



# ReKliEs-De

Regionale Klimaprojektionen Ensemble  
für Deutschland

## **Bericht zu Arbeitspaket 2:**

Feststellung der Nutzerbedarfe

### **Erstellt von:**

Katharina Bülow, Andreas Hänsler  
und Daniela Jacob

## Inhalt

1 Einleitung.....	3
2 Bedarfsanalyse.....	6
2.1 Die Nutzergruppen und Ihre Erwartungen an Klimainformationen.....	7
2.2 Klimaindizes .....	8
2.3 Zur Verfügung stehende Klimainformationen .....	11
2.4 Information zur Verlässlichkeit der Klimainformationen .....	12
2.5 Bedarf an „Bias“-Adjustierten Klimadaten.....	14
2.6 Datenformat der Klimadaten.....	14
2.7 Genauigkeiten der Daten zeitliche und räumliche Auflösung.....	14
2.8 Zeithorizonte.....	15
2.9 Fortbildung für Nutzer .....	15
3 Vom Klimawandel betroffene Sektoren und Bereiche .....	17
4 Fazit.....	23
Literatur .....	25
Anhang 1 Tabelle der Klimaindizes .....	32

# 1 Einleitung

Ziel des Projektes ReKliEs-De (Regionale Klimaprojektionen Ensemble für Deutschland) ist die Bereitstellung robuster Informationen über die Bandbreiten und Extreme der zukünftigen Klimaentwicklung in Deutschland für die Klimafolgenforschung und Politikberatung. Hierzu gehört neben der Generierung der wissenschaftlichen Erkenntnisse insbesondere auch die nutzerorientierte Aufbereitung der Modellergebnisse für die Verwendung in der Impact-Forschung. Systematische Vergleiche zu Ergebnissen früherer Projekte (z. B. ENSEMBLES) sind ebenso ein Teil des Projektes. Es wird geprüft, ob die neuen Ergebnisse im selben Bereich der zu erwartenden Änderungen liegen wie bisherige Ergebnisse oder ob sie neu einzuordnen sind. Dies dient insbesondere dazu, abzuschätzen, ob die bisher verwendeten Änderungssignale durch den Klimawandel für die Planung und Durchführung von Klimaschutz- und Klimaanpassungsmaßnahmen noch angemessen sind oder ob Risiken neu bewertet und Anpassungsmaßnahmen anders konzipiert oder priorisiert werden müssen. Ein weiteres Projektziel ist die Abschätzung der notwendigen minimalen Ensemblegröße zur Generierung robuster Aussagen. Zudem wird untersucht, ob und, wenn ja, welche systematischen Unterschiede es zwischen den Ergebnissen statistischer und dynamischer regionaler Klimamodelle gibt.

Die gemeinsame Projektdurchführung durch Forschungseinrichtungen (*Climate Service Center Germany* (GERICS), *Deutsches Klimarechenzentrum* (DKRZ), *Deutscher Wetterdienst* (DWD), *Potsdam Institut für Klimafolgenforschung* (PIK)), Universitäten (*Brandenburgische Technische Universität* (BTU), *Universität Hohenheim* (UHOH)) und eine Einrichtung der hessischen Landesverwaltung (*Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie* (HLUG)) sowie die bereits seit Antragstellung existierende Projektbegleitung durch zwei Bund-Länder-Arbeitskreise sorgen dafür, dass das Projekt zielgenau auf die Bedürfnisse der Nutzergruppen in der Klimafolgenforschung und der Politikberatung ausgerichtet wird. Das Verbundprojekt ReKliEs-De läuft vom 01.09.2014 bis 31.08.2017 und wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) finanziert.

Das Projekt ReKliEs-De ist in 6 Arbeitspakete unterteilt. Die Projekt-Koordination ist Arbeitspaket 1, die Nutzerbedarfe werden in Arbeitspaket 2 ausgewertet. In Arbeitspaket 3 werden vorhandene Klimaprojektionsergebnisse für Deutschland zusammengestellt und es findet eine Einordnung der neuen Ergebnisse statt. In Arbeitspaket 4 werden Klimaprojektionen (statistisch und dynamisch) durchgeführt, in

Arbeitspaket 5 werden die Daten nutzerorientiert aufbereitet und Arbeitspaket 6 ist die Ensemble Auswertungen.

Dieser Bericht gehört zu Arbeitspaket 2. Er stellt die Nutzerbedarfe und die ihnen dienlichen Informationen aus laufenden und bereits durchgeführten, überwiegend deutschen und europäischen Forschungsverbundprojekten zusammen. Es handelt sich um Forschungsprojekte, die sich mit der Auswertung von regionalen Klimamodelldaten beschäftigt haben. Den hier zusammengestellten Informationen liegen eine Literaturrecherche sowie die Prüfung von Projektberichten und Internetseiten zugrunde. Ziel von ReKliEs-De ist, die komplexen Klimainformationen auf die individuellen Nutzer abgestimmt darzustellen und die Daten bzw. die aus den Klimasimulationen abgeleiteten Größen bereitzustellen.

ReKliEs-De wird unter anderem hochaufgelöste Klimainformationen aus einem robusten Multimodell-Ensemble nutzerorientiert für die Entwicklung und die Planung der Deutsche Anpassungsstrategie (DAS) (Die Bundesregierung 2008, Schönthaler u. a. 2011, Umweltbundesamt 2015) bereitstellen. Die DAS schafft einen Rahmen zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels in Deutschland. Die Strategie legt den Grundstein für einen Prozess, in dem schrittweise mit den Bundesländern und anderen gesellschaftlichen Gruppen die Risiken des Klimawandels bewertet, der mögliche Handlungsbedarf benannt, die entsprechenden Ziele definiert und mögliche Anpassungsmaßnahmen entwickelt und umgesetzt werden sollen. Die Strategie gliedert sich in 13 Handlungsfelder und zwei Querschnittsthemen. Um die Ursache-Wirkungs-Beziehung zwischen Klimasignalen und möglichen Klimawirkungen zu visualisieren, wurden im Rahmen des Netzwerks für Vulnerabilität für jedes Handlungsfeld sogenannte Wirkungsketten erstellt. Diese verdeutlichen, welches Klimasignal welche möglichen Klimawirkungen beeinflusst, und beinhalten Hinweise auf Wechselbeziehungen zu anderen Handlungsfeldern (Adelphi/ PRC/ EURAC 2015).

In Kapitel 2 werden die Nutzergruppen der Klimainformationen und ihre Bedarfe sowie die Klimaindizes aus den Deutschen und Europäischen Forschungsverbundprojekten zusammengestellt. Erfasst werden die Informationen zur Art und Weise, wie die Klimaänderungsinformationen dargestellt wurden und welche Variablen und Klimaindizes mit welcher zeitlichen und räumlichen Auflösung für welche Zeithorizonte und mit welcher Genauigkeit verwendet wurden. Eine detaillierte Liste der Klimaindizes mit ihren Definitionen befindet sich in der Tabelle im Anhang. Im nächsten Kapitel 3 dieses Berichts werden die Vulnerabilitäten der Handlungsfelder der DAS beschrieben und die auf sie bezogenen Klimaindizes benannt, die aus

regionalen Klimasimulationen und Impact-Modellen berechnet wurden. Der Bericht schließt mit der Erläuterung ab, wie im Einzelnen die Nutzerbedarfe innerhalb des ReKliEs-De Projekts bedient werden können.

## 2 Bedarfsanalyse

Die Nutzergruppen von Klimainformationen und ihre genauen Bedarfe an Variablen, Klimaindizes sowie die Formate der benötigten Informationen und Daten (räumliche und zeitliche Auflösung sowie Zeithorizonte) wurden aus der Literatur ermittelt. Diese Zusammenstellung wurde um Informationen aus Projektberichten, Umfragen und Workshops sowie um die Angaben von Internetportalen der folgenden Projekte ergänzt:

- KLIMZUG (Biebeler u. a. 2014, KLIMZUG 2015, Rechid u. a. 2014)
- KLIFF (Beese & Aspelmeier 2014)
- KLIWAS (KLIWAS 2016)
- COST Action VALUE (value-cost 2012)
- EURO-CORDEX (EURO-CORDEX 2016)
- ARISCC (Nolte u. a. 2011)
- CLIPC (CLIPC 2016, Groot u. a. 2015a, 2015b)
- IMPACT2C (IMPACT2C 2015)
- IMPAKT (IMPAKT 2013)
- Climate for Culture (Climate for Culture 2015)
- European Environment Agency (EEA 2016, European Environmental Agency 2012)
- EUPORIAS (Mahlstein u. a. 2012)
- CLIM-RUN (CLIM-RUN 2014)
- IS-ENES Climate4Impact (Climate4Impact 2016)
- JPI Climate (Cortekar u. a. 2014)
- IPCC (Pascoe u. a. 2016)

## 2.1 Die Nutzergruppen und Ihre Erwartungen an Klimainformationen

Die Ergebnisse der Klimaforschung können abhängig von den Nutzerbedarfen in unterschiedlichen Datenformaten weiterverarbeitet werden. Das Projekt COST Action VALUE hat die Nutzer in drei Gruppen abhängig vom Klimadatenbedarf eingeteilt. In dem Projekt CLIPC wurden die Nutzerbedarfe ebenfalls nach Nutzergruppen unterteilt (Groot u. a. 2015a). Hier werden die Ergebnisse beider Projekte zusammengefügt.

- I. Naturwissenschaftler und Impact-Modellierer benutzen überwiegend die direkten Modellausgabedaten der globalen und regionalen Klimamodelle. Einige verwenden den direkten Modelloutput im netcdf-Format, anderen Anwendern (z. B. Impact-Modellierer, Behörden) sind teilweise technische Grenzen gesetzt. Sie können die großen Datenmengen und Datenformate der Klimamodelle nicht bearbeiten. Für sie sind aggregierte Ergebnisse im passenden Datenformat (z. B. Ascii) und bereits berechnete Klimaindizes nützlich. Andere Nutzer haben Erfahrungen mit Messdaten meteorologischer Messstationen (Temperatur, Niederschlag, Luftdruck, Sonnenscheindauer, Bedeckungsgrad) und benötigen daher die Ergebnisse der Klimasimulationen als Klimazeitreihen für einzelne Punkte.
- II. Wirtschaftswissenschaftler, Sozialwissenschaftler und Endnutzer aus dem privaten und staatlichen Sektor benötigen Informationen zur regionalen Änderung der Klimaindizes (z. B. Hitzeperioden, Extremniederschlagstage, Sturmtage, Dürreindex) und zu deren sich ändernden Eintrittswahrscheinlichkeiten. Diese Informationen können aus den regionalen Klimamodelltdaten oder Impact-Modellergebnissen stammen. Die Daten und bereits erstellte Graphiken der Ergebnisse werden verwendet.
- III. Entscheidungsträger und Programminitiatoren aus Wissenschaft und Wirtschaft sowie die Medien benötigen alle Informationen über die Klimaänderung verständlich, eindeutig, knapp und übersichtlich und speziell für ihren Bedarf dargestellt. Sie verwenden die Klimamodelltdaten nicht direkt.
- IV. Für gesellschaftliche Endnutzer scheinen, zusätzlich zu den bereits angeführten Formaten Informationsketten nützlich zu sein. Diese Informationsketten reichen vom beobachteten und projizierten

Klimaänderungssignal bis zu deren Einfluss auf das biophysikalische System und die sozialwirtschaftlichen Auswirkungen.

