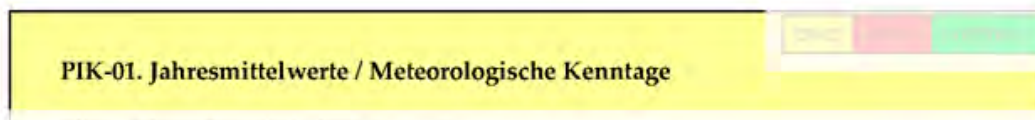
Da im Rahmen des bearbeiteten Projektes der Schwerpunkt in der Bereitstellung von Wirkmodellen für FISKA bestand, erfolgt mit der Darstellung von Ergebniskarten nur der Nachweis der prinzipiellen Funktionsfähigkeit der Module im Rahmen der Umgebung von FISKA. Soweit sich aus den am PIK bei den Testrechnungen erzielten Ergebnissen unmittelbare Schlussfolgerungen ableiten ließen bzw. diese bereits in vorangegangenen unabhängigen Projekten erarbeitet wurden, flossen diese direkt in die Kapitel zur Beschreibung der implementierten Wirkmodelle (PIK-01, PIK-02, PIK-10, PIK-13, PIK-14) ein. Daneben wurde im Anhang für jedes Wirkmodell exemplarisch mindestens ein Satz von Ergebniskarten erstellt. Dieser beinhaltet in der Regel Ergebnisse für:

- einen Beobachtungszeitraum (meist das Jahrzehnt 1991-2000),
- einen Szenariozeitraum,
- eine Differenzkarte.

2.4.3 Steckbriefe

Die Steckbriefe beinhalten in weitgehend standardisierter Form die wichtigsten Informationen, die zur Arbeit von Entwicklern, Programmierern und Nutzern notwendig sind. In ihnen werden die wichtigsten Programmeigenschaften und der Umgang mit dem jeweiligem Wirkmodell und der Interpretation seiner Modellausgaben kurz erklärt. Die standardisierten Bestandteile der Steckbriefe seien hier am Beispiel des Wirkmodells PIK-01 kurz erläutert

Identifikationsnummer und Name des Wirkmodells



Es werden die FISKA-Identifikation des Rechenkerns und der Name des Wirkmodells in der am PIK erarbeiteten und verwendeten FISKA-Version angegeben. Unter der Identifikation des Formates **PIK-xx** werden die Wirkmodelle innerhalb von FISKA verwaltet und genutzt.

Datenindikator



Rechts oben im Textrahmen zeigt ein Indikator die Verfügbarkeit der benötigten Klimadaten an.

Dabei bedeutet:

- im Datensatz vollständig vorhanden,
- im Datensatz unvollständig,
- im Datensatz generell fehlend.

Kurzinformationen zum Wirkmodell

Klimawirkung: Klimatische Veränderungen
Bearbeiter: C. Kollas, L. Österle, T. Kartschall, M. Wodinski, PIK **Version:** 2.4 **Datum:** 22.09.11
Modul: *kemdll.dll*

Klimawirkung beschreibt in knapper Form den Gegenstand des Wirkmodells

Bearbeiter führt die Bearbeiter namentlich auf.

Version enthält die vom Bearbeiter vergebene Versionsnummer.

Datum enthält das Datum der letzten Aktualisierung.

Modul enthält als Hinweis für Programmentwicklung und –einbindung den Namen der zugehörigen *.dll.

Beschreibung des Wirkmodells

Beschreibung des Wirkmodells
 Die Jahresmittelwerte dienen zur allgemeinen Charakterisierung der klimatischen Verhältnisse. In FSKA

Interpretation

Interpretation
 Der Wirkfaktor gibt Auskunft über klimatische Indizes wie Jahresdurchschnittstemperatur oder Länge der Vegetationsperiode (s. Outputparameter). Er stellt ein solides Werkzeug dar, um Änderungen, die

Für die weitere Nutzung und Auswertung werden in diesem Abschnitt Hinweise für die Auswertung und Interpretation der einzelnen Wirkmodelle gegeben.

I/O-Beschreibung der dll

I/O Beschreibung der DLL
 Das aufzurufende Programm heißt *kemdll.dll* und hat 30 Parameter. Alle Parameter werden als Integer

Inputparameter sind 10 Integer-Felder der Größe 365:

1. Tagesminimum der Lufttemperatur [°C]
2. Tagesmaximum der Lufttemperatur [°C]

Outputparameter sind 20 skalare Integerwerte.
 Als **Kenntage** bzw. **Kennwerte** werden berechnet:

11. Anzahl der Regentage [Tage]
12. Anzahl der Frosttage [Tage]

Es werden Programmname der *.dll und eine kurze Beschreibung der **Input-** und **Outputparameter** angegeben

Ergänzungen / Einschränkungen

Ergänzungen/Einschränkungen
 Im REMO-Datensatz ist die Größe Sonnenscheindauer (SD) nicht enthalten, damit kann die Variable

Bereits bekannte bzw. im Rahmen der Bearbeitung erkannte Einschränkungen und Probleme werden angegeben und eingeschätzt. Diese Einschätzungen werden durch die Bearbeiter als wichtige Hinweise für die Nutzung der Ergebnisse verstanden. Insbesondere sollen diese Hinweise vor zu weitgehenden Interpretationen von Ergebnissen dienen.

Literatur und/oder Weblinks

Literatur

Definition [Klimatologische Kenntage laut DWD Wetterlexikon](#)

und / oder

Weblinks

DWD – Deutscher Wetterdienst: [Klimatologische Kenntage](#)

DWD – Deutscher Wetterdienst: [Wetterlexikon](#)

Es werden die im Steckbrief zitierten Quellen angegeben. Diese Quellen wurden in das Literaturverzeichnis bzw. in das Verzeichnis der Weblinks des vorliegenden Berichtes aufgenommen, auch wenn sie in den Kapiteln des Berichtes möglicherweise nicht zitiert wurden.

3 Implementierte Wirkmodelle

3.1 Jahresmittelwerte / Meteorologische Kenntage (PIK-01)

Verwendete Eingabedaten

Meteorologische Größe	Einheit	DWD	WETTREG	REMO
Tagesminimum der Lufttemperatur	°C	●	●	●
Tagesmaximum der Lufttemperatur	°C	●	●	●
Tagesmittel der Lufttemperatur	°C	●	●	●
Tagesmittel des Bedeckungsgrads	octas	●	●	●
Tagessumme des Niederschlags	mm	●	●	●
Tagesmittel der relativen Feuchte	%	●	●	●
Tagesmittel der Windgeschwindigkeit	m/s	●	●	●
Tagesmittel des Luftdrucks	hPa	●	●	●
Tagesmittel des Dampfdrucks	hPa	●	●	●
Tagessumme der Sonnenscheindauer	h	●	●	●

Tab. 3.1.1: Verwendete meteorologische Größen und Verfügbarkeit für das Wirkmodell PIK-01
(● = im Datensatz vorhanden, ● = unvollständig, ● = fehlend)

Auswahl des Wirkmodells / Definition

Die klimatischen Verhältnisse lassen sich mit den meteorologischen Größen, die die Modelle REMO und WETTREG ausgeben über die Angabe von Jahresmittelwerten unmittelbar beschreiben. Diese Mindestanforderung im Rahmen von FISKA wurde durch die Berücksichtigung der Ausgabe der Jahresmittelwerte für die in der Tabelle 3.1.1 aufgeführten Größen umgesetzt. Grundlage für die Berechnung sind die jeweiligen Tageswerte bzw. –summen. Voraussetzung für eine sinnvolle Berechnung - auch der abgeleiteten Größen - ist jeweils eine lückenlose und konsistente Datenreihe. Beispielsweise fehlen im REMO-Datensatz Angaben zur Sonnenscheindauer und bei den Beobachtungsdaten sind sie regional stark lückenhaft. Daher ist die Berechnung der Jahresmittelwerte nur bedingt bzw. gar nicht möglich.

Neben der Größe und Änderung dieser Grundgrößen ist eine genauere Charakterisierung des Klimas und seiner Änderung über aus den Grundgrößen abgeleiteten Kenngrößen möglich (z. B. Kenntage). Kenntage werden durch das Über- oder Unterschreiten von festgelegten Schwellenwerten definiert (vgl. DWD, [Wetterlexikon](#) und DWD, [Klimatologische Kenntage](#)). Art und Umfang von Kenngrößen sind praktisch unbegrenzt.

Für FISKA wurde eine Anzahl von Kenntagen ausgewählt, die für jeden Nutzer unmittelbar zugänglich (insbesondere die thermischen Kenntage sind meist allgemein bekannt), einfach nachvollziehbar und aussagekräftig sind. Die Kenngrößen sind in Tabelle 3.1.2 aufgeführt und sind für alle Datensätze berechenbar.

Kenngröße	Einheit	Ausgewertete Größe	Bedingung
Anzahl der Regentage	Tage	Niederschlagshöhe	$\geq 0,1\text{mm}$
Anzahl der Frosttage	Tage	Minimum der Lufttemperatur	$< 0^\circ\text{C}$
Anzahl der Eistage	Tage	Maximum der Lufttemperatur	$< 0^\circ\text{C}$
Anzahl der heißen Tage	Tage	Bedeckungsgrad	$\geq 30^\circ\text{C}$
Anzahl der Sommertage	Tage	Maximum der Lufttemperatur	$\geq 25^\circ\text{C}$
Anzahl der Tropennächte	Tage	Minimum der Lufttemperatur	$\geq 20^\circ\text{C}$
Anzahl der heiteren Tage	Tage	Maximum der Lufttemperatur	$< 1,6 \text{ octas}$
Anzahl der trüben Tage	Tage	Bedeckungsgrad	$> 6,4 \text{ octas}$
Länge der thermischen Vegetationsperiode	Tage	Mittel der Lufttemperatur	nachhaltig $> 5,0^\circ\text{C}$
Niederschlagssumme in der thermischen Vegetationsperiode	mm	Niederschlagshöhe	mm

Tab. 3.1.2: Im Wirkmodell PIK-01 implementierte Kenntage und Kenngrößen

Folgende Kenntage konnten nicht berücksichtigt werden, da die zur Verfügung stehenden Klimadaten nicht ausreichen, um diese auszuwerten bzw. zu umfangreiche Berechnungsalgorithmen erforderlich gewesen wären:

- Gewittertag,
- Hageltag,
- Nebeltag,
- Sturmtag,
- Schneedeckentag.

Die Ermittlung von Schneehöhe und Schneesicherheit im separaten Wirkmodell PIK-18 entspricht dabei nicht der Definition von Schneedeckentagen (vgl. DWD, [Wetterlexikon](#)).

Für die Festlegung der Schwellenwerte zur Bestimmung der Kenntage wurde auf die jeweilige Definition des DWD zurückgegriffen. Die Schwellenwerte sind prinzipiell willkürlich und nicht besser oder schlechter als andere. Für jede meteorologische Größe in den Ausgangsdaten ließen sich auch sinnvolle (weitere) Schwellenwerte definieren, die die Entwicklung dieser Größe dann detaillierter beschreiben können.

Neben der Ableitung von Kenntagen bzw. -größen, die sich statisch am Kalenderjahr oder Jahreszeiten orientieren, ist es natürlich sinnvoll die Entwicklung der Pflanzen selbst zu berücksichtigen, die sich durch den Klimawandel ebenfalls ändert und nicht zwangsläufig synchron zur Temperaturentwicklung verläuft.

Ein erster Ansatz in FISKA ist die Bestimmung des Wasserangebots in den vegetativen und generativen Phasen von Pflanzen über die Bestimmung der Niederschlagsmenge in der Vegetationsperiode.

Die Ausgabegrößen Länge der Vegetationsperiode und Niederschlagssumme in dieser Zeit beziehen sich auf die thermische Vegetationsperiode, d. h. die Zeit ab der die Tagesmitteltemperatur $+5^\circ\text{C}$ nachhaltig überschreitet, bis zu dem Zeitpunkt im Jahr an dem dieser Schwellenwert nachhaltig unterschritten wird. Nachhaltig bedeutet hier, dass die Bedingung für 5 aufeinanderfolgende Tage erfüllt sein muss.

Die Abgrenzung über einen festen Temperaturschwellenwert entspricht einer weit verbreiteten Konvention zur Abschätzung der Vegetationsperiode ohne Bezug zu einer bestimmten Pflanze (vgl. Chmielewski 2007, Schaumberger 2011 und DWD, [Vegetationsperiode](#)). Eine verbindliche Definition gibt es nicht und in der Praxis werden in ihrer Komplexität sehr unterschiedliche Ansätze genutzt. Für das Wirkmodell wurde das „5°C-5Tage“-Kriterium ausgewählt aufgrund seiner weiten Verbreitung und Etablierung und wegen der einfachen und zeiteffizienten Möglichkeit zur rechen-technischen Umsetzung (vgl. Schaumberger 2011, S. 31). Um einen unrealistisch frühen Beginn und eine sofortige Beendigung, die trotz der Zeitspanne von 5 Tagen möglich bleiben, wird für den Beginn der Vegetationsperiode ein Datum nach dem 28. Februar und für das Ende ein Termin nach dem 1. Juli gefordert. Spätestens am 30. November wird die Vegetationsperiode beendet. Maßgebend für den Termin ist jeweils der erste Tag innerhalb der 5 Tage.

Validierung / Verifikation

Die dem Wirkmodell zugrundeliegenden Modelle sind validiert und prinzipiell in der Lage die Verhältnisse in der Periode 1971-2000 wiederzugeben. Da das Wirkmodell die meteorologischen Größen selbst oder auf Definitionen beruhende Kennzahlen ausgibt ist eine eigenständige Validierung nicht notwendig.

Interpretationshilfen

Beispielhaft sei hier eine Auswahl der möglichen Ergebnisse für die Anzahl der Sommertage im Jahr vorgestellt. Die betrachteten Zeiträume sind:

1971/2000 – ein Zeitraum für den sowohl Beobachtungsdaten des DWD, als auch Ergebnisse aus den Kontrollläufen für die Modelle WETTREG und REMO vorliegen

2021/2050 – Zeitraum zur Mitte der Zukunftsszenarien

2071/2100 – Zeitraum zum Ende der Zukunftsszenarien.

Ausgewertet wurden jeweils die 30-jährigen Mittelwerte aus den angegebenen Zeiträumen. Beim Modell WETTREG wurde dazu über die zurzeit in FISKA implementierten 20 Realisierungen gemittelt. Als räumliche Auflösung wurde bei allen Rechenläufen 2x2km gewählt, die sich bei REMO ergebenden Strukturen werden dadurch aber nicht feiner aufgelöst.

In Abbildung 3.1.1 sind die Verhältnisse für den Zeitraum 1971/2000 dargestellt. Die Spanne der auftretenden Werte ist bei beiden Modellen und den Beobachtungsdaten sehr ähnlich, allerdings weichen die Mittelwerte für das Gesamtgebiet von Deutschland und die Muster zum Teil erheblich ab. WETTREG trifft den Mittelwert noch sehr gut, weicht aber in einigen Regionen (z. B. nördlicher Thüringer Wald) stark ab. Die zur Verfügung stehende REMO-Realisierung ist deutlich zu kalt und weist im Mittel 5 Sommertage weniger auf als die Beobachtungsdaten. Regional treten aber auch höhere Werte auf als bei den beiden anderen Datensätzen. Typische Temperaturgunsträume werden von allen Darstellungen wiedergegeben. Die in Abbildung 3.1.2 dargestellten Differenzen zwischen WETTREG und REMO zu den Beobachtungsdaten des DWD stützen diesen ersten Eindruck. Bei REMO zeigen vor allem die im Süden Deutschlands liegenden höheren Bereiche und die Mittelgebirge eine positive Abweichung, während tiefer gelegene Gebiete eher zu kalt ausgewiesen werden. Auch die Höhe der Abweichungen ist bemerkenswert. Bei WETTREG sind kleinräumige Abweichungen typisch, die keinen unmittelbaren Zusammenhang zur Topographie erkennen lassen.

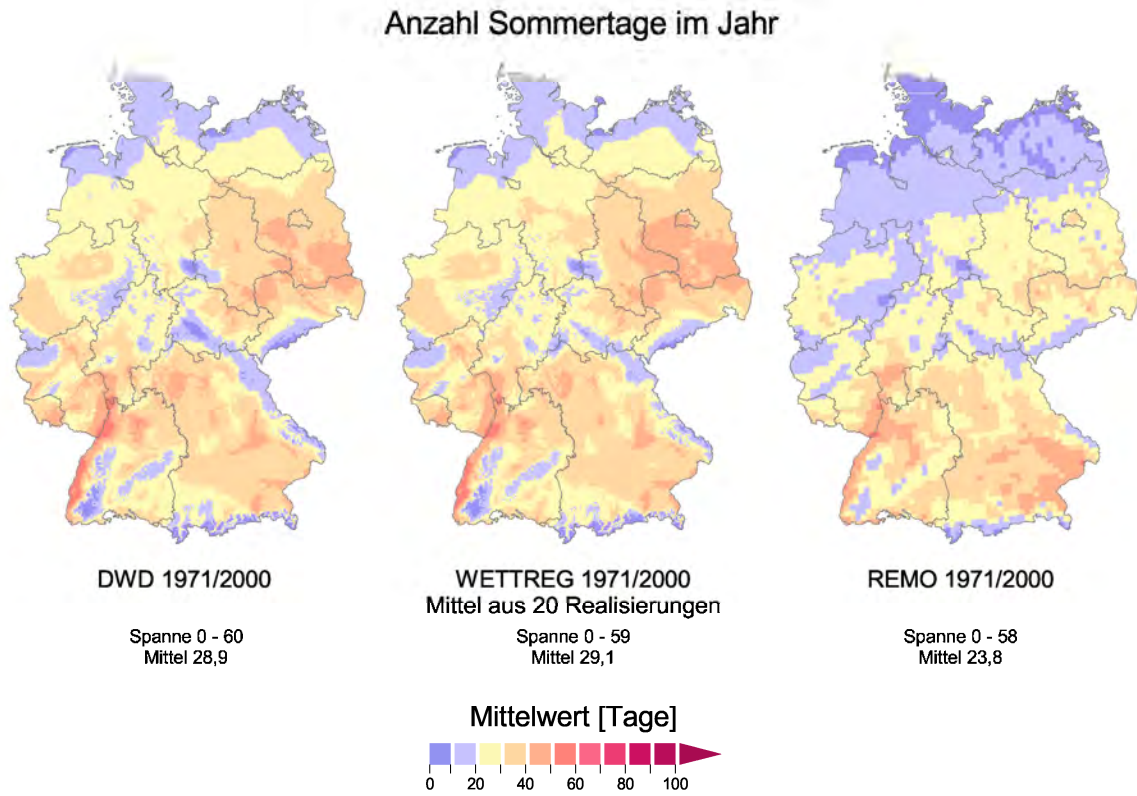


Abb. 3.1.1: Mittlere Anzahl der Sommertage im Zeitraum 1971/2000

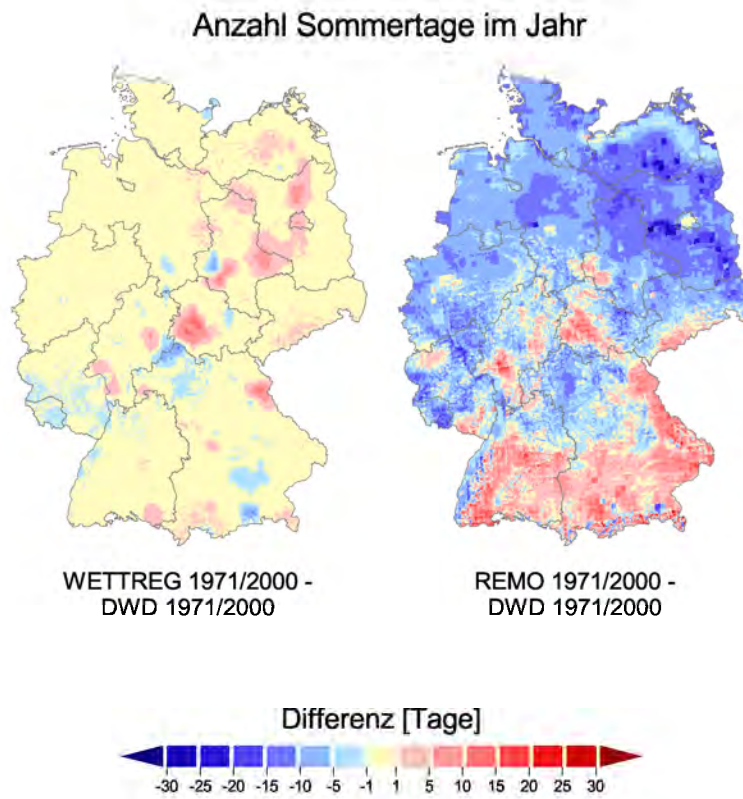


Abb. 3.1.2: Differenzen der mittleren Anzahl der Sommertage im Zeitraum 1971/2000

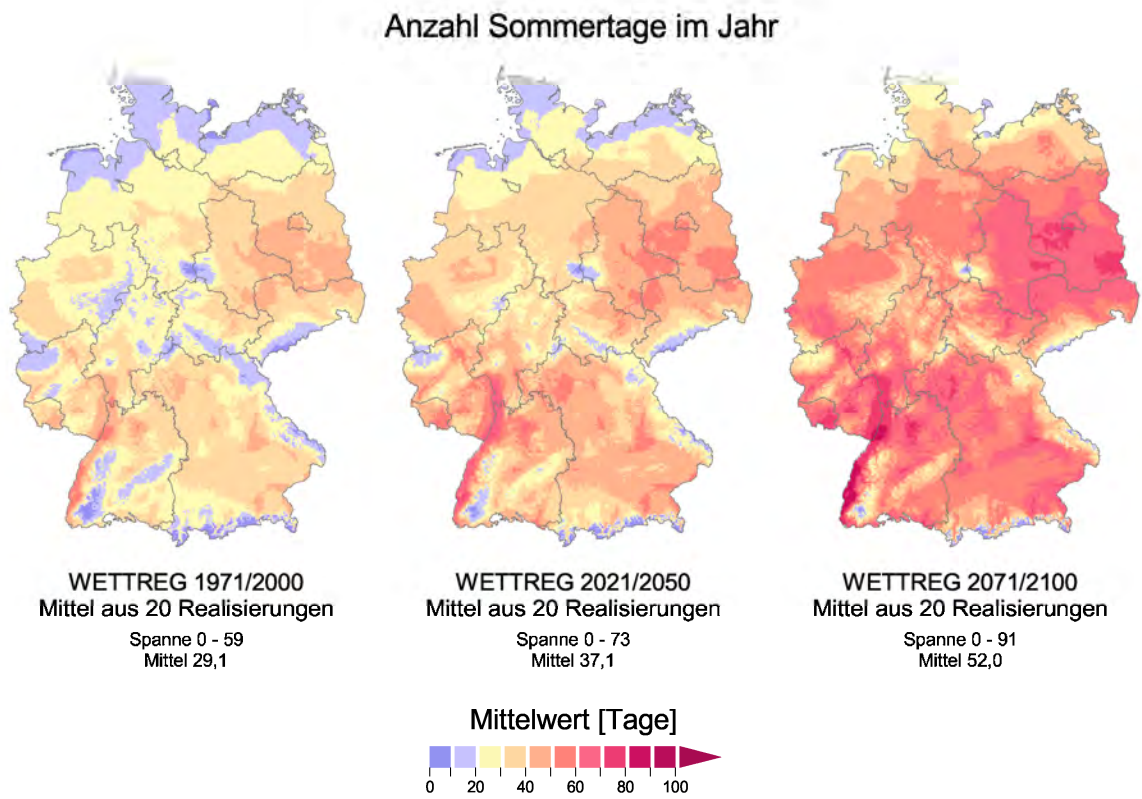


Abb. 3.1.3: Entwicklung der mittleren Anzahl der Sommertage im Modell WETTREG (modellintern)

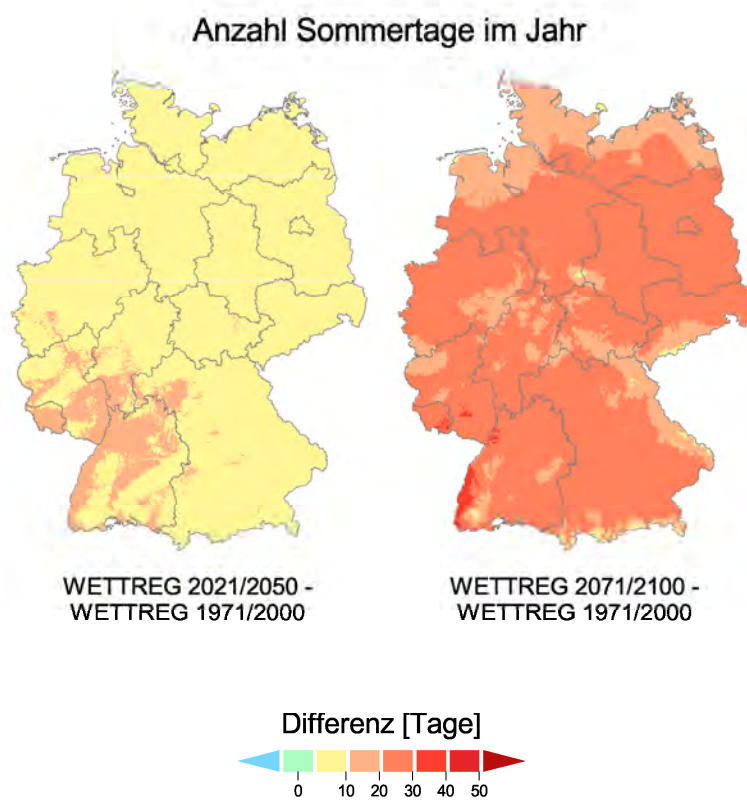


Abb. 3.1.4: Differenzen der mittleren Anzahl der Sommertage im Modell WETTREG

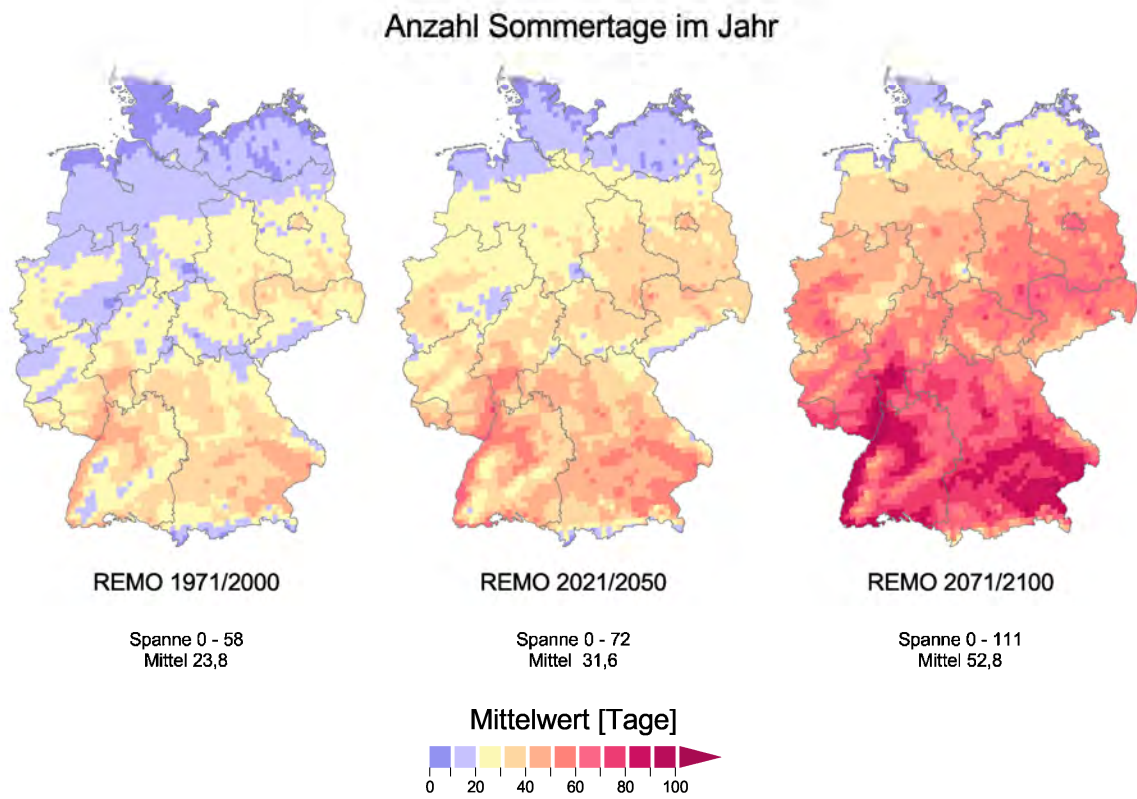


Abb. 3.1.5: Entwicklung der mittleren Anzahl der Sommertage im Modell REMO (modellintern)

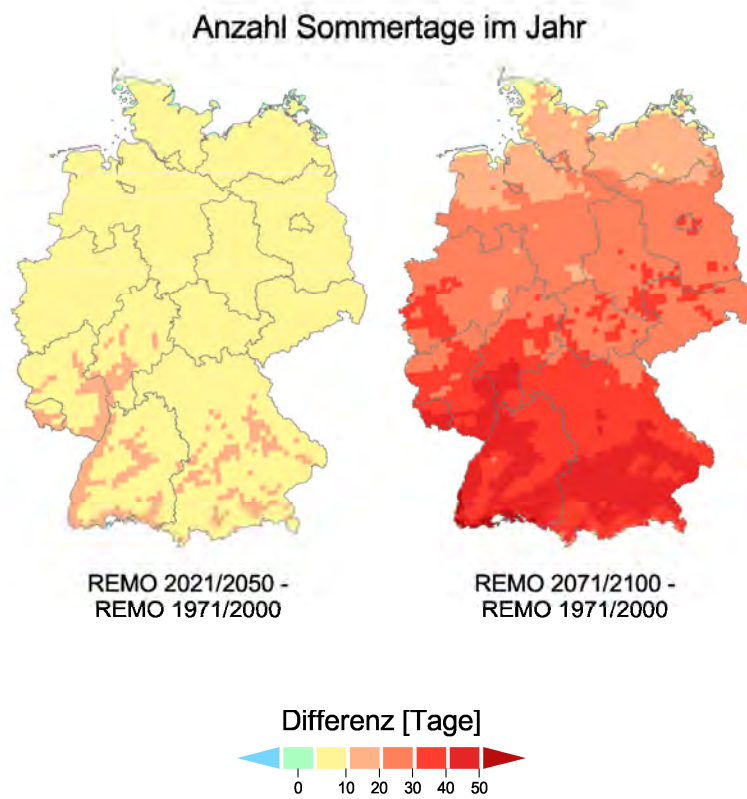


Abb. 3.1.6: Differenzen der mittleren Anzahl der Sommertage im Modell REMO

In den Abbildungen 3.1.3 und 3.1.4 sind für WETTREG der Kontrolllauf und die zukünftigen Verhältnisse, bzw. die modellinternen Differenzen zwischen den Zeiträumen dargestellt. Im Mittel wird eine Zunahme um 8 Tage bis zur Mitte und bereits 23 Tage bis zum Ende des Zukunftsszenariums ausgewiesen. Die räumlichen Strukturen bleiben im Wesentlichen erhalten. Die Differenzen zeigen zur Mitte des Zukunftsszenariums stärkere Zunahmen vor allem im Südwesten von Deutschland, während zum Ende des Jahrhunderts die Zunahme fast flächendeckend hoch ist, bis auf für die Temperatur ungünstigere Räume (Küste und Höhenzüge) mit geringeren Zunahmen und das Oberrheingebiet mit einer stärkeren Zunahme. Die entsprechenden Abbildungen 3.1.5 und 3.1.6 für REMO weisen zur Mitte des Jahrhunderts im Mittel den gleichen Änderungsbetrag aus wie bei WETTREG, in der weiteren Entwicklung werden aber mit im Mittel 53 Tagen und maximal 111 Tagen deutlich höhere Werte erreicht. Das entspricht bereits mehr als einer Verdopplung der Anzahl der Sommertage. Die Differenzen zeigen eine ausgeprägte Zunahme von Nord nach Süd, die regional leicht modifiziert wird (z. B. Rhein-Main-Tiefland).

Neben der Darstellung der modellinternen Entwicklung kann es auch sinnvoll sein, nur das jeweilige Änderungssignal aus den Modellen den Beobachtungsdaten aufzuprägen. Beide Auswertemöglichkeiten kommen in der Praxis vor und der Anwender muss entscheiden, was für den gegebenen Anwendungsfall sinnvoll ist. Dabei ist zu beachten, dass die räumliche Interpretierbarkeit vom schwächsten Glied in der Modellkette bestimmt wird. Im Falle von REMO werden Werte die einen Mittelwert für eine 10 x10 km-Zelle darstellen der räumlich expliziteren Darstellung der Beobachtungsdaten aufgesetzt. Das ist bei der Interpretation zu berücksichtigen. Die sich aus diesem Vorgehen ergebenden Karten sind in den Abbildungen 3.1.7 für WETTREG und 3.1.8 für REMO dargestellt. Für WETTREG ergeben sich regional leicht modifizierte Verhältnisse, die sich im Kartenbild vor allem in Ostdeutschland bemerkbar machen, aber natürlich in allen Regionen auftreten in denen Unterschiede zwischen WETTREG-Kontrolllauf und Beobachtungsdaten auftreten. Daher sind die Unterschiede bei REMO natürlich größer, vor allem in Nord- und Ostdeutschland, wo der Kontrolllauf deutlich zu kalt ist werden so noch deutlich höhere Werte ausgewiesen, während in Süddeutschland die Werte verringert werden. Im Mittel ergibt sich für Deutschland ein nochmals erhöhter Wert und die Anzahl der Sommertage beträgt jetzt sogar 58 Tage.

Ergänzungen / Einschränkungen

Grundsätzlich kommt dem Anwender eine hohe Verantwortung bei der Nutzung von FISKA zu. So obliegt ihm die Kontrolle der Ergebnisdaten, die Prüfung ob einzelne Auswerteschritte inhaltlich sinnvoll sind, die Auswahl und Beurteilung der genutzten Realisierungen und vor allem die Beurteilung der Tragfähigkeit der Interpretation. Immer ist zu berücksichtigen, dass die REMO-Ergebnisse in einem 10 km x10 km-Raster modelliert werden und einen Mittelwert für die einzelnen Gitterboxen darstellen, während WETTREG von Stationsdaten ausgeht, die auf ein reguläres Gitter umgerechnet wurden. D. h. die Ergebnisse sind nicht unmittelbar miteinander vergleichbar. Insgesamt erscheint es sinnvoll Aussagen gemittelt über mehrere Gitterboxen abzuleiten.

Bei der Berechnung der Mittelwerte für die tägliche Sonnenscheindauer ist zu beachten, dass die Datensätze des DWD regional unvollständige und die Datensätze von REMO keine sinnvollen Werte für die Sonnenscheindauer enthalten. Dieser Mittelwert kann für DWD-Datensätze nur mit regionalen Einschränkungen und für

REMO-Datensätze gar nicht berechnet und ausgewertet werden, obwohl dies re-
chentechnisch formal möglich ist.

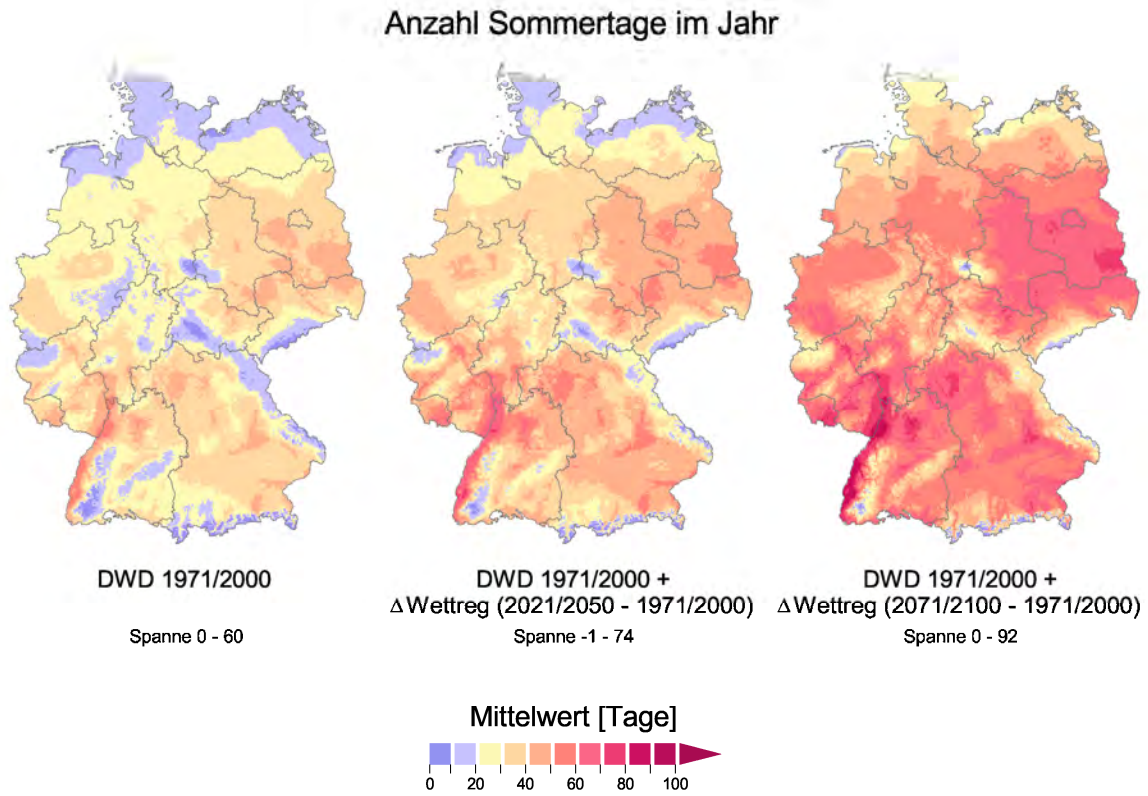


Abb. 3.1.7: Entwicklung der mittleren Anzahl der Sommertage nach WETTREG-Änderungssignal

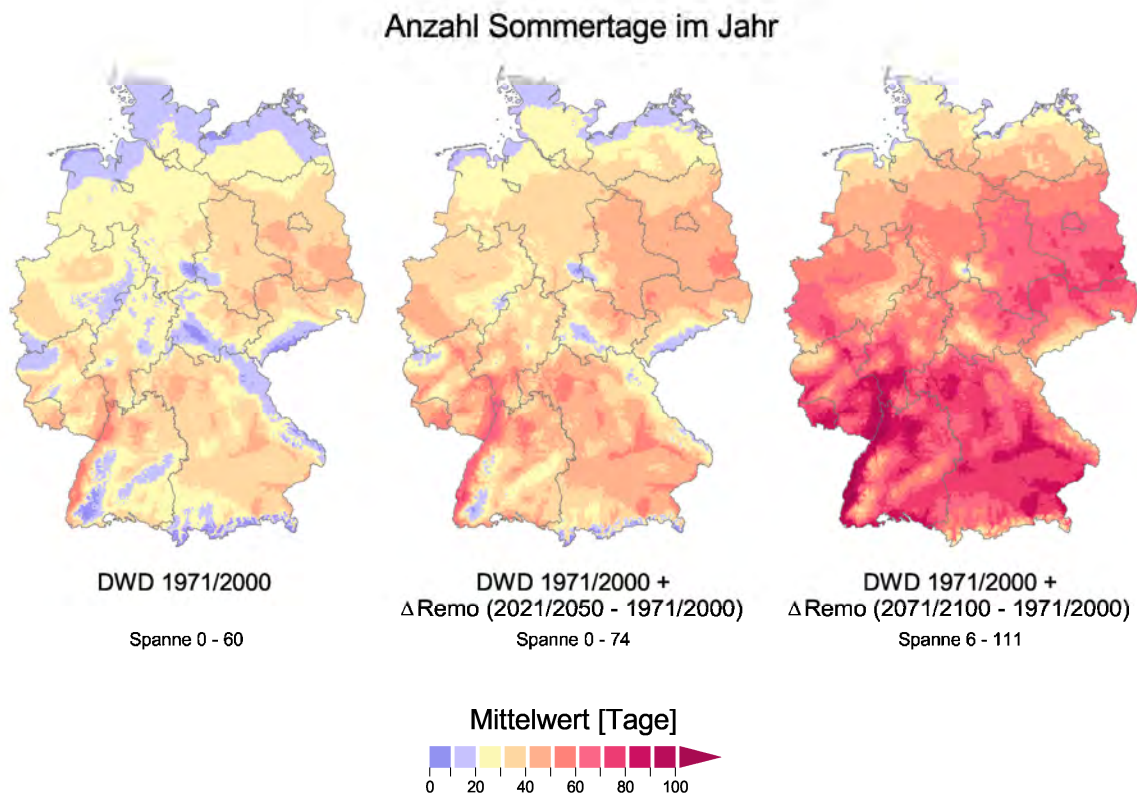


Abb. 3.1.8: Entwicklung der mittleren Anzahl der Sommertage nach REMO-Änderungssignal

Verbesserungsmöglichkeiten

Grundsätzlich lässt sich die Ausgabe weiterer Kenntage in FSKA implementieren. So ist neben der Anzahl von weiteren Kenntagen (z. B. Trockenperioden) sicherlich auch das Andauerverhalten oder das erste bzw. letzte Auftreten eines Ereignisses wichtig. Für den Anwender sinnvoll sind Entwicklungen in den folgenden Punkten:

- Flexible Eingabemöglichkeit und Nutzung von anwenderdefinierten Schwellenwerten im Wirkmodell.
- Möglichkeit einer anwenderdefinierten Zusammenstellung von mehreren Kriterien zur Charakterisierung von optimalen Bedingungen, Grenzbedingungen oder präferierten Umweltbedingungen.
- Auswertung für beliebige Teilzeiträume im Jahr.

3.2 Schwüleindikator und Hitzeindex (PIK-02)

Verwendete Eingabedaten

Meteorologische Größe	Einheit	DWD	WETTREG	REMO
Tagesmittel der Lufttemperatur	°C	●	●	●
Tagesmittel der relativen Feuchte	%	●	●	●
Tagesmittel des Luftdrucks	hPa	●	●	●
Tagesmittel des Dampfdrucks	hPa	●	●	●

Tab. 3.2.1: Verwendete meteorologische Größen und Verfügbarkeit für das Wirkmodell PIK-02
(● = im Datensatz vorhanden, ● = unvollständig, ● = fehlend)

Auswahl des Wirkmodells / Definition

Schwüleindex

Tage mit sehr hohem Dampfdruck ($p_v \geq 18,8$ hPa) werden vom Deutschen Wetterdienst als schwüle Tage klassifiziert (vgl. DWD, [Schwüle](#) und zu weiteren möglichen Warnschwellen KIT, [Wettergefahren-Frühwarnung](#)). Dieser Schwellenwert wird im FISKA-Modul PIK-02 benutzt, um die Anzahl von schwülen Tagen abzuschätzen.

Hitzeindex

Der Hitzeindex (auch Humidex, nach Steadman 1979) wurde als ein Maß für die menschliche Belastung durch hohe Temperaturen gewählt. Er wurde für Deutschland angepasst an große Siedlungsgebiete, in denen der Wärmeinseleffekt für erhöhte Belastung sorgt. Nach Oke (1973) wurde dieser Effekt in Abhängigkeit der Agglomerationsgröße integriert. Der DWD verwendet ein wesentlich komplexeres Energiebilanzmodell, das Klima-Michel-Modell (Jendritzky 1990). Es basiert auf der Behaglichkeitsgleichung von Fanger (1972) inkl. einer Korrektur nach Gagge *et al.* (1986) zur besseren Erfassung feuchtwarmer Bedingungen, verknüpft alle für den menschlichen Wärmehaushalt relevanten Größen und liefert eine Aussage über das durchschnittliche subjektive Empfinden des Menschen (Behaglichkeit, Wärmebelastung, Kältestress). Der Name *Michel* weist auf den Durchschnittsmenschen hin (hier: männlich, 35 Jahre alt, 1,75 m groß, 75kg schwer). Es berechnet die Größe:

$$\text{thermisches Empfinden} = f (A, I_{cl}, t_l, v, e, t_{mrt})$$

mit

A Aktivität

I_{cl} Wärmeisolation der Bekleidung

t_l Lufttemperatur

v Windgeschwindigkeit

e Wasserdampfdruck

t_{mrt} mittlere Strahlungstemperatur
(berücksichtigt sämtliche Strahlungsflüsse auf den Menschen)

Zur Beschreibung des thermischen Empfindens dient die gefühlte Temperatur (Stai-ger *et al.* 1997) in der Einheit °C. Sie vergleicht die tatsächlich vorgefundenen Bedin-gungen mit der Temperatur, die in einer Standardumgebung herrschen müsste, um ein identisches Wärme-, Behaglichkeits- oder Kaltgefühl zu haben. Die Bekleidung wird zwischen sommerlich leichter und winterlich dicker stets so variiert, dass sich der Mensch möglichst behaglich fühlt. In einem vereinfachten Modell fließen nur noch die Temperatur der trockenen Umgebungsluft und die relative Luftfeuchte ein. Der Index (vgl. Rothfusz 1990) berechnet sich dann wie folgt:

$$\begin{aligned} \text{HI} = & -42,379 + 2,04901523 \cdot T + 10,14333127 \cdot F - 0,22475541 \cdot T \cdot F \\ & - 6,83783 \cdot 10^{-3} \cdot T^2 - 5,481717 \cdot 10^{-2} \cdot F^2 \\ & + 1,22874 \cdot 10^{-3} \cdot T^2 \cdot F + 8,5282 \cdot 10^{-4} \cdot T \cdot F^2 \\ & - 1,99 \cdot 10^{-6} \cdot T^2 \cdot F^2 \end{aligned}$$

mit

T trockene Umgebungstemperatur [°F],
F relative Luftfeuchte [%].

In Städten tritt oft der Urban Heat Island (UHI) Effekt auf, welcher sich in den regionalen Klimadaten nicht widerspiegelt, da in Deutschland der überwiegende Teil der städtischen Klimastationen außerhalb der Städte bzw. am Stadtrand liegt (vgl. DWD 1994). Der UHI wurde nach Oke (1973) in Abhängigkeit der Ein-wohnerzahl berechnet und die Tagesmaximaltemperatur um diesen Effekt (An-gaben in [K]) erhöht, womit sich die Anzahl der Tage mit hohem Hitzeindex ver-größert. Dadurch wurde für den Hitzeindex eine Anpassung an das Stadtklima implementiert. Mithilfe der beiden Layer „urban“ und „city“ des ESRI Data & Maps Datensatzes (ArcGis 9.0, 2004) wurden große Stadtgebiete identifiziert. Diese deutschlandweit 161 Flächen wurden nach der Zahl ihrer Einwohner klas-sifiziert. Jeder Klasse wurde eine Temperaturkorrektur (in eckigen Klammern angegeben) zugewiesen:

- 0 – Städte unter 50.000 EW und alle anderen Bereiche, [0,0 K],
- 1 – Städte mit 50.000 – 100.000 EW, [1,4 K],
- 2 – Städte mit 100.000 – 500.000 EW, [1,7 K],
- 3 – Städte mit >500.000 EW. [2,0 K].

Hitzeindex	Stufe	Hinweise
27°C – 32°C	1	Leichtes Unbehagen. Bei längeren Zeiträumen und körperlicher Aktivität kann es zu Erschöpfungserscheinungen kommen.
33°C – 41°C	2	Erhöhtes Unbehagen. Vorsicht, es besteht die Möglichkeit von Sonnenstich, Hitzekrampf und Hitzekollaps.
42°C – 54°C	3	Gefahr – Sonnenstich, Hitzekrampf und Hitzekollaps sind wahrscheinlich; Hitzschlag ist möglich.
über 54°C	4	Erhöhte Gefahr – Hitzschlag und Sonnenstich sind wahrscheinlich. Man sollte sich körperlich kaum betätigen und sich diesen Bedingungen nicht längerfristig aussetzen.

Tab. 3.2.2: Hitzeindex und Stufeneinteilung

Interpretationshilfen

Exemplarisch sei hier als Nachweis der prinzipiellen Arbeitsfähigkeit des Moduls der Vergleich der aus dem Datensatz WETTREG (A1B, Mittel über alle 20 Realisierungen) ermittelten Anzahl von schwülen Tagen für das Jahrzehnt 1991-2000 und des Jahrzehntes 2021-2030 angegeben.

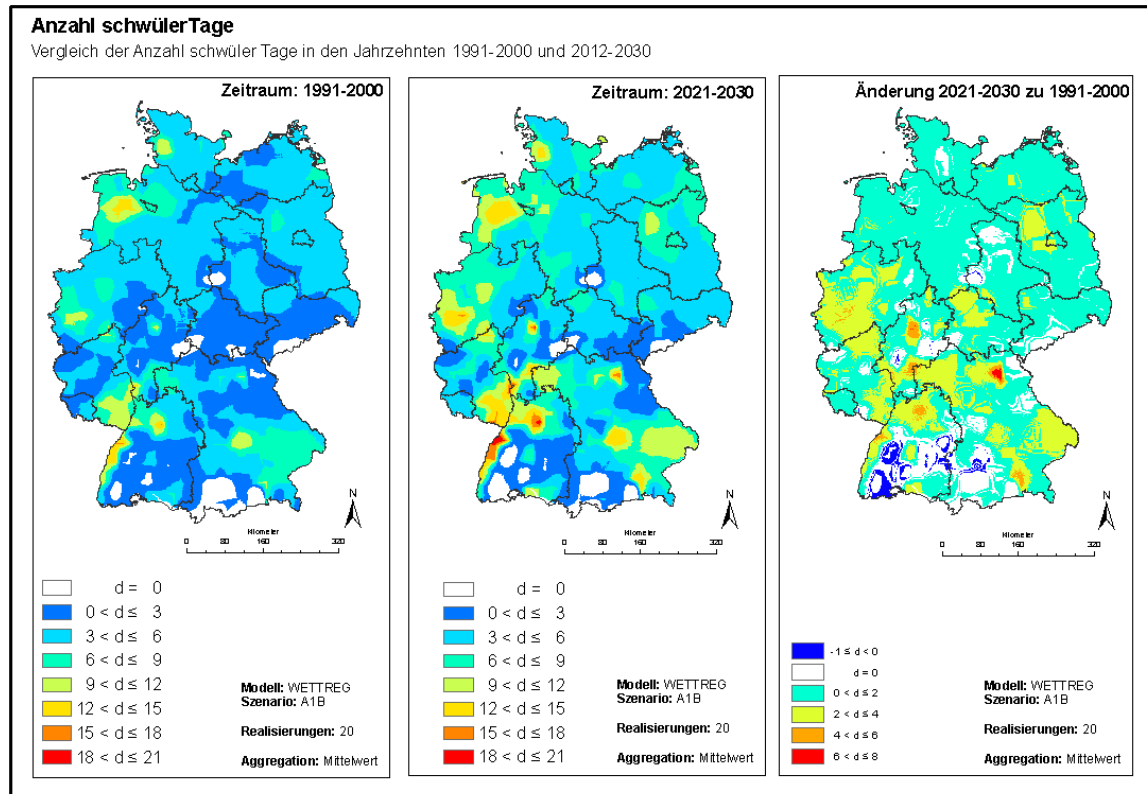


Abb. 3.2.1: Test des Moduls PIK-02 an Hand der Größe „Anzahl schwüler Tage“ für die Zeiträume 1991-2000 und 2021-2030 für den Datensatz WETTREG A1B (Mittel über alle 20 Realisierungen)

Es ergeben sich einige „Inseln“ mit geringer Abnahme oder unveränderter Anzahl von schwülen Tagen, jedoch liegen diese generell in dem bereits für den Kontrollzeitraum von Schwüle nicht oder nur wenig betroffenen Regionen. Es werden jedoch auch ohne weitergehende quantitative Untersuchungen Regionen ausgewiesen, in denen mit einer vergleichsweise starken Zunahme der Anzahl von schwülen Tagen zu rechnen ist, und dies insbesondere in und um bereits im Kontrollzeitraum stärker betroffenen Gebieten.

Ergänzungen / Einschränkungen

Schwüleindikator

Eine Validierung eines auf einer einfachen Definition beruhenden Indikators ist nicht möglich, jedoch können die mit Hilfe des Wirkmodells für die Zukunft berechneten Häufigkeiten durchaus als eine Hilfe bei der Einschätzung der Veränderung von gesundheitlichen Belastungen eingeschätzt werden.

Hitzeindex

Der Hitzeindex ist formal nach objektiven Kriterien erstellt worden, Menschen reagieren aber subjektiv auf Umwelteinflüsse. Die Ergebnisse lassen sich damit nicht auf alle Bevölkerungsgruppen gleichermaßen übertragen.

Da urbane Gebiete sehr unterschiedlich strukturiert sind, ist anzunehmen, dass der hier vereinfacht modellierte UHI nicht überall gleichermaßen gültig ist. Eine Verbesserung des Ansatzes für den Hitzeindex würde ein Gradient darstellen, der vom Stadtkern zu den Rändern abnimmt und damit die Stärke des UHI nach außen radial abnehmen lässt. Eine derartige Implementierung erscheint im Rahmen von FSKA als zu aufwendig.

3.3 Austrieb der drei Baumarten Buche, Eiche und Birke (PIK-06)

Verwendete Eingabedaten

Meteorologische Größe	Einheit	DWD	WETTREG	REMO
Tagesmittel der Lufttemperatur	°C	●	●	●

Tab. 3.3.1: Verwendete meteorologische Größen und Verfügbarkeit für das Wirkmodell PIK-06
(● = im Datensatz vorhanden, ● = unvollständig, ● = fehlend)

Auswahl des Wirkmodells / Definition

Der phänologische Index beschreibt den Tag des Blattaustriebes der drei Hauptbaumarten Eiche (*Quercus robur*), Birke (*Betula pendula*) und Buche (*Fagus sylvatica*). Die genutzten Modelle wurden durch Schaber (2002) im Rahmen seiner [Dissertation](#) entwickelt. Maßgebend ist die nachfolgende Temperatursumme.

$$S_T = \sum_{t_1}^t (T - T_b) \quad \text{für } T > T_b$$

- mit
- S_T - Temperatursumme [°C]
 - T - Tagesmitteltemperatur [°C]
 - T_b - spezifischer Schwellenwert [°C]
 - t_1 - spezifischer Starttag zwischen 1. November und 31. März
 - T_{crit} - spezifische kritische Temperatursumme [°C]

Der Tag des Blattaustriebs wird für den Tag angenommen, an dem $S_T > T_{crit}$ wird. Die artenspezifischen Parameterwerte, die bei der Berechnung genutzt werden sind Tabelle 3.3.2 zu entnehmen.

	T_b [°C]	T_{crit} [°C]	t_1 [Tag im Jahr]
Buche	-6,98	664,88	131
Eiche	0,49	372,06	131
Birke	-6,07	672,90	108

Tab. 3.3.2: Parameterwerte bei der Berechnung des Blattaustriebs

Validierung / Verifikation

Die Modelle für die drei Baumarten wurden von Schaber (2002) entwickelt, validiert und mit anderen Modellansätzen in ihrer Güte verglichen. Das hier verwendete relativ einfache Temperatursummenmodell (TSM) nach Wang (1960), Robertson (1968), Kramer (1994) und Menzel (1997) wurde von Schaber angepasst. Er verwendete Daten aus 495 phänologischen Gärten zwischen den Jahren 1880 und 1999 des phänologischen Netzwerks des DWD. In der Tabelle 3.3.3 ist die Anzahl der Beobachtungen für die dargestellten Baumarten, die in das Modell einfließen und das Bestimmt-

heitsmaß des Modells angegeben. Die Hälfte der Beobachtungsdaten diente dabei der Anpassung des Modells, die andere Hälfte der Beobachtungsdaten wurde mit den mit dem Verfahren berechneten Daten verglichen und so die Güte des Modells validiert.

	Buche	Eiche	Birke
Anzahl der Beobachtungen	1536	1811	1937
R ² des gefitteten Modells	0,433	0,569	0,605

Tab. 3.3.3: Validierung der Phänologiedaten

Interpretationshilfen

Das Wirkmodell beschreibt den Tag des Blattaustriebs (laufender Tag im Jahr) der drei Hauptbaumarten Buche, Eiche und Birke. Da die Ergebnisse für Einzeljahre sehr stark schwanken, sollten die Ergebnisse von mindestens 5 aufeinanderfolgenden Jahren gemittelt werden, um sinnvolle Aussagen ableiten zu können. Dazu werden von Schaber bereits multi-dekadische Fluktuationen genannt, die sich nach Spezies und relevanter saisonaler Temperatur unterscheiden und die Interpretation weiter erschweren.

Ergänzungen / Einschränkungen

Die Berechnung des Indikators wird flächendeckend für Deutschland zur Verfügung gestellt, sie beinhaltet nicht das reale Verbreitungsgebiet der Baumarten.

Verbesserungsmöglichkeiten

Schaber entwickelte das Prohibitor-Inhibitor-Modell (PIM) weiter, welches Klimadaten von zwei aufeinanderfolgenden Jahren benötigt, mehr Rechenaufwand erfordert und Bestimmtheitsmaße bis 0,708 erreicht. Für die Zwecke des FISKA wird das TSM als ausreichend betrachtet, da der Trend der Vegetationszeitverlängerung durch die Verfrühung des Blattaustriebs in beiden Modellen gleichermaßen gut abgebildet wird.

3.4 Thermische Bedingungen im Weinbau / Huglin-Index (PIK-10)

Verwendete Eingabedaten

Meteorologische Größe	Einheit	DWD	WETTREG	REMO
Tagesmaximum der Lufttemperatur	°C	●	●	●
Tagesmittel der Lufttemperatur	°C	●	●	●

Tab. 3.4.1: Verwendete meteorologische Größen und Verfügbarkeit für das Wirkmodell PIK-10
(● = im Datensatz vorhanden, ● = unvollständig, ● = fehlend)

Auswahl des Wirkmodells / Definition

Der Huglin-Index H gibt Auskunft über die Erfüllung thermischer Minimalansprüche verschiedener Weinsorten (Huglin 1978, 1986). Dieser Index wird als eine verallgemeinerte Temperatursumme ermittelt, in welche die geographische Breite mit einfließt. Die Berechnung erfolgt nach einer einfachen Formel:

$$H = \sum_{t=1.Apr.}^{30.Sept} K(X_{lat}) \cdot \frac{(T_{mit}(t) - 10^{\circ}C) + (T_{max}(t) - 10^{\circ}C)}{2}$$

mit X_{lat} Geographische Breite [°NB]

$K(X_{lat})$ Breitenabhängiger Korrekturfaktor [·] der Form:

$$K(X_{lat}) := \begin{cases} 1.02 & |x_{Lat}| \leq 40^{\circ} \\ 1.02 + 0.04 * \frac{|x_{Lat}| - 40^{\circ}}{10^{\circ}} & 40^{\circ} < |x_{Lat}| < 50^{\circ} \\ 1.06 & |x_{Lat}| \geq 50^{\circ} \end{cases}$$

$T_{mit}(t)$ Tagesmittel der Lufttemperatur [°C]

$T_{max}(t)$ Tagesmaximum der Lufttemperatur [°C]

Höhere Werte des Indexes repräsentieren die Anbauwürdigkeit thermisch immer anspruchsvollerer Reben und schließen die Rebsorten mit geringeren thermischen Ansprüchen mit ein. In der Tabelle 3.4.2 sind wichtige Rebsorten mit ihren entsprechenden Index-Intervallen aufgelistet. Für den Weinbau wesentliche klimatische Größen wie Niederschlag, Spätfrost, Bodenbeschaffenheit gehen in die Berechnung nicht ein. Auch geographische Besonderheiten, die zu einem besonders günstigen Bestandsklima führen, wie Südhänge oder geschützte Lagen werden nicht abgebildet. Dieser Indikator stellt damit bestenfalls eine Minimalbedingung zur Bewertung der Anbauwürdigkeit dar. Für eine umfassende Bewertung der Anbauwürdigkeit müssen weitere klimatische und pedogene Bedingungen geprüft werden. Unzureichende Huglin-Indizes stellen damit ein **Ausschlusskriterium** für die Anbauwürdigkeit der jeweils geprüften Weinsorten bzw. thermisch anspruchsvollerer Sorten dar. Die Erfüllung der Klassengrenzen einer untersuchten Sorte an einem Standort impliziert daher nicht deren Anbauwürdigkeit.

Huglin-Index H	Farbcode	Ausgewählte anbauwürdige Rebsorten
$H \leq 1500$		kein Anbau empfohlen
$1500 < H \leq 1600$		Müller-Thurgau
$1600 < H \leq 1700$		Weißer Burgunder, Gamay noir
$1700 < H \leq 1800$		Riesling, Chardonnay, Sauvignon blanc, Spätburgunder
$1800 < H \leq 1900$		Cabernet franc
$1900 < H \leq 2000$		Chinon blanc, Cabernet sauvignon, Merlot
$2000 < H \leq 2100$		Ugni blanc
$2100 < H \leq 2200$		Grenache noir, Syrah
$2200 < H \leq 2300$		Carignan

Tab. 3.4.2: Ausgewählte anbauwürdige Rebsorten und zugehörige Index-Intervalle des Huglin-Indexes (Huglin 1978, Huglin 1986)

Tendenziell kann davon ausgegangen werden, dass der Indexwert leicht unterschätzt wird, da er allgemein für Südhänge Betrachtung findet, im FISKA aber über alle Hangrichtungen gemittelt wird. Im Ergebnis einer Untersuchung im Rahmen eines Praktikums (Reif 2008) wurde seitens des PIK auf eine Weiterentwicklung der Algorithmen verzichtet. Es sei hier noch auf die einfacheren auf Temperatursummen basierenden Indizes nach Branas *et al.* (1946) bzw. Winkler (1962) hingewiesen. Inzwischen wird dem Huglin-Index wegen seiner weit verbreiteten Verwendung und seiner gut abgestimmten Klasseneinteilung aus Gründen der Vergleichbarkeit der Vorzug gegeben (vgl. Grifoni *et al.* 2003, Grifoni *et al.* 2006, Seguin & Garcia de Cortazar 2005).

Innerhalb eines durch den Forschungsring des Deutschen Weinbaues geförderten Projektes wurde ein flexibel steuerbares Anwendungsprogramm zur Berechnung des Huglin-Index implementiert. Damit erfolgten flächendeckende Berechnungen für für ausgewählte Weinbaugebiete Deutschlands ([Stock et al. 2007](#)), darunter Baden-Württemberg ([Stock 2005](#)). Die dabei in Baden-Württemberg für das Jahrzehnt 1990-2000 ausgewiesenen [potenziellen Weinbaugebiete](#) waren weitgehend deckungsgleich mit den für 2003 [erfassten Rebflächen](#). Unter Nutzung des CRU-Datensatzes (CRU, [CRU TS 2.0](#)) erfolgte eine Berechnung für Gesamteuropa mit geringerer räumlicher Auflösung ([Stock et al. 2005](#)). Der Kern dieses Algorithmus' wurde übernommen und als Wirkmodell PIK-10 in FISKA implementiert.

Validierung / Verifikation

Beim Huglin-Index handelt es sich um eine zweckmäßige Definition der in der Realität keine beobachtbare biologische Größe entspricht. Daher ist eine Validierung im klassischen Sinne generell nicht möglich. Jedoch zeigte der o. g. Vergleich realer und als potenziell geeignet ausgewiesener Flächen in Baden-Württemberg für das Jahr 2003 eine gute Übereinstimmung. Damit ist zumindest ein Anhaltspunkt für die Zweckmäßigkeit der durch Huglin getroffenen Definition gegeben.

Interpretationshilfen

In einer vorab realisierten Untersuchung zur zukünftigen Entwicklung des Huglin-Index in Deutschland konnte festgestellt werden, dass sich eine Auswertung basierend auf einem Vergleichszeitraum 1991-2000 empfiehlt. Für dieses Jahrzehnt konnten w. o. g. eine gute Übereinstimmungen von realen und als potenziell geeignet

ausgewiesenen Rebflächen erzielt werden. Es zeigte sich auch in weiterführenden Untersuchungen zum Weinbau, dass der deutsche Qualitätsweinbau von dem damals beginnenden Klimawandel überwiegend profitierte. In diesem Jahrzehnt etablierte sich der deutsche Weinbau auch im internationalen Maßstab als Produzent hochwertiger Weine auf einem bis dahin nicht erreichten qualitativen und quantitativen Niveau, so dass durch die traditionellen Hauptproduzenten Frankreich, Italien und Spanien im Rahmen der EU versucht wurde, zunehmend regulierend einzugreifen. Von Winzern und Wissenschaftlern vor Ort werden z. B. die 1990er Jahre an der Mosel trotz aller Probleme als „goldene Jahre“ bezeichnet. Daher wurde dieses Jahrzehnt in der vorliegenden Studie als Vergleichszeitraum festgelegt. Der Huglin-Index wurde exemplarisch für drei Zeiträume verglichen:

- 1991/2000 – ein Zeitraum für den sowohl Daten aus den Beobachtungen des DWD, als auch Ergebnisse aus den Kontrollläufen für die Modelle WETTREG und REMO vorliegen und in Deutschland quasi optimale Bedingungen in den traditionellen Weinbaugebieten herrschten
- 2021/2030 – Vergleichsjahrzehnt innerhalb der Zukunftsszenarien mit „persönlicher“ Relevanz für derzeit tätige Winzer
- 2051/2060 – Vergleichsjahrzehnt innerhalb der Zukunftsszenarien mit „persönlicher“ Relevanz für derzeit in der Ausbildung befindliche Winzer.

Es wird für beide Zukunftszeiträume eine stetige Abnahme der vom Weinbau **auszuschließenden** Flächen ausgewiesen. Die sich daraus ergebende thermisch potenzielle Gesamtfläche darf aber in keinem Fall ohne weitere Untersuchungen als für Weinbau geeignet angesehen werden. Über den Huglin-Index hinausgehende Untersuchungen zeigten insbesondere im Osten Deutschlands (z. B. für die zunehmend „aufgerebte“ Lausitz und Mecklenburg-Vorpommern) und für die Randgebiete bisheriger Weinbauregionen ein für wirtschaftliche Nutzung nicht zu akzeptierendes rein klimatisch bedingtes Risikopotenzial, z. B. durch Winter- bzw. Spätfrostschäden.

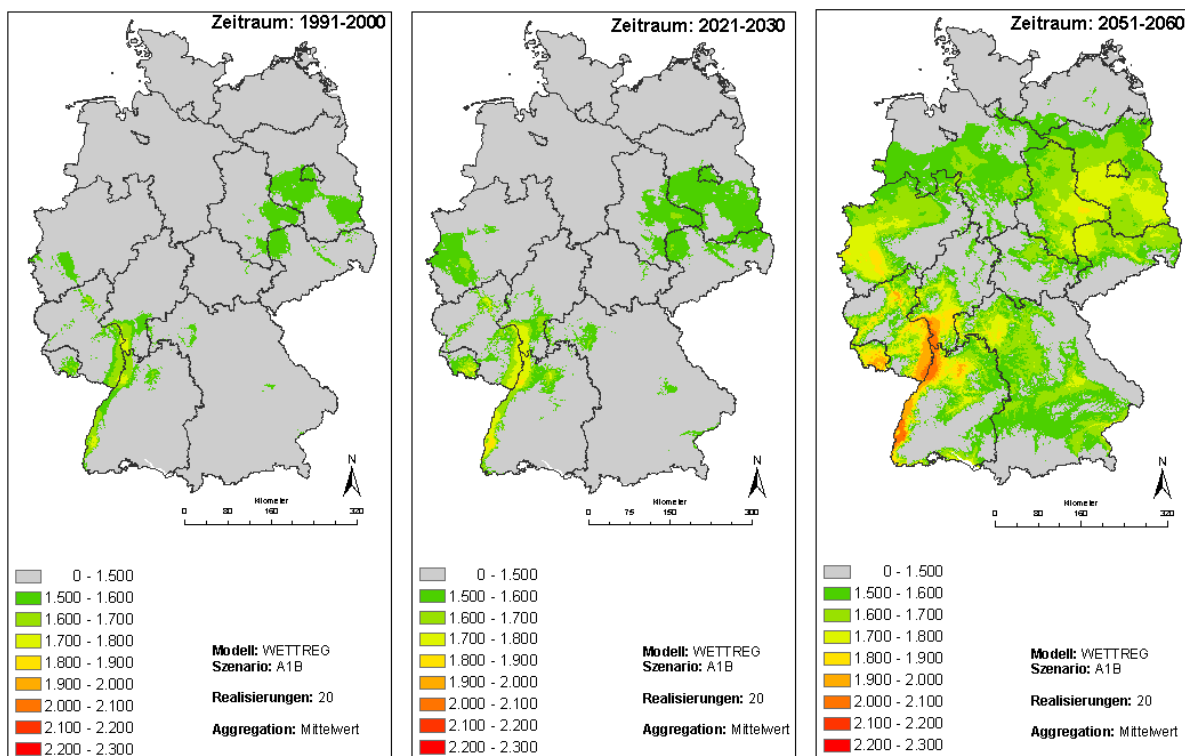


Abb. 3.4.1: Huglin-Index (WETTREG) für einen Kontrollzeitraum 1991-2000, Szenarien für 2021-2030 und 2051-2060 (A1B; Mittel über alle 20 Realisierungen)

Verbesserungsmöglichkeiten

Grundsätzlich lässt sich die Belastbarkeit des sehr einfachen Huglin-Index nicht mehr weiter verbessern. Jedoch stellt er wie bereits erwähnt ein mit extrem einfacher Methodik und einem Minimum an Eingabedaten zu ermittelndes Ausschlusskriterium dar. Weiterführende Bewertungen für eine Eignung zum Weinbau sollten daher:

- rein klimatisch bedingte Schädigungen (Fröste, Trockenheit etc.),
- direkte Standortbedingungen (Boden, Umgebungsvegetation, Mikroklima etc.)
sowie
- Auftreten und Wirkung von Schaderregern

berücksichtigen.

3.5 Reifezahl für die Maissortenwahl (PIK-11)

Verwendete Eingabedaten

Meteorologische Größe	Einheit	DWD	WETTREG	REMO
Tagesmittel der Lufttemperatur	°C	●	●	●

Tab. 3.5.1: Verwendete meteorologische Größen und Verfügbarkeit für das Wirkmodell PIK-11
(● = im Datensatz vorhanden, ● = unvollständig, ● = fehlend)

Auswahl des Wirkmodells / Definition

Wachstum und Reife der Maispflanze stehen in einem Temperaturbereich zwischen 6°C und 30°C in einem engen Zusammenhang zur Tagesdurchschnittstemperatur. Die an einem Standort gegebenen klimatischen Bedingungen erfordern die Auswahl einer geeigneten Maissorte nach der sogenannten Reifezahl. Kühlere Standorte erfordern früher reifende Sorten mit niedriger Reifezahl als wärmere Standorte, wo später reifende Maissorten mit höherer Reifezahl eingesetzt werden können (vgl. z. B. KWS SAAT AG, [Das KWS Mais-Sortiment](#) und INARO, [Anbauhinweise](#)). Die Reifezahl gibt auch an, wie viel Stärke in das Maiskorn eingelagert werden kann, eng korreliert mit dem Trockensubstanzgehalt (TS) im Korn. Die Reifezahl liefert Information über die für Standort und Klima optimale Energieausbeute der Biomasse Mais und kann daher der Landwirtschaft als Anpassungsmaßnahme an den Klimawandel dienen. Der Index des Deutschen Maiskomitees (vgl. DMK, [Reifebestimmung](#)) und hat den Vorteil geringen Datenbedarfs (nur Temperatur) bei dennoch großräumiger Aussagekraft. Als Faustformel gilt, dass eine Differenz von 10 Einheiten zwischen den Reifezahlen etwa einen Unterschied von 1-2 Tagen in der Reife und von 1-2% TS im Korn bedeutet.

Alternative Methoden zur Bestimmung der Reifezahl

In Bayern hat ein alternatives, von der französischen *Association générale des producteurs de maïs* (AGPM) entwickeltes Prognosemodell (vgl. LfL, [Das Mais-Reifeprognosemodell nach AGPM](#)) in den letzten Jahren eine hohe Treffsicherheit bewiesen und wird zur Vorhersage von Reifestadium und Erntetermin genutzt. In diesem Prognosemodell wird ähnlich wie beim Huglin-Index für Wein (PIK-10) für jeden Tag ein Temperaturwert nach folgender Formel berechnet:

$$T = (T_{\min} + T_{\max}) / 2 - 6$$

Es wird also eine mittlere Tagestemperatur als Durchschnitt zwischen Tagesmaximum und -minimum berechnet und davon werden 6°C abgezogen. Diese T-Werte werden nun ab der Saat, etwa ab dem 20. April, aufsummiert und ergeben den Prognosewert für die Auswahl der Maissorte nach der Reifezahl. Im Unterschied zu dem von uns verwendeten Index erlaubt diese Methode unterschiedliche Prognosen für Silo- und Körnermais.

3.6 Waldbrandindex nach Käse (PIK-13)

Verwendete Eingabedaten

Meteorologische Größe	Einheit	DWD	WETTREG	REMO
Tagesminimum der Lufttemperatur	°C	●	●	●
Tagesmaximum der Lufttemperatur	°C	●	●	●
Tagesmittel der Lufttemperatur	°C	●	●	●
Tagessumme des Niederschlags	mm	●	●	●
Tagesmittel der relativen Feuchte	%	●	●	●

Tab. 3.6.1: Verwendete meteorologische Größen und Verfügbarkeit für das Wirkmodell PIK-13
(● = im Datensatz vorhanden, ● = unvollständig, ● = fehlend)

Grundlagen

Im Vergleich zu anderen Bedrohungen für die Waldbestände in Deutschland (tierische Schädlinge oder Sturmschäden), und verglichen mit den dramatischen Schadenspotenzial von Waldbränden in Südeuropa spielen Waldbrände in Deutschland keine dominierende Rolle. Die Schäden durch Waldbrände in Deutschland können dennoch beträchtlich sein, insbesondere wenn neben den Schäden durch den unmittelbaren Substanzverlust auch Folgekosten durch die Brandbekämpfung, Überwachung, Vorsorge, Wiederaufforstung, Wertminderung, Ausfall an Massezuwachs und Beeinträchtigungen durch Krankheiten und Schädlinge berücksichtigt werden, die in geschädigten Wäldern günstigere Entwicklungsbedingungen finden.

