



Fachbereich 1 – Life Sciences and Engineering

Bachelorstudiengang Klimaschutz und Klimaanpassung

**Klimawandelanalyse als Grundlage für eine
Klimawandelanpassungsstrategie in der Landwirtschaft in
Agou, Togo**

Bachelorarbeit

vorgelegt am 06.04.2020

von

Isabell Stöhr

durchgeführt bei

natureOffice GmbH



Department 1 – Life Sciences and Engineering

Bachelor Programme: Climate change mitigation and adaptation

**Climate change analysis as basis for a climate change
adaptation strategy for agriculture in Agou, Togo**

Bachelor Thesis

Date: 06.04.2020

Presented by

Isabell Stöhr

prepared at

natureOffice GmbH

Abgabedatum: 06.04.2020

abgegeben bei:

Arbeit angenommen:

Bingen, den

.....

(TH Bingen Prof. Dr. Oleg Panferov)

Betreuer (TH): Prof. Dr. Oleg Panferov

Betreuer (extern): Herr Tobias Liemersdorf, natureOffice

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	III
Abbildungsverzeichnis.....	V
Tabellenverzeichnis	VII
Kurzzusammenfassung.....	X
Abstract.....	XI
1 Einleitung.....	1
1.1 Hypothesen.....	3
1.2 Klimarelevante Gegebenheiten der Präfektur Agou	3
1.3 Auswahl des für die Analyse betrachteten Sektors Landwirtschaft	4
1.4 Wissensstand.....	5
1.4.1 Wissensstand über die Klimawandelauswirkungen auf tropische Landwirtschaft.....	5
1.4.2 Wissensstand über die Klimawandelauswirkungen in Togo	6
2 Methoden	9
2.1 Auswahl der für die Analyse wichtigen Indikatoren.....	9
2.2 Beschreibung der für die Analyse verwendeten Datensätze	11
2.2.3 Beschreibung der verwendeten Modelle	11
2.2.4 Beschreibung der verwendeten Szenarien	12
2.2.5 Die verwendeten Modell-Koordinaten	15
2.3 Erläuterung des Ablaufs der Analyse	17
3 Ergebnisse der Analyse	19
3.1 Aktuelles Klima.....	20
3.2 Mittlere Lufttemperatur.....	21
3.3 Maximaltemperatur.....	23
3.4 Hitzetage	25
3.5 Tage mit einer Maximaltemperatur von $\geq 32^{\circ}\text{C}$	27
3.6 Hitzeperioden	29
3.6.1 Anzahl der Hitzeperioden.....	29
3.6.2 Länge der Hitzeperioden.....	31
3.7 Jahresniederschlagssumme	33
3.8 Saisonale Niederschlagssummen.....	35
3.8.1 Niederschlagssumme in der Regenzeit.....	36
3.8.2 Niederschlagssumme in der Trockenzeit	38
3.9 Starkregenereignisse	40
3.10 Trockentage	43

3.11 Trockenperioden.....	45
3.11.1 Anzahl der Trockenperioden	45
3.11.2 Länge der Trockenperioden	47
3.12 Überschneidung von Hitze- und Trockentagen	48
3.13 Klimatische Wasserbilanz	51
3.13.1 Jährliche klimatische Wasserbilanz.....	51
3.13.2 Klimatische Wasserbilanz in der Trockenzeit	53
3.14 Übersicht der Ergebnisse	56
4 Auswertung und Interpretation der Ergebnisse.....	58
5 Anpassungsvorschläge	60
6 Diskussion	61
7 Zusammenfassung	63
8 Fazit	64
Literaturverzeichnis	65
Anhangsverzeichnis.....	71

Abkürzungsverzeichnis

AFR-44:	Afrika-44
AR:	Assessment Report (Arbeitsbericht von IPCC)
CCAFS:	Climate Change, Agriculture and Food Security
CDO:	Climate Data Operators
CEDA:	Centre for Environmental Data Analysis
CLM:	Climate local model
CORDEX:	Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment
CPP-Togo:	Cadre de programmation par pay Togo (Programmplan für Togo)
DAS:	Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel
Dez.:	Dezember
DMK:	Deutsches Maiskomitee
DKK:	Deutsches Klima Konsortium
ECHAM/EH:	European Climate Model Hamburg
FAO:	Food and Agriculture Organization of the United Nations
GCM:	Global Climate Model
GFDRR:	Global Facility for Disaster Reduction and Recovery
IPCC:	Intergovernmental Panel on Climate Change
KWB:	Klimatische Wasserbilanz
LIP:	Länderinformationsportal
Max:	Maximum
Min:	Minimum
MPI-MET:	Max-Planck-Institut für Meteorologie
NCAS:	National Centre for Atmospheric Science of the UK
PANA:	Plan d'action national d'Adaptation aux Changements Climatiques
PET:	Potentielle Evapotranspiration
PNACC:	Plan National d'Adaption aux Changements Climatiques du Togo
ppm:	Parts per Million
RCM:	Regional Climate Model
REMO:	Regionalmodell