- V. Des Weiteren werden im Internet auf unterschiedlichen Plattformen gesammelte Fallbeispiele über beobachtete und prognostizierte Klimaänderungen für einen bestimmten Sektor und oder eine bestimmte Region zur Verfügung gestellt (CLIM-RUN 2014, climate-adapt 2016, EEA 2016). Dies deutet darauf hin, dass es auch hier einen Bedarf gibt.

Grundsätzlich benötigen alle Nutzer von Klimadaten genaue, auf ihre Bedürfnisse zugeschnittene und regional hochaufgelöste Produkte mit detaillierten Richtlinien, wie die Daten zu verwenden sind. Sie müssen für jeden Anwender bedarfsgerecht und klar verständlich aufbereitet sein (Die Bundesregierung 2008). Um diese Vorgaben zu erfüllen, ist es für die Datenbereitstellung wichtig, zu wissen, wofür die Klimainformationen benötigt werden (Bessembinder u. a. 2012). Ihre jeweilige Nutzbarkeit ist unabhängig davon, ob die Daten von einem Klimamodell oder einem Impactmodell stammen sorgfältig zu definieren (Bender & Schaller 2014).

Um die benötigten und je nach Nutzergruppe möglicherweise sehr unterschiedlichen Klimadaten bzw. Informationen passend zusammenzustellen, wird die Strategie empfohlen, das Format durch wiederholte Befragungen und Beratungen gemeinsam mit dem Nutzer zu entwickeln (Groot et al. 2015; Bessembinder 2012). Viele Nutzer legen großen Wert darauf, in den Prozess der Entwicklung der Klimainformation einbezogen zu werden. Sie wünschen sich eine ausführlichen Beratung und Betreuung sowie die Möglichkeit der wiederholten Rücksprache (Cortekar u. a. 2014, Keup-Thiel u. a. 2014).

## 2.2 Klimaindizes

Um den Zustand und die Veränderung des Klimasystems zu beschreiben eignen sich Klimaindizes. Alle Nutzergruppen haben einen Bedarf an Klimaindizes. Ein Klimaindex ist eine berechnete Größe. Jeder Klimaindex bezieht sich auf bestimmte Parameter und beschreibt nur einzelne Aspekte des Klimas. Es gibt daher eine Vielzahl von Klimaindizes, die in zahlreichen Veröffentlichungen definiert und untersucht wurden. Für jeden Klimaindex gibt es eine Definitionsgleichung, in der die sogenannten Klimaelemente verwendet werden. Das sind messbare Parameter, die die Eigenschaften des Klimasystems hauptsächlich beeinflussen, zum Beispiel atmosphärische Parameter wie Luftdruck, Lufttemperatur, Niederschlag oder



Sonneneinstrahlung, aber auch nicht-atmosphärische Parameter wie die Meeresoberflächentemperatur oder der Eisbedeckungsgrad (ICDC 2016). Sie werden auch als Essential Climate Variables (ECV) bezeichnet (Bojinski u. a. 2014, Deutscher Wetterdienst 2013).

Klimaindikatoren können aus beobachteten oder projizierten Größen berechnet werden. Mit ihnen lässt sich eine eindeutige Umweltveränderung, soziale oder wirtschaftliche Veränderung beschreiben, die mit dem Klimawandel in Verbindung steht. In dem Projekt CLIPC (Costa u. a. 2015) wurden drei Ebenen von Klimaindikatoren benannt:

1. Indikatoren, die das vergangene und zukünftige Klima wiedergeben, z. B. beschreiben die Änderung von Temperatur- und Niederschlagsextremen, arktische Eisbedeckung und der Meeresspiegelanstieg den menschlichen Einfluss auf die globale Energiebilanz.
2. Indikatoren, welche versuchen den Einfluss des Klimawandels auf das biophysikalische System zu quantifizieren z. B. eine Überflutungsgefahr, Ernteauffälle oder drohende Bodenerosionen.
3. Indikatoren, die den sozialen und wirtschaftlichen Wandel beschreiben der durch den Klimawandel entstanden ist, z. B. menschliche Opfer und wirtschaftliche Verluste durch Überschwemmungen oder Stürme.

Zur Analyse meteorologischer Extreme gibt es eine Vielzahl unterschiedlicher Verfahren. Eine relativ einfache und sehr anschauliche Möglichkeit bieten die sogenannten klimatischen Kenntage, bei denen es sich um Schwellenwertereignisse handelt. Es werden also Tage ausgewertet, an denen z. B. die Höchsttemperatur einen bestimmten Grenzwert überschreitet wie etwa die Anzahl der Sommertage mit einer Höchsttemperatur von mindestens 25°C (Sillmann u. a. 2013a, 2013b). Zum Beispiel werden in Untersuchungen der Vulnerabilität Deutschlands gegenüber dem Klimawandel neben der mittleren Änderung von Temperatur und Niederschlag die Änderung der Anzahl der Eistage, Hitzetage, Tage mit Niederschlag über 20 mm, 5-Tagessummen des Niederschlags und Perioden von 10 aufeinanderfolgenden Tagen ohne Niederschlag verwendet (Adelphi/ PRC/ EURAC 2015).

Eindeutige und sich als Standard entwickelnde Indizes sind von European Climate Assessment (Klein Tank 2013) und vom CCI/CLIVAR/JCOMM Expert Team (ET) on Climate Change Detection and Indices (ETCCDI) (ETCCDI 2016) definiert. Metadaten-Standards für Klimaindizes wurden in CLIPC festgelegt (Petrie u. a.

2016). Sie werden dazu verwendet, die in ReKliEs-De berechneten Indizes detailliert zu beschreiben und somit erfüllen die in ReKliEs-De berechneten Indizes die Voraussetzungen um über das Datenportal Earth System Grid Federation (ESGF) (ESGF 2016) zur Verfügung gestellt zu werden.

In der Tabelle im Anhang ist eine Auswahl von Klimaindizes mit Quellenangaben zusammengestellt, deren Berechnung präzise definiert ist, wie es das Erfordernis der Genauigkeit gebietet. Sie wurden den Forschungsverbundprojekten KLIWAS und KLIMZUG entnommen und ergänzt um die Indizes des European Climate Assessment (ECA), der European Environment Agency (EAA) und des Expert Team on Climate Change Detection and Indices (ETCCDI 2016, Sillmann u. a. 2013a) aus CLIVAR. Im Forschungsverbundprojekt KLIWAS wurden die Indizes überwiegend gemittelt für Teileinzugsgebiete des Rheins und die Europäischen Flusseinzugsgebiete berechnet. Je Klimaindex ist nur eine Quelle angegeben, auch wenn diese Parameter in vielen Projekten verwendet wurden.

Im Einzelnen handelt es sich um folgende vier Gruppen von Klimaindizes:

- I. Klimaindizes berechnet aus der Temperatur (Nummer 1 bis 34 der Tabelle): mittlere monatliche Temperatur, monatliches Temperaturminimum und Temperaturmaximum, jahreszeitliche mittlere Temperatur sowie Anzahl und Andauer von Sommer-, Hitze-, Kälte-, Frost- und Eistagen, tropischen Nächten, Sommertag und Tropennacht kombiniert, schwüle Sommertage und Kältestress. Weitere Klimaindizes sind: Vegetationsperiode, Anzahl und maximale Periode der Tage wärmer als 5°C, täglicher Temperaturbereich, NOAA-Hitzeindex, Heizgradtage und Tage mit Wechselfrost.

Weiter Temperaturindizes und Kombinationen von Indizes, für die keine genaue Definition vorlag, sind: Dürre im Frühjahr während der Vegetationsperiode, aufeinanderfolgende trockene und heiße Sommer (wichtig für Stadtbäume), Dauer vom Beginn der Vegetationsperiode bis zum nächsten Frost >15 Tage (mündliche Mitteilung), starke Temperaturschwankungen von Tag zu Tag (mündliche Mitteilung), Temperaturminimum zwischen -5 und -7 °C kombiniert mit Feuchte (Betonschädigung).

- II. Die Klimaindizes berechnet aus dem Niederschlag (Nummer 35 bis 52 der Tabelle) sind: monatliche, saisonale und jährliche Niederschlagshöhen, Niederschlagssumme und Anzahl der Tage > 1mm und deren Maximum. Außerdem: Anzahl der Trockentage und maximale Periode von

ununterbrochen aufeinanderfolgenden Trocken- und Nässetagen, Anzahl und Niederschlagsmenge feuchter und extrem feuchter Tage, Dürreindex und Zahl der Schneedeckentage.

- III. Klimaindizes berechnet aus der Windgeschwindigkeit und Richtung (Nummer 53-57 der Tabelle) sind: mittlere Windgeschwindigkeit, langjährige Häufigkeitsverteilung der Windrichtung und Stärke pro Monat, Starkwindtage und Sturmtage.
- IV. Des Weiteren werden häufig Klimavariablen wie Sonnenscheindauer, Globalstrahlung und bedeckte Tage verwendet (Nummer 58 bis 60 der Tabelle).

Ein hoher Bedarf für Mehrjahresindikatoren, die nicht in der Tabelle enthalten sind, besteht insbesondere im Bereich Biodiversität und für den Betrieb von Talsperren (Abfolge mehrerer trockener Jahre). Außerdem kann eine direkte Abfolge von schädlichen Ereignissen wichtig sein: Sturm im Winter, gefolgt von einem trocken-warmen Sommer und steigende Wassertemperaturen und Hochwasserrisiko im Frühling. Auch die Mehrjahresindikatoren sind noch eindeutig zu definieren.

Aufgrund fehlender Definition sind ebenfalls nicht in der Tabelle enthalten die Klimaindizes für lang anhaltende stark negative Wasserbilanz, Kombination aus Wind und Eisansatz, Windbruch, Kombination aus Wind und Trockenheit (wichtig für die Bodenerosion), Schnee und Temperaturabfall innerhalb weniger Tage, schneearme Winter (wichtig für Schädlingsbefall).

Alle in der Tabelle aufgeführten Indizes können aus Daten regionaler Klimamodelle ermittelt werden. In der Tabelle fehlen Indizes, die nicht aus regionalen Klimamodellen berechnet werden können, für folgende Bereiche: Luftqualität, Grundwasser und Wasserqualität und lokaler Meeresspiegelanstieg. Indizes für kurzfristige Vorhersagen und Warnsysteme sind ebenfalls nicht aufgeführt. Die in der Tabelle grau hinterlegten Klimaindizes werden durch die ReKliEs-De Partner berechnet und für alle Nutzer im Datenportal ESGF bereitgestellt.

## **2.3 Zur Verfügung stehende Klimainformationen**

Viele Nutzer wünschen sich eine Übersicht über alle zur Nutzung bereitstehenden Klimadaten und Beobachtungsdatensätze sowie Literatur- und Quellenangaben zur Verlässlichkeit und zum Gültigkeitsbereich der Klimadaten. Im Folgenden werden

Literatur und Internetportale benannt, welche für unterschiedliche Bedarfe Informationen bereitstellen.

Die Webplattform [www.klimanavigator.de](http://www.klimanavigator.de) zeigt den Nutzern aus Wirtschaft, Politik und Verwaltung und auch Anpassungsprojekten den Weg zu den Klimaforschungseinrichtungen und deren Wissen.

Im Projekt KLIMZUG wurde die Notwendigkeit der Begriffserklärung deutlich, daher entstand das „Vergleichende Lexikon“ (Bender & Schaller 2014).

Manche Nutzer brauchen zusätzlich zu den Daten auch die Software, die z. B. Zeitreihen oder Indizes erzeugt haben, um sie selbst nutzen zu können. Für diese Zwecke empfehlen sich folgenden Internetportale:

Die Internetseite von Infrastructure for the European Network for Earth System modelling (IS-ENES 2016) erklärt, wie man direkt den Modelloutput aus dem ESGF herunterladen kann.