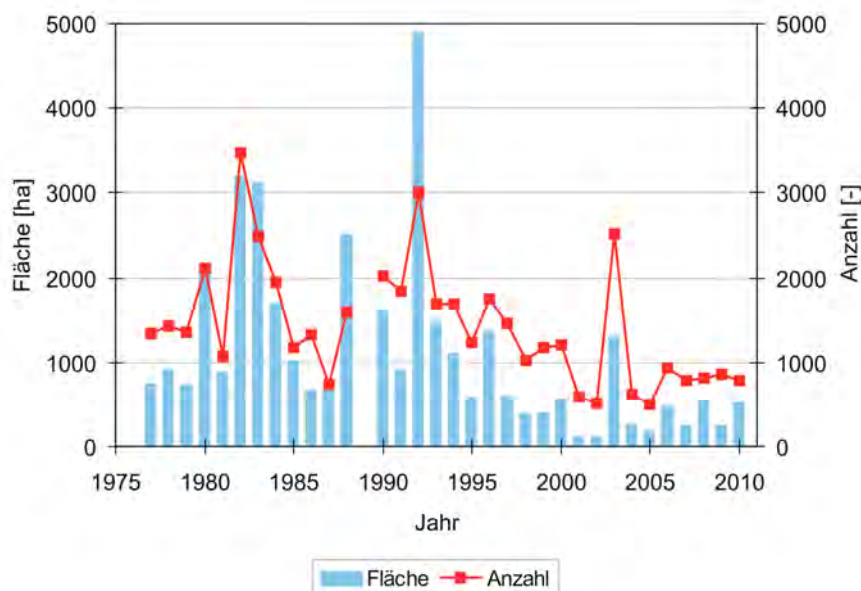


Abb. 3.6.1: Anzahl der Waldbrände und Schadflächen in Deutschland im Zeitraum 1977-2010 (Datengrundlage BLE 2002 bis 2011 und Bruscek 1994)

Die mittlere Anzahl der Waldbrände lag in den Jahren von 2002 bis 2010 bei jährlich 925 Ereignissen, bei einer mittleren jährlichen Schadenfläche von 439 ha. Die Entwicklung seit 1977 (vgl. Abb. 3.6.1) zeigt eine Tendenz der Abnahme von Waldbrandanzahl, geschädigter Fläche und Schadenfläche je Waldbrand. Allerdings zeigen

die Großbrände bei Jüterbog in den Jahren 2003, 2008 und 2010 und der Waldbrand am Thumsee bei Bad Reichenhall, dass nicht nur in den besonders gefährdeten Wäldern in Ostdeutschland, sondern auch in risikoärmeren Gebieten Großbrände weiterhin möglich sind.

Ein Anstieg der Waldbrandgefahr durch den Klimawandel ist eher wahrscheinlich, aber nicht zwangsläufig mit einer höheren Anzahl von Waldbränden verbunden. Bei der Entstehung von Bränden spielen menschliche Einflüsse eine entscheidende Rolle. Die weitaus häufigsten Brandursachen sind Fahrlässigkeit und vorsätzliche Brandstiftung. Positive Einflussgrößen sind die mögliche raschere Ortung und Alarmierung bei Waldbränden durch automatische Systeme (FireWatch) oder per Handy durch Waldbesucher und der Waldumbau zu weniger brandgefährdeten Laub- oder Mischwäldern.

Die Zünd- und Brennbereitschaft ist allgemein abhängig vom Bestandstyp, -alter und klimatischen Verhältnissen, sowie besonders vom Witterungsgang und der Entwicklung der Vegetation im Jahresverlauf. Regionale Schwerpunkte sind die ostdeutschen Bundesländer (vgl. Abbildung 3.6.2).

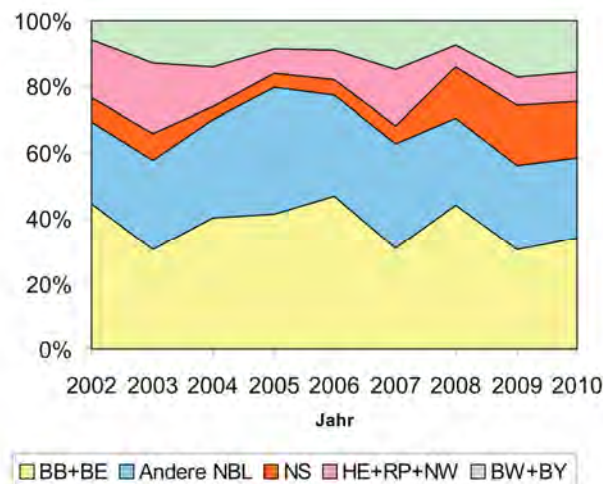


Abb. 3.6.2: Anteil der Bundesländer an den Waldbränden im Zeitraum 2002-2010 (Datengrundlage BLE 2003 bis 2011)

Etwa zwei Drittel aller Waldbrände werden hier registriert und Brandenburg allein nimmt mit einem Drittel aller Brände eine Spitzenstellung ein. Die Gründe liegen u. a. in den geringeren Niederschlagsmengen und teilweise heißen Sommern (klimatisch kontinentale Tönung), Böden mit hoher Wärmeleitfähigkeit (Austrocknen der Streuauflage) und geringem Wasserhaltevermögen und den immer noch weit verbreiteten Kiefer-Monokulturen (leicht brennbare Bodenvegetation, trockenes Waldinnenklima, tiefe Beastung). Dazu kommt ein hoher Anteil an kampfmittelbelasteten Flächen (Handwaffenmunition als Ursache von Waldbränden). Weitere regionale Schwerpunkte sind das nördliche Sachsen und Sachsen-Anhalt sowie Gebiete in Niedersachsen.

Zur Charakterisierung der Waldbrandgefährdung dienen:

(1) Waldbrandgefahrenklassen (WBGK)

Die Einteilung der Waldlandschaften meist in die Klassen A, B und C (vgl. Tabelle 3.6.2) erfolgte überwiegend in den östlichen Bundesländern und berücksichtigt neben der Bestockungsstruktur und klimatischen Bedingungen die Auswertung langjähriger Brandstatistiken über die durchschnittliche Totalbrandfläche je 100.000 ha Waldfläche. Sie werden auf einer geeigneten räumlichen Basis (z. B. Forstämter, Landkreise oder als Isolinienbild) ausgewiesen. Als Beispiel sind für Brandenburg in Tabelle 3.6.2 die WBGK und die zugrunde gelegten Kriterien (Stand 1977, nach Bruschek 1994) angegeben. Die Einteilung wird regelmäßig fortgeschrieben oder angepasst (vgl. auch Landesforst Mecklenburg-Vorpommern 1999). Die WBGK entsprechen also eher einer mittelfristig geltenden Gefahreinschätzung.

WBGK	Gebietsbewertung	Kriterien
C	geringe Waldbrandgefahr	TBF < 5 ha
B	mittlere Waldbrandgefahr	TBF 5 – 50 ha
A	hohe Waldbrandgefahr	TBF > 50 ha
A1	sehr hohe Waldbrandgefahr	TBF > 50 ha und mindestens 3 Großbrände > 100 ha zwischen 1925 und 1964

Tab. 3.6.2: Waldbrandgefahrenklassen für Brandenburg (TBF=durchschnittliche Totalbrandfläche je 100.000 ha Waldfläche)

(2) Waldbrandindizes

Zur Abschätzung der aktuellen Gefährdung werden zahlreiche Indizes genutzt, die entweder indirekt aus meteorologischen Beobachtungen einer (oder mehrerer) Größen den Witterungsverlauf berücksichtigen oder direkt den Feuchtegehalt des brennbaren Materials über die Zeit beschreiben. Beispiele sind der ursprünglich für Bayern entwickelte Baumgartner-Index, die Waldbrandkennziffer nach Käse, das M-68-Verfahren oder der kanadische Fire Weather Index.

(3) Waldbrandwarnstufen (WWST oder WST)

Die Waldbrandwarnstufen dienen zur Kennzeichnung des Grades der aktuellen Waldbrandgefährdung. Sie dienen der Prävention, zur Information der Öffentlichkeit und können mit Maßnahmen wie z. B. verbesserter Überwachung oder Auflagen für Waldbesucher verbunden sein. Sie werden auf der Grundlage von Waldbrandgefahrenindizes ermittelt (vgl. Tabelle 3.6.3 bis 3.6.5) und von den zuständigen Behörden im Bedarfsfall in geeigneter Weise bekanntgegeben. Die Vorgehensweise und Einteilung ist regional unterschiedlich und wird meist in Waldbrandschutzverordnungen geregelt.

(4) Waldbrandrisikostufe (WBRs)

Die EU-Kommission klassifizierte die Waldregionen Europas in Risikostufen. Brandenburg (fast flächendeckend) und die angrenzenden Landkreise in den benachbarten Bundesländern werden in die höchste Waldbrandrisikostufe eingestuft, wie auch Südfrankreich, Korsika und Südspanien. Um dieses zentrale Gebiet mit hohem Waldbrandrisiko werden Flächen mittleren Risikos ausgewiesen, die sich auch im Südwesten Deutschlands im Rhein-Main-Tiefland und im nördlichen und südlichen

Oberheintiefeland finden (vgl. Abbildung 3.6.3). Die Waldbrandrisikostufen sind mit den Waldbrandgefahrenklassen direkt vergleichbar.

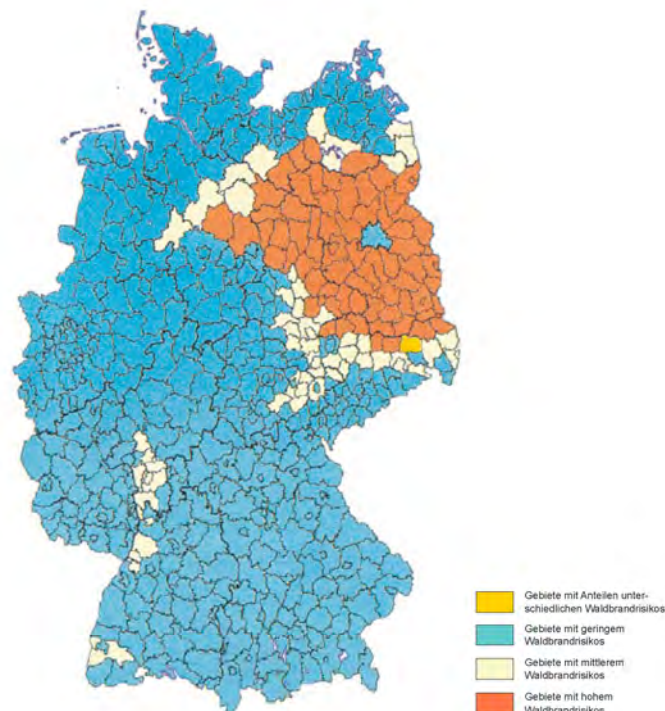


Abb. 3.6.3: Einteilung der Bundesrepublik Deutschland in Waldbrandrisikogebiete (Quelle AID 2001)

Die Waldbrandkennziffer nach Käse

Da das Verfahren nach Käse (Käse 1969) Grundlage sowohl des implementierten Wirkmodells als auch einer Reihe weiterer Ansätze zur Abschätzung der Waldbrandgefährdung ist, sollen die Grundzüge des Ansatzes, sowie der jeweiligen Adaptionen kurz charakterisiert werden.

H. Käse empfahl nach langjährigen Vorarbeiten eine Methode zur objektiven Bestimmung der Waldbrandgefährdung unter den klimatischen Bedingungen Mitteleuropas, die mit Hilfe routinemäßig gewonnener meteorologischer bzw. phänologischer Daten und in Verbindung mit der Wetterprognose die Vorhersage der Waldbrandgefahr erlaubt. Zur Beschreibung werden komplexe Waldbrandkennziffern (WBKZ) genutzt, die nach folgendem Ansatz bestimmt werden.

$$WBKZ = \sum_{15.2.}^{30.9.} (t_{13} + 10) \cdot \Delta e_{13}$$

mit t_{13} - Lufttemperatur um 13 Uhr [°C]

Δe_{13} - Sättigungsdefizit um 13 Uhr [mm Hg]

Die Summation beginnt am 15. Februar, bzw. bei einer bestehenden geschlossenen Schneedecke ≥ 1 cm am ersten Tag nach dem Abtauen der Schneedecke. Zur Vermeidung negativer Werte wird zur gemessenen Temperatur grundsätzlich der Wert 10 addiert. Bei Temperaturen unter $-9,9^{\circ}\text{C}$ wird der Tageswert der Kennziffer Null gesetzt. Vor der Addition des aktuellen Tageswertes wird die bis zum Vortag aufsummierte Waldbrandkennziffer entsprechend der in den vorausgegangenen 24

Stunden gefallenen Niederschlagsmenge bzw. wegen des Vorhandenseins einer geschlossenen Schneedecke und entsprechend des aktuellen Vegetationsstandes korrigiert. Die Rechenvorschrift zur Bestimmung der WBKZ des aktuellen Tages ist tabelliert.

Bezugszeitpunkt für die genutzten meteorologischen Daten ist 13 Uhr (Mittagstermin der 4-terminigen Klimabeobachtung) liegen also in der Nähe des Maximums der Lufttemperatur und des Sättigungsdefizites, die Niederschlagsmenge eines Tages wird ebenfalls von 13 Uhr bis 13 Uhr gerechnet. Zur Abschätzung der Beziehungen zwischen den in „freien Lagen“ gemessenen Werten und den Bedingungen an den Brandentstehungsorten wurden die Mittelwerte der Lufttemperatur, des Sättigungsdefizites, der Niederschlagssumme und der Windgeschwindigkeiten für Tage mit und ohne Waldbrand bestimmt und die Differenzen auf Signifikanz geprüft.

Die Zünd- und Brennbereitschaft des brennbaren Materials ist von den Feuchteverhältnissen der Luft und der Menge des gefallenen Niederschlags abhängig. Eine Korrektur wird bei einer Niederschlagsmenge von mindestens 1 mm durchgeführt. Bei einer Niederschlagsmenge unter 5 mm wird die bisherige WBKZ halbiert, zwischen 5 und unter 10 mm geviertelt, zwischen 10 und unter 20 mm gleich Null gesetzt und die Summation neu begonnen. Bei Werten ab 20 mm wird die bisherige WBKZ gleich Null gesetzt und zusätzlich die Tageswerte an den ersten drei Tagen der neu aufgesetzten Summation halbiert. Tritt eine geschlossene Schneedecke nach dem 15. Februar auf, wird die bisherige WBKZ halbiert, bei einer Andauer von 2 Tagen geviertelt und ab dem dritten Tag gleich Null gesetzt, ohne Berücksichtigung der Tageswerte. Sind Korrekturen durch eine Schneedecke und Niederschläge notwendig, ist die jeweils stärkere Reduktion der WBKZ maßgebend.

Die Korrektur der WBKZ nach dem Vegetationsstand berücksichtigt zunächst die phänologische Phase Blattentfaltung der Birke, da bis zu diesem Zeitpunkt das Wiederergrünen der Bodenvegetation abgeschlossen ist und die erhöhte Gefahr durch die im trockenen Zustand hochgradig zündbereite abgestorbene Vorjahresvegetation gemildert wird (WBKZ wird bis zu diesem Zeitpunkt mit dem Faktor 3 multipliziert). Bis zum Eintritt des ersten Niederschlagsereignisses mit mindestens 5 mm nach Eintritt der phänologischen Phase Robinie erste Blüten wird die WBKZ verdoppelt. Bis dahin ist die volle Belaubung aller Laubbäume erreicht und bei den Nadelbäumen ist der Maitrieb erfolgt. Die nun erreichte verringerte Zündbereitschaft der Bodenflora und des Bodenbelags dauert oft bis zum Verwelken der Bodenvegetation, bei feuchter Witterung bis in den Herbst (vgl. Käse 1969, S. 19). Für eine befriedigende Charakterisierung des Übergangs fand Käse allerdings keine handhabbare phänologische Phase. Ersatzweise wird vom ersten Niederschlagsereignis mit mindestens 5 mm nach dem 14. August, spätestens aber ab dem 1. September bis zum Ende der waldbrandgefährdeten Zeit die WBKZ halbiert.

Als Datengrundlage für die Überprüfung der Aussagekraft dienten Waldbrandhäufigkeiten in vier nadelbaumreichen Waldgebieten (Quellgebiet/Oberlauf der Havel, Altmark, Raum Potsdam-Jüterbog, Lausitz) für die Jahre 1954 bis 1959. Nach Prüfung der statistischen Kennwerte und Verteilungen der WBKZ für Brandtage und Tage ohne Waldbrand werden die WBKZ und die Zahl der Brandtage in den 4 Untersuchungsgebieten auf der Basis von Pentadenmitteln in Beziehung gesetzt. Für die 4 Gebiete ergeben sich Korrelationskoeffizienten r zwischen 0,67 und 0,86. Alle Werte liegen über dem Zufallshöchstwert der Korrelationskoeffizienten (28 Freiheitsgrade, Sicherungsgrenze 0,1%) von 0,50. Nach Wertung der gesamten Prüfung wird geschlossen, dass die berechneten Waldbrandkennziffern die jeweils herrschende Brandgefährdung hinreichend treffsicher charakterisieren (Käse 1969, S. 47).

Die Waldbrandkennziffer nach Käse kann zur Abgrenzung von räumlichen und zeitlichen Schwerpunkten der Waldbrandgefährdung herangezogen werden und zeigt eine gute, aber regional stärker differenzierte Übereinstimmung mit den allgemeinen, aus den festgestellten durchschnittlichen Brandschäden abgeleiteten Gefahrenklassen A, B und C. Darüber hinaus gewinnt Käse aus den relativen Häufigkeiten für das Auftreten von Tagen mit mindestens einem Waldbrand auf der Grundlage von Klassen mit 500 Einheiten (bzw. mit 1000 Einheiten ab der 21. Klasse) eine Abgrenzung von Bereichen der WBKZ in denen die relative Brandhäufigkeit zwischen bestimmten Grenzwerten liegt. Diese Bereiche können als Warnstufen interpretiert werden (vgl. Tabelle 3.6.3).

Warnstufe	WBKZ [-]	P [%]
keine	≤ 500	< 3
1	501 - 2000	3 - 20
2	2001 - 4000	20 - 39
3	4001 - 7000	40 - 69
4	> 7000	≥ 60

Tab. 3.6.3: Ableitung von Warnstufen nach WBKZ und Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Waldbränden nach Käse (1969)

TGL 24334 Vorhersage der Waldbrandgefährdung

Auf der Grundlage des Verfahrens nach Käse wurde 1971 der Fachbereichsstandard TGL 24334 eingeführt und galt ab 01.01.1972 verbindlich für die Vorhersage der Waldbrandgefährdung in der DDR. Die Waldbrandkennziffer WZ berechnet sich hier nach der Grundgleichung:

$$WZ = \sum_{15.2.}^{30.9.} \frac{(t_{13} + K)}{10} \cdot (E_{t_{13}} - E_{t_{13}} \cdot \frac{U_{13}}{100})$$

mit t_{13} - Lufttemperatur um 13 Uhr [°C]

K - Summand

$E_{t_{13}}$ - bei Lufttemperatur t_{13} maximal möglicher Dampfdruck [mm Hg]

U_{13} - relative Luftfeuchte um 13 Uhr [%]

Größe und Ableitung des Summanden K wird in der TGL selbst nicht spezifiziert, nach anderen Quellen, z. B. Flemming (1994) gilt:

$$K = \begin{cases} 30 & \text{wenn } 70 \leq U_{13} \leq 100 \\ 20 & \text{wenn } 30 \leq U_{13} \leq 65 \\ 10 & \text{wenn } 0 \leq U_{13} \leq 25 \end{cases}$$

Die Umsetzung für den operationellen Einsatz war mit einigen weiteren Modifikationen, Konkretisierungen und Ergänzungen verbunden:

1. Die relative Feuchte wird grundsätzlich auf volle 5%-Werte gerundet, die Temperatur auf ganze Grad.
2. Der Ausdruck hinter dem Summenzeichen wurde neu tabelliert, d.h. WBKZ und WZ sind zahlenmäßig nicht direkt vergleichbar.

3. Für die Vorhersage der Zünd- und Brennbereitschaft wird der für den Folgetag prognostizierte Wert für Temperaturmaximum und Minimum der relativen Luftfeuchte für die Berechnung des Tageswertes der WZ genutzt (bis zu diesem Tag die jeweiligen Messdaten).
4. Die aus den WZ abzuleitenden Warnstufen werden nach Tabelle 3.6.4 in Abhängigkeit der für das Gebiet geltenden Waldbrandgefahrenklasse, der vorhergesagten Windgeschwindigkeit und dem Wochentag für den die Prognose gilt (w=werktags, s=sonn-, feiertags, sonnabends) klassifiziert.
5. Eine Niederschlagskorrektur der WZ wird bei der Prognose nicht angebracht, allerdings wird die vorhergesagte Warnstufe (WST) bei beobachteten Niederschlägen zwischen 13 Uhr des Vortages und 7 Uhr des Prognosetages reduziert (vgl. TGL 24334 1971).
6. Die Korrekturfaktoren für den Niederschlag und die Schneedecke nach Käse bleiben erhalten, aber der Fall Niederschlag ≥ 20 mm entfällt.
7. Bei der Korrektur über die Phänologie wird die Grenze zwischen Phase 3 und 4 modifiziert, maßgebend ist jetzt generell der Eintritt eines Niederschlagsereignisses mit mindestens 5 mm nach dem 1. September.

Dazu werden allgemeine Anforderungen an Daten und Zahl bzw. Qualität der Stationen, auch in Abhängigkeit von der Größe und Höhenlage der Gebiete formuliert und Hinweise zur Erhebung der Phänologiedaten und Beurteilung der Schneedecke gegeben.

WZ [-]	Windgeschwindigkeit									
	bis 8 m/s			ab 9 m/s						
	WBGK									
	A1, A	B	C	A1	A	B	B	C	C	
ws	ws	ws	w	s	w	s	w	s		
≤ 50	-	-	-	-	-					
51 - 100	-	-	-	I	I		I			
101 - 150	I	-	-	I	I	I	I			I
151 - 200	I	I	I	I	II	I	I	I	I	I
201 - 300	I	I	I	I	II	I	II	I	I	I
301 - 500	II	II	I	II	III	II	III	I	II	II
501 - 700	III	II	II	III	III	III	III	II	III	III
> 700	IV	III	III	IV	IV	IV	IV	III	IV	IV

Tab. 3.6.4: Ableitung von Warnstufen aus den WZ nach TGL 24334 (1971)

M-68 Modell (nach Käse)

Nach 1990 ist das Verfahren nach TGL 24334 als M-68 Modell nach Käse in den neuen Bundesländern weitergeführt worden. Geringfügige Abweichungen zum ehemaligen Standard sind vernachlässigbar und betreffen z. B. für Mecklenburg-Vor-

pommern die folgenden Punkte (vgl. Landesforst Mecklenburg-Vorpommern 1999, Anlage 4):

1. Die Berechnung der Warnstufen beginnt erst am 1. März.
2. Berücksichtigung der MESZ
3. Die Waldbrandgefahrenklasse A1 wird nicht berücksichtigt. Eine Differenzierung nach dem Wochentag entfällt, stattdessen werden die Warnstufen für sonn-, feiertags und sonnabends angenommen.
4. Die Herabsetzung der Warnstufen wegen beobachteter Niederschläge zwischen 13 Uhr des Vortages und 7 Uhr des Prognosetages erfolgt weniger stark.

Waldbrandgefahrenindex M-68 des DWD (Käse/Wittich)

Aufgrund seiner Zuverlässigkeit wurde das Prognoseverfahren M-68 Mitte der 1990er Jahre vom DWD in seinen operationellen Dienst zur Bestimmung und Vorhersage der Waldbrandgefährdung als Waldbrandgefahrenindex M-68 integriert. Die Ergebnisse werden während der Waldbrandsaison als täglich aktualisierte Waldbrandgefahrenprognosen für Deutschland vom DWD im Internet bereitgestellt (DWD, [Waldbrandgefahrenindex M-68](#), beachte auch DWD, [Erläuterungen](#) und DWD, [wichtige Hinweise](#)).

Auch hier war die Umsetzung mit kleineren Anpassungen und Verbesserungen verbunden.

1. Die Gefährdungsstufe wird wie international üblich von 1 bis 5 klassifiziert (vgl. Tabelle 3.6.5).
2. Im Unterschied zum M-68 Modell nutzt der DWD keine Tabelle zur Bestimmung der WZ Ausgangsgröße, sondern eine dreidimensionale Funktion in Abhängigkeit von Temperatur und relativer Feuchte $WZ = f(T, RF)$. Diese Funktion glättet Sprungstellen, die zumindest in der Originaltabelle des M-68 zu finden waren (Wittich 2011).
3. Im Prognosefall wird nicht mehr auf das Temperaturmaximum und das Minimum der relativen Luftfeuchte (vgl. Abschnitt TGL, Punkt 3) und eine nachträgliche Niederschlagskorrektur zurückgegriffen, sondern kontinuierlich mit prognostizierten Werten für Temperatur, relative Feuchte und Niederschlag weitergerechnet, um mit der Vergangenheit konform zu sein (Wittich 2011).
4. Längerer Prognosezeitraum und zusätzliche Nutzung von Niederschlagsradarinformationen.

Gefährdungsstufe International	Beschreibung	Warnstufe Original M-68
1	sehr geringe Gefahr	0
2	geringe Gefahr	1
3	mittlere Gefahr	2
4	hohe Gefahr	3
5	sehr hohe Gefahr	4

Tab. 3.6.5: Stufen der Waldbrandgefährdung nach dem Waldbrandgefahrenindex M-68 (internationale Skalierung)

Der Waldbrandgefahrenindex beschreibt das meteorologische Potenzial für die Gefährdung eines Waldes durch Brand und ist nicht identisch mit der Waldbrandwarnstufe vor Ort, die von Landes- oder örtlichen Behörden festgelegt wird, auch wenn diese zahlenmäßig unter Berücksichtigung der geänderten Skalierung häufig übereinstimmen.

Bei der Bestimmung und Vorhersage der Waldbrandwarnstufen WWST sind das Prognoseverfahren M-68 nach Käse und der Waldbrandindex des DWD (Käse/Wittich) als gleichwertig anzusehen (vgl. Landesforst Mecklenburg-Vorpommern 1999). Neben dem Waldbrandindex M-68 und dem ebenfalls öffentlich zugänglichen Grasbrandfeuerindex GLFI werden vom DWD zusätzliche Waldbrandindizes wie etwa der ursprünglich für Bayern entwickelte (und dort ausschließlich gebräuchliche) Baumgartner-Index, der schwedische Angström-Index sowie Komponenten des kanadischen Waldbrandwarnsystems (Fire Weather Index, Fine Fuel Moisture Code) operationell berechnet und dienen den Katastrophenschutz-Einrichtungen einiger Bundesländer zur besseren Einschätzung der Gefahrenlage (Wittich, Janssen 2007, S. 16).

Auswahl des Wirkmodells / Definition

Da der Waldbrandgefahrenindex M-68 des DWD für einen Einsatz in FISKA nicht zur Verfügung stand und durch die Vorgaben des operationellen Einsatzes und der Prognose auch nicht unmittelbar geeignet ist, wurde für das Wirkmodell Waldbrandindex nach einer einfachen Möglichkeit gesucht, die meteorologische Waldbrandgefahr auch für Klimaszenarien beschreiben zu können. Als Ausgangspunkt wurde zunächst auf den Original-Ansatz von Käse zurückgegriffen und den Bedingungen in FISKA angepasst.

1. Die Waldbrandkennziffer wird täglich zwischen dem 46. und 274. Tag im Jahr berechnet und nach Tabelle 3.6.3 bzw. 3.6.5 in die Warnstufe nach internationaler Skalierung umgesetzt. Daraus wird das Mittel aller Warnstufen für diesen Zeitraum bestimmt und als Jahresindexwert der Waldbrandgefährdung ausgegeben.
2. Alle Niederschlags- und Phänologiekorrekturen erfolgen nach dem Originalansatz. Lediglich der Fall Niederschlag ≥ 20 mm entfällt (vgl. Abschnitt TGL und Flemming 1994).
3. Die Zukunftsszenarien beinhalten keine Angaben zur Schneehöhe, d. h. eine unmittelbare Korrektur der Kennziffer durch eine geschlossene Schneedecke ist nicht möglich. Für eine erste Umsetzung des Wirkmodells wurde diese Korrektur nicht berücksichtigt (vgl. Abschnitt Verbesserungsmöglichkeiten).
4. Alle benötigten meteorologischen Eingangsgrößen gehen mit ihren 13 Uhr-Werten in die Berechnung ein, liegen aber nur auf Tageswertbasis vor. Für die Lufttemperatur wurde näherungsweise das Tagesmaximum angesetzt (das erscheint gerechtfertigt, da der 13 Uhr-Wert in der Nähe des Tagesmaximums liegt (vgl. auch Nutzung des prognostizierten Tagesmaximums im TGL-Verfahren und im M-68). Statt der Niederschlagssumme zwischen 13 Uhr des Vortags und 13 Uhr des aktuellen Tages, wird die unveränderte Tagessumme des Niederschlags genutzt. Mit einer Auswirkung auf das Ergebnis als Jahreswert ist nicht zu rechnen. Ein stärkerer Einfluss ist bei der Bestimmung des Sättigungsdefizits aus Sättigungsdampfdruck beim Tagesmaximum der Temperatur und Tageswert der relativen Luftfeuchte zu erwarten (vgl. Abschnitt Verbesserungsmöglichkeiten).

Die Aggregation der Kennziffern zu Warnstufen und die Mittelwertbildung über die gesamte Waldbrandsaison machen den Indikator unempfindlich gegenüber den vorgenommenen Vereinfachungen. Entsprechende Testrechnungen wurden für ausgewählte Stationen, an denen die notwendigen Daten in vollem Umfang vorlagen, durchgeführt und zeigen keine wesentlichen Differenzen zwischen dem Original-Ansatz von Käse und dem hier genutzten, vereinfachten Waldbrandindex nach Käse. Mit der hier implementierten Funktionalität lässt sich daher die mittlere potenzielle meteorologische Waldbrandgefährdung in Zukunftsszenarien und im aufgezeichneten Klima der Vergangenheit aufzeigen.

Validierung / Verifikation

Der Waldbrandkennziffer nach Käse und die daraus abgeleiteten Größen (wie z. B. die Warnstufe) zur Beschreibung der Brandgefährdung sind bereits in der Originalarbeit einer umfangreichen Prüfung unterzogen worden, beziehen sich strenggenommen aber nur auf die Verhältnisse in Kiefernwäldern. Das aus dem Verfahren nach Käse abgeleitete M-68 Modell, das bereits vor mehr als drei Jahrzehnten in der DDR eingeführt wurde und nach wie vor Grundlage der aktuellen Waldbrandgefährdungsprognose des DWD ist, hat sich insgesamt als sehr zuverlässig erwiesen. Badeck *et al.* (2004) fanden bei Untersuchungen zum Waldbrandrisiko in Brandenburg einen Korrelationskoeffizienten von 0,82 zwischen der Anzahl der Waldbrände und dem Jahresmittel des Waldbrandindex' nach Käse (59 Klimastationen, Untersuchungszeitraum 1975-2000, $p < 0,001$).

Interpretationshilfen

Die Beispielkarten zeigen, dass der Waldbrandindex die Gefährdungsverhältnisse für die Regionen gut abzubilden vermag. Besonders waldbrandgefährdete Gebiete sind die auf armen Standorten mit einem trockenen Klima seit dem Beginn der geregelten Forstwirtschaft im großen Umfang entstandenen Kiefern-Reinbestände (Waldweide oder Streunutzung übernutzter Wälder, überwiegend mit Kiefer aufgeforstete Heideflächen, planmäßige Begründung und Fortführung von Kiefernforsten). Ein solcher Waldgürtel zieht sich von der polnischen Grenze über Brandenburg, südliches Mecklenburg-Vorpommern, Nordsachsen, Sachsen-Anhalt, das nördliche Niedersachsen bis hin zur den Niederlanden. Außerhalb dieses Gürtels liegen weitere kleinere brandgefährdete Gebiete in der Schleswig-Holsteinischen Geest, der Oberpfalz, dem Nürnberger Reichswald und in der Oberrheinebene. Besonders jüngere oder lichte Nadelwälder mit leicht brennbarem Material wie Gras, Heide oder trockenen Ästen bieten dem Waldbrand optimale Zündbedingungen. Je höher der Anteil an Kiefernbeständen – bis zu einem Alter von 40 Jahren – desto gefährdeter sind diese Wälder (Kaulfuß 2011).

Verbesserungsmöglichkeiten

Der notwendigen Vereinfachungen die beim Wirkmodell vorgenommen wurden, sollten beseitigt werden. Durch das Wirkmodell PIK-18 steht in FISKA eine Möglichkeit zur Verfügung die Entwicklung der Schneedecke aus den vorliegenden meteorologischen Größen abzuschätzen und eine vorhandene Schneedecke bei der Berechnung der Waldbrandkennziffern durch Kopplung der beiden Wirkmodelle zu berücksichtigen. Die Abschätzung des Tagesminimums der relativen Feuchte kann im Mittel für das Gesamtgebiet oder auf Stations- bzw. Gitterpunktbasis verbessert werden. Regional ist dadurch eine Verbesserung der Ergebnisse des Waldbrandindex zu erwarten.

Die Phänologiekorrektur mit dem Eintritt der Blattentfaltung der Birke wurde zunächst nur über den langjährigen Mittelwert der Blattentfaltung am 115. Tag des Jahres im Wirkmodell berücksichtigt. Der Termin sollte ebenfalls über ein Temperatursummenmodell bestimmt werden, so wie es im Wirkmodell PIK-06 „Austrieb der drei Baumarten Buche, Eiche und Birke“ bereits umgesetzt wurde.

Eine getrennte Bewertung der Waldbrandgefahr für Nadel- und Laubbaumbestände ist eine mögliche Ergänzung, die CORINE-Daten bieten entsprechende Informationen.

3.7 Waldbrandindikator nach Bruscek (PIK-14)

Verwendete Eingabedaten

Meteorologische Größe	Einheit	DWD	WETTREG	REMO
Tagesmaximum der Lufttemperatur	°C	●	●	●
Tagessumme des Niederschlags	mm	●	●	●

Tab. 3.7.1: Verwendete meteorologische Größen und Verfügbarkeit für das Wirkmodell PIK-14
(● = im Datensatz vorhanden, ● = unvollständig, ● = fehlend)

Auswahl des Wirkmodells / Definition

Einen weniger komplexen Zugang zur Waldbrandgefahr als über die Waldbrandkennziffer nach Käse, bietet der Ansatz von Bruscek (1994), der direkt die Anzahl der Waldbrände mit dem Quotienten aus Anzahl der Sommertage und Summe des Niederschlags in der Vegetationsperiode in Beziehung setzt. Dieses Verhältnis lässt sich jedoch nur a posteriori berechnen, ist also für Prognosezwecke nicht geeignet. Aber aus den meteorologischen Daten eines Jahres ist ein Indikator berechenbar, der eine gute Korrelation mit der Anzahl der Waldbrände des Jahres zeigt. Bei der Betrachtung von Klimaszenarien kann diese Information Aufschluss über zu erwartende Veränderungen bezüglich der Waldbrandgefahr geben.

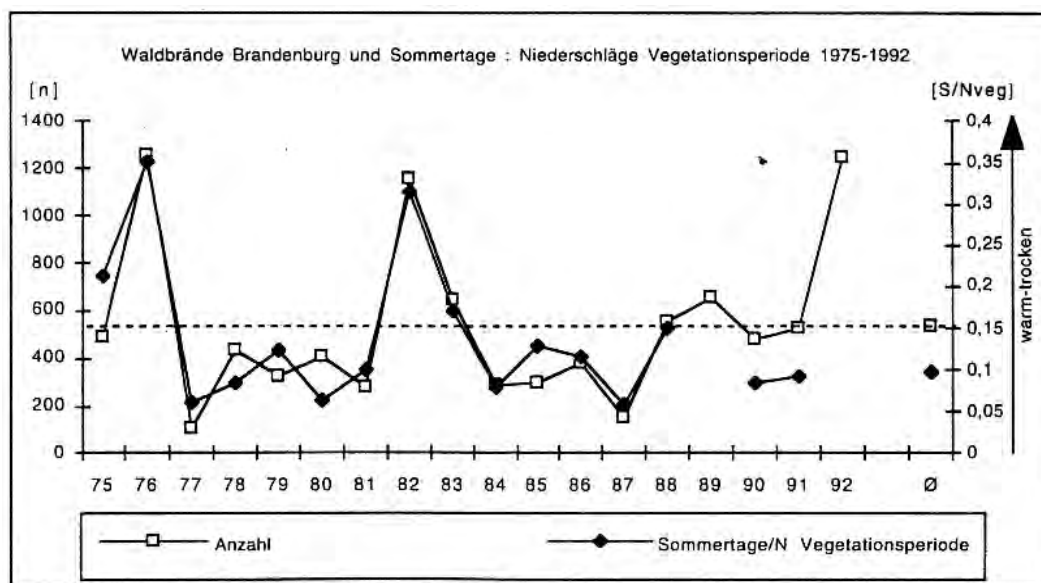


Abb. 3.7.1: Zahl der Waldbrände in Brandenburg im Vergleich zum Verhältnis Sommertage: Niederschlag in der Vegetationsperiode, aus Bruscek (1994)

Validierung / Verifikation

Bruscek untersuchte den Zusammenhang zwischen der Anzahl der Waldbrände in Brandenburg und den klimatischen Bedingungen in der Zeit von 1975 bis 1992. Die von ihm gefundene gute Korrelation ist in Abbildung 3.7.1 visualisiert. Sein Index korreliert stark für den untersuchten Zeitraum und die für die Untersuchung verwendete Station Potsdam. Diesen starken Zusammenhang wies auch Badeck *et al.* (2004) für insgesamt 59 Stationen in Brandenburg für den Zeitraum von 1975 bis 2000 mit einem Korrelationskoeffizienten von 0,76 nach. Ein räumlich differenzierender Ansatz

wurde von Gerstengarbe & Werner (1997) für Brandenburg vorgestellt. Dabei wurde Brandenburg durch 9 Stationen in Gebiete einheitlicher Klimacharakteristik unterteilt und der Index nach Bruscek zur Zahl der Waldbrände in diesen Gebieten in Beziehung gesetzt. Es ergaben sich ähnlich gute Korrelationen ($r=0,74$ bis $0,91$).

Alle Untersuchungen wurden bisher ausschließlich für das durch seine Kiefernforste charakterisierte Land Brandenburg durchgeführt. Brandenburg gilt als das durch Waldbrände am stärksten gefährdete und am häufigsten betroffene Bundesland. Für andere Bundesländer oder Regionen muss die Anwendbarkeit des Verfahrens noch nachgewiesen werden. Der Index bietet jedoch in der vorliegenden Form bereits die Möglichkeit potenziell stärker gefährdete Gebiete (Hot-spots) in Deutschland zu identifizieren.

Interpretationshilfen

Die Beispielkarten zeigen, dass die bekannten Regionen höherer Waldbrandgefährdung vom Index nach Bruscek erfasst werden. Als Hot-spots einer möglichen stärkeren Veränderung wird z. B. vom Modell WETTREG (Differenz 2091/2100, eine Realisierung und den DWD-Beobachtungsdaten 1991/2000) ein Streifen im Norddeutschen Tiefland vom der Ems-Hunte-Geest bis zum nördlichen Brandenburg ausgewiesen. Für eine belastbare Interpretation sind jedoch detaillierte Auswertungen notwendig (Beachte auch die allgemeinen Ausführungen zu möglichen Interpretationen und ihren Grenzen).

Um die Plausibilität der Ergebnisse des Index nach Bruscek weiter zu testen, wurden zwei kurze Zeitreihen näher untersucht.

1. Zeitraum 1977 – 1988

Für diesen Zeitraum liegen die Waldbrandzahlen aggregiert für die Flächen der heutigen alten und neuen Bundesländer und speziell für Brandenburg vor. Ein Vergleich mit den Index-Werten nach Bruscek kann auf der Grundlage der DWD-Beobachtungsdaten erfolgen.

2. Zeitraum 2002 – 2010

Für diesen Zeitraum liegen die Waldbrandzahlen auf Bundesländerebene vor, so dass ein erster Blick auf die Übertragbarkeit des Index erfolgen kann. Leider fällt dieser Zeitraum bereits in den Bereich der Zukunftsszenarien. Um trotzdem einen Eindruck zu gewinnen, wurden ersatzweise die Ergebnisse von WETTREG (A1B) als Mittel über alle Realisierungen genutzt.

Für den ersten Zeitraum ergibt sich ein straffer Zusammenhang zwischen Waldbrandanzahl und Gebietsmittel des Bruscek-Index, sowohl für Brandenburg als auch für das Gesamtgebiet der DDR (vgl. Abb. 3.7.2), mit Korrelationskoeffizienten von $0,92$ bzw. $0,93$. Für das Gebiet der BRD ist das Ergebnis mit $r = 0,23$ deutlich schlechter, es gibt keinen gesicherten Zusammenhang. Eine Auswertung der Mittel der Indexwerte nur für Gebiete für die CORINE-Landnutzungsklasse Nadelwald bringt keine Verbesserung. Die hohen Waldbrandzahlen auf dem Gebiet der DDR dominieren die Verhältnisse für beide Gebiete zusammen aber so stark, dass der Korrelationskoeffizient wieder auf $0,76$ ansteigt.

Bei den mittleren Verhältnissen im Zeitraum 2002-2010 zeigt sich eine breite Streuung für die einzelnen Bundesländer. Die Waldbrandzahlen sind jedoch stark von anthropogenen Einflüssen geprägt (Abhängigkeit von der Entfernung zu Siedlungen oder Infrastruktureinrichtungen, soziale Kontrolle und bessere Verhütungsmöglichkeiten in dichter besiedelten Gebieten usw.). Daher erscheint es vertretbar, z. B. die

Stadtstaaten und kleinen Flächenländer versuchsweise auszuschließen, was die Ergebnisse bereits deutlich verbessert. Wie zu erwarten zeigen auch die neuen Bundesländer für sich deutlich bessere Ergebnisse. Interessanterweise weichen die Verhältnisse in Sachsen-Anhalt aber deutlich von diesem Muster ab. Das deutet darauf hin, dass eine Analyse auf Bundesländerebene nicht ausreichend ist. In Sachsen-Anhalt ist das Waldbrandgeschehen deutlich dominiert von den besonders gefährdeten nordöstlichen Tieflandgebieten, in denen im langjährigen Mittel über 80% aller Waldbrände auftreten. Mindestens für Niedersachsen (Osten), Mecklenburg-Vorpommern (Süden), Sachsen (Lausitz) ist mit solchen regionalen Schwerpunkten zu rechnen, die für die Analyse berücksichtigt werden sollten.

Werden die Werte für vermutet vergleichbare Bundesländer aggregiert

- SN+ST = Sachsen und Sachsen-Anhalt mit hoher Gefährdung in Randbereichen,
- MV+TH = Mecklenburg-Vorpommern und Thüringen mit hoher und mittlerer Gefährdung in Randbereichen,
- HE+RP = Hessen und Rheinland-Pfalz mit einzelnen Gebieten geringerer Gefährdung im Rhein-Main-Tiefland und nördlichen Oberrheintiefland,
- BW+BY = Baden-Württemberg und Bayern mit einzelnen Gebieten geringerer Gefährdung im südlichen Oberrheintiefland und z. B. in Ober- bzw. Mittelfranken,
- BB+BE = Brandenburg und Berlin mit hoher Gefährdung,

verbessert sich der beschriebene Zusammenhang nochmals deutlich (vgl. Abbildung 3.7.3) und es ergibt sich ein Korrelationskoeffizient von 0,95. Es bleibt aber festzuhalten, dass die Zusammenfassung zunächst willkürlich ist und die Verhältnisse stark von Brandenburg dominiert werden. Jedoch zeigt sich das Potenzial, das mit dem Waldbrandindikator nach Bruscek verbunden ist. Notwendig ist dazu eine detaillierte Überprüfung der Anwendbarkeit in den alten Bundesländern unter Berücksichtigung regionaler Verhältnisse, die deutlich über die Bundesländerebene hinausgehen.

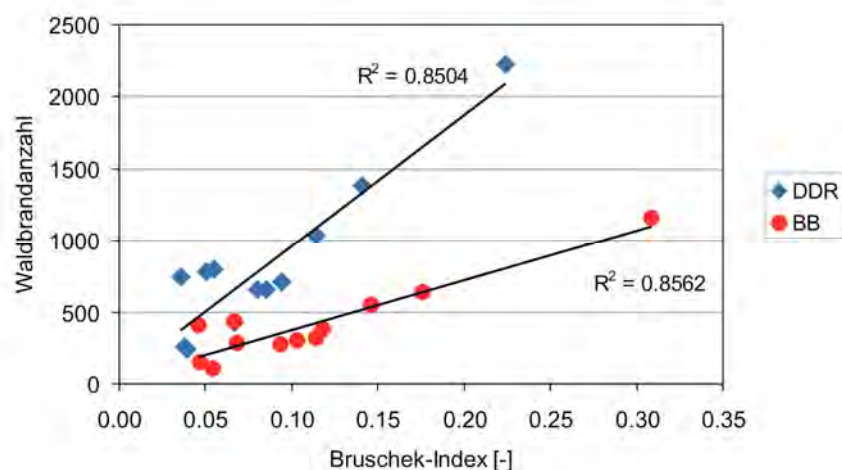


Abb. 3.7.2: Bruscek-Index und Zahl der Waldbrände in der DDR und Brandenburg im Zeitraum 1977 bis 1988

Ergänzungen / Einschränkungen

Der Index kann verwendet werden, um Waldbrand begünstigende Klimabedingungen aufzuzeigen. Die Zahl der tatsächlichen Brände, die Brandfläche und damit der Schaden hängen von weiteren Faktoren ab, die hier nicht berücksichtigt werden.

Der Waldbrandindex nach Bruscek ([PIK Report 2, Vol. 1](#), Extremer Nordsommer 1992) liefert zunächst nur eine an Brandenburger Verhältnisse angepasste Einschätzung der Waldbrandgefährdung.

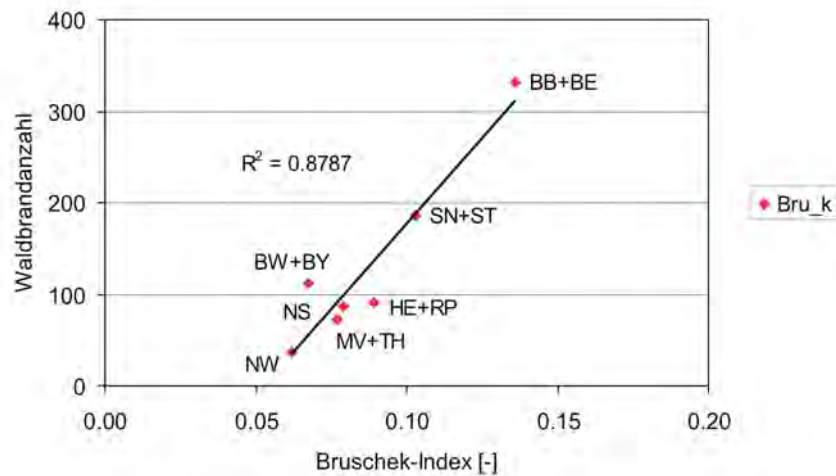


Abb. 3.7.3: Bruscek-Index und Zahl der Waldbrände in verschiedenen Bundesländern im Zeitraum 2002 bis 2010

Vergleich der Waldbrandindikatoren nach Bruscek und Käse

Die beiden Waldbrandindikatoren nach Bruscek und Käse zeigen für die gleichen Zeitabschnitte (1971-2000) mit gleichen Klimadaten (DWD-Beobachtungsdaten) eine sehr ähnliche Waldbrandgefahrenverteilung (vgl. Abbildung 3.7.4).

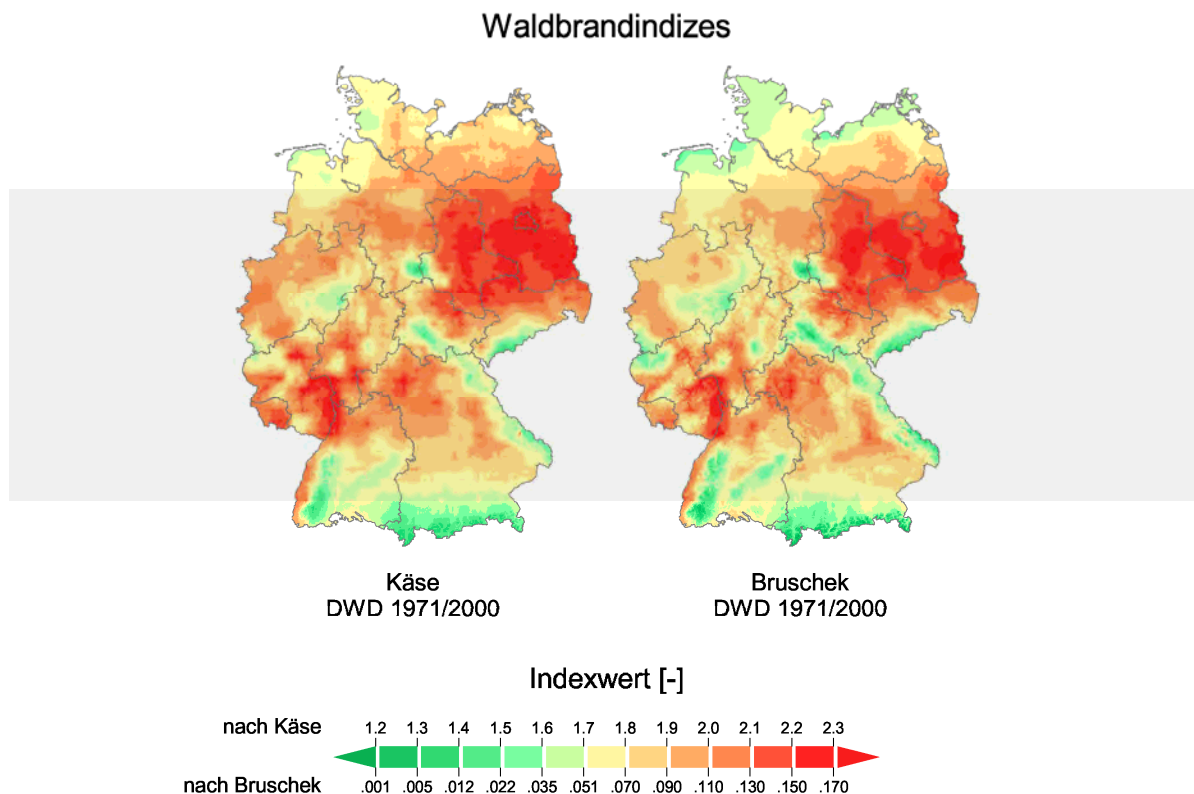


Abb. 3.7.4: Waldbrandindikator nach Käse (Indexwerte 1,1 bis 2,4) und Bruscek (Indexwerte 0 bis 0,18)

Direkt vergleichbar sind die beiden Indizes nicht, der Brushek-Index liefert ein Maß für die Anzahl der (möglichen) Waldbrände, der Index nach Käse die mittlere Warnstufe in der Waldbrandsaison. Eine Parallelisierung der beiden Skalen ist zum jetzigen Zeitpunkt nicht möglich und erfolgte in Abbildung 3.7.4 in Abhängigkeit der auftretenden Werte nach visuellen Kriterien.

In Ergänzung zum Waldbrandindikator nach Käse kann der Index nach Brushek zur Identifizierung von Gebieten mit potenziell höherem Waldbrandrisiko genutzt werden.

Verbesserungsmöglichkeiten

Der Index nach Brushek liefert für Brandenburg Werte zwischen 0 und 0,4, Werte über 0,15 sprechen für typische Waldbrandjahre. Der Zusammenhang zwischen Indexwert und Anzahl der Waldbrände kann regional differenziert abgeleitet werden (vgl. Gerstengarbe & Werner 1997). Auf dieser Grundlage kann der Index nach Brushek Aussagen zu potenziell möglichen Waldbrandzahlen liefern.

3.8 Anbauindikator für die Baumarten Buche, Fichte und Kiefer (PIK-15)

Verwendete Eingabedaten

Meteorologische Größe	Einheit	DWD	WETTREG	REMO
Tagesmaximum der Lufttemperatur	°C	●	●	●
Tagessumme des Niederschlags	mm	●	●	●

Tab. 3.8.1: Verwendete meteorologische Größen und Verfügbarkeit für das Wirkmodell PIK-15
(● = im Datensatz vorhanden, ● = unvollständig, ● = fehlend)

Grundlagen

Die Wälder in Deutschland sind mit einem Flächenanteil von 31% landschaftlich prägend und von besonderer ökologischer, kultureller und forstwirtschaftlicher Bedeutung (BMVEL 2004). Der darin enthaltene Holzvorrat ist der größte in der Europäischen Union und eine bedeutende Kohlenstoffsenke. Als stark umwelt- und naturgebundener Wirtschaftszweig mit langen Produktionszeiträumen besteht die Sorge, dass die Forstwirtschaft besonders stark von den Folgen des Klimawandels betroffen sein wird. Zur Anfälligkeit der Wälder Deutschlands gegenüber dem Klimawandel gibt es eine Vielzahl von Untersuchungen, z. B. Kölling *et al.* (2007), Kölling & Zimmermann (2007) und Kölling & Ammer (2006).

Von Natur aus und ohne den Klimawandel wären 67% der Landfläche Deutschlands von Buchenmischwäldern, 21% von Eichenmischwäldern, 9% von Auwäldern oder feuchten Niederungswäldern, 2% von Bruchwäldern und 1% von reinen Nadelwäldern bedeckt (Meister & Offenberger, 2004). Die jetzige Baumartenzusammensetzung weicht erheblich von dieser potenziell natürlichen Zusammensetzung ab und liegt bei 14,8% Buchen, 9,6% Eichen, 15,7% anderer Laubbäume, 28,2% Fichten, 23,3% Kiefern, 1,5% Tannen und 4,5% anderer Nadelbäume. Der große Anteil von Fichte und Kiefer liegt an ihrer forstwirtschaftlichen Bedeutung als schnellwüchsige und vergleichsweise anspruchslose Baumarten.

Auswahl des Wirkmodells / Definition

Vor diesem Hintergrund wurde ein Wirkmodell gesucht, der für die wichtigsten Baumarten Buche, Fichte und Kiefer die standortbezogene Anbaueignung bei veränderten klimatischen Bedingungen angibt. Ein übliches Verfahren dazu verwendet den Klimahüllenansatz, der das Vorkommen einer Baumart jeweils charakteristischen Temperatur- und Niederschlagsbereichen zuordnet. Eine solche Zuordnung kann mit Hilfe eines Trockenheitsindex TI erfolgen, wie dem nach Reichel (1928):

$$TI = (P \cdot N_p) / ((T + 10) \cdot 180)$$

mit P = Jahresniederschlag,

N_p = Anzahl der Regentage,

T = Jahresdurchschnittstemperatur.

Mitscherlich (1949, 1950a, 1950b) hat unter Verwendung des Trockenheitsindex nach Reichel charakteristische Klimate für die Hauptbaumarten Fichte (*Picea abies*), Buche (*Fagus sylvatica*) und Kiefer (*Pinus sylvestris*) ausgewiesen, in welchen die

genannten Baumarten günstigste Wuchsbedingungen zeigen. Mitscherlich stützte seine Datenerhebung auf ausgewählte Wuchsgebiete, in welchen die Baumarten kultiviert wurden. Für die Kiefer untersuchte er beispielsweise Wuchsgebiete vom damaligen Ostpreußen und Posen bis Westdeutschland (Ost-West) und von Nordschweden bis zum Odenwald (Nord-Süd). Es fehlen dabei jedoch Gebiete der tatsächlichen Verbreitung wie z. B. in Österreich, südlich der Alpen und in Russland.

Untersuchungen von Mitscherlich ergaben innerhalb der bevorzugten Wuchsgebiete der o. g. Baumarten in Deutschland charakteristische Spannen für den Trockenheitsindex:

- Fichte: $65 > TI > 34$, Mittelwert: 48,
- Buche: $65 > TI > 30$, Mittelwert: 45,
- Kiefer: $44 > TI > 26$, Mittelwert: 33.

Die ermittelten baumartenspezifischen Spannen kennzeichnen den Bereich ökologischer Potenz, wo Fortpflanzung und Holzwachstum optimal oder auch geringerer Intensität stattfinden kann (siehe Abb. 3.8.1). Verlässt die Toleranzkurve den Bereich ökologischer Potenz, so bezeichnet man dies als Pessimium. Hier ist zwar die vereinzelte Existenz von Exemplaren aber keine nachhaltige Waldentwicklung möglich.

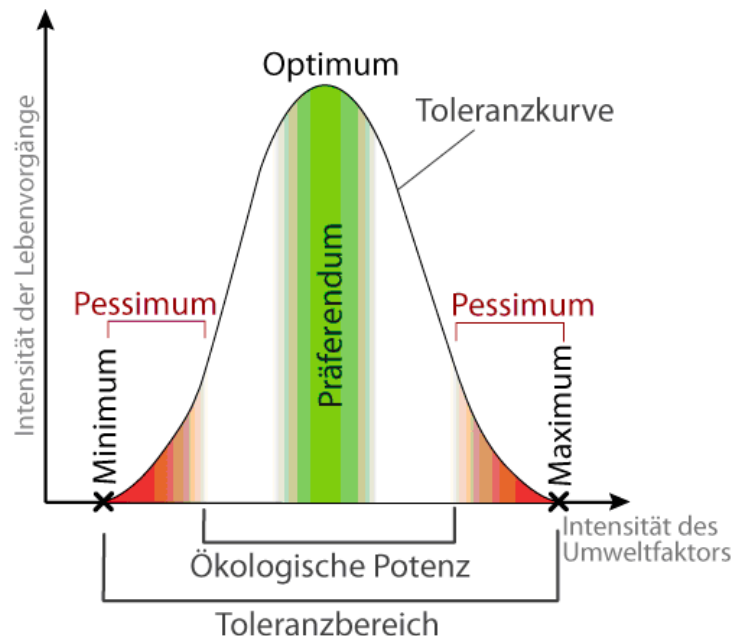


Abb. 3.8.1: Ökologische Toleranzkurve für die Abhängigkeit der Lebensvorgänge von Organismen von Umweltfaktoren (nach Hauer, [Toleranzkurve](#)).

Für die ökologischen Toleranzkurven von Buche, Fichte und Kiefer werden die beobachteten regional unterschiedlichen Ertragsergebnisse mit dem jeweiligen regionalen Trockenheitsindex verglichen, um die optimalen bzw. suboptimalen Bedingungen zu ermitteln. Danach kann man den o. g. Spannen des Trockenheitsindex drei Teilbereiche unterschiedlicher Qualität in Bezug auf die klimatischen Wachstumsbedingungen zuordnen. D.h. der Anbauindikator kann drei Werte annehmen:

1. Das Optimum (Wert 1) beinhaltet alle Werte für TI, die sich in den mittleren 2/3 der Spanne befinden.
2. Das Suboptimum (Wert 2) beinhaltet alle restlichen Werte für TI der Spanne.
3. Das Pessimium (Wert 3) beinhaltet alle Werte für TI außerhalb der Spanne.

Durch die Veränderung des Trockenheitsindexes in den zukünftigen Klimaszenarien lassen sich Aussagen über das künftige Verbreitungsgebiet und positive oder negative Veränderungen der Wachstumsbedingungen ableiten.

Validierung / Verifikation

Abbildung 3.8.2 zeigt die Verbreitungsgebiete von Kiefer, Fichte und Buche in Deutschland nach verschiedenen Quellen (Mátyás 2004, Köble & Seufert 2001). Abbildung 3.8.3 zeigt die entsprechenden Vorkommen, wie sie mit dem Klimatischen Waldbauindikator nach Mitscherlich und DWD-Daten im Zeitraum 1971-1990 berechnet wurden.

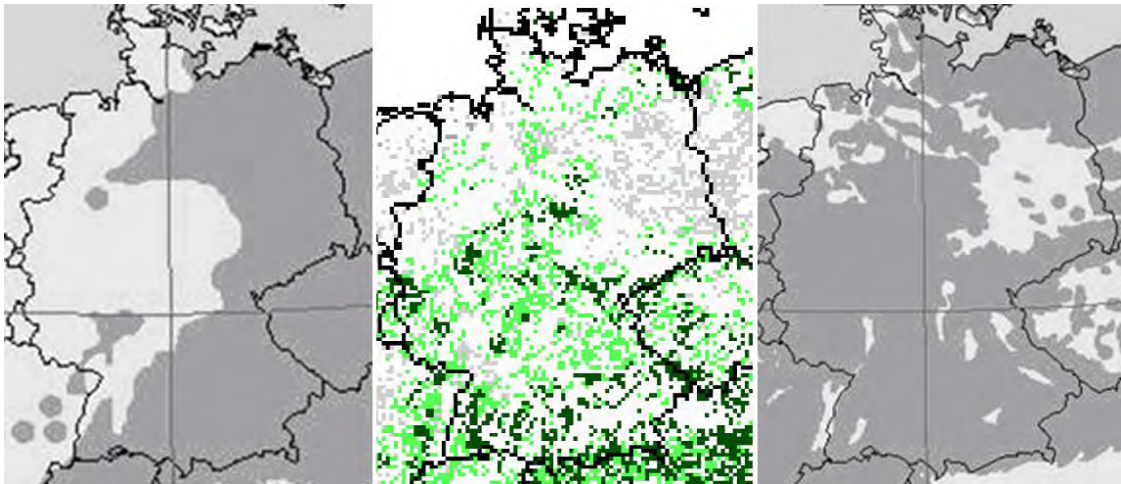


Abb. 3.8.2: Verbreitungsgebiete von Kiefer (li.) und Buche (re.) innerhalb Deutschlands. dunkel: Vorkommen, hell: kein Vorkommen (Mátyás 2004).
Mitte: Verbreitungsgebiet von Fichte dunkelgrün: 51-100% Anteil, hellgrün: 1-50% Anteil, grau: Waldgebiete (Köble & Seufert 2001).

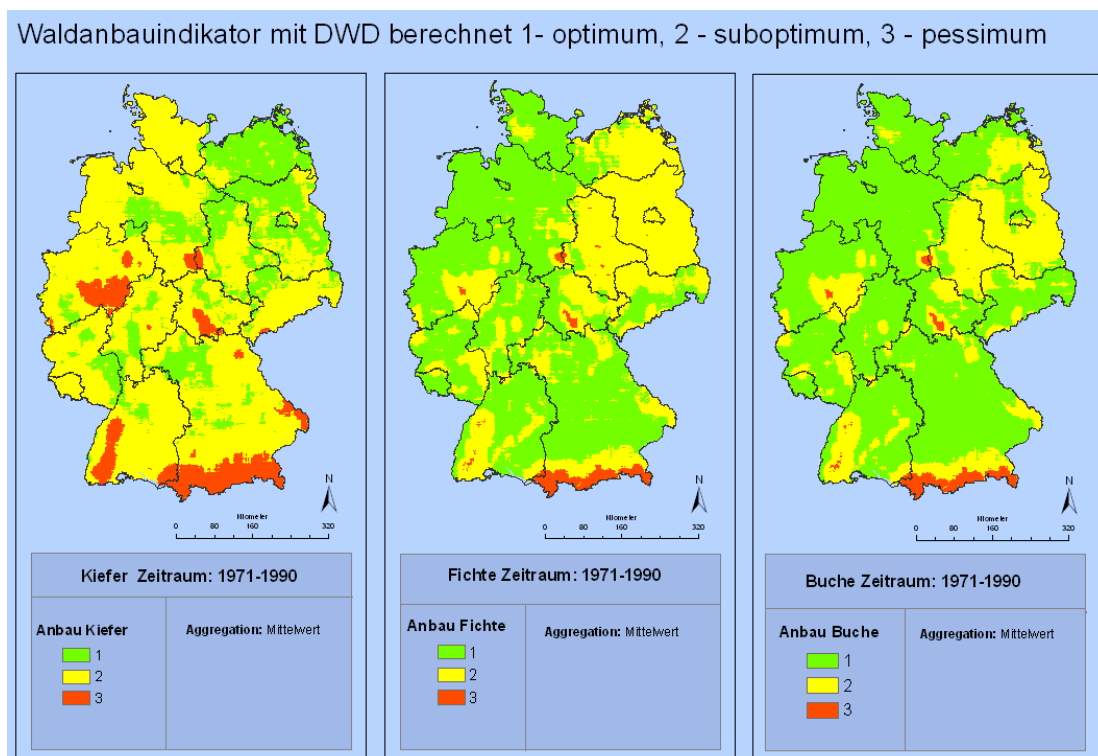


Abb. 3.8.3: Klimatischer Waldbauindikator nach Mitscherlich, DWD-Daten, Zeitraum 1971-1990, Kiefer (li.), Fichte (mi.) und Buche (re.).

Beim Vergleich der Verbreitungsgebiete für eine Baumart ist zu berücksichtigen, dass man in der Literatur sehr stark voneinander unterschiedliche Daten findet, z. B. bei Kölling (2007) oder Bohn & Neuhäusl (2000/2003).

In Anbetracht dieser Unsicherheiten der natürlichen potenziellen Verbreitung wird diese vom Waldbauindikator im Großen und Ganzen befriedigend wiedergegeben. Für den Alpenraum allerdings, der nicht zu den von Mitscherlich ausgewählten Wuchsgebieten gehört, werden die zu erwartenden Wuchsbedingungen für alle drei Baumarten zu pessimistisch angezeigt.

Interpretationshilfen

Der gewählte klimatische Waldbauindikator nach Mitscherlich bietet ein einfaches „Screening“ der im Klimawandel zu erwartenden Veränderungen von Wachstumsgebieten für drei der wichtigsten Baumarten in Deutschland. Er beschränkt sich bei den klimatischen Bedingungen auf langjährige Mittelwerte von Temperatur und Niederschlag. Nicht alle wirksamen klimatischen Faktoren und ihre Änderungen werden so erfasst. Beim Vergleich der Beobachtungsdaten und der Ergebnisse der Modelle WETTREG und REMO für den Zeitraum 1971-1990 (siehe Abb. 3.8.4 und 3.8.5) zeigen sich deutliche Unterschiede, die die bestehenden Unsicherheiten der regionalen Klimamodelle für der Erstellung von Risikokarten aufzeigen. Dies ist auch bei anderen Wirkmodellen zu beobachten und erfordert statt lediglich der Verwendung einzelner Modellrechnenläufe die Verwendung von Ensembles von Klimamodellrechnungen um die Bandbreite möglicher zukünftiger Auswirkungen besser erfassen zu können.

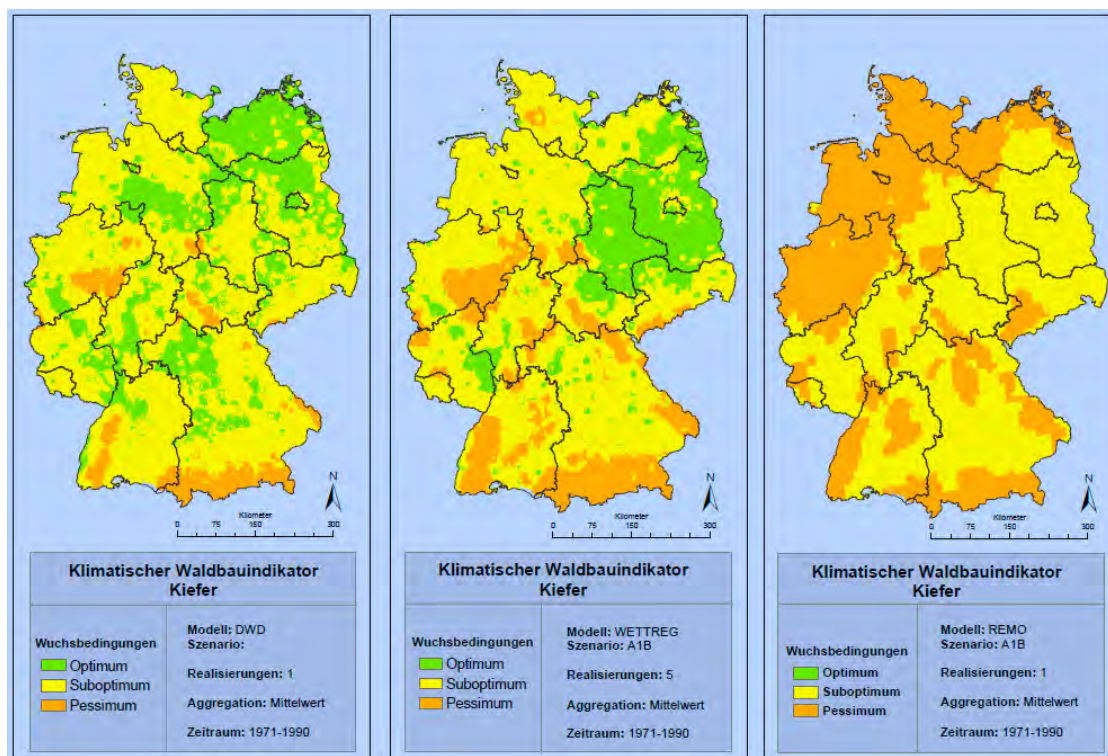


Abb. 3.8.4: Waldbauindikator Kiefer: Vergleich der DWD-Beobachtungsdaten (Links) und der Ergebnisse der Modelle WETTREG (Mitte) und REMO (Rechts) für den Zeitraum 1971-1990.

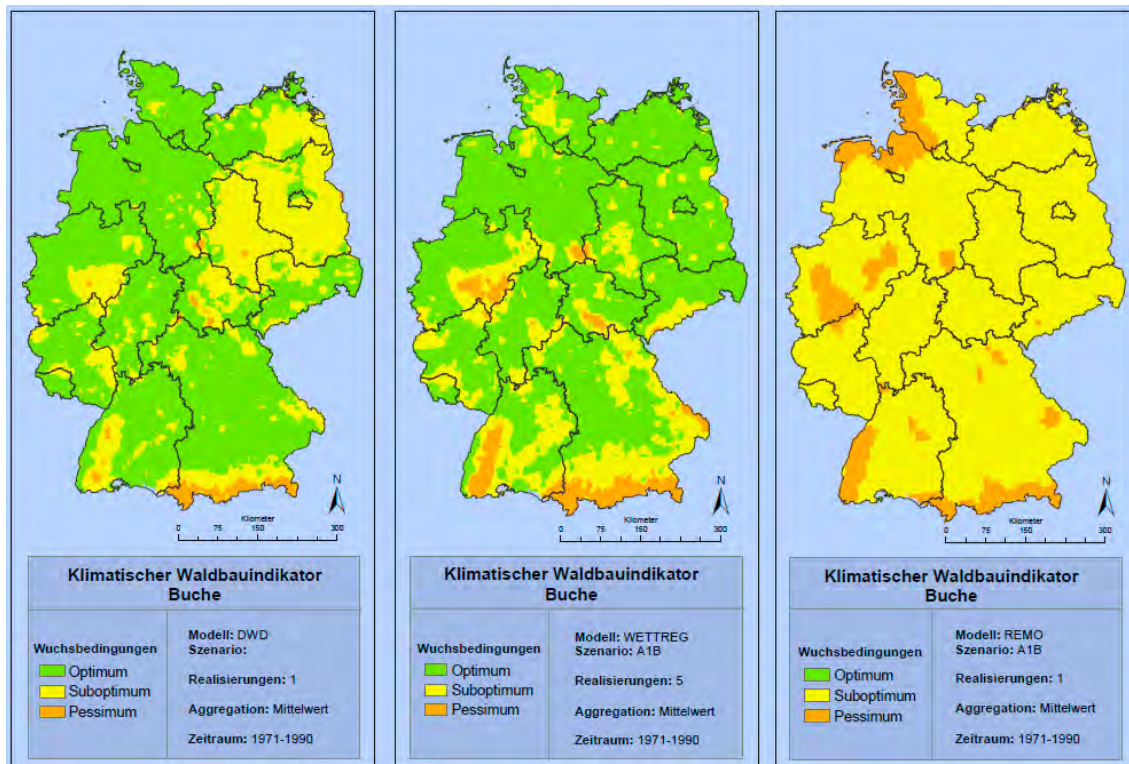


Abb. 3.8.5: Waldbauindikator Buche: Vergleich der DWD-Beobachtungsdaten (Links) und der Ergebnisse der Modelle WETTREG (Mitte) und REMO (Rechts) für den Zeitraum 1971-1990.

Ergänzungen / Einschränkungen

Der gewählte Waldbauindikator beinhaltet keine Wechselwirkungen zu anderen standortsspezifischen Informationen wie zum Beispiel der Wasserhaltekapazität von Böden, der Anpassungsfähigkeit der Baumarten oder der aktuellen Vitalität der Bestände. Die Ergebnisse müssen daher vor dem breiten Hintergrund der Klimahüllen-debatte diskutiert werden. Klimahüllen lassen pedogene Einflüsse, Konkurrenzbeziehungen, Migration, dynamische Populationen, genetische Anpassung, Humaninfluenz außeracht, sie sind lediglich angepasst an die bioklimatischen Variablen, die ausgewählt wurden (Bolte *et al.* 2008).

Verbesserungsmöglichkeiten

Die benötigten Schwellwerte für die Wachstumsbedingungen unter Trockenheit lassen sich mittlerweile statistisch aus neueren Datensätzen ableiten, die auch die Bedingungen im Alpenraum erfassen.