~ IV ~

RCP:	Representative Concentration Pathway
SPM:	Summary for Policymakers
SRES:	Special Report on Emissions Szenarios
UBA:	Umweltbundesamt
Unfccc:	United Nations Framework Convention on Climate Change
USGS:	United States Geological Survey
ü. NN:	Über Normalnull
WG:	Working Group (Arbeitsgruppe von IPCC)
$\bar{X}$:	Mittelwert

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Geographische Lage Togos	3
Abbildung 2: Geographische Lage der für die Analyse betrachteten Präfektur Agou innerhalb Togos	3
Abbildung 3: Klimadiagramm von Kpalimé, gemittelt über 1989 – 2018.....	20
Abbildung 4: Projektion der Entwicklung der jährlichen mittleren Lufttemperatur in Agou von 1950 – 2100 nach dem verwendeten Ensemble, inkl. der Stationswerte von 1988 - 2018.....	21
Abbildung 5: Projektion der Entwicklung der jährlichen mittleren Maximaltemperatur in Agou von 1950 – 2100 nach dem verwendeten Ensemble, inkl. der Stationswerte von 1988 – 2018	23
Abbildung 6: Projektion der Entwicklung der jährlichen Anzahl an Hitzetagen in Agou von 1950 – 2100 nach dem verwendeten Ensemble, inkl. der Stationswerte von 1988 – 2018	25
Abbildung 7: Projektion der Entwicklung der jährlichen Anzahl an Tagen mit einer maximalen Temperatur von $\geq 32^{\circ}\text{C}$ in Agou von 1950 – 2100 nach dem verwendeten Ensemble, inkl. der Stationswerte von 1988 – 2018.....	27
Abbildung 8: Projektion der Entwicklung der jährlichen Anzahl von Hitzeperioden in Agou von 1950 – 2100 nach dem verwendeten Ensemble	29
Abbildung 9: Projektion der Entwicklung der durchschnittlichen Länge von Hitzeperioden in Agou von 1950 – 2100 nach dem verwendeten Ensemble	32
Abbildung 10: Projektion der Entwicklung der jährlichen Niederschlagssumme in Agou von 1950 – 2100 nach dem verwendeten Ensemble, inkl. der Stationswerte von 1988 – 2018	34
Abbildung 11: Projektion der Entwicklung der Niederschlagssumme in der Regenzeit in Agou von 1950 – 2100 nach dem verwendeten Ensemble, inkl. der Stationswerte von 1988 – 2018	37
Abbildung 12: Projektion der Entwicklung der Niederschlagssumme in der Trockenzeit in Agou von 1950 – 2100 nach dem verwendeten Ensemble, inkl. der Stationswerte von 1988 - 2018.....	39
Abbildung 13: Projektion der Entwicklung der jährlichen Anzahl von Starkregenereignissen in Agou von 1950 – 2100 nach dem verwendeten Ensemble, inkl. der Stationswerte von 1988 - 2018.....	41

Abbildung 14: Projektion der Entwicklung der jährlichen Anzahl von Trockentagen in Agou von 1950 – 2100 nach dem verwendeten Ensemble, inkl. der Stationswerte von 1988 - 2018	43
Abbildung 15: Projektion der Entwicklung der jährlichen Anzahl von Trockenperioden in Agou von 1950 – 2100 nach dem verwendeten Ensemble	45
Abbildung 16: Projektion der Entwicklung der durchschnittlichen Länge von Trockenperioden in Agou von 1950 – 2100 nach dem verwendeten Ensemble	47
Abbildung 17: Projektion der Entwicklung der jährlichen Anzahl an Tagen, die sowohl ein Hitzetag als auch ein Trockentag sind in Agou von 1950 – 2100 nach dem verwendeten Ensemble	49
Abbildung 18: Projektion der Entwicklung der jährlichen klimatischen Wasserbilanz in Agou von 1950 – 2100 nach dem verwendeten Ensemble, inkl. der Stationswerte von 1988 – 2018	52
Abbildung 19: Projektion der Entwicklung der klimatischen Wasserbilanz in der Trockenzeit in Agou von 1950 – 2100 nach dem verwendeten Ensemble, inkl. der Stationswerte von 1988 – 2018	54