Eine andere Internetseite [climate4impact](http://climate4impact.org) (Climate4Impact 2016) gibt eine umfangreiche Übersicht über regionale Klimasimulationen. Sie bietet Daten, Visualisierungsmethoden und Programme an, um Indizes zu berechnen. Die wichtigsten Informationen zur Auswertung von Klimasimulationen und Anwendungsbeispiele werden dort ebenso bereitgestellt. Diese Plattform ist für die I. und II. Nutzergruppe konzipiert worden und setzt umfangreiches Fachverständnis voraus.

Auf der Internetplattform European Climate Adaptation Platform ([climate-adapt](http://climate-adapt.eu) 2016) wurde eine umfangreiche Sammlung an wissenschaftlichen Veröffentlichungen und Fallstudien zum Klimawandel und zur Anpassung an den Klimawandel zusammengestellt. Ihr Partner ist die European Environment Agency. Sie hat unter anderem die Grundlagen für eine indikatorenbasierte Berechnung der Klimaänderung dokumentiert und bietet eine umfangreiche Sammlung an Fallstudien (European Environmental Agency 2012).

## **2.4 Information zur Verlässlichkeit der Klimainformationen**

Es besteht der Wunsch nach einer transparenten Datenverarbeitung. Das bedeutet freien Zugang zu den Daten und der Verarbeitungssoftware sowie in verständlicher Sprache erläuterte Vorgehensweisen. Auch Schwachstellen sollten dem Nutzer gegenüber klar benannt werden (Bender u. a. 2012).

Nutzer von Klimainformationen wollen die Unsicherheit der gelieferten Daten einschätzen können. Sie sollte bei allen Klimaänderungsinformationen mit angegeben werden. Die Nutzer von Klimainformationen benötigen Informationen bezüglich der Qualität des Anbieters der Information und der Qualität der zugrunde liegenden Klimadaten. Die Angabe eines Vertrauensbereichs der Klimadaten wird erwartet (Cortekar u. a. 2014, Manez u. a. 2013).

Klimaänderungsinformationen berechnet aus globalen und regionalen Klimamodellen besitzen Unsicherheiten. Im Folgenden werden Unsicherheiten und Möglichkeiten zum Umgang mit ihnen angesprochen.

Die weltweite Emissionsentwicklung von Treibhausgasen und Aerosolen ist nicht mit Sicherheit vorhersagbar. Die Höhe der Emissionen wird von zahlreichen Faktoren beeinflusst, insbesondere von der Entwicklung des Bevölkerungswachstums sowie von künftigen Änderungen der Landnutzung, von der Höhe des künftigen Wirtschaftswachstums, von der Entwicklung der Energiepreise und der Entwicklung und Anwendung emissionsarmer Technologien. Auch die Klimawirksamkeit der verschiedenen Treibhausgasemissionen und die komplizierten Rückkopplungseffekte in der Atmosphäre lassen sich derzeit nicht sicher bestimmen. Um mit diesen Unsicherheiten umzugehen, werden Emissionsszenarien vereinbart, deren zentrale Rahmendaten zuvor durch das IPCC definiert wurden.

Weil noch längst nicht alle klimatischen Vorgänge komplett verstanden sind, können die Modelle immer nur Annäherungen an die Wirklichkeit sein und niemals sämtliche Faktoren des Systems „Klima“ abbilden (Die Bundesregierung 2008).

Der nicht-lineare Charakter des Klimasystems äußert sich zum Beispiel in interner Variabilität, die durch Berechnungen mehrerer Realisationen eines Klimaszenarios mit einem Modell berechnet werden kann.

Um unterschiedliche Klimasensitivitäten der einzelnen Klimamodelle zu berücksichtigen werden viele globale bzw. regionale Modelle miteinander verglichen und es wird pro Emissionsszenario ein Multimodellensemble berechnet.

Zur Analyse des Anteils der Unsicherheit am regionalen Klimasignal, der durch die Regionalisierungsmethode beeinflusst ist, werden verschiedene dynamische und statistische Methoden verwendet, um Ergebnisse eines globalen Klimamodells in die Region zu bringen.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Gesamtunsicherheit von vielen einzelnen Beiträgen bestimmt wird. Je größer das vorhandene Ensemble von

Modellprojektionen ist (Multi-Model-Ensembles), umso besser lassen sich Unsicherheit und Variabilität der Modellergebnisse bewerten. Die Ergebnisse eines einzigen Modells reichen dazu nicht aus (Die Bundesregierung 2008).

## 2.5 Bedarf an „Bias“-Adjustierten Klimadaten

Nutzer wünschen ferner Klimadaten, die mit dem heutigen Klima vergleichbar sind. Abflussdaten eines Hydrologie-Modells sollten z. B. keinen „Bias“ haben. Für viele Impactmodelle muss eine „Bias“-Adjustierung der regionalen Klimamodellergebnisse durchgeführt werden. So wurden verschiedene Bias-Korrekturen der Variablen Temperatur und Niederschlag einiger EURO-CORDEX Simulationen vorgenommen und verglichen (Wilcke u. a. 2015). Einige dieser Ergebnisse werden bald im Datenportal ESGF zur Verfügung stehen.

## 2.6 Datenformat der Klimadaten

Damit die Nutzer der Gruppe I und II aus Klimadaten ein Multi-Modell-Ensemble zusammenstellen können, müssen die Daten sorgfältig aufbereitet zur Verfügung gestellt werden. Das heißt, die Datenformate müssen für bestimmte zeitliche und räumliche Auflösung einheitlich sein, die Daten müssen detailliert beschrieben werden (Metadaten) und sollten frei verfügbar sein. Der Datentransfer muss schnell sein.

Diese Bedingungen wurden für die Globalmodellldaten CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 5) sowie für Regionalmodellldaten aus CORDEX erfüllt. Die Daten sind über das Earth System Grid Federation (ESGF 2016) frei verfügbar und liegen im einheitlichen Datenformat mit präziser Beschreibung vor (Eaton u. a. 2009). Die ReKliEs-De Simulationsdaten sowie die berechneten Indizes werden ebenfalls im ESGF frei und im präzisen Format inklusive Metadaten zur Verfügung gestellt.

## 2.7 Genauigkeiten der Daten zeitliche und räumliche Auflösung

In der COST Action VALUE-Umfrage wurden benötigte Genauigkeiten der zukünftigen Änderung für einzelne Größen zusammengestellt: Niederschlag: 1mm, 5 - 10%, Temperatur: +/- 0.1 - 0.5 K, Wind: +/- 0.5 m/s, Strahlung: +/- 5%, relative Feuchte: 5%.

Für Extremereignisse wird eine gute Repräsentation erwartet. Das bedeutet für Überschwemmungen sind z. B. Angaben zur genauen räumlichen Ausdehnung notwendig.

Die Anforderungen an die horizontale Auflösung sind ganz unterschiedlich. Sie reichen für Rasterdaten von 20 km mal 20 km bis hin zu 100 m mal 100 m. Es können auch Informationen für einen genauen Ort (Punkt), z. B. für eine Klimastation, oder räumliche Gebietsmittel über NUTS-Regionen, Naturräume und Fluss-einzugsgebiete benötigt werden.

Die erforderliche zeitliche Auflösung reicht von stündlich und höher für extreme Niederschläge bis täglich, mehrtägig bis hin zu monatlich. Es kann auch die zeitliche Abfolge bestimmter Ereignisse bedeutend sein. Für die Berechnung der Pflanzenentwicklung sind Jahreszeiten, Vegetationsperioden und die Andauer von Frostperioden wichtig.

## 2.8 Zeithorizonte

Es sind verschiedene Zeithorizonte gefragt. Die Windenergiewirtschaft möchte z.B. eine Auskunft über Windcharakteristika im Zeitraum 2015 – 2020; die städtische Wasserbewirtschaftung braucht Informationen über extreme Niederschläge in dem Zeitraum von 2050 bis 2100 und der Küstenschutz will eine Auskunft über den Meeresspiegelanstieg im Zeitraum 2050 - 2200 (Bessembinder u. a. 2012). Für Infrastrukturen wie z. B. Kraftwerke und Straßen und für die Landwirtschaft werden Informationen bis 2050 gewünscht (Cortekar u. a. 2014).

Viele Gemeinden, Städte oder Dörfer sowie Verkehrsunternehmen benötigen außerdem Warnsysteme: Kurzfristige Warnungen vor extremen Wetterbedingungen für das Hitzetelefon oder Warnungen vor extremen Wetterbedingungen wie Starkregen, Schneefall oder Gewitter. Der Schienenverkehr hat zusätzlich Bedarf an Informationen über das zukünftige Auftreten von extremen Wetterbedingungen (Hessisches Ministerium für Umwelt Energie Landwirtschaft und Verbraucherschutz 2012).

## 2.9 Fortbildung für Nutzer

Viele Nutzer von Klimadaten benötigen eine Schulung, die ihnen vermittelt, wo und wie sie die Daten herunterladen können. Die Umfrage, die das Datenportal DDC vom IPCC zur Nutzbarkeit ihres Portals durchgeführt hat bestätigte, dass es sehr komplex

und für nicht-technische Nutzer schwer zu verstehen ist (Pascoe u. a. 2016). Aus dieser Umfrage ergab sich auch ein Bedarf für ein Nutzerhandbuch zu den Daten und dem Datenportal. Im Gespräch mit zukünftigen Nutzern der ReKliEs-De Daten und aus dem Projekt KLIMZUG, wurde deutlich, dass das heute als Standard propagierte Datenportal ESGF einigen ebenso wenig bekannt war, wie die Möglichkeiten, die das ESGF bietet.



### 3 Vom Klimawandel betroffene Sektoren und Bereiche

Veränderungen durch den Klimawandel sind bereits feststellbar (Hessisches Ministerium für Umwelt Energie Landwirtschaft und Verbraucherschutz 2012). Die Folgen des Klimawandels sind so vielfältig, dass kaum ein Bereich des gesellschaftlichen, politischen und wirtschaftlichen Lebens in den nächsten Jahren und Jahrzehnten unberührt bleiben wird (Adelphi/ PRC/ EURAC 2015).

In der Deutschen Anpassungsstrategie ist der Einfluss des Klimawandels in Bezug auf 13 Handlungsfelder dargestellt (Umweltbundesamt 2015).

Der Klimawandel hat bereits heute vielfältige direkte und indirekte Auswirkungen auf die **menschliche Gesundheit** (European Environmental Agency 2012). Eine hohe und eine niedrige Lufttemperatur können mit einer erhöhten Sterblichkeit der Bevölkerung verbunden sein (Corobov u. a. 2013, 2012, Fenner u. a. 2015, Hajat u. a. 2007, Jendritzky & Koppe 2014, Kovats u. a. 2014, Level 2009, Mahlstein u. a. 2015, Robine u. a. 2008). Witterungs- und Klimaveränderungen, z. B. Temperaturzunahme, sommerliche Hitzewellen und verstärkte UV-Einstrahlung, können dazu führen, dass Infektionskrankheiten sowie nichtübertragbare Krankheiten wie z. B. Allergien zunehmen oder sich die Symptome bei Herz-Kreislauf- und Atemwegserkrankungen verstärken. Hinzu kommt die Möglichkeit der Änderung der Trinkwasserqualität, denn bei steigenden Temperaturen wird die Bildung schädlicher Keime im Trinkwasser und in Badegewässern begünstigt. Extremereignisse wie Dürren, Brände, Stürme, Hochwasser, Lawinenabgänge oder Erdbeben sind eine unmittelbare Gefahr für Leib und Leben (Jakubicka u. a. 2010). Sie können außerdem zu sozialen und psychischen Belastungen und Störungen wie Stress, Angstzuständen und Depressionen führen. Hinzu kommt eine mögliche Ansiedlung von Tieren und Pflanzen, die für den Menschen Gesundheitsrisiken bergen, z. B. des Eichenprozessionsspinners, der Asiatische Tigermücke (ECDC 2016) und von Blaualgen in Badegewässern (Die Bundesregierung 2008, Schönthaler u. a. 2011).