3.9 Fotovoltaikpotenzial (PIK-16)

Verwendete Eingabedaten

Meteorologische Größe	Einheit	DWD	WETTREG	REMO
Tagessumme der Sonnenscheindauer	h	●	●	●

Tab. 3.9.1: Verwendete meteorologische Größen und Verfügbarkeit für das Wirkmodell PIK-16
(● = im Datensatz vorhanden, ● = unvollständig, ● = fehlend)

Auswahl des Wirkmodells / Definition

Unter Fotovoltaik versteht man die direkte Umwandlung von Strahlungsenergie, vornehmlich von Sonnenenergie, in elektrische Energie (Häberlin, 2007). Als größte Energiequelle strahlt die Sonne pro Jahr eine Energiemenge etwa $3,9 \times 10^{24} \text{ J}$ bzw. $1,08 \times 10^{18} \text{ kWh}$ auf die Erdoberfläche ein. Diese Energiemenge entspricht etwa dem 10.000-fachen des anthropogenen Weltenergiebedarfs. Die auf die Erde einfallende Strahlungsdichte ist seit Beginn der Aufzeichnungen annähernd konstant. Dabei können an der Erdoberfläche auf eine optimal zur Sonne ausgerichteten Fläche bei bedeckungsfreien Bedingungen maximal $1,3 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$ Sonnenstrahlung auftreten (extraterrestrische Solarkonstante).

In Mitteleuropa beträgt die jährlich eingestrahelte Energie etwa $1.000 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2}$ (vgl. Wagemann & Eschrich 1994). In der Sahara liegt dieser Wert bei ca. $2.350 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2}$.

Die Werte für den optimalen Neigungswinkel der Photovoltaikflächen in Deutschland liegen im Bereich von 26° bis 36° (JRC, PVGIS).

Klimabedingte Veränderungen der Insolation sind ausschließlich durch veränderte atmosphärische Bedingungen der Transmission zu erwarten. Daher erfolgte für das Wirkmodell in FISKA eine Beschränkung auf einen einfachen Zusammenhang zwischen Veränderungen der Sonnenscheindauer und kumulativer Insolation.

Die kumulativ eingestrahelte Energie E_{Jahr} (in $\text{kWh} \cdot \text{m}^{-2}$) wird wie folgt berechnet:

$$E_{\text{Jahr}} = S_{\text{Jahr}} \cdot H_{\text{Jahr}}$$

mit S_{Jahr} - jährliche durchschnittliche Sonneneinstrahlung ($0,65 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$)

H_{Jahr} - Summe der Sonnenscheindauer im Jahr [h]

Als Wert des Proportionalitätsfaktors S_{Jahr} gilt für ganz Deutschland der Jahresdurchschnitt der Sonneneinstrahlung von $0,65 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$ für optimale Einstrahlung.

Validierung / Verifikation

Zur Validierung wurden Punktuelle Vergleichsrechnungen zu zwei im Internet verfügbaren Solarrechnern mit komplexeren Berechnungsverfahren durchgeführt. Dabei zeigte sich an allen dafür ausgewählten Orten in Deutschland eine überraschend gute Übereinstimmung (vgl. Tab. 3.9.2).

Ort	N-Breite	Ö-Länge	N-Breite	Ö-Länge	PIK-16	JRC	SolServ
					kWh·m ⁻²	kWh·m ⁻²	kWh·m ⁻²
Hamburg	55°33'13"	9°59'29"	55,554	9,991	1010	1100	977
Berlin	52°31'24"	13°24'41"	52,523	13,411	1100	1140	1030
Düsseldorf	51°13'29"	6°46'32"	51,225	6,776	980	1090	1004
Dresden	51°03'03"	13°44'01"	51,051	13,734	1100	1130	1056
Frankfurt/M	50°06'41"	8°40'50"	50,111	8,681	1020	1150	1056
Freiburg/Br	48°01'20"	7°50'01"	48,022	7,834	1150	1230	1136
München	48°08'20"	11°34'48"	48,139	11,580	1100	1300	1162

Tab. 3.9.2: Vergleichsrechnungen des Wirkmodells PIK-16 mit zwei anderen Solarrechnern (DWD 1991-2000)

Photovoltaic Solar Electricity Potential in European Countries

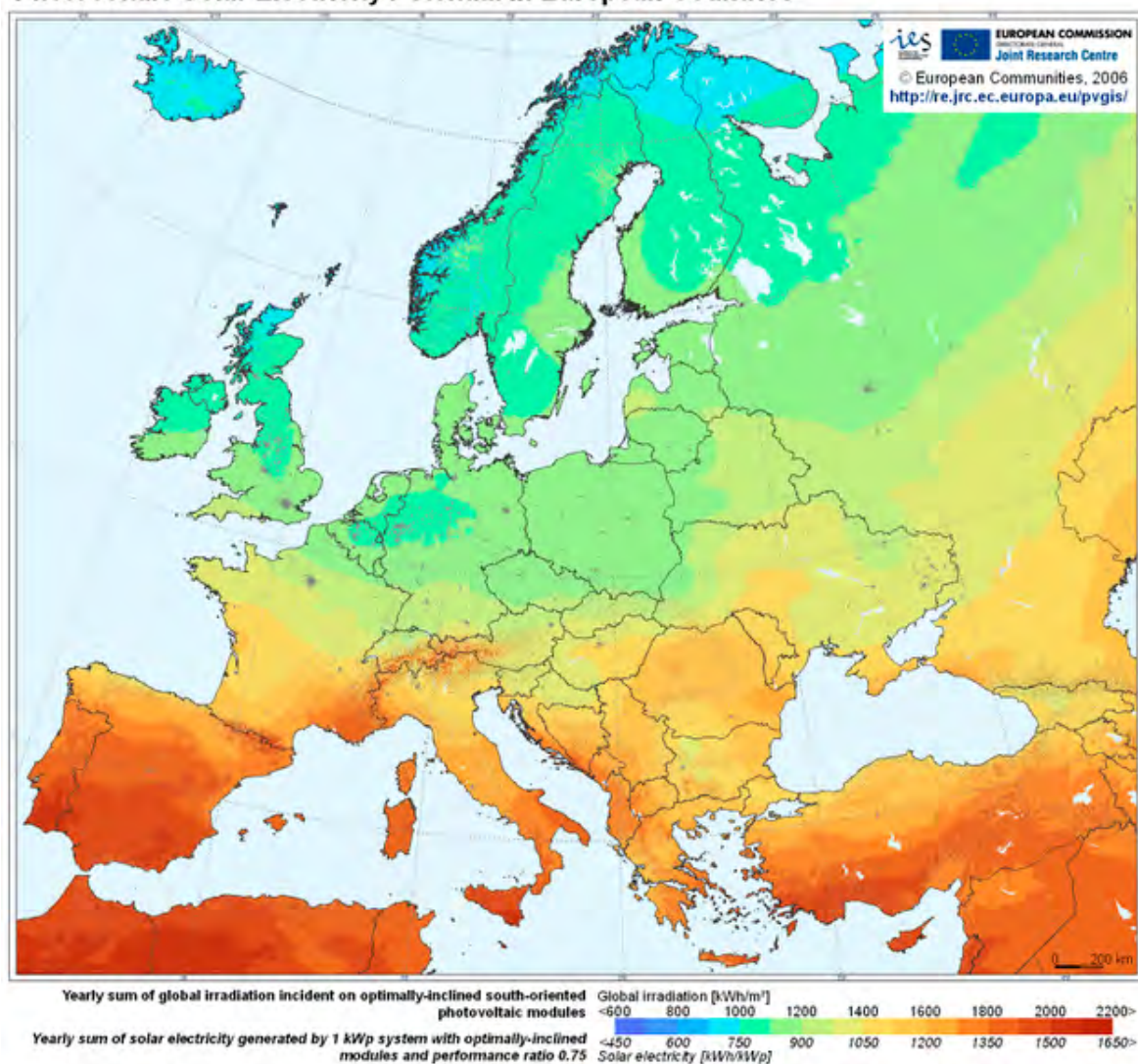


Abb. 3.9.1: Fotovoltaikpotenzial in Europa 2006, nach PVGIS © European Communities, 2001-2008 (vgl. Šúri et al. 2007 und [PVGIS](#))

Für diese Berechnungen fanden neben dem Modul PIK-16 von FISKA die im Internet verfügbaren Solarrechner von JRC ([PVGIS Daten für Solareinstrahlung](#), [Solar radiation and GIS](#)) bzw. der Heindl Server GmbH ([SolarServer](#)) Verwendung.

Die berechneten Werte setzen einen hypothetischen Wirkungsgrad von 100% bei optimaler Flächenausrichtung voraus und stellen einen von der verwendeten Anlagentechnik unabhängigen Maximalwert dar. Das für Anfang des 21. Jahrhunderts gezeigte Fotovoltaikpotenzial auf der Karte nach Photovoltaic Geographical Information System - PVGIS (Abb. 3.9.1) zeigt gegenüber unserer nur auf Deutschland beschränkten Karte (Abb. 3.9.2) eine sehr ähnliche Verteilung, insbesondere bei der Zunahme des Potenzials nach Süddeutschland.

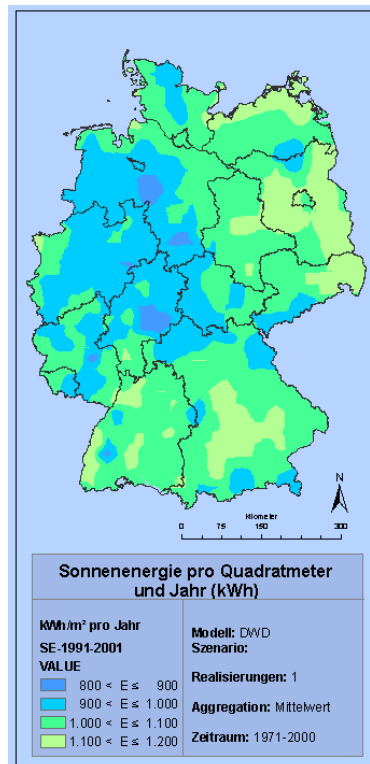


Abb. 3.9.2: In FISKA berechnetes Fotovoltaikpotenzial für Deutschland für die Jahre 1991-2000 unter Nutzung der Beobachtungsdaten des DWD

Interpretationshilfen

Die mit dem Wirkmodell ermittelten Werte sollten als eine relativ grobe Orientierung benutzt werden.

Ergänzungen / Einschränkungen

Im REMO Datensatz ist die Größe Sonnenscheindauer (SD) nicht enthalten (vgl. Tab. 3.9.1), damit kann der Wirkfaktor generell nicht berechnet werden.

Im 2011 vorliegenden Beobachtungsdatensatz (DWD 1971-2000) sind regional gehäuft Fehlwerte für SD enthalten. Ein Nutzer muss diese Regionen in eigener Verantwortung von der Berechnung bzw. Auswertung ausschließen.

Das Wirkmodell ist auf Grund seiner extrem einfachen Form (keine explizite Breitenabhängigkeit) nur in Deutschland bzw. in Regionen gleicher geographischer Breitenlage anwendbar.

3.10 Tourismus: Schneehöhe / Schneesicherheit (PIK-18)

Verwendete Eingabedaten

Meteorologische Größe	Einheit	DWD	WETTREG	REMO
Tagesminimum der Lufttemperatur	°C	●	●	●
Tagesmaximum der Lufttemperatur	°C	●	●	●
Tagessumme des Niederschlags	mm	●	●	●
Tagessumme der Sonnenscheindauer	h	●	●	●

Tab. 3.10.1: Verwendete meteorologische Größen und Verfügbarkeit für das Wirkmodell PIK-18

(● = im Datensatz vorhanden, ● = unvollständig, ● = fehlend)

Grundlagen

Der Tourismus zählt zu den Wirtschaftszweigen die stark von den Klima- und Wetterbedingungen geprägt wird. Eine unmittelbare Abhängigkeit ergibt sich für den schneegebundenen Wintertourismus, der sensitiv auf Veränderungen in der Schneegunst reagiert. Die Schneesicherheit spielt eine zentrale Rolle bei der Beurteilung der Eignung eines Ortes oder einer Region für den Wintersport, allerdings gibt es keine allgemein gültige Definition. Meist wird jedoch die Zahl der Tage mit einer geschlossenen Schneedecke oder einer bestimmten Schneehöhe für festgelegte Zeitperioden benutzt (vgl. Abegg 1996 und Seifert 2004, S. 47ff).

Die Festlegung von Schwellenwerten für die Schneehöhe muss sich nach touristischen Erfordernissen richten. Aus der Literatur ergeben sich dabei Hinweise auf Mindestschneehöhen, die als Voraussetzung für die Durchführbarkeit spezifischer Wintersportaktivitäten gesehen werden:

- Nach OECD (2007) wird aus technischer Sicht das Skifahrpotenzial durch eine Schneedeckenhöhe größer 30 cm definiert (ausreichende Verhältnisse), ab 50 cm gelten die Bedingungen als gut und ab 75 cm als ausgezeichnet (vgl. Witmer 1984). Die Werte sind abhängig von der Art der Piste, z. B. erfordern steinige oder felsige Pisten wesentlich größere Schneehöhen um eine Befahrbarkeit zu sichern.
- Von Matzarakis werden als Schwellenwerte tourismusrelevanter Größen zur Charakterisierung des Skifahrpotenzials 10 cm und 30 cm angesetzt, wobei die Definition einer Schneedecke von 10 cm als für Mittelgebirge hinreichend und zweckmäßig eingeschätzt wird (Matzarakis *et al.* 2009, S. 254).
- Bei spezifischen Wintersportaktivitäten können 10 cm für Skilanglauf, 30 cm für Snowboarding und 40 cm für Alpinski als Anhaltswerte gelten (Kundzewicz *et al.* 2008).
- Für Ski alpin werden 30 cm, für Ski nordisch 15 cm als ausreichend angesehen (Abegg 1996).

Die Angabe von Zahlenwerten ist naturgemäß schwierig da sie auch mit sehr unterschiedlichen Schutzzielen verbunden werden können (z. B. Erholung, Erlebnis, Vermarktung, Boden, Vegetation, Erosion) und viele weitere Faktoren berücksichtigt werden müssten (z. B. Höhe, Neigung, Exposition, Rauigkeit, Bewuchs). Es handelt

sich also eher um Richtwerte für die absolute Untergrenze der für eine entsprechende Nutzung notwendigen Schneehöhe.

Für ein umfassendes Konzept zur Beurteilung der Schneesicherheit sollte neben den bisher genannten Kriterien auch die hohe interannuelle Variabilität des Schnees berücksichtigt werden, so dass sich das folgende Beurteilungsschema ergibt (vgl. Bürki 2000, S. 41):

- Mindestzahl an Tagen
 - Ausreichende Schneehöhe für den Wintersport
 - Auftreten innerhalb der Skisaison
- } definiert einen „guten“ Winter
- Häufigkeit „guter“ Winter über einen längeren Zeitraum

Auswahl des Wirkmodells / Definition

Die DWD-Methode zur Berechnung der Schneehöhen (Rachner 1983, Rachner *et al.* 1992) wurde beim DWD angefragt, aber nicht frei gegeben. Deshalb wurde für das Wirkmodell in FISKA auf einen Ansatz zur Berechnung der Schneehöhen aus täglichen Beobachtungsdaten der Niederschlagsmenge und der Lufttemperatur zurückgegriffen, der für das Verbundprojekt KLARA (Stock 2005) für das Bundesland Baden-Württemberg entwickelt wurde. Das Modell wurde an die Erfordernisse in FISKA angepasst und weiter entwickelt (Österle & Österle 2012, in prep.).

Im Wirkmodell wird zunächst die Möglichkeit der Auswertung der Anzahl der Schneetage mit einer Schneehöhe von mindestens 10 cm und mindestens 30 cm als ausreichend angesehen, um die Entwicklung des Skifahrpotenzials abzuschätzen. Die Mindestanzahl an Tagen wird häufig mit der 100-Tage-Regel umgesetzt, muss aber – wie die Häufigkeit guter Winter - den regionalen Verhältnissen angepasst werden. Eine Vorgabe im Wirkmodell erfolgt sinnvollerweise nicht. Eine zeitlich feinere Auflösung der Verhältnisse innerhalb der Skisaison erscheint zunächst verzichtbar, da auch hier regionale Besonderheiten zu berücksichtigen wären, die sich in der Zukunft ändern können.

Die Ergebnisse werden jahresübergreifend für die gesamte Wintersaison ausgegeben. Zur Beurteilung der mittleren Verhältnisse wird zusätzlich die durchschnittliche Schneehöhe in der Wintersaison berechnet und ausgegeben.

Für die Entwicklung und Verifizierung des Schneemodells standen nur eine begrenzte Auswahl an Stationen mit den notwendigen Daten der Schneehöhen zur Verfügung.

Vorhandene Daten zur Modellentwicklung

Genutzt werden konnten die Tageswerte von 36 Klimastationen aus Baden-Württemberg und die Daten der Station Potsdam für den Zeitraum 1951 bis 2000, mit den meteorologischen Größen:

- Tagesminimum der Lufttemperatur (T_{\min}),
- Tagemaximum der Lufttemperatur (T_{\max}),
- Tagessumme des Niederschlags (RR),

- Sonnenscheindauer (SD),
- Mittelwert des Windes (W),
- Mittelwert der relativen Luftfeuchte (RF),
- Mittelwert des Wasserdampfdrucks (WD),
- Schneehöhe (SH).

Die Schneehöhen stammen aus dem Datenspeicher des DWD und wurden ohne weitere Korrekturen verwendet. Die anderen Parameter wurden homogenisiert und ergänzt.

Das Modellkonzept

Das Modellkonzept zur Simulation des Entwicklungsganges der Schneedecke besteht aus folgenden Schwerpunkten:

1. Die Höhe der Schneedecke wird kontinuierlich von Tag zu Tag, durch die Abschätzung der Größen des Schneedeckenaufbaus und -abbaus berechnet.
2. Der Aufbau der Schneedecke findet bei fallendem Niederschlag und bei Temperaturen unter bestimmten Schwellenwerten statt.
3. Bei positiven Temperaturen findet ein Abbau der Schneedecke durch Abtauen und Verdunstung statt; bei negativen Temperaturen kann die Höhe der Schneedecke durch Schneverwehungen, Verdichtung der Schneedecke und Verdunstung sinken.
4. Die Sonnenscheindauer ist bei den Prozessen Abtauen und Verdichtung der Schneedecke zu berücksichtigen.

Es wurde untersucht, in wie weit die einzelnen Prozesse in das Modell implementiert werden können.

Aufbau der Schneedecke

Nach der statistischen Analyse der Daten wurde angenommen dass der Aufbau der Schneedecke bei folgenden Bedingungen stattfindet:

- die Niederschlagsmenge (RR) am vorangegangenen Tag liegt über 1mm,
- die „Tagesmitteltemperatur“ (T_{mit}) liegt unter 1,7°C (berechnet als arithmetisches Mittel aus dem Maximum der Lufttemperatur des vorigen Tages und dem Minimum der Lufttemperatur des aktuellen Tages) und das Tagesminimum (T_{min}) der Lufttemperatur des aktuellen Tages liegt unter 0°C.

Für diese Bedingungen wurden die Parameter der Regressionsgleichungen zur Berechnung des Aufbaus der Schneedecke berechnet. Als Prädiktor wurde die Quadratwurzel aus der Niederschlagsmenge (RR) zugrunde gelegt. Die berechneten Korrelationskoeffizienten zwischen der Niederschlagsmenge und den Änderungen der Schneehöhe liegen bei den 38 vorhandenen Stationen zwischen +0,35 und +0,7.

Der Schneehöhenzuwachs wurde unter oben genannten Bedingungen mit folgender Formel berechnet:

$$SHZ = \overline{SHZ} + KOR_1 * SHZS / SXR * (\overline{XR} - XR)$$

- mit \overline{SHZ} - mittlere tägliche Schneehöhenänderung
 $SHZS$ - Streuung der mittleren täglichen Schneehöhenänderung

KOR_1 - die Korrelation zwischen XR ($XR = \sqrt{RR}$) und SHZ

\overline{XR} - Mittelwert der Größe XR

Alle Statistiken wurden unter den oben genannten Bedingungen berechnet.

Die relativ niedrigen Korrelationswerte sind bedingt durch die ungenaue Beschreibung des tatsächlichen Wetterverlaufs über Tageswerte. Wenn zum Beispiel bei positivem Tagesmaximum und negativem Tagesminimum der Niederschlag bei positiven Temperaturen fällt, ergibt sich kein Zuwachs der Schneehöhe, beim bereits akkumulierten Schnee sogar eine Abnahme der Schneehöhe. Fällt der Niederschlag im Laufe der Nacht bei negativen Temperaturen ist eine Zunahme der Schneehöhe zu registrieren. Ungenauigkeiten bei der Modellierung der Dynamik der Schneedecke sind daher vorprogrammiert.

Abbau der Schneedecke

Als Grenzbedingungen beim Abtauen der Schneedecke wurden ein positiver Wert des Tagesmaximums der Lufttemperatur und eine vorhandene Schneedecke vorgeesehen. Die bei diesen Bedingungen berechneten Korrelationskoeffizienten zwischen den Tagesmitteltemperaturen und den Änderungen der Schneehöhe liegen zwischen $-0,4$ und $-0,2$.

Die berechneten Korrelationen zwischen der Sonnenscheindauer und den Änderungen der Schneehöhe haben keine signifikanten Werte gezeigt. Das gilt ebenfalls für die Feuchteparameter und den Wind. Daher wurde die Tagesmitteltemperatur als einziger Prädiktor zur Berechnung des Abtauens der Schneedecke angenommen.

Das Abtauen der Schneedecke wurde mit folgender Formel berechnet:

$$SHA = \overline{SHA} + KOR_2 * SHAS / ST_{mit} * (\overline{T_{mit}} - T_{mit}),$$

mit \overline{SHA} - mittlere tägliche Schneehöhenänderung

SHA - Streuung der mittleren täglichen Schneehöhenänderung

KOR_2 - die Korrelation zwischen T_{mit} und SHA

$\overline{T_{mit}}$ - Mittelwert der Tagesmitteltemperatur

Der Verringerung der Schneehöhe bei negativen Temperaturen (Verdichtung, Verdunstung) wurde durch die Berechnung eines mittleren Abbaukoeffizienten (VK), bei einer täglichen Sonnenscheindauer von mehr als 2 Stunden, mit folgender Formel abgeschätzt

$$SHH = SHG * VK$$

mit SHG - Schneehöhe am Vortag

Die oben erwähnten Statistiken wurden für die 36 Stationen in Baden-Württemberg und die Station Potsdam berechnet. Um eine Möglichkeit zu haben, die Schneehöhen für die Stationen (Gitterpunkte) außerhalb dieser Liste zu berechnen, wurden die Statistiken, abhängig von der Punkthöhe (h), mit folgenden Formeln interpoliert:

$$\overline{SHZ} = 2.0 + 0.0019 * h$$

$$SHZS = 3.5 + 0.0027 * h$$

$$\overline{XR} = 1.82 + 0.0006 * h$$

$$SXR = 0.74 + 0.0003 * h$$

$$KOR_1 = 0.565 - 0.0001 * h$$

$$\overline{SHA} = -1.7 - 0.0008 * h$$

$$SHAS = 2.45 + 0.0015 * h$$

$$T_{mit} = 0.45 + 0.0012 * h$$

$$ST_{mit} = 2.8$$

$$KOR_2 = -0.355 + 0.000125 * h$$

$$VK = 0.93 + 0.000023 * h$$

Die Benutzung der Formeln ist bis zu einer Höhe von etwa 1.000 m möglich.

Validierung / Verifikation

Die für die Bestimmung der Regressionsgleichungen zur Berechnung der Schneehöhen notwendigen Parameter wurden für jede der 37 vorhandenen Stationen aus den Beobachtungen der Monate Oktober – März berechnet. Dann wurden für jede Station mit den für diese Station abgeleiteten Parametern die Schneedeckenhöhe kontinuierlich von Tag für Tag für die Jahre 1951 bis 2000 berechnet.

Um die Schneehöhen für die Stationen ohne vorhandene Informationen über die Schneehöhen zu berechnen, fehlen die entsprechenden statistischen Parameter der Regressionsgleichungen (Korrelationskoeffizienten, Mittelwerte, Streuungen). Die Analyse der Abhängigkeit der Parameter von den Stationshöhen zeigen aber, dass fast alle Parameter höhenabhängig sind und mit linearen Gleichungen für die Stationen in dieser Region berechnet werden können.

Zur Validierung des Verfahrens wurde für jede Station geprüft, wie sich die Entwicklung der Schneedecke aus dem Gesamtdatensatz vermindert um die zu prüfende Station ermitteln lässt und die Modellergebnisse für die Schneehöhe mit den gemessenen Schneehöhen verglichen. Der zugrunde gelegte Zeitraum erfasste die Monate Oktober bis März in den Jahren 1961 bis 1998 (vgl. Tabelle 3.10.2).

Für die Information „Schneedeckentag/kein Schneedeckentag“ errechnet sich eine Vorhersagegenauigkeit des Modells von etwa 90%. Die mittlere Differenz zwischen den beobachteten und berechneten Schneehöhen beträgt 0,7cm, das entspricht etwa 6% der beobachteten Schneehöhe. Bei der mittleren Summe der Anzahl aller Schneedeckentage im Untersuchungszeitraum liegt die Differenz lediglich bei -3 Tagen, bei einer mittleren Anzahl von über 2000. Für einzelne Stationen treten aber deutlich höhere Abweichungen auf.

DWD-Nr.	Name	Höhe [m über NN]	Mittlere Schneehöhe			Summe Schneedeckentage		
			Beobachtet [cm]	Modell [cm]	Differenz [cm]	Beobachtet [Tage]	Modell [Tage]	Differenz [Tage]
2303	LAHR	155	6,4	6,2	-0,2	726	886	160
2311	FREIBURG	269	5,2	5,7	0,5	926	721	-205
2677	WERTHEIM	140	7,5	5,1	-2,4	896	910	14
2679	MERGENTHEIM	250	5,8	6,6	0,8	1151	1290	139
2680	EBERBACH/NECKAR	178	7,3	6,6	-0,7	1147	994	-153
2684	OEHRINGEN	276	6,2	6,1	0,0	1341	1180	-161
2685	BUCHEN	350	8,9	8,3	-0,6	1586	1682	96
2689	HEILBRONN	167	5,7	5,5	-0,3	877	815	-62
2693	HEIDELBERG	110	5,7	6,1	0,4	712	735	23
2695	MANNHEIM	96	5,6	5,6	0,0	770	727	-43
2701	BADENBADEN	240	7,5	9,3	1,8	975	1434	459
2706	HERRENALB	350	12,2	11,3	-1,0	1838	1727	-111
2707	DOBEL	717	19,4	27,2	7,8	2777	3190	413
2717	LENNINGEN-SCHOP	758	14,5	17,4	2,9	2916	3196	280
2721	MURRHARDT	344	9,1	9,6	0,5	1603	1838	235
2723	GSCHWEND	492	10,9	13,2	2,3	2238	2299	61
2727	SCHWAEB.GMUEND	415	7,6	8,5	0,9	1470	1606	136
2728	STOETTEN	734	17,7	19,7	2,0	3289	3416	127
2729	LAICHINGEN	747	14,0	19,2	5,2	3124	3229	105
2730	ULM	567	9,0	7,9	-1,1	2254	2048	-206
2737	TRIBERG	683	25,0	24,7	-0,3	3279	3036	-243
2739	VILLINGEN-SCHWE	720	13,1	11,4	-1,7	2992	2591	-401
2740	DUERHEIM	692	11,8	11,0	-0,9	2710	2406	-304
2741	SCHOEMBERG	635	14,4	16,6	2,2	2738	2724	-14
2753	MUENSINGEN-APFE	750	15,0	16,2	1,2	3338	3227	-111
2754	HECHINGEN	520	6,5	7,2	0,7	1674	1790	116
2758	KLIPPENECK	973	17,2	18,1	0,9	3653	3600	-53
2760	SIGMARINGEN	580	10,3	10,7	0,4	2380	2489	109
2764	AULENDORF-SPIEG	560	8,3	6,7	-1,6	2106	1836	-270
2771	HINTERZARTEN	883	28,7	31,3	2,6	4426	4155	-271
2776	SANKT BLASIEN	795	28,5	37,5	8,9	3958	3784	-174
2780	DONAUESCHINGEN	677	11,9	10,4	-1,4	2596	2404	-192
2787	UEBERLINGEN/BOD	490	5,5	6,6	1,1	1259	1592	333
2791	WEINGARTEN	440	7,8	7,2	-0,6	1537	1687	150
4099	CRAILSHEIM	417	8,1	8,3	0,2	1783	1878	95
4138	ISNY	712	26,1	24,5	-1,7	3853	3686	-167
3343	POTSDAM	81	9,4	7,2	-2,2	1600	1562	-38
Mittelwert			11,7	12,5	0,7	2122	2118	-3

Tab. 3.10.2: Beobachtete und modellierte mittlere Schneehöhen und Gesamtsumme der Schneedeckentage im Zeitraum 1961 bis 1998 in Baden-Württemberg und an der Station Potsdam

Die Abbildung 3.10.1 zeigt beispielhaft, dass das einfache Modell die Entwicklung der Schneedecke befriedigend nachvollziehen kann.

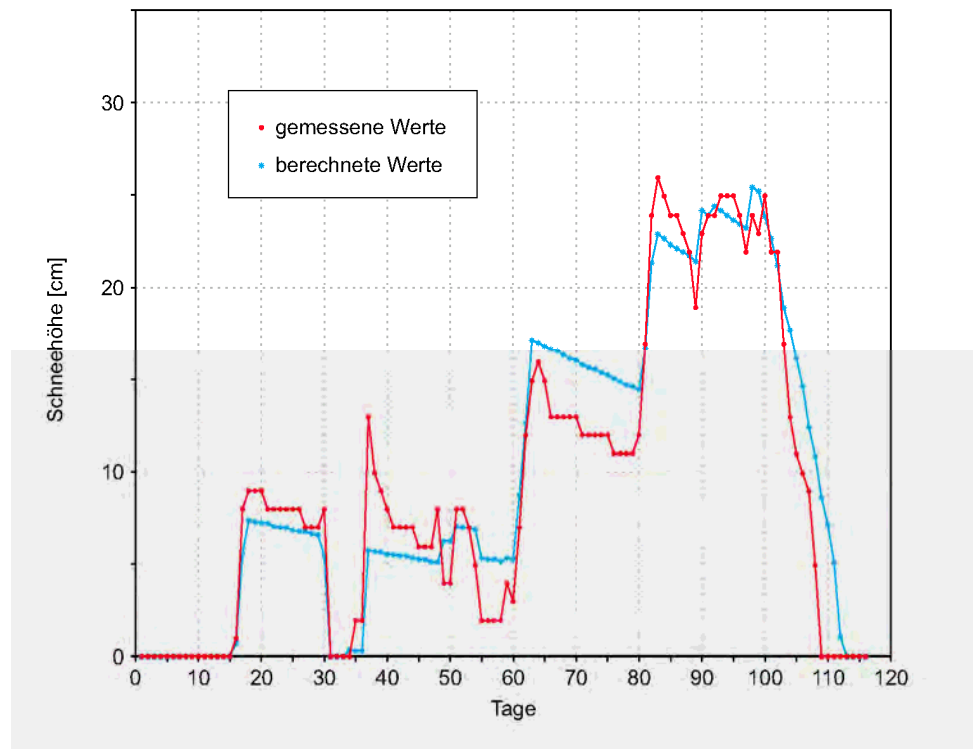


Abb. 3.10.1: Simulierte und beobachtete Episode der Schneedeckenentwicklung in der Wintersaison 1928/1929 (Dezember bis März) an der Station Potsdam

Verbesserungsmöglichkeiten

Der vorliegende Ansatz kann durch weitere Größen ergänzt werden, die das Andauerverhalten der Schneedecke umfassender beschreiben (vgl. Arbeitskreis KLIWA 2000). Beispiele sind:

- Schneedeckenzeit (Zeit zwischen ersten und letzten Schneedeckentag),
- Winterdecke (die am längsten andauernde Schneedeckenperiode),
- Datum des Eintritts des ersten, letzten Schneedeckentags und der maximalen Schneehöhe,
- Beständigkeit der Schneedecke (Quotient aus Anzahl Schneedeckentage und Schneedeckenzeit),
- Erhaltung der Schneedecke (Quotient aus Dauer der Winterdecke und Anzahl der Schneedeckentage).

Die bisherige Beschränkung der Auswertungen auf Höhen unterhalb von 1000m sollte durch die Berücksichtigung weiterer Stationen aufgehoben werden. Die Abschätzung des Risikos für das Auftreten schneearmer Winter muss zurzeit durch eine aufwendige Bearbeitung der Einzeljahre erfolgen, hier sollte ein entsprechender Ausgabeparameter vorgesehen werden.

3.11 Tourismus: Potenzielle Badetage (PIK-19)

Verwendete Eingabedaten

Meteorologische Größe	Einheit	DWD	WETTREG	REMO
Tagesmaximum der Lufttemperatur	°C	●	●	●
Tagesmittel des Bedeckungsgrads	octas	●	●	●
Tagessumme der Sonnenscheindauer	h	●	●	●

Tab. 3.11.1: Verwendete meteorologische Größen und Verfügbarkeit für das Wirkmodell PIK-19
(● = im Datensatz vorhanden, ● = unvollständig, ● = fehlend)

Auswahl des Wirkmodells / Definition

Als ein wichtiger Indikator für den Sommertourismus kann die Anzahl von potenziellen Badetagen verwendet werden. Dieser Indikator wurde im Rahmen einer Studie für Baden-Württemberg ermittelt, bei der für zwei Freibäder erhobene Badegästedaten mit den vorherrschenden Wetterbedingungen korreliert wurden (Stock, 2005),

Ermittlung klimatischer Schwellenwerte

Zur Ermittlung von klimatischen Schwellenwerten wurden die Besucherzahlen eines Freibads auf der bayerischen Seite des Bodensees und eines Freibads in Konstanz mit klimatischen Messdaten korreliert. Dabei konnten die täglichen Besucherzahlen von sechs Jahren (jeweils die Sommersaison) ausgewertet werden. Das Freibad in Konstanz stellte dabei die Besucherzahlen aus den Jahren 1999 und 2000 (insgesamt 174 Tage), das Bad der bayerischen Gemeinde aus den Jahren 2000 bis 2004 (insgesamt 660 Tage) zur Verfügung (siehe Abbildung 3.11.1). Während im Konstanzer Bad nur die täglichen Besucherzahlen registriert wurden, erfasste der zuständige Schwimmmeister des bayerischen Bads ferner über Jahre hinweg handschriftlich dreimal täglich die Lufttemperatur (9 Uhr, 12 Uhr und 17 Uhr) sowie meist zweimal täglich die aktuelle Witterung.

Nach Überführung dieses Materials in digitale Form war es somit möglich, die Besucherzahlen des bayerischen Bads direkt mit den vor Ort notierten Temperatur- und Witterungsbedingungen zu korrelieren und somit klimatische Schwellenwerte empirisch basierend abzuleiten. Für das Konstanzer Bad konnte für die Korrelation von Besucherzahlen und Klimaparametern auf die meteorologischen Messdaten der Klimastation Konstanz zurückgegriffen werden.

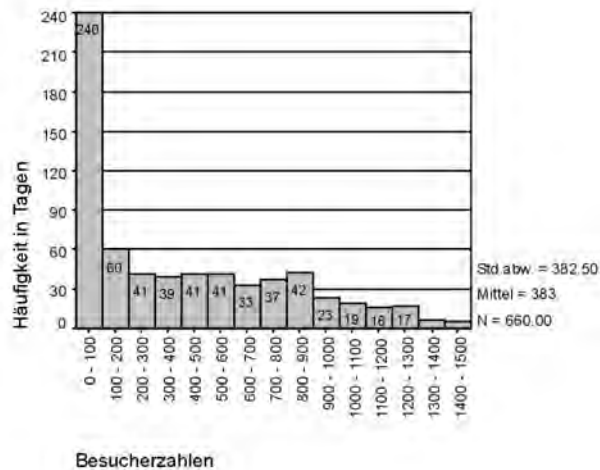


Abb. 3.11.1: Häufigkeitsverteilung registrierter Besucherzahlen im bayerischer Bad während der Sommersaisons 2000-2004. An 240 von 660 Tagen wies das Bad relativ niedrige Besucherzahlen (<100) auf, im Durchschnitt wurden 383 Besucher pro Tag verzeichnet. Nach Aussage des Betreibers ist das Bad ab etwa 600 Besuchern "sehr gut besucht", bei 1500 "mehr als ausgelastet".

Korrelationsanalysen zwischen den drei Temperaturmessungen und den jeweils täglich registrierten Besucherzahlen zeigen die beste Korrelation zwischen den 17-Uhr-Temperaturen und den Besucherzahlen, mit einem hohen Korrelationskoeffizienten nach Spearman von 0,88. Daher wird der Schwellenwert für Badetage auf der Basis der Daten der 17-Uhr-Temperatur hergeleitet. Abbildung 3.11.2 zeigt die mittleren täglichen Besucherzahlen in Abhängigkeit von der 17-Uhr-Temperatur. Während die Besucherzahlen bei Temperaturen unter 16°C auf sehr niedrigem Niveau liegen, nehmen sie mit steigenden Temperaturen stetig zu bis bei 30°C schließlich das Optimum erreicht ist. Die Festlegung des Temperatur-Schwellenwerts für einen "potenziellen Badetag" erfolgt nun über den Besucherzahl-Schwellenwert von 600 Besuchern, da ab dieser Zahl das bayerische Bad nach Aussage des Betreibers als gut bis sehr gut gefüllt zu bezeichnen ist.

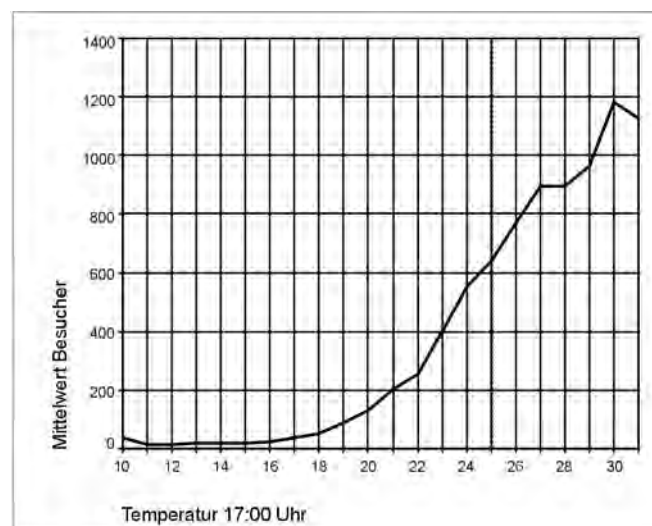


Abb. 3.11.2: Mittlere tägliche Besucherzahlen in Abhängigkeit von der 17-Uhr-Temperatur im bayerischen Bad während der Sommersaisons 2000-2004.

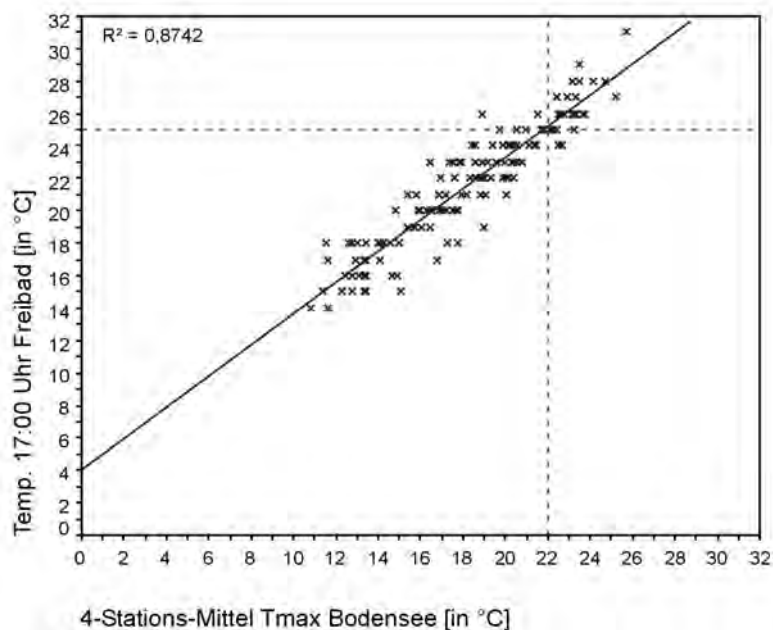


Abb. 3.11.3: Zusammenhang zwischen der 17-Uhr-Temperatur des bayerischen Bads und dem Mittelwert der täglichen Maximaltemperaturen (Tmax) der vier nächstgelegenen Bodensee-stationen in Baden-Württemberg während der Sommersaisons 2000-2004. Die gestrichelten Linien verdeutlichen, dass sich mit Hilfe der Regressionsgerade der 17-Uhr-Temperatur von 25°C eine mittlere tägliche Maximaltemperatur von etwa 22°C zuordnen lässt.

Zur Übertragung der 17-Uhr-Temperatur des bayerischen Bads auf die Klimaparameter der baden-württembergischen Bodensee-Region wurden die 17-Uhr-Temperaturen des bayerischen Bads mit dem Mittel der täglichen Maximaltemperatur aus den vier nächstgelegenen Klimastationen verglichen. Aus Abbildung 3.11.3 lässt sich entnehmen, dass der Mittelwert der täglichen Maximaltemperatur der vier Bodensee-Stationen in der Regel etwas kleiner ist als die 17-Uhr-Temperatur des bayerischen Bads. Mit Hilfe einer linearen Regression ($R^2 = 0,87$) lässt sich einer 17-Uhr-Temperatur im bayerischen Bad von 25°C eine tägliche Maximaltemperatur von etwa 22°C in der baden-württembergischen Bodensee-Region zuordnen.

Aus den täglichen Besucherzahlen des Konstanzer Bads für die Jahre 1999 und 2000 lässt sich auf ähnliche Weise ein Temperatur-Schwellenwert für einen potenziellen Badetag ableiten. Insgesamt liegen hier für 174 geöffnete Tage die täglichen Besucherzahlen vor, im Mittel zählte das Bad an den geöffneten Tagen 322 Besucher pro Tag. Da in diesem Freibad keine Temperaturen aufgezeichnet wurden, wurden die täglichen Besucherzahlen mit der täglichen Maximaltemperatur (Tmax) der Station Konstanz korreliert. Mit einem Spearman-Korrelationskoeffizienten von 0,75 ist der Zusammenhang nicht ganz so deutlich wie bei dem bayerischen Bad, aber dennoch statistisch signifikant. Die Analyse ergibt als Temperatur-Schwellenwert des bayerischen Bads 22°C und des Konstanzer Bads 24°C, woraus so ein generalisierter Schwellenwert von 23°C gebildet wird.

Aufgrund der Aufzeichnungen aus dem bayerischen Bad - es wurde zweimal täglich die Witterung notiert - lassen sich neben der Temperatur auch Aussagen hinsichtlich weiterer witterungsbedingter Besucherpräferenzen treffen. Bezüglich der Witterung zeigen die Besucherzahlen des bayerischen Bads die Präferenz von sonnigen beziehungsweise leicht bewölkten Tagen. Zur Festlegung eines klimatologischen Schwellenwertes kann das subjektiv aufgezeichnete Datum „Witterungstyp“ in den

verfügbaren Klimaparameter „Bewölkungsgrad“ übersetzt werden: Tage mit „sonniger“ oder „leicht bewölkt“ Witterung entsprechen Tagen mit einem mittleren Bewölkungsgrad von kleiner 3 octas (meteorologisch: „leicht bewölkt“). Da die vorliegenden Daten der Basis- und Zukunftsszenarien tägliche Daten beinhalten, ist zu beachten, dass aufgrund der 24-stündigen Messperiode auch die nächtlichen Werte in das Mittel der Bewölkung eingehen, was die Zuverlässigkeit des Klimaparameters mittlerer Bewölkungsgrad beeinträchtigen kann. Deshalb wird mit der täglichen Sonnenscheindauer ein dritter Klimaparameter für die Definition eines potenziellen Badetages hinzugenommen. Der Schwellenwert für die tägliche Sonnenscheindauer wird hier hypothetisch als 9 Stunden angenommen (zum Vergleich: das langjährige Juli-mittel für die Bodensee-Region liegt bei 7,6 Stunden).

Als Ergebnis dieser Analyse lässt sich ein potenzieller Badetag für Frei- und Strandbäder im Binnenland auf der Basis von 3 Schwellenwerten wie folgt definieren:

- die tägliche Maximaltemperatur muss größer als 23°C,
- der mittlere Bewölkungsgrad kleiner als 3 octas sein, und
- die tägliche Sonnenscheindauer sollte mindestens 9 h betragen.

Der Indikator liefert die Anzahl potenzieller Badetage pro Jahr im Binnenland und ist ein erster Ansatz für Aktivitäten im Sommertourismus allgemein. Weitere Faktoren spielen keine oder eine untergeordnete Rolle, wie z. B. die Wassertemperaturen, die bei der Entscheidung für einen Bäderbesuch an einem heißen Tag irrelevant oder nicht bekannt sind.

Ansätze zur Weiterentwicklung des Indikators

Es wurde weiter untersucht, inwieweit der Bade- und Freizeittourismus an der deutschen **Ostsee- und Nordseeküste** von den Witterungsbedingungen abhängt oder inwieweit es Zusammenhänge zwischen diesen beiden gibt. Dazu wurde in einem ersten Schritt versucht, Datenmaterial für die Gästezahlen an Ost- und Nordsee zu bekommen. Die Datensituation stellt sich als schwierig dar. Es gibt von den jeweiligen Bundesländern Schleswig-Holstein und Mecklenburg-Vorpommern bei den Statistischen Landesämtern Daten für Übernachtungszahlen, jedoch nicht im ausreichenden Maße wie für diese Analyse nötig. Die vorliegenden Übernachtungszahlen sind ausschließlich jährlich angegeben und sind somit zeitlich zu grob gewählt, um sie mit dem täglichen Wetter zu vergleichen. Eine weitere Möglichkeit besteht von einem begrenzten Areal (bspw. Campingplatz) genauere Zahlen zu bekommen. Leider gelang es auch hier nicht weitreichende Daten zusammenzustellen. Von einigen Campingplätzen gibt es relativ genaue Gästezahlen, jedoch reichen diese nicht weit genug in die Vergangenheit und sind häufig vom Wetter eher entkoppelt. Es die Möglichkeit, ganze Jahre klimatisch zu vergleichen, jedoch bleibt diese Analyse sehr grob und damit unbrauchbar für Einzeltage. Damit böte sich ein Ansatz für einen noch zu entwickelnden *Indikator Badeurlaub an der Küste*, unter Berücksichtigung weiterer Hinweise aus Matzarakis (2007) bzw. Matzarakis *et al.* (2008).

In der Literatur findet man auch einen allgemeinen Indikator zum Tourismus, den Tourismus-Klima-Index, TCI (Mieczkowski 1985), der 7 Parameter kombiniert:.

$$\text{TCI} = 8 * \text{CI}d + 2 * \text{CI}a + 4 * \text{R} + 4 * \text{S} + 2 * \text{W}$$

mit:

CI_d Komfortindex tagsüber, bestehend aus
 Ta,max [°C], mittlere höchste Lufttemperatur und
 RH [%], mittlere niedrigste relative Luftfeuchtigkeit

Cla	täglicher Komfort Index, bestehend aus der mittleren Lufttemperatur [°C] und der mittleren relativen Luftfeuchte [%],
R	Niederschlag [mm],
S	Tagesonnenscheindauer [h],
W	mittlere Windgeschwindigkeit [m/s].

Die Faktoren und Parameter sind so gewichtet, dass jeder Faktor maximal 5 Punkte erreichen kann. In der Gesamtwichtung bedeuten die TCI-Werte:

- 100 ≥ TCI ≥ 80 exzellent,
- 80 > TCI ≥ 60 gut bis sehr gut,
- 60 > TCI ≥ 40 akzeptabel,
- 40 > TCI schlecht oder schwierige Bedingungen für Tourismus.

Mit diesem Tourismus-Klima-Index wurden im Projekt PESETA die Auswirkungen des Klimawandels auf den Tourismus in Europa untersucht (vgl. Ciscar 2009). Die Ergebnisse für den Sommertourismus für ein A2-Szenario zeigt Abbildung 3.11.4. Vergleicht man für Deutschland die mit dem Tourismus-Klima-Index TCI erzielten Veränderungen bis 2100 mit denen, die der Indikator für potenzielle Badetage (nur bis 2060) erwarten lässt, so zeigt letzter für ganz Deutschland bessere Bedingungen, während der TCI verbesserte Bedingungen nur für Mecklenburg-Vorpommern und einige Mittelgebirge zeigt, bzw. für Brandenburg und die Lausitz die Bedingungen etwas schlechter werden. Der TCI erfasst mehr Parameter, z. B. auch die Luftfeuchte als Komfortfaktor für Tourismus allgemein.

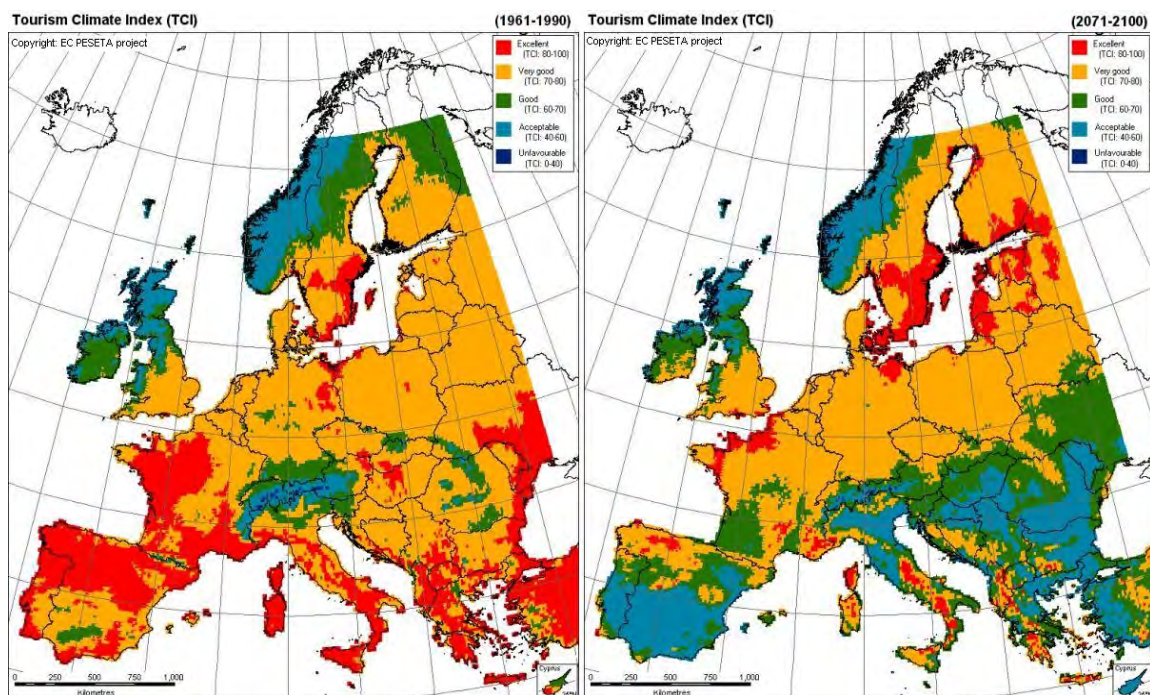


Abb. 3.11.4: Auswirkungen des Klimawandels auf den Sommertourismus in Europa (JRC, [Impacts of climate change on tourism](#)); links: 1961-1990, rechts: 2071-2100 (Szenario A2).

4 Ansätze für die Implementierung weiterer Wirkmodelle

4.1 Wassererosion in der Landwirtschaft (PIK-04)

Vordringlich auf Flächen mit ackerbaulicher Nutzung, bei denen der Boden längere Zeit unbedeckt bleibt und der Energie von Wasser ungeschützt ausgesetzt ist, kommt es bei bestimmten Regen- und Windereignissen zu verstärkter Erosion. Die Folge ist ein Verlust der nährstoffreichen, humushaltigen obersten Bodenschicht, die maßgeblich für die landwirtschaftlichen Erträge ist.

Für die Abschätzung des Ausmaßes der Erosion ist die „Allgemeinen Bodenabtragsgleichung – ABAG“ anerkannt (Renard *et al.* 1997, BGR 2005). Das Verfahren ist auf allen Maßstabsebenen einsetzbar und liefert vergleichbare und reproduzierbare Ergebnisse. In die ABAG fließen die folgenden Faktoren ein, die jeweils einzeln ermittelt werden und zu einem mittleren langjährigen Bodenabtrag in Tonnen pro Hektar und Jahr verrechnet werden. Die resultierende Zahl ist ein Indikator, der auch die Wirtschaftsweise berücksichtigt:

$$A = R * K * L * S * C * P$$

mit

A - langjähr. mittl. jährl. Bodenabtrag in t/ha

R - Regen- u. Oberflächenabflussfaktor (Regenerositätsfaktor)

K - Bodenerodierbarkeitsfaktor (aus Bodenart, BÜK1000)

L - Hanglängenfaktor

S - Hangneigungsfaktor (aus DGM 250)

C - Bedeckungs- u. Bearbeitungsfaktor

P - Erosionsschutzfaktor

Der für FISKA entwickelte Erosionsindex verwendet die drei unterstrichenen Faktoren Regen- und Oberflächenabflussfaktor, Bodenerodierbarkeitsfaktor und Hangneigungsfaktor, während die Faktoren Hanglänge, Bedeckung und Bearbeitung, sowie Erosionsschutz vernachlässigt, d.h. gleich 1 gesetzt werden. Ein Erosionsschutzfaktor wurde nicht berücksichtigt, da Daten zum punktuellen Erosionsschutz deutschlandweit nicht zu beschaffen sind. Der Hanglängenfaktor wurde ebenfalls nicht berücksichtigt, da die wahre Hanglänge aus dem gewählten Digitalen Landschaftsmodell DLM nicht ermittelbar ist (Auflösung zu gering um hydrologische Barrieren wie Schlaggrenzen, Hangunterschneidungen, Dellen, Wege, Geländekanten abzubilden). Der Bedeckungs- und Bearbeitungsfaktor wurde nicht berücksichtigt, weil die punktuelle aktuelle und künftige Bodenbedeckung (Fruchtfolge und Bearbeitungsregime) deutschlandweit nicht ermittelbar sind.

Der Regenerositätsfaktor $R = 0,141 * N^{-1,48}$ wurde von Schwertmann *et al.* (1990) abgeleitet aus Untersuchungen in Bayern, wobei für N der Sommerniederschlag [1.Mai – 31.Okt.] eingesetzt wurde. Auch in anderen Arbeiten wird nur das Erosionsrisiko im Sommer betrachtet (Sauerborn *et al.* 1999). Mittlerweile kann man R mit einem bundesweiten Regressionsmodell verwenden (BGR 2005) und es erscheint sinnvoll nicht nur den Sommerniederschlag zu berücksichtigen, sondern Niederschläge zu Zeiten keiner oder geringer Vegetationsbedeckung auf landwirtschaftlich genutzten Flächen. Diese Überarbeitung des Wirkmodells macht aber nur Sinn, wenn neue Ensemble-Rechnungen mit regionalen Klimamodellen verwendet werden,

die extreme Starkniederschläge wiedergeben können. Dies ist bei den hier vorgegebenen regionalen Klimaszenarien aus Einzelrechnungen mit mittleren Tageswerten des Niederschlags nicht möglich gewesen.

Vergleich der Ergebnisse mit anderen Untersuchungen

Das mit dem vorläufigen Wirkmodell für Deutschland ermittelte flächenbezogene Erosionsrisiko für die DWD-Niederschlagsdaten im Zeitraum 1991-2000 zeigt Abbildung 4.1.1. Das Erosionsrisiko wird in 6 Klassen (Tab. 4.1.1) wie folgt angegeben:

Erosionsindex	Bodenabtrag	Potenzielle Erosionsgefährdung
0	$A < 1 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$	kein
1	$1 \leq A < 2 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$	sehr gering
2	$2 \leq A < 5 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$	gering
3	$5 \leq A < 10 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$	mäßig
4	$10 \leq A < 25 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$	mittel
5	$25 \leq A < 50 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$	hoch
6	$A \geq 50 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$	sehr hoch

Tab. 4.1.1: Klasseneinteilung des Erosionsrisikos für Böden in Deutschland

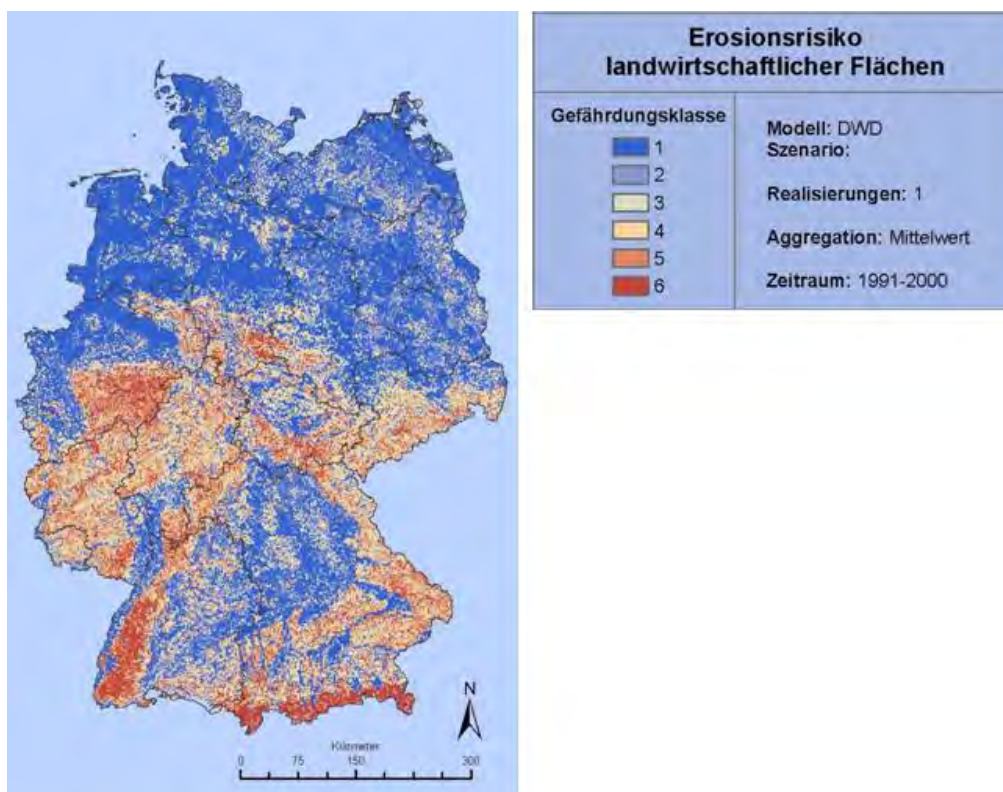


Abb. 4.1.1: Erosionsrisiko für Deutschland, berechnet mit FISKA-PIK-04

Die für FISKA verwendete Beschränkung auf drei Faktoren wird auch anderweitig herangezogen, wie bei den folgenden Karten zur potenziellen Erosionsgefährdung, siehe Abbildungen 4.1.2 und 4.1.3.

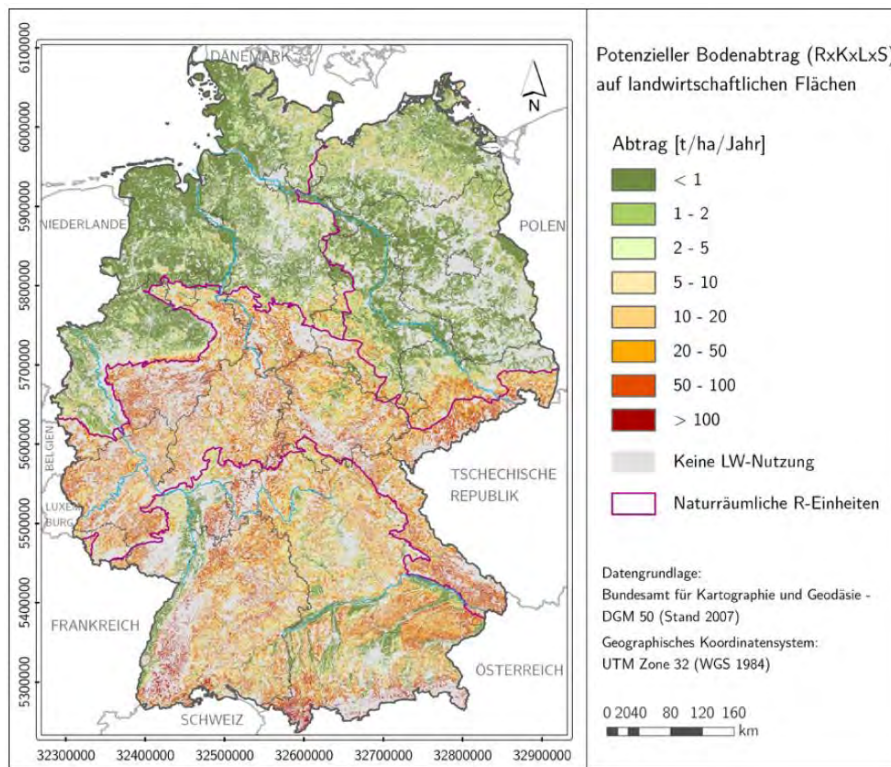


Abb. 4.1.2: Potenzielle Erosionsgefährdung Deutschlands (Wurbs & Steininger 2011)

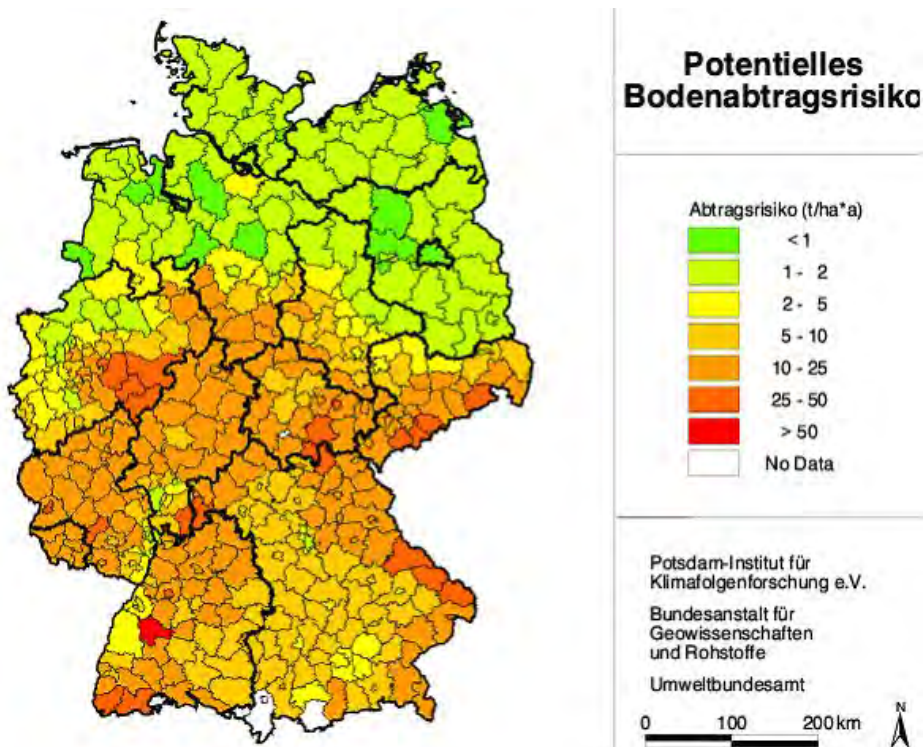


Abb. 4.1.3: Potenzielles jährliches Abtragsrisiko pro Landkreis als Produkt der LS-, R-, und K-Faktoren (der P- und C-Faktor wurde gleich 1 gesetzt) Quelle: Erhard *et al.* (2002)

Der ermittelte mittlere potenzielle jährliche Bodenabtrag auf landwirtschaftlichen Flächen Deutschlands liegt bei 5 Tonnen. Fleischhauer (1993, nach Sauerborn 2002)

gibt 10 t an, Erhard *et al.* (2004, 2005) 7 t. Der Bodenabtrag wird demnach leicht unterschätzt. Das räumliche Muster in Abbildung 4.1.1 entspricht in etwa dem der Abbildungen 4.1.2 (Wurbs & Steininger 2011) und 4.1.3 (Erhard *et al.* 2002).

Mögliche Veränderung des Erosionsrisikos im Klimawandel

Abbildung 4.1.4 zeigt die mit dem vorläufigen Wirkmodell berechnete Änderung des Erosionsrisikos auf landwirtschaftlichen Flächen zwischen 1991-2000 und 2081-2100 (A1B-Szenario). Die Karten der Zeiträume 1991-2000 und 2091-2100 zeigen bei dem Vergleich sehr geringe Änderungen der Erosion (nahe 0). Dies liegt begründet im einzigen sich ändernden Regen- und Oberflächenabflussfaktor, welcher in dem implementierten Ansatz durch den Sommerniederschlag getrieben wird. Um aber den erwarteten, sich ändernden Niederschlagsregimen Rechnung zu tragen, müsste die kinetische Energie einzelner extremer Niederschlagsereignisse berücksichtigt werden. Hier stößt man an die Grenzen der Belastbarkeit der Klimaszenarien, die auch Klimaextreme nur mit großer Unsicherheit, lokale Extremwetterereignisse dagegen kaum erfassen können. Dies liegt zum einen an der begrenzten Auflösung, zum anderen erlaubt die geringe Anzahl der Realisierungen keine statistisch gesicherten Aussagen zu Veränderungen bei Extremwetterereignissen. Die größte Auflösung der Eingangsdaten (abgesehen von Klimadaten) stellt die Bodenübersichtskarte Deutschland mit einer Lagegenauigkeit von ± 1000 m dar, es wird daher vorgeschlagen, generell die Ergebnisse auf einem größeren Raster vorzustellen ($4 \text{ km} * 4 \text{ km}$).

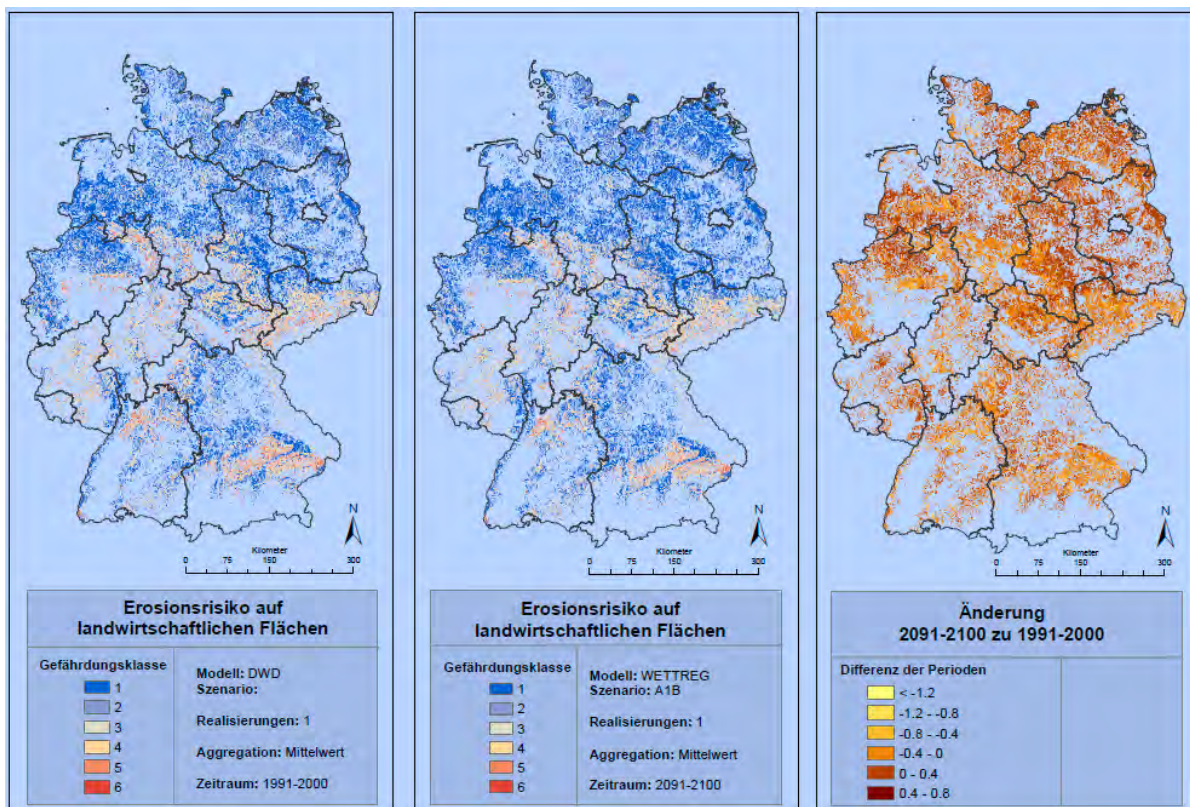


Abb. 4.1.4: Änderung des Erosionsrisikos auf landwirtschaftlichen Flächen, links: DWD-Daten 1991-2000, Mitte: WettReg-A1B-Szenario 2081-2100, rechts: Differenz.

4.2 Änderung der Artenverbreitung / Beispiel Elsbeere (PIK-07)

Die potenzielle Änderung der Verbreitung einer Spezies infolge von Klimaänderungen wird meist nach einem Klimahüllen-Ansatz (climate envelope) modelliert. Das Verfahren wird von Thuiller (2003) und Pompe *et al.* (2008) detailliert beschrieben. Es basiert auf der Annahme, dass die heutige Verbreitung einer Art wesentlich durch das im Verbreitungsgebiet herrschende Klima bestimmt wird. Für die Untersuchung der Verbreitungsänderung im Klimawandel sind daher bevorzugt Arten zu wählen, die Wärme liebend, mit natürlicherweise weitgestreuter und relativ wenig durch Bewirtschaftung beeinflusster Verbreitung vorkommen.

Diese Voraussetzungen treffen in idealer Weise für die Elsbeere (*Sorbus torminalis* L.) zu, die auch eine Alternative zur Anpassung der Mischwälder an den Klimawandel bietet (Müller-Kroehling & Kölling 2011). Für das natürliche Verbreitungsgebiet in Europa und den angrenzenden Regionen gibt es verschiedene Kartendarstellungen, wie nach Bohn & Neuhäusl (2000/2003) oder wie in Abbildung 4.2.1 gezeigt nach dem European Forest Genetic Resources Programme (EUFORGEN, [Distribution maps](#)).

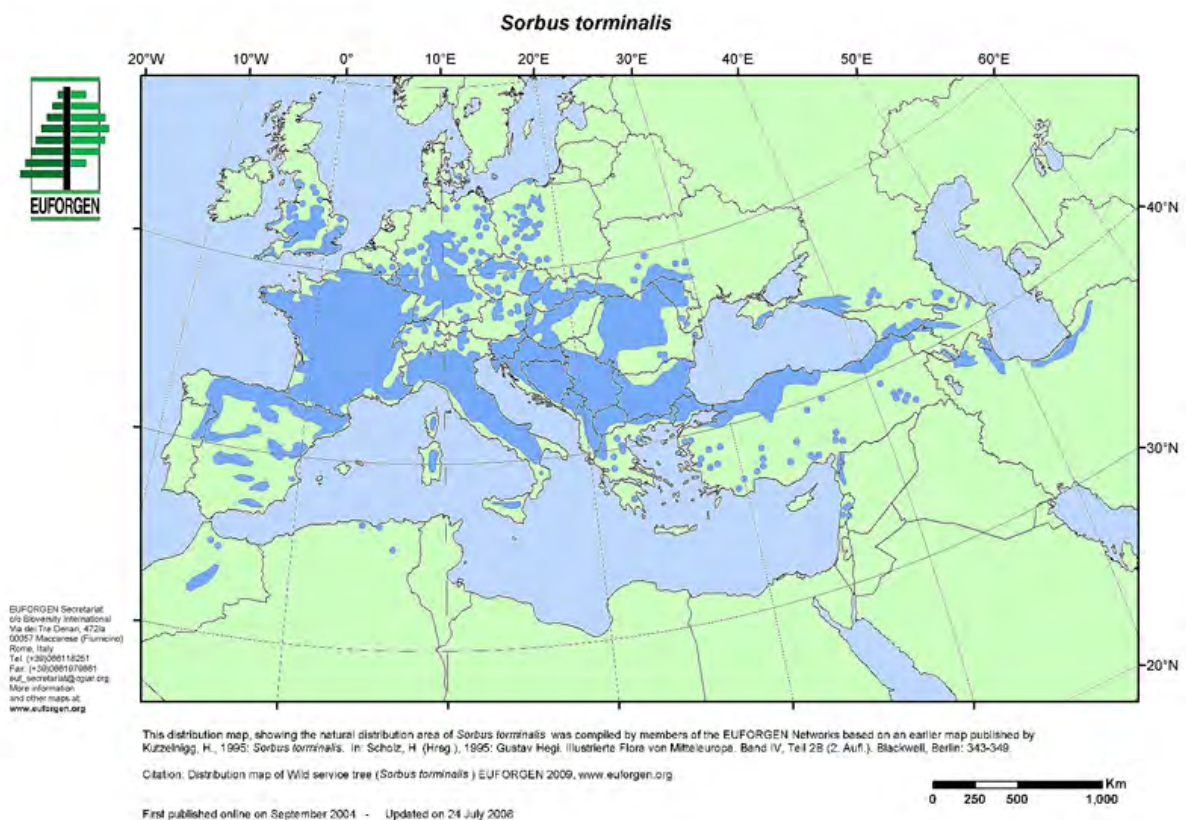


Abb. 4.2.1: Verbreitungsgebiet der Elsbeere in Europa nach Daten der natürlichen Vegetation (EUFORGEN, [Distribution maps](#)).

Für Europa wurde der Ausschnitt in den Grenzen 35°n.B. bis 80°n.B. und 10°w.L. bis 40°ö.L. verwendet und die Daten in das FISKA Berechnungsraster an jede der 5026 Gridzellen des ausgewählten Ausschnitts übertragen (vgl. Abbildung 4.2.2).

Im nächsten Schritt wurde die Artenverbreitung mit den Klimaparametern in Europa korreliert. Dazu waren die DWD-Daten für Deutschland nicht ausreichend. Daher wurde der CRU-Datensatz der Climate Research Unit verwendet (CRU, [CRU TS 2.1](#); nach Mitchell & Jones 2005), um die charakteristischen Klimabedingungen der letzten Klimanormalperiode (1961-1990) im Verbreitungsgebiet zu charakterisieren. Die-

ser liegt in einer Auflösung räumlich von 0,5° und zeitlich in gemittelten Monatswerten vor.

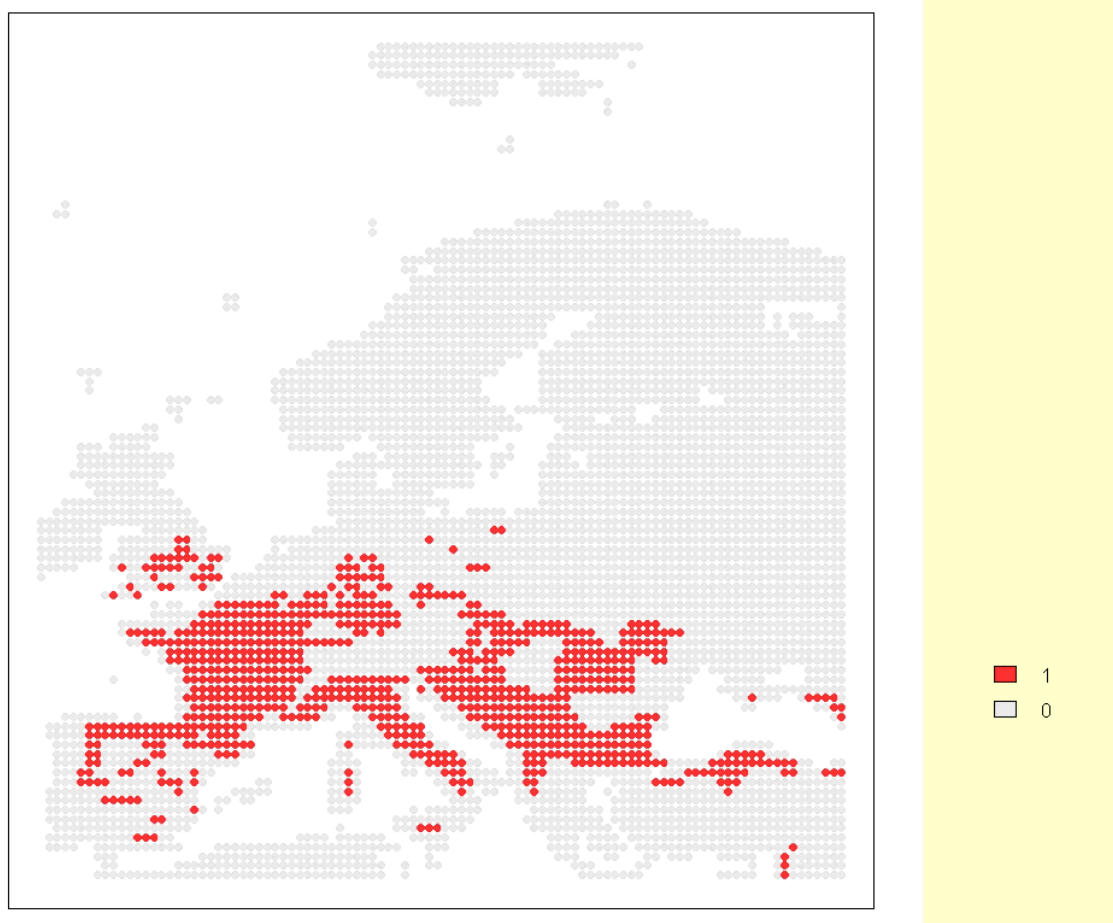


Abb. 4.2.2: Reale Verbreitung der Art *Sorbus torminalis* L.; 1 = Vorkommen, 0 = kein Vorkommen; Datenquelle: EUFORGEN, [Distribution maps](#)

Für die Klimanormalperiode wurden folgende bioklimatischen Variablen (Var) ermittelt (Temperaturen in °C und Niederschlag in mm):

- Variable 1: Jährliche Durchschnittstemperatur,
- Variable 2: Mittlere Temperatur des kältesten Monats,
- Variable 3: Mittlere Temperatur des wärmsten Monats,
- Variable 4: Jahresniederschlagssumme,
- Variable 5: Niederschlag in der Vegetationsperiode (März bis Oktober),
- Variable 6: Niederschlagsspanne (feuchtester-trockenster Monat),
- Variable 7: Aridität (Julitemperatur/Jahresniederschlag).

Der ursprüngliche Modellentwurf des GLM enthielt als weitere Größe noch die Temperaturspanne (wärmster-kältester Monat) als Variable 8. Diese Variable ist zu der Differenz der Variablen 2 und 3 vollständig redundant und wird daher in den ermittelten Koeffizienten nicht mehr getrennt ausgewiesen.

Anschließend wurde mittels eines Generalized Linear Model (GLM), enthalten in dem statistischen Software Packet BIOMOD (Thuiller 2003, Thuiller *et al.* 2009) der Zu-

sammenhang zwischen Vorkommen der Art und Ausprägung der bioklimatischen Variablen ermittelt. Das Ergebnis der mit dem statistischen Modell errechneten aktuellen Ausbreitung ist in Abbildung 4.2.3 dargestellt.

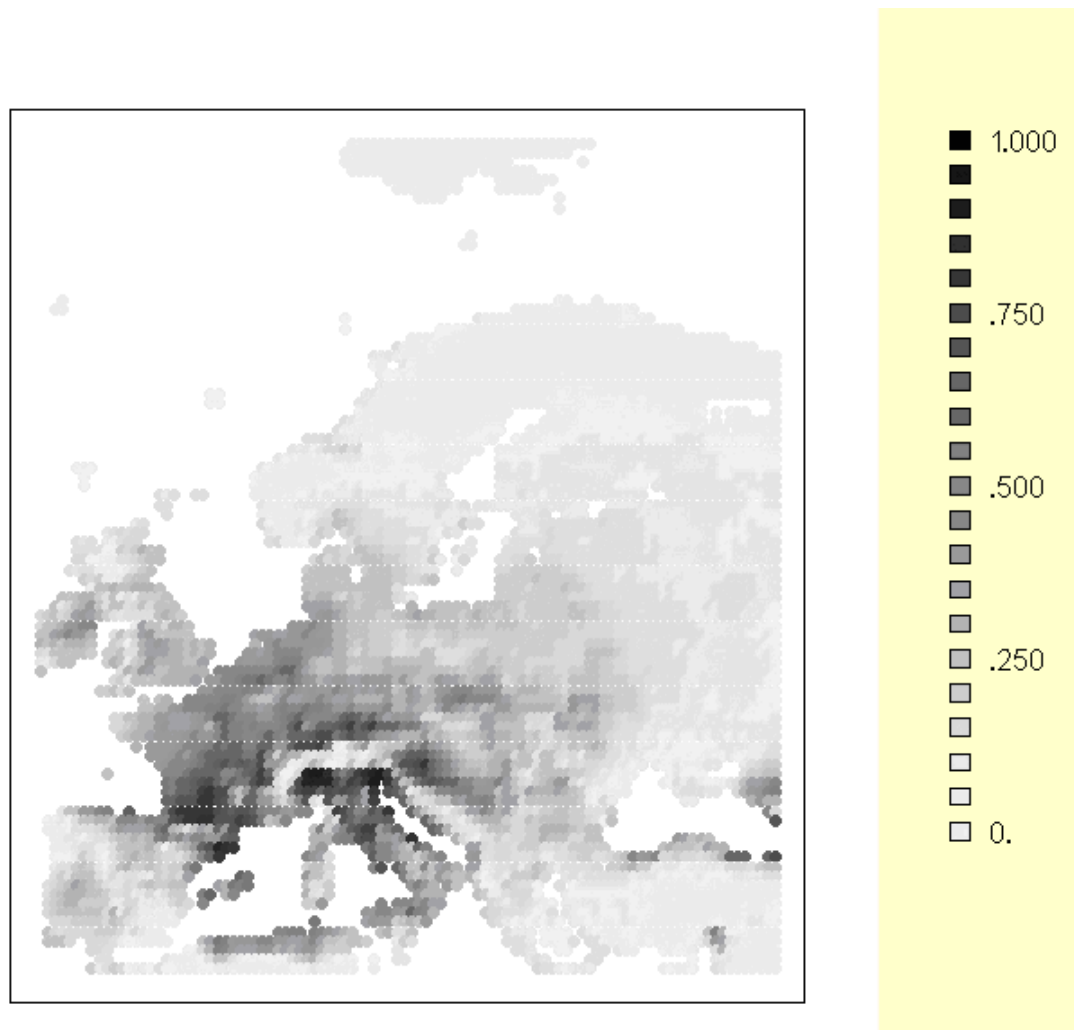


Abb. 4.2.3: Verbreitung von *Sorbus torminalis* nach Climate-Envelope-Ansatz berechnet mittels Generalized Linear Model (GLM) und CRU-Klimadaten 1961-1990; von 0,0 (kein Vorkommen) bis 1,0 (sicheres Vorkommen)

Beim Vergleich der für die Klimanormalperiode 1961-1990 beobachteten und berechneten Verbreitungsdaten (Abbildungen 4.2.2 und 4.2.3) erkennt man zwar teilweise Übereinstimmungen aber auch Differenzen. Mittels True Skill Statistik (Allouche *et al.* 2006) lässt sich ein Maß für die Qualität des Modells zur Vorhersage des Vorkommens bestimmen. Es wurde ein Wert von 0,55 errechnet, wobei 1 eine perfekte Vorhersage und 0 keine Vorhersagefähigkeit bedeutet, negative Werte stehen für inverse, d.h. gegensätzliche Vorhersagen. Das ist kein sehr guter Wert und daher wurde der CRU-Datensatz für Deutschland mit den DWD-Daten im Zeitraum 1961-1990 verglichen. Diese Überprüfung ergab deutliche Unstimmigkeiten, wie in Tabelle 4.2.1 ersichtlich. Zum einen sind die Beobachtungsdaten der Klimanormalperiode (1961-1990) nicht komplett sondern nur von 1971 an in FISKA integriert. Zum anderen weichen die o.g. bioklimatischen Variablen gemittelt über die Klimanormalperiode voneinander ab, z. B. ca. 6% am Standort Potsdam. Nachforschungen ergaben einen Fehler im CRU-Datensatz bei Zeitreihenanalysen aufgrund des verwendeten Verfahrens zur Interpolation zwischen den Klimastationen. Inzwischen liegt ein korrigierter CRU-PIK-Datensatz vor, bei dem dieser Fehler ausgeräumt werden konnte.

			Var 1 [°C]	Var 2 [°C]	Var 3 [°C]	Var 4 [mm]	Var 5 [mm]	Var 6 [mm]	Var 7 [°C/mm]	Var 8 [K]
CRU	52,25°n.B. 13,25°ö.L.	1961- 1990	9,22	-2,07	19,58	537	374	83	0,0343	20,95
DWD (PIK)	52,38°n.B. 13,07°ö.L.	1961- 1990	8,69	-2,20	18,51	584	400	90	0,0321	20,71
Abweichung CRU-DWD			6%	6%	6%	8%	6%	8%	7%	1%

Tab. 4.2.1: Vergleich von DWD-Beobachtungsdaten und CRU-Daten für die bioklimatischen Variablen des Verbreitungsmodells am Ort Potsdam.

Möglichkeiten zur Implementierung des Wirkmodells PIK-07

Auf der Basis des mittlerweile korrigierten CRU-PIK-Datensatzes kann die nach EUFORGEN beobachtete Ausbreitung der Elsbeere mit den dabei herrschenden klimatischen Variablen erneut mit Hilfe des Generalized Linear Model Verfahrens korreliert werden. Das daraus mit einem nicht unerheblichen Aufwand generierte überarbeitete I/O-Modell gibt dann die Verbreitungsänderungen dieser Art im Klimawandel unter den Einschränkungen des Klimahüllenansatzes wieder, d.h. andere relevante Parameter wie z. B. die Bodenart bleiben unberücksichtigt.

4.3 Pilzlicher Schaderreger im Obstbau: Apfelschorf (PIK-08)

Das Modell wurde anhand früherer PIK-Studien (Stock 2005) validiert und implementiert. Der Apfelschorf (*Venturia inaequalis*) ist ein pilzlicher Erreger, der unter warmfeuchten Bedingungen gute Entwicklungsbedingungen und somit ein erhöhtes Infektionspotenzial aufweist. Das Apfelschorf-Modell gibt Hinweise darauf, inwiefern sich unter verändernden Klimabedingungen die regionale Gefahr für Infektionen mit Apfelschorf verändern könnte. Die Ergebnisse sind als Infektionsindizes angegeben und geben einen Überblick über sich zukünftig verändernde Infektionspotenziale. Im aktuellen Modell wird die Blattfeuchtigkeit über ein tagesaktuelles, hydrologisches Interzeptionsmodell beschrieben. Um genaue Infektionshäufigkeiten anzugeben, wäre die Weiterentwicklung des Interzeptionsmodells oder eine Kooperation mit Partnern aus dem Gebiet der Interzeptionsmodellierung sinnvoll. Um den Einfluss des globalen Klimawandels auf das zukünftige Gefährdungspotenzial durch den Apfelschorf zu untersuchen, wurde der Einfluss sich ändernder Klimabedingungen auf den Schaderreger Apfelschorf untersucht. Dazu wurde ein Modell entwickelt, das in der Lage sein sollte, mit Hilfe von temperatur- und niederschlagsabhängigen Algorithmen mögliche zukünftige Infektionshäufigkeiten zu berechnen.

Die derzeit vorliegende Version des Apfelschorf-Modells basiert auf den Weiterentwicklungen der Mills'schen Schorfinfektionstabelle (Mills & LaPlante 1951, 1954) durch MacHardy & Gadoury (1989) sowie Stensvand *et al.* (1997). Diese Tabellen geben in Abhängigkeit von der Tagesmitteltemperatur und der Blattfeuchtedauer in Stunden die Wahrscheinlichkeit für eine Infektion an. So kann für jeden Tag des Jahres berechnet werden, ob eine Infektionswahrscheinlichkeit vorliegt oder nicht. In der Praxis werden sowohl die Temperatur als auch die Blattfeuchtedauer direkt im Bestand gemessen und für die Anwendung der Schorfinfektionstabelle bereitgestellt. Bei der Modellierung des Gefährdungspotenzials durch Schorfinfektionen muss die Blattfeuchtedauer mithilfe eines Interzeptionsmodells berechnet werden.

Üblicher Weise arbeiten Interzeptionsmodelle mit stündlichen Inputdaten wie z. B. der Temperatur, dem Niederschlag und der Windgeschwindigkeit. Sie berechnen die Verdunstung, den aufgefangenen und den durchfallenden Niederschlag, den Stammabfluss u.v.m. (z. B. Rutter *et al.* (1971), Gash (1979)). Besonders für die Entwicklung von Modellen zu Pilzkrankheiten im Agrarbereich sind recht komplexe Interzeptionsmodelle notwendig, die mehrere Schichten im Bestand (Huber & Itier, 1990), die Tropfenbildung auf den Blättern (Zhang & Gillespie, 1990) und mitunter auch Taubildungsprozesse (Pedro & Gillespie, 1982) berücksichtigen. Die Vorversion des Apfelschorf-Modells basiert auf einem recht einfachen Interzeptionsmodell, das die Blattfeuchtigkeit zum aktuellen Zeitpunkt noch überschätzt (Jansson, 1991). Hier müsste ein komplexerer Ansatz implementiert werden, der die oben genannten Kriterien berücksichtigt.

Für das vorliegende Projekt liegen die Klima- und Klimaszenariendaten nur in täglicher Auflösung vor. Das ist zum einen vor dem Hintergrund der Interzeptionsmodellierung aber auch bezüglich der akkuraten Anwendung der Schorfinfektionstabellen problematisch. In der Vorversion des Apfelschorf-Modells wurde der Interzeptionsspeicher täglich berechnet und auf einen prozentualen Stundenanteil des Tages umgelegt. Dieses Vorgehen sollte in jedem Fall durch einen stündlichen Ansatz modifiziert werden. Aufgrund des Fehlens von stündlichen Klima- und Klimaszenariendaten und der notwendigen, hohen Komplexität eines adäquaten Interzeptionsmodells, musste bis zur Projektphase 3 von der Weiterentwicklung des Apfelschorf-Modells abgesehen werden.

Der Schorfinfektionsindex des aktuellen Apfelschorfmodells kann eine mögliche Tendenz der Entwicklung für die nächsten Jahrzehnte anzeigen, darf aber nicht als konkrete Angabe über steigende oder sinkende Häufigkeiten von Schorfinfektionen fehlinterpretiert werden.

4.4 Weizen- und Maisertragsänderung (PIK-12)

Klimaänderungen können durch steigende Temperaturen und Veränderungen im Niederschlagsregime die Landwirtschaft unmittelbar betreffen. Das Spektrum der angebauten Kulturarten ist groß und kann in einem Wirkmodell nicht annähernd im vollen Umfang berücksichtigt werden, zumal auch Veränderungen als Folge von Anpassungsmaßnahmen möglich sind. Die Betrachtungen zu Auswirkungen des Klimawandels auf zukünftige Ertragserwartungen legt daher den Schwerpunkt auf eine Sommer- und eine Winterkultur. Stellvertretend für die Winterkulturen wird Winterweizen und als einjährige Sommerkultur Silomais betrachtet. Diese beiden Kulturen repräsentieren wirtschaftlich bedeutsame landwirtschaftliche Früchte. Bei ähnlichen Ansprüchen an die Temperatur und den Wasserbedarf in den entsprechenden Vegetationszeiten der Sommer- und Winterkulturen können durch Analogieschlüsse Hinweise auf zu erwartende Veränderungen bei anderen Kulturen gewonnen werden (vgl. Kropp *et al.* 2009a, S. 27).

Grundlagen

Steigende Temperaturen führen zu einem Anstieg der potenziellen Verdunstung. In Kombination mit möglichen Niederschlagsrückgängen kann die Ertragsfähigkeit sowohl von Sommer- als auch von Winterkulturen auf den Ackerstandorten negativ beeinflusst werden. Kompensierend wirkt hierbei der Anstieg der atmosphärischen CO₂-Konzentration, welche neben ihrer mittelbaren Wirkung über das Klima auch unmittelbar das Pflanzenwachstum beeinflusst. Ein Anstieg der atmosphärischen CO₂-Konzentration führt über eine höhere Photosyntheseleistung und einen Anstieg

der Wassernutzungseffizienz zu einer Ertragssteigerung. Mit dem Wirkmodell soll abgeschätzt werden, welche Folgen verschiedene Klimaszenarien auf die klimatischen Ertragspotenziale der Ackerstandorte in Deutschland haben. Exemplarisch werden hierzu die Kulturen Winterweizen und Silomais betrachtet. Die Ertragspotenziale beziehen sich auf die gegenwärtig in der landwirtschaftlichen Praxis dominierenden Anbautechnologien und Sorten. Wechselwirkungen zwischen dem Klimawandel und dem technologischen, insbesondere dem züchterischen Fortschritt können nicht berücksichtigt werden. Die Abschätzung soll unter Nutzung eines statistischen Ertragsmodells erfolgen (vgl. Kropp *et al.* 2009b, S. 132), das in seinen Grundzügen im Folgenden vorgestellt wird.

Das statistische Ertragsmodell errechnet witterungsbedingte Änderungsraten der Weizen- und Maiserträge auf Landkreisebene. Dazu werden Regressionsbeziehungen aus Erträgen (auf Kreisebene) der Vergangenheit und Klimaänderungen derselben Jahre benutzt. Als Klimagrößen werden Niederschlag, potenzielle Verdunstung, Anzahl der Frosttage, Anzahl der Schneetage und niederschlagsfreie Tage bestimmter ertragsbedeutsamer Perioden verwendet.

Das Ertragsmodell setzt die relativen Ertragsänderungen im Vergleich zum Vorjahr,

$$\delta y_{t,t-1} = y_t / y_{t-1}$$

in Beziehung zu den relativen Änderungen summarischer Witterungsgrößen:

$$\delta x_i(t, t-1) = \frac{x_i(t)}{x_i(t-1)}$$

Abhängig von der Kultur werden verschiedene Witterungsgrößen in definierten Zeitabschnitten in Bezug zu den Ertragsänderungen gesetzt. Eine Übersicht der je Kultur berücksichtigten Witterungsgrößen $x(i)$ und Zeitspannen geben Tabelle 4.4.1 und Tabelle 4.4.2.

Die Quantifizierung des Ertragsratenmodells erfolgt in einer festzulegenden Periode des rezenten Klimas (Anpassungszeitraum) unter Nutzung von Klima- und Ertragsdaten dieser Periode. Das Modell basiert auf dem allgemeinen Ansatz:

$$\delta y = \delta y_0 \prod_{i=1}^n \delta x_i^{a_i}$$

- mit
- δy - relativer Änderungsfaktor (Änderungsrate des Ertrags im Vergleich zum Vorjahr (1 heißt keine Änderung))
 - δy_0 - mittlerer relativer Ertragsanstieg im Vergleich zum Vorjahr (Ertragssteigerungsrate durch technologischen Fortschritt)
 - δx_i - relativer Änderungsfaktor der i-ten Einflussvariablen im Vergleich zum Vorjahr (1 heißt keine Änderung)
 - a_i - Parameter

Für die Parameterschätzung wird auf die logarithmierte Form zurückgegriffen:

$$\log(\delta y) = \log(\delta y_0) + a_1 \log(\delta x_1) + a_2 \log(\delta x_2) + \dots + a_n \log(\delta x_n)$$

Der Modellansatz unterstellt, dass die Schwankungswerten für die relative Ertragsvariabilität konstant bleiben. Das heißt, die absoluten Abweichungen vom Trendertrag nehmen mit dem Ertragsniveau zu, die relativen Abweichungen bleiben konstant. Für jeden einzelnen Kreis und jede Kultur wird ein eigenes Regressionsmodell geschätzt, welches die jährlichen, relevanten Änderungen des Witterungsverlaufs in Bezug zu den jährlichen Ertragsänderungen für den Anpassungszeitraum setzt.

Es wird von einem Ansatz potenziell relevanter Klimavariablen ausgegangen, der dann schrittweise im Verlauf der Modellanpassung auf die signifikanten Modellvariablen reduziert wird. Die Modellparametrisierung erfolgt mit dem Modellsystem SAS (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) unter Nutzung des PROC REG Moduls. Generell muss auf Grund der Unsicherheit der Klimaprojektionen davon ausgegangen werden, dass nur Mittelwerte und Summen von Klimavariablen für längere Zeitspannen bei der Modellbildung berücksichtigt werden dürfen.

Nach der Modellschätzung mit den Daten aus der Anpassungszeitraum werden die Landkreismodelle genutzt, um die Ertragsänderungsdaten ausgehend von den beobachteten Klimadaten für eine Periode, die nicht für die Modellbildung genutzt wurde, zu schätzen und mit den beobachteten Ertragsänderungsraten zu vergleichen (Validierungszeitraum).

Im ersten Schritt erfolgte die Parametrisierung des Modells anhand des Datensatzes des PIK mit den DWD-Daten der Vergangenheit für einen bestimmten Zeitabschnitt. Anschließend wurden die Ertragsänderungen für einen anderen Zeitabschnitt der Vergangenheit ebenfalls mit dem Datensatz des PIK (DWD) simuliert und mit den beobachteten Ertragsänderungen verglichen (Validierung des Modells). Danach erfolgt die Simulation mit den Klimadaten für die Zukunft.

Die validierten Modelle werden im nächsten Schritt genutzt, um die Szenarieneffekte der verschiedenen Klimaszenarien zu ermitteln. Je Modell (REMO, WETTREG) und Emissionsszenario (A2, A1B, B2) liegen Klimareihen vor, die im rezenten Klimabereich beginnen (REMO 1951, WETTREG 1961) und diesen dann bis 2100 fortschreiben.

Für jede Klimareihe eines Emissionsszenarios wird landkreisweise zunächst eine zugehörige Reihe von Ertragsänderungsraten ermittelt. Die simulierten Ertragsänderungsraten bilden die Grundlage für die Ermittlung des Relativertrages je Jahr mit Bezug zu einem fiktiven Basisniveau.

Die Szenarieneffekte ergeben sich, indem die mittleren Relativerträge der Szenarienperioden mit denen der Kontrollperiode in Beziehung gesetzt werden. Der Bezug zum Basisniveau kürzt sich hierbei heraus. Die mittlere relative Ertragsänderung einer Periode wird aus linearen Trendfunktionen abgelesen, die über Anfang und Ende der betrachteten Perioden hinausgehen. Hierdurch wird der Einfluss zufälliger Häufungen von „guten“ und „schlechten“ Ertragsjahren in einer Periode auf das Vergleichsergebnis gemindert (Kropp *et al.* 2009b, S. 141f).

Vorteile und Grenzen des gewählten Modellkonzepts (nach Kropp *et al.* 2009b, S. 142f)

Ein großer Vorteil des verwendeten Ansatzes ist die Bezugnahme auf relative Änderungsraten des Klimas. Der Modellfehler der Klimamodelle bei der Reproduktion des rezenten Klimas bleibt somit ohne Folgen für die Ertragssimulationen. Der Ansatz setzt direkt auf Praxisdaten auf und berücksichtigt damit implizit auch ein mittleres Anpassungsverhalten der Landwirte gegenüber Klimaänderungen durch Sortenwahl und Anpassung der Agronomie. Effekte, die sich aus deutlichen Anbauausdehnun-

gen und Einschränkungen des Anbauumfangs einzelner Kulturen ergeben, können durch diesen Ansatz jedoch nicht abgebildet werden. Die Ertragseffekte beziehen sich auf die gegenwärtige Standortbindung der betrachteten Kulturen. Wenn der Anbau einer Kultur sich auf ertragsschwächere Standorte ausdehnt, werden die Ertragsverluste deutlicher und die Ertragsgewinne geringer ausfallen. Bei einem Rückzug auf ertragsstärkere Gebiete gilt die entsprechende Umkehrung.

Die Gültigkeitsgrenzen des Modells werden durch den in der Vergangenheit beobachteten Schwankungsbereich des Klimas gesetzt. In dem Maße wie das neue Klima diesen versetzt, können Toleranzschwellen der Ertragsbildung überschritten werden, die in der Vergangenheit nicht erreicht wurden. Diese Effekte werden durch den gewählten Modellansatz nicht erfasst. Der bisher beschriebene Modellansatz ist in einer Regionalstudie (Wechsung *et al.* 2009) und zwei Länderstudien (Kropp *et al.* 2009a und 2009b) umgesetzt worden. Die prinzipielle Anwendbarkeit ist damit nachgewiesen. Eine Anwendung und Nutzung im Rahmen von FSKA erfordert jedoch einen deutlich erhöhten Aufwand.

Arbeitsstand

Der Modellaufbau für die Simulation der landwirtschaftlichen Kulturen Winterweizen und Silomais im Rahmen von FSKA ist im Februar 2009 für Ostdeutschland, im April 2009 für die Bundesländer Bayern und Baden-Württemberg abgeschlossen worden. Die Ertragssimulation erfolgte anschließend mit dem Datensatz des PIK aus dem Regionalmodell STAR 2.0 von 2006-2060 mit dem Szenario A1B. Der Aufwand für die Simulation mit dem statistischen Regressionsmodell bei Verwendung anderer Klimadatensätze (REMO, WETTREG) erwies sich als umfangreicher als ursprünglich angenommen. In erster Linie ist dieses auf die Zunahme der Regressionsglieder zurückzuführen. Aufgrund des erhöhten Bearbeitungsaufwands muss davon ausgegangen werden, dass die Abschätzungen zu den Potenzialen der Weizen- und Maisertragsänderungen erst im Laufe des Jahres 2012 bundesweit zur Verfügung stehen werden.

5 Zurückgestellte Implementierungen

5.1 Lokale Hochwassergefahr (PIK-03)

Bei meteorologisch bedingten und daher primär vom Klimawandel beeinflussbaren Hochwassergefahren sind zwei Typen mit jeweils zwei Untertypen zu unterscheiden:

- (i) Niederschlagsbestimmte Hochwasser wie
 - Lokale Starkniederschlagsfluten und Sturzfluten,
 - Flusshochwasser;
- (ii) Nicht-Niederschlagsbestimmte Hochwasser wie
 - Reservoirüberläufe nach Lawinen-, Murenabgängen oder Eisschmelze,
 - Windgetriebene Hochwasser, wie Sturmfluten.

In der überwiegenden Zahl der Fälle sind starke Niederschläge Auslöser für Hochwasserereignisse. Die entscheidenden meteorologischen Größen sind die Dauer, Intensität und räumliche Ausdehnung des Niederschlags. Gesättigte oder gefrorene Böden, schnelles Abtauen von Eis und Schnee können die Abflüsse zusätzlich erhöhen. Für eine Implementierung in FISKA kommen von den möglichen Hochwassertypen lediglich die zuerst genannten lokalen Starkniederschlagsfluten bzw. Sturzfluten infrage. Die Bezeichnung Sturzflut wird häufig synonym für Starkniederschlagsflut verwendet. In Bezug auf das Gefahrenpotenzial wird hier aber klar zwischen beiden unterschieden: unter Sturzfluten verstehen wir speziell Starkniederschlagsfluten in abfallendem Gelände, wo die Abflüsse infolge erhöhter kinetischer Energie auch ein höheres Schadenspotenzial haben können.

Ausgedehnte, zeitlich und räumlich verteilte Niederschlagsgebiete in einem Flusseinzugsgebiet, die über die Abflüsse zu einem Flusshochwasser führen können, erfordern Ensembles von Niederschlagsrealisierungen mit regionalen Klimamodellen und außerdem Wasserhaushaltsmodelle, die großräumig und dynamisch über längere Zeiträume die Abflüsse berechnen. In FISKA ergeben die auf Einzelzellen fixierten Rechenkerne dort nur die lokalen Abflüsse zum Zeitpunkt des Starkregens und es ist nicht nur wegen der extremen Rechenzeiten nicht praktikierbar, diese räumlich und zeitlich koordiniert zusammenzuführen. Auch für die übrigen Fälle wie zum Beispiel bei Reservoirüberläufen nach Dammbürchen infolge Murenabgängen oder Gletscherschmelzen oder bei windgetriebenen Hochwassern, wie Sturmfluten an der Küste, sind spezielle Modelle besser geeignet als FISKA.

Wasserhaushaltsmodelle, die großräumig und dynamisch über Zeiträume berechnet werden, lassen sich in den Ansatz von FISKA nicht implementieren aufgrund der hohen Komplexität und des hohen Zeitaufwandes.

Auftreten extremer Niederschläge in Deutschland

Der Stand der Wissenschaft zur lokalen Hochwassergefahr wurde in einem anderen Ufoplan-Projekt eingehend dargestellt (Köppke *et al.* 2011). Niederschlagsbestimmte Klimawirkungen nehmen infolge der zunehmenden Wasseraufnahmefähigkeit der Atmosphäre und damit intensiviertem Wasserkreislauf überproportional mit zunehmender Temperatur zu. Nach der Gleichung von Clausius-Clapeyron steigt der Wassergehalt der Atmosphäre bei einer Temperaturerhöhung exponentiell an, z. B. bei einem Temperaturanstieg von 20 auf 21°C um 6 bis 7%.

Die temperaturabhängige Wasseraufnahme in der Atmosphäre wird zwar in den regionalen Klimamodellen berücksichtigt, nicht oder nur pauschal verschiedene klimarelevante Eigenschaften der Landoberfläche, die das Lokalklima mit Verdunstung, Konvektion, Kondensation und Wolkenbildung bestimmen und damit auch, wie viel Niederschlag wo, wann und mit welcher Intensität und Dauer fällt. Dies ist ein Grund, warum die Modelle die sehr differenzierte Entwicklung lokaler Starkniederschlagsereignisse nur unbefriedigend und mit großer Unsicherheit simulieren können. Man versucht mit Ensembles von Modellen und einer Vielzahl von Realisierungen/Rechenläufen statistisch treffendere Verteilungen zu erhalten.

Starkregen ist definiert als Niederschlag hoher Dichte pro Zeiteinheit. Starkregen fällt meist aus konvektiver Bewölkung und Gewitterzellen. Der DWD definiert Starkregen als Niederschlag / Zeit größer als:

5 mm / 5 min
7,1 mm / 10 min
10 mm / 20 min
17,1 mm / 60 min.

Im KOSTRA-Atlas hat der DWD eine regionalisierte Auswertung von extremwertstatistisch ermittelten Starkniederschlagshöhen für Deutschland bereit gestellt (Bezugszeitraum 1951-1980) und mit KOSTRA-DWD-2000 aktualisiert (Basiszeitraum 1951-2000) (DWD 1997, 2005a, b). KOSTRA steht für Koordinierte Starkniederschlags-Regionalisierungs-Auswertung. Die Ergebnisse schreiben in Abhängigkeit von Niederschlagsdauer (5 min bis 72 h) und Jährlichkeit (0,5 a bis 100 a) konsequent die Aussagen bis 2000 fort und extrapolieren die Daten für einzelne Regionen (Raster) zu Extremwerten mit langen Wiederkehrintervallen (siehe Abbildung 5.1.1).

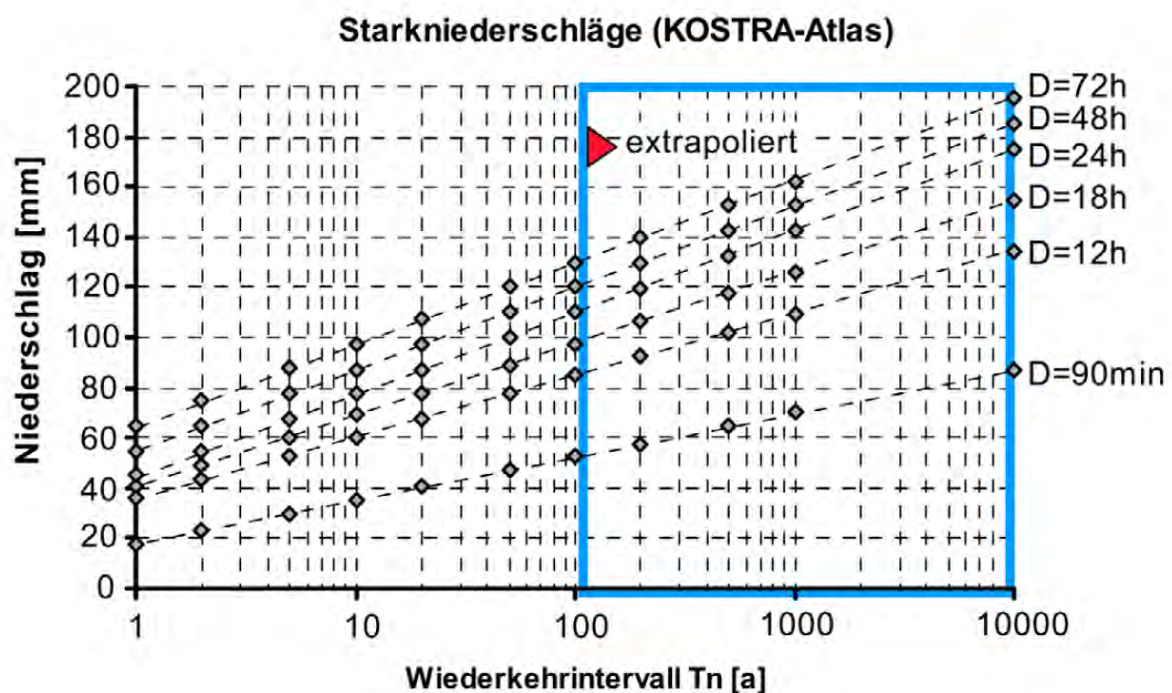


Abb. 5.1.1: Beispiel zur Extrapolation der Niederschläge für ein regionales Rasterfeld aus dem KOSTRA-Atlas (MUNLV NRW 2004, DWD 1997, 2005)

Der neue und auch längere Bezugszeitraum 1951–2000 zeigt besonders bei den selteneren Ereignissen einen Trend zur Anhebung der Niederschlagshöhen. Dies bestätigt nicht nur die gängige Hypothese, dass sich Starkniederschläge verstärkt haben, sondern deckt sich auch mit den für starkregenrelevante Großwetterlagen beobachteten Veränderungen (Werner & Gerstengarbe 2010 und 2011). In allen Zeitspannen

(Jahr, Sommer und Winter) erkennt man eine Tendenz zunehmender Niederschlagshöhen, den jeweils unterschiedlichen Großwetterlagen zugeordnet.

In Deutschland wurde als höchste 24stündige Niederschlagshöhe ein Wert von 312,0 mm gemessen, am 12. bis 13.08.2002 in Zinnwald im Osterzgebirge. Die höchste Niederschlagsintensität betrug 126,0 mm, die am 25.05.1920 bei Füssen (Allgäu) in nur 8 Minuten (!) fiel (DWD, [Wetterrekorde-Niederschlag](#)). Zum Vergleich: die weltweit höchste 24stündige Niederschlagshöhe liegt bei 1870 mm, gemessen am 15./16.03.1952 in Cilaos (Insel La Reunion/Indischer Ozean). Abbildung 5.1.2 zeigt die Beziehung zwischen Niederschlagsintensität in mm/h und der Niederschlagsdauer (Geiger *et al.* 1991).

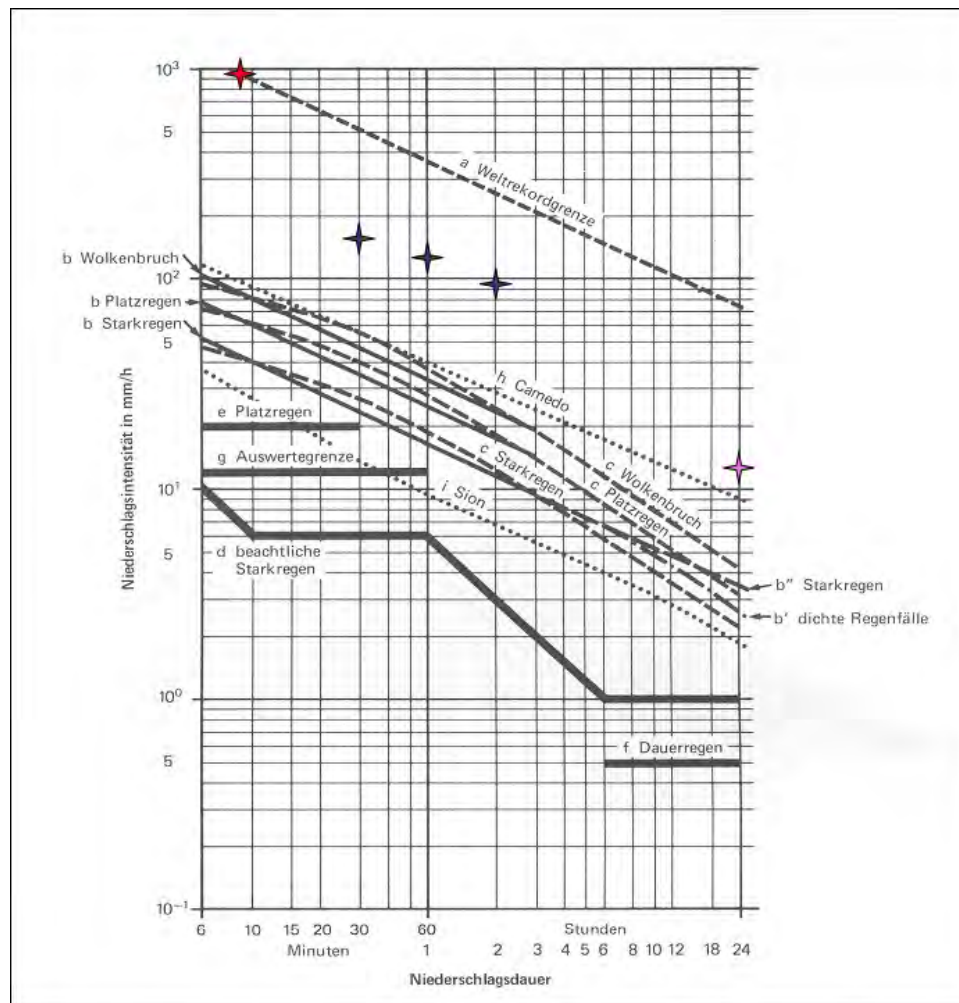


Abb. 5.1.2: Diagramm von Niederschlagsintensität ($\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$) und Niederschlagsdauer für verschiedene Niederschlagstypen und -ereignisse (Geiger *et al.* 1991). Mit Kreuzen markiert sind Extremereignisse in Deutschland, rot: Füssen (25.05.1920), magenta: Zinnwald (12.-13.08.2002) und blau: Dortmund (26.07.2008).

Lokale Niederschlags-Abfluss-Modellierung

Ausgehend von Daten für lokale extreme Niederschläge, wird die sogenannte SCS-Methode für die Niederschlags-Abfluss-Modellierung lokaler oberirdischer Abflüsse herangezogen (Zhan & Huang 2004, Maniak 2005, McGee 2009), die in den fünfziger Jahren vom der US Soil Conservation Service (SCS) auf Grundlage empirischer Analysen für kleine natürliche Einzugsgebiete entwickelt wurde und die abflusswirksamen Anteile eines Niederschlagsereignisses auf Basis gebietsspezifischer Para-

meter (Landnutzung und -bearbeitung, Bodenart, Feuchte) berechnet. Die Methode ermittelt auf der Basis der vorkommenden Böden (Scheffer & Schachtschnabel 2002) die Verluste durch Infiltration für kleine Einzugsgebiete und wird häufig auch in komplexen Wasserhaushalts- und Abflussmodellen wie SWAT oder SWIM verwendet (Krysanova *et al.* 2000).

Das SCS-Verfahren liefert den oberirdischen Abfluss für das Niederschlags-Abfluss-Ereignis nach folgender Gleichung:

$$R_{sur} = (P - 0,2 \cdot S)^2 / (P + 0,8 \cdot S) \quad \text{bei } P > 0,2 S$$

$$R_{sur} = 0 \quad \text{bei } P \leq 0,2 S$$

mit R_{sur} = Abfluss [mm]

P = Niederschlag [mm]

S = Maximales Speichervermögen des Bodens [mm]

Der Parameter S hängt von den Boden- und Vegetationsbedingungen ab und ist mit dem sogenannten CN-Wert (Curve Number) wie folgt verknüpft (der Faktor 25,4 ist bedingt durch die Umrechnung inch in mm):

$$S = 25,4 \cdot (1000 / CN - 10)$$

Abbildung 5.1.3 zeigt den Zusammenhang zwischen Abfluss R , Niederschlag P und der Curve Number CN , die Werte von 30 bis 100 annehmen kann. Je geringer das Infiltrationsvermögen des Bodens ist, umso mehr nähert sich CN dem Wert 100.

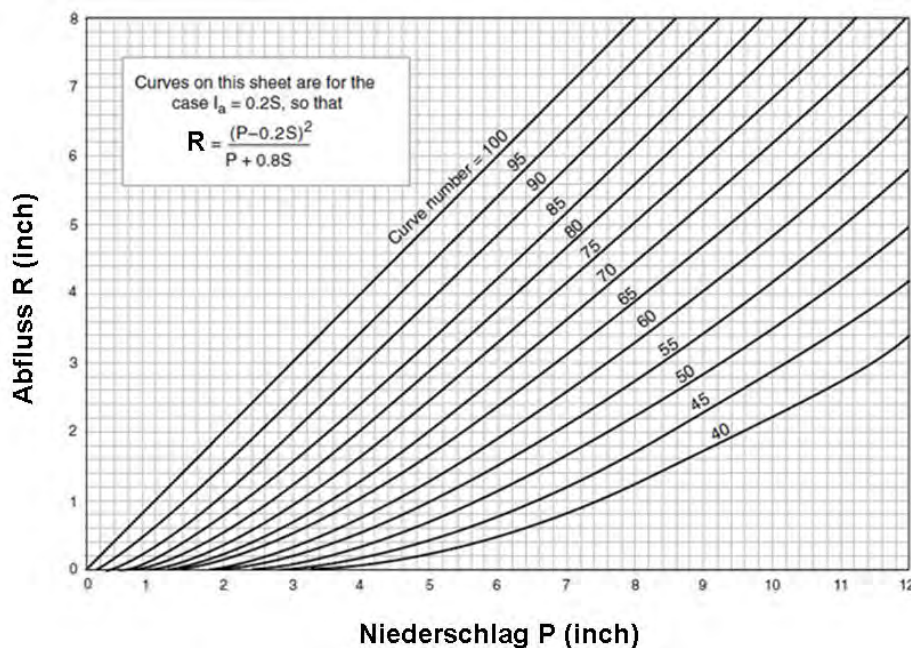


Abb. 5.1.3: Diagramm der Abhängigkeit des Abflusses von Niederschlag und CN-Wert als Maß für das Aufnahmevermögen der Böden.

Ermittlung der CN-Werte zur Berechnung des Boden-Speichervermögens

Als Datengrundlage für die Ermittlung des CN-Wertes wurde die Datenbank BÜK1000 Tabelle „Horizont“ (Originalgröße: 2395 Datensätze) für den obersten A-Horizont (1. Bodenschicht unter der organischen Auflage) verwendet. Im Verlauf der Berechnungsschritte entstanden sechs abgeleitete Tabellen mit den Daten aus der Bodenkundlichen Kartieranleitung (KA4) (AG BODEN 1994). Der Ermittlung der CN-Werte nach SCS-Methode dienen folgende Schritte:

1. Aus der Tabelle 5.1.1 (Horizont) erhält man für die verschiedenen Bodenarten den Tongehalt T_o (Tab. 5.1.2) und die Rohdichte trocken R_t (Tab. 5.1.3);
2. Die effektive Lagerungsdichte (Bulk density) L_d [$\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$] wird aus Rohdichte trocken R_t [$\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$] und Tongehalt T_o [Masse%] berechnet:

$$L_d = R_t + 0,009 \cdot T_o;$$
3. Aus Bodenart und effektiver Lagerungsdichte L_d wird die gesättigte Leitfähigkeit (saturated conductivity) SC [$\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$] ermittelt (Tab. 5.1.4) und für alle Böden der Tabelle 5.1.1 (oberster A-Horizont) ausgewählt und in eine neue Spalte SC der Tabelle 5.1.1 eingetragen;
4. Mit Hilfe des SC -Wertes werden den Böden die hydrologischen Bodentypen A, B, C, D zugeordnet (Tab. 5.1.5, Hydro_Soil_Group) und diese Zuordnung in eine weitere neue Spalte HSG der Tabelle 5.1.1 eingetragen.
5. Die Art der Landnutzung nach BÜK1000 wird in Tabelle 5.1.6 erfasst und mit dem hydrologischen Bodentyp HSG werden die CN-Werte den Böden zugeordnet (Tab. 5.1.7). Bei diesem Schritt fiel auf, dass nicht alle Böden in Deutschland mit Beschränkung auf den obersten Horizont erfasst werden können. Die restlichen Böden wurden unter Einbeziehung der Wurzelzone nach BÜK1000 (Tabelle: bk1_clc_reg3_polygon) ermittelt und nach dem SWIM-Verfahren (Krysanova *et al.* 2000) den Böden zugeordnet (Tab. 5.1.8).
6. Abschließend wurden die CN-Werte als Shape-Datei gespeichert und können als FISKA-Spatialparameter für die Berechnung der niederschlagsbedingten lokalen oberirdischen Abflüsse in Deutschland nach dem SCS-Verfahren verwendet werden. Das Ergebnis ist in Abbildung 5.1.4 dargestellt.

Horizont_Ausschnitt							neu				
BOFORM ID	HOR NR	HORIZ	OTIEF	UTIEF	FEINBOD	TRDSV_STUFE	Ld	Nutz Nr	SC	HSG	CN
3301211	1	Aehp	0	35	fSms	Rt3	1,55	21	101,7	A	65
3301211	2	B(s)h	35	50	fSms	Rt3					
3301211	3	B(h)s	50	80	mSfs	Rt3					
3301211	4	Go	80	110	mSfs	Rt3					
3301211	5	Gr	110	200	mSfs	Rt3					
3301231	1	Ah	0	10	fSms	Rt3	1,55	23	101,7	A	30
3301231	2	Go	10	70	fSms	Rt3					
3301231	3	Gr	70	200	fSms	Rt3					
3301312	1	Of	-6	-4		Rt1	1,57	31	145,4	A	36
3301312	2	Oh	-4	0		Rt1					
3301312	3	Ahe	0	10	Ss	Rt3					
3301312	4	Ae	10	20	Ss	Rt3					
3301312	5	Bsh	20	25	Ss	Rt2					
3301312	6	Bhs	25	30	Ss	Rt2					
3301312	7	Bbhs-Bsv	30	90	Ss	Rt3					
3301312	8	Cv	90	150	Ss	Rt3					
3301312	9	Sw	150	160	Su2	Rt4					

Tab. 5.1.1: Ausschnitt aus der BÜK1000 Tabelle Horizont (Originalgröße: 2395 Datensätze), mit den für die Berechnung des CN-Wertes für den obersten Horizont benötigten Spalten. Die Bodenklassifikation für Tongehalt und Rohdichte trocken sind in den Spalten FEINBOD und TRDSV_STUFE angegeben.

Bodenarten									
BoArt ID	BoArt	BoArt Bezeichnung	Ton min	Ton max	Ton mittel	Schluff min	Schluff max	Sand min	Sand max
42	fSms	feiner -mittelkörniger Sand	0	5	2,5	0	0	0	0
10	Ls2	Schwach sandiger Lehm	17	25	21	40	50	25	43
11	Ls3	Mittel sandiger Lehm	17	25	21	30	40	35	53
12	Ls4	Stark sandiger Lehm	17	25	21	15	30	45	68
13	Lt2	Schwach toniger Lehm	25	35	30	30	50	15	45
14	Lt3	Mittel toniger Lehm	35	45	40	30	50	5	35
15	Lts	Sandig-toniger Lehm	25	45	35	15	30	25	60
16	Lu	Schluffiger Lehm	17	30	23,5	50	65	5	33
43	mSfs	mittelkörniger -feiner Sand	0	5	2,5	0	0	0	0
18	Sl2	Schwach lehmiger Sand	5	8	6,5	10	25	67	85
19	Sl3	Mittel lehmiger Sand	8	12	10	10	40	48	82
20	Sl4	Stark lehmiger Sand	12	17	14,5	10	40	43	78
21	Slu	Schluffig-lehmiger Sand	8	17	12,5	40	50	33	52
22	Ss	reiner Sand	0	5	2,5		10	85	100
23	St2	Schwach toniger Sand	5	17	11	0	10	73	95
24	St3	Mittel toniger Sand	17	25	21	0	15	60	83
25	Su2	Schwach schluffiger Sand	0	5	2,5	10	25	70	90
26	Su3	Mittel schluffiger Sand	0	8	4	25	40	52	75
27	Su4	Stark schluffiger Sand	0	8	4	40	50	42	60
28	Tl	Lehmiger Ton	45	65	55	15	30	5	40
29	Ts2	Schwach sandiger Ton	45	65	55	0	15	20	55
30	Ts3	Mittel sandiger Ton	35	45	40	0	15	40	65
31	Ts4	Stark sandiger Ton	25	35	30	0	15	50	75
32	Tt	Reiner Ton	65	100	82,5	0	35	0	35
33	Tu2	Schwach schluffiger Ton	45	65	55	30	55	0	25
34	Tu3	Mittel schluffiger Ton	30	45	37,5	50	65	0	20
35	Tu4	Stark schluffiger Ton	25	35	30	65	75	0	10
36	Uls	Sandig-lehmiger Schluff	8	17	12,5	50	65	18	42
37	Us	Sandiger Schluff	0	8	4	50	80	12	50
38	Ut2	Schwach toniger Schluff	8	12	10	65	92	0	27
39	Ut3	Mittel toniger Schluff	12	17	14,5	65	83	0	23
40	Ut4	Stark toniger Schluff	17	25	21	65	83	0	18
41	Uu	Reiner Schluff	0	8	4	80	100	0	20

Tab. 5.1.2: Bodenarten mit den Grenzwerten der Anteile der Fraktionen nach KA4.

RT	Rt_Stufe	RT min	RT max	RT mittel
Rt1	sehr gering	1,05	1,25	1,15
Rt2	gering	1,25	1,45	1,35
Rt3	mittel	1,45	1,65	1,55

RT	Rt_Stufe	RT min	RT max	RT mittel
Rt4	hoch	1,65	1,85	1,75
Rt5	sehr hoch	1,85	2,05	1,95

Tab. 5.1.3: Einstufung der Rohdichte trocken RT gemäß Bodenkundlicher Kartieranleitung (AG BODEN 1994). Die Spalte RT wurde mit Horizont. TRDS_STUFE verknüpft und als Wert der Rohdichte (Spalte RT_mittel) gewählt.

BO-Art	SC1 Ld < 1,6	SC2 1,6 < Ld < 1,8	SC3 Ld > 1,8	BO-Art	SC1 Ld < 1,6	SC2 1,6 < Ld < 1,8	SC3 Ld > 1,8
Ss	145,4	95,4	52,5	Ut4	12,9	3,8	1,7
Sl2	45,4	20,4	15	Tt	2,9	0,8	0,4
Sl3	19,6	13,8	6,3	TI	4,2	1,3	0,4
Sl4	17,9	8,8	5	Tu2	8,3	2,1	0,4
Slu	17,1	4,6	3,3	Tu3	11,3	5,4	2,5
St2	37,9	32,9	15,4	Tu4	14,2	11,7	3,3
St3	11,6	7,1	2,9	gSfs	153,8	54,2	20,8
Su2	65,4	36,7	15	mS	272,1	177,9	79,1
Su3	31,3	13,3	7,1	mSgs	242,1	117,1	29,1
Su4	17,1	10	8,3	mSfs	129,6	92,1	54,1
Ls2	17,1	8,3	5,4	fS	71,7	44,2	16,6
Ls3	5,4	2,9	2,5	fSms	101,7	70,4	25
Ls4	8,3	5,8	2,5	Hhz1	83,3	10,4	2,1
Lt2	5,4	3,8	1,7	Hhz2	83,3	10,4	2,1
Lt3	4,2	4,2	2,9	Hhz3	10,4	2,1	0,2
Lts	5	2,5	1,3	Hhz4	2,1	0,2	0
Lu	10,8	7,5	2,5	Hhz5	2,1	0,2	0
Uu	6,7	2,9	1,2	nHv	83,7	10,8	2,5
Uls	14,6	5,8	2,1	nHm	83,7	10,8	2,5
Us	9,2	4,2	1,6	nHa	83,7	10,8	2,5
Ut2	12,5	2,9	1,7	nHt	83,7	10,8	2,5
Ut3	15,8	3,3	1,3	nHr	83,7	10,8	2,5

Tab. 5.1.4: Die gesättigte Leitfähigkeit SC (saturated conductivity) des Bodens wird aus effektiver Lagerungsdichte Ld (Bulk_density) und Bodenart ermittelt (nach AG BODEN 1994).

HSG	SC min	SC max	Beschreibung
A	7,62	100	Böden mit großem Versickerungsvermögen $I > 0,76$ cm /h. auch nach starker Vorbefeuchtung, z. B. tiefe, gut dränierte Kies- und Sandböden starker Vorbefeuchtung
B	3,81	7,62	Boden mit mittlerer Infiltration $0,38 < I < 0,76$ cm /h; z. B. feine Sand- und Lößböden mit geringem Lehmanteil
C	1,27	3,81	Boden mit geringer Infiltration $0,13 < I < 0,38$ cm/h; mit wasserstauenden Schichten, z. B. feine Sand- und lehmige Böden
D	0	1,27	Boden mit sehr geringer Infiltration $I < 0,13$ cm /h; z. B. fette Lehm Böden über hohem Grundwasserspiegel, die leicht zur Vernässung neigen

Tab. 5.1.5: Zuordnung der Bodeneinheiten nach BÜK1000 zu Hydrologischen Bodentypen (Hydro_Soil_Group, HSG) mithilfe ihrer SC-Werte

NUTZ NR	Nutzungsart (NUTZ_BEZ)
11	Siedlungsflächen
13	Deponien und Abbauflächen
21	Ackerflächen
22	Dauerkulturen
23	Grünland
24	Landwirtschaftliche Flächen heterogener Struktur
31	Wälder

NUTZ NR	Nutzungsart (NUTZ_BEZ)
32	Strauch- und Krautvegetation
33	Offene Flächen, Strände, Dünen, Felsen
41	Feuchtfächen im Landesinneren
42	Salzwiesen
43	Flächen in der Gezeitenzone
51	Binnengewässer
52	Meeresgewässer

Tab. 5.1.6: Hauptlandnutzungsarten des Bodens nach BÜK1000

Nutz Nr	HSG	CN	Nutz Nr	HSG	CN	Nutz Nr	HSG	CN	Nutz Nr	HSG	CN
11	A	72	22	C	82	32	A	35	42	C	71
11	B	79	22	D	86	32	B	56	42	D	78
11	C	85	23	A	30	32	C	70	43	A	100
11	D	88	23	B	58	32	D	77	43	B	100
13	A	77	23	C	71	33	A	77	43	C	100
13	B	86	23	D	78	33	B	86	43	D	100
13	C	91	24	A	65	33	C	91	51	A	100
13	D	94	24	B	75	33	D	94	51	B	100
21	A	65	24	C	82	41	A	100	51	C	100
21	B	75	24	D	86	41	B	100	51	D	100
21	C	82	31	A	36	41	C	100	52	A	100
21	D	86	31	B	60	41	D	100	52	B	100
22	A	65	31	C	73	42	A	30	52	C	100
22	B	75	31	D	79	42	B	58	52	D	100

Tab. 5.1.7: Zuordnung der CN-Werte zu den Böden nach Nutzungsart und hydrologischem Bodentyp nach Maidment (1993)

HSG	Boden-Nr. nach BÜK1000
A	1,2,6,10,12,17,20,22,24-26,28,31,33,34,45,53,55,57,63,72
B	7,13,15,19,23,29,32,36,37,40,42-44,46,47-49,56,59,61,64,71
C	3,4,5,8,9,11,14,27,41,58
D	38,51,65,66,70

Tab. 5.1.8: Zuordnung von Bodeneinheiten nach BÜK1000 zu Hydrologischen Bodentypen (Hydro_Soil_Group, HSG) nach dem SWIM-Verfahren (Krysanova *et al.* 2000)

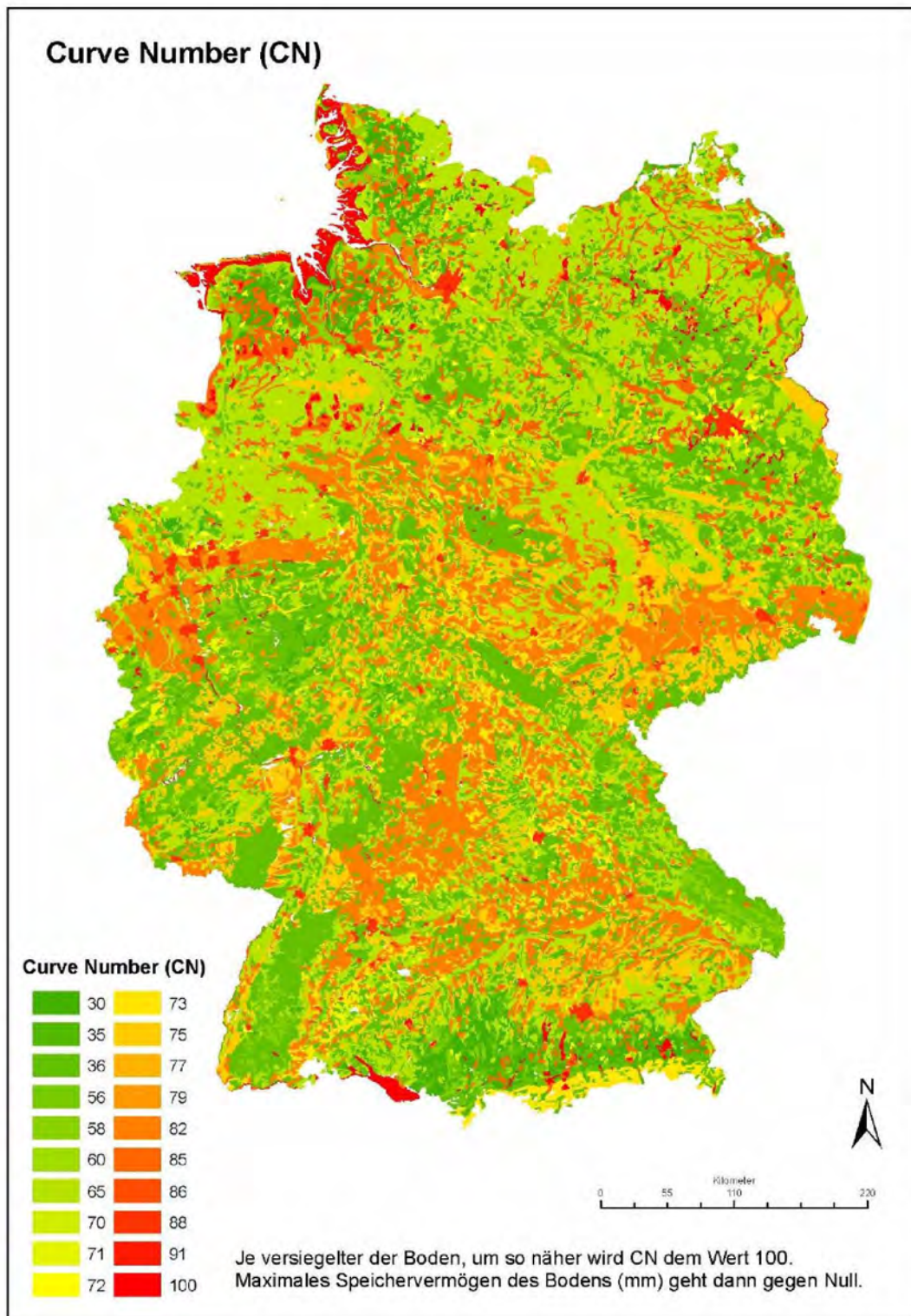


Abb. 5.1.4: Ergebnisse der berechneten CN-Werte für Deutschland und beschreibt die regional differenzierte Sensitivität für lokale Starkniederschlagsfluten.

Anzumerken ist, dass die CN-Werte nur für den obersten A-Horizont (1. Bodenschicht unter der organischen Auflage) ermittelt wurden. Für Humusböden (Bodenarten Hh, Hn) wurde der CN-Wert für Feuchtgebiete (85) verwendet, weil es sich erfahrungsgemäß um die Mooregebiete handelt. Außerdem sind die in der Tabelle Horizont

vorhandenen Böden nicht ausreichend, um die Fläche Deutschlands komplett zu beschreiben, so dass für einzelne kleinräumige Flächen die CN-Werte nicht ermittelt werden konnten.

Möglichkeiten und Grenzen der gewählten Methode zur Ermittlung lokaler Hochwassergefahren

Der Grundgedanke bei der verwendeten Methode geht davon aus, dass die aus Starkniederschlägen berechneten lokalen Abflüsse wesentlich für lokale Hochwassergefahren sind und die mangelnde lokale Versickerung, repräsentiert durch die CN-Werte, ein kritischer Faktor ist. Wie Abbildung 5.1.4 zeigt, werden auch tiefer als die Umgebung liegende Wasserflächen, Moor- und Wattgebiete von diesem Faktor als versiegelt und somit kritisch eingestuft, obwohl dort fallende Niederschläge unkritisch sind, solange sie nicht zu kritischen, d.h. über die Bemessungswerte der Anlagen zum Hochwasserschutz hinausgehenden Wasserständen führen. Das bedeutet, dass die lokalen spezifischen baulichen Gegebenheiten, die zum Zusammenfließen von Abflüssen führen können, für die lokale Hochwassergefahr wesentlich bedeutender sind als die berechneten CN-Werte.

Insbesondere Stadtgebiete sind sehr unterschiedlich hinsichtlich der Bodenversiegelung strukturiert. In BÜK1000 werden sie jedoch alle mit dem gleichen Merkmal dargestellt: „Versiegelte Flächen in größeren Städten einschließlich der Böden aus Schutt und Müll (z. B. Syrosem, Regosol, Pararendzina) sowie der Gartenböden (Hortisol)“. Aus diesem Grund wurde für alle Stadtfächen der CN-Wert = 88 benutzt. Für Aussagen über kritische oberirdische Abflüsse in den Städten liefern daher kleinräumige und detaillierte Stadtkarten die wesentlichen Informationen.

Die entwickelte Abschätzungsmethode kann aber für landwirtschaftliche Flächen in Zusammenhang mit Hangneigung und Vegetationsbedeckung sinnvoll sein.

5.2 Potenzielle Bodenfeuchte (PIK-05)

Der einfache Modellansatz für das Wirkmodell wurde der Dissertation von Rommelfanger (2007) entnommen. Der dort beschriebene (Fuzzy-) Indikator wurde für eine Modellregion entwickelt, auf mögliche Probleme bei der Übertragbarkeit wurde hingewiesen.

Dynamische Wasserhaushaltsmodelle mit unterschiedlicher räumlicher und zeitlicher Auflösung, welche am PIK entwickelt und genutzt wurden und werden, lassen sich in den Ansatz von FISKA auf Grund des extrem hohen Rechenzeitaufwandes nicht implementieren.

Die Kategorien der Potenziellen Bodenfeuchte beschreiben eine qualitative Einschätzung der potenziellen Feuchteverhältnisse im Boden in Abhängigkeit von der Bodenart und der jährlichen Niederschlagssumme. Unter sich ändernden klimatischen Bedingungen kann die Veränderung der potenziellen Bodenfeuchte abgeschätzt werden, wobei die Bedingungen im Boden, beschrieben durch die nutzbare Feldkapazität bis 1m Tiefe, sich nicht ändern.

Infolge der unscharfen/qualitativen Mengeneinteilung der Eingangsvariablen [viel, mittel, wenig Niederschlag / nutzbare Feldkapazität] wird eine fuzzy-Bewertung der potenziellen Bodenfeuchte realisiert. Der Grad der Übereinstimmung wird dabei aus dem Produkt der Übereinstimmungsgrade der Eingangsdaten gebildet. Die Kategorie der potenziellen Bodenfeuchte wird dann letztendlich über eine Abbildungs-Regel gebildet.

Die Wahl des zu implementierenden extrem vereinfachende fuzzy-gestützten Ansatzes erfolgte zur Begrenzung der innerhalb des Systems FISKA zur Abarbeitung notwendigen Rechenzeit.

Aus der breiten Palette der am PIK verfügbaren dynamischen Modelle zur Bodenfeuchte würden selbst die einfachsten kapazitätsbasierten Bodenwasserhaushaltsmodelle einen nicht vertretbarem Eingabeparameter- und Rechenzeitaufwand innerhalb von FISKA erfordern. Einige der Ausschlussgründe für die Verwendung dynamischer Bodenmodelle seien hier exemplarisch angefügt:

- Aus der für Deutschland einheitlichen hochauflösenden flächendeckend Bodeninformation (BÜK 1000) müsste ein umfangreicher Satz bodenphysikalischer Parameter durch ein Projektionsverfahren zur Laufzeit generiert werden.
- Der Rechenzeitaufwand selbst für einfache Bodenwasserbilanzmodelle liegt um Größenordnungen über dem Rechenzeitaufwand der implementierten Lösung.
- In dynamische Bodenwassermodelle geht i. d. R. in die obere Randbedingung eine Energiebilanz ein, die einen vertrauenswürdigen Wert für die Strahlungsbilanz enthalten muss.
- Ein zuverlässiges Bodenfeuchtemodell setzt für für interannuale Berechnungen ein funktionsfähiges Bodentemperaturmodell zur Berücksichtigung von Bodenfrost voraus (Kartschall *et al.* 1990). Der Rechenzeitaufwand von Bodentemperaturmodellen (Suckow 1985) liegt erfahrungsgemäß in der gleichen Größenordnung, wie bei dynamischen Bodenwassermodellen.

Alle diese Anforderungen würden den Rechenaufwand innerhalb von FISKA extrem erhöhen bzw. setzen meteorologische Eingabedaten (z. B. Strahlung) voraus, die innerhalb von FISKA nicht bereitgestellt wurden.

5.3 Tierischer Schaderreger im Obstbau: Apfelwickler (PIK-09)

Das Model des Apfelwicklers (*Cydia pomonella*) wurde anhand früherer Studien (Stock 2005) validiert und implementiert. Es bietet die Möglichkeit, die Anzahl von Generationen abzuschätzen, die unter den veränderten Klimabedingungen der Zukunft im Obstbau auftreten könnten. So kann je nach Region besser abgeschätzt werden, ob mit Schäden durch den Apfelwickler zukünftig vermehrt gerechnet werden muss. Die Häufigkeit des Auftretens von 2. und 3. Generationen wird derzeit aufgrund fehlender Informationen über diese Entwicklungsstufen in Deutschland wahrscheinlich überschätzt. Durch weitergehende Forschung zu diesem Modell könnte die Genauigkeit der Ergebnisse verbessert werden, hierzu sind insbesondere mehrjährige Reihen der Flugdaten notwendig. Diese Datensätze konnten im Laufe der Bearbeitung nicht für die Modellentwicklung am PIK verfügbar gemacht werden. Im Rahmen der im Jahre 2011 erfolgten Überarbeitung der PIK-Modellkerne wurde unter Berücksichtigung der zwischenzeitlich Entwicklung eines dynamischen Traubenwicklermodells (Kartschall *et al.* 2011) und der dabei erkannten Probleme bei der Beschreibung höherer Generationen entschieden, eine Nutzung des Apfelwicklermodells nicht zu empfehlen.

5.4 Unfallhäufigkeit (PIK-17)

Die bereits vorgelegten Ergebnisse zum Zusammenhang von klimatischen Faktoren und der Verkehrsunfallhäufigkeit wurden während der 3. Bearbeitungsphase einer nochmaligen Analyse unterzogen. Dabei konnte der festgestellte Zusammenhang zwischen den Tageswerten des Dampfdruckes und der **Zahl von Unfällen mit Personenschaden** reproduziert werden. Eine Analyse der Gesamtunfallhäufigkeit zeigte aber keinen statistisch gesicherten Zusammenhang zum Dampfdruck. Daher sind die aus diesem eingeschränkten Zusammenhang gezogenen allgemeinen Schlussfolgerungen im 2. Schlussbericht (Konzentrationsprobleme durch Hitze usw.) nicht aufrecht zu erhalten.

Laut einer Studie zum Klimawandel in Nordrhein-Westfalen am PIK (Kropp *et al.* 2009a) haben die folgenden Größen den stärksten Einfluss am Auftreten von Verkehrsunfällen:

- die Verkehrsdichte / Verkehrsaufkommen,
- die Verkehrsbeteiligungsdauer,
- der individuelle „Zustand“ des Fahrers,
- der Zustand der Verkehrsinfrastruktur,
- der Zustand des Fahrzeugs,
- der Witterungseinfluss.

Die Höhe des Einflusses des Gesamtkomplexes Witterung auf die Unfallzahlen spielt im Vergleich zum Verkehrsaufkommen sicher eine eher sekundäre Rolle, sie ist schwierig abzuschätzen und regional sicher sehr verschieden. So wird dann auch die Varianz der Unfallzahlen je nach Studie unterschiedlich bewertet. Im Literaturvergleich (Ghilain 1991, Welch *et al.* 1970) finden sich Werte von 3,6% bis 20,2% angenommener Varianz der Witterungseinflüsse auf das Unfallgeschehen. Einer Studie von Changnon (1996) zufolge treten in städtische Regionen (Untersuchungsgebiet: Chicago) an Regentagen doppelt so viele Unfälle auf wie an niederschlagsfreien Tagen.

Ein wichtiger Punkt ist die regionale Einordnung der Studien. Fallstudien und Untersuchungen in verschiedenen Regionen erzielen signifikant unterschiedliche Ergebnisse. Beispielsweise sei hier das Auftreten von plötzlichem Nebel in unterschiedlichen geographischen Räumen genannt, der nicht notwendigerweise in verschiedenen Regionen zu einem gleich starken Anstieg der Unfallzahlen führen muss.

Ein Verkehrsteilnehmer, der mit Nebelsituationen vertraut ist, wird aufgrund seiner Erfahrung mit diesem Wetterphänomen seine Fahrweise der Wetterlage anpassen. Wohingegen ein unerfahrener Verkehrsteilnehmer die Wettersituation unter- oder überschätzt. In diesem Sinne gibt es einen Gewöhnungseffekt bzw. die Möglichkeit die Fahrweise potenziell unfallverursachenden Wetterlagen bestmöglich anzupassen.

Interessanterweise verhält es sich auch so, dass Regentage in den trockenen Monaten mehr Unfälle verursachen, als Regentage in niederschlagsreichen Monaten (Changnon 1996). Die Erwartungshaltung des Akteurs spielt somit im Zusammenhang von Schadenspotenzialen durch Unfälle und Witterungsbedingungen eine bedeutsame Rolle.

Dieses wichtige Ergebnis der Analyse soll noch einmal hervorgehoben werden:

- Andauernde Witterungslagen reduzieren durch die stärkere individuelle Vorsorge des möglicherweise Betroffenen das witterungsbedingte Schadenspotenzial erheblich.
- Rasche Witterungswechsel, insbesondere in Verbindung mit Extremwetterereignissen können aber zu einem starken Anstieg dieser Verwundbarkeitskategorie führen.
- Möglicherweise besteht dieser Zusammenhang auch hinsichtlich der geographischen Auflösung: Regionen, in denen gegenwärtig schon witterungsbedingt mit Unfallgefahren zu rechnen ist, dürften aufgrund der stärkeren individuellen Vorsorgebemühungen ein geringeres Schadenspotenzial bei zunehmenden Extremwetterereignissen aufweisen als Regionen, in denen dies gegenwärtig eher die Ausnahme ist.
- Eine mikroanalytische Arbeit zum Zusammenhang Witterung und Unfallgefahr liegt von (Arminger *et al.* 1996) vor und ermöglicht aufgrund der Methodik und des engen Beobachtungszeitraums genauere Angaben über die Änderungen der Unfallzahlen als Folge einer Änderung der Wetterverhältnisse.

Statistische Untersuchung hitzebedingter Verkehrsunfälle

Für die Wirkung des Klimas wurde in der Phase 2 von FISKA versucht, die Häufigkeit von Straßenverkehrsunfällen in Berlin mit den Witterungsbedingungen zu korrelieren. Eines der prägenden Witterungserscheinungen ist das Auftreten von heißen bis hin zu sehr heißen, aber auch durch Schwüle geprägte Tagen in den Sommermonaten. Dabei lag das Hauptinteresse in der Frage, ob Abhängigkeiten zwischen diesen beiden vorliegen und ob diese in der Stärke ihrer Abhängigkeit bedeutsam sind.