Für Anpassungsmaßnahmen im Handlungsbereich menschliche Gesundheit können zahlreiche Daten aus Klimamodellen genutzt werden: Daten zur mittleren Temperatur, Anzahl von Hitzetagen, Dauer von Hitzeperioden und Anzahl von Tropennächten (Fenner u. a. 2015) sowie zu Frost und Kältetagen, außerdem der Hitze-Index (Temperatur, relative Feuchte (Maulbetsch 2010)), 90. und 99. Perzentil der täglichen Maximumtemperatur (Corobov u. a. 2013, 2012) und Daten zur Vegetationsperiode, Sonnenscheindauer sowie zu extremen Niederschlags-

ereignissen und extremen Stürmen (Gesundheit und Klimawandel 2014). Temperaturdaten aus Klimamodellen werden auch als Eingangsgröße in Impact-Modellen genutzt.

Ändern sich Temperatur und Niederschlag, ändert sich der natürliche **Wasserhaushalt** und damit auch der Rahmen für die **Wasserbewirtschaftung** und den **Küsten-** und **Meeresschutz**. Dauerhafter Schutz vor Meeresspiegelanstieg und extremen Hochwasserereignissen (Küste und Binnengewässer) sowie langfristige Nutzbarkeit und Bewirtschaftung der Wasserstraßen sind unabdingbar (BACC 2015; Belkin 2009; Philippart et al. 2011). Die Vorgaben der Wasserrahmenrichtlinie müssen eingehalten werden, denn Wasser ist ein Lebensraum für viele Tiere und Pflanzen. Der Klimawandel wird küstennahe und marine Ökosysteme beeinflussen (Halpern u. a. 2008). Wasser ist nicht nur ein wertvolles Lebensmittel, es ist auch für viele wirtschaftliche Aktivitäten unverzichtbar, z. B. als Kühlmedium in der Energiewirtschaft, Roh- und Betriebsstoff in der **Industrie** und im **Gewerbe**, als Verkehrsträger für die Schifffahrt oder für die Bewässerung landwirtschaftlicher Flächen oder auch für Erholung und Freizeit.

Klimamodellergebnisse liefern Informationen zur Temperaturentwicklung, Windgeschwindigkeit, Sturmhäufigkeit, zu Druck und mittlerem Niederschlag sowie zum maximalen Niederschlag und zu Trockenperioden. Sie können auch direkt und als Eingangsgröße für physikalische und biogeochemische Ozeanmodelle und Hydrologie-Modelle (KLIMZUG 2015, KLIWAS 2016) verwendet werden.

Die Attraktivität einer Touristenregion hängt stark vom lokalen Wetter und Klima ab. Hitzewellen, Dürren und Überschwemmungen haben einen direkten Einfluss auf den Sektor **Tourismus**. Einen indirekten Einfluss haben die Änderung der Wasserverfügbarkeit, Verlust an Biodiversität und Landschaftsästhetik, Änderung der landwirtschaftlichen Produktion (Lebensmittel- und Weintourismus), Anstieg von Naturkatastrophen, Küstenerosion, Überschwemmungen und Beschädigung der Infrastruktur (Simpson u. a. 2008). Für den Wintersport ist die Schneehöhe von Interesse (Dubois 2015). Die klimatischen Bedingungen für den menschlichen Komfort sind je nach Urlaubsaktivitäten und Erholungsbedürfnissen unterschiedlich.

Es wurden verschiedene Indizes für den Tourismussektor entwickelt (Amelung & Moreno 2009, Dubois u. a. 2016, Perch-Nielsen 2010, Scott u. a. 2016): Tourism Climate Index (TCI) (Mieczkowski 1985), Holiday Climate Index (HCI) (Scott u. a. 2016) und Climate Index for Tourism (CIT) (de Freitas u. a. 2008).

Klimaindizes für den Tourismus verwenden Tagesmaximumtemperatur, Tagesmitteltemperatur, Minimum der relativen Feuchte, relative Feuchte, Niederschlag, Sonnenscheindauer und mittlere Windgeschwindigkeit (IMPACT2C 2015). Wichtig sind außerdem die Indizes Schneedeckentage und Anzahl der Tropennächte.

Die **Fischerei** hängt von den natürlichen Fischbeständen ab. Diese können durch den Klimawandel ihr räumliches Vorkommen, die Größe und die Artengemeinschaft ändern (Doney u. a. 2012). Küstennahe Produktionsstätten werden durch den Meeresspiegelanstieg und durch Sturmfluten bedroht. Die Binnenfischerei ist abhängig von der Wasserverfügbarkeit. Aus den Klimamodellen stammende Niederschlagsdaten, Wind- und Temperaturdaten können als Eingangsdaten für ein Fischerei-Modell (EEA 2016) verwendet werden.

Die Bodenbildung, Bodeneigenschaften und Bodenfunktionen sind vom Klimawandel stark betroffen, weil **Bodenprozesse** wie Verwitterung, Mineralneubildung, Zersetzung, Humus- und Gefügebildung von der Temperatur und der Wasserverfügbarkeit abhängig sind (Crozier 2010, Huggel u. a. 2010, Stoffel u. a. 2014). Daten zur möglichen zukünftigen Änderung des Bodenwasservorrats in landwirtschaftlich genutzten Böden und der Bodentemperaturen berechnen Impactmodelle, die die Daten der Klimasimulationen als Eingangsgrößen verwenden.

In der **Landwirtschaft** werden sich durch extrem trockene und heiße Witterungsperioden, Starkregenereignisse oder auch Hagelschläge, Schnee und Frost nachteilige Folgen für die Produktion ergeben (Brisson u. a. 2010, Ciais u. a. 2005, Kristensen u. a. 2011, Tubiello u. a. 2007). Hitzewellen beeinträchtigen die Gesundheit von Nutztieren sowie deren Produktivität (Arzt u. a. 2010, Crescio u. a. 2010). Die Auswahl der Pflanzen und Bewässerungstechniken müssen an die Klimaänderung angepasst werden.

Für die Landwirtschaft wichtige Klimaindizes sind Dauer und Beginn der Vegetationsperiode, Globalstrahlung, Temperatur, Hitzeperioden, Anzahl der Frosttage bzw. frostfreier Tage, Niederschlag und Verschiebung von Regenperioden, Anzahl nasser Tage und Schneedeckentage, Extremniederschläge, Dürreindex (SPI) und Dauer von Trockenperioden, welche direkt (Bender u. a. 2012) oder als Eingangsgrößen für Impactmodelle verwendet werden können (EEA 2016).

Durch den Klimawandel kann sich die **biologische Vielfalt** ändern. Modelle für die zukünftige Entwicklung von Pflanzenarten und den Vogelbestand beruhen häufig auf einem beobachteten Trend. Für dessen zukünftige Änderung werden die Temperatur

und andere Daten aus Klimamodellen verwendet. Ein Indikator-Beispiel ist die phänologische Veränderung bei Wildpflanzenarten (Umweltbundesamt 2015). Mit einem ökologischen Nischenmodell (generalized linear model) kann die Entwicklung von Schmetterlingsarten sowie der für die Larven notwendigen Pflanzen unter Klimaänderungsbedingungen berechnet werden (European Environmental Agency 2012).

**Wälder** können sich nur eingeschränkt an Umweltänderungen (Hitze, Trockenheit, Stürme) anpassen oder sind durch Waldbrände bedroht (Institute for Environment and Sustainability Land Management and Natural Hazards Unit 2008). Es wird nicht nur der einzelne Baum geschwächt, sondern das gesamte Waldökosystem gestört. Trockenheits- und Sturmschäden sowie großflächiger Schädlingsbefall können zu Qualitätseinbußen des Holzes und zu Ertragsminderungen führen. Das nach größeren Schadereignissen zumeist große Angebot an Holz auf dem Markt hat zudem häufig einen Preisverfall zur Folge. In der **Forstwirtschaft** ist eine langfristige Planung notwendig. Die Klimamodelldaten zu Temperatur und Niederschlag und die Klimaindizes Anzahl nasser Tage, Dauer von Trockenperioden, Dürreindex, Anzahl der Frosttage, Anzahl der Schneedeckentage, Waldbrandindex (Deutscher Wetterdienst 2016, Hoffmann & Rotter 2009, Van Wagner 1987) können für Planung in der Forstwirtschaft verwendet werden und dienen als Eingangsgrößen für Forstwirtschaftsmodelle.

In Zukunft werden **Gebäude** (Baumaterial) an Hitzeperioden, Hagel, Stürme, Starkniederschläge, Hochwasser, Bodensenkungen und Erdbeben angepasst werden müssen (Corti u. a. 2009, Dolinar u. a. 2010). Neben den Auswirkungen der Klimaänderung auf einzelne Gebäude kommt es zusätzlich zu stadtklimatischen Veränderungen wie zum Beispiel zur Überwärmung von Innenstädten. Linderung einer klimatisch bedingten Verstärkung der Aufheizung der Städte kann durch geeignete Architektur sowie Stadt- und Landschaftsplanung erzielt werden. Die **regionale Raumordnung** und **Bauleitplanung** können die Freihaltung von Frisch- und Kaltluftentstehungsgebieten sowie Abflussbahnen im Rahmen der Siedlungsentwicklung einplanen. Des Weiteren können sie die Flächennutzung so steuern, dass extreme Wetter- und Witterungsereignisse und ihre Folgen gemindert werden. Alle Informationen über extrem hohe Temperaturen oder Hochwasser können in die Planung einfließen. Informationen zur künftigen, diesbezüglichen Klimaentwicklung liefern die Klimaindizes Sturmtage, Starkwindtage, extrem feuchte Tage, Häufigkeitsverteilung der Mehrtagessummen des Niederschlags, Hitzetage und deren Andauer und die Ergebnisse von Modellen für Stadtklima.

**Verkehr** und **Verkehrsinfrastruktur** wurden durch Wetter und Witterungsextreme in den vergangenen Jahren stark beeinträchtigt (Koetse & Rietveld 2009, Oslakovic u. a. 2012). Zu den Beeinträchtigungen und beeinträchtigten Bereichen gehören Aquaplaning, Straßenentwässerung, Tunnelbauwerke, Rutschungen, Brückenschäden, Eis, Sturm und Schädigung des Materials (Schienen, Asphalt und Beton) (Die Bundesregierung 2008, Lindgren u. a. 2009). Die Nutzbarkeit der Binnenwasserstrassen hängt entscheidend von der nutzbaren Wassermenge ab (Jonkeren u. a. 2014, KLIWAS 2016).

Für die Ermittlung des Einflusses veränderter Temperatureinwirkung auf den Straßenoberbau und die Schiene wurden Klimamodellergebnisse der Temperatur und des Niederschlags verwendet (Auerbach u. a. 2014, Falkenstein u. a. 2014) und die Klimaindizes Anzahl der Sommertage, heißen Tage und deren Andauer, jährliche maximale Temperatur, Frost-Tau-Wechsel, Niederschläge >10 mm/h oder 20 mm/d. Zur Ermittlung von Hangrutschungen wurden monatliche Niederschlagssummen, Niederschlagstage pro Monat > 20 mm, Anzahl der Tage pro Monat mit einer Tagesmitteltemperatur  $\leq 0^{\circ}\text{C}$  und die längste zusammenhängende Anzahl an Tagen mit einer Tagesmitteltemperatur  $< -5^{\circ}\text{C}$  verwendet.