In Kapitel 3.2 wurde ein Hitzeindex definiert. Dieser beschreibt die Belastung des Menschen durch erhöhte Außentemperaturen. Er ist Ergebnis intensiver biometeorologischer Studien. Steadman (1979) benutzte für dessen Berechnung 15 Parameter (u.a. effektive Windgeschwindigkeit, menschliche Körpermaße, Aktivität, Eigenschaften der Bekleidung). In einem vereinfachten Modell fließen nur noch die trockene Umgebungsluft und die relative Luftfeuchte ein.

Für die Untersuchung wurden Verkehrsdaten der Statistischen Landesämter der einzelnen Bundesländer in Deutschland verwendet. Die Daten stehen frei zur Verfügung und werden in der Regel jährlich, teilweise auch monatlich veröffentlicht. Da das Datenmaterial nicht standardisiert zur Verfügung steht, hat der Autor jeweils geeignete Datensätze aus den Bundesländern Berlin bzw. Brandenburg ([Unfallstatistiken](#)) und Sachsen (Statistisches Landesamt des Freistaates Sachsen, [Unfallstatistiken](#)) exemplarisch aus den Jahren 2006, 2007 und 2008 ausgewählt.

Die in die Untersuchung eingeflossenen Daten entstammen aus den Zählungen der Straßenverkehrsunfallzahlen mit Personen- und Sachschaden auf allen Straßenarten. Hier ausschließlich verwendet sind **Unfälle mit Personenschaden**, also allgemein verunglückte Personen (Tote, Schwerverletzte und Leichtverletzte). Die Anzahl der Gesamtunfälle bzw. der Unfälle mit Sachschäden wurde nicht betrachtet. Die Datensätze liegen monatlich vor.

Anhand von Temperaturdaten aus den Jahren 2006, 2007 und 2008 einer Messstation im jeweiligen Bundesland wurden die entsprechenden Temperaturwerte für das Land Berlin (Station Tempelhof) und für das Land Sachsen (Station Chemnitz) ver-

wendet. In den Grafiken wurden dazu die monatlichen Unfallhäufigkeiten über den täglichen Maximaltemperaturen abgebildet.

Um Aussagen über eine mögliche Abhängigkeit zwischen dem Auftreten von Hitze-Tagen und der Anzahl von Verkehrsunfällen mit Personenschaden zu erhalten, wurden beide Größen auf ihre Korrelation hin überprüft. Mit Hilfe der linearen Einfachkorrelation ist es möglich die Abhängigkeit zweier Variablen darzustellen und gleichzeitig über die Stärke ihres Zusammenhangs Auskunft zu geben (Bahrenberg et al. 1985, S.133). Dazu berechnet man die Regressionsgleichung und anschließend den Produktmoment-Korrelationskoeffizienten (Bahrenberg et al. 1985, S.148).

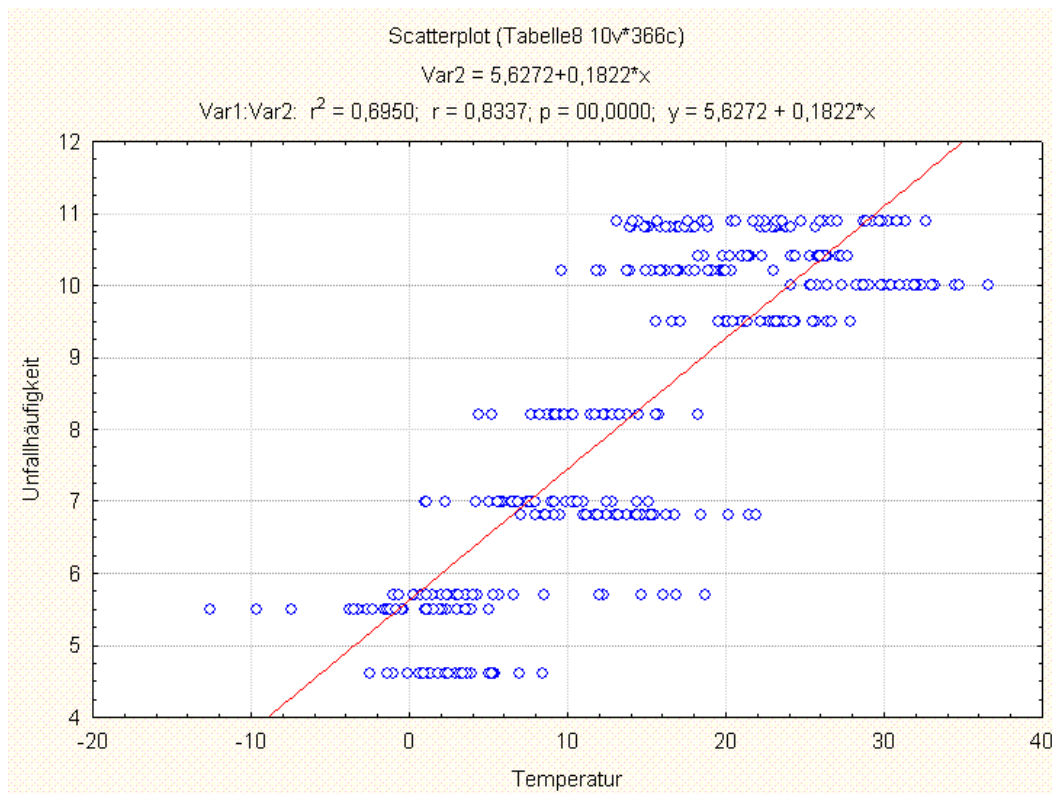


Abb. 5.4.1: Häufigkeit von Unfällen mit Personenschäden über dem Maximum der täglichen Lufttemperatur in Berlin (2006-2008)

In Abbildung 5.4.1 ist der lineare Zusammenhang zwischen der Unfallhäufigkeit in Prozentwerten pro Monat und der Temperatur für Berlin deutlich erkennbar. Der Zusammenhang dieser Variablen liegt bei $r^2=0,6950$; das bedeutet bei rund 70%. Für Sachsen ergibt sich in Abbildung 5.4.2. ein sehr ähnliches Bild, hier liegt der lineare Zusammenhang beider Variablen bei $r^2=0,7272$.

Abbildung 5.4.3 zeigt den jährlichen Verlauf des Dampfdrucks von Berlin im Jahre 2008 und die dazugehörigen monatlichen Häufigkeiten von Unfällen mit Personenschaden im Straßenverkehr Berlins. Die Ergebnisse zeigen, dass diese Häufigkeiten mit den täglichen Dampfdruckwerten (und damit der Temperatur) korreliert sind.

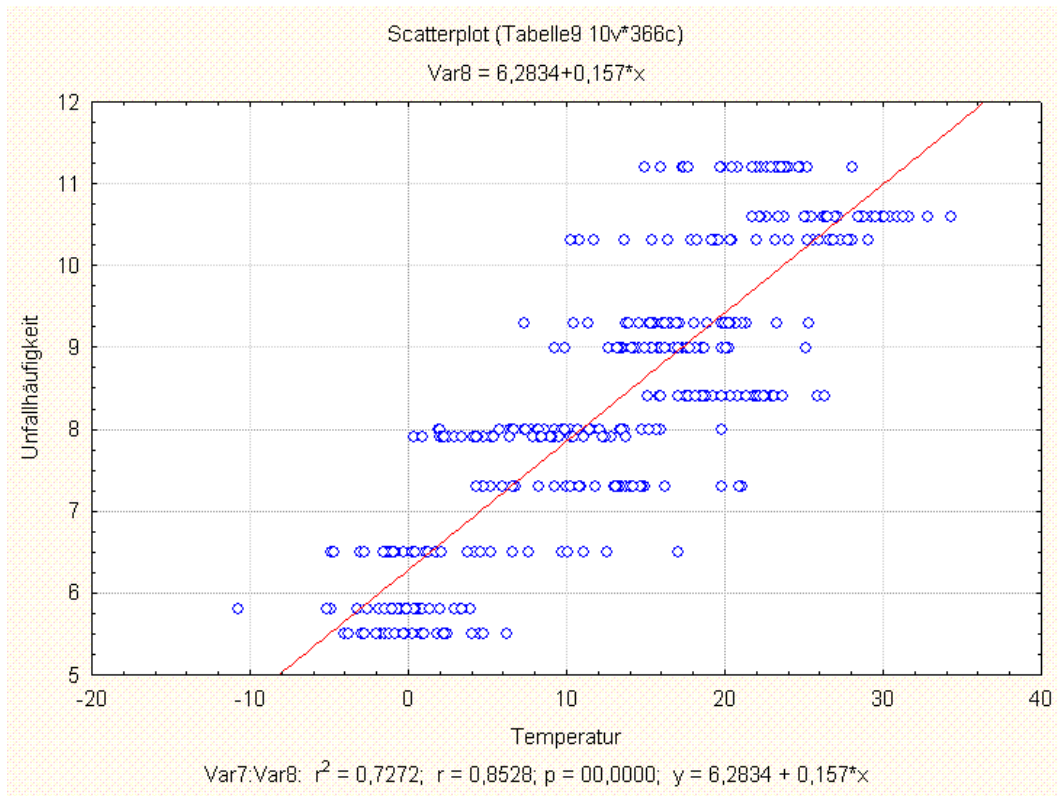


Abb. 5.4.2: Häufigkeit von Unfällen mit Personenschäden über dem Maximum der täglichen Lufttemperatur in Sachsen (2006-2008)

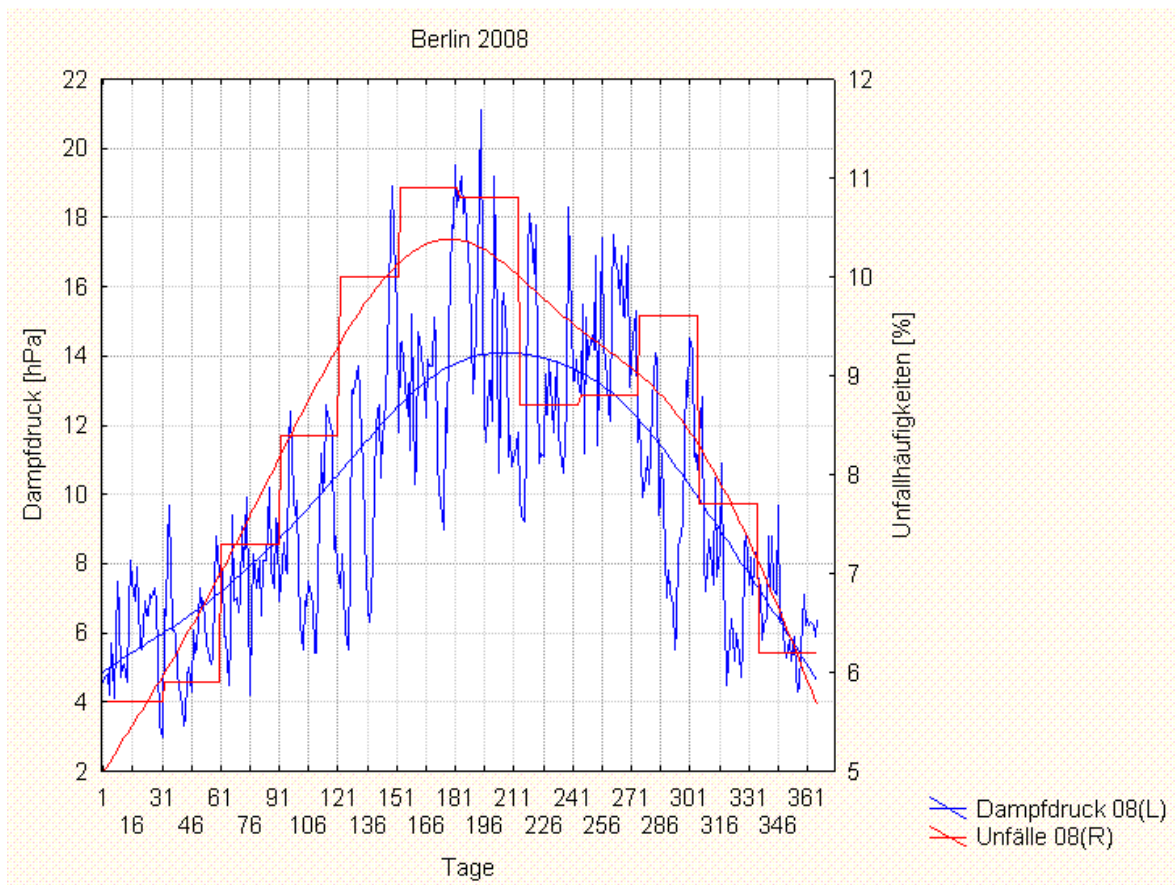


Abb. 5.4.3: Häufigkeit von Unfällen mit Personenschäden über dem Maximum des täglichen Dampfdruckes in Berlin im Jahre 2008

Es muss darauf hingewiesen werden, dass einer weitgehenden Verallgemeinerung Einschränkungen gegenüberstehen. So zeigt die Unfallstatistik in Deutschland seit Jahren einen abnehmenden Trend, was mit immer weiter verbesserten Sicherheitsstandards bei KFZ und bei der Verkehrsinfrastruktur zu erklären ist. Durch diese Maßnahmen sinkt die Zahl der Todesopfer im Straßenverkehr, obwohl das Verkehrsaufkommen stetig zunimmt.

Würde man die sinkenden Unfallzahlen mit den zum Jahrtausendwechsel steigenden Temperaturen in Deutschland vergleichen, würde sich ein verzerrtes Bild ergeben.

Weiterhin zeigt sich bei der **Gesamtzahl** der Unfälle **kein statistisch zu sichernder Zusammenhang mit dem Dampfdruck**. Damit kann ein ursächlicher Zusammenhang zwischen Dampfdruck und Verkehrsunfallhäufigkeit nicht abgeleitet werden.

Der tatsächlich nachweisbare Zusammenhang zwischen der Häufigkeit von Unfällen mit Personenschaden und dem Dampfdruck wird zum einen als Ergebnis einer veränderten Struktur des Verkehrs aufgefasst. So ist von einer höheren Zahl motorisierter und nichtmotorisierter Zweiradfahrer im Sommer auszugehen, welche insgesamt ein deutlich höheres und schwereres Verletzungsrisiko aufweisen als Insassen von PKW, LKW und Bus. Als weiterer Faktor kann die deutlich leichtere Bekleidung aller Verkehrsteilnehmer angesehen werden. Dichtere und dickere im Winter übliche Kleidung kann einen nicht unerheblichen Teil der Energien absorbieren bzw. dämpfen, die an einem nur durch leichte (und möglicherweise nur wenig bedeckende) Kleidung geschützten Körper dann deutlich stärker Verletzungswirkung entfalten können.

5.5 Bioenergiepotenzial (PIK-20)

Zur deutschlandweiten Betrachtung des Bioenergiepotenzials wurde die Machbarkeit mehrerer Verfahren bei Kurzumtriebsplantagen und Maiserträgen untersucht.

Mittels des ökophysiologischen Modells 4C (Lasch *et al.* 2006) lassen sich Kurzumtriebsplantagen mit *Populus tremula* (Zitterpappel) simulieren für einen bestimmten Zeitraum unter einem gewählten Klimaszenario. Die Temperatur-, Niederschlags-, Luftfeuchte-, Globalstrahlungs-, CO₂ und Winddaten gehen dort direkt in die Modellierung des Pflanzenwachstums ein. Die benötigten Bodendaten stehen aus der BÜK1000 ebenfalls zur Verfügung. Da das Modell jedoch für seine Berechnungen des Pflanzenwachstums die Phänologie, Lichtverhältnisse, Konkurrenz der Bäume, Bodenwassergehalt und -temperatur und Pflanzenmorphologie ebenfalls berechnet, ist es sehr ressourcenaufwendig in Bezug auf Speicherbedarf und Rechenzeit. Mit GICON wird noch diskutiert, wie die Machbarkeitsgrenze in der Fachschale hinsichtlich des Ressourcenaufwandes anzusetzen ist, für Modelle wie 4C erscheint eine Implementierung in einem Rechenkern unrealistisch.

Als zweites Verfahren wurde der Ansatz nach Murach *et al.* (2008) verfolgt, Biomasseerträge im Kurzumtrieb über das Transpirationswasserangebot abzuschätzen. Mittels der *Boundary-Line-Methode* fand er für Brandenburg statistische Zusammenhänge zwischen dem Ertrag und dem Wasserdargebot. Letzteres errechnet sich aus der nutzbaren Wasserspeicherkapazität (im FISKA verfügbar), dem Niederschlag in der Vegetationszeit und einer angenommenen konstanten Interzeption (Abfangen bzw. Zurückhalten von Niederschlägen auf der Oberfläche der Vegetation) von 35% des Niederschlags in der Vegetationsperiode. Vier problematische Einschränkungen der Gültigkeit der Formel hat die Machbarkeitsanalyse gezeigt: die statistische Beziehung wurde nur für Kurzumtriebsplantagen in Brandenburg erstellt, der steigende CO₂-Partialdruck in der Luft wird nicht berücksichtigt, steigende Temperaturen eben-

falls nicht und die Veränderlichkeit der Interzeption (insbesondere unter steigenden Temperaturen) findet keine Beachtung. Wegen dieser Einschränkungen erscheint das Modell für die Deutschlandweite Anwendung in FISKA nicht geeignet.

Nach Analyse zweier Verfahren zur Abschätzung des Bioenergiepotenzials sind diese als **ungeeignet für FISKA** einzuschätzen.

5.6 Sturmschadenrisiko (PIK-21)

Winterstürme, Gewitterstürme oder Tornados fordern in Deutschland häufig Tote und Verletzte und verursachen an Gebäuden, Wäldern und Infrastruktur Schäden in Millionenhöhe. Dabei sind Winterstürme durch ihre große Ausdehnung und hohen Windgeschwindigkeiten besonders schadensintensiv, während Gewitterstürme und Tornados nur sehr lokal, aber ebenfalls mit sehr hohen Geschwindigkeiten auftreten. Häufig ziehen Winterstürme über mehrere Staaten hinweg, wobei durch die Nähe zum Atlantik besonders der Nordwesten und die Mitte Europas betroffen sind. Winterstürme entstehen meist aus Tiefdruckgebieten über dem Atlantik und entwickeln sich durch die im Winter besonders hohe Temperaturdifferenz zwischen Nordhalbkugel und tropischer Äquatorialzone zu gefährlichen Sturmtiefs. Die Entwicklung solcher Systeme lässt sich, im Gegensatz zu tropischen Wirbelstürmen, nur schwer voraussagen und die Vorwarnzeit beträgt oft nur einige Stunden bis wenige Tage. Als herausragende Sturmereignisse in Deutschland sind die Stürme Capella (Ereignisjahr 1976, 11 Tote, >250 Mio. Euro Gesamtschaden), die Sturmserie Vivian, Wiebke, usw. (1990, >50 Tote, >2000 Mio. Euro), der Sturm Lothar (1999, 18 Tote, 2.000 Mio. Euro) und aus den letzten Jahren die Stürme Kyrill (2007, Versicherungsschäden von 2.400 Mio. Euro), Emma/Kirsten (2008, Versicherungsschäden von 440 Mio. Euro) und Xynthia (2010, Versicherungsschäden von 500 Mio. Euro) zu nennen. Hierbei traten teilweise selbst im Flachland Windgeschwindigkeiten von über $150 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ auf, auf Bergkuppen wurden Geschwindigkeiten von $220\text{-}270 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ gemessen (nach KIT, [Sturmschadenrisiko](#), mit Ergänzungen).

Nach einer Literaturanalyse wurden drei Komplexe identifiziert, die das Sturmschadenrisiko für Wälder maßgeblich beeinflussen: Dazu gehören die meteorologischen Bedingungen, die Standortbedingungen und Bestandesmerkmale. Unter diesen Komplexen subsumieren sich noch einmal bis zu 30 Einzelvariablen. Durch den im FISKA gewählten Maßstab (Bundesrepublik Deutschland) und die begrenzte Datenverfügbarkeit kann das Risiko nur sehr grob abgeschätzt werden. Als Beispiele seien der Bodenvernässungsgrad, die Oberhöhe (des Bestandes) und das mittlere HD (Höhe/Durchmesser)-Verhältnis genannt: Variablen, die hochsignifikant sind, welche aber für den Betrachtungsraum nicht zu beschaffen sind. Das ausgewählte IO-Modell sollte daher lediglich die drei Variablen: Geländehöhe, Anteil an Nadelwald und Sturmhäufigkeit betrachten, welche signifikant sind, je einem Komplex entnommen sind und datentechnisch beschaffbar schienen. Eine Aufbereitung der Daten und Validierung des Wirkmodells war im Projektzeitrahmen allerdings nicht möglich und musste daher zurückgestellt werden.

Sturmwurfrisikoanalyse für Forstflächen in der NRW-Studie

In einer Studie für das Land Nordrhein-Westfalen hat das PIK das Sturmwurfrisiko für Forstflächen analysiert. Grundlage der aufwendigen Analyse bildet eine Karte der besonders vom Sturm „Kyrill“ betroffenen Waldgebiete (Kyrillflächen) sowie weitere Daten zur Orkanhäufigkeit, aus denen Schwellwerte für die Windgeschwindigkeit abgeleitet wurden. Ferner standen eine Karte zur Waldverbreitung und Baumartenzu-

sammensetzung (Nadel-, Misch- und Laubwald), Informationen zu den Naturwaldzellen, Geländedaten (DEM50), Bodendaten (BK50) sowie Klimadaten des Modells CCLM (Szenario A1B) zur Verfügung. Für jeden Einflussfaktor wurde anschließend seine relative Verbreitung auf den Sturmflächen (Kyrillflächen) im relativen Vergleich zur Gesamtwaldfläche untersucht. Aus diesem Vergleich ergibt sich ein Koeffizient, welcher die Relevanz des jeweiligen Faktors wiedergeben kann und die Einteilung der Klassengrenzen in fünf äquidistante Klassen erlaubt. Nach der Einteilung der einzelnen Einflussfaktoren in die gewählten Klassengrenzen wurden diese mit dem jeweiligen Relevanzfaktor gewichtet und zu den Faktoren Topographie und Boden aggregiert. Für die Aggregation der einzelnen Einflussfaktoren zum Gesamtindex der Sturmwurfanfälligkeit wurden der Einflussfaktor der Orkanhäufigkeit mit dem Faktor 0,2 gewichtet, die Faktoren Topographie, Bodeneigenschaften, Baumartenzusammensetzung nach den jeweiligen Relevanzkoeffizienten.

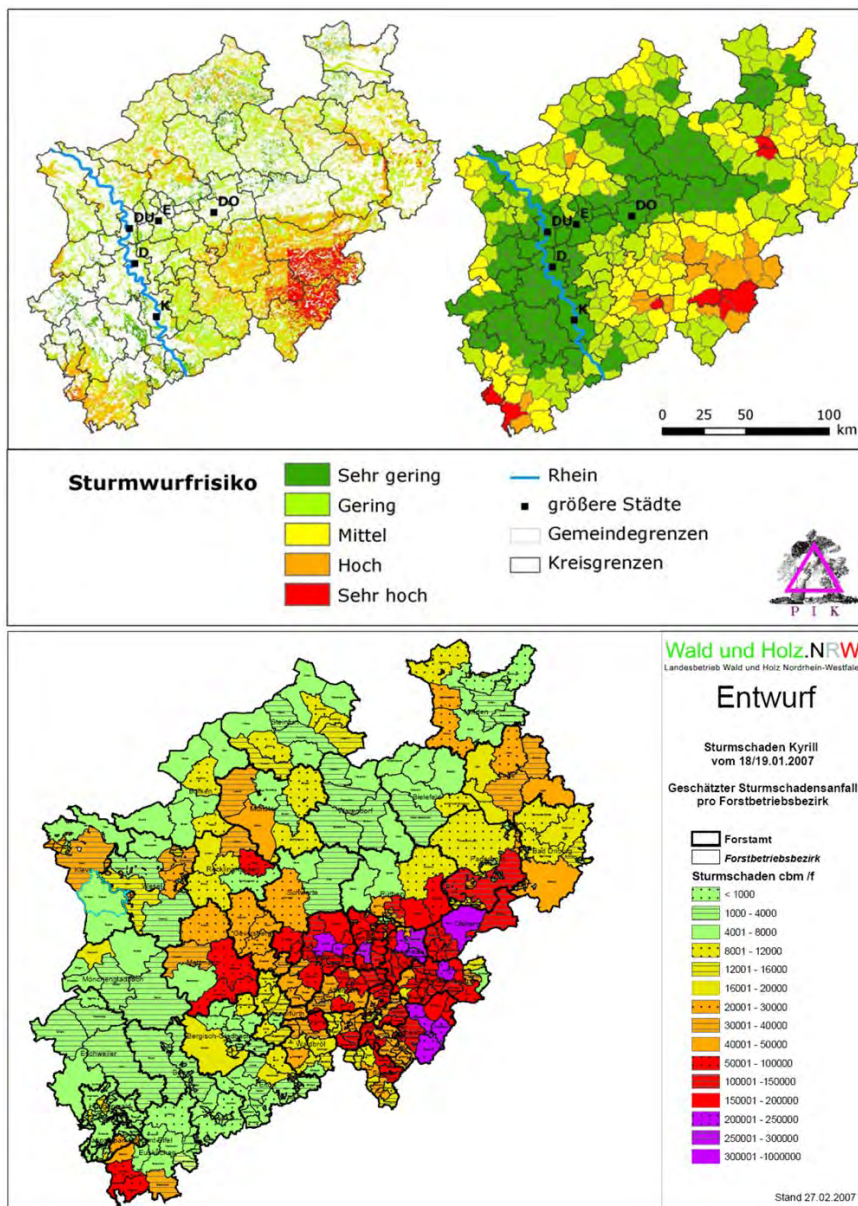


Abb. 5.6.1: Integriertes Sturmwurfrisiko für Waldflächen (oben) und zum Vergleich Schäden beim Sturm Kyrill (unten) Quelle: NRW-Studie des PIK (Kropp *et al.* 2009a)

Sturmschadenrisiko für Deutschland in der GDV-Studie

Der Nachweis der prinzipiellen Machbarkeit einer Abschätzung des zukünftigen Sturmschadenrisikos in Deutschland konnte im Rahmen eines gemeinsamen Projektes der Freien Universität Berlin, der Universität zu Köln und des PIK mit dem Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft GDV erbracht werden (Gerstengarbe 2011). Der notwendige Aufwand geht jedoch auch hier deutlich über das für FISKA angestrebte Niveau hinaus. Abbildung 5.6.2 zeigt ein Ergebnis dieser Studie.

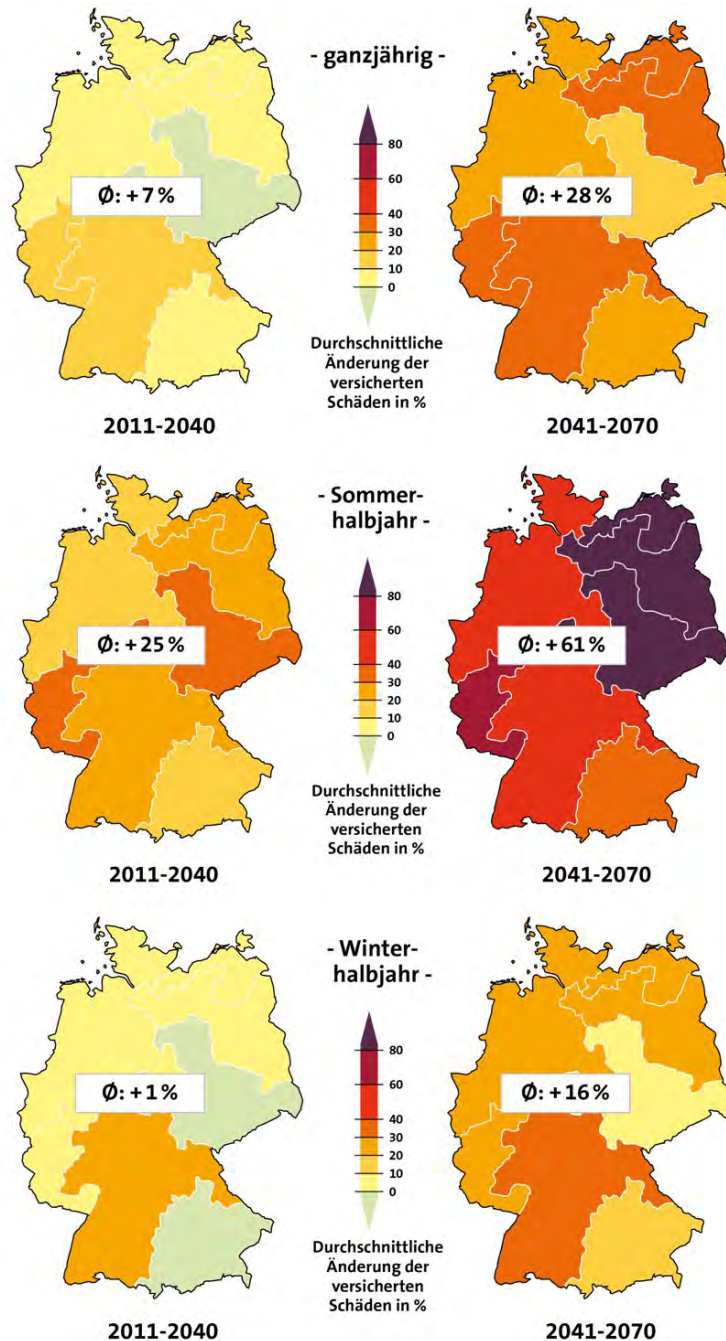


Abb. 5.6.2: Räumliche Verteilung der Schadensätze in Deutschland und deren Änderungen im A1B-Szenario in näherer und fernerer Zukunft gegenüber 1984-2008, abgeleitet mit dem statistischen Schadenmodell Sturm/-Hagel des PIK, Mittelwerte des 30-jährigen Zeitraums (Gerstengarbe 2011).

6 Glossar zu FISKA

A-Horizont: Mineralhorizont im Oberboden mit akkumuliertem Humus und/ oder an Mineralstoffen verarmt (in ariden Gebieten auch angereichert)

Algorithmus: eine genau definierte Handlungsvorschrift zur Berechnung eines → *Indikators* der *Klimawirkung* auf einen bestimmten Bereich, in endlich vielen Schritten, z. B. in Form eines Programmablaufplans der → *Input-* und → *Outputdaten* verbindet (→ *I/O-Modell*). Zu jedem Algorithmus im Fachinformationssystem gehört ein Rechenkern (→ *dll-Datei*) sowie eine Programmdokumentation (→ *Steckbrief*).

Adaptation: → *Anpassung*

Anpassung: Anpassungsmaßnahmen in natürlichen oder menschlichen Systemen, die als Reaktion auf gegenwärtige oder zu erwartende klimatische Stimuli oder deren Effekte Schaden mindern oder günstige Gelegenheiten nutzen. Es können verschiedene Arten von Anpassungen unterschieden werden, darunter vorausschauende, autonome und geplante Anpassung:

- *Vorausschauende Anpassung* - Anpassung, die vor der Beobachtung von Auswirkungen der Klimaänderungen erfolgt.
- *Autonome Anpassung* - Anpassung, die nicht eine bewusste Antwort auf klimatische Stimuli darstellt, die aber von ökologischen Veränderungen in natürlichen Systemen und von Markt- oder Wohlstandsänderungen in gesellschaftlichen Systemen ausgelöst wird. Auch spontane Anpassung genannt.
- *Geplante Anpassung* - Anpassung als Resultat einer wohlüberlegten politischen Entscheidung im Bewusstsein, dass die Bedingungen sich geändert haben oder daran sind, sich zu ändern, und dass Handeln notwendig ist, um einen gewünschten Zustand wiederherzustellen, zu erhalten oder zu erreichen.

Anpassungsfähigkeit: → *Anpassungspotenzial*

Anpassungskosten: Kosten der Planung, Vorbereitung, Unterstützung und Durchführung von Anpassungsmaßnahmen, inklusive Übergangskosten.

Anpassungsnutzen: vermiedene Schadenskosten oder erwachsener Nutzen als Folge der Einführung und Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen.

Anpassungspotenzial: Fähigkeit eines Systems, sich an Klimaänderungen (inklusive Klimavariabilität und Extreme) anzupassen, um potenzielle Schäden zu mildern, von Nutzen zu profitieren oder die Folgen zu bewältigen.

Auswirkungen des Klimawandels in einer Region und auf bestimmte Bereiche, wie Gesundheit, Naturschutz, Tourismus, Wasser-, Land- und Forstwirtschaft, werden mittels verschiedener → *Indikatoren* für → *Klimawirkungen* ermittelt. Den potenziellen Auswirkungen, wie sie ohne zusätzliche → *Anpassung* zu erwarten sind, stehen die verbleibenden Auswirkungen (→ *Vulnerabilität*) bei Nutzung des Anpassungspotenzials gegenüber.

Berechnungsraster (FISKA): aus einzelnen Zellen bestehende Matrix, die im Fachinformationssystem FISKA verwendet wird. Die FISKA-Rahmenanwendung sorgt dafür, dass für jede Zelle des Rasters die benötigten Ausgangsdaten bereitgestellt sowie die pro Wirkbeziehung definierten Berechnungsalgorithmen durchgeführt werden und ruft dazu jeweils den integrierten Rechenkern auf. Die Zellgröße des Berechnungsrasters kann prinzipiell frei gewählt werden, zur Zeit trifft der Nutzer des Systems

über die Programmoberfläche eine Auswahl aus den voreingestellten Zellgrößen 1 km x 1 km, 2 km x 2 km, 4 km x 4 km und 8 km x 8 km.

CRU-Daten: [Klimadatensätze](#) der Climate Research Unit (CRU), die z. B. für alle Landpunkte Europas hochaufgelöste 1/6° Klima-Rasterdaten für 1901-2000 bereitstellt.

dll-Datei: (Dynamic Link Library) bezeichnet hier einen unter dem Betriebssystem Microsoft® Windows® ausführbaren Programmcode aus einer (dynamischen) Bibliothek. MS Windows®-dll-Dateien verwenden das auch für ausführbare MS Windows®-Programme gebräuchliche exe-Dateiformat und können Programmcode (Maschinencode), Daten und Ressourcen in irgendeiner Kombination enthalten.

Expertensystem ist eine Software, die hilft bestimmte Problemstellungen zu lösen. Grundlage ist hier Expertenwissen, das in Form von Regeln oder Fällen abgelegt ist. Das IDP ist ein Expertensystem zur Analyse und Präsentation von Klimaszenarien.

Fachschale bezeichnet die im Projekt erstellte Software-Erweiterung zum Geographischen Informationssystem ESRI ArcGIS 9.2. Sie wird auch als „ArcGIS 9.2 FISKA Add on“ bezeichnet.

Fotovoltaik (Photovoltaik) Unter Fotovoltaik versteht man die direkte Umwandlung von Strahlungsenergie, vornehmlich Sonnenenergie, in elektrische Energie.

Fuzzylogik ist eine Methode, welche vor allem für die Modellierung von Unsicherheiten und Unschärfen von umgangssprachlichen Beschreibungen entwickelt wurde. Beispielsweise kann damit die sogenannte "Fuzziness" von Angaben wie "niederschlagsreich", "niedrige Feldkapazität" oder "feucht" mathematisch in Modellen erfasst werden. Die Fuzzylogik basiert auf den Fuzzy-Mengen (Fuzzy-Sets) und sogenannten Zugehörigkeitsfunktionen, die Objekte auf Fuzzy-Mengen abbilden.

GIS (Geographisches Informationssystem) vereint eine Datenbank raum- und nicht raumbezogener Daten mit deren Verarbeitung und Darstellung. Mit ihm können raumbezogene Daten digital erfasst, verändert, untereinander verarbeitet, gespeichert, neu organisiert, produziert und analysiert werden. FISKA ist ein GIS mit spezieller Konfiguration.

Geobasisdaten sind grundlegende amtliche Geodaten, welche die Landschaft (Topographie), Gewässer, Grundstücke, Gebäude und Infrastruktur beschreiben.

Geofachdaten sind raumbezogene Daten aus verschiedenen Fachgebieten, wie zum Beispiel Demographie, Epidemiologie, Bodenkunde, Naturschutz, Ökologie.

Horizont Bodenhorizonte sind das Ergebnis bodenbildender Prozesse, die das Ausgangsgestein verändern. Die verschiedenen Bodenhorizonte werden durch bestimmte Merkmale gekennzeichnet.

Indikator: definierte Größe zur quantitativen Beschreibung einer → *Klimawirkung* auf einen bestimmten Bereich mittels eines → *Algorithmus*, z. B. der Waldbrandindex M-68 des DWD, bei dem neben meteorologischen Parametern wie Luftfeuchte, Lufttemperatur, Niederschlagssumme der letzten 24 Stunden und Windgeschwindigkeit auch der Zustand der Bodenvegetation als Zeiger der Bodenfeuchte eine Rolle spielt.

Inputdaten sind die → *Klimaszenariendaten*, → *Geobasis-* und → *Geofachdaten*, die für die Berechnung einer → *Klimawirkung* mittels eines bestimmten → *Indikators* benötigt werden.

I/O-Modell (Input/Output-Modell) Vorschrift eines Arbeitsablaufes bei dem Inputdaten mit einem *Algorithmus* verknüpft werden, welcher wiederum Outputdaten produziert.

Interpolation ist das Berechnen von (noch nicht vorhandenen) Zwischenwerten aus der Anordnung bzw. dem Verlauf vorhandener Werte. Dabei gibt es verschiedene Methoden (Spline, Nearest Neighbor,...), welche zu unterschiedlichen Ergebnissen kommen.

Klimamodell ist ein Computer-Modell das Projektionen des künftigen Klimas für einen bestimmten Zeitabschnitt berechnet. Im FISKA sind Klimaszenarien/-projektionen der Modelle WETTREG und REMO implementiert.

Klimaszenario/Klimaprojektion ist eine Projektion der Reaktion des Klimasystems auf Emissions- oder Konzentrationsszenarien von → Treibhausgasen, Aerosolen oder Strahlungsantriebs-Szenarien, häufig auf → *Klimamodellsimulationen* basierend. Klimaprojektionen werden von Klimaprognosen unterschieden, um zu betonen, dass Klimaprojektionen von den verwendeten Emissions-/Konzentrations- bzw. Strahlungsantriebs-Szenarien abhängen, die auf Annahmen z. B. über zukünftige gesellschaftliche und technologische Entwicklungen beruhen, die nur eventuell verwirklicht werden und deshalb mit erheblichen Unsicherheiten verbunden sind (IPCC, AR4).

Klimaszenariendaten: Ergebnisse aus Berechnungen von Regionalmodellen, wie WETTREG oder REMO, in Form z. B. von Tageswerten der → *Klimavariablen*. Szenariendaten bilden mögliches künftiges Klima ab, Kontrolllaufdaten hingegen repräsentieren vergangenes Klima.

Klimastimulus: die Veränderungen von Klimavariablen, die zu bestimmten Klimawirkungen führen.

Klimavariablen sind Tageswerte von Maximumtemperatur [°C], Mitteltemperatur [°C], Minimumtemperatur [°C], Tagessummen des Niederschlages [mm], relative Feuchte im Tagesmittel [%], Luftdruck im Tagesmittel [hPa], Tagesmittel des Taupunkt [°C], tägliche Sonnenscheindauer [Std], Tagesmittel des Bedeckungsgrades [octas], Tagesmittel der Globalstrahlung und Tagesmittel der Windstärke [m/s].

Klimawirkung: das Resultat einer kausalen Wirkungskette, an deren Anfang die Veränderungen bestimmter Klimavariablen als Ursache stehen, deren Folge ökonomische, ökologische und soziale Auswirkungen in den betroffenen Bereichen sind. Eine spezifische Klimawirkung wird durch einen oder mehrere Indikatoren beschrieben, bei denen die Klimavariablen mit weiteren, nichtklimatischen Wirkfaktoren in der Wirkungskette zur Ermittlung der Auswirkungen verknüpft werden. Bei diesen Wirkfaktoren handelt es sich um raumbezogene Geobasis- und Geofachdaten.

Outputdaten: für GIS-Kartendarstellungen (→GIS) verwertbare Ergebnisse der Klimawirkungen eines I/O-Modells.

Potenzial (im Zusammenhang mit Klimaänderung) der Betrag an Verminderung der Klimaänderung oder an *Anpassung*, der mit der Zeit verwirklicht werden könnte, es aber noch nicht ist. Es werden fünf Potenzialebenen unterschieden: Markt-, gesteigertes Markt-, wirtschaftliches, technisches und physikalisches Potenzial.

Realisierung (FISKA) Eins von vielen produzierten möglichen Klimaszenarien, die alle dieselben Ausgangsbedingungen besitzen. WETTREG liefert 20 Realisierungen, die alle gleich wahrscheinlich auftreten können.

Rechenkern ausführbares Computerprogramm zu einem I/O-Modell

Rechenlauf (FISKA) Berechnung einer bestimmten → *Klimawirkung* mit einer vom Nutzer festgelegten Konfiguration bzgl. → *Klimamodell*, → *Klimaszenario*, verwendeten → *Realisierungen*, betrachteten Zeitraum und Aggregation der berechneten Jah-

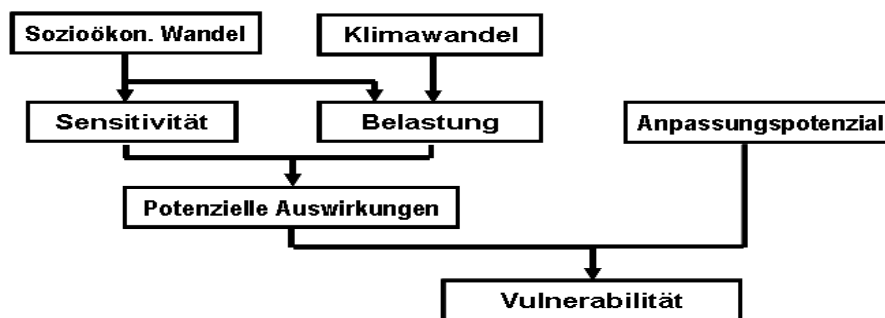
reswerte. Ergebnisse der Rechenläufe werden in einer Datenbank abgelegt und können bei der Visualisierung ausgewählt werden.

Städtische Wärmeinsel Die relative Wärme einer Stadt im Vergleich mit dem umliegenden ländlichen Gebiet, verbunden mit Änderungen im Abfluss, Auswirkungen der Betonwüste auf die Wärmespeicherung, Veränderungen der Oberflächen-Albedo (\rightarrow Albedo), Änderungen der Verschmutzung und der *Aerosole*, usw.

Steckbrief: Daten- und Informationsblatt zur Beschreibung einer \rightarrow Klimawirkung und des zugehörigen \rightarrow I/O-Modells sowie der benötigten \rightarrow Geobasis- und \rightarrow Geofachdaten.

Stempel: Formalisierte Informationen auf einer GIS-Darstellung (\rightarrow GIS) zur einer Klimawirkung (\rightarrow Steckbrief) sowie zum Betrachtungszeitraum und zum verwendeten Klimaszenario.

Vulnerabilität: besondere Empfänglichkeit von zivilisatorischen Strukturen, Systemen und Institutionen gegenüber \rightarrow Auswirkungen des Klimawandels. Die V. wird durch die Gesamtheit der \rightarrow Indikatoren der \rightarrow Klimawirkungen bestimmt, mit denen spezifische klimatische Belastungen und Sensitivitäten, damit verbundene potenzielle Auswirkungen sowie deren Verminderung durch das nutzbare \rightarrow Anpassungspotenzial beschrieben werden. Die Zusammenhänge veranschaulicht folgende Skizze:



Web-Applikation (FISKA) ein Programm, das sich für autorisierte Nutzer aus dem Internet aufrufen lässt und eine Auswahl von Ergebnissen der Rechenläufe präsentiert.

Wirkmodell: \rightarrow Klimawirkung zum bestimmten Faktor. In einem klimasensitiven System ist die Klimaänderung ein Stimulus für eine bestimmte Klimawirkung. Ferner hängt die Wirkung von Umwelt- und Zustandsänderungen des Systems ab. Diese werden in FISKA durch Geodaten beschrieben und sind mit den Klimaszenarien „Input“ für die Rechnung. In FISKA dienen vereinfachte Algorithmen dazu, die Klimawirkung (Output) zu berechnen. Damit lassen sich Anpassungsmaßnahmen berücksichtigen.

7 Steckbriefe (Faksimile)

In diesem Kapitel werden Kopien der Steckbriefe aller implementierten Wirkmodelle als „Faksimiles“ dargestellt. Da die Steckbriefe als „stand-alone documents“ in der Form einer **Users-Guide** bzw. **Manual** entworfen sind, entsprechen Seitenformat, Schriftfont, Gliederung sowie Tabellen und Abbildungsnummerierungen innerhalb der Faksimiles nicht den im vorliegenden Bericht festgelegten Werten.

Die in den Faksimiles ausgewiesenen Links sind nicht funktionsfähig.

Dieses Kapitel **ersetzt nicht** die einzelnen im vollen Format druckfähigen „stand-alone“ Steckbriefe, die Programmierer und Nutzer in ihrer Arbeit mit FSKA unterstützen sollen. Diese befinden sich im *.pdf-Format in der elektronischen Version des Berichtes.

7.1 PIK-01 Jahresmittelwerte / Meteorologische Kenntage

PIK-01. Jahresmittelwerte / Meteorologische Kenntage

PIK-01. Jahresmittelwerte / Meteorologische Kenntage	DWD	WETTREG	REMO																				
<p>Klimawirkung: Klimatische Veränderungen Bearbeiter: C. Kollas, L. Österle, T. Kartschall, M. Wodinski, PIK Version: 2.6 Datum: 20.01.12 Modul: <i>kemdll.dll</i></p>																							
<p>Beschreibung des Wirkmodells Die Jahresmittelwerte dienen zur allgemeinen Charakterisierung der klimatischen Verhältnisse. In FISKA ist zur Zeit die Auswertung der folgenden auf Tageswertbasis vorliegenden Klimavariablen vorgesehen:</p> <table border="0"> <tr><td>- Tagesmaximum der Lufttemperatur</td><td>[°C]</td></tr> <tr><td>- Tagesmittel der Lufttemperatur</td><td>[°C]</td></tr> <tr><td>- Tagesminimum der Lufttemperatur</td><td>[°C]</td></tr> <tr><td>- Tagessumme des Niederschlages</td><td>[mm]</td></tr> <tr><td>- Tagesmittel der relativen Feuchte</td><td>[%]</td></tr> <tr><td>- Tagesmittel des Luftdrucks</td><td>[hPa]</td></tr> <tr><td>- Tagesmittel des Dampfdrucks</td><td>[hPa]</td></tr> <tr><td>- Tagessumme der Sonnenscheindauer</td><td>[h]</td></tr> <tr><td>- Tagesmittel des Bedeckungsgrades</td><td>[octas]</td></tr> <tr><td>- Tagesmittel der Windgeschwindigkeit</td><td>[m/s]</td></tr> </table> <p>Die Ausgabegrößen werden durch einfache Mittelwertbildung generiert. Sie stehen zur Verfügung, um Veränderungen und Trends dieser Variablen zwischen den Jahren zu analysieren.</p> <p>Die Meteorologischen Kenntage (vgl. DWD, Klimatologische Kenntage) geben Auskunft über die Anzahl der Tage innerhalb eines Jahres, an denen klar definierte meteorologische Kriterien erfüllt werden. Mit ihrer Hilfe lassen sich Jahreszeiten wie Sommer und Winter über die thermischen Kenntage in Qualität und Quantität beurteilen. Es folgen die Kenntage mit ihrer Definition (laut DWD, Wetterlexikon) und Anmerkungen zur programmtechnischen Umsetzung.</p> <p>Ein Eistag ist ein Tag, an dem das Maximum der Lufttemperatur unterhalb des Gefrierpunktes (0°C) liegt, d. h. es herrscht durchgehend Frost.</p> <p>Ein Frosttag ist ein Tag, an dem das Minimum der Lufttemperatur unterhalb des Gefrierpunktes (0°C) liegt (ohne Beachtung des Maximums der Lufttemperatur).</p> <p>Ein Sommertag ist ein Tag, an dem das Maximum der Lufttemperatur 25°C erreicht bzw. übersteigt.</p> <p>Ein heißer Tag ist ein Tag an dem das Maximum der Lufttemperatur 30°C erreicht bzw. übersteigt.</p> <p>Ein heiterer Tag ist ein Tag mit einem Tagesmittel der Bewölkung (Bedeckung) geringer als 1,6 Achtel.</p> <p>Ein Niederschlagstag ist ein Tag, mit einer 24-stündigen gemessenen Summe des Niederschlages von mindestens 0,1mm (0,1l · m⁻²).</p> <p>Ein trüber Tag ist ein Tag, mit einem Tagesmittel der Bewölkung größer als 6,4 Achtel</p> <p>Eine Tropennacht ist eine Nacht, in der das Minimum der Lufttemperatur 20°C nicht unterschreitet. [Anmerkung: Die Umsetzung erfolgt mittels „Tagesminimum der Lufttemperatur“]</p> <p>Folgende Kenntage konnten nicht berücksichtigt werden, da die zur Verfügung stehenden Klimadaten nicht ausreichen, um diese zu charakterisieren:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Gewittertag, - Hageltag, - Nebeltag, - Sturmtag, - Schneedeckentag <p>[Anm.: Schneehöhen werden im Wirkmodell PIK-18 Schneehöhe/ Schneesicherheit berechnet].</p>				- Tagesmaximum der Lufttemperatur	[°C]	- Tagesmittel der Lufttemperatur	[°C]	- Tagesminimum der Lufttemperatur	[°C]	- Tagessumme des Niederschlages	[mm]	- Tagesmittel der relativen Feuchte	[%]	- Tagesmittel des Luftdrucks	[hPa]	- Tagesmittel des Dampfdrucks	[hPa]	- Tagessumme der Sonnenscheindauer	[h]	- Tagesmittel des Bedeckungsgrades	[octas]	- Tagesmittel der Windgeschwindigkeit	[m/s]
- Tagesmaximum der Lufttemperatur	[°C]																						
- Tagesmittel der Lufttemperatur	[°C]																						
- Tagesminimum der Lufttemperatur	[°C]																						
- Tagessumme des Niederschlages	[mm]																						
- Tagesmittel der relativen Feuchte	[%]																						
- Tagesmittel des Luftdrucks	[hPa]																						
- Tagesmittel des Dampfdrucks	[hPa]																						
- Tagessumme der Sonnenscheindauer	[h]																						
- Tagesmittel des Bedeckungsgrades	[octas]																						
- Tagesmittel der Windgeschwindigkeit	[m/s]																						

noch PIK-01

PIK-01. Jahresmittelwerte / Meteorologische Kenntage

Für die Berechnung der (thermischen) Vegetationsperiode (vgl. DWD Wetterlexikon, Stichwort: [Vegetationsperiode](#)) wurden in Anlehnung an den DWD alle Tage ausgewählt, deren Tagesdurchschnittstemperatur mindestens 5°C beträgt. Um sicher zu stellen, dass der Schwellenwert nachhaltig über- bzw. unterschritten wurde, wird die Bedingung für 5 auf einander folgende Tage gefordert. Um einen unrealistisch frühen Beginn und eine sofortige Beendigung, die trotz der Zeitspanne von 5 Tagen möglich bleiben, werden für den Beginn der Vegetationsperiode ein Termin nach dem 28. Februar und für das Ende ein Termin nach dem 1. Juli gefordert. Spätestens am 30. November wird die Vegetationsperiode beendet. Maßgebend für den Termin ist jeweils der erste Tag innerhalb der 5 Tage. Damit wird die Berücksichtigung von kurzfristigen Einzelereignissen vermieden und die Vegetationsperiode bildet in der Regel einen zusammenhängenden Zeitraum im Jahr ab. Für den **Niederschlag in der Vegetationsperiode** werden die Niederschläge innerhalb der oben genannten Vegetationsperiode aufsummiert.

Interpretation

Das Wirkmodell gibt Auskunft über klimatische Indizes wie Jahresdurchschnittstemperatur oder Länge der Vegetationsperiode (s. Outputparameter). Er stellt ein solides Werkzeug dar, um Änderungen, die sich in den klimatologischen Grundgrößen zeigen, leicht zu signalisieren. Er dient daher auch als grundlegendes Hilfsmittel bei der Interpretation der Ergebnisse anderer Wirkmodelle.

I/O Beschreibung der DLL

Das aufzurufende Programm heißt *kenndll.dll* und hat 30 Parameter. Alle Parameter werden als Integer (short int, 2 Byte) übergeben. Die Inputparameter sind **extern** mit 10 zu multiplizieren. Die Skalierung mit dem Faktor 10 muss außerhalb der *.dll erfolgen.^{*)} Die Wertebereich der Outputparameter liegt für die Kenntage zwischen 0 und 2 000, für die Jahresmittelwerte zwischen 0 und 15 000. Die Jahresmittelwerte sind **extern** durch 10 zu dividieren.

Inputparameter sind 10 Integer-Felder der Größe 365:

- | | |
|--------------------------------------|---------|
| 1. Tagesminimum der Lufttemperatur | [°C] |
| 2. Tagesmaximum der Lufttemperatur | [°C] |
| 3. Tagesmittel der Lufttemperatur | [°C] |
| 4. Tagesmittel des Bedeckungsgrades | [octas] |
| 5. Tagessumme des Niederschlags | [mm] |
| 6. Tagesmittel der relativen Feuchte | [%] |
| 7. Tagesmittel der Windstärke | [m/s] |
| 8. Tagesmittel des Luftdrucks | [hPa] |
| 9. Tagesmittel des Dampfdrucks | [hPa] |
| 10. Tagessumme der Sonnenscheindauer | [h] |

Outputparameter sind 20 skalare Integerwerte.

Als **Kenntage** bzw. **Kennwerte** werden berechnet:

- | | |
|--|--------|
| 11. Anzahl der Regentage | [Tage] |
| 12. Anzahl der Frosttage | [Tage] |
| 13. Anzahl der Eistage | [Tage] |
| 14. Anzahl der Heißen Tage | [Tage] |
| 15. Anzahl der Sommertage | [Tage] |
| 16. Anzahl der Tropennächte | [Tage] |
| 17. Anzahl der Heiteren Tage | [Tage] |
| 18. Anzahl der Trüben Tage | [Tage] |
| 19. Länge der Vegetationsperiode | [Tage] |
| 20. Niederschlag in der Vegetationsperiode | [mm] |

^{*)} Die Skalierung mit dem Faktor 10 wird in der vorliegenden Implementierung von FISKA automatisiert vorgenommen.

noch PIK-01

PIK-01. Jahresmittelwerte / Meteorologische Kenntage

Folgende **Jahresmittelwerte** werden bereitgestellt:

21. Tagesminimumtemperatur	[°C]
22. Tagesmaximumtemperatur	[°C]
23. Tagesdurchschnittstemperatur	[°C]
24. Durchschnittlicher Bedeckungsgrad	[oktas]
25. Tagessumme des Niederschlags	[mm]
26. Tagesmittel der relativen Feuchte	[%]
27. Tagesmittel der Windgeschwindigkeit	[m/s]
28. Tagesmittel des Luftdrucks	[hPa]
29. Tagesmittel des Dampfdrucks	[hPa]
30. Tagessumme der Sonnenscheindauer	[h]

Die zeitliche Outputauflösung ist jährlich, die räumliche Auflösung entspricht dem Berechnungsraster.

Ergänzungen/Einschränkungen

Im REMO-Datensatz ist die Größe Sonnenscheindauer (SD) nicht enthalten, damit kann die Variable **Tagessumme der Sonnenscheindauer** für diese Datensätze generell nicht berechnet werden. Im 2011 vorliegenden Beobachtungsdatensatz (DWD 1971-2000) sind regional gehäuft Fehlwerte für SD enthalten.

Die Ermittlung weiterer Kenngrößen des Jahresklimas lässt sich implementieren. Die Anzahl der Trockenperioden, Länge der Trockenperioden, Tage ohne bodenverfügbares Wasser und Sturmtage sind Beispiele hierfür.

Weblinks

DWD – Deutscher Wetterdienst: [Klimatologische Kenntage](#)

DWD – Deutscher Wetterdienst: [Wetterlexikon](#)

noch PIK-02

PIK-02. Schwüleindikator und Hitzeindex

Interpretation

Es werden 6 Ergebniskarten ausgegeben: Zwei für Schwüleindikatoren und vier für Hitzeindizes. Bei der Auswertung sollte besonderes Augenmerk auf bereits gegenwärtig stark belastete Regionen gelegt werden. Eine umfangreiche Analyse von Hitzewirkungen in Nordrhein-Westfalen wurde durch Kropp *et al.* (2009a, [Kapitel 7 Gesundheit, S 217-239](#)) vorgestellt.

Schwüleindikator

Es werden die Anzahl der Schwületage und der sehr schwülen Tage im Jahr ausgegeben. Dabei sind die sehr schwülen Tage in den schwülen Tagen enthalten. Eine exakte Definition von sehr schwülen Tagen ist bisher offiziell nicht erfolgt, daher tragen diese Ergebnisse informativen Charakter.

Hitzeindex

Es wird die Anzahl der Tage im Jahr mit dem entsprechenden Hitzeindex (Stufen 1 bis 4) dargestellt. Das Ergebnis (in der Celsius-Skala angegeben) entspricht einer „gefühlten“ Temperatur, welche generalisiert in **4 Stufen** dargestellt wird:

Hitzeindex	Stufe	Hinweise
27 °C – 32 °C	1	Leichtes Unbehagen. Bei längeren Zeiträumen und körperlicher Aktivität kann es zu Erschöpfungserscheinungen kommen
33 °C – 41 °C	2	Erhöhtes Unbehagen. Vorsicht, es besteht die Möglichkeit von Sonnenstich, Hitzekrampf und Hitzekollaps
42 °C – 54 °C	3	Gefahr – Sonnenstich, Hitzekrampf und Hitzekollaps sind wahrscheinlich; Hitzschlag ist möglich.
über 54 °C	4	Erhöhte Gefahr – Hitzschlag und Sonnenstich sind wahrscheinlich Man sollte sich körperlich kaum betätigen und sich diesen Bedingungen nicht längerfristig aussetzen

I/O Beschreibung der DLL

Das aufzurufende Programm heisst *stickydll2.dll* und hat 11 Parameter. Alle 11 Parameter werden als Integer (short int, 2 Byte) übergeben. Alle klimatischen Inputparameter (2 bis 5) sind extern mit 10 zu multiplizieren.¹⁾ Die Werte der Outputparameter rangieren zwischen 1 und 365 und sind extern nicht weiter zu verändern.

Inputparameter sind ein skalarer Integerwert und 4 Integer-Felder der Größe 365:

1. Variable Size des Layers „deutschl_urban_ver1“
2. Tagesmittel des Dampfdruckes [hPa]
3. Tagesmaximum der Lufttemperatur [°C]
4. Tagesmittel der Relativen Feuchte [%]
5. Tagesmittel des Luftdrucks [hPa]

Outputparameter sind 6 skalare Integerwerte:

6. Anzahl der Schwületage im Jahr (incl. „sehr schwül“)
7. Anzahl der sehr schwülen Tage im Jahr
8. Anzahl der Tage mit HI=1 (excl. anderer HI-Tage)
9. Anzahl der Tage mit HI=2 (excl. anderer HI-Tage)
10. Anzahl der Tage mit HI=3 (excl. anderer HI-Tage)
11. Anzahl der Tage mit HI=4 (excl. anderer HI-Tage)

¹⁾ Die Skalierung mit dem Faktor 10 wird in der vorliegenden Implementierung von FISKA automatisiert vorgenommen.

noch PIK-02

PIK-02. Schwüleindikator und Hitzeindex

Es wird der GIS-Layer „deutschl_urban_ver1“ aus Layer „urban“ und Layer „city“ des ESRI Data & Maps (ArcGis 9.0, 2004) verwendet. Generiert durch C Kollas (PIK), 05/2008.

Die zeitliche Ausgabeauflösung ist jährlich, die räumliche Auflösung entspricht dem Berechnungsraster.

Ergänzungen/Einschränkungen

Der Hitzeindex ist formal nach objektiven Kriterien erstellt worden, Menschen reagieren aber **subjektiv** auf Umwelteinflüsse. Die Ergebnisse lassen sich damit nicht auf alle Bevölkerungsgruppen gleichermaßen übertragen.

Da **urbane Gebiete** sehr unterschiedlich strukturiert sind, ist anzunehmen, dass der hier vereinfacht modellierte UHI nicht überall gleichermaßen gültig ist.

Eine Verbesserung des Ansatzes für den Hitzeindex würde ein Gradient darstellen, der vom Stadtkern zu den Rändern abnimmt und damit die Stärke des UHI nach außen radial abnehmen lässt. Eine derartige Implementierung erscheint im Rahmen von FISKA als zu aufwendig.

Literatur

DWD (1994): Meldepläne und Stationsbeschreibungen der synoptischen Wetterbeobachtungsstationen in der Bundesrepublik Deutschland. Vorschriften und Betriebsunterlagen 8, Teil E, Stand 1994

Kropp, J., Holsten, A., Lissner, T., Roithmeier, O., Hattermann, F., Huang, S., Rock, J., Wechsung, F., Lüttger, A., Pompe, S., Kühn, I., Costa, L., Steinhäuser, M., Walther, C., Klaus, M., Ritchie, S., Metzger, M. (2009a): Klimawandel in Nordrhein-Westfalen – „Regionale Abschätzung der Anfälligkeit ausgewählter Sektoren“. - Abschlussbericht des Potsdam-Instituts für Klimafolgenforschung (PIK) für das Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MUNLV), Düsseldorf, 250 p. [Kapitel 7 Gesundheit. S 217-239.](#)

Oke, T. R. (1973): City size and the urban heat island. - Atmospheric Environment, 7, 8, 769-779.

Rothfusz, L. P. (1990): [The Heat Index "Equation"](#) (or, more than you ever wanted to know about heat index). SR Technical Attachment 90-23, Fort Worth TX : National Weather Service Southern Region Headquarters, 3 p.

Steadman, R. G. (1979): The assessment of sultriness. Part I: A temperature-humidity index based on human physiology and clothing science. - Journal of Applied Meteorology, 18, 7, 861-873.

Weblinks

DWD – Deutscher Wetterdienst: [Wetterlexikon](#) Stichwort [Schwüle](#)

7.3 PIK-06 Austrieb der drei Baumarten Buche, Eiche und Birke

PIK-06. Austrieb der drei Baumarten Buche, Eiche und Birke

		DWD	WETTREG	REMO																
<p>PIK-06. Austrieb der drei Baumarten Buche, Eiche und Birke</p> <p>Klimawirkung: Verfrüfung des Blattaustriebes durch Erhöhung der Temperatur Bearbeiter: C. Kollas, M. Wodinski, PIK Version: 3.3 Datum: 20.01.12 Modul: <i>phenotsmdl1.dll</i></p>																				
<p>Beschreibung des Wirkmodells Das lineare Temperatursummenmodell (TSM) nach Wang (1960), Robertson (1968), Kramer (1994) und Menzel (1997) beschreibt den Tag im Jahr, an welchem Pflanzen ihren ersten Blattaustrieb realisieren. Die Anpassung des Modells für die genannten drei Baumarten mittels phänologischer Daten des DWD wurde von Schaber (2002) durchgeführt.</p> <p>Dazu wird eine Temperatursumme S_T ermittelt:</p> $S_T = \sum_{t_1}^t (T - T_b) \quad \text{für } T > T_b$ <p>mit S_T - Temperatursumme T - Tagesmitteltemperatur T_b - spezifischer Schwellenwert t_1 - spezifischer Starttag zwischen 1. November und 31. März T_{crit} - spezifische kritische Temperatursumme</p> <p>Der Tag des Blattaustrieb wird für den Tag definiert, an dem $S_T > T_{crit}$ gilt. Folgende Parameterwerte zur Berechnung von S_T finden für die drei Baumarten Verwendung.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>T_b [°C]</th> <th>T_{crit} [°C]</th> <th>t_1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Buche</td> <td>-6,98</td> <td>664,88</td> <td>131</td> </tr> <tr> <td>Eiche</td> <td>0,49</td> <td>372,06</td> <td>131</td> </tr> <tr> <td>Birke</td> <td>-6,07</td> <td>672,9</td> <td>108</td> </tr> </tbody> </table>						T_b [°C]	T_{crit} [°C]	t_1	Buche	-6,98	664,88	131	Eiche	0,49	372,06	131	Birke	-6,07	672,9	108
	T_b [°C]	T_{crit} [°C]	t_1																	
Buche	-6,98	664,88	131																	
Eiche	0,49	372,06	131																	
Birke	-6,07	672,9	108																	
<p>Interpretation Dieser Index beschreibt den Tag des Blattaustriebs (laufender Tag im Jahr) der drei Hauptbaumarten Buche, Eiche und Birke. Da die Ergebnisse für Einzeljahre sehr stark schwanken, sollten die Ergebnisse von mindestens 5 aufeinanderfolgenden Jahren gemittelt werden, um sinnvolle Aussagen ableiten zu können.</p>																				
<p>I/O Beschreibung der DLL Das aufzurufende Programm heißt <i>phenotsmdl1.dll</i> und hat 4 Parameter. Alle Parameter werden als Integer (short int, 2 Byte) übergeben. Der Inputparameter ist extern mit 10 zu multiplizieren¹⁾. Die Werte der Outputparameter liegen im Bereich zwischen 50 und 200 und sind extern nicht weiter zu verändern.</p> <p>Inputparameter ist ein Integer-Feld der Größe 365: 1. Tagesmittel der Lufttemperatur [°C]</p> <p>Outputparameter sind 3 skalare Integerwerte: 2. Blattaustrieb Buche [Tag im Jahr] 3. Blattaustrieb Eiche [Tag im Jahr] 4. Blattaustrieb Birke [Tag im Jahr]</p> <p>Die zeitliche Ausgabeauflösung ist jährlich, die räumliche Auflösung entspricht dem Berechnungsraster. ¹⁾ Die Skalierung mit dem Faktor 10 wird in der vorliegenden Implementierung von FISKA automatisiert vorgenommen.</p>																				

noch PIK-06

PIK-06. Austrieb der drei Baumarten Buche, Eiche und Birke

Ergänzungen/Einschränkungen

Die Berechnung des Indikators wird flächendeckend für Deutschland zur Verfügung gestellt, sie beinhaltet nicht das reale Verbreitungsgebiet der Baumarten. Das Prohibitor/Inhibitor-Modell von Schaber (2002) zeigt bessere Validierungsergebnisse und könnte zum gegebenen Zeitpunkt implementiert werden, benötigt aber die Klimadaten des vorangegangenen Jahres und des aktuellen Jahres.

Literatur

Kramer, K. (1994): Selecting a model to predict the onset of growth of *Fagus sylvatica*. – Journal of Applied Ecology, 31, 1, 172-181.

Menzel, A. (1997): Phänologie von Waldbäumen unter sich ändernden Klimabedingungen -Auswertung der Beobachtungen in den Internationalen Phänologischen Gärten und Möglichkeiten der Modellierung von Phänodaten. München : Forstwissenschaftliche Fakultät der Universität München, 150 p.

Robertson, G. W. (1968): A biometeorological time scale for a cereal crop involving day and night temperatures and photoperiod. - International Journal of Biometeorology, 12, 3, 191-223.

Schaber, J. (2002): Phenology in Germany in the 20th Century: Methods, Analyses and Models. [PIK Report 78](#), Potsdam : PIK, 145 p.

Wang, J. Y. (1960): A critique of the heat unit approach to plant response studies. - Ecology, 41, 4, 785-790.

7.4 PIK-10 Thermische Bedingungen im Weinbau / Huglin-Index

PIK-10. Thermische Bedingungen im Weinbau / Huglin-Index

PIK-10. Thermische Bedingungen im Weinbau / Huglin-Index		DWD	WETTREG	REMO																														
Klimawirkung: Verschiebung der potentiellen Anbauregionen im Weinbau Bearbeiter: Thomas Kartschall, PIK Modul: <i>huglin2dll.dll</i>		Version: 4.0		Datum: 20.01.12																														
Beschreibung des Wirkmodells Der Huglin-Index ist eine verallgemeinerte Temperatursumme, in welche die geographische Breite mit einfließt. Höhere Werte des Indexes repräsentieren die Anbauwürdigkeit thermisch immer anspruchsvollerer Reben und schließen die Rebsorten mit geringeren thermischen Ansprüchen mit ein. In Tabelle 1 sind die Rebsorten mit ihren entsprechenden Index-Intervallen ersichtlich. Für den Weinbau wesentliche klimatische Größen wie Niederschlag, Spätfrost, Bodenbeschaffenheit gehen in die Berechnung des Huglin-Index' nicht ein. Dieser Indikator stellt damit bei Unterschreiten geforderter Mindestwerte ein Ausschlusskriterium bei der Bewertung der Anbauwürdigkeit dar. Für eine umfassende Bewertung der Anbauwürdigkeit müssen weitere klimatische und pedogene Bedingungen geprüft werden. Es sei hier noch auf die einfacheren auf Temperatursummen basierenden Indizes nach Branas <i>et al.</i> (1946) bzw. Winkler (1962) hingewiesen. Inzwischen wird dem Huglin-Index wegen seiner weit verbreiteten Verwendung und seiner gut abgestimmten Klasseneinteilung aus Gründen der Vergleichbarkeit der Vorzug gegeben.																																		
Berechnungsformel: $H = \sum_{t=1.Apr.}^{30.Sept} K(X_{lat}) \cdot \frac{(T_{mit}(t) - 10^{\circ}C) + (T_{max}(t) - 10^{\circ}C)}{2}$																																		
mit X_{lat} Geographische Breite [°NB] $K(X_{lat})$ Breitenabhängiger Korrekturfaktor [±] der Form:																																		
$K(X_{lat}) := \begin{cases} 1.02 & x_{Lat} \leq 40^{\circ} \\ 1.02 + 0.04 \cdot \frac{x_{Lat} - 40^{\circ}}{10^{\circ}} & 40^{\circ} < x_{Lat} < 50^{\circ} \\ 1.06 & x_{Lat} \geq 50^{\circ} \end{cases}$																																		
$T_{mit}(t)$ Tagesmittel der Lufttemperatur [°C] $T_{max}(t)$ Tagesmaximum der Lufttemperatur [°C]																																		
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Huglin-Index H</th> <th>Farbcode</th> <th>Ausgewählte anbauwürdige Rebsorten</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>$H \leq 1500$</td> <td></td> <td>kein Anbau empfohlen</td> </tr> <tr> <td>$1500 < H \leq 1600$</td> <td></td> <td>Müller-Thurgau</td> </tr> <tr> <td>$1600 < H \leq 1700$</td> <td></td> <td>Weißer Burgunder, Gamay noir</td> </tr> <tr> <td>$1700 < H \leq 1800$</td> <td></td> <td>Riesling, Chardonnay, Sauvignon blanc, Spätburgunder</td> </tr> <tr> <td>$1800 < H \leq 1900$</td> <td></td> <td>Cabernet franc</td> </tr> <tr> <td>$1900 < H \leq 2000$</td> <td></td> <td>Chinon blanc, Cabernet sauvignon, Merlot</td> </tr> <tr> <td>$2000 < H \leq 2100$</td> <td></td> <td>Ugni blanc</td> </tr> <tr> <td>$2100 < H \leq 2200$</td> <td></td> <td>Grenache noir, Syrah</td> </tr> <tr> <td>$2200 < H \leq 2300$</td> <td></td> <td>Carignan</td> </tr> </tbody> </table>					Huglin-Index H	Farbcode	Ausgewählte anbauwürdige Rebsorten	$H \leq 1500$		kein Anbau empfohlen	$1500 < H \leq 1600$		Müller-Thurgau	$1600 < H \leq 1700$		Weißer Burgunder, Gamay noir	$1700 < H \leq 1800$		Riesling, Chardonnay, Sauvignon blanc, Spätburgunder	$1800 < H \leq 1900$		Cabernet franc	$1900 < H \leq 2000$		Chinon blanc, Cabernet sauvignon, Merlot	$2000 < H \leq 2100$		Ugni blanc	$2100 < H \leq 2200$		Grenache noir, Syrah	$2200 < H \leq 2300$		Carignan
Huglin-Index H	Farbcode	Ausgewählte anbauwürdige Rebsorten																																
$H \leq 1500$		kein Anbau empfohlen																																
$1500 < H \leq 1600$		Müller-Thurgau																																
$1600 < H \leq 1700$		Weißer Burgunder, Gamay noir																																
$1700 < H \leq 1800$		Riesling, Chardonnay, Sauvignon blanc, Spätburgunder																																
$1800 < H \leq 1900$		Cabernet franc																																
$1900 < H \leq 2000$		Chinon blanc, Cabernet sauvignon, Merlot																																
$2000 < H \leq 2100$		Ugni blanc																																
$2100 < H \leq 2200$		Grenache noir, Syrah																																
$2200 < H \leq 2300$		Carignan																																
Tab. 10.1: Ausgewählte anbauwürdige Rebsorten und zugehörige Index-Intervalle des Huglin-Index (Huglin, 1978; Stock <i>et al.</i> 2007)																																		
Interpretation Der Huglin-Index stellt eine thermische Minimalbedingung für die Anbauwürdigkeit verschiedener																																		

noch PIK-10

PIK-10. Thermische Bedingungen im Weinbau / Huglin-Index

Weinsorten gem. Tab. 1 dar. Bei dauerhafter oder überwiegender Unterschreitung der angegebenen Werte erscheint ein Anbau der zugehörigen Weinsorten nicht sinnvoll. In den Index gehen keine Informationen zur Frostgefährdung ein, die ein weiteres Ausschlusskriterium darstellen können.

I/O Beschreibung der DLL

Das aufzurufende Programm heisst *huglin2dll.dll* und besitzt 4 skalare Parameter, die als Integer (short int, 2 Byte) übergeben werden. Inputparameter 1 bis 3 sind extern mit 10 zu multiplizieren.¹⁾ Die Werte des Outputparameters liegen zwischen 0 und 2500 und sind extern nicht weiter zu verändern.

Inputparameter sind ein skalarer Integerwert und zwei Integerfelder der Dimension 365:

1. Breitengrad (Latitude)
2. Tagesmittel der Lufttemperatur
3. Tagesmaximum der Lufttemperatur

Outputparameter ist ein skalarer Integerwert:

4. Huglin-Index (-∞...+∞)

Die zeitliche Ausgabeauflösung ist jährlich, die räumliche Auflösung entspricht dem Berechnungsraster.

¹⁾ Die Skalierung mit dem Faktor 10 wird in der vorliegenden Implementierung von FSKA automatisiert vorgenommen.

Ergänzungen/Einschränkungen

Weitergehende Betrachtungen zur Auswirkung der Hangneigung und -richtung, des Niederschlages sowie der Bodenbeschaffenheit sind denkbar. Eine unabhängige Studie am PIK im Jahre 2008 (Reif 2008) für die Weinbaugebiete in Baden-Württemberg und in Rheinland-Pfalz zeigte aber, dass der dazu notwendige Aufwand hoch ist, die Aussagekraft des Huglin-Index jedoch auf eine Minimalbedingung begrenzt bleibt. Die Verschneidung mit Corine Landcover (nur landwirtschaftliche Flächen, oder nur Sonderkulturen wäre möglich) wird in dieser Version außerhalb der dll realisiert.

Literatur

Branas, J., Bernon, G., Levadoux, L. (1946): Elements de viticulture generale. École National d'Agriculture de Montpellier, France : Dehan, 400 p.

Huglin, P. (1978): Nouveau mode d'évaluation des possibilités héliothermique d'un milieu viticole. - Comptes Rendus de l'Académie d'Agriculture de France, 64, 13, 1117-1126.

Reif, O. (2008): Praktikumsbericht über ein Forschungspraktikum am PIK vom 04.02.2008 bis 20.03.2008. Interner Bericht am PIK, 8 p.

Stock, M., Badeck, F., Gerstengarbe, F.-W., Hoppmann, D., Kartschall, T., Österle, H., Werner, P. C., Wodinski, M. (2007): Perspektiven der Klimaänderung bis 2050 für den Weinbau in Deutschland. [PIK Report 106](#), Potsdam: PIK, 131 p. und Anlagen
[Kapitel 9 Reifeindex und Phänologie der Rebe. S. 91-122](#)

Winkler, A. J. (1962): General viticulture. Berkeley CA : University of California Press, 633 p.

7.5 PIK-11 Reifezahl für die Maissortenwahl

PIK-11. Reifezahl für die Maissortenwahl

PIK-11. Reifezahl für die Maissortenwahl		DWB	WETTREG	REMO																								
Klimawirkung: Standortbedingte Änderung der Reifezahl durch Temperaturänderung Bearbeiter: A. Lüttger, C. Kollas, M. Stock, PIK Modul: <i>maisdll.dll</i>		Version: 1.3 Datum: 20.01.2012																										
Beschreibung des Wirkmodells Die Einteilung einer Maissorte in eine Reifegruppe erfolgt durch die Reifezahl, bis 1998 als FAO-Zahl bezeichnet. Hierbei wird zwischen den Nutzungsrichtungen für Silomais (S) und Körnermais (K) unterschieden. Das weltweite Maissortiment wird durch die dreistellige Reifezahl in neun Reifegruppen von 100 bis 900 untergliedert. Die Hunderterstelle kennzeichnet die Reifegruppen, während die Zehnerziffer zur weiteren Unterteilung innerhalb der Reifegruppe herangezogen wird. Die in Deutschland stets mit einer 0 ausgefüllte Einerstelle steht für ein gelbschaliges Korn. Das Bundessortenamt vergibt die Reifezahlen für die in Deutschland zugelassenen Sorten. Das Deutsche Maikomitee (DMK, Reifebestimmung) ist für die Vergabe der Reifezahlen von Maissorten zuständig, die EU-weit die Zulassung erhalten. Während für Körnermais der Trockensubstanzgehalt (TS) im Korn entscheidend ist, wird bei Silomais der Bezug zum TS-Gehalt der Gesamtpflanze hergestellt. Eine Differenz von 10 Reife-Einheiten gibt unter mitteleuropäischen Verhältnissen im Allgemeinen einen Reifeunterschied von 1-2 Tagen bei Silomais oder 1-2 % im TS der Körner zum Zeitpunkt der Reife wieder. Die Reifegruppe wird gemäß der Durchschnittstemperatur von Mai bis September ermittelt: Für eine sinnvolle Aussage sollten mindestens 10 aufeinanderfolgende Jahreswerte gemittelt werden. Um zu vermeiden, dass im sehr unwahrscheinlichen Fall von mittleren Temperaturen oberhalb 25,0°C keine definierten Werte berechnet werden, wurde die Klasse spätreif (360) repliziert.																												
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Reifegruppe</th> <th>Reifezahl (Outputparameter)</th> <th>tägl. Durchschnittstemperatur, Mai-September (Inputparameter)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ungeeignet</td> <td></td> <td>< 14,0</td> </tr> <tr> <td>früh</td> <td>S bzw. K 170-220</td> <td>14,0...15,0</td> </tr> <tr> <td>mittelfrüh</td> <td>S bzw. K 230-250</td> <td>15,0...15,5</td> </tr> <tr> <td>mittelspät</td> <td>S bzw. K 260-290</td> <td>15,6...16,4</td> </tr> <tr> <td>spät</td> <td>S bzw. K 300-350</td> <td>16,5...17,4</td> </tr> <tr> <td>spätreif</td> <td>360</td> <td>17,5...25,0</td> </tr> <tr> <td>Grenzfall</td> <td>360</td> <td>> 25,0</td> </tr> </tbody> </table>					Reifegruppe	Reifezahl (Outputparameter)	tägl. Durchschnittstemperatur, Mai-September (Inputparameter)	ungeeignet		< 14,0	früh	S bzw. K 170-220	14,0...15,0	mittelfrüh	S bzw. K 230-250	15,0...15,5	mittelspät	S bzw. K 260-290	15,6...16,4	spät	S bzw. K 300-350	16,5...17,4	spätreif	360	17,5...25,0	Grenzfall	360	> 25,0
Reifegruppe	Reifezahl (Outputparameter)	tägl. Durchschnittstemperatur, Mai-September (Inputparameter)																										
ungeeignet		< 14,0																										
früh	S bzw. K 170-220	14,0...15,0																										
mittelfrüh	S bzw. K 230-250	15,0...15,5																										
mittelspät	S bzw. K 260-290	15,6...16,4																										
spät	S bzw. K 300-350	16,5...17,4																										
spätreif	360	17,5...25,0																										
Grenzfall	360	> 25,0																										
Interpretation Der Wirkfaktor gibt die optimale Reifezahl für die klimatischen Bedingungen an einem Standort an (s. Tabelle). Erhöht sich die Reifezahl infolge der Erwärmung im Klimawandel, so erhöht sich auch der potenzielle Energiegehalt beim Mais, bei zusätzlich 10 Einheiten entsprechend um 1-2 % im TS der Körner zum Zeitpunkt der Reife.																												
I/O Beschreibung der DLL Das aufzurufende Programm heisst <i>maisdll.dll</i> und hat 2 Parameter. Beide Parameter werden als Integer (short int, 2 Byte) übergeben. Inputparameter 1 ist extern mit 10 zu multiplizieren. ⁷⁾ Die Werte des Outputparameters rangieren zwischen 150 und 360 und sind extern nicht weiter zu verändern. Inputparameter ist ein Integer-Feld der Größe 365: 1. Tagesmittel der Lufttemperatur ⁷⁾ Die Skalierung mit dem Faktor 10 wird in der vorliegenden Implementierung von FISKA automatisiert vorgenommen.																												

noch PIK-11

PIK-11. Reifezahl für die Maissortenwahl

Outputparameter ist ein Integerwert:

2, Reifegruppe

Die zeitliche Ausgabeauflösung ist jährlich, die räumliche Auflösung entspricht dem Berechnungsraster.

Weblinks

DMK - Deutsches Maiskomitee e.V.: Produktion - Sorten - [Reifebestimmung](#)

7.6 PIK-13 Waldbrandindex nach Käse

PIK-13. Waldbrandindex nach Käse

PIK-13. Waldbrandindex nach Käse		DWD	WETTREG	REMO
<p>Klimawirkung: Trockenheit, Waldbrandgefahr Bearbeiter: P. Lasch, F. Suckow, C. Kollas, M. Wodinski, PIK Version: 5.6 Datum: 20.01.12 Modul: <i>fire_risk4dll.dll</i></p>				
<p>Beschreibung des Wirkmodells Nach statistischen Untersuchungen zu den Bedingungen für das Entstehen von Waldbränden in der DDR, entwickelte Käse (1969) einen Ansatz zur Bestimmung der klimatischen, täglichen Waldbrandgefährdung. Diese Waldbrandgefährdung lässt sich an jedem Tag (von Mitte Februar bis Ende September) berechnen und gibt ein potentielles Waldbrandrisiko für diesen Tag an. Sie hängt ab von der bis zu diesem Tag des Jahres aufsummierten Temperatur, gewichtet mit dem aktuellen Sättigungsdefizit, der Tagesniederschlagssumme und dem Entwicklungsstand der Vegetation. Umgesetzt wird der Ansatz von Käse in der nachfolgend beschriebenen Form. Die Differenzierung der unterschiedlichen Ansätze nach Käse ist im Kap. 3.6 des 3. Schlussberichtes ersichtlich.</p> <p>Der Index $I_{C,d}$ wird täglich ausschließlich zwischen dem 46. und 274. Tag im Jahr berechnet:</p> <p>Täglicher Index: $I_{C,d} = k_p \cdot I_{C,d-1} + k_{phen} \cdot (T_{max} + 10) \cdot \Delta v_p$</p> <p>mit d - Tag im Jahr k_p - Niederschlagskorrektur k_{phen} - Phänologiekorrektur T_{max} - Tagesmaximum der Lufttemperatur [°C] Δv_p - Sättigungsdefizit um 13 Uhr [hPa]</p> <p>Sättigungsdefizit Δv_p:</p> $svp_{13} = 6.1078 \cdot e^{\left(\frac{17.62 \cdot T_{max}}{243.12 + T_{max}}\right)}$ $vp_{13} = svp_{13} \cdot h_r / 100$ $\Delta v_p = svp_{13} - vp_{13}$ <p>mit svp_{13} - Sättigungsdampfdruck um 13 Uhr [hPa] vp_{13} - aktueller Dampfdruck um 13 Uhr [hPa] h_r - Relative Feuchte [%]</p> <p>Niederschlagskorrektur k_p:</p> $k_p = \begin{cases} 0 & \text{wenn } P_d \geq 10 \\ 0.25 & \text{wenn } 5 \leq P_d < 10 \\ 0.5 & \text{wenn } 1 \leq P_d < 5 \\ 1.0 & \text{sonst} \end{cases}$ <p>mit P_d - Summe Tagesniederschlag [mm]</p> <p>Phänologiekorrektur k_{phen}:</p> $k_{phen} = \begin{cases} 3.0 & \text{wenn } d_{15.Feb} \leq d < d_{BF,Br} \\ 2.0 & \text{wenn } d_{BF,Br} \leq d \leq d_x \\ 1.0 & \text{wenn } d_x < d \leq d_y \\ 0.5 & \text{wenn } d_y < d \leq d_{30.Sep} \end{cases}$				

Seite 1 von 3

noch PIK-13

PIK-13. Waldbrandindex nach Käse

- mit
- d - Tag im Jahr
 - $d_{BF,Br}$ - Blattentfaltung der Birke [Tag im Jahr]
 - $d_{BB,Ro}$ - Beginn Blüte der Robinie [Tag im Jahr]
 - d_x - Erster Tag mit $P_d \geq 5\text{mm}$ nach $d_{BB,Ro}$ [Tag im Jahr]
 - d_y - Erster Tag mit $P_d \geq 5\text{mm}$ nach dem 15. August, spätestens der 1. September [Tag im Jahr]

Der Tag des Blattaustriebs der Birke ($d_{BF,Br}$) wird als Mittelwert über einen längeren Zeitraum standardmäßig mit dem Tag 115 angenommen. Der Tag der Knospung für die Robinie ($d_{BB,Ro}$) ist erreicht, wenn die Temperatursumme T_{sum} größer als der Schwellenwert $T_{crit} = 537$ Gradtage ist. Summiert wird für Tage mit einer Mitteltemperatur $T > T_s = 9,3^\circ\text{C}$. Die Parameter T_s und T_{crit} wurden mit Phänologiedaten der PIK-Datenbank gefittet.

Berechnung der Temperatursumme T_{sum} :

$$T_{sum} = \sum_{d=1}^{d_{BB}} T(d)$$

Abschließend wird der tägliche Index $I_{c,d}$ entsprechend den internationalen Waldbrandgefährdungsstufen wie folgt klassifiziert:

Gefährdungsstufe International	Bedingung	Warnstufe Original Käse
1 sehr geringe Gefahr	$I_{c,d} \leq 500$	Keine
2 geringe Gefahr	$500 < I_{c,d} \leq 2000$	1
3 mittlere Gefahr	$2000 < I_{c,d} \leq 4000$	2
4 hohe Gefahr	$4000 < I_{c,d} \leq 7000$	3
5 sehr hohe Gefahr	$7000 < I_{c,d}$	4

Der Ausgabewert, die mittlere jährliche Waldbrandgefährdung $I_{c,a}$, ist der Mittelwert der täglich errechneten Waldbrandgefährdungsstufe (Tag 46 bis Tag 274 des Jahres).

Interpretation

Es werden die Waldbrandgefährdungsstufen nach der international verwendeten Skala von 1 (niedrig) bis 5 (hoch) ausgegeben. Die Abschätzung der klimatischen Waldbrandgefährdung nach Käse ist gut evaluiert und wird in ähnlicher Form auch vom DWD benutzt.

I/O Beschreibung der DLL

Das aufzurufende Programm heißt *fire_risk4.dll* und hat 6 Parameter. Alle Parameter werden als Integer (short int, 2 Byte) übergeben. Die Inputparameter 1 bis 5 sind extern mit 10 zu multiplizieren.¹⁾ Der Outputparameter ist extern nicht weiter zu verändern.

Inputparameter sind 5 Integer-Felder der Größe 365:

1. Tagesmittel der Lufttemperatur [°C]
2. Tagesmaximum der Lufttemperatur [°C]
3. Tagesminimum der Lufttemperatur [°C]
4. Tagessumme des Niederschlag [mm]
5. Mittlere tägliche Luftfeuchte [%]

¹⁾ Die Skalierung mit dem Faktor 10 wird in der vorliegenden Implementierung von FISKA automatisiert vorgenommen.

noch PIK-13

PIK-13. Waldbrandindex nach Käse

Outputparameter ist ein skalarer Integerwert:

6. Mittlere jährliche Waldbrandgefährdung [-]

Die zeitliche Ausgabeauflösung ist jährlich, die räumliche Auflösung entspricht dem Berechnungsraster.

Ergänzungen/Einschränkungen

Eine getrennte Bewertung der Waldbrandgefahr für Nadel- und Laubbaumbestände ist eine mögliche Ergänzung. Die Verschneidung mit Corine LandCover muss in dieser Version extern realisiert werden.

Literatur

Käse, H. (1969): Ein Vorschlag für eine Methode zur Bestimmung und Vorhersage der Waldbrandgefährdung mit Hilfe komplexer Kennziffern. Abhandlungen des Meteorologischen Dienstes der DDR, 94, Berlin : Akademie Verlag, 68 p.

7.7 PIK-14 Waldbrandindikator nach Bruscek

PIK-14. Waldbrandindikator nach Bruscek

PIK-14. Waldbrandindikator nach Bruscek		DWD	WETTREG	REMO									
Klimawirkung: Trockenheit, Waldbrandgefahr Bearbeiter: C. Kollas, M. Wodinski, PIK Modul: <i>brushdll2.dll</i>		Version: 2.6		Datum: 20.01.12									
Beschreibung des Wirkmodells Bei der Untersuchung der Waldbrände in Brandenburg von 1975 bis 1992 fand Bruscek (1994) einen signifikanten Zusammenhang zwischen der Zahl der Brände und dem Quotienten aus Anzahl der Sommertage und Summe des Niederschlags in der Vegetationsperiode. Dieses Verhältnis lässt sich nur <i>a posteriori</i> berechnen. Aus den Klimawerten eines Jahres ist demnach ein Indikator berechenbar, der eine gute Korrelation mit der Anzahl der Waldbrände des Jahres zeigt. Bei der Betrachtung von Klimaszenarien kann diese Information Aufschluss über zu erwartende Veränderungen bezüglich der Waldbrandgefahr geben. Validiert ist das Modell vorerst nur im Raum Brandenburg. Die Berechnung erfolgt nach folgender Formel: $I_A = N_h / \sum_{d=91}^{274} P_d$ mit <table> <tr> <td>N_h</td> <td>-</td> <td>Anzahl Sommertage ($T_{\max} \geq 25^\circ\text{C}$) in der Vegetationsperiode (April-September)</td> </tr> <tr> <td>P_d</td> <td>-</td> <td>Niederschlagssumme am Tag d</td> </tr> <tr> <td>I_A</td> <td>-</td> <td>Maß für die Anzahl der Waldbrände pro Jahr</td> </tr> </table>					N_h	-	Anzahl Sommertage ($T_{\max} \geq 25^\circ\text{C}$) in der Vegetationsperiode (April-September)	P_d	-	Niederschlagssumme am Tag d	I_A	-	Maß für die Anzahl der Waldbrände pro Jahr
N_h	-	Anzahl Sommertage ($T_{\max} \geq 25^\circ\text{C}$) in der Vegetationsperiode (April-September)											
P_d	-	Niederschlagssumme am Tag d											
I_A	-	Maß für die Anzahl der Waldbrände pro Jahr											
Interpretation Die bisher in Brandenburg beobachteten Indexwerte liegen zwischen 0 und 0,4. Für den als Beispiel ausgewerteten Beobachtungszeitraum 1991-2000 rangieren die Werte für Deutschland zwischen 0 und 0,25. Werte über 0,15 sprechen in Brandenburg für ein Waldbrandjahr (z. B. 1976, 1982, 1992). Da das Modell für das nadelholzreiche und verhältnismäßig trockene Bundesland Brandenburg validiert wurde, ist eine Überschätzung der Gefahr in anderen, insbesondere laubwaldreichen Bundesländern möglich. Der Waldbrandindikator nach Bruscek kann begrenzt zur Identifizierung von Gebieten mit potentiell besonders hohem Waldbrandrisiko genutzt werden (Gerstengarbe, Werner 1997).													
I/O Beschreibung der DLL Das aufzurufende Programm heißt <i>brushdll2.dll</i> und hat 3 Parameter. Alle Parameter werden als Integer (short int, 2 Byte) übergeben. Die Inputparameter 1 und 2 sind extern mit 10 zu multiplizieren. ^{*)} Die positiven Werte des Outputparameters liegen im Bereich von 0 bis 500 und sind extern durch 1000 zu dividieren. <p>Inputparameter sind 2 Integer-Felder der Größe 365:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Tagesmaximum der Lufttemperatur [°C] 2. Tagessumme des Niederschlag [mm] <p>Outputparameter ist ein skalarer Integerwert:</p> <ol style="list-style-type: none"> 3. Waldbrandindikator nach Bruscek [-] <p>Die zeitliche Ausgabeauflösung ist jährlich, die räumliche Auflösung entspricht dem Berechnungsraster.</p> <p>^{*)} Die Skalierung mit dem Faktor 10 wird in der vorliegenden Implementierung von FISKA automatisiert vorgenommen.</p>													

noch PIK-14

PIK-14. Waldbrandindikator nach Bruscek

Ergänzungen/Einschränkungen

Validierungen auf Bundesländerebene stehen aus. Eine getrennte Bewertung der Waldbrandgefahr für Nadel- und Laubbaumbestände ist eine mögliche Ergänzung.

Literatur

Bruscek, G. J. (1994): Waldgebiete und Waldbrandgeschehen in Brandenburg im Trockensommer 1992. - In: Schellhuber, H. J., Enke, W., Flechsig, M. (Hrsg.), Extremer Nordsommer 1992. [PIK Report 2, Vol. 1](#), Potsdam : PIK, 245-264

Gerstengarbe, F.-W., Werner, P. (1997): Waldbrandentwicklung im Land Brandenburg. - Allgemeine Forstzeitschrift-Der Wald, 52, 7, 392-394.

7.8 PIK-15 Anbauindikator für die Baumarten Buche, Fichte und Kiefer

PIK-15. Anbauindikator für die Baumarten Buche, Fichte und Kiefer

PIK-15. Anbauindikator für die Baumarten Buche, Fichte und Kiefer		DWD	WETTREG	REMO
<p>Klimawirkung: Arealveränderungen durch klimatische Veränderungen Bearbeiter: Chris Kollas, Manfred Stock, PIK Version: 1.4 Datum: 20.01.2012 Modul: <i>anbaudll.dll</i></p>				
<p>Beschreibung des Wirkmodells Der Anbauindikator soll ermitteln, wie sich die Arealgrenzen der oben genannten Baumarten unter einem wandelnden Klima verschieben können. Er kann daher Hilfe für waldbauliche Entscheidungen sein. Der Indikator verwendet einen Trockenheitsindex als klimatische Einflussgröße für das Baumwachstum. Der Trockenheitsindex TI nach Reichel (1928) berechnet sich wie folgt:</p> $TI = (P \cdot N_p) / ((T + 10) \cdot 180)$ <p>mit P = Jahresniederschlag [mm] N_p Anzahl der Regentage [±] T Jahresdurchschnittstemperatur [°C]</p> <p>Bei Untersuchungen ausgewählter Wuchsgebiete der o.g. Baumarten in Deutschland, stellte Mitscherlich (1949, 1950) fest, dass die Baumarten innerhalb charakteristischer Spannen des Trockenheitsindex vorkommen:</p> <p>Fichte in Dtl. in Regionen bei 65 > TI > 34, Mittelwert: 48 Buche in Dtl. in Regionen bei 65 > TI > 30, Mittelwert: 45 Kiefer in Dtl. in Regionen bei 44 > TI > 26, Mittelwert: 33</p> <p>Durch Zuordnung der beobachteten Holzertragsentwicklungen zum regionalen Trockenheitsindex lässt sich die baumartenspezifische Spanne auf 3 Teilbereiche projizieren, d.h. der klimatische Anbauindikator kann drei Werte annehmen:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Das Optimum (Wert 1) beinhaltet alle Werte für TI, die sich in den mittleren 2/3 der Spanne befinden. 2. Das Suboptimum (Wert 2) beinhaltet alle restlichen Werte für TI der Spanne. 3. Das Pessimum (Wert 3) beinhaltet alle Werte für TI außerhalb der Spanne. <p>Damit wird das ökologische Optimum nur auf die klimatischen Bedingungen bezogen, die die Randbereiche und die Bereiche außerhalb der aktuellen Verbreitung charakterisieren (vgl. folgende Grafik).</p>				
<p>Trockenheitsindex TI Spanne (Kiefer) 0 26 44</p> <p>Optimum/Suboptimum Pessimum Bereiche 3 2 1 2 3</p> <p>Prozentuale Angaben ← 100 % → ← 66 % → ← 17 % →</p>				
<p>Interpretation Durch den Trockenheitsindex nach Reichel wird für jede Baumart (Buche, Kiefer, Fichte) eine klimatische Hülle ermittelt, die Bereiche unterschiedlichen Wachstumspotenzials von Optimum bis Pessimum ausweist. Für die entsprechende Baumart werden die Werte von 1 (Optimum) bis 3 (Pessimum) ausgegeben. Diese Methode (auch Klimahüllen genannt) verwendet langjährige Mittelwerte von Temperatur und Niederschlag und geht davon aus, dass Spezies im ökologischen</p>				

noch PIK-15

PIK-15. Anbauindikator für die Baumarten Buche, Fichte und Kiefer

Gleichgewicht mit dem aktuellen Klima stehen. Welche Vitalität diese im zukünftigen Klima zeigen werden, kann damit nur kursorisch abgeschätzt werden. Nicht alle wirksamen klimatischen Faktoren und ihre Änderungen werden so erfasst. Hinzu kommt, dass Mitscherlich in seine Analyse nur ausgewählte Regionen innerhalb des damaligen deutschen Reiches einbezog.

Es ist möglich, dass weitere klimatische Optimumbereiche für die entsprechenden Baumarten in dieser Klimahülle nicht erfasst wurden. Desweiteren gehen wichtige Faktoren, wie die Bodenart und Konkurrenzbeziehungen zu anderen Spezies nicht in die Berechnung des rein klimatischen Index ein (vgl. Bolte *et al.*, 2008).

I/O Beschreibung der DLL

Das aufzurufende Programm heisst *anbaudll.dll* und hat 5 Parameter.

Alle 5 werden als Integer (short int, 2 Byte) übergeben. Inputparameter sind extern mit 10 zu multiplizieren*. Die Werte der Outputparameter rangieren von 1 bis 3 und sind extern nicht weiter zu verändern.

Inputparameter sind 2 Integer-Felder der Größe 365:

1. Tagesmittel der Lufttemperatur
2. Tagessumme Niederschlag

Outputparameter sind 3 skalare Integerwerte:

3. Anbauindikator für Buche [1 Optimum ... 3 Pessimum]
4. Anbauindikator für Kiefer [1 Optimum ... 3 Pessimum]
5. Anbauindikator für Fichte [1 Optimum ... 3 Pessimum]

Die zeitliche (Output-) Auflösung ist jährlich, die räumliche Auflösung entspricht dem Berechnungsraster.

- * Die Skalierung mit dem Faktor 10 wird in der vorliegenden Implementierung von FISKA automatisiert vorgenommen.

Ergänzungen/Einschränkungen

Durch ein zusätzliches „Verschneiden“ mit den Geodaten des Corine Land Cover, lassen sich aktuelle Waldflächen extrahieren, so dass nur für diese Flächen der Indikator berechnet wird.

Literatur

Bolte, A., Ibisch, P., Menzel, A., Rothe, A. (2008): Was Klimahüllen uns verschweigen. - Allgemeine Forstzeitschrift-DerWald, 63, 15, 800-803.

Mitscherlich, G. (1949): Über den Einfluß der Wuchsgebiete auf das Wachstum von Kiefernbeständen. - Forstwissenschaftliches Centralblatt, 68, 4, 193-216.

Mitscherlich, G. (1950a): Die Bedeutung der Wuchsgebiete für das Bestandeswachstum von Fichte und Douglasie. - Forstwissenschaftliches Centralblatt, 69, 1, 27-51.

Mitscherlich, G. (1950b): Die Bedeutung der Wuchsgebiete für das Bestandeswachstum von Buche, Eiche, Erle und Birke. - Forstwissenschaftliches Centralblatt, 69, 4, 184-211.

Reichel, E. (1928): Der Trockenheitsindex, insbesondere für Deutschland. - In: Preußisches Meteorologisches Institut (Ed.): Bericht über die Tätigkeit des Preußischen Meteorologischen Instituts 1928. Berlin : Springer, 84-105

7.9 PIK-16 Fotovoltaikpotenzial

PIK-16. Fotovoltaikpotenzial

PIK-16. Fotovoltaikpotenzial		DWD	WETTREG	REMO
<p>Klimawirkung: Veränderung der Sonnenscheindauer Bearbeiter: L. Österle, M. Stock, T. Kartschall, PIK Version: 3.4 Datum: 30.01.2011 Modul: <i>fotovoltaikdll.dll</i></p>				
<p>Beschreibung des Wirkmodells</p> <p>Unter Fotovoltaik versteht man die direkte Umwandlung von Strahlungsenergie, vornehmlich von Sonnenenergie, in elektrische Energie (Häberlin, 2007). Als größte Energiequelle strahlt die Sonne pro Jahr eine Energiemenge etwa $3,9 \times 10^{24}$ J bzw. $1,08 \times 10^{18}$ kWh auf die Erdoberfläche ein. Diese Energiemenge entspricht etwa dem 10.000-fachen des anthropogenen Weltenergiebedarfs. Die auf die Erde einfallende Strahlungsdichte ist seit Beginn der Aufzeichnungen annähernd konstant. Dabei können an der Erdoberfläche auf eine optimal zur Sonne ausgerichteten Fläche bei bedeckungsfreien Bedingungen maximal $1,3 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$ Sonnenstrahlung auftreffen (extraterrestrische Solarkonstante).</p> <p>In Mitteleuropa beträgt die jährlich eingestrahelte Energie etwa $1.000 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2}$. Für die Sahara liegt dieser Wert bei ca. $2.350 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2}$.</p> <p>Die Werte für den optimalen Neigungswinkel der Photovoltaikflächen in Deutschland liegen im Bereich von 26° bis 36° (JRC, PVGIS). Klimabedingte Veränderungen der Insolation sind ausschließlich durch veränderte atmosphärische Bedingungen der Transmission zu erwarten. Daher erfolgte für das Wirkmodell in FISKA eine Beschränkung auf einen einfachen Zusammenhang zwischen Veränderungen der Sonnenscheindauer und kumulativer Insolation. Die kumulativ eingestrahelte Energie E_{Jahr} (in $\text{kWh} \cdot \text{m}^{-2}$) wird wie folgt berechnet:</p> $E_{\text{Jahr}} = S_{\text{Jahr}} \cdot H_{\text{Jahr}}$ <p>mit H_{Jahr} - Summe der Sonnenscheindauer im Jahr [h] S_{Jahr} - jährliche durchschnittliche Insolation ($0,65 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$) in Deutschland</p> <p>Dieser stark vereinfachte Ansatz basiert auf dem Klimaparameter Sonnenscheindauer und dem Proportionalitätsfaktor S_{Jahr}. Die damit ermittelten Werte können als relativ grobe Orientierung benutzt werden. Punktuelle Vergleichsrechnungen zu zwei im Internet verfügbaren Solarrechnern (JRC, PVGIS Daten für Solareinstrahlung bzw. Heindl, SolarServer) mit komplexeren Berechnungsverfahren zeigen eine überraschend gute Übereinstimmung.</p>				
<p>Interpretation</p> <p>Als Ausgabeparameter werden Summe der Sonnenscheindauer im Jahr (h) und kumulative Insolation pro Quadratmeter und Jahr ($\text{kWh} \cdot \text{m}^{-2}$) als Richtwerte für das Fotovoltaikpotenzial an einem Ort ausgegeben. Dieser Index entspricht einem Wirkungsgrad von 100% bei optimaler Flächenausrichtung und ist daher ein von der verwendeten Anlagentechnik unabhängiger Maximalwert.</p>				
<p>I/O Beschreibung der DLL</p> <p>Das aufzurufende Programm heisst <i>fotovoltaikdll.dll</i> und hat 3 Parameter. Der Inputparameter ist extern mit 10 zu multiplizieren und wird als Integer übergeben.^{*)}</p> <p>Inputparameter ist ein Feld von Integerwerten der Dimension 365:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Sonnenscheindauer in h, Tageswerte für 1 Jahr <p>Outputparameter sind zwei skalare Integerwerte:</p> <ol style="list-style-type: none"> 2. Summe der Sonnenscheindauer im Jahr (h) 3. Gesamtmenge der einfallenden Sonnenstrahlung E_{Jahr} ($\text{kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$) <p>Die zeitliche Ausgabeauflösung ist jährlich, die räumliche Auflösung entspricht dem Berechnungsraster.</p> <p>^{*)Die Skalierung mit dem Faktor 10 wird in der vorliegenden Implementierung von FISKA automatisiert vorgenommen.}</p>				

noch PIK-16

PIK-16. Fotovoltaikpotenzial

Ergänzungen/Einschränkungen

Im REMO-Datensatz ist die Größe Sonnenscheindauer (SD) nicht enthalten, damit kann der Wirkfaktor generell nicht berechnet werden. Im 2011 vorliegenden Beobachtungsdatensatz (DWD 1971-2000) sind regional gehäuft Fehlwerte für SD enthalten. Ein Nutzer muss diese Regionen in eigener Verantwortung von der Berechnung bzw. Auswertung ausschließen. Das Wirkmodell ist auf Grund seiner extrem einfachen Form (keine explizite Breitenabhängigkeit) nur in Deutschland bzw. in Regionen gleicher geographischer Breitenlage anwendbar.

Literatur

Häberlin, H. (2007): Photovoltaik – Strom aus Sonnenlicht für Verbundnetz und Inselanlagen. Berlin : VDE Verlag, 710 p.

Weblinks

JRC - [Joint Research Centre](#), European Commission: Photovoltaic Geographical Information System - [PVGIS Daten für Solareinstrahlung](#)

Heindl Server GmbH: [SolarServer](#)

Anmerkung: Rechner ist nicht mit Standardwerten von FSKA betreibbar.

7.10 PIK-18 Tourismus: Schneehöhe / Schneesicherheit

PIK-18. Tourismus: Schneehöhe / Schneesicherheit

PIK-18. Tourismus: Schneehöhe / Schneesicherheit		DWD	WETTREG	REMO																
<p>Klimawirkung: Veränderung der Schneesicherheit Bearbeiter: L. Österle, T. Kartschall, M. Wodinski, PIK Modul: <i>schneetagedll.dll</i></p>		<p>Version: 2.5</p>		<p>Datum: 20.01.12</p>																
<p>Beschreibung des Wirkmodells</p> <p>Für touristische Zwecke werden allgemein mindestens 10 cm mittlerer Schneehöhe als gerade ausreichend definiert (z. B. Skilanglauf bzw. -wandern). Eine Nutzung als alpines Skigebiet setzt eine Schneedecke von 30 bis 50 cm mit einer Lagerungsdauer von 100 Tagen zwischen dem 1. Dezember und 15. April voraus (Schneesicherheit).</p> <p>Die Berechnung der Schneehöhe wird auf der Grundlage von Tageswerten der Lufttemperatur, der Sonnenscheindauer und des Niederschlags, sowie der Höhe über NN vorgenommen. Das Modellkonzept zur Simulation des Entwicklungsgangs der Schneedecke besteht aus folgenden Schwerpunkten (Rachner, 1983):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Die Höhe der Schneedecke wird kontinuierlich von Tag für Tag durch die Abschätzung des Aufbaus und des Abbaus der Schneedecke simuliert. • Der Aufbau der Schneedecke findet bei fallendem Niederschlag und bei Temperaturen unter bestimmten Schwellenwerten statt (lineare Regression mit der Quadratwurzel aus der Tagessumme des Niederschlags als Prädiktor). • Bei positiven Temperaturen findet ein Abbau der Schneedecke durch Abtauen und Verdunstung, statt, bei negativen Temperaturen kann die Höhe der Schneedecke durch eine Verdichtung der Schneedecke und durch Verdunstung sinken (lineare Regression mit der Tagesmitteltemperatur als Prädiktor). • Die Sonnenscheindauer wird beim Abtauen und der Verdichtung der Schneedecke berücksichtigt. 																				
<p>Interpretation</p> <p>Als Indikatoren werden die Anzahl der Tage mit einer Schneehöhe ≥ 10cm, die Anzahl der Tage mit einer Schneehöhe ≥ 30cm (für alpine Gebiete und für eine höhere Schneesicherheit interessant) und die durchschnittliche Schneehöhe pro Wintersaison in cm ermittelt.</p>																				
<p>I/O Beschreibung der DLL</p> <p>Das aufzurufende Programm heißt <i>schneetagedll.dll</i> und hat 8 Parameter. Alle klimatischen Inputparameter sind extern mit 10 zu multiplizieren und werden als Integer (short int, 2 Byte) übergeben.⁷⁾</p> <p>Inputparameter sind 1 Integerwert (Stationshöhe) und 4 Integer-Felder der Größe 730 (2 Jahre):</p> <table border="0"> <tr> <td>1. Stationshöhe</td> <td>[m]</td> </tr> <tr> <td>2. Tagesminimum der Temperatur</td> <td>[°C]</td> </tr> <tr> <td>3. Tagesmaximum der Temperatur</td> <td>[°C]</td> </tr> <tr> <td>4. Tagessumme des Niederschlags</td> <td>[mm]</td> </tr> <tr> <td>5. Tagessumme der Sonnenscheindauer</td> <td>[h]</td> </tr> </table> <p>Outputparameter sind 3 skalare Integerwerte:</p> <table border="0"> <tr> <td>6. Tage in der Wintersaison mit Schneehöhen ≥ 10cm</td> <td>[Tage]</td> </tr> <tr> <td>7. Tage in der Wintersaison mit Schneehöhen ≥ 30cm</td> <td>[Tage]</td> </tr> <tr> <td>8. Durchschnittliche Schneehöhe in der Wintersaison</td> <td>[cm]</td> </tr> </table> <p>Die zeitliche (Output-) Auflösung ist jährlich (pro Wintersaison), die räumliche Auflösung entspricht dem Berechnungsraster.</p> <p>⁷⁾ Die Skalierung mit dem Faktor 10 wird in der vorliegenden Implementierung von FISKA automatisiert vorgenommen.</p>					1. Stationshöhe	[m]	2. Tagesminimum der Temperatur	[°C]	3. Tagesmaximum der Temperatur	[°C]	4. Tagessumme des Niederschlags	[mm]	5. Tagessumme der Sonnenscheindauer	[h]	6. Tage in der Wintersaison mit Schneehöhen ≥ 10 cm	[Tage]	7. Tage in der Wintersaison mit Schneehöhen ≥ 30 cm	[Tage]	8. Durchschnittliche Schneehöhe in der Wintersaison	[cm]
1. Stationshöhe	[m]																			
2. Tagesminimum der Temperatur	[°C]																			
3. Tagesmaximum der Temperatur	[°C]																			
4. Tagessumme des Niederschlags	[mm]																			
5. Tagessumme der Sonnenscheindauer	[h]																			
6. Tage in der Wintersaison mit Schneehöhen ≥ 10 cm	[Tage]																			
7. Tage in der Wintersaison mit Schneehöhen ≥ 30 cm	[Tage]																			
8. Durchschnittliche Schneehöhe in der Wintersaison	[cm]																			

noch PIK-18

PIK-18. Tourismus: Schneehöhe / Schneesicherheit

Ergänzungen/Einschränkungen

Im REMO-Datensatz ist die Größe Sonnenscheindauer (SD) nicht enthalten, damit kann der Wirkfaktor generell nicht berechnet werden. Im 2011 vorliegenden Beobachtungsdatensatz (DWD 1971-2000) sind regional gehäuft Fehlwerte für SD enthalten.

Das Modell zur Berechnung der Schneehöhe basiert auf Beobachtungsdaten aus Baden-Württemberg. Die angewandte Methode kann für vergleichbare Regionen bis zu einer Höhe von etwa 1000m genutzt werden, weil fast alle Regressionsparameter höhenabhängig sind und die Stationshöhen diesen Bereich abdecken. Die notwendigen Parameter für höhere Regionen können aus entsprechenden Beobachtungsdaten ermittelt werden, wenn solche zur Verfügung gestellt werden.

Literatur

Rachner, M. (1983): Versuch einer Schätzung der Schneehöhe mit Hilfe von Simulationsmodellen. - Zeitschrift für Meteorologie, 33, 4, 234-243.

7.11 PIK-19 Tourismus: Potenzielle Badetage

PIK-19. Tourismus: Potentielle Badetage

PIK-19. Tourismus: Potentielle Badetage		DWD	WETTREG	REMO
Klimawirkung: Änderungen der Anzahl potentieller Badetage Bearbeiter: L. Österle, M. Stock, PIK Version: 1.3 Datum: 17.01.2012 Modul: <i>badetagedll.dll</i>				
Beschreibung des Wirkmodells Definition Potentieller Badetag bei Freibädern und Binnengewässern: Potentielle Badetage werden hier als die Tage im Sommerhalbjahr definiert, an denen in Bädern im Binnenland bei Erreichen bestimmter klimatischer Schwellenwerte der Maximaltemperatur, des Bewölkungsgrades und der Sonnenscheindauer eine hohe Auslastung mit Besuchern erreicht wird. Herleitung: Zur Ermittlung von klimatischen Schwellenwerten wurden die Besucherzahlen eines Freibads auf der bayrischen Seite des Bodensees und eines Freibads in Konstanz mit klimatischen Messwerten korreliert. Das Freibad in Konstanz stellte dabei die täglichen Besucherzahlen der Sommersaison aus den Jahren 1999 und 2000 (insgesamt 174 Tage), das Bad der bayerischen Gemeinde aus den Jahren 2000 bis 2004 (insgesamt 660 Tage) zur Verfügung. Im bayrischen Bad erfasste der zuständige Schwimmmeister über Jahre hinweg handschriftlich dreimal täglich die Lufttemperatur (9 Uhr, 12 Uhr und 17 Uhr) sowie meist zweimal täglich die aktuelle Witterung. Nach Überführung dieses Materials in digitale Form war es somit möglich, die Besucherzahlen des bayerischen Bads direkt mit den von Ort notierten Temperatur- und Witterungsbedingungen zu korrelieren und somit klimatischen Schwellenwerte empirisch basiert abzuleiten. Für das Konstanzer Bad konnte für die Korrelation von Besucherzahlen und Klimaparametern auf die meteorologischen Messdaten der Klimastation Konstanz zurückgegriffen werden. Von den verschiedenen täglichen Klimaparametern erweisen sich in der Analyse die Maximaltemperatur, der mittlere Bewölkungsgrad und die Sonnenscheindauer als die entscheidenden Faktoren für die Auslastung der Bäder mit Besuchern. Zusammenfassend lässt sich ein potentieller Badetag an Binnengewässern auf der Basis von 3 Schwellenwerten wie folgt definieren: <ul style="list-style-type: none"> • die tägliche Maximaltemperatur muss größer als 23°C sein, • der mittlere Bewölkungsgrad kleiner als 3/8 sein und • die tägliche Sonnenscheindauer muss mindestens 9 Stunden betragen. Es wird die Anzahl potentieller Badetage an Binnengewässern im Jahr berechnet und ausgegeben.				
Interpretation Dieser Indikator gibt nicht das absolute Badeverhalten an, sondern die Tage im Jahr, an denen viele Menschen aufgrund von bestimmten klimatischen Bedingungen baden gehen würden. Andere Faktoren, die auch das Badeverhalten beeinflussen könnten (z.B. Wassertemperatur und Wassergüte) werden nicht berücksichtigt. Ferner wird angenommen, dass ein für Freibäder ermitteltes Badeverhalten auf alle frei zugängliche Binnengewässer, für die keine Besucherstatistiken existieren, übertragen lässt. Es werden nur die Daten der Sommersaison (April – September) in Betracht bezogen (von Tag 121 bis Tag 175 im Jahr). Bei der Interpretation der Ergebnisse, müssen die Einschränkungen (s.u.) beachtet werden. In anderen Regionen Deutschlands können die Schwellenwerte von den am Bodensee ermittelten abweichen. Das Analyseergebnis deutet jedoch darauf hin, dass die drei Einflussfaktoren auf ähnliche Weise das Badeverhalten in ganz Deutschland an Binnengewässern beeinflussen. Aufgrund der kleinräumigen Datengrundlage ist es denkbar, dass das Ergebnis die tatsächlichen Badetage in klimatisch weniger begünstigten Gebieten wie die Bodenseeregion unterschätzt.				

noch PIK-19

PIK-19. Tourismus: Potentielle Badetage

I/O Beschreibung der DLL

Das aufzurufende Programm heisst *badetagedll.dll* und hat 4 Parameter. Alle Parameter werden als Integer (short int, 2 Byte) übergeben. Wird das Programm außerhalb der FISKA-Anwendung verwendet, sind die Inputparameter **extern** mit 10 zu multiplizieren.

Inputparameter sind drei Integer-Felder der Größe 365.

1. Maximaltemperatur der Lufttemperatur [°C]
2. Sonnenscheindauer [h]
3. Bewölkungsgrad [octas]

Outputparameter ist ein skalarer Integerwert

4. Anzahl potentieller Badetage im Jahr (Integerwert)

Die zeitliche Ausgabeauflösung ist jährlich, die räumliche Auflösung entspricht dem Berechnungsraster.

*) Die Skalierung mit dem Faktor 10 wird in der vorliegenden Implementierung von FISKA automatisiert vorgenommen.

Ergänzungen/Einschränkungen

Im REMO-Datensatz ist die Größe Sonnenscheindauer (SD) nicht enthalten, damit kann der Wirkfaktor generell nicht berechnet werden. Im 2011 vorliegenden Beobachtungsdatensatz (DWD 1971-2000) sind regional gehäuft Fehlwerte für SD enthalten.

Die Ergebnisse stammen aus der PIK Studie an Freibädern in der Bodenseeregion (Stock 2005). Die Ergebnisse konnten mangels vergleichbarer Daten nicht für ganz Deutschland validiert werden. Es erscheint aber plausibel, dass die hier zugrunde liegenden Entscheidungskriterien der Badegäste auf Binnengewässer in ganz Deutschland übertragbar sind. Dies konnte allerdings mangels verfügbarer Daten nicht überprüft werden. Es ist anzunehmen, dass der Indikator nicht auf Badetage an der Küste übertragen werden kann, da das Badeverhalten dort weniger von Tageswerten sondern vermutlich eher von saisonalen klimatischen Erwartungen bei der Urlaubsplanung abhängt.

Die Definition des Badetages enthält auch subjektive Einschätzungen, beispielsweise beim Schwellwert der Sonnenscheindauer oder bei der Vernachlässigbarkeit der Wassertemperatur. Von einer Verifikation der gewählten Schwellenwerte wurde Abstand genommen, da die dafür nötigen Daten für eine größere Anzahl von Binnengewässern nicht oder nur mit großem Aufwand zu ermitteln sind. Es ist anzunehmen, dass die grundsätzliche Tendenz der erfolgten klimatischen Analyse hinsichtlich des Auftretens potentieller Badetage bestätigt werden dürfte.

Literatur

Stock, M. (Ed.) (2005): KLARA Klimawandel - Auswirkungen, Risiken, Anpassung. [PIK Report 99](#), Potsdam: PIK, 199 p. und Anlagen
[Kapitel 6 Tourismus, S. 107-131](#)

Literatur

- Abegg, B. (1996): Klimaänderung und Tourismus. Klimafolgenforschung am Beispiel des Wintertourismus in den Schweizer Alpen. Schlussbericht im Rahmen des Nationalen Forschungsprogrammes "Klimaänderung und Naturkatastrophen", NFP 31, Diss. Univ. Zürich, Zürich : vdf Hochschulverlag, 222 p.
- AG BODEN (1994) der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe und den Geologischen Landesämtern in der Bundesrepublik Deutschland: Bodenkundliche Kartieranleitung. Stuttgart : Schweizerbart, 392 p. (4. Auflage)
- AID (2001) Auswertungs- und Informationsdienst für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten e.V: Waldbrandschutz. Heft 1354, Bonn : AID, 24 p.
- Allouche, O., Tsoar, A., Kadmon, R. (2006): Assessing the accuracy of species distribution models: prevalence, kappa and the true skill statistic (TSS). - Journal of Applied Ecology, 43, 6, 1223-1232.
- Arbeitskreis KLIWA (2000): Langzeitverhalten der Schneedecke in Baden-Württemberg und Bayern. KLIWA-Projekt A 1.1.4: "Flächendeckende Analyse des Langzeitverhaltens verschiedener Schneedeckenparameter in Baden-Württemberg und Bayern", KLIWA-Berichte, Heft 6, 76 p.
- Arminger, G., Bommert, K., Bonne, T. (1996): Einfluß der Witterung auf das Unfallgeschehen im Straßenverkehr. - Allgemeines Statistisches Archiv, 80, 2, 181-206.
- Badeck, F.-W., Lasch, P., Hauf, Y., Rock, J., Suckow, F., Thonicke, K. (2004): Steigendes klimatisches Waldbrandrisiko. - Allgemeine Forstzeitschrift-Der Wald, 59, 2, 90-93.
- Bahrenberg, B., Giese, E., Nipper, J. (1985): Statistische Methoden in der Geographie. Band 1, Stuttgart : Teubner, 227 p.
- BGR (2005) Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe in Zusammenarbeit mit den Staatlichen Geologischen Diensten der Bundesrepublik Deutschland: Bodenkundliche Kartieranleitung. Stuttgart : Schweizerbart, 438 p. (5. Auflage)
- BLE (2002) Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung: Forest Fire Statistics of the Federal Republic of Germany, 2001 (State: 11.03.2002).
<http://www.fire.uni-freiburg.de/inventory/stat/de/2001/wabrastatdt1c.html>
- BLE (2003) Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung: Forest Fire Statistics 2002. 17 p.
<http://www.fire.uni-freiburg.de/inventory/stat/de/wabrastatdt.htm>
- BLE (2004) Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung: Forest Fire Statistics 2003. 17 p.
<http://www.fire.uni-freiburg.de/inventory/stat/de/wabrastatdt.htm>
- BLE (2005) Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung: Forest Fire Statistics 2004. 18 p.
<http://www.fire.uni-freiburg.de/inventory/stat/de/wabrastatdt.htm>
- BLE (2006) Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung: Forest Fire Statistics 2005. 17 p.
<http://www.fire.uni-freiburg.de/inventory/stat/de/wabrastatdt.htm>
- BLE (2007) Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung: Waldbrandstatistik der Bundesrepublik Deutschland für das Jahr 2006. Bonn : BLE, 21 p.
- BLE (2008) Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung: Waldbrandstatistik der Bundesrepublik Deutschland für das Jahr 2007. Bonn : BLE, 19 p.
- BLE (2009) Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung: Waldbrandstatistik der Bundesrepublik Deutschland für das Jahr 2008. Bonn : BLE, 19 p.
- BLE (2010) Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung: Waldbrandstatistik der Bundesrepublik Deutschland für das Jahr 2009. Bonn : BLE, 17 p.
- BLE (2011) Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung: Waldbrandstatistik der Bundesrepublik Deutschland für das Jahr 2010. Bonn : BLE, 19 p.
- BMVEL (2004): Die zweite Bundeswaldinventur - BWI²: Das Wichtigste in Kürze. Berlin : Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft, 87 p.
siehe auch: <http://www.bundeswaldinventur.de/>
- Bohn, U., Neuhausl, R. (2000/2003): Karte der natürlichen Vegetation Europas/Map of the Natural Vegetation of Europe. Maßstab/Scale 1 : 2 500 000. Teil 1: Erläuterungstext mit CD-ROM; Teil 2: Legende; Teil 3: Karten. Münster : Landwirtschaftsverlag
- Bolte, A., Ibisch, P., Menzel, A., Rothe, A. (2008): Was Klimahüllen uns verschweigen. - Allgemeine Forstzeitschrift-DerWald, 63, 15, 800-803.

- Branas, J., Bernon, G., Levadoux, L. (1946): Elements de viticulture generale. École National d'Agriculture de Montpellier, France : Dehan, 400 p.
- Bründl, W., Mayer, H., Baumgartner, A. (1987): Untersuchung des Einflusses von Bebauung und Bewuchs auf das Klima und die lufthygienischen Verhältnisse in bayerischen Großstädten, Kennwort Stadtklima Bayern. Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen, Materialien 43, München : StMLU, 346 p.
- Bruschek, G. J. (1994): Waldgebiete und Waldbrandgeschehen in Brandenburg im Trockensommer 1992. - In: Schellnhuber, H. J., Enke, W., Flechsig, M. (Hrsg.), Extremer Nordsommer 1992. [PIK Report 2, Vol. 1](#), Potsdam : PIK, 245-264
- Bürki, R. (2000): Klimaänderung und Anpassungsprozesse im Wintertourismus. Publikationen der Ostschweizerischen Geographischen Gesellschaft, Neue Folge, 6, St. Gallen : OGG, 195 p.
- Changnon, S. A. (1996): Effects of Summer Precipitation on Urban Transportation. - Climatic Change, 32, 4, 481-494.
- Chmielewski, F.-M. (2007): [Folgen des Klimawandels für Land- und Forstwirtschaft](#). - In: Endlicher, W., Gerstengarbe, F.-W. (Hrsg.), Der Klimawandel, Einblicke, Rückblicke und Ausblicke. Potsdam : PIK, 75-85
- Ciscar, J. C. (Ed.) (2009): [Climate change impacts in Europe](#), Final report of the PESETA research project. EUR 24093 EN, JRC Scientific and Technical Reports, Luxembourg : European Commission, 114 p.
- Conradt, T., Hattermann, F. F., Koch, H., Wechsung, F. (2012): Spatial differentiated management-adjusted discharge scenarios for an integrated analysis of multi-realisation climate and land use scenarios for the Elbe River Basin. - Regional Environmental Change (in press)
- Crăciun, A. I., Haidu, I., Bilașco, Ș. (2007): The SCS-CN Model assisted bei GIS - alternative estimation of the hydric runoff in real time. - In: Geographia Technica Nr. 1/2007, Cluj : University Press, 1-7
- Deutscher Bundestag (2008): Unterrichtung durch die Bundesregierung, Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel. [Drucksache 16/11595](#) des Dt. Bundestags vom 19.12.2008, Köln : Bundesanzeiger Verlagsgesellschaft, 52 p.
siehe auch Download-Angebot des BMU: [DAS](#), 78 p.
- Donat, M. G., Pardowitz, T., Leckebusch, G. C., Ulbrich, U., Burghoff, O. (2011): High-resolution refinement of a storm loss model and estimation of return periods of loss-intensive storms over Germany. - Natural Hazards and Earth System Sciences, 11, 10, 2821–2833.
- DWD (1994): Meldepläne und Stationsbeschreibungen der synoptischen Wetterbeobachtungsstationen in der Bundesrepublik Deutschland. Vorschriften und Betriebsunterlagen 8, Teil E, Stand 1994
- DWD (1997): Starkniederschlagshöhen für Deutschland (KOSTRA-DWD). Offenbach/M. : Deutscher Wetterdienst, 80 p.
- DWD (2005): [KOSTRA-DWD-2000](#), Starkniederschlagshöhen für Deutschland (1951-2000), Grundlagenbericht. Offenbach/M. : Deutscher Wetterdienst, 32 p.
- DWD (2005): [KOSTRA-DWD-2000](#), Starkniederschlagshöhen für Deutschland (1951-2000), Fortschreibungsbericht. Offenbach/M. : Deutscher Wetterdienst, 53 p.
- Erhard, M., Everink, C., Julius, C., Kreins, P. (2002): Bundesweite Betrachtung der Zusammenhänge zwischen Agrarstatistikdaten und aktuellen Daten zur Bodennutzung. UBA Texte 71/02, Berlin : Umweltbundesamt, 125 p.
- Erhard, M., Hennings, V., Werner, B. (2004): Using CORINE Land-Cover and Statistical Data for the Assessment of Soil Erosion Risks in Germany. - In: Mohaupt-Jahr, B. (Ed.): Workshop CORINE Landcover 2000 in Germany and Europe and its use for environmental applications, UBA Texte 04/04, Berlin : Umweltbundesamt, 124-130
- Erhard, M., Hennings, V., Werner, B. (2005): Großräumige Darstellung der nutzungsbedingten Erosionsgefährdung durch Wasser - ein Bodenschutz bezogener Indikator. - Zeitschrift für Bodenschutz, 10, 2, 53-57.
- Fanger, P. O. (1972): Thermal comfort: analysis and applications in environmental engineering. - New York NY : McGraw-Hill, 244 p.
- Flemming, G. (1994): Wald Wasser Klima - Einführung in die Forstmeteorologie. Berlin : Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin, 136 p.
- Gagge, A. P., Fobelets, A. P., Berglund, P. E. (1986): A standard predictive index of human response to the thermal environment. - In: ASHRAE Transactions, 92, part 2B, 709-731

- Gash, J. H. C. (1979): An analytical model of rainfall interception in forests. - Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 105, 443, 43–55.
- Geiger, H., Zeller, J., Röthlisberger, G. (1991): Starkniederschläge des schweizerischen Alpen- und Alpenrandgebietes: Einführung, Methoden, Spezialstudien. Band 7, Birmensdorf : Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, 334 p.
- Geisler, G. (1983): Ertragsphysiologie von Kulturpflanzen des gemäßigten Klimas. Berlin, Hamburg : Parey, 206 p.
- Gerstengarbe, F.-W. (2011): Szenarien für Deutschland. Auswirkungen des Klimawandels auf die Schadenssituation in der Versicherungswirtschaft. Vortrag auf der GDV-Konferenz Herausforderung Klimawandel, Berlin, 24. Mai 2011, Manuskript, 38 p.
siehe auch: <http://www.gdv/klimawandel/>
- Gerstengarbe, F.-W., Werner, P. (1997): Waldbrandentwicklung im Land Brandenburg. - Allgemeine Forstzeitschrift-Der Wald, 52, 7, 392-394.
- Ghilain, F. (1991): Mesure de l'impact des conditions météorologiques sur la sécurité routière, objectifs et méthodes. Circulation Sécurité Equipement Exploitation, 90, Bagneux : SETRA - CSTR, 6 p.
- Grifoni, D., Mancini, M., Orlandini, S., Rossi, M., Zipoli, G. (2003): Analysis of grapevine production using some meteorological indices. - In: Proceedings of Sixth European Conference on Applications of Meteorology, Rome. (CD-ROM)
- Grifoni, D., Mancini, M., Maracchi, G., Orlandini, S., Zipoli, G. (2006): Analysis of Italian Wine Quality Using Freely Available Meteorological Information. - American Journal of Enology and Viticulture, 57, 3, 339-346.
- Häberlin, H. (2007): Photovoltaik – Strom aus Sonnenlicht für Verbundnetz und Inselanlagen. Berlin : VDE Verlag, 710 p.
- Holy, M., Pesch, R., Schmidt, G., Schröder, M. A. (2009): Aufbau eines Fachinformationssystems „Klimafolgen und Anpassung“ (FISKA), Abschlussbericht zum Teilvorhaben Hochschule Vechta. Institut für Landschaftsökologie, Hochschule Vechta, 15 p. und Anlagen
- Huber, L., Itier, B. (1990): Leaf wetness in a field bean canopy. - Agricultural and Forest Meteorology, 51, 3-4, 281-292.
- Huglin, P. (1978): Nouveau mode d'évaluation des possibilités héliothermique d'un milieu viticole. - Comptes Rendus de l'Académie d'Agriculture de France, 64, 13, 1117-1126.
- Huglin, P. (1986): Biologie et ecologie de la vigne. Lausanne : Payot, 371 p.
- Jacob, D., Göttel, H., Kotlarski, S., Lorenz, P., Sieck, K. (2008): Klimaauswirkungen und Anpassung in Deutschland. Phase 1: Erstellung regionaler Klimaszenarien für Deutschland. Climate Change 11/08, Dessau-Roßlau : Umweltbundesamt, 159 p.
- Jansson, P.-E. (1991): Simulation model for soil water and heat conditions. Description of the SOIL model. Report 165, Uppsala : Swedish University of Agricultural Sciences, 73 p.
- Jendritzky, G. (1990): Bioklimatische Bewertungsgrundlage der Räume am Beispiel von mesoskaligen Bioklimakarten. - In: Jendritzky, G., Schirmer, H., Menz, G., Schmidt-Kessen, W., Methode zur raumbezogenen Bewertung der thermischen Komponente im Bioklima des Menschen (Fortgeschriebenes Klima-Michel-Modell), Beiträge der Akademie für Raumforschung und Landesplanung, 114, Hannover : ARL, 7-69
- Käse, H. (1969): Ein Vorschlag für eine Methode zur Bestimmung und Vorhersage der Waldbrandgefährdung mit Hilfe komplexer Kennziffern. Abhandlungen des Meteorologischen Dienstes der DDR, 94, Berlin : Akademie Verlag, 68 p.
- Kartschall, T., Döring, P., Suckow, F. (1990): Simulation of Nitrogen, Water and Temperature Dynamics in Soil. - Systems Analysis Modelling Simulation, 7, 6, 33-40.
- Kartschall, T., Schmidt, K., Wodinski, M., Stock, M. (2011): Simulationsstudie zu klimainduzierten Veränderungen des Auftretens der 1. Generation des bekreuzten Traubenwicklers Lobesia botrana für Deutschland bis zum Jahre 2060. - In: Schultz, H. R., Stoll, M. (Eds.), Deutsches Weinbau Jahrbuch 2012. Stuttgart : Ulmer, 131-136
- Kaulfuß, S. (2011): [Waldbrand in Deutschland](#) - Handbuch Waldbrand.- (<http://www.waldwissen.net>, Zugriff 04.03.2011)
- Köble, R., Seufert, G. (2001): Novel maps for forest tree species in Europe. Proceedings of the 8th European Symposium on the Physico-Chemical Behaviour of Air Pollutants: "A Changing Atmosphere!", Torino (It) 17-20 September 2001

- Kölling, C., Ammer, C. (2006): Waldumbau unter den Vorzeichen des Klimawandels Zahlen der Bundeswaldinventur zeigen Anpassungsschwerpunkte. - Allgemeine Forstzeitschrift-Der Wald, 61, 20, 1086-1089.
- Kölling, C. (2007): [Klimahüllen der wichtigsten Regionen und Waldbaumarten Deutschlands, Teil 1: Allgemein; Bu; Fi](#). Arbeitsgemeinschaft Forstliche Standorts- und Vegetationskunde (AFSV)
- Kölling, C., Zimmermann, L. (2007): Die Anfälligkeit der Wälder Deutschlands gegenüber Klimawandel. - Gefahrstoffe-Reinhaltung der Luft 67, 6, 259-268.
- Kölling, C., Zimmermann, L., Walentowski, H. (2007): Klimawandel: Was geschieht mit Buche und Fichte? Entscheidungshilfen für den klimagerechten Waldumbau in Bayern. - Allgemeine Forstzeitschrift-Der Wald, 62, 11, 584-588.
- Köppke, K. E., Sterger, O., Stock, M. (2011): Vorkehrungen und Maßnahmen wegen der Gefahrenquellen Niederschläge und Hochwasser. UFOPLAN-Nr. 3708 49 300, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, Vorentwurf März 2011
- Koch, M. (2003): Die SCS-Methode für den oberirdischen Abfluß. [Vorlesungsscript](#) Ingenieurhydrologie I, Kapitel 7.4.2, Universität Gesamthochschule Kassel, 7 p.
- Kramer, K. (1994): Selecting a model to predict the onset of growth of *Fagus sylvatica*. – Journal of Applied Ecology, 31, 1, 172-181.
- Kreienkamp, F., Spekat, A. (2007): Aufbau eines Expertensystems zur Diagnose- und Präsentation von Klimaszenarien, Teilbericht zum Aufbau des Fachinformationssystems „Klimaanpassung“ (FISKA). Potsdam : CEC Potsdam GmbH, 8 p.
- Kropp, J., Holsten, A., Lissner, T., Roithmeier, O., Hattermann, F., Huang, S., Rock, J., Wechsung, F., Lüttger, A., Pompe, S., Kühn, I., Costa, L., Steinhäuser, M., Walther, C., Klaus, M., Ritchie, S., Metzger, M. (2009a): Klimawandel in Nordrhein-Westfalen – „Regionale Abschätzung der Anfälligkeit ausgewählter Sektoren“. - Abschlussbericht des Potsdam-Instituts für Klimafolgenforschung (PIK) für das Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MUNLV), Düsseldorf, 250 p.
[NRW-Studie](#)
- Kropp, J., Roithmeier, O., Hattermann, F., Rachimow, C., Lüttger, A., Wechsung, F., Lasch, P., Christiansen, E.S., Reyer, C., Suckow, F., Gutsch, M., Holsten, A., Kartschall, T., Wodinski, M., Hauf, Y., Conradt, T., Österle, H., Walther, C., Lissner, T., Lux, N., Tekken, V., Ritchie, S., Kossak, J., Klaus, M., Costa, L., Vetter, T., Klose, M. (2009b): Klimawandel in Sachsen-Anhalt - Verletzlichkeiten gegenüber den Folgen des Klimawandels. - Abschlussbericht des Potsdam-Instituts für Klimafolgenforschung (PIK) für das Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt des Landes Sachsen-Anhalt (MLU), Potsdam, 312 p.
[LSA-Studie](#)
- Krysanova, V., Wechsung, F., Becker, A., Poschenrieder, W., Gräfe, J. (1999). Mesoscale ecohydrological modeling to analyze regional effects of climate change. - Environmental Modeling & Assessment, 4, 4, 259-271.
- Krysanova, V., Wechsung, F., Arnold, J., Srinivasan, R., Williams, J. (2000): SWIM (Soil and Water Integrated Model), User Manual. PIK Report 69, Potsdam : PIK, 239 p.
- Kücken, M., Gerstengarbe, F.-W., Orlowsky, B. (2009): A combination of cluster analysis and Kappa statistic for the evaluation of climate model results. - Journal of Applied Meteorology and Climatology, 48, 9, 1757-1765.
- Kundzewicz, Z. W., Giannakopoulos, C., Schwarb, M., Stjernquist, I., Schlyter, P., Szwed, M., Palutikof, J. (2008): Impacts of climate extremes on activity sectors - stakeholders' perspective. - Theoretical and Applied Climatology, 93, 1-2, 117-132.
- Lakso, A. N., Johnson, R. S. (1990): A simplified dry matter production model for apple using automatic programming simulation software. - In: LaMar Anderson J. (Ed.), Acta Horticulturae 276, II International Symposium on Computer Modelling in Fruit Research and Orchard Management, Logan : ISHS, 141-148
- Landesforst Mecklenburg-Vorpommern (1999): [Durchführungserlass zum Gemeinsamen Waldbrandrunderlass des Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz und Innenministeriums](#). - Lesefassung 15. Juni 2009.- 67 p.
- Lasch, P., Suckow, F., Badeck, F.-W. (2006): Analyses of forest ecosystems response to climate change at level II monitoring sites. - In: Eichhorn, J. (Ed.), Symposium: Forests in a changing environment, Schriften der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen und der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt 142, Frankfurt/M : Sauerländer, 136-141

- Long, S. P., Ainsworth, E. A., Leakey, A. D. B., Nosberger, J., Ort, D. R. (2006): Food for thought: Lower-than-expected crop yield stimulation with rising CO₂ concentrations. - *Science*, 312, 5782, 1918-1921.
- MacHardy, W. E., Gadoury, D. M. (1989): A Revision of Mills's Criteria for Predict Apple Scab Infection Periods. - *Phytopathology*, 79, 3, 304-310.
- McGee, J. R. (2009): [Calculating Pervious Curve Numbers](#). - *ArcUser Magazine*, 12, 1, 54-57.
- Maidment, D. R. (Ed.) (1993): *Handbook of Hydrology*. New York NY : McGraw-Hill, 1424 p.
- Maniak, U. (2005): *Hydrologie und Wasserwirtschaft: Eine Einführung für Ingenieure*. Berlin, Heidelberg : Springer, 666 p. (5. Auflage)
- Matzarakis, A. (2007): Assessment method for climate and tourism based on daily data. - In: Matzarakis, A., de Freitas, C. R., Scott, D. (Eds.), *Developments in tourism climatology*. 3rd International Workshop on Climate, Tourism and Recreation, International Society of Biometeorology, 52-58
- Matzarakis, A.; Tinz, B. (2008): Tourismus an der Küste sowie in Mittel- und Hochgebirge. - In: Lozán, J. L., Graßl, H., Jendritzky, G., Karbe, L., Reise, K. (Eds.), *Warnsignal Klima: Gesundheitsrisiken. Gefahren für Menschen, Tiere und Pflanzen*. Hamburg, 247-252
- Matzarakis, A., Möller, A., Kreilkamp, E., Carstensen, I., Bartels, C., Burandt, S., Endler, C. (2009): Anpassungsstrategien zum Klimawandel touristischer Pilotdestinationen in Küsten- und Mittelgebirgsregionen. - In: Mahammadzadeh, M.; Biebeler, H.; Bardt, H. (Eds.), *Klimaschutz und Anpassung an die Klimafolgen, Strategien, Maßnahmen und Anwendungsbeispiele*. Köln: IDW Köln, 253-261
- Mátyás, C. (2004): Population, conservation and ecological genetics. - In: Burley, J., Evans, J., Youngquist, J. A. (Eds.), *Encyclopedia of forest sciences*. Vol. 1, London : Elsevier, 188-197
- Meister, G., Offenberger, M. (2004): *Die Zeit des Waldes – Bilderreise durch Geschichte und Zukunft unserer Wälder*. Frankfurt : Zweitausendeins, 397 p.
- Menzel, A. (1997): *Phänologie von Waldbäumen unter sich ändernden Klimabedingungen - Auswertung der Beobachtungen in den Internationalen Phänologischen Gärten und Möglichkeiten der Modellierung von Phänodaten*. München : Forstwissenschaftliche Fakultät der Universität München, 150 p.
- Mieczkowski, Z. (1985) The tourism climate index: a method for evaluating world climates for tourism. - *The Canadian Geographer*, 29, 3, 220-233.
- Mills, W. D., LaPlante, A. A. (1951): Diseases and insects in the orchard. *Cornell Extension Bulletin* 711, New York : NY College of Agriculture, 100 p.
- Mills, W. D., LaPlante, A. A. (1954): Apple scab. - In: *Diseases and insects in the orchard*. *Cornell Extension Bulletin* 711, New York : NY College of Agriculture, 20-28
- Mitchell, T. D., Jones, P. D. (2005): An improved method of constructing a database of monthly climate observations and associated high resolution grids. - *International Journal of Climatology*, 25, 6, 693-712.
- Mitscherlich, G. (1949): Über den Einfluß der Wuchsgebiete auf das Wachstum von Kiefernbeständen. - *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, 68, 4, 193-216.
- Mitscherlich, G. (1950a): Die Bedeutung der Wuchsgebiete für das Bestandeswachstum von Fichte und Douglasie. - *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, 69, 1, 27-51.
- Mitscherlich, G. (1950b): Die Bedeutung der Wuchsgebiete für das Bestandeswachstum von Buche, Eiche, Erle und Birke. - *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, 69, 4, 184-211.
- Müller-Kroehling, S., Kölling, C. (2011): Hochadel unter Waldbäumen: Die "Schöne Else". - *LWF aktuell* 80, 18, 1, 50-53.
- MUNLV NRW (2004): Ermittlung von Bemessungsabflüssen nach DIN 19700 in Nordrhein-Westfalen. *Merkblätter Band 46*, Düsseldorf : Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, 53 p.
- Murach, D., Knur, L., Schultze, M. (Hrsg.) (2008): *DENDROM – Zukunftsrohstoff Dendromasse - Systemische Analyse, Leitbilder und Szenarien für die nachhaltige energetische und stoffliche Verwertung von Dendromasse aus Wald- und Feldgehölzen*. Endbericht, Remagen : Verlag Kessel, 504 p.
- OECD - Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (2007): *Klimawandel in den Alpen, Anpassung des Wintertourismus und des Naturgefahrenmanagements*. Herausgegeben von S. Agrawala, Paris : OECD Publishing, 131 p.

- Österle, H., Österle, L. (2011): Abschätzung der Entwicklung der Schneedecke für Zukunftsszenarien aus Tageswerten meteorologischer Größen. - (in prep).
- Oke, T. R. (1973): City size and the urban heat island. - *Atmospheric Environment*, 7, 8, 769-779.
- Pedro, M. J., Gillespie, T. J. (1982a): Estimating dew duration. I. Utilizing micrometeorological data. - *Agricultural Meteorology*, 25, Amsterdam : Elsevier, 283–296.
- Pedro, M. J., Gillespie, T. J. (1982b): Estimating dew duration. II. Utilizing standard weather station data. - *Agricultural Meteorology*, 25, Amsterdam : Elsevier, 297–310.
- Pompe, S., Hanspach, J., Badeck, F., Klotz, S., Thuiller, W., Kühn, I. (2008): Climate and land use change impacts on plant distributions in Germany. - *Biology Letters*, 4, 5, 564-567.
- Rachner, M. (1983): Versuch einer Schätzung der Schneehöhe mit Hilfe von Simulationsmodellen. - *Zeitschrift für Meteorologie*, 33, 4, 234-243.
- Rachner, M., Matthäus, H., Schneider, G. (1992): Vorhersage der Schmelzwasserabgabe aus der Schneedecke, Gegenwärtiger Stand und weitere Vorhaben im DWD. - In: Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Hochwasservorhersage. Tagungsband zum Symposium am 6.11.1992, Karlsruhe : LfU, 86-97
- Reichel, E. (1928): Der Trockenheitsindex, insbesondere für Deutschland. - In: Preußisches Meteorologisches Institut (Ed.): Bericht über die Tätigkeit des Preußischen Meteorologischen Instituts 1928. Berlin : Springer, 84-105
- Reif, O. (2008): Praktikumsbericht über ein Forschungspraktikum am PIK vom 04.02.2008 bis 20.03.2008. Interner Bericht am PIK, 8 p.
- Renard, K. G., Foster, G. R., Weesies, G. A., McCool, D.K, Yoder, D. C. (Coordinators) (1997): Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Soil Loss Equation (RUSLE). *Agriculture Handbook 703*, Washington DC : US Department of Agriculture, 404 p.
- Robertson, G. W. (1968): A biometeorological time scale for a cereal crop involving day and night temperatures and photoperiod. - *International Journal of Biometeorology*, 12, 3, 191-223.
- Rommelfanger, E. F. (2007): Darstellung ökologischer Indikatoren in fuzzy-gestützten Modellen - Qualitative und quantitative Prognose der Gefäßpflanzenarten auf Grünlandstandorten. Dissertation, Gießen : Justus-Liebig Universität, 179 p.
- Rothfus, L. P. (1990): [The Heat Index "Equation"](#) (or, more than you ever wanted to know about heat index). SR Technical Attachment 90-23, Fort Worth TX : National Weather Service Southern Region Headquarters, 3 p.
- Rutter, A. J., Kershaw, K. A., Robins, P. C., Morton, A. J. (1971): A predictive model of rainfall interception in forests. 1. Derivation of the model from observations in a plantation of Corsican pine. - *Agricultural Meteorology*, 9, Amsterdam : Elsevier, 367–384.
- Sauerborn (2002): Der Boden zwischen Wandel und Veränderung, Beispiele und Perspektiven. - In: Bundesamt für Naturschutz (Hrsg.), *Natur zwischen Wandel und Veränderung*. Berlin : Springer, 39-54
- Sauerborn, P., Klein, A., Botschek, J., Skowronek, A. (1999): [Future rainfall erosivity](#) derived from large-scale climate models - methods and scenarios for a humid region. - *Geoderma*, 93, 3-4, 269-276.
- Seguin, B., Garcia de Cortazar, I. (2005): Climate warning: consequences for viticulture and the notion of "terroirs" in Europe. - In: Williams, L. E. (Ed.), *Acta Horticulturae 689*, VII International Symposium on Grapevine Physiology and Biotechnology. Davis : ISHS, 61-70
- Seifert, W. (2004): Klimaänderung und (Winter-) Tourismus im Fichtelgebirge - Auswirkungen, Wahrnehmung und Ansatzpunkte zukünftiger touristischer Entwicklung. Diplomarbeit an der Universität Bayreuth, Fakultät für Biologie, Chemie und Geowissenschaften, 206 p.
- Schaber, J. (2002): Phenology in Germany in the 20th Century: Methods, Analyses and Models. [PIK Report 78](#), Potsdam : PIK, 145 p.
- Schaumberger, A. (2011): Räumliche Modellierung der thermischen Vegetationsperiode für Österreich. Abschlussbericht ThermVeg, Irdning : Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein, 53 p.
- Scheffer, F., Schachtschabel, P. (Eds.) (2002): *Lehrbuch der Bodenkunde*. Heidelberg, Berlin : Spektrum Akademischer Verlag, 593 p..
- Schwertmann, U., Vogl, W., Kainz, M. (1990): Bodenerosion durch Wasser, Vorhersage des Abtrags und Bewertung von Gegenmaßnahmen. Stuttgart : Ulmer, 64 p.