Durch Extremwetterereignisse wie Stürme, Frost und starken Schneefall kann die Versorgungsstruktur der **Energiewirtschaft** geschädigt werden. Niedrige Wasserstände in Flüssen beeinträchtigen den Schiffstransport von Brennstoffen zum Kraftwerk und auch die Kühlleistung für deren Betrieb. Zusätzlich können Beeinträchtigungen durch Hitzeperioden, Trocken- und Dürreperioden mit Auswirkung auf den Wasserhaushalt, Starkregen, Sturmböen, Hagel und Blitzschlag auftreten. Steigende Temperaturen beeinflussen den Energieverbrauch für Kühlung und Heizen von Wohnräumen und Arbeitsstätten (Isaac & van Vuuren 2009).

Informationen für die Energiewirtschaft zur künftigen Klimaentwicklung liefern die Klimaindizes Sturmtage, Starkwindtage, Zahl der Schneedeckentage, feuchte und extrem feuchte Tage, Häufigkeitsverteilung der Mehrtagessummen des Niederschlags, Dürreindex, Temperatur, Hitze-, Frost-, Eistage und deren Andauer (Cortekar & Groth 2013). Niedrigwasserstände in Flüssen und ein steigendes Hochwasserrisiko in den Frühlingsmonaten lassen sich durch Hydrologie-Modelle berechnen, die regionale Klimamodelldaten als Eingangsgrößen verwenden.

**Die Versicherungen und Finanzwirtschaft** rechnen in allen Handlungsbereichen mit steigenden Schäden durch Extremereignisse wie zum Beispiel Hagel, Stürme, Dürren und Extremniederschlag (Botzen u. a. 2010, Dough u. a. 2012).

Die Klimaindizes extrem feuchte Tage (zum Beispiel das 99. Perzentil der täglichen Niederschlagsmenge), Starkwind- und Sturmtage können einschlägige Informationen für die zukünftige Klimaentwicklung bereitstellen.

## 4 Fazit

Die in ReKliEs-De erzeugten Klimasimulationen und berechneten Indizes sollen Nutzern zugänglich gemacht werden, um Projekte und Arbeiten im Bereich Klimawandelanpassung zu unterstützen. Die Zusammenstellung der Nutzerbedarfe ist daher ein notwendiger Arbeitsschritt, um zu gewährleisten, dass Daten verwendet werden können. Allerdings können nicht alle Nutzerbedarfe gedeckt werden. Im Folgenden wird zusammengestellt, welche Nutzerbedarfe ReKliEs-De erfüllen wird und welche Nutzerbedarfe noch nicht erfüllbar sind.

Der Bedarf an einem großen Ensemble von Klimasimulationen wird in ReKliEs-De durch neue Simulationen unterstützt. Die in ReKliEs-De berechneten Modellergebnisse und Indizes liegen auf dem EURO-CORDEX Gitter vor. Das ReKliEs-De-Ensemble kann daher noch um alle EURO-CORDEX Simulationen vergrößert werden. Je größer das vorhandene Ensemble von Modellprojektionen ist, desto besser lassen sich Unsicherheit und Variabilität der Modellergebnisse bewerten.

In ReKliEs-De wird ein Nutzerhandbuch zur Interpretation von regionalen Klimasimulationen verfasst. Die verwendeten Modelle werden besprochen, so dass im Interesse der Transparenz die Nutzer die Unterschiede innerhalb des Ensembles nachvollziehen und verstehen können. Im Nutzerhandbuch wird dementsprechend auch Auskunft über die Qualität der Daten gegeben.

Die Modellergebnisse sowie die Indizes sind nach dem vorgegebenen Standard (Eaton u. a. 2009, Petrie u. a. 2016) formatiert und werden im ESGF zu freier Verfügung gestellt. Die horizontale Auflösung beträgt 12 km und die zeitliche Auflösung ist täglich vom Jahr 1950 bis zum Jahr 2100. Die Nachfrage nach einem Ensemble an hochaufgelösten Simulationen (geringer als 12 km) und stündlichem Modelloutput kann zurzeit aus technischen Gründen nicht erfüllt werden. Jedoch werden innerhalb von ReKliEs-De vereinzelt hochaufgelöste (horizontale Auflösung 1 - 3 km) Episodensimulationen durchgeführt. Die Ergebnisse werden veröffentlicht, die Daten werden aber nicht zugänglich gemacht. Es soll geprüft werden, ob sich aus deren Ergebnissen Gefährdungsgrößen (Konvektionspotential, Starkniederschlagspotential, Sturzflutpotential, Blitzpotential, Hagelpotential (Brendel u. a. 2014)) ableiten lassen und neue Indikatoren entwickelt werden können.

In Bezug auf die Anforderungen der Vergleichbarkeit mit Beobachtungsdaten gilt, dass es keine universelle Bias-Adjustierung gibt. Es gibt jedoch zahlreiche spezielle

Verfahren, welche mit unterschiedlichen Methoden und separat verschiedene klimatologische Variablen korrigieren. Innerhalb von ReKliEs-De werden Bias-Adjustierungen durchgeführt und dem Nutzer zur Verfügung gestellt. Sie ergänzen die bereits von anderen Projekten bereitgestellten bias-adjustierten Datensätze im Datenportal ESGF.

Die Klimaindizes, die hier zusammengestellt wurden, werden überwiegend innerhalb des ReKliEs-De Projekts berechnet. Die Indizes, die im ESGF zur Verfügung gestellt werden, sind in der Tabelle im Anhang grau hinterlegt. Es wird während der Laufzeit des Projekts laufend geprüft, ob sich weitere von Nutzern gewünschte Indizes berechnen lassen.

Für viele Nutzer ist es wichtig, in den Prozess der Entwicklung der Klimainformation einbezogen zu werden. Sie wünschen sich eine ausführlichen Beratung und Betreuung sowie die Möglichkeit der wiederholten Rücksprache. In ReKliEs-De wurde u. a. zu diesem Zweck ein Workshop durchgeführt. Dort wurden erste Projektergebnisse vorgestellt. So können die Nutzer während der Projektlaufzeit Einfluss auf die Art und Weise der Darstellung der Ergebnisse nehmen. Um zusätzlich die Kenntnisse zur nutzerorientierten Auswertung zu vertiefen, wird ein persönlicher Kontakt zu einzelnen Nutzer aufgenommen.

Während der Durchführung von ReKliEs-De könnten ferner neue Informationen zur Art der genutzten Klimadaten (z. B. Indizes, zeitliche und horizontale Auflösung, Zeithorizont, Datenformat) auf zurzeit entstehenden Internetportalen zur Verfügung gestellt werden. Das könnte dazu beitragen, die Simulationsergebnisse noch geeigneter aufzubereiten. Vorerst werden aber die Indizes aus den Klimasimulationen berechnet, die gut dokumentiert und definiert sind.

Durch die in ReKliEs-De berechneten Indizes können die Klimaänderungsinformationen im *Fortschrittsbericht zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel* (Die Bundesregierung 2015) aktualisiert werden, denn sie beruhen auf den aktuellen statistischen und dynamischen Regionalmodellern unter Verwendung der neuen RCP Szenarien.



## Literatur

- Adelphi/ PRC/ EURAC (2015): Vulnerabilität Deutschlands gegenüber dem Klimawandel. Umweltbundesamt. Climate Change 24/2015 1–688.
- Amelung, B., Moreno, A. (2009): Impacts of climate change in tourism in Europe. PESETA-Tourism study, European Commission Joint Research Centre Institute for Prospective Technological Studies Contact information. doi:10.2791/3418.
- Arzt, J., White, W.R., Thomsen, B. V, Brown, C.C. (2010): Agricultural diseases on the move early in the third millennium. *Veterinary pathology* 47, 15–27. doi:10.1177/0300985809354350.
- Auerbach, M., Herrmann, C., Krieger, B. (2014): Klimawandel und Straßenverkehrsinfrastruktur 531–539.
- BACC Author Team (2015): Second Assessment of Climate Change for the Baltic Sea Basin, Regional Climate Studies. Springer International Publishing, Cham. doi:10.1007/978-3-319-16006-1.
- Beese, F., Aspelmeier, S. (2014): - Klimafolgenforschung in Niedersachsen Abschlussbericht.
- Belkin, I.M. (2009): Rapid warming of Large Marine Ecosystems. *Progress in Oceanography* 81, 207–213. doi:10.1016/j.pocean.2009.04.011.
- Bender, S., Bowyer, P., Schaller, M. (2012): Bedarfsanalyse Klimawandel Fragen an die Land- und Wasserwirtschaft. CSC Report 4, 72.
- Bender, S., Schaller, M. (2014): Vergleichendes Lexikon. - Wichtige Definitionen, Schwellenwerte und Indices aus den Bereichen Klima, Klimafolgenforschung und Naturgefahren. Climate Service Center 126.
- Bessembinder, J., Street, R., Themeßl, M., Baños, E., Guisasola, D., Decluse, P., Benestad, R. (2012): Guidance to support the identification and assessment of users' requirements.
- Biebeler, H., Bardt, H., Chrischilles, E., Mahammadzadeh, M., Striebeck, J. (2014): Wege zur Anpassung an den Klimawandel - Regionale Netzwerke, Strategien und Maßnahmen.
- Blenkinsop, S., Fowler, H.J. (2007): Changes in European drought characteristics projected by the PRUDENCE regional climate models. *International Journal of Climatology* 27, 1595–1610. doi:10.1002/joc.1538.
- Bojinski, S., Verstraete, M., Peterson, T.C., Richter, C., Simmons, A., Zemp, M. (2014): The concept of essential climate variables in support of climate research, applications, and policy. *Bulletin of the American Meteorological Society* 95, 1431–1443. doi:10.1175/BAMS-D-13-00047.1.
- Botzen, W.J.W., van den Bergh, J.C.J.M., Bouwer, L.M. (2010): Climate change and increased risk for the insurance sector: A global perspective and an assessment for the Netherlands. *Natural Hazards* 52, 577–598. doi:10.1007/s11069-009-9404-1.

- Brendel, C., Brisson, E., Heyner, F., Weigl, E., Ahrens, B. (2014): Bestimmung des atmosphärischen Konvektionspotentials über Thüringen, Berichte des Deutschen Wetterdienstes.
- Brisson, N., Gate, P., Gouache, D., Charmet, G., Oury, F., Huard, F. (2010): Why are wheat yields stagnating in Europe? *Field Crops Research* 119, 201–212.
- Ciais, P., Reichstein, M., Viovy, N., Granier, A., Ogée, J., Allard, V., Aubinet, M., Buchmann, N., Bernhofer, C., Carrara, A., Chevallier, F., De Noblet, N., Friend, a D., Friedlingstein, P., Grünwald, T., Heinesch, B., Keronen, P., Knohl, A., Krinner, G., Loustau, D., Manca, G., Matteucci, G., Miglietta, F., Ourcival, J.M., Papale, D., Pilegaard, K., Rambal, S., Seufert, G., Soussana, J.F., Sanz, M.J., Schulze, E.D., Vesala, T., Valentini, R. (2005): Europe-wide reduction in primary productivity caused by the heat and drought in 2003. *Nature* 437, 529–533. doi:10.1038/nature03972.
- CLIM-RUN (2014): CLIM-RUN [Webseite]. URL: <http://www.climrun.eu/>.
- climate-adapt (2016): climate-adapt [Webseite]. URL: <http://climate-adapt.eea.europa.eu/>.
- Climate4Impact (2016): Climate4Impact [Webseite]. URL: <https://climate4impact.eu/impactportal/general/index.jsp>.
- Climate for Culture (2015): Climate for Culture [Webseite]. URL: <http://www.climateforculture.eu/>.
- CLIPC (2016): CLIPC [Webseite]. URL: <http://www.clipc.eu/>.
- Corobov, R., Sheridan, S., Ebi, K., Opopol, N. (2013): Warm Season Temperature-Mortality Relationships in Chisinau (Moldova). *International Journal of Atmospheric Sciences* 2013, 1–9. doi:10.1155/2013/346024.
- Corobov, R., Sheridan, S., Opopol, N., Ebi, K. (2012): Heat-related mortality in Moldova: the summer of 2007. *INTERNATIONAL JOURNAL OF CLIMATOLOGY* 33, 2551–2560.
- Cortekar, J., Groth, M. (2013): Der deutsche Energiesektor und seine mögliche Betroffenheit durch den Klimawandel Synthese der bisherigen Aktivitäten und Erkenntnisse, CSC Report 14.
- Cortekar, J., Máñez, M., Zölch, T. (2014): CSC Report 16 Klimadienstleistungen in Deutschland Eine Analyse der Anbieter und Anwender. CSC Report 16.
- Corti, T., Muccione, V., Köllner-Heck, P., Bresch, D., Seneviratne, S.I. (2009): Simulating past droughts and associated building damages in France. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions* 6, 1463–1487. doi:10.5194/hessd-6-1463-2009.
- Costa, L., Hildén, M., Kropp, J., Böttcher, K., Swart, R., Otto, J., McCormick, N., Lückenkötter, J., Keup-thiel, E., Törhönen, A., Attila, J., Pirtonen, H., Mattila, O., Pöyry, J., Sanchez, E. (2015): CLIPC: A review of climate impact indicators across themes: Description of strengths, weaknesses, technical requirements and mismatches from user expectations 1–74.

- Crescio, M.I., Forastiere, F., Maurella, C., Ingravalle, F., Ru, G. (2010): Heat-related mortality in dairy cattle: A case crossover study. *Preventive Veterinary Medicine* 97, 191–197. doi:10.1016/j.prevetmed.2010.09.004.
- Crozier, M.J. (2010): Deciphering the effect of climate change on landslide activity: A review. *Geomorphology* 124, 260–267. doi:10.1016/j.geomorph.2010.04.009.
- de Freitas, C.R., Scott, D., McBoyle, G. (2008): A second generation climate index for tourism (CIT): Specification and verification. *International Journal of Biometeorology* 52, 399–407. doi:10.1007/s00484-007-0134-3.
- Deutscher Wetterdienst (2016): Deutscher Klimaatlas [Webseite]. doi:[http://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaatlas/klimaatlas\\_node.html](http://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaatlas/klimaatlas_node.html).
- Deutscher Wetterdienst (2013): German Climate Observing Systems. Inventory report on the Global Climate Observing System (GCOS).
- Die Bundesregierung (2015): Fortschrittsbericht zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel.
- Die Bundesregierung (2008): Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel.
- Dolar, M., Vidrih, B., Kajfež-Bogataj, L., Medved, S. (2010): Predicted changes in energy demands for heating and cooling due to climate change. *Physics and Chemistry of the Earth* 35, 100–106. doi:10.1016/j.pce.2010.03.003.
- Doney, S.C., Ruckelshaus, M., Emmett Duffy, J., Barry, J.P., Chan, F., English, C.A., Galindo, H.M., Grebmeier, J.M., Hollowed, A.B., Knowlton, N., Polovina, J., Rabalais, N.N., Sydeman, W.J., Talley, L.D. (2012): Climate Change Impacts on Marine Ecosystems. *Annual Review of Marine Science* 4, 11–37. doi:10.1146/annurev-marine-041911-111611.
- Dough, C., Havlicek, T., Lindman, C., Manghnani, V., Pessel, J., Stryker, R. (2012): Determining the Impact of Climate Change on Insurance Risk and the Global Community.
- Dubois, G. (2015): PRO-SNOW. EUPORIAS D42.1, 1–21.
- Dubois, G., Ceron, J.P., Dubois, C., Dolores Frias, M., Herrera, S. (2016): Reliability and usability of tourism climate indices. *Earth Perspectives* 3, 8. doi:10.1186/s40322-016-0034-y.
- Eaton, B., Gregory, J., Centre, H., Office, U.K.M., Drach, B., Taylor, K., Hankin, S., Caron, J., Signell, R. (2009): NetCDF Climate and Forecast ( CF ) Metadata Conventions. Forecast.
- ECDC (2016): European Centre for Disease Prevention and Control [Webseite]. URL: <http://ecdc.europa.eu/en/Pages/home.aspx>.
- EEA (2016): European Environment Agency [Webseite]. URL: <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators>.
- ESGF (2016): Earth System Grid Federation [Webseite]. URL: <http://esgf.llnl.gov/>.
- ETCCDI (2016): Expert Team (ET) on Climate Change Detection and Indices [Webseite]. URL: <http://etccdi.pacificclimate.org/>.
- EURO-CORDEX (2016): EURO-CORDEX [Webseite]. URL: <http://euro-cordex.net/index.php.en>.

- European Environmental Agency (2012): Climate Change, impacts and vulnerability in Europe 2012. EEA 12/2012. doi:10.2800/66071.
- Falkenstein, M., Poschadel, S., Joiko, S. (2014): Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen.
- Fenner, D., Mücke, H.-G., Scherer, D. (2015): Innerstädtische Lufttemperatur als Indikator gesundheitlicher Belastungen in Großstädten am Beispiel Berlins. Umwelt und Mensch - Informationsdienst 1, 30–38.
- Gesundheit und Klimawandel (2014): Gesundheit und Klimawandel. Climate Service Center 2.0.
- Groot, A., Swart, R., Hygen, H.O., Benestad, R., Cauchy, A., Betgen, C., Dubois, G. (2015a): User requirements, Clipc deliverable (D -N°: 2.1).
- Groot, A., Swart, R., Hygen, O., Benestad, R. (2015b): User requirements, Clipc deliverable (d -n°: 2.2).
- Hajat, S., Kovats, R.S., Lachowycz, K. (2007): Heat-related and cold-related deaths in England and Wales: who is at risk? Occupational and environmental medicine 64, 93–100. doi:10.1136/oem.2006.029017.
- Halpern, B.S., Walbridge, S., Selkoe, K.A., Kappel, C. V., Micheli, F., D'Agrosa, C., Bruno, J.F., Casey, K.S., Ebert, C., Fox, H.E., Fujita, R., Heinemann, D., Lenihan, H.S., Madin, E.M.P., Perry, M.T., Selig, E.R., Spalding, M., Steneck, R., Watson, R. (2008): A Global Map of Human Impact on Marine Ecosystems. Science 319, 948–952. doi:10.1126/science.1149345.
- Hessisches Ministerium für Umwelt Energie Landwirtschaft und Verbraucherschutz (2012): Strategie zur Anpassung an den Klimawandel in Hessen.
- Hoffmann, E., Rotter, M. (2009): Arbeitspapier zur Vorbereitung des Stakeholderdialogs zu Chancen und Risiken des Klimawandels. Verkehrsinfrastruktur. 11.
- Huggel, C., Fischer, L., Schneider, D., Haeblerli, W. (2010): Research advances on climate-induced slope instability in glacier and permafrost high-mountain environments. Geographica Helvetica 65, 146–156. doi:10.5194/gh-65-146-2010.
- ICDC (2016): Integrated Climate Data Center [Webseite]. URL: <https://icdc.cen.uni-hamburg.de/daten/climate-indices.html>.
- IMPACT2C (2015): IMPACT2C [Webseite]. URL: <http://impact2c.hzg.de/>.
- IMPAKT (2013): Integriertes Maßnahmenprogramm zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels im Freistaat Thüringen.
- Institute for Environment and Sustainability Land Management and Natural Hazards Unit (2008): Forest fires in Europe 2008 - report no. 9.
- IS-ENES (2016): Infrastructure for the European Network of Earth System Modelling [Webseite]. URL: <https://verc.enes.org/data/data-metadata-service/search-and-download/cordex-access>.

- Isaac, M., van Vuuren, D.P. (2009): Modeling global residential sector energy demand for heating and air conditioning in the context of climate change. *Energy Policy* 37, 507–521. doi:10.1016/j.enpol.2008.09.051.
- Jakubicka, T., Vos, F., Phalkey, R., Marx, M., Guha-Sapir, D. (2010): Health impacts of floods in Europe.
- Jendritzky, G., Koppe, C. (2014): Die Auswirkungen von thermischen Belastungen auf die Mortalität. *Warnsignale Klima: Gesundheitsrisiken. Gefahren für Pflanzen, Tiere und Menschen.*
- Jonkeren, O., Rietveld, P., van Ommeren, J., te Linde, A. (2014): Climate change and economic consequences for inland waterway transport in Europe. *Regional Environmental Change* 14, 953–965. doi:10.1007/s10113-013-0441-7.
- Keup-Thiel, E., Bender, S., Groth, M., Hennemuth, B., Schuck-Zöller, S. (2014): Service für Anpassungsprojekte, in: Biebeler, H., Bardt, H., Chrischilles, E., Mahammadzadeh, M., Striebeck, J. (Hrsg.), *Wege zur Anpassung an den Klimawandel.* Institut der deutschen Wirtschaft Köln Medien GmbH, S. 29–41.
- Klein Tank, A. (2013): European Climate Assessment & Dataset, Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD). Royal Netherlands Meteorological Institute KNMI 46.
- KLIMZUG (2015): KLIMZUG [Webseite]. URL: <http://www.klimzug.de/index.php>.
- KLIWAS (2016): KLIWAS [Webseite]. URL: [http://www.kliwas.de/KLIWAS/DE/Home/homepage\\_node.html](http://www.kliwas.de/KLIWAS/DE/Home/homepage_node.html).
- Koetse, M.J., Rietveld, P. (2009): The impact of climate change and weather on transport: An overview of empirical findings. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 14, 205–221. doi:10.1016/j.trd.2008.12.004.
- Kovats, R.S., Valentini, R., Bouwer, L.M., Georgopoulou, E., Jacob, D., Martin, E., Rounsevell, M., Soussana, J. (2014): Europe. *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* 1267–1326.
- Kristensen, K., Schelde, K., Olesen, J.E. (2011): Winter wheat yield response to climate variability in Denmark. *The Journal of Agricultural Science* 149, 33–47. doi:10.1017/S0021859610000675.
- Level, D. (2009): Deliverable D4 : Compilation of existing guidelines , surveillance , early warning & adaptation plans 1–38.
- Lindgren, J., Jonsson, D.K., Carlsson-Kanyama, A. (2009): Climate adaptation of railways: Lessons from Sweden. *European Journal of Transport and Infrastructure Research* 9, 164–181.
- Mahlstein, I., Bhend, J., Spirig, C., Liniger, M., Torralba, V., Lowe, R., Garcia, M., Ballester, J., Rodo, X., Creswick, J., Bedia, J., Fernández, J., Magariño, M.E., Golding, N., Calmanti, S. (2015): Provide methodology to calculate ciis and their skill.