- Spekat, A., Enke, W., Kreienkamp, F. (2007): [Neuentwicklung von regional hoch aufgelösten Wetterlagen für Deutschland und Bereitstellung regionaler Klimaszenarios](#) auf der Basis von globalen Klimasimulationen mit dem Regionalisierungsmodell WETTREG auf der Basis von globalen Klimasimulationen mit ECHAM5/MPI-OM T63L31 2010 bis 2100 für die SRES-Szenarios B1, A1B und A2. Dessau : Umweltbundesamt, 148 p.
- Staiger, H., Bucher, K., Jendritzky, G. (1997): Gefühlte Temperatur. Die physiologisch gerechte Bewertung von Wärmebelastung und Kältestress beim Aufenthalt im Freien in der Maßzahl Grad Celsius. - *Annalen der Meteorologie*, 33, Offenbach : Deutscher Wetterdienst, 100-107.
- Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2004): Statistische Berichte Baden-Württemberg, C I 5-j Bestockte Rebflächen und Rebsorten 2003 (G). Stuttgart : Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, 12 p.
- Steadman, R. G. (1979): The assessment of sultriness. Part I: A temperature-humidity index based on human physiology and clothing science. - *Journal of Applied Meteorology*, 18, 7, 861-873.
- Stensvand, A., Gadoury, D. M., Amundsen, T., Semb, L., Seem, R. C. (1997): Ascospore Release and Infection of Apple Leaves by *Conidia* and Ascospores of *Venturia inaequalis* at Low Temperatures. - *Phytopathology*, 87, 10, 1046-1053.
- Stock, M. (Ed.) (2005): KLARA Klimawandel - Auswirkungen, Risiken, Anpassung. [PIK Report 99](#), Potsdam: PIK, 199 p. und Anlagen
[Kapitel 4.4 Obstbau: Apfelschorf, S. 69-76](#)
[Kapitel 4.5 Obstbau: Apfelwickler, S. 76-81](#)
[Kapitel 4.6 Weinbau, S. 81-87](#)
[Kapitel 6 Tourismus, S. 107-131](#)
- Stock, M., Gerstengarbe, F.-W., Kartschall, T., Werner, P. C. (2005): [Reliability of Climate Change Impact Assessments for Viticulture](#). - In: Williams, L. E. (Ed.), *Acta Horticulturae* 689, VII International Symposium on Grapevine Physiology and Biotechnology. Davis : ISHS, 29-39
- Stock, M. (2007): Fachinformationssystem Klimafolgen: Generierung von Risikokarten. Vortrag auf dem dritten nationalen Workshop „Anpassung an Klimaänderungen in Deutschland“ des UBA, Dessau, 6.-7. November 2007
- Stock, M., Badeck, F., Gerstengarbe, F.-W., Hoppmann, D., Kartschall, T., Österle, H., Werner, P. C., Wodinski, M. (2007): Perspektiven der Klimaänderung bis 2050 für den Weinbau in Deutschland. [PIK Report 106](#), Potsdam: PIK, 131 p. und Anlagen
[Kapitel 9 Reifeindex und Phänologie der Rebe. S. 91-122](#)
- Stock, M., Kropp, J. P., Walkenhorst, O. (2009): Risiken, Vulnerabilität und Anpassungserfordernisse für klimaverletzliche Regionen. - *Raumforschung und Raumordnung*, 67, 2, 97-113.
- Suckow, F. (1985): Ein Modell zur Berechnung der Bodentemperatur. - *Zeitschrift für Meteorologie*, 35, 1, 66-70.
- Šuri, M., Huld, T. A., Dunlop, E. D., Ossenbrink, H. A. (2007): [Potential of solar electricity generation in the European Union member states and candidate countries](#). - *Solar Energy*, 81, 10, 1295-1305. (siehe auch [PVGIS](#))
- TGL 24334/02 (1971) Technische Normen, Gütevorschriften und Lieferbedingungen: Forstschutz, Waldbrandabwehr, Vorhersage der Waldbrandgefährdung. Fachbereichstandard der DDR, 12 p.
- Thuiller, W. (2003): BIOMOD – optimizing predictions of species distribution and projecting potential future shifts under global change. - *Global Change Biology*, 9, 10, 1353-1362.
- Thuiller, W., Lafourcade, B., Engler, R., Araújo, M. B. (2009): BIOMOD - A platform for ensemble forecasting of species distributions. - *Ecography*, 32, 3, 369-373.
- Tubiello, F. N., Amthor, J. S., Boote, K. J., Donatelli, M., Easterling, W., Fischer, G., Gifford, R. M., Howden, M., Reilly, J., Rosenzweig, C. (2007): Crop response to elevated CO₂ and world food supply: A comment on "Food for Thought..." by Long et al., *Science* 312:1918-1921, 2006. - *European Journal of Agronomy*, 26, 3, 215-223.
- Wagemann, H.-G., Eschrich, H. (1994): Grundlagen der photovoltaischen Energiewandlung – Solarstrahlung, Halbleitereigenschaften, Solarzellenkonzepte. Stuttgart : Teubner, 267 p.
- Wang, J. Y. (1960): A critique of the heat unit approach to plant response studies. - *Ecology*, 41, 4, 785-790.
- Wechsung, F., Gerstengarbe, F.-W., Lasch, P. Lüttger, A. (Eds.) (2009): Die Ertragsfähigkeit ostdeutscher Ackerflächen unter Klimawandel. [PIK Report 112](#), Potsdam: PIK, 93 p.

- Welch, J. A., Vaughan, R. J., Andreassend, D. C., Folovary, L. A. (1970): Weather Conditions and Road accidents. - In: Proceedings of Australian Road Research Board Conference, Vol 5, Part 3, 190-208
- Werner, P.C. , Gerstengarbe, F.-W. (2010): Katalog der Großwetterlagen Europas (1881-2009) nach Paul Hess und Helmut Brezowsky. PIK Report 119, Potsdam : PIK, 146 p.
- Werner, P. C., Gerstengarbe, F.-W. (2011): Spatial-temporal Changes of Meteorological Parameters in Selected Circulation Patterns. PIK Report 123, Potsdam : PIK, 25 p.
- Wilker, H., Simmer, C. (2008): Folgen des Klimawandels für den Wintersport im Mittelgebirge. Vortrag auf der DTV-Konferenz „Klimawandel fordert Tourismuswandel“, Berlin, 27. November 2008, Manuskript, 20 p.
- Winkler, A. J. (1962): General viticulture. Berkeley CA : University of California Press, 633 p.
- Witmer, U. (1984): Eine Methode zur flächendeckenden Kartierung von Schneehöhen unter Berücksichtigung von reliefbedingten Einflüssen. Geographica Bernensia G21, Bern : Geographisches Institut der Universität Bern, 140 p.
- Wittich, K.-P., Janssen, W. (2007): Tätigkeiten des Deutschen Wetterdienstes für das Waldbrand-Warnmanagement. - Brandenburgische Forstnachrichten, 16,130, 16-17.
- Wittich, K.-P. (2011): Persönliche Mitteilung vom 16.06.2011
- Wurbs, D., Steininger, M. (2011): Wirkungen der Klimaänderungen auf die Böden. Untersuchungen zu Auswirkungen des Klimawandels auf die Bodenerosion durch Wasser. [UBA-Texte 16/2011](#), Dessau : UBA, 202 p. + Anlagen
- Zebisch, M., Grothmann, T., Schröter, D., Haße, C., Fritsch, U., Cramer, W. (2005): Klimawandel in Deutschland - Vulnerabilität und Anpassungsstrategien klimasensitiver Systeme. Dessau : Umweltbundesamt, 203 p.
- Zhan, X., Huang, M.-L. (2004): ArcCN-Runoff: an ArcGIS tool for generating curve number and runoff maps. - Environmental Modelling & Software, 19, 10, 875-879.
- Zhang, Y., Gillespie, T. J. (1990): Estimating maximum droplet wetness duration on crops from nearby weather station data. - Agricultural and Forest Meteorology, 51, 2, 145–158.

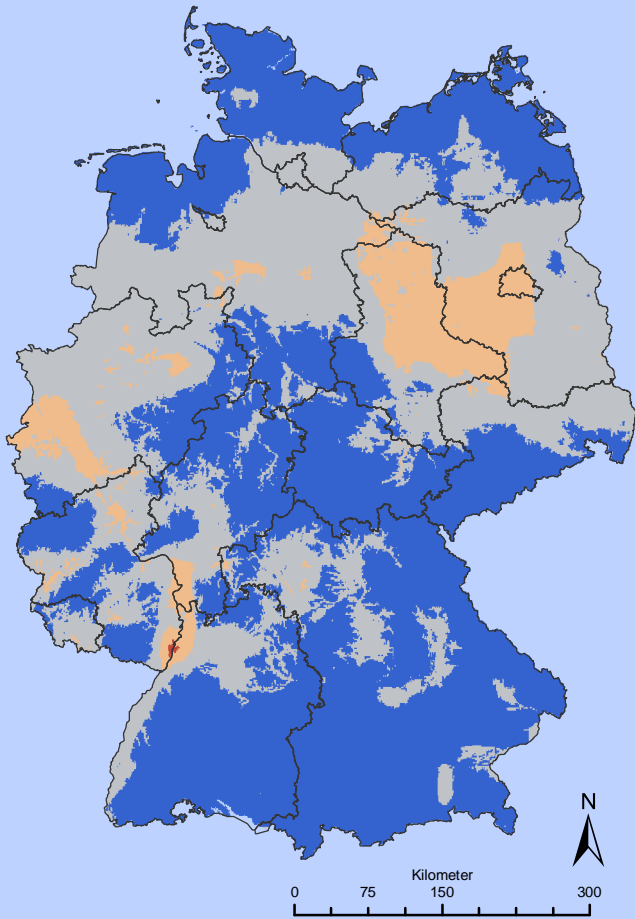
Weblinks

- Amt für Statistik Berlin-Brandenburg: [Unfallstatistiken](#) (letzter Zugriff: 01.10.2009)
- BGR - Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe: [BÜK1000](#), Bodenübersichtskarte der Bundesrepublik Deutschland 1:1.000.000 (letzter Zugriff 02.12.2011)
- BKG - Bundesamt für Kartographie und Geodäsie: [DGM250](#), Digitales Geländemodell 1:250.000 (letzter Zugriff 09.11.2011)
- BKG - Bundesamt für Kartographie und Geodäsie: [VG250](#), Verwaltungsgebiete von Deutschland 1:250.000 (letzter Zugriff 09.11.2011)
- CRU - Climate Research Unit: [Klimadatensätze](#) – High-resolution gridded datasets
[CRU TS 2.1](#) (letzter Zugriff 02.12.2011)
[CRU TS 2.0](#) (letzter Zugriff in 2003)
- DLR - Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.: [CORINE Land Cover 2000](#) (letzter Zugriff 09.11.2011)
- DMK - Deutsches Maiskomitee e.V.: Produktion - Sorten - [Reifebestimmung](#) (letzter Zugriff 17.01.2012)
- DWD – Deutscher Wetterdienst: [Waldbrandgefahrenindex M-68](#)
[Informationen zum M-68](#) und [wichtige Hinweise](#) (letzter Zugriff 28.12.2011)
- DWD – Deutscher Wetterdienst: [Wetterlexikon](#) (letzter Zugriff 28.12.2011)
Stichwort [Klimatologische Kenntage](#) (letzter Zugriff 28.12.2011)
Stichwort [Schwüle](#) (letzter Zugriff 28.12.2011)
Stichwort [Vegetationsperiode](#) (letzter Zugriff 28.12.2011)
- DWD – Deutscher Wetterdienst: [Wettererorde-Niederschlag](#)
- EUFORGEN - European Forest Genetic Resources Programme: [Distribution maps](#) Distribution map of Wild service tree (*Sorbus torminalis*) EUFORGEN 2009, www.euforgen.org.
- Hauer, P. Toleranzbereich, ökologische Potenz, [Toleranzkurve](#) und Umweltfaktoren, Stand 20.05.2008 (letzter Zugriff 17.01.2012)
- Heindl Server GmbH: [SolarServer](#)
Ausrichtung: Süd, Neigung: 30°, Wirkungsgrad: 100% (letzter Zugriff 11.07.2011)
- Helmholtz-Zentrum Geesthacht: Climate Limited-area Modelling-Community, [CLM-Community](#) (letzter Zugriff 17.01.2012)
- INARO - Informationssystem Nachwachsende Rohstoffe: Kulturpflanzen – Mais - [Anbauhinweise](#) (letzter Zugriff 17.01.2012)
- JRC - Joint Research Centre, European Commission: Photovoltaic Geographical Information System - [PVGIS Daten für Solareinstrahlung](#) (letzter Zugriff 11.07.2011)
- JRC - Joint Research Centre, European Commission: the PESETA project [Impacts of climate change on tourism](#) (letzter Zugriff 17.01.2012)
- JRC - Joint Research Centre, European Commission: [Solar radiation and GIS](#) (letzter Zugriff 17.01.2012)
- KIT - Karlsruher Institut für Technologie: Informationssystem [Wettergefahren-Frühwarnung](#) Warnschwellen für meteorologische Vorhersagegrößen (letzter Zugriff 17.01.2012)
- KIT - Karlsruher Institut für Technologie: Forschung – abgeschlossene Projekte – Risikokarte Deutschland – [Sturmschadenrisiko](#) (letzter Zugriff 17.01.2012)
- KWS SAAT AG: Produkte – Mais – Sortenübersicht
[Das KWS Mais-Sortiment](#) (letzter Zugriff 17.01.2012)
- LfL - Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft: [Das Mais-Reifeprognosemodell nach AGPM](#), Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Freising (letzter Zugriff 17.01.2012)
- Statistische Landesamt des Freistaates Sachsen: [Unfallstatistiken](#) (letzter Zugriff: 28.09.2009)
- UBA – Umweltbundesamt: Kompetenzzentrum Klimafolgen und Anpassung
[KomPass](#) (letzter Zugriff 09.11.2011)

Anhang

Ergebniskarten

PIK-ID	Wirkmodell	Seite
PIK-01	Jahresmittelwerte / Meteorologische Kenntage <ul style="list-style-type: none">• Heiße Tage, Niederschlag in der Vegetationsperiode, Frosttage,	A1
PIK-02	Schwüleindikator und Hitzeindex <ul style="list-style-type: none">• Hitzeindex Stufe 1• Hitzeindex Stufe 2• Hitzeindex Stufe 3• Hitzeindex Stufe 4• Schwüleindikator / Schwüle Tage• Schwüleindikator / Sehr schwüle Tage	A2 A3 A4 A5 A6 A7
PIK-06	Austrieb der drei Baumarten Buche, Eiche und Birke <ul style="list-style-type: none">• Phänologische Phase Blattentfaltung Birke• Phänologische Phase Blattentfaltung Eiche• Phänologische Phase Blattentfaltung Buche	A8 A9 A10
PIK-10	Thermische Bedingungen im Weinbau / Huglin-Index <ul style="list-style-type: none">• Huglin-Index	A11
PIK-11	Reifezahl für die Maissortenwahl <ul style="list-style-type: none">• Maissortenwahl: optimale Reifegruppe nach Reifezahl für einen Standort	A12
PIK-13	Waldbrandindex nach Käse <ul style="list-style-type: none">• Waldbrandgefährdung nach Käse	A13
PIK-14	Waldbrandindikator nach Bruscek <ul style="list-style-type: none">• Waldbrandgefährdung nach Bruscek	A14
PIK-15	Anbauindikator für die Baumarten Buche, Fichte und Kiefer <ul style="list-style-type: none">• Klimatischer Waldbauindikator Buche• Klimatischer Waldbauindikator Kiefer	A15 A16
PIK-16	Fotovoltaikpotenzial <ul style="list-style-type: none">• Sonnenenergie pro Quadratmeter und Jahr [kWh]• Summe der Sonnenscheindauer im Jahr [h]	A17 A18
PIK-18	Tourismus: Schneehöhe / Schneesicherheit <ul style="list-style-type: none">• Anzahl der Tage mit einer Schneehöhe ≥ 10 cm• Anzahl der Tage mit einer Schneehöhe ≥ 30 cm• Durchschnittliche Schneehöhe in der Saison [cm]	A19 A20 A21
PIK-19	Tourismus: Potenzielle Badetage <ul style="list-style-type: none">• Anzahl potenzieller Badetage	A22



Heisse Tage
Tages-Temperaturmaximum > 30 °C

Anzahl der Tage
im Jahr

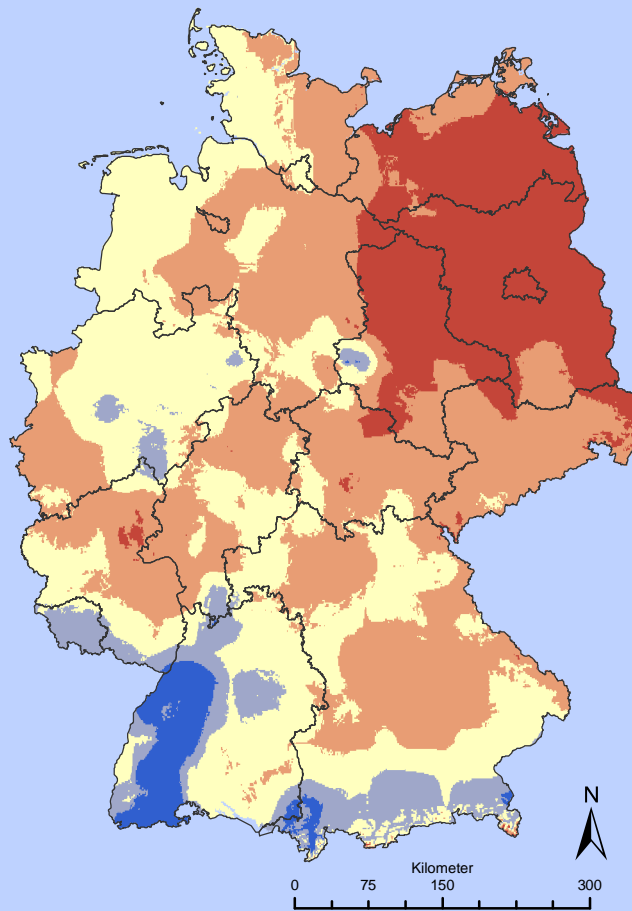
- 0 - 10
- 10 - 20
- 20 - 30
- 30 - 40

Modell: WETTREG
Szenario: A1B

Realisierungen: 1

Aggregation: Mittelwert

Zeitraum: 1961



Niederschlag
in der Vegetationsperiode

mm

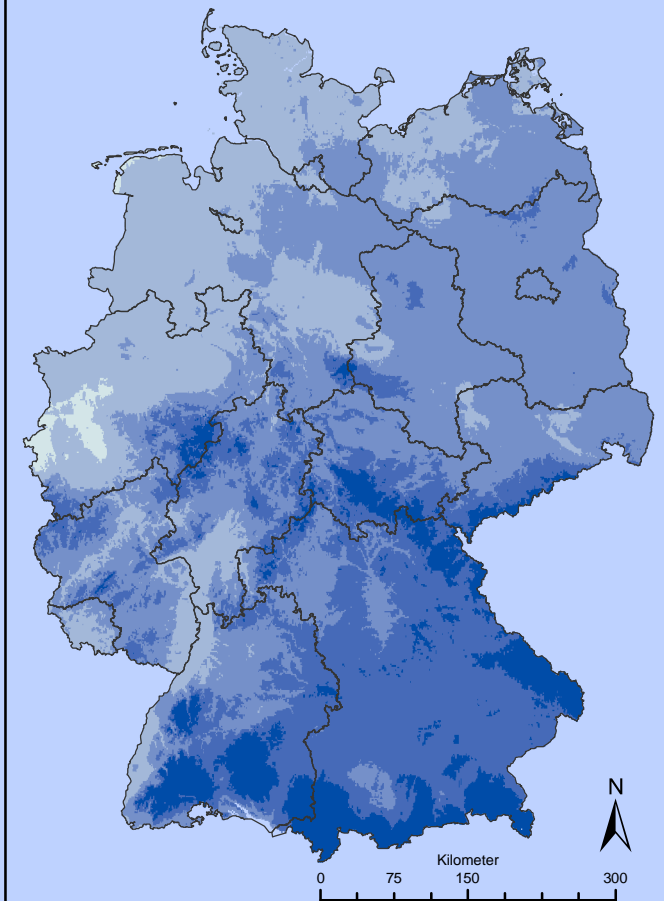
- < 400
- 400 - 600
- 600 - 800
- 800 - 1 000
- 1 000 - 1 600

Modell: WETTREG
Szenario: A1B

Realisierungen: 1

Aggregation: Mittelwert

Zeitraum: 1961



Frosttage
Tages-Temperaturminimum unter 0 °C

Anzahl der Tage
im Jahr

- 0 - 25
- 25 - 50
- 50 - 75
- 75 - 100
- 100 - 300

Modell: WETTREG
Szenario: A1B

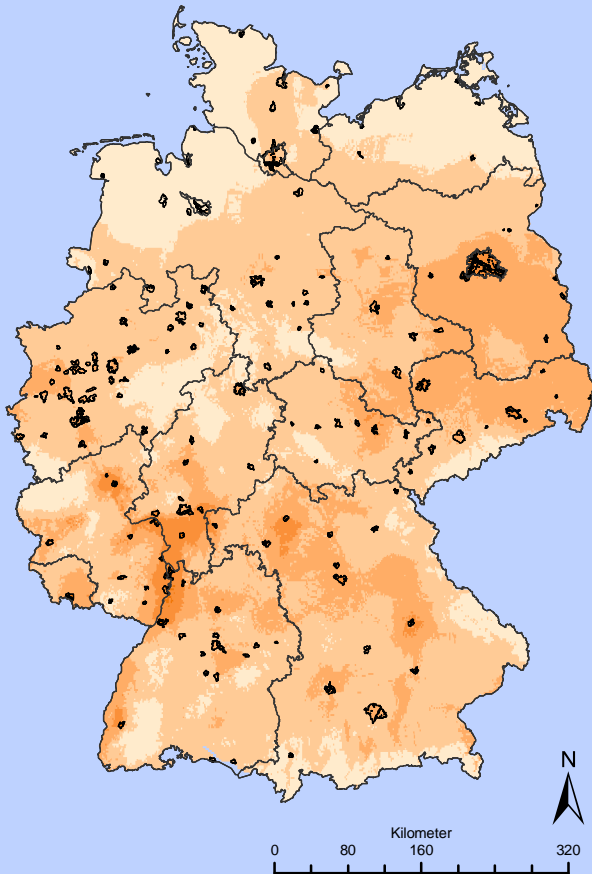
Realisierungen: 1

Aggregation: Mittelwert

Zeitraum: 1961

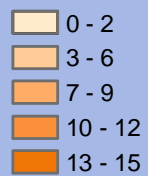
Hitzeindex Stufe 1: "Gefühlte" Temperatur 27–32 °C

Leichtes Unbehagen. Bei längeren Zeiträumen und körperlicher Aktivität kann es zu Erschöpfungserscheinungen kommen



Zeitraum: 1971-1980

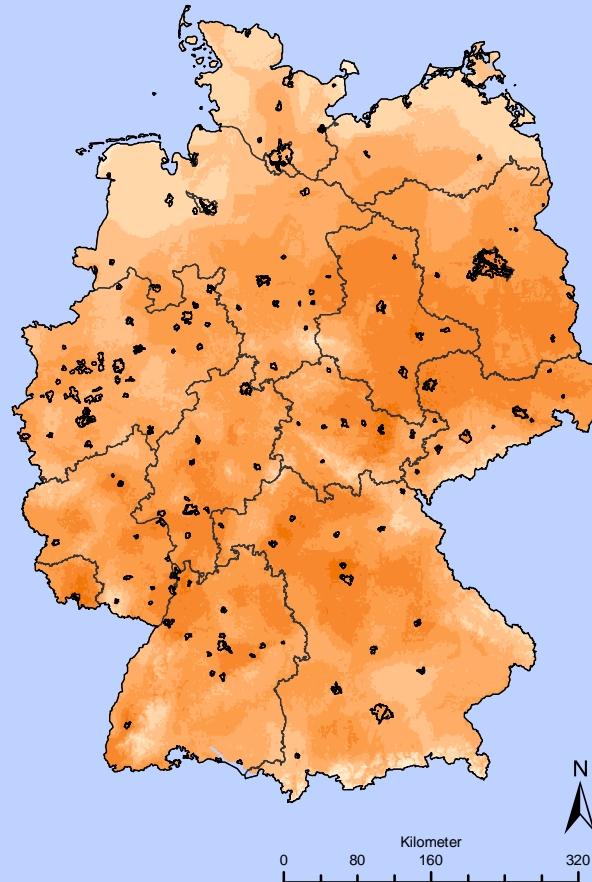
Anzahl der Tage im Jahr



**Modell: DWD
Szenario:**

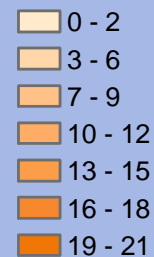
Realisierungen: 1

Aggregation: Mittelwert



Zeitraum: 2071-2080

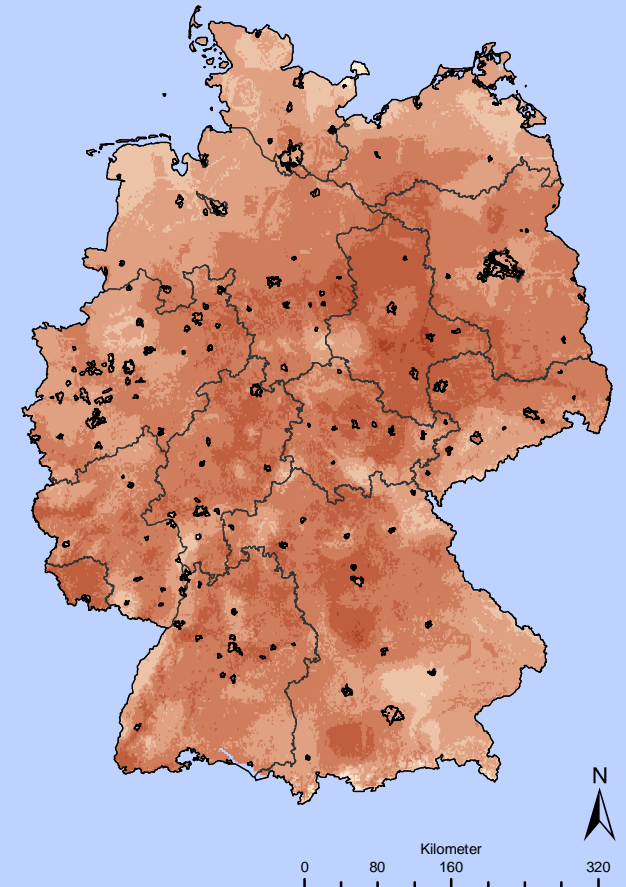
Anzahl der Tage im Jahr



**Modell: WETTREG
Szenario: A1B**

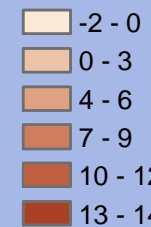
Realisierungen: 10

Aggregation: Mittelwert



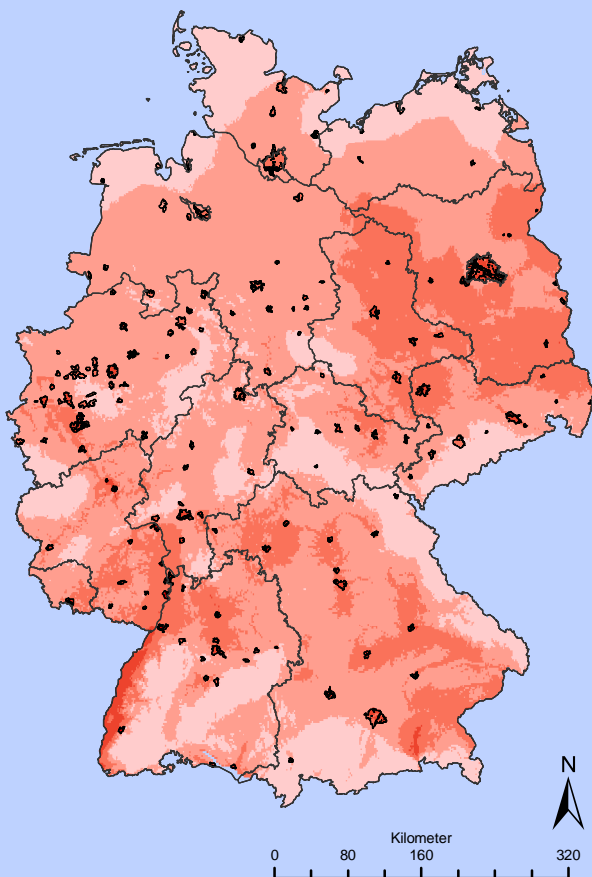
Änderung 2071-2080 zu 1971-1980

Differenz der Perioden



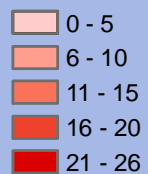
Hitzeindex Stufe 2: "Gefühlte" Temperatur 33–41 °C

Erhöhtes Unbehagen. Vorsicht, es besteht die Möglichkeit von Sonnenstich, Hitzekrampf und Hitzekollaps.



Zeitraum: 1971-1980

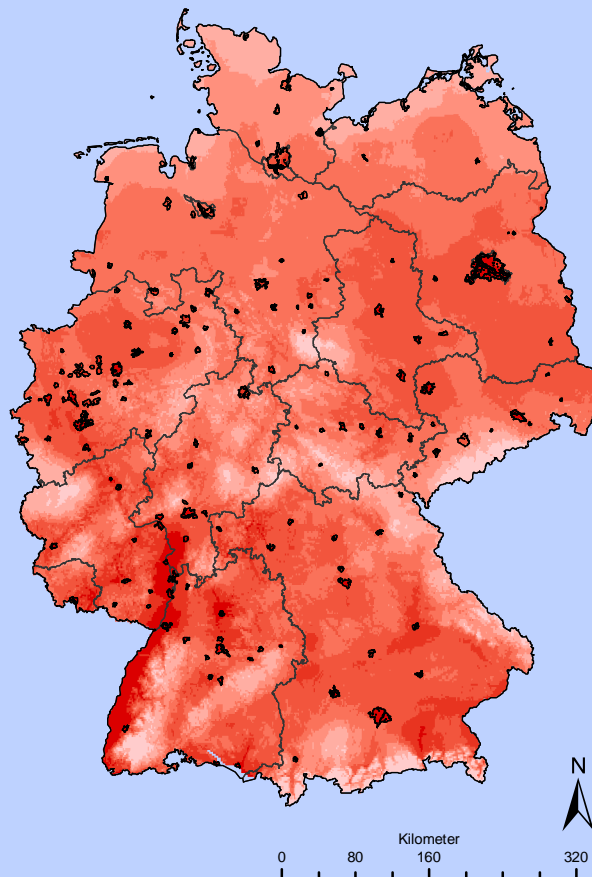
Anzahl der Tage im Jahr



**Modell: DWD
Szenario:**

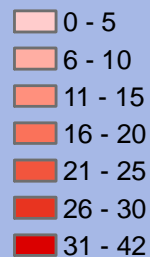
Realisierungen: 1

Aggregation: Mittelwert



Zeitraum: 2071-2080

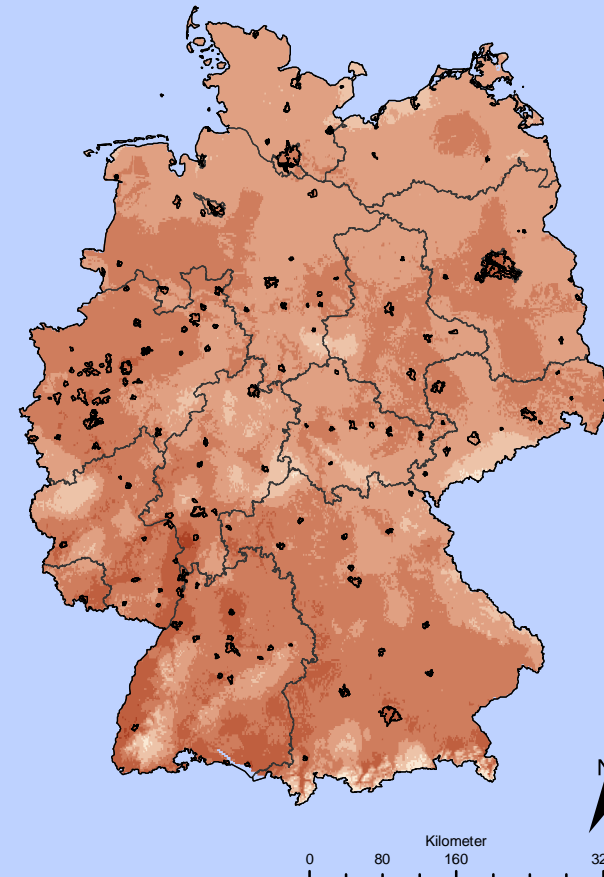
Anzahl der Tage im Jahr



**Modell: WETTREG
Szenario: A1B**

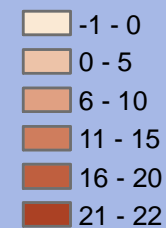
Realisierungen: 10

Aggregation: Mittelwert



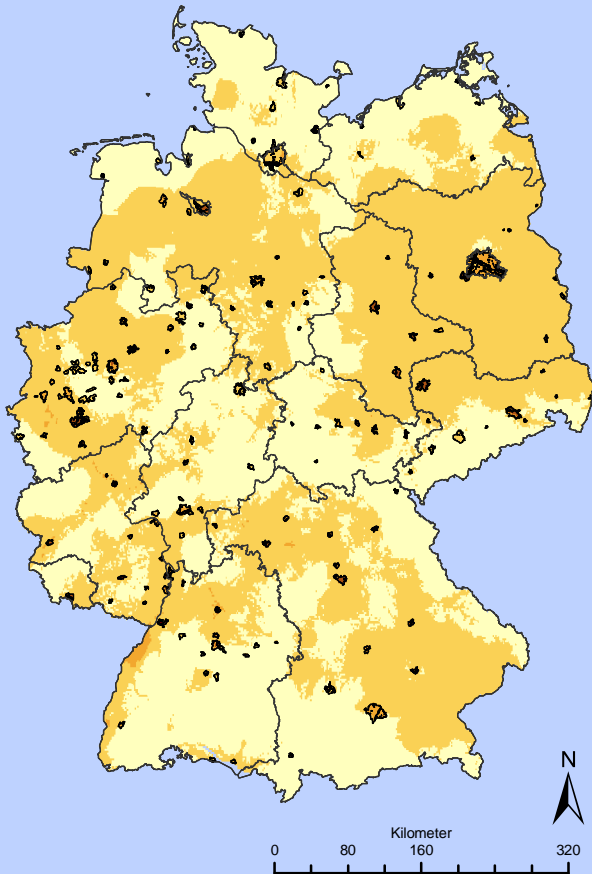
Änderung 2071-2080 zu 1971-1980

Differenz der Perioden



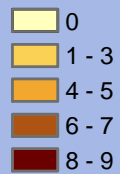
Hitzeindex Stufe 3: "Gefühlte" Temperatur 42–54 °C

Gefahr — Sonnenstich, Hitzekrampf und Hitzekollaps sind wahrscheinlich; Hitzschlag ist möglich.



Zeitraum: 1971-1980

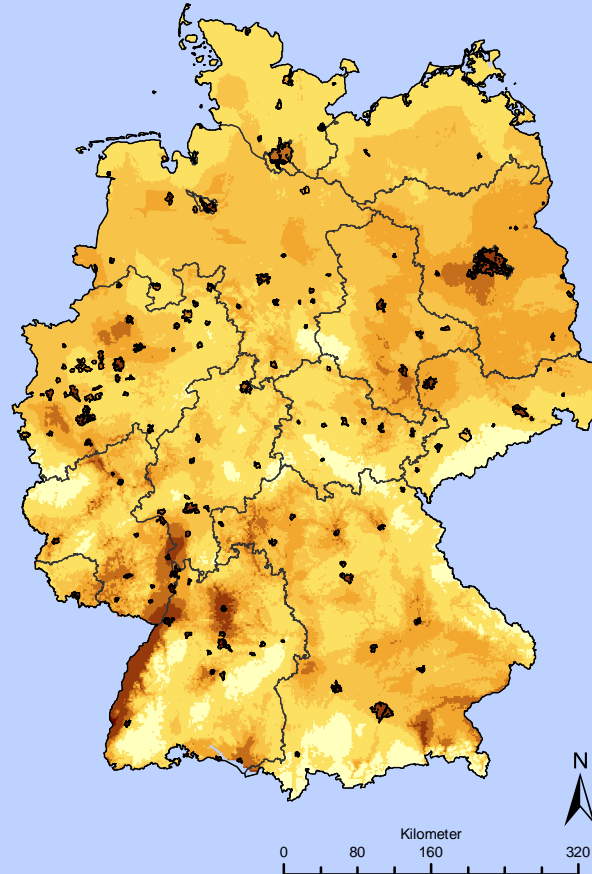
Anzahl der Tage im Jahr



**Modell: DWD
Szenario:**

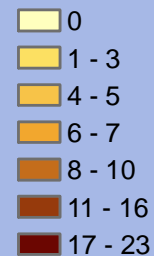
Realisierungen: 1

Aggregation: Mittelwert



Zeitraum: 2071-2080

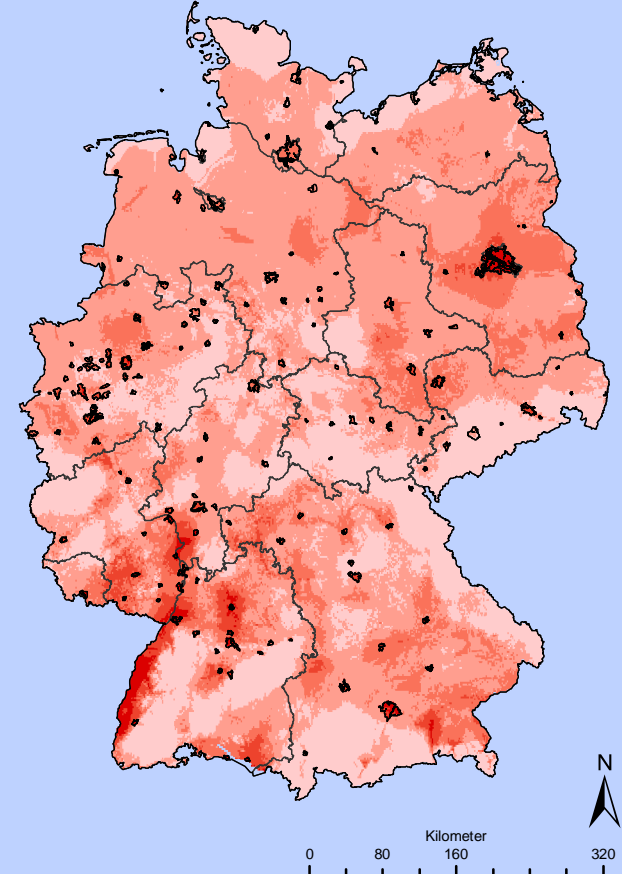
Anzahl der Tage im Jahr



**Modell: WETTREG
Szenario: A1B**

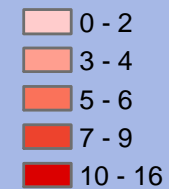
Realisierungen: 10

Aggregation: Mittelwert



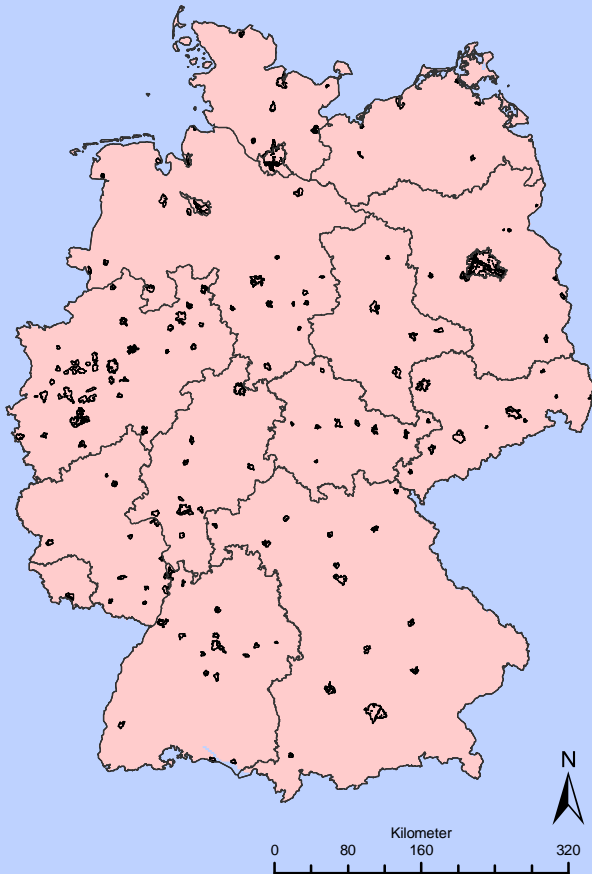
Änderung 2071-2080 zu 1971-1980

Differenz der Perioden



Hitzeindex Stufe 4: "Gefühlte" Temperatur über 54 °C

Erhöhte Gefahr – Hitzschlag und Sonnenstich sind wahrscheinlich. Man sollte sich körperlich kaum betätigen und sich diesen Bedingungen nicht längerfristig aussetzen



Zeitraum: 1971-1980

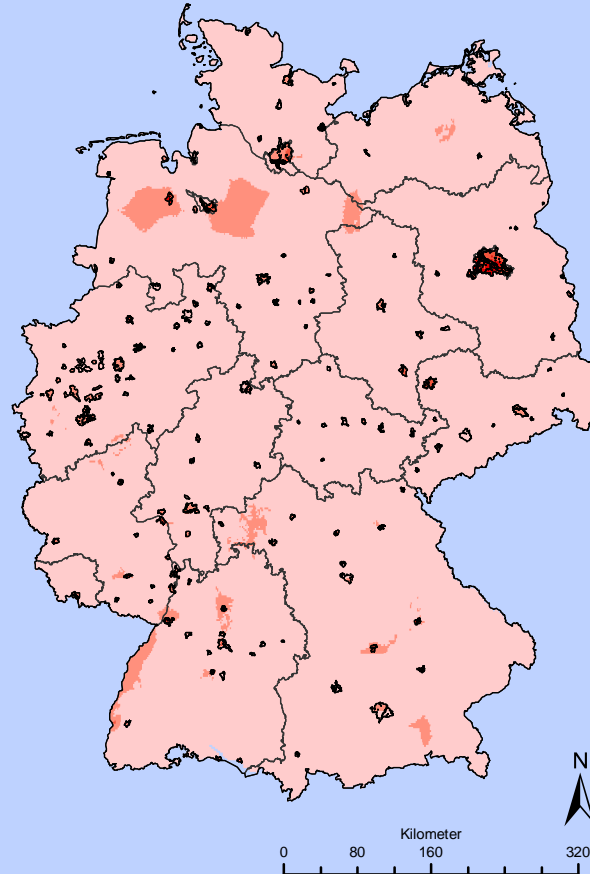
Anzahl der Tage im Jahr

0

Modell: DWD
Szenario:

Realisierungen: 1

Aggregation: Mittelwert



Zeitraum: 2071-2080

Anzahl der Tage im Jahr

0

0 - 1

2

3 - 4

Modell: WETTREG
Szenario: A1B

Realisierungen: 10

Aggregation: Mittelwert



Änderung 2071-2080 zu 1971-1980

Differenz der Perioden

0

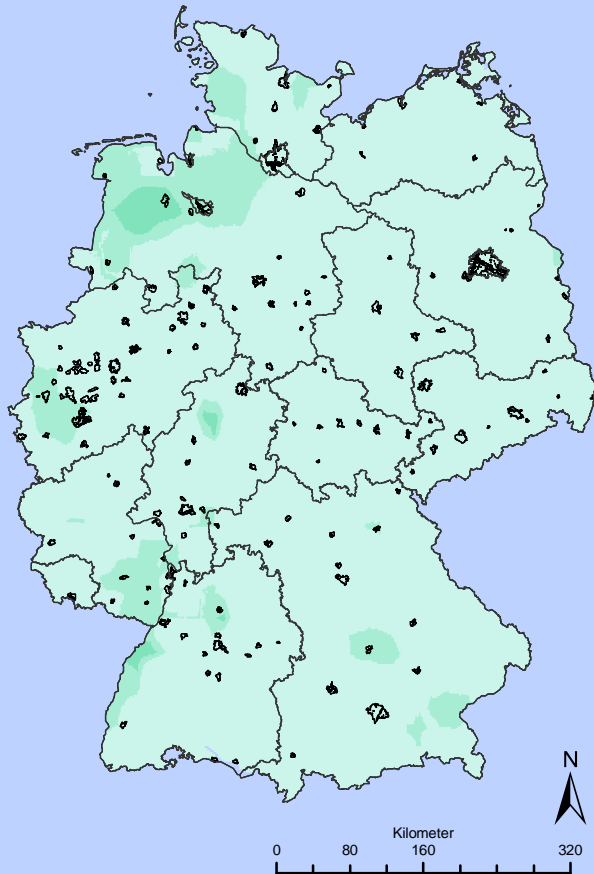
1

2

3 - 4

Schwüleindikator / Schwüle Tage (inclusive „sehr schwül“)

Mittlerer täglicher Dampfdruck > 18.8 hPa (nach DWD)



Zeitraum: 1971-1980

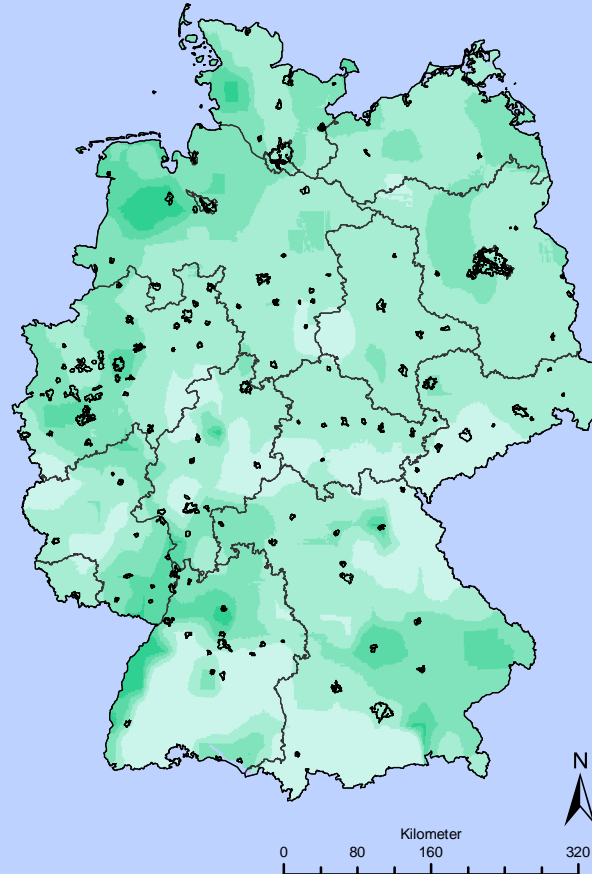
Anzahl der Tage im Jahr

- 0 - 5
- 6 - 10
- 11 - 14

Modell: DWD
Szenario:

Realisierungen: 1

Aggregation: Mittelwert



Zeitraum: 2071-2080

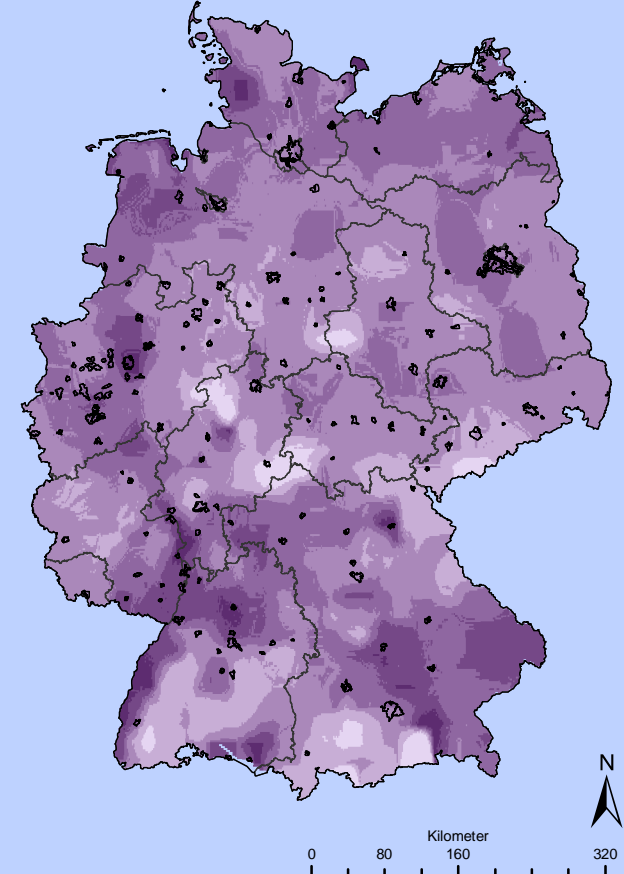
Anzahl der Tage im Jahr

- 0 - 5
- 6 - 10
- 11 - 15
- 16 - 20
- 21 - 27

Modell: WETTREG
Szenario: A1B

Realisierungen: 10

Aggregation: Mittelwert



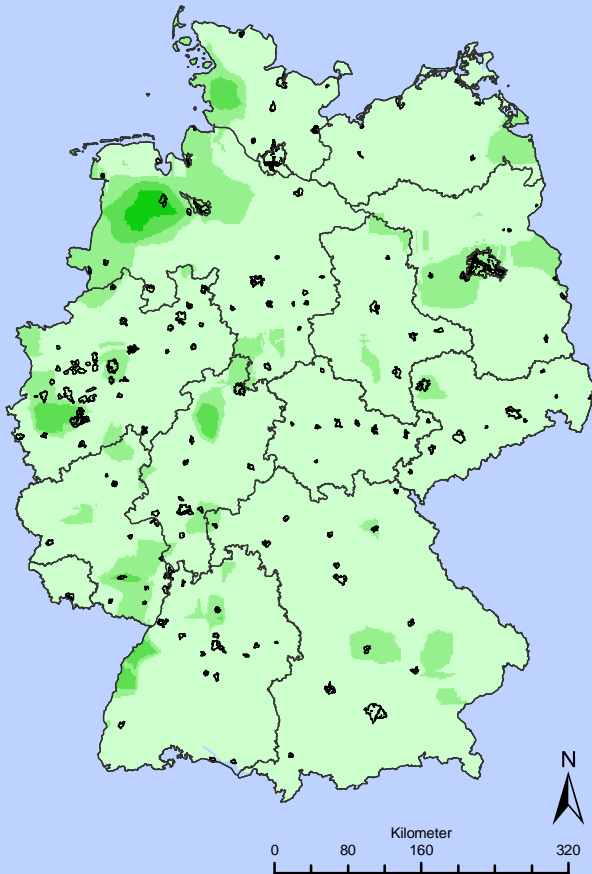
Änderung 2071-2080 zu 1971-1980

Differenz der Perioden

- 7 - 0
- 0 - 3
- 3,000000001 - 6
- 6,000000001 - 9
- 9,000000001 - 12
- 12,000000001 - 16

Schwüleindikator / Sehr schwüle Tage

Mittlerer täglicher Dampfdruck > 20.8 hPa (nach DWD)



Zeitraum: 1971-1980

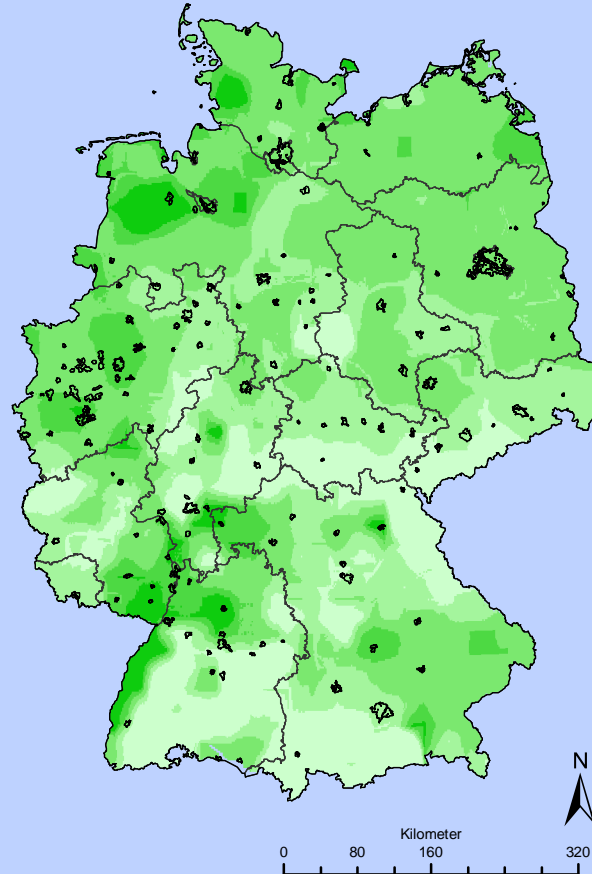
Anzahl der Tage im Jahr



Modell: DWD
Szenario:

Realisierungen: 1

Aggregation: Mittelwert



Zeitraum: 2071-2080

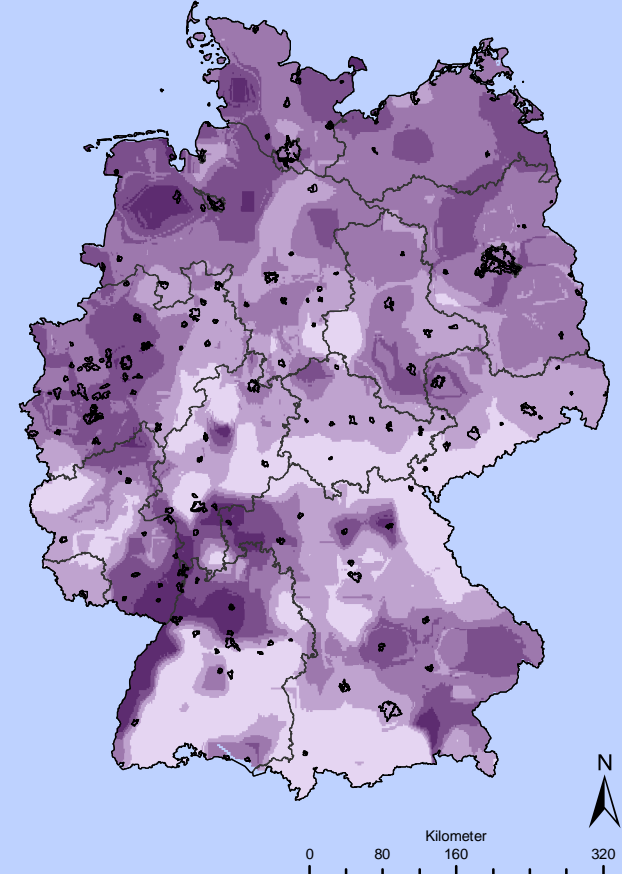
Anzahl der Tage im Jahr



Modell: WETTREG
Szenario: A1B

Realisierungen: 10

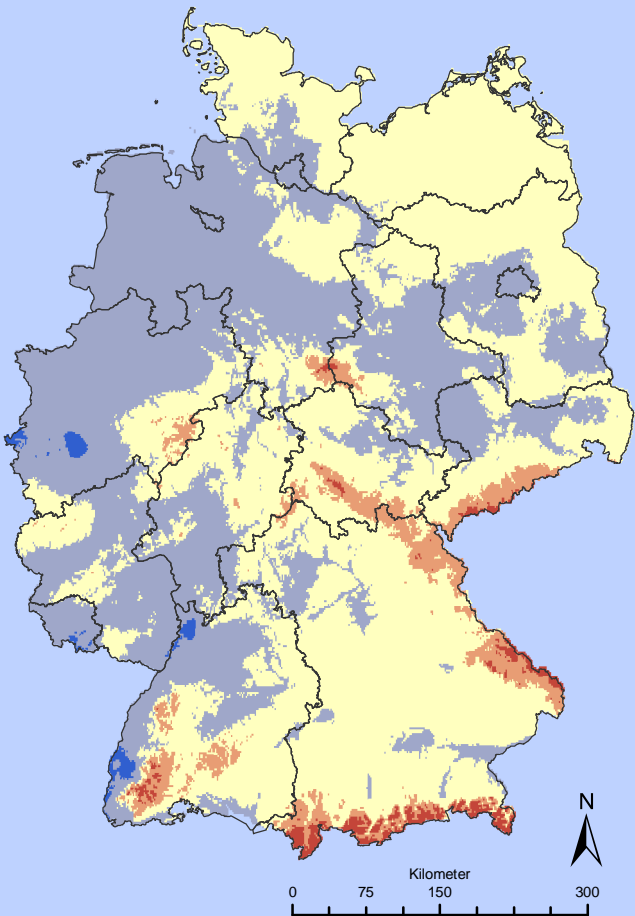
Aggregation: Mittelwert



Änderung 2071-2080 zu 1971-1980

Differenz der Perioden





Phänologische Phase Blattentfaltung Birke

Tag im Jahr

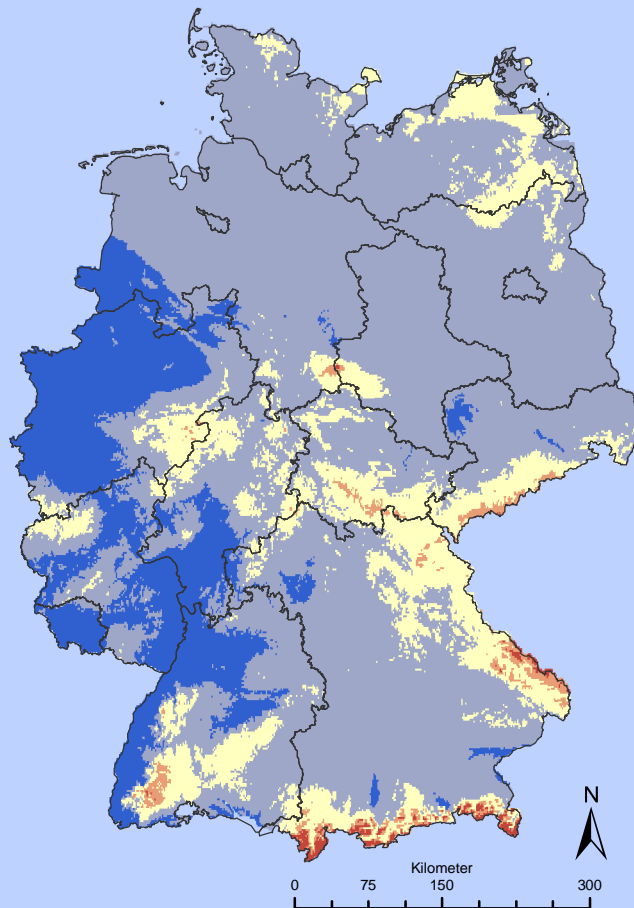


Modell: DWD
Szenario:

Realisierungen: 1

Aggregation: Mittelwert

Zeitraum: 1991-2000



Phänologische Phase Blattentfaltung Birke

Tag im Jahr

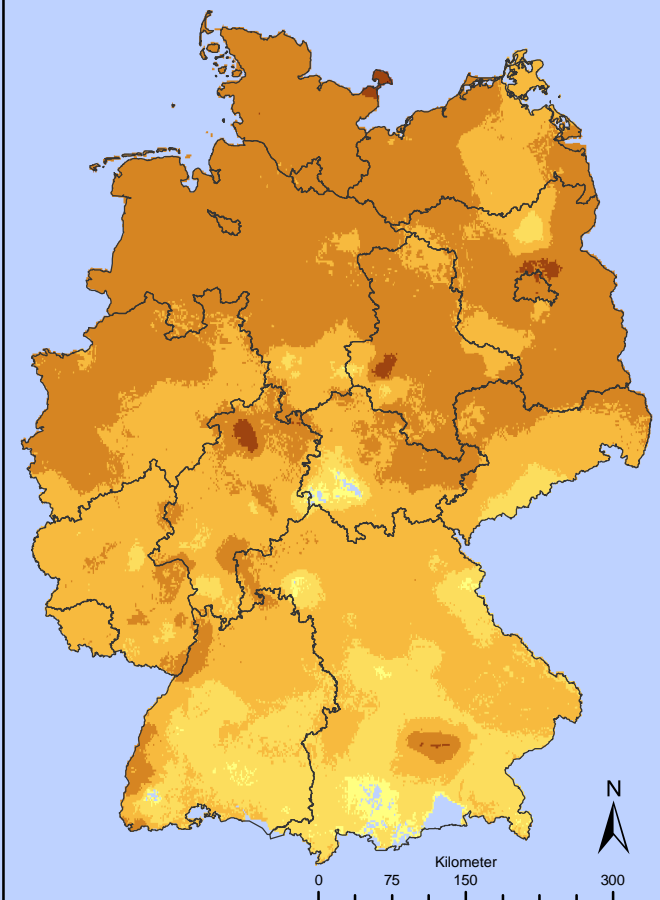


Modell: WETTREG
Szenario: A1B

Realisierungen: 1

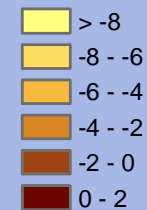
Aggregation: Mittelwert

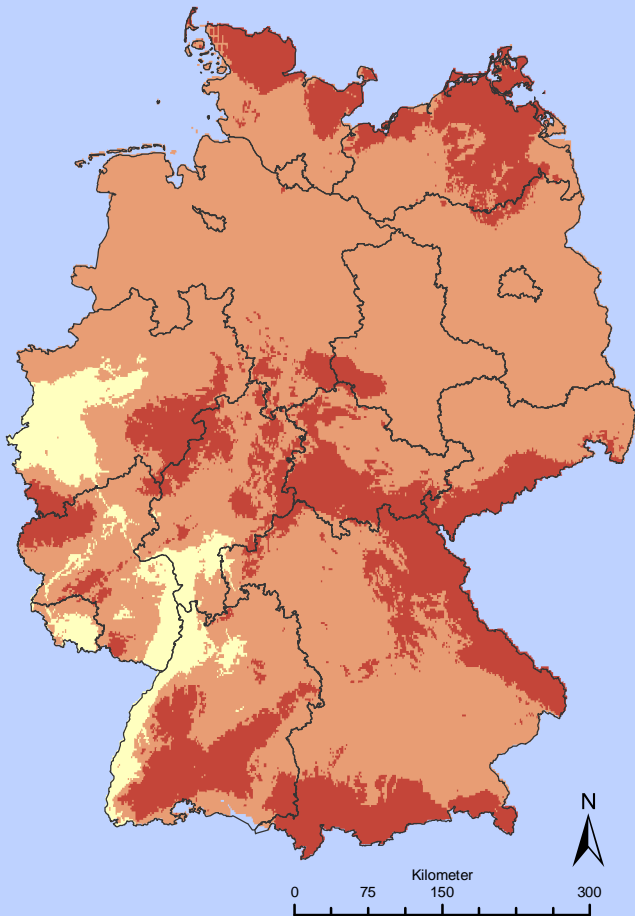
Zeitraum: 2091-2100



Änderung 2091-2100 zu 1991-2000

Differenz der Perioden in Tagen





**Phänologische Phase
Blattentfaltung Eiche**

Tag im Jahr

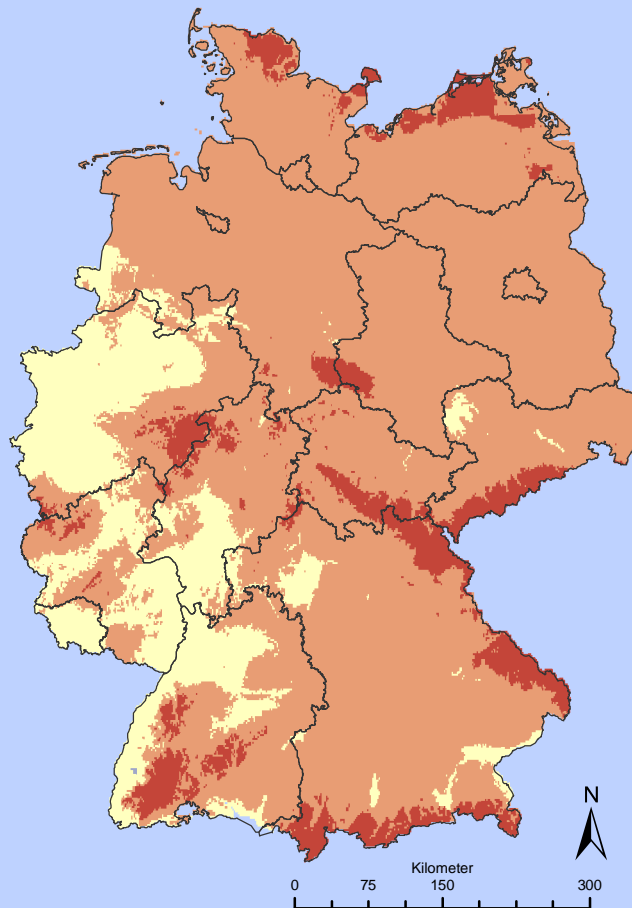
- <100
- 100 - 110
- 110 - 120
- 120 - 130
- >130

**Modell: DWD
Szenario:**

Realisierungen: 1

Aggregation: Mittelwert

Zeitraum: 1991-2000



**Phänologische Phase
Blattentfaltung Eiche**

Tag im Jahr

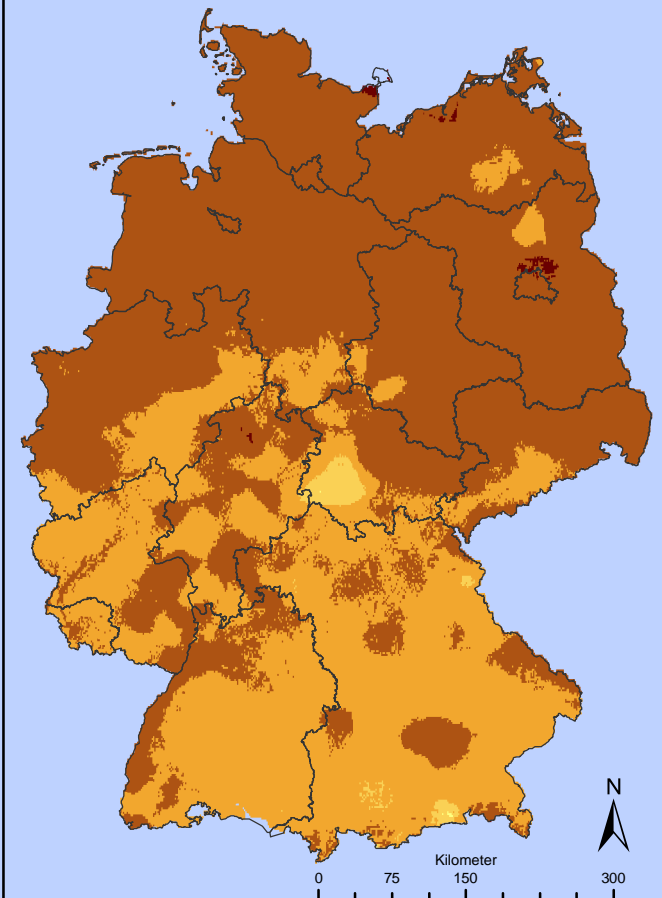
- <100
- 100 - 110
- 110 - 120
- 120 - 130
- >130

**Modell: WETTREG
Szenario: A1B**

Realisierungen: 1

Aggregation: Mittelwert

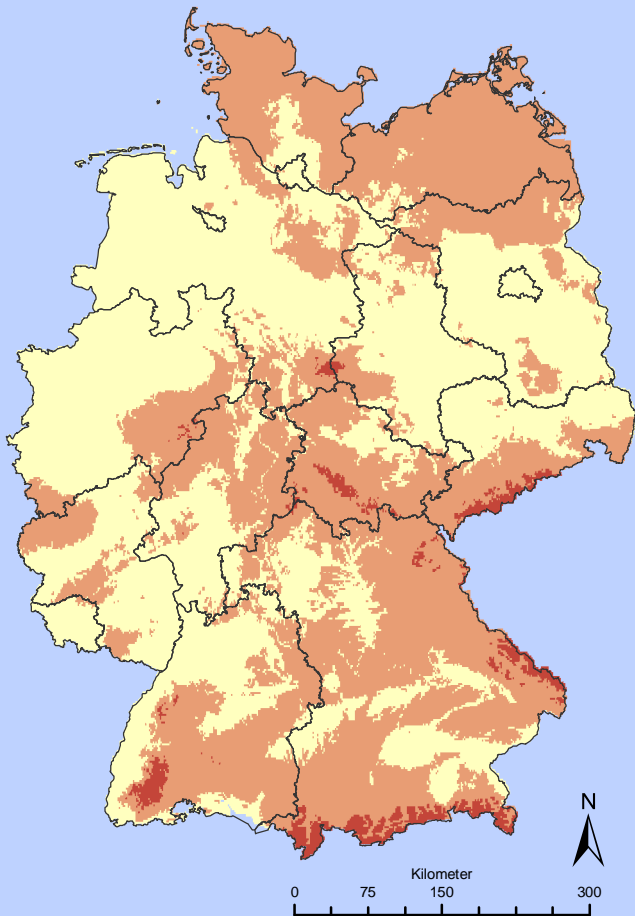
Zeitraum: 2091-2100



**Änderung
2091-2100 zu 1991-2000**

Differenz der Perioden in Tagen

- >-12
- 12 - -8
- 8 - -4
- 4 - 0
- 0 - 4



Phänologische Phase Blattentfaltung Buche

Tag im Jahr

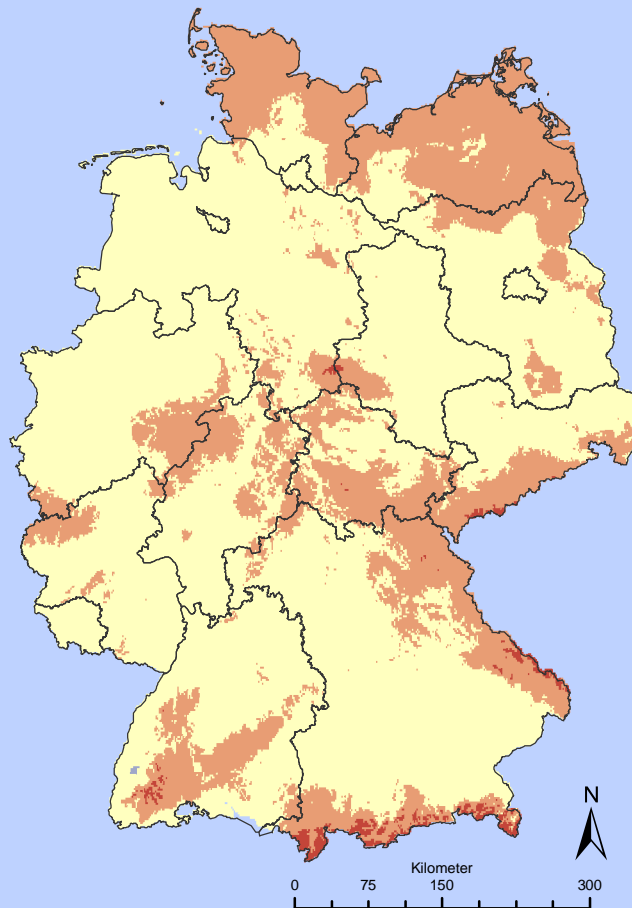


Modell: DWD
Szenario:

Realisierungen: 1

Aggregation: Mittelwert

Zeitraum: 1991-2000



Phänologische Phase Blattentfaltung Buche

Tag im Jahr

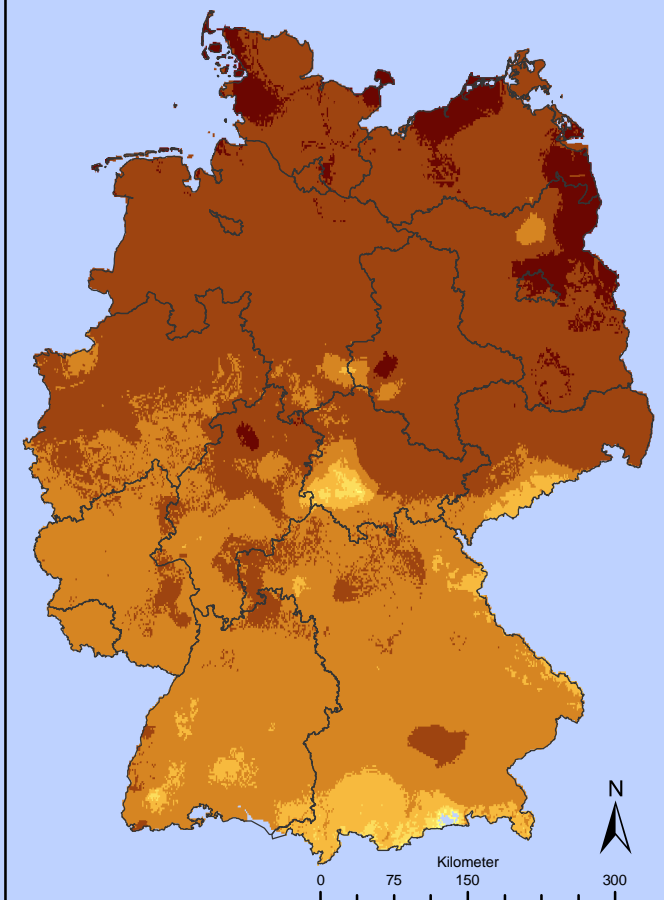


Modell: WETTREG
Szenario: A1B

Realisierungen: 1

Aggregation: Mittelwert

Zeitraum: 2091-2100



Änderung 2091-2100 zu 1991-2000

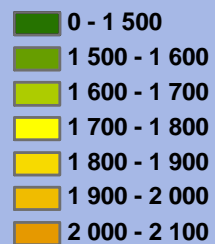
Differenz der Perioden in Tagen





Huglin-Index

Huglin-Index

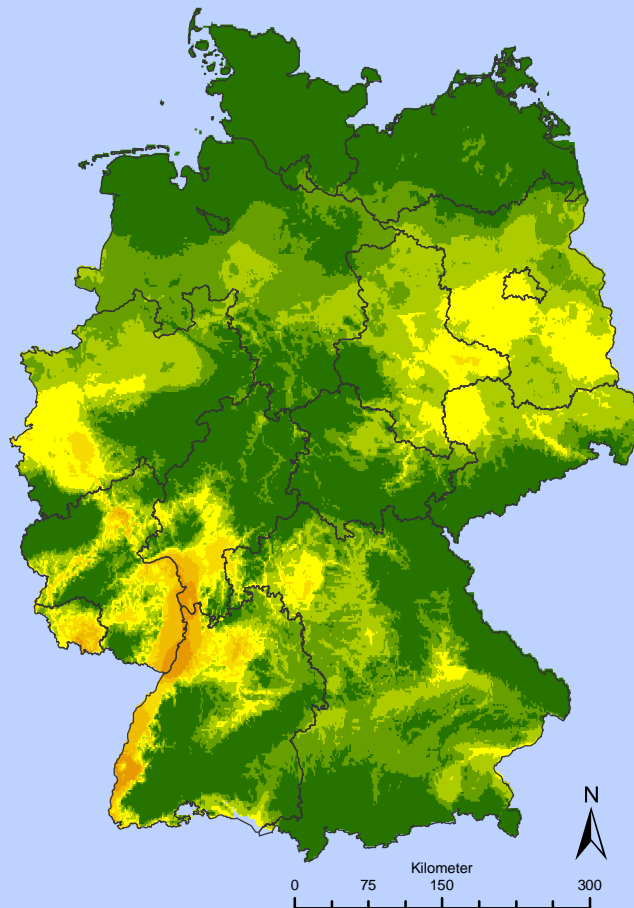


Modell: DWD
Szenario:

Realisierungen: 1

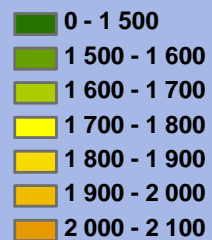
Aggregation: Mittelwert

Zeitraum: 1971-1980



Huglin-Index

Huglin-Index

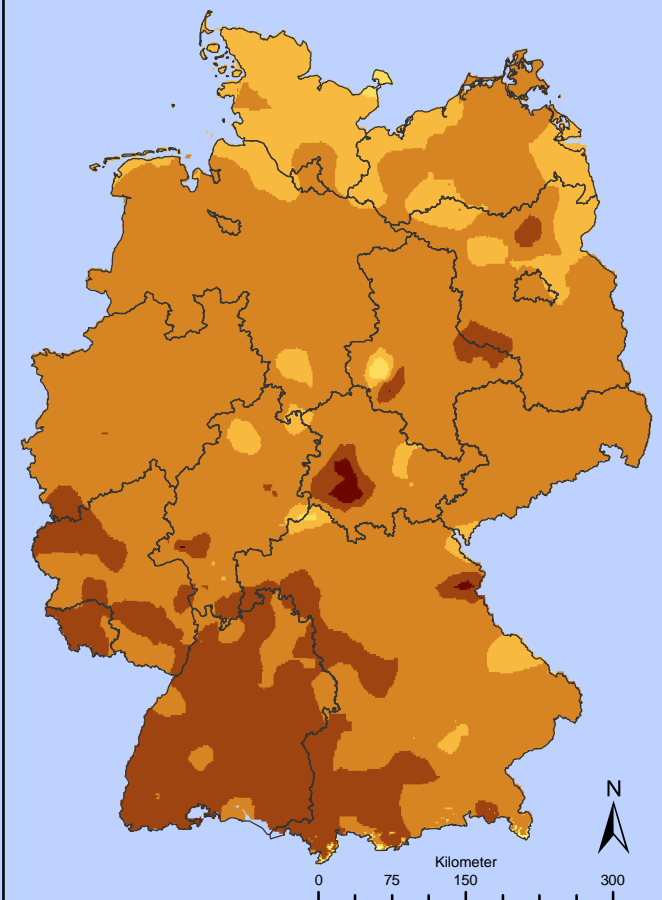


Modell: WETTREG
Szenario: A1B

Realisierungen: 10

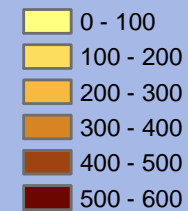
Aggregation: Mittelwert

Zeitraum: 2051-2060

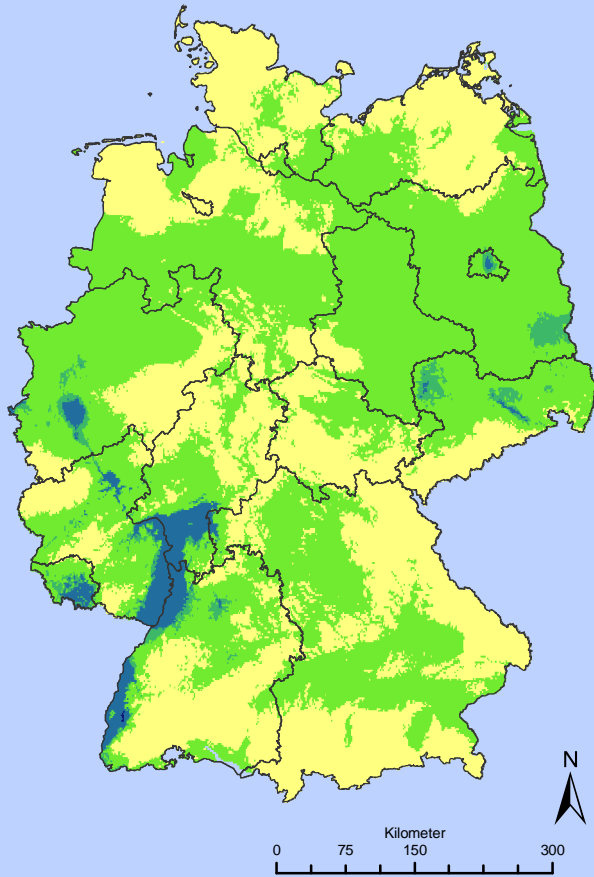


Änderung 2051-2060 zu 1971-1980

Differenz der Perioden



Maissortenwahl: optimale Reifegruppe nach Reifezahl für einen Standort



Zeitraum: 1971-1980

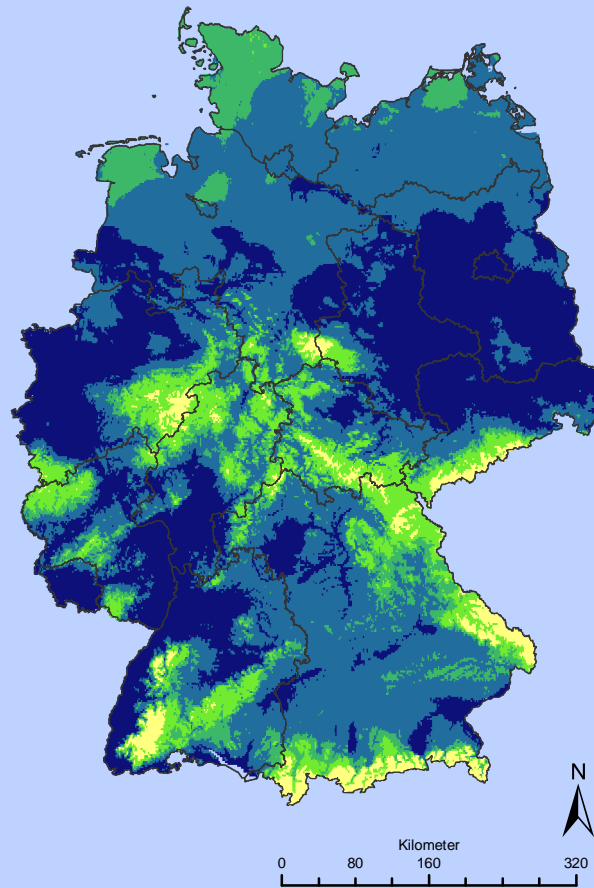
Reifegruppen nach Reifezahl

- 150 - 170 ungeeignet
- 170 - 220 früh
- 230 - 250 mittelfrüh
- 260 - 290 mittelspät
- 300 - 350 spät

**Modell: DWD
Szenario:**

Realisierungen: 1

Aggregation: Mittelwert



Zeitraum: 2071-2080

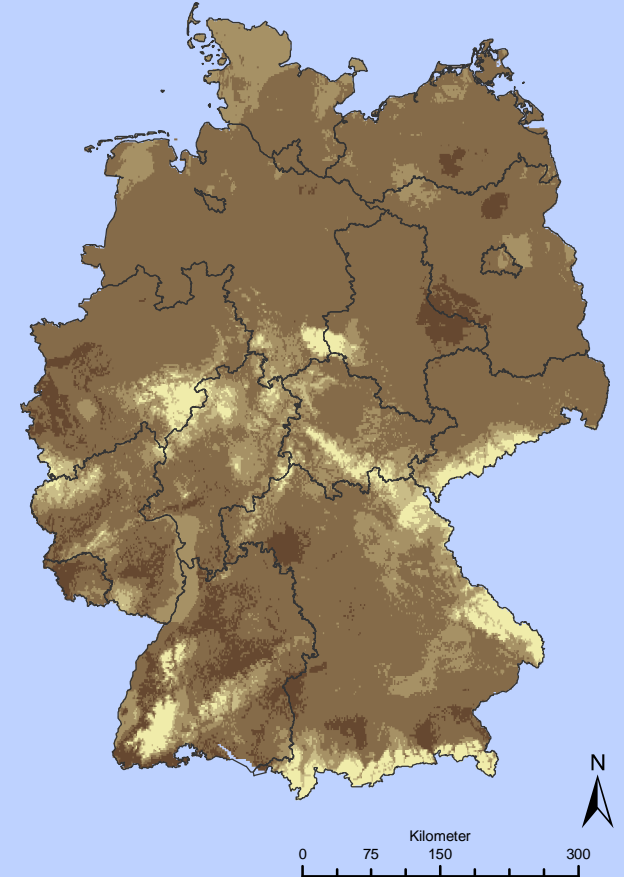
Reifegruppen nach Reifezahl

- 150 - 170
- 170 - 220 früh
- 230 - 250 mittelfrüh
- 260 - 290 mittelspät
- 300 - 360 spät

**Modell: WETTREG
Szenario: A1B**

Realisierungen: 10

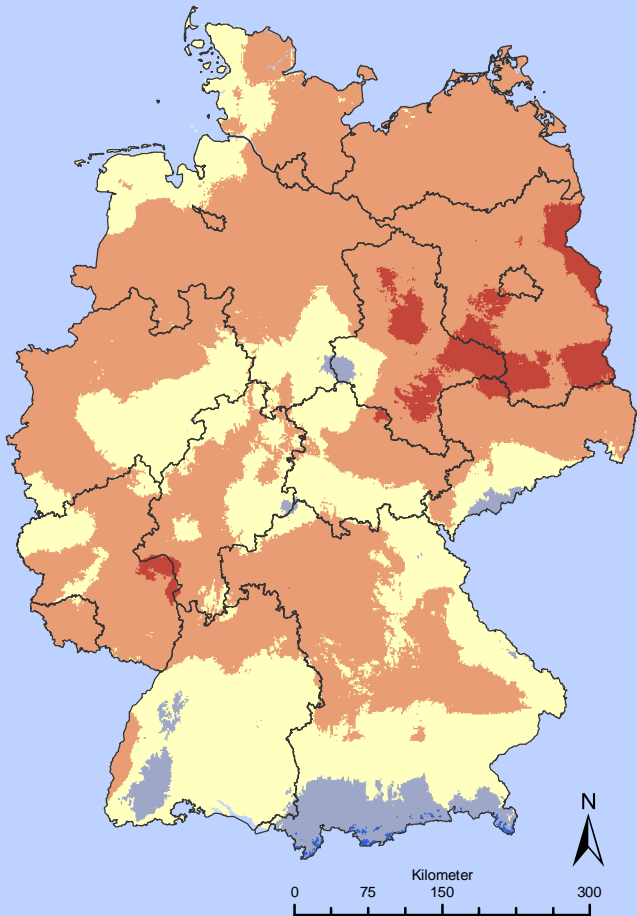
Aggregation: Mittelwert



**Änderung
2071-2080 zu 1971-1980**

Differenz der Reifezahl

- 0 - 30
- 30 - 60
- 60 - 90
- 90 - 120
- 120 - 160



**Waldbrandgefährdung
nach Käse
auf allen Landnutzungsklassen**

Mittlere
Waldbrandwarnstufe

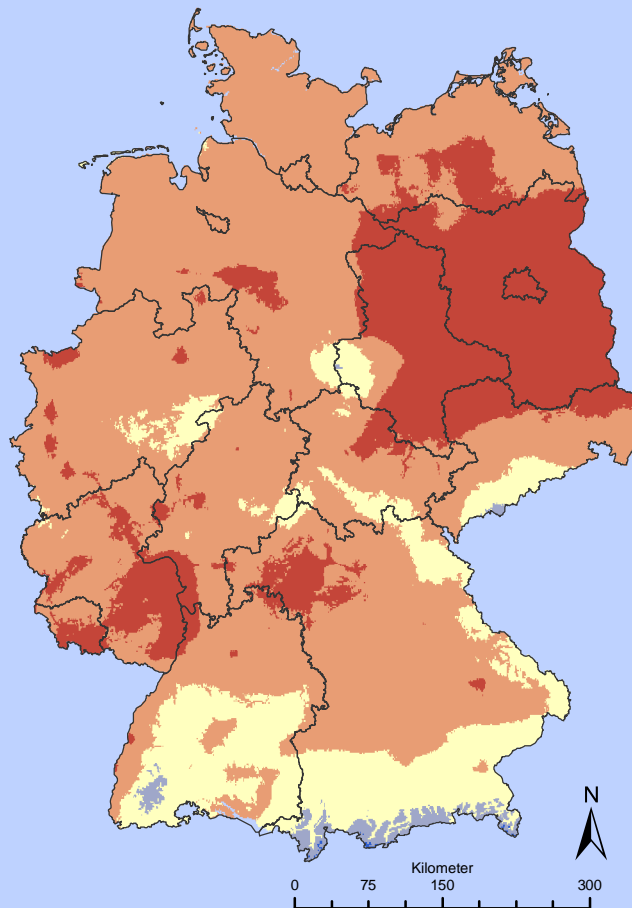
- 1.5 - 1.6
- 1.6 - 2.0
- 2.0 - 2.4
- 2.4 - 2.8
- 2.8 - 3.2

Modell: WETTREG
Szenario: A1B

Realisierungen: 1

Aggregation: Mittelwert

Zeitraum: 1961-1990



**Waldbrandgefährdung
nach Käse
auf allen Landnutzungsklassen**

Mittlere
Waldbrandwarnstufe

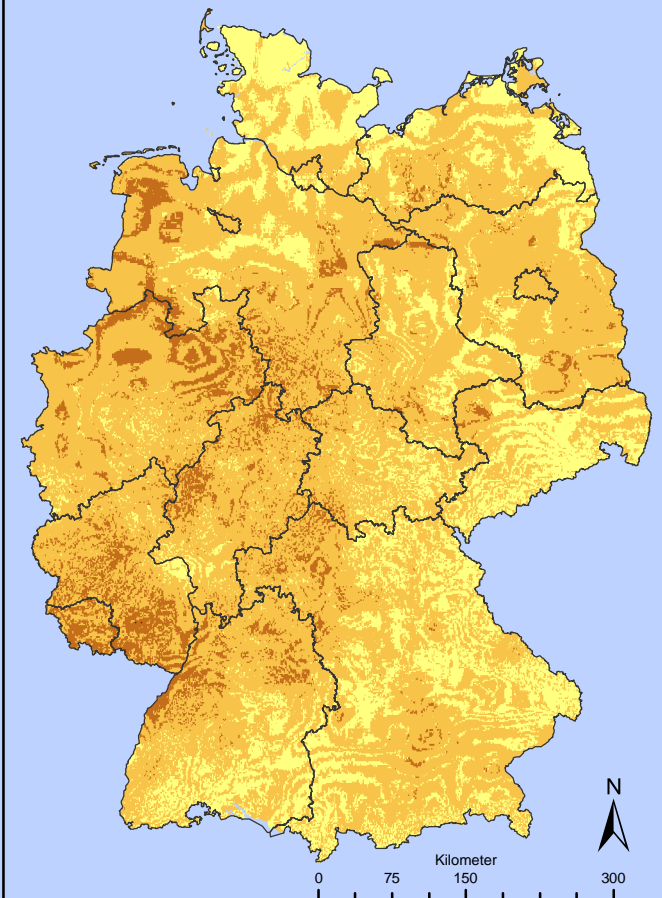
- 1.5 - 1.6
- 1.6 - 2.0
- 2.0 - 2.4
- 2.4 - 2.8
- 2.8 - 3.2

Modell: WETTREG
Szenario: A1B

Realisierungen: 1

Aggregation: Mittelwert

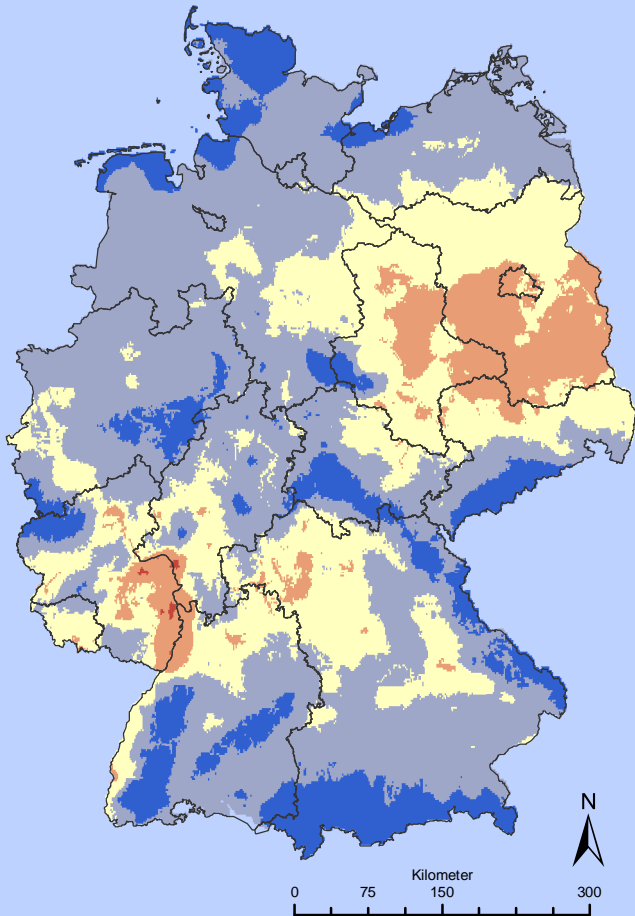
Zeitraum: 2031-2060



**Änderung
2031-2060 zu 1961-1990**

Differenz der Perioden

- 0 - 0.1
- 0.1 - 0.2
- 0.2 - 0.3
- 0.3 - 0.4



**Waldbrandgefährdung
nach Bruscek
alle Landnutzungsklassen**

Bruscekindex

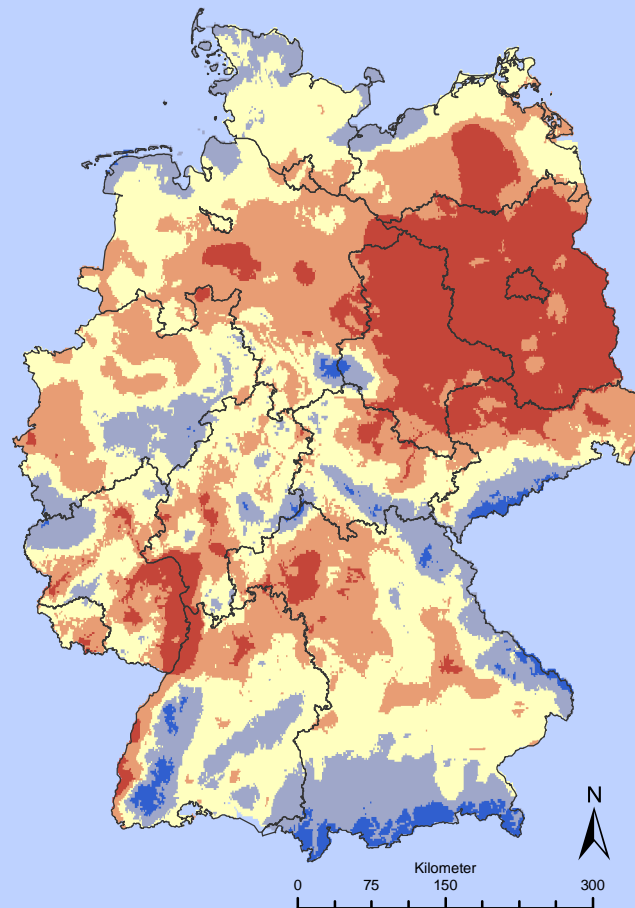
- 0 - 0.05
- 0.05 - 0.1
- 0.1 - 0.15
- 0.15 - 0.2
- 0.2 - 0.25

**Modell: DWD
Szenario:**

Realisierungen: 1

Aggregation: Mittelwert

Zeitraum: 1991-2000



**Waldbrandgefährdung
nach Bruscek
alle Landnutzungsklassen**

Bruscekindex

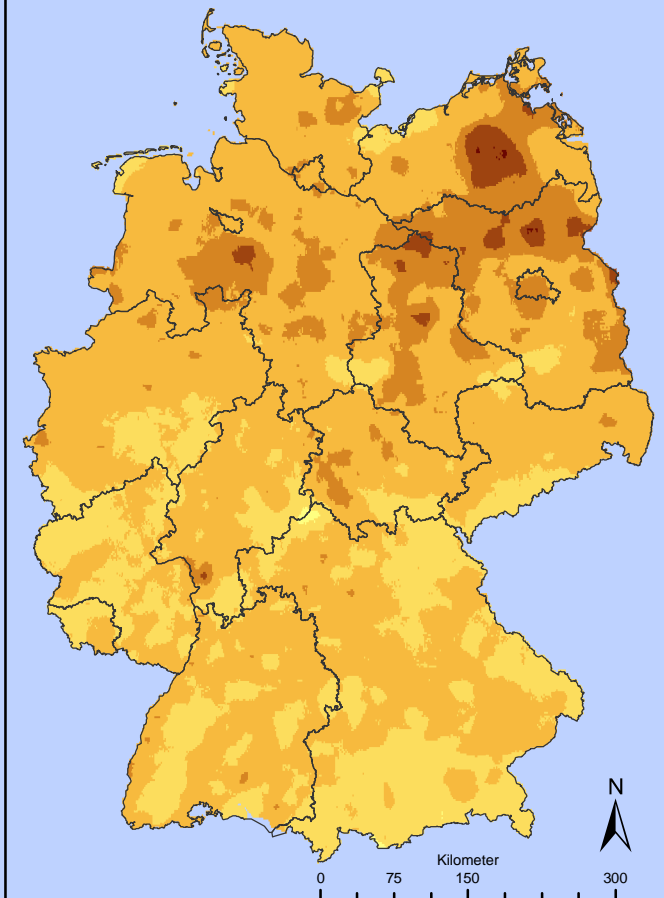
- 0 - 0.05
- 0.05 - 0.1
- 0.1 - 0.15
- 0.15 - 0.2
- 0.2 - 0.25

**Modell: WETTREG
Szenario: A1B**

Realisierungen: 1

Aggregation: Mittelwert

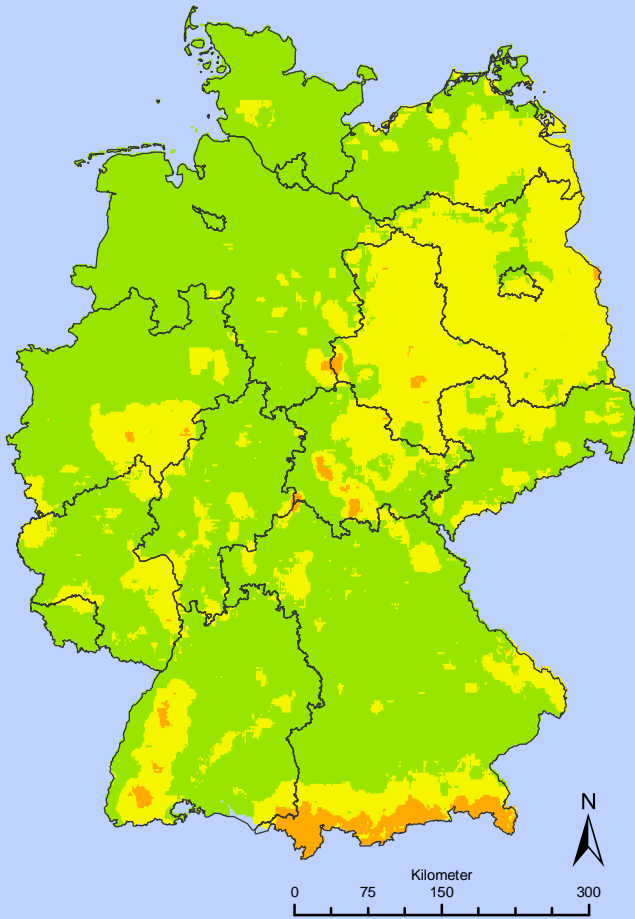
Zeitraum: 2091-2100



**Änderung
2091-2100 zu 1991-2000**

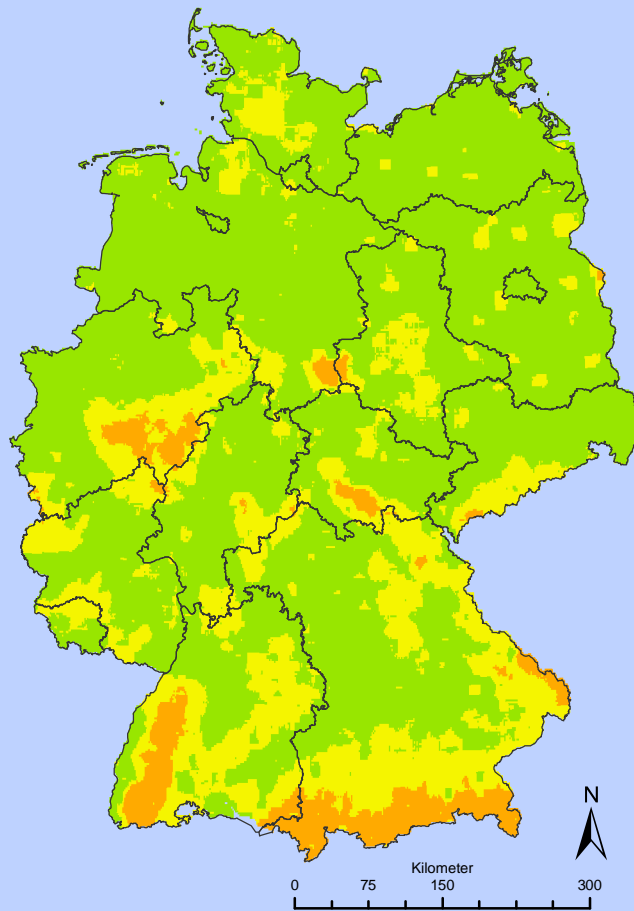
Differenz der Perioden

- < 0
- 0 - 0.04
- 0.04 - 0.08
- 0.08 - 0.12
- 0.12 - 0.16
- 0.16 - 0.2



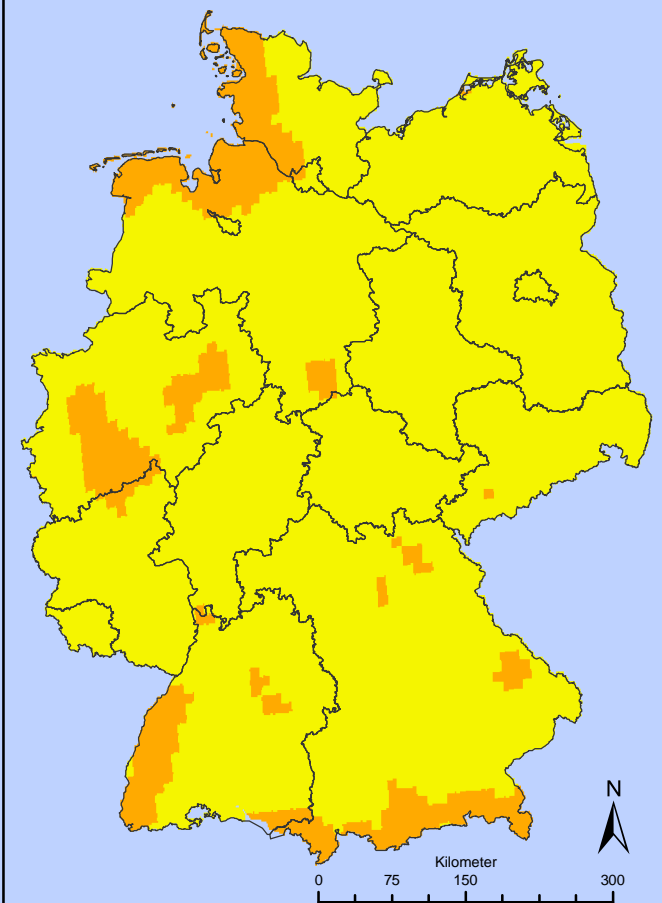
**Klimatischer Waldbauindikator
Buche**

Wuchsbedingungen Optimum Suboptimum Pessimum	Modell: DWD Szenario:
	Realisierungen: 1
	Aggregation: Mittelwert
	Zeitraum: 1971-1990



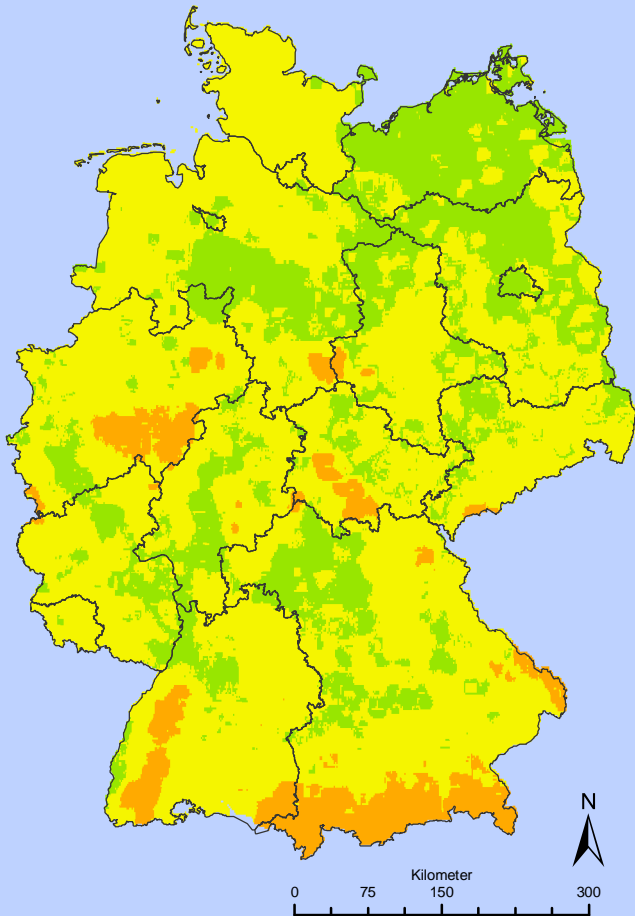
**Klimatischer Waldbauindikator
Buche**

Wuchsbedingungen Optimum Suboptimum Pessimum	Modell: WETTREG Szenario: A1B
	Realisierungen: 5
	Aggregation: Mittelwert
	Zeitraum: 1971-1990



**Klimatischer Waldbauindikator
Buche**

Wuchsbedingungen Optimum Suboptimum Pessimum	Modell: REMO Szenario: A1B
	Realisierungen: 1
	Aggregation: Mittelwert
	Zeitraum: 1971-1990



Klimatischer Waldbauindikator Kiefer

Wuchsbedingungen

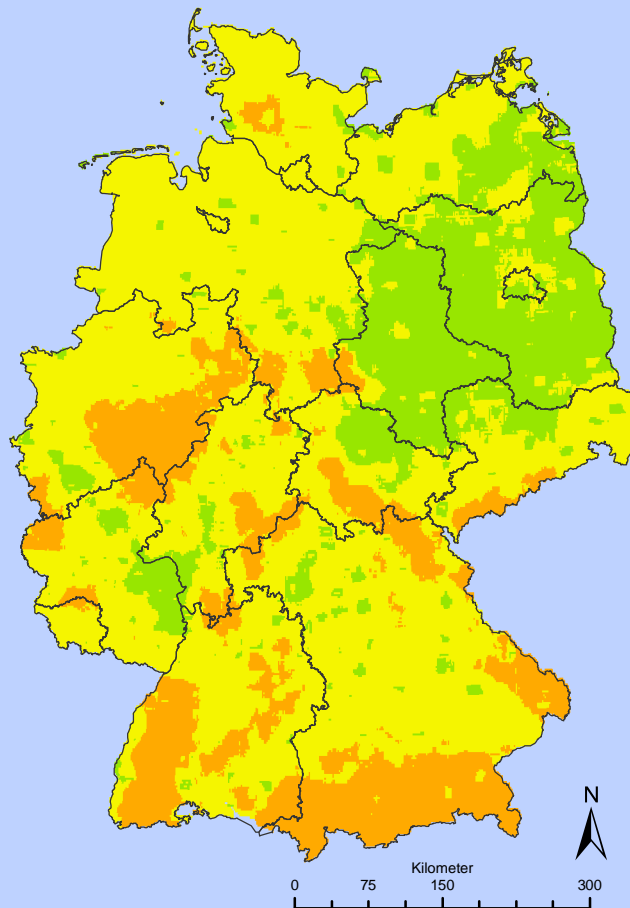
- Optimum
- Suboptimum
- Pessimum

Modell: DWD
Szenario:

Realisierungen: 1

Aggregation: Mittelwert

Zeitraum: 1971-1990



Klimatischer Waldbauindikator Kiefer

Wuchsbedingungen

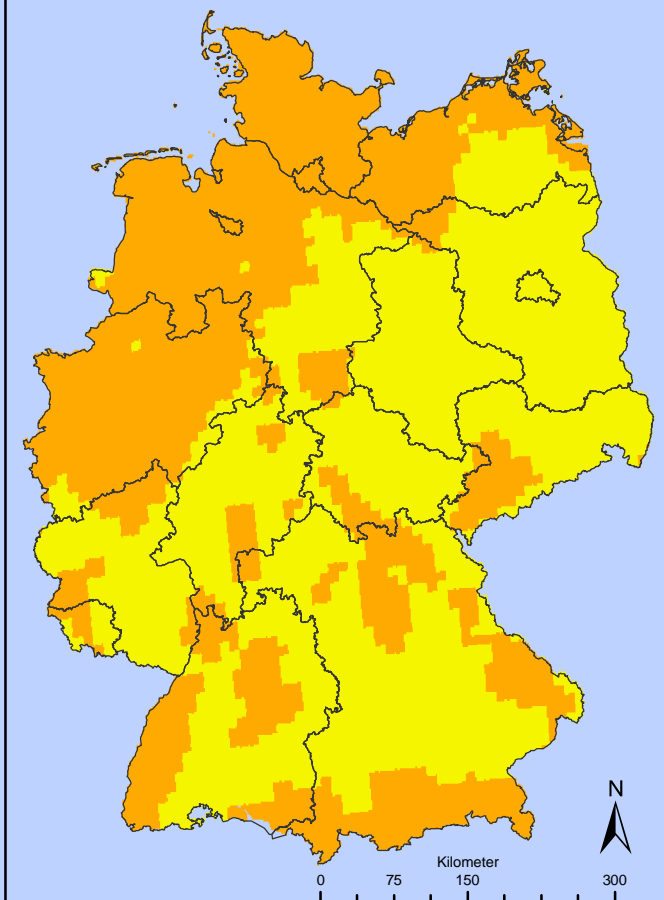
- Optimum
- Suboptimum
- Pessimum

Modell: WETTREG
Szenario: A1B

Realisierungen: 5

Aggregation: Mittelwert

Zeitraum: 1971-1990



Klimatischer Waldbauindikator Kiefer

Wuchsbedingungen

- Optimum
- Suboptimum
- Pessimum

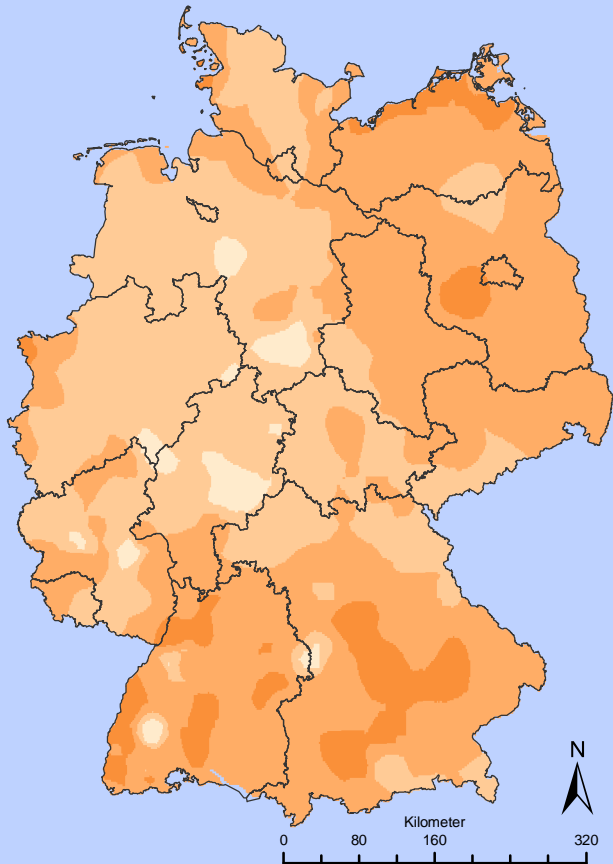
Modell: REMO
Szenario: A1B

Realisierungen: 1

Aggregation: Mittelwert

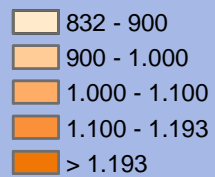
Zeitraum: 1971-1990

Sonnenenergie pro Quadratmeter und Jahr [kWh]



Zeitraum: 1971-2000

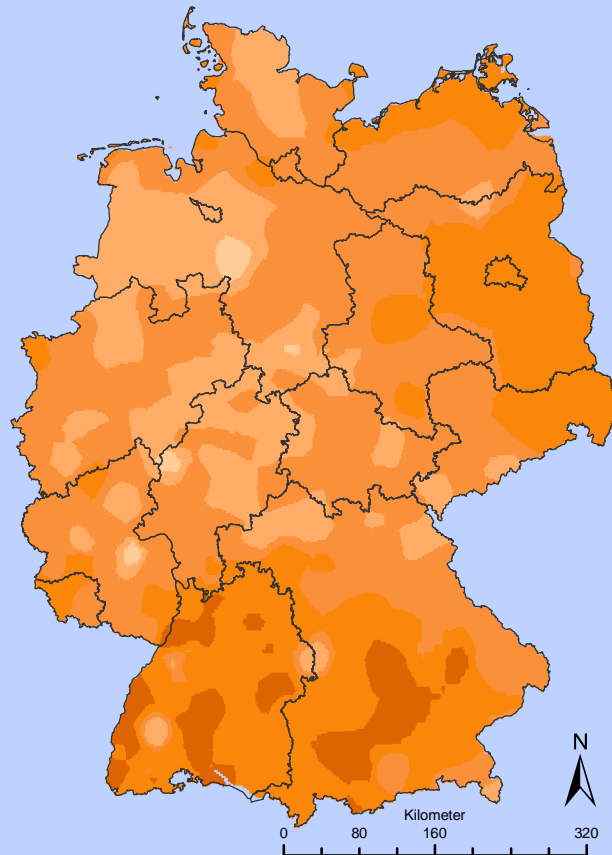
kWh/m2 pro Jahr



**Modell: DWD
Szenario:**

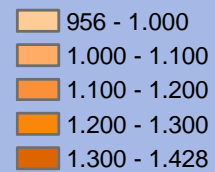
Realisierungen: 1

Aggregation: Mittelwert



Zeitraum: 2061-2090

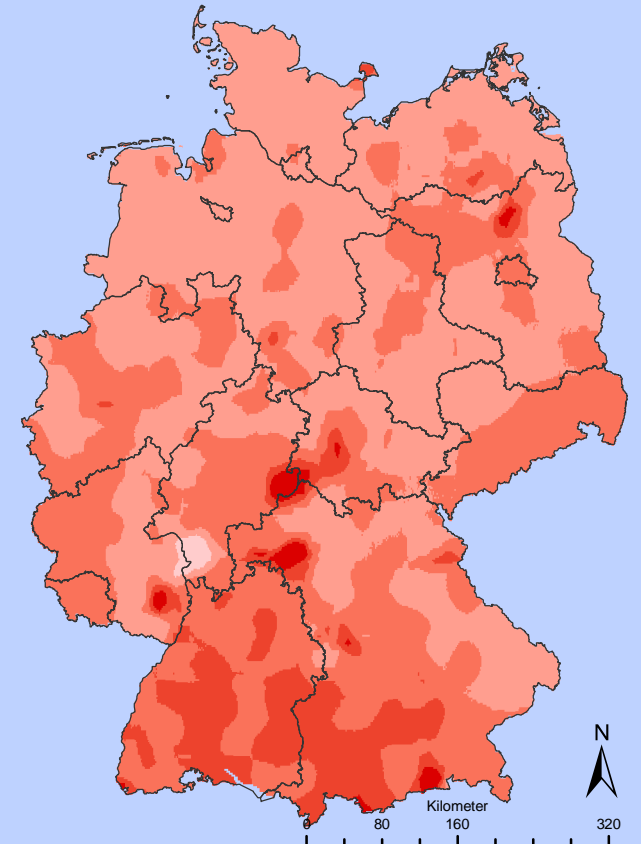
kWh/m2 pro Jahr



**Modell: WETTREG
Szenario: A1B**

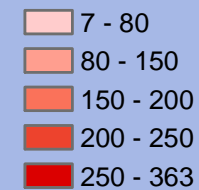
Realisierungen: 10

Aggregation: Mittelwert

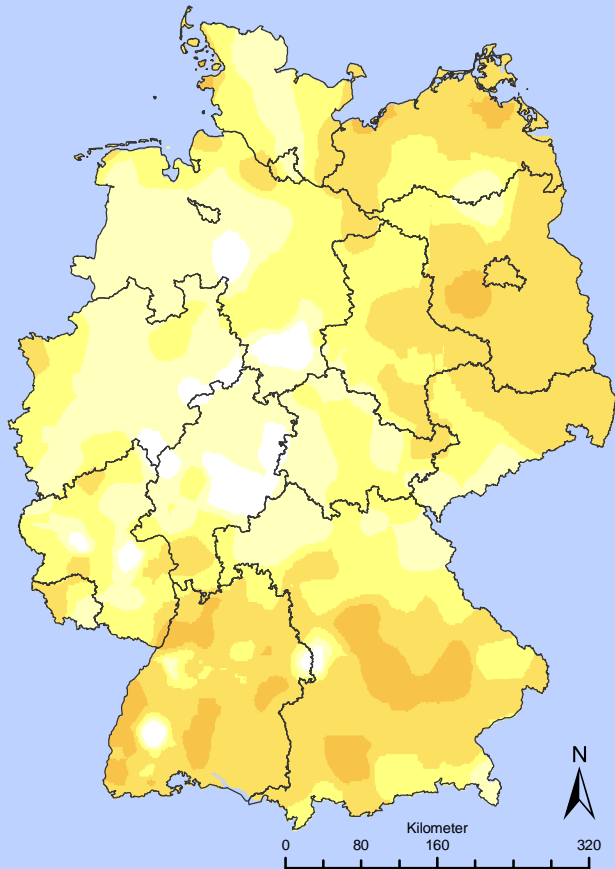


Änderung 2061-2090 zu 1971-2000

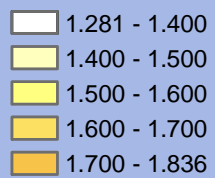
Differenz der Perioden



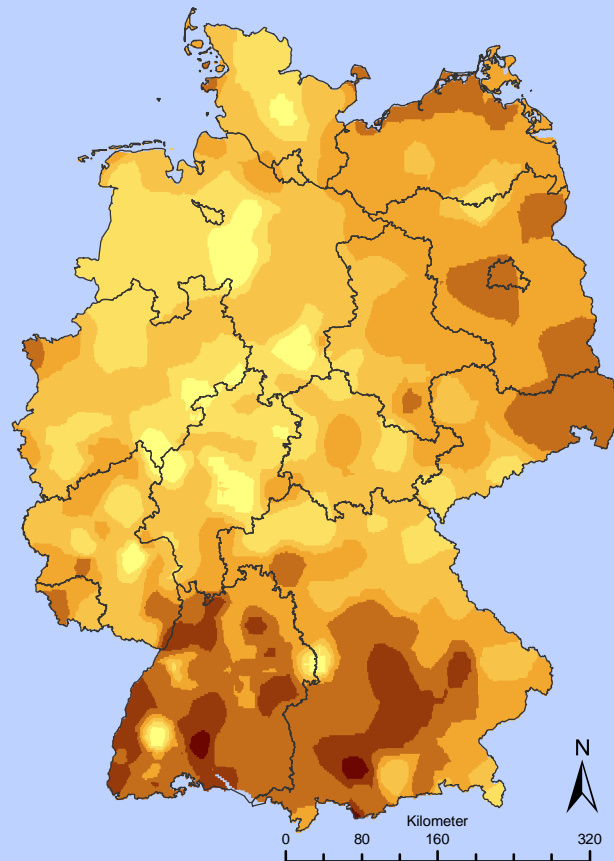
Summe der Sonnenscheindauer im Jahr [h]



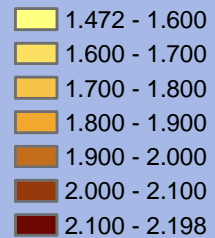
Zeitraum: 1971-2000



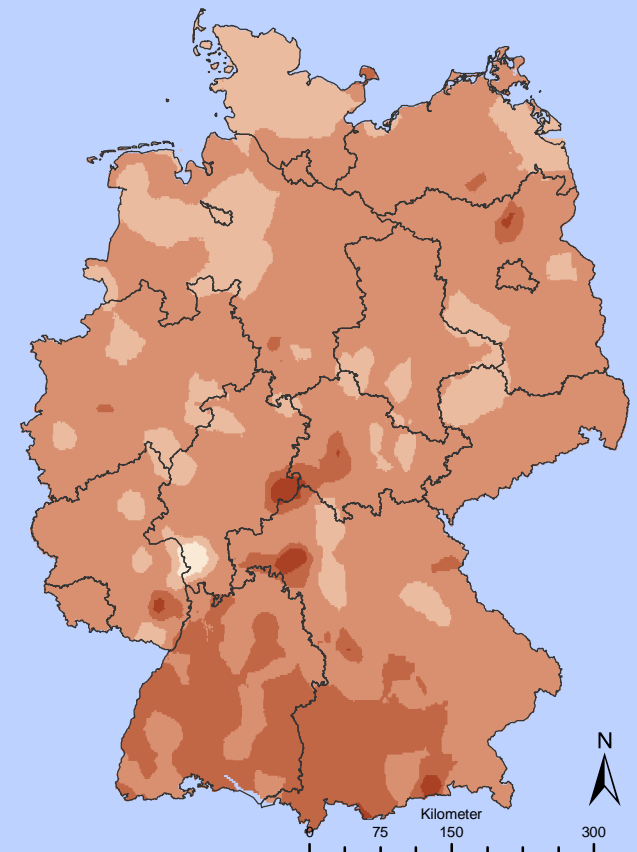
Modell: DWD
Szenario:
Realisierungen: 1
Aggregation: Mittelwert



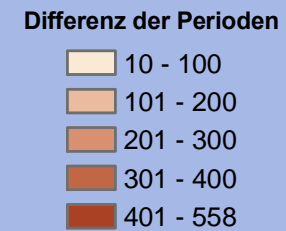
Zeitraum: 2061-2090



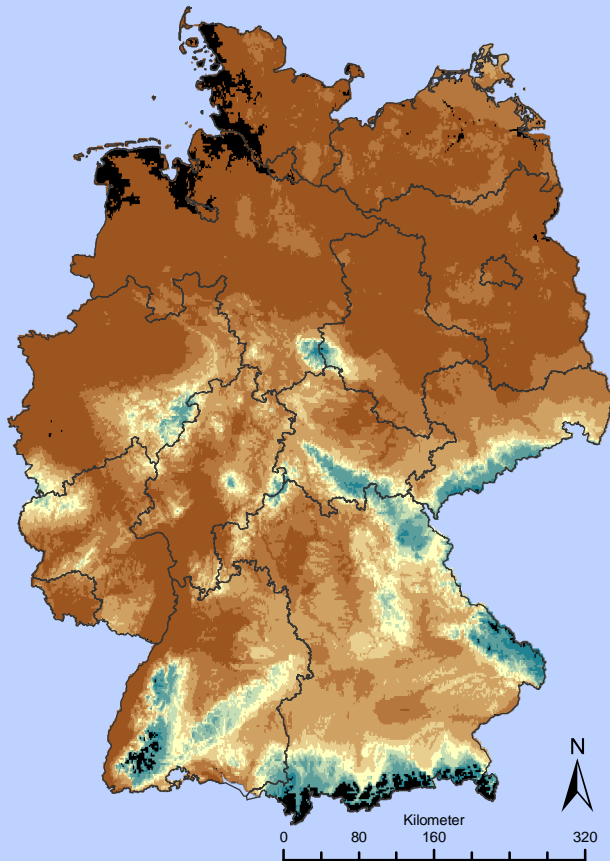
Modell: WETTREG
Szenario: A1B
Realisierungen: 10
Aggregation: Mittelwert



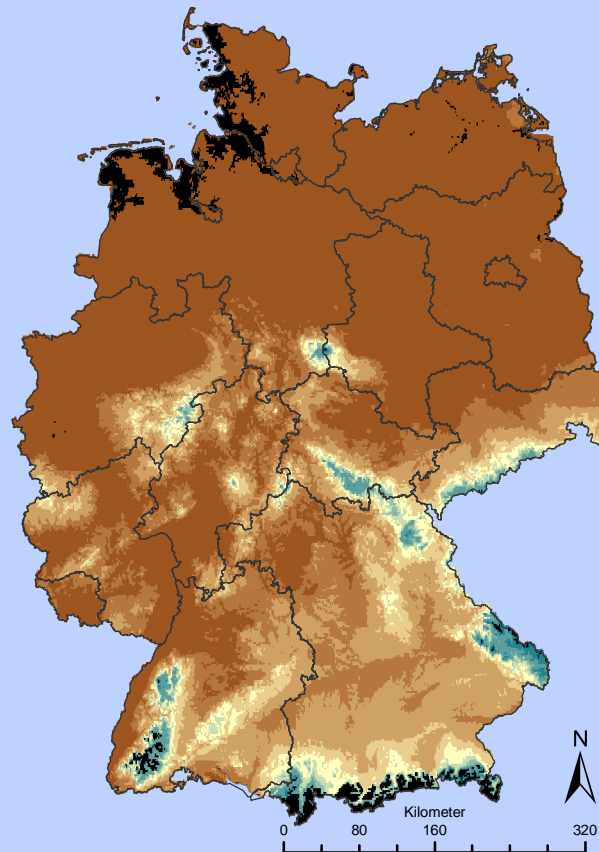
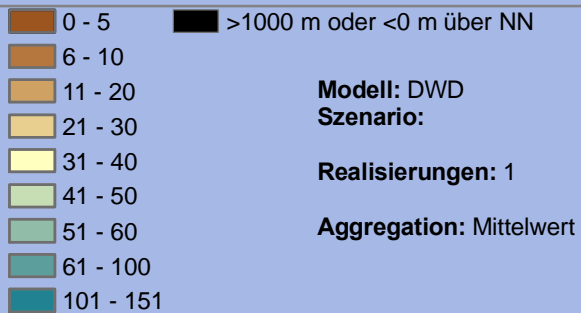
Änderung 2061-2090 zu 1971-2000



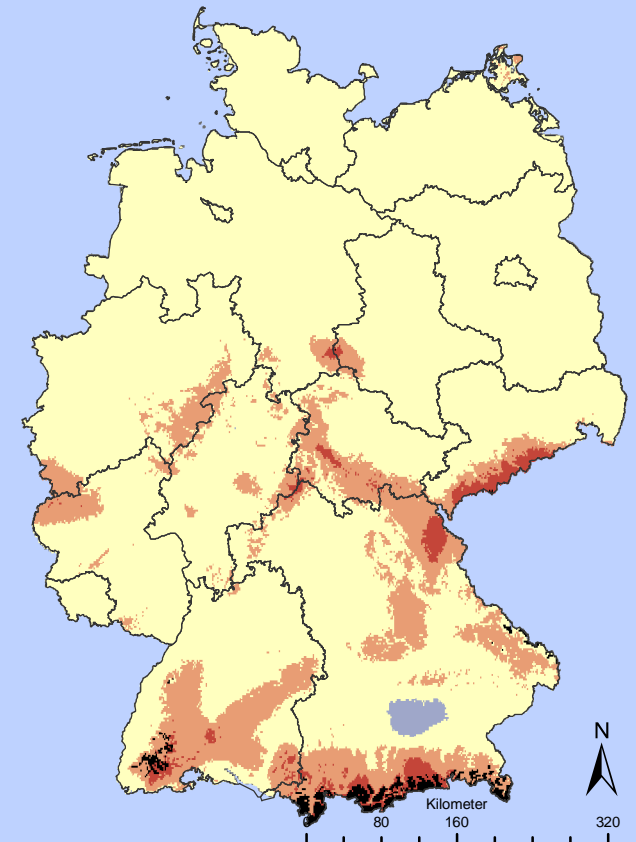
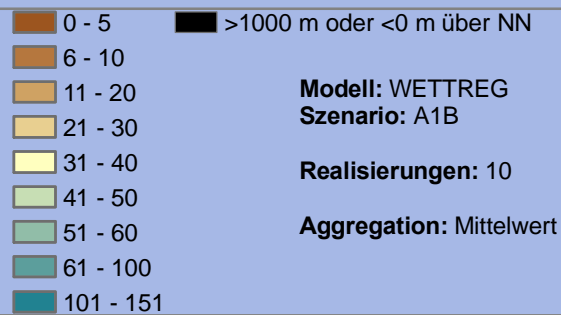
Anzahl der Tage mit einer Schneehöhe ≥ 10 cm



Zeitraum: 1971-2000

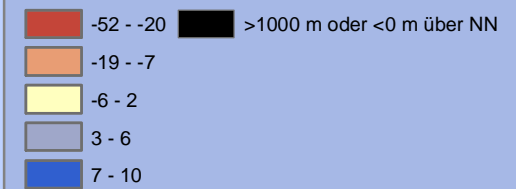


Zeitraum: 2031-2060

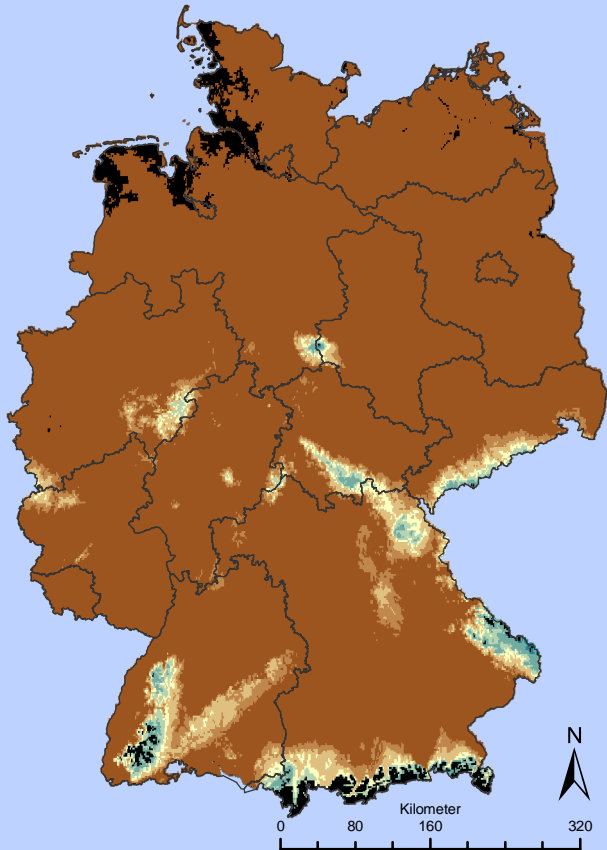


Änderung 2031-2060 zu 1971-2000

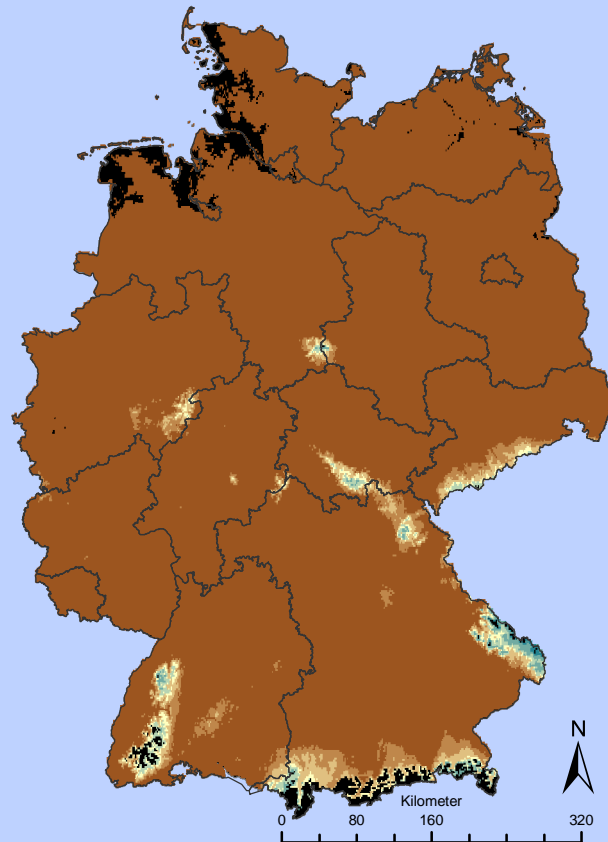
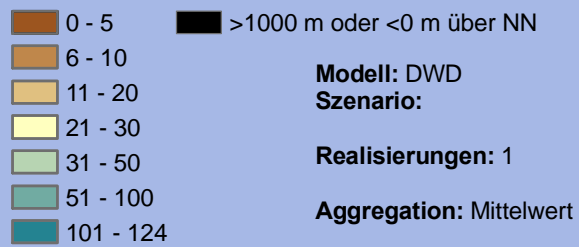
Differenz der Perioden



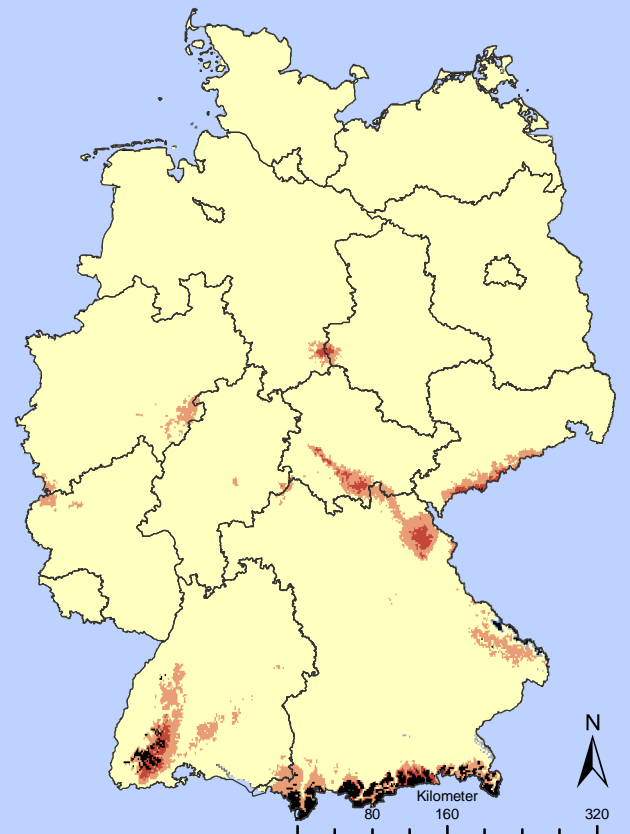
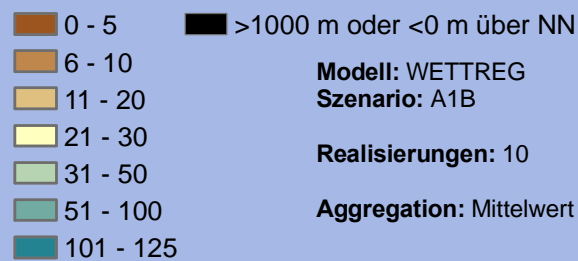
Anzahl der Tage mit einer Schneehöhe ≥ 30 cm



Zeitraum: 1971-2000

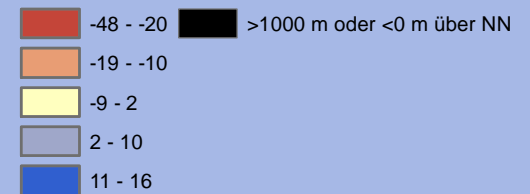


Zeitraum: 2031-2060

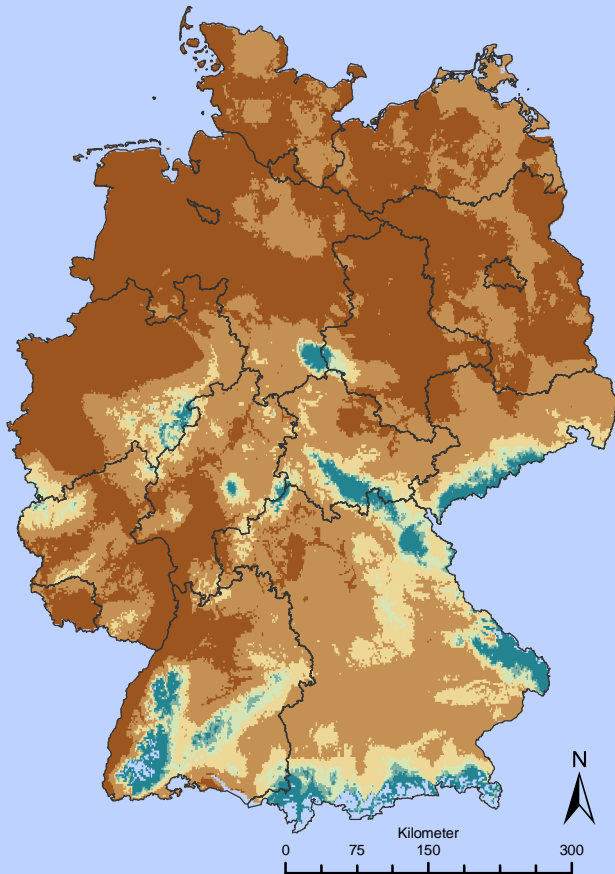


Änderung 2031-2060 zu 1971-2000

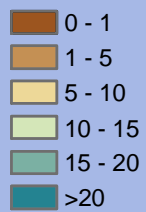
Differenz der Perioden



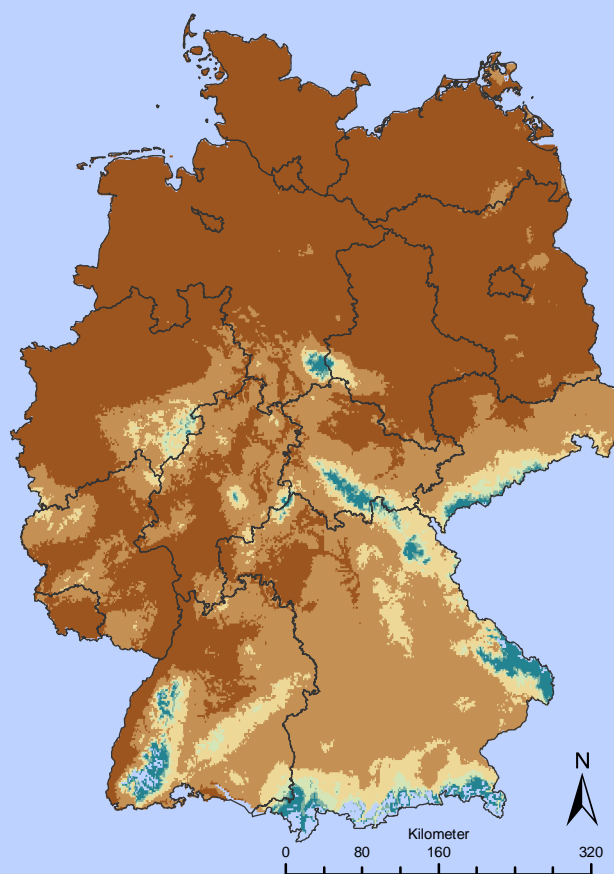
Durchschnittliche Schneehoehe in der Saison [cm]



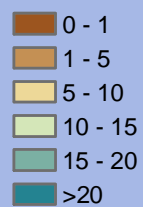
Zeitraum: 1971-2000



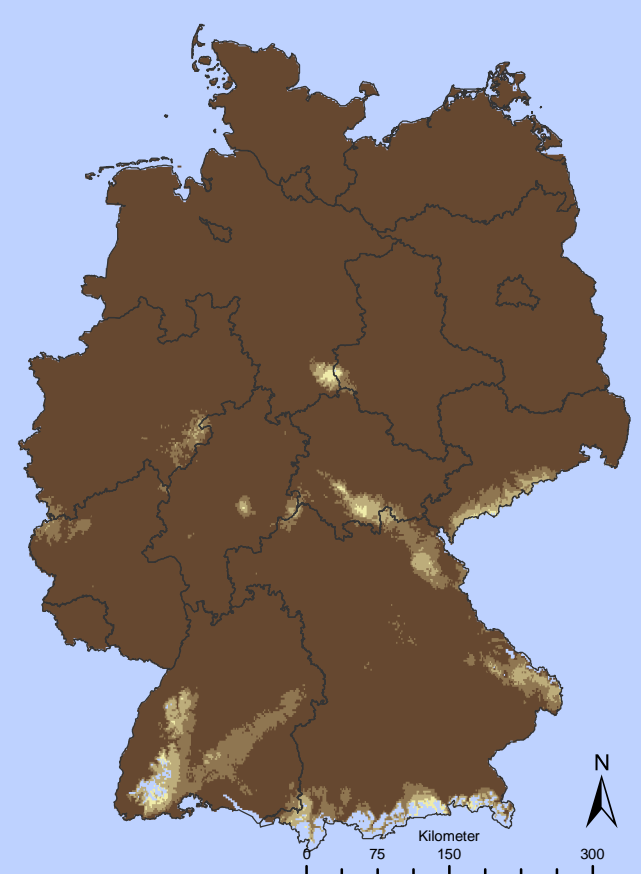
Modell: DWD
Szenario:
Realisierungen: 1
Aggregation: Mittelwert



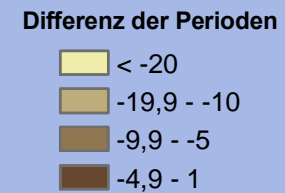
Zeitraum: 2031-2060



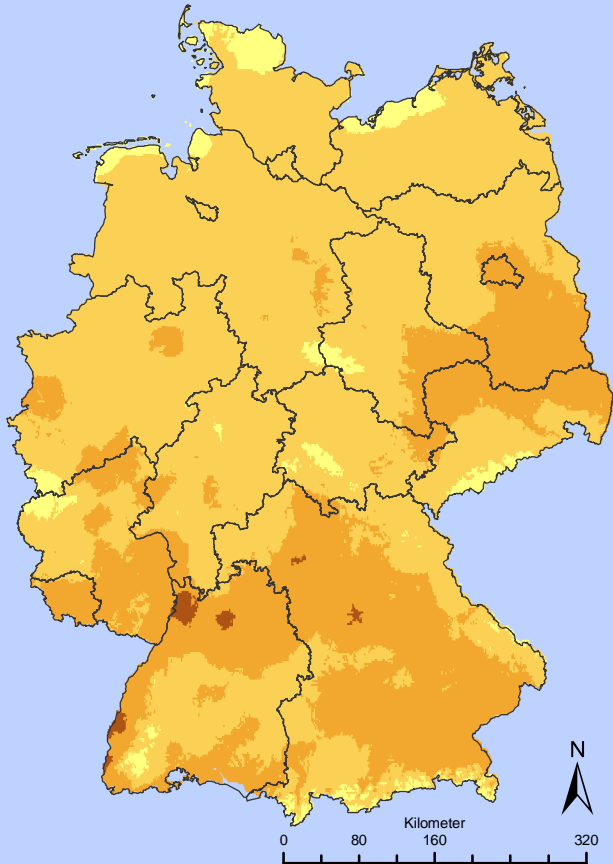
Modell: WETTREG
Szenario: A1B
Realisierungen: 10
Aggregation: Mittelwert



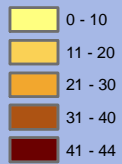
Änderung 2031-2060 zu 1971-2000



Anzahl potenzieller Badetage



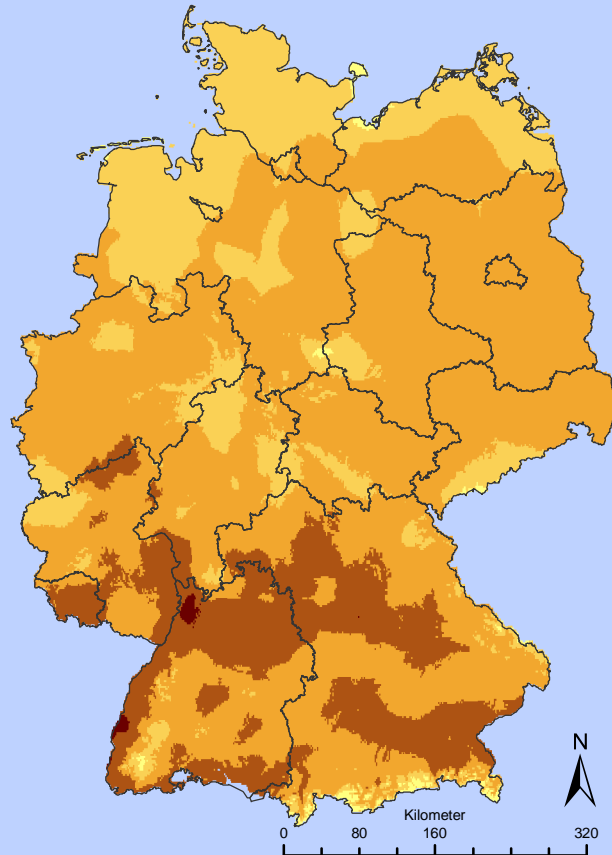
Zeitraum: 1971-2000



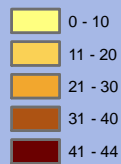
**Modell: DWD
Szenario:**

Realisierungen: 1

Aggregation: Mittelwert



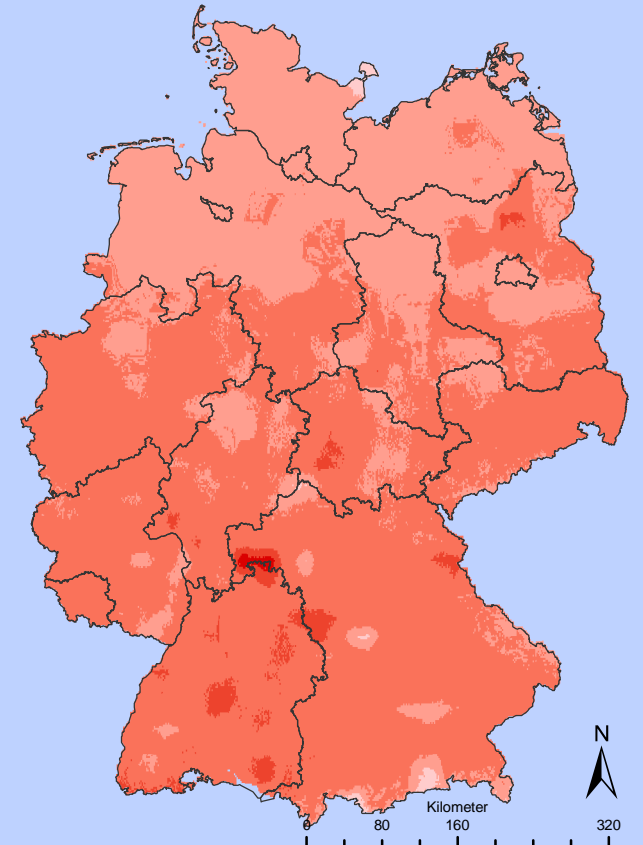
Zeitraum: 2031-2060



**Modell: WETTREG
Szenario: A1B**

Realisierungen: 10

Aggregation: Mittelwert



Änderung 2031-2060 zu 1971-2000

Differenz der Perioden