- Mahlstein, I., Bhend, J., Spirig, C., Liniger, M., Torralba, V., Lowe, R., Garcia, M., Ballester, J., Rodo, X., Creswick, J., Bedia, J., Fernández, J., Magariño, M.E., Golding, N., Calmanti, S., Buontempo, C., Beulant, A.-L., Photiadou, C., Bojariu, R., Dascalu, S., Gothard, M., Calmanti, S. (2012): Provide methodology to calculate ciis and their skill.
- Manez, M., Zolch, T., Cortekar, J. (2013): Mapping of Climate Service Providers Theoretical Foundation and Empirical Results : A German Case Study - CSC Report 15. CSC Report 15, 54 pages.
- Maulbetsch, D. (2010): Auswertung von Gesundheitsbelastung unter einem zukünftigen Klima mit Hilfe eines einfachen Belastungsindex.
- Mieczkowski, Z. (1985): The Tourism Climatic Index: A method of evaluating world climates for tourism. *The Canadian Geographer/Le Géographe canadien* 29, 220–233. doi:10.1111/j.1541-0064.1985.tb00365.x.
- Nolte, R., Kamburow, C., Rupp, J. (2011): ARISCC Adaptation of Railway Infrastructure to Climate Change.
- Oslakovic, I.S., ter Maat, H., Hartmann, A., Dewulf, G. (2012): Climate Change and Infrastructure Performance: Should We Worry About? *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 48, 1775–1784. doi:10.1016/j.sbspro.2012.06.1152.
- Pascoe, C., Carter, T., Cohen, S., Insarov, G., Stockhause, M., Warren, R., Webb, A. (2016): IPCC DDC User Survey 2015 : Summary and Results 3, 26–27.
- Perch-Nielsen, S.L. (2010): The vulnerability of beach tourism to climate change-an index approach. *Climatic Change* 100, 579–606. doi:10.1007/s10584-009-9692-1.
- Petrie, R., Radojevic, M., Barring, L., Juckes, M., Mihajlovski, A., Nikulin, G., Page, C. (2016): CLIPC: Metadata standards for climate impact indicators for publication in the CLIPC portal 1–16.
- Philippart, C.J.M., Anadón, R., Danovaro, R., Dippner, J.W., Drinkwater, K.F., Hawkins, S.J., Oguz, T., O’Sullivan, G., Reid, P.C. (2011): Impacts of climate change on European marine ecosystems: Observations, expectations and indicators. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 400, 52–69. doi:10.1016/j.jembe.2011.02.023.
- Rechid, D., Petersen, J., Schoetter, R., Jacob, D. (2014): Klimaprojektionen für die Metropolregion Hamburg. *Berichte aus den KLIMZUG-NORD Modellgebieten*, Band 1.
- Robine, J.M., Cheung, S.L.K., Le Roy, S., Van Oyen, H., Griffiths, C., Michel, J.P., Herrmann, F.R. (2008): Death toll exceeded 70,000 in Europe during the summer of 2003. *Comptes Rendus - Biologies* 331, 171–178. doi:10.1016/j.crv.2007.12.001.
- Schönthaler, K., Andrian-Werburg, S. von, Nickel, D., Pieck, S., Tröltzsch, J., Küchenhoff, H., Rubenbauer, S. (2011): Entwicklung eines Indikatorensystems für die Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS) 240. doi:10.1007/SpringerReference\_224302.

- Scott, D., Rutt, M., Amelung, B., Tang, M. (2016): An inter-comparison of the Holiday Climate Index (HCI) and the Tourism Climate Index (TCI) in Europe. *Atmosphere* 7, 23–28. doi:10.3390/atmos7060080.
- Sillmann, J., Kharin, V. V., Zhang, X., Zwiers, F.W., Bronaugh, D. (2013a): Climate extremes indices in the CMIP5 multimodel ensemble: Part 1. Model evaluation in the present climate. *Journal of Geophysical Research Atmospheres* 118, 1716–1733. doi:10.1002/jgrd.50203.
- Sillmann, J., Kharin, V. V., Zwiers, F.W., Zhang, X., Bronaugh, D. (2013b): Climate extremes indices in the CMIP5 multimodel ensemble: Part 2. Future climate projections. *Journal of Geophysical Research Atmospheres* 118, 2473–2493. doi:10.1002/jgrd.50188.
- Simpson, M.C., Gössling, S., Scott, D., M, H.C., Gladin E, M.C. (2008): *Climate Change Adaptation and Mitigation in the Tourism Sector: Frameworks, Tools and Practices*, Tourism. doi:978-92-807-2921-5.
- Stoffel, M., Tiranti, D., Huggel, C. (2014): Climate change impacts on mass movements - Case studies from the European Alps. *Science of the Total Environment* 493, 1255–1266. doi:10.1016/j.scitotenv.2014.02.102.
- Tubiello, F.N., Soussana, J.-F., Howden, S.M. (2007): Crop and pasture response to climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 104, 19686–90. doi:10.1073/pnas.0701728104.
- Umweltbundesamt (2015): *Monitoringbericht 2015 - zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel - Bericht der Interministeriellen Arbeitsgruppe Anpassungsstrategie der Bundesregierung*, Umweltbundesamt.
- value-cost (2012): *RacheWhite paper on climate data for end-user*.
- Van Wagner, C.E. (1987): Development and structure of the Canadian forest fire weather index system, *Forestry*.
- Weder, C.M. (2012): *Erstellung einer Statistik über Extremereignisse und Klimaveränderungen in Hessen*.
- Wilcke, R., Bärring, L., Braconnot, P., Otto, J., Erik, J., Clifford, D. (2015): *CLIPC Deliverable 6.1 Climate model data for Europe*.

## Anhang 1 Tabelle der Klimaindizes

In Tabelle 1 ist eine Auswahl von Klimaindizes aufgeführt. Ein Gitterpunkt repräsentiert ein horizontales Gebiet mit ca. 12 x 12 km Kantenlänge. Das ist die horizontale Auflösung der regionalen Klimamodelle. Die grau hinterlegten Indizes werden in ReKliEs-De berechnet und im Datenportal ESGF zur Verfügung gestellt. In der letzten Spalte der Tabelle findet man Beispiele für die Handlungsfelder der Deutschen Anpassungsstrategie, in denen sie verwendet wurden. Sie sind – in alphabetischer Reihenfolge - wie folgt abgekürzt:

- B      Bodenprozesse
- BG     Bauwesen ,Gebäude, regionale Raumordnung und Bauleitplanung
- bV     biologischen Vielfalt
- E      Energiewirtschaft
- F      Fischerei
- IG     Industrie und Gewerbe
- L      Landwirtschaft
- mG    menschliche Gesundheit
- T      Tourismus
- V      Verkehr und Verkehrsinfrastruktur
- VF     Versicherung und Finanzwirtschaft
- WF    Wälder und Forstwirtschaft
- W      Wasserhaushalt, Wasserbewirtschaftung, Küsten- und Meeresschutz

	Index Name	Zeitlich (räumlich)	Index Definition	Einheit	Quelle	Sektoren
	Temperatur					
1	mittlere monatliche Lufttemperatur bzw. Minimum und Maximum	12 Monatsmittel pro Zeitscheibe und Gitterpunkt	2 m Temperatur	°C	KLIWAS	mG, W, IG, T, B, L, bV, WF, BG, V, E, VF
2	mittlere Lufttemperatur pro Jahreszeit	4 jahreszeitliche Mittel pro Zeitscheibe und Gitterpunkt	2 m Temperatur	°C	KLIWAS	mG, W, IG, T, B, L, bV, WF, BG, V, E, VF
3	Standardabweichung der mittleren monatlichen Lufttemperatur	12 Standardabweichungen der Monatsmittel pro Zeitscheibe und Gitterpunkt	2 m Temperatur	°C	KLIWAS	W



	Index Name	Zeitlich (räumlich)	Index Definition	Einheit	Quelle	Sektoren
4	Hitzetage	Jahressumme pro Zeitscheibe und Gitterpunkt	$T_{max} \geq 30^{\circ}\text{C}$	Tage	(Weder 2012)	mG, T, BG, V, E
5	Frosttage	Jahressumme pro Zeitscheibe und Gitterpunkt	$T_{min} < 0^{\circ}\text{C}$	Tage	(Weder 2012)	mG, T, L, WF, V, E
6	Eistage	Jahressumme pro Zeitscheibe und Gitterpunkt	$T_{max} < 0^{\circ}\text{C}$	Tage	ETCCDI	mG, T, V, E
7	tropische Nächte	Jahressumme pro Zeitscheibe und Gitterpunkt	$T_{min} > 20^{\circ}\text{C}$	Tage	ETCCDI	mG, T
8	Sommertage	Jahressumme pro Zeitscheibe und Gitterpunkt	$T_{max} > 25^{\circ}\text{C}$	Tage	ETCCDI	mG, T, BG, V
9	Summe der schwülen Sommertage	Jahressumme pro Zeitscheibe und Gitterpunkt	$T_{max} > 25^{\circ}\text{C}$ , rel. Feuchte $> 80\%$	Tage	(Weder 2012)	mG, T
10	Sommertag und Tropennacht kombiniert	Jahressumme pro Zeitscheibe und Gitterpunkt	$T_{max} > 25^{\circ}\text{C}$ , $T_{min} > 20^{\circ}\text{C}$	Tage	(Weder 2012)	mG, T
11	Vegetationsperiode	Jahressumme pro Zeitscheibe und Gitterpunkt: $T = ((T_{min} + T_{max})/2)$ , Anzahl der Tage zwischen dem 1. Auftreten von mindestens 6 zusammenhängenden Tagen mit $T > 5^{\circ}\text{C}$ und dem ersten auftreten (nach dem 1. Juli) von 6 zusammenhängenden Tagen $T < 5^{\circ}\text{C}$ .		Tage	ETCCDI	L, WF
11a	Tage $> 5^{\circ}\text{C}$	Jahressumme pro Zeitscheibe und Gitterpunkt	Tagesmitteltemperatur $> 5^{\circ}\text{C}$	Tage	KLIMZUG	L, WF
11b	maximale Periode $> 5^{\circ}\text{C}$	Jahressumme pro Zeitscheibe und Gitterpunkt	Maximale Anzahl zusammenhängender Tage mit Tagesmitteltemperatur $> 5^{\circ}\text{C}$	Tage	KLIMZUG	L, WF
12	täglicher Temperaturbereich	$DTR_j = \sum_{n=1}^I (TX_{ij} - TN_{ij})/I$		$^{\circ}\text{C}$	ETCCDI	
13	kalte Nächte	pro Zeitscheibe und Gitterpunkt: Prozent der Tage an denen das Tagesminimumtemperatur $T_n < T_{n10}$ ist. $T_{n10}$ ist das 10. Perzentil der Tagesminimumtemperatur im Referenzzeitraum.		%	ETCCDI	mG, T

	Index Name	Zeitlich (räumlich)	Index Definition	Einheit	Quelle	Sektoren
14	kalte Tage	pro Zeitscheibe und Gitterpunkt: Prozent der Tage an denen das Tagesmaximumtemperatur $T_x < T_{x10}$ ist. $T_{x10}$ ist das 10. Perzentil der Tagesmaximumtemperatur im Referenzzeitraum.		%	ETCCDI	mG, T
15	warme Nächte	pro Zeitscheibe und Gitterpunkt: Prozent der Tage an denen das Tagesmaximumtemperatur $T_n > T_{n90}$ ist. $T_{n90}$ ist das 90. Perzentil der Tagesminimumtemperatur im Referenzzeitraum.		%	ETCCDI	mG, T
16	warme Tage	pro Zeitscheibe und Gitterpunkt: Prozent der Tage an denen das Tagesmaximumtemperatur $T_x > T_{x90}$ ist. $T_{x90}$ ist das 90. Perzentil der Tagesmaximumtemperatur im Referenzzeitraum.		%	ETCCDI	mG, T
17	Andauer einer Periode warmer Tage	pro Zeitscheibe und Gitterpunkt: Summe der zusammenhängenden Tage (mindestens 6) an denen die Tagesmaximumtemperatur $T_x > T_{x90}$ ist. $T_{x90}$ ist das 90. Perzentil der Tagesmaximumtemperatur im Referenzzeitraum.		Tage	ETCCDI	mG, T, BG
18	Andauer einer Periode kalter Tage	pro Zeitscheibe und Gitterpunkt: Summe der zusammenhängenden Tage (mindestens 6) an denen das Tagesminimum $T_n < T_{n10}$ ist. $T_{n10}$ ist das 10. Perzentil der Tagesminimumtemperatur im Referenzzeitraum.		Tage	ETCCDI	mG, T
19	längste Periode aufeinander folgender Frosttage	pro Zeitscheibe und Gitterpunkt	$T_{min} < 0^\circ\text{C}$	Tage	(Weder 2012)	mG, T, E
20	längste Periode aufeinanderfolgender Eistage	pro Zeitscheibe und Gitterpunkt	$T_{max} < 0^\circ\text{C}$	Tage	(Weder 2012)	mG, T, E
21	längste Periode aufeinanderfolgender Sommertage	pro Zeitscheibe und Gitterpunkt	Sommertag $> 25^\circ\text{C}$	Tage	(Weder 2012)	mG, T, L, WF
22	längste Periode aufeinanderfolgender heißer Tage	pro Zeitscheibe und Gitterpunkt	Heißer Tag $\geq 30^\circ\text{C}$	Tage	(Weder 2012)	mG, T, L, WF, E
23	längste Periode aufeinanderfolgender tropischer Nächte	pro Zeitscheibe und Gitterpunkt	Tropennacht: $T_{min} > 20^\circ\text{C}$	Tage	(Weder 2012)	mG, T

	Index Name	Zeitlich (räumlich)	Index Definition	Einheit	Quelle	Sektoren
24	längste Periode aufeinanderfolgender schwüler Sommertage	pro Zeitscheibe und Gitterpunkt	Tmax > 25°C, rel. Feuchte > 80 %	Tage	(Weder 2012)	mG, T
25	längste Periode aufeinanderfolgender Sommertag und Tropennacht	pro Zeitscheibe und Gitterpunkt	Tmax > 25°C, Tmin > 20 °C	Tage	(Weder 2012)	mG, T
26	NOAA Hitzeindex ≥ 3	Jahressumme pro Zeitscheibe und Gitterpunkt	Tage mit hoher und extremer Hitzebelastung	Tage	(Weder 2012)	mG, T
27	NOAA Hitzeindex ≥ 3	pro Zeitscheibe und Gitterpunkt	längste aufeinanderfolgende Periode mit hoher und extremer Hitzebelastung	Tage	(Weder 2012)	mG, T
28	NOAA Hitzeindex ≥ 4	Jahressumme pro Zeitscheibe und Gitterpunkt	Tage mit hoher und extremer Hitzebelastung	Tage	(Weder 2012)	mG, T
29	NOAA Hitzeindex ≥ 4	pro Zeitscheibe und Gitterpunkt	längste aufeinanderfolgende Periode mit hoher und extremer Hitzebelastung	Tage	(Weder 2012)	mG, T
30	Summe der Tage mit Kältestress	Jahressumme pro Zeitscheibe und Gitterpunkt	Wind > 5 m/s Rel. Feuchte > 80 % Tmin < 0°C	Tage	(Weder 2012)	mG, T
31	längste Periode aufeinanderfolgender Tage mit Kältestress	pro Zeitscheibe und Gitterpunkt	Wind > 5 m/s Rel. Feuchte > 80 % Tmin < 0°C	Tage	(Weder 2012)	mG, T
32	Außentemperatur 17°C	Jahressumme pro Zeitscheibe und Gitterpunkt	Wenn Tmittel < 17°C Sum (17 °C – Tmittel)	Gradtag	(Weder 2012)	G
33	Tage mit Wechselfrost	pro Zeitscheibe und Gitterpunkt	Tmax > 3 °C, Tmin < 3 °C	Tage	DWD	V, L
34	Kalendertag des 1. Frosts	pro Zeitscheibe und Gitterpunkt	Tmin < 0°C	Tag des Jahres	(Weder 2012)	L, WF, bV
	<b>Niederschlag</b>					
35	monatliche Niederschlagshöhen	12 mittlere Monatssummen pro Zeitscheibe und Gitterpunkt		mm	KLIWAS	W, IG, T, F, B, L, WF, V

	Index Name	Zeitlich (räumlich)	Index Definition	Einheit	Quelle	Sektoren
36	Standardabweichung der monatlichen Niederschlags-höhen	12 Standardabweichungen der Monatssummen pro Zeitscheibe und Gitterpunkt		mm	KLIWAS	W
37	saisonale Niederschlags-höhen	4 mittlere Summen je Zeitscheibe und Gitterpunkt		mm	KLIWAS	W, T, L, WF
38	jährliche Niederschlags-höhen	1 mittlere Summe Zeitscheibe und Gitterpunkt		mm	KLIWAS	W, T, L, WF
39	Niederschlagsintensität (vgl. "pint" bei STARDEX )	12 monatliche mittlere Niederschlagsintensitäten pro Zeitscheibe und Gitterpunkt	Niederschlagssmme/ Anzahl der Tage mit Niederschlag (>1 mm )	mm	KLIWAS	W, T L, WF
40	größter Niederschlag	pro Zeitscheibe und Gitterpunkt		mm	KLIWAS	W
41	langjährige mittlere Anzahl der Niederschlags-tage ( ≥ 1 mm )	Monat, Jahreszeit und Halbjahr pro Zeitscheibe und Gitterpunkt	Niederschlagstage (≥1 mm)	Tage	KLIWAS	W, L, WF
42	langjährige mittlere Anzahl der Trockentage Folgt aus DPD	Monat, Jahreszeit und Halbjahr pro Zeitscheibe und Gitterpunkt	Niederschlag < 1 mm	Tage	KLIWAS	W, L, WF
43	langjährige max. Periode von ununterbrochen aufeinanderfolgen den Trockentagen	pro Zeitscheibe und Gitterpunkt	Niederschlag < 1 mm	Tage	KLIWAS	W, L, WF, BG
44	langjährige max. Periode von ununterbrochen aufeinanderfolgen den Nassetagen	pro Zeitscheibe und Gitterpunkt	Niederschlagstage (≥1 mm )	Tage	BTU	W, L, WF, BG
45	langjährige mittlere Anzahl extrem niederschlags-reicher Tage	Jahreszeit und Halbjahr pro Zeitscheibe und Gitterpunkt	(Niederschlag > 10 mm/20mm )	Tage	KLIWAS	W, L, WF, BG, V, E

	Index Name	Zeitlich (räumlich)	Index Definition	Einheit	Quelle	Sektoren
46	langjähriges Mittel der größten Mehrtagessummen des Niederschlags	Jahreszeiten, hydrologische Halbjahre je Zeitscheibe und Einzugsgebiet, Gitterbox	Mehrtagessummen des Niederschlags (1, 2, 3, 5, 10, 15 und 30 Tage)	mm	KLIWAS	W, L, WF, BG
47	Häufigkeitsverteilungen der Mehrtagessummen (gleitende Mittel über 1, 2, 3, 5, 10, 15 und 30 Tage)	Jahreszeiten, Zeitscheibe, Einzugsgebiet	Anzahl bzw. rel. Häufigkeit  (Klassengrenzen: 0.1, 1, 2, 3, 5, 7, 10, 15, 20, 30, 50, 70, 100, 150, 500, 750 und 1000 mm).	%	KLIWAS	W, L, WF, BG, E
48	feuchte Tage	pro Zeitscheibe und Gitterpunkt: Niederschlagsmenge $PR_{wj} > PR_{wn95}$  $PR_{wj}$ ist die tägliche Niederschlagsmenge ( $PR \geq 1\text{mm}$ ) in einer Zeitscheibe  $PR_{wn95}$ ist das 95 <sup>th</sup> Perzentile der täglichen Niederschlagsmenge in der Referenzperiode.		mm	ETCCDI	mG, W, T, L, WF, BG, E
49	extrem feuchte Tage	pro Zeitscheibe und Gitterpunkt: Niederschlagsmenge $PR_{wj} > PR_{wn99}$  $PR_{wj}$ ist die tägliche Niederschlagsmenge ( $PR \geq 1\text{mm}$ ) in einer Zeitscheibe  $PR_{wn99}$ ist das 99 <sup>th</sup> Perzentile der täglichen Niederschlagsmenge in der Referenzperiode.		mm	ETCCDI	mG, W, T, L, WF, BG, E, VF
50	Dürre Index	Über 3 Monate akkumuliertes Niederschlagsdefizit bezogen auf Referenzzeitraum und Einzugsgebiet (Blenkinsop & Fowler 2007)		%	KLIWAS	W, L, WF, E
51	Dürre Index	Über 6 Monate akkumuliertes Niederschlagsdefizit bezogen auf Referenzzeitraum und Einzugsgebiet (Blenkinsop & Fowler 2007)		%	KLIWAS	W, L, WF, E
52	Jahreswerte, Monatswerte	pro Zeitscheibe und Gitterpunkt	Wasseräquivalent der Schneemenge $> 5\text{mm}$ (entspricht 1-5 cm Schneehöhe)	Tage	BTU	T, V, L, WF, E
	Weitere					
53	mittlere Windgeschwindigkeit	12 Monatsmittel je Zeitscheibe	Monatsmittel von Tagesmittelwerten	m/s	DWD	W, T, F
54	langjährige Häufigkeitsverteilung der Windrichtung und Stärke pro Monat	12 x 36 Klassen pro Zeitscheibe und Gitterpunkt	Häufigkeitswindrose 12 Richtungsklassen 3 Intensitätsklassen $< 2, < 5, \geq 5\text{ m/s}$	Anzahl bzw. rel. Klassenanteil (%)	BTU	W, T

	Index Name	Zeitlich (räumlich)	Index Definition	Einheit	Quelle	Sektoren
55	langjährige Perzentilwerte der Windstärke pro Monat, Jahreszeit (für 1, 5, 10, 25, 50, 75, 90, 95, 99 Perzentil)	pro Zeitscheibe und Gitterpunkt	Tagesmittelwerte oder 6h Instantanwerte	m/s	BTU	mG, W, T
56	Starkwindtage	mittlere Monatssumme pro Zeitscheibe und Gitterpunkt	max. Windgeschwindigkeit pro Tag ≥ 10,8 m/s(Starkwind)	Tage	BTU	mG, W, IG, T, WF, BG, E, VF
57	Sturmtage	mittlere Monatssumme pro Zeitscheibe und Gitterpunkt	max. Windgeschwindigkeit pro Tag ≥ 20,8 m/s (Sturm)	Tage	BTU	mG, W, IG, T, WF, BG, E, VF
58	bedeckte Tage	12 Monatsmittelwerte pro Gitterpunkt und Zeitscheibe	Beckungsgrad > 80 %	Tage	BTU	T
59	Sonnenscheindauer	12 Monatsmittelwerte pro Gitterpunkt und Zeitscheibe	oder mittlerer prozentualer Anteil an astronomisch möglichen Sonnenstunden	h	KLIWAS	mG, T
60	Globalstrahlung	12 Monatsmittelwerte pro Gitterpunkt und Zeitscheibe		w/m <sup>2</sup>	KLIWAS	mG, T