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht des für die Analyse verwendeten Ensembles aus Modellen und Szenarien.....	14
Tabelle 2: Die verwendeten realen Koordinaten und die daraus abgeleiteten Modell-Koordinaten der Präfektur Agou	15
Tabelle 3: Mittel-, Minimal- und Maximalwert der Jahresmitteltemperatur in Agou für die Perioden 1970 - 2000, 2021 - 2050 und 2071 – 2100 aus den Modelldaten, in °C.....	22
Tabelle 4: Aus den Modelldaten berechnete Klimaänderungssignale der Jahresmitteltemperatur in Agou für die Perioden 1971/2000 – 2021/2050 und 1971/2000 – 2071/2100 in °C.....	22
Tabelle 5: Mittel-, Minimal- und Maximalwert der mittleren Jahresmaximaltemperatur in Agou für die Perioden 1970 - 2000, 2021 - 2050 und 2071 – 2100 aus den Modelldaten, in °C.....	24
Tabelle 6: Aus den Modelldaten berechnete Klimaänderungssignale der mittleren Jahresmaximaltemperatur in Agou für die Perioden 1971/2000 – 2021/2050 und 1971/2000 – 2071/2100 in °C.....	24
Tabelle 7: Mittel-, Minimal- und Maximalwert der jährlichen Anzahl an Hitzetagen in Agou für die Perioden 1970 - 2000, 2021 - 2050 und 2071 – 2100 aus den Modelldaten	26
Tabelle 8: Aus den Modelldaten berechnete Klimaänderungssignale der jährlichen Anzahl an Hitzetagen in Agou für die Perioden 1971/2000 – 2021/2050 und 1971/2000 – 2071/2100	26
Tabelle 9: Mittel-, Minimal- und Maximalwert der jährlichen Anzahl an Tagen mit einer maximalen Temperatur von $\geq 32^{\circ}\text{C}$ in Agou für die Perioden 1970 - 2000, 2021 - 2050 und 2071 – 2100 aus den Modelldaten.....	28
Tabelle 10: Aus den Modelldaten berechnete Klimaänderungssignale der jährlichen Anzahl an Tagen mit einer maximalen Temperatur von $\geq 32^{\circ}\text{C}$ in Agou für die Perioden 1971/2000 – 2021/2050 und 1971/2000 – 2071/2100	28
Tabelle 11: Mittel-, Minimal- und Maximalwert der jährlichen Anzahl von Hitzeperioden in Agou für die Perioden 1970 - 2000, 2021 - 2050 und 2071 – 2100 aus den Modelldaten	30
Tabelle 12: Aus den Modelldaten berechnete Klimaänderungssignale der jährlichen Anzahl von Hitzeperioden in Agou für die Perioden 1971/2000 – 2021/2050 und 1971/2000 – 2071/2100.....	31

Tabelle 13: Mittel-, Minimal- und Maximalwert der durchschnittlichen Länge von Hitzeperioden in Agou für die Perioden 1970 - 2000, 2021 - 2050 und 2071 – 2100 aus den Modelldaten, in Tagen.....	32
Tabelle 14: Aus den Modelldaten berechnete Klimaänderungssignale der durchschnittlichen Länge von Hitzeperioden in Agou für die Perioden 1971/2000 – 2021/2050 und 1971/2000 – 2071/2100 in Tagen.....	33
Tabelle 15: Mittel-, Minimal- und Maximalwert der Jahresniederschlagssumme in Agou für die Perioden 1970 - 2000, 2021 - 2050 und 2071 – 2100 aus den Modelldaten, in mm.....	34
Tabelle 16: Aus den Modelldaten berechnete Klimaänderungssignale der Jahresniederschlagssumme in Agou für die Perioden 1971/2000 – 2021/2050 und 1971/2000 – 2071/2100 in mm	35
Tabelle 17: Mittel-, Minimal- und Maximalwert der Niederschlagssumme in der Regenzeit in Agou für die Perioden 1970 - 2000, 2021 - 2050 und 2071 – 2100 aus den Modelldaten, in mm.....	37
Tabelle 18: Aus den Modelldaten berechnete Klimaänderungssignale der Niederschlagssumme in der Regenzeit in Agou für die Perioden 1971/2000 – 2021/2050 und 1971/2000 – 2071/2100 in mm.....	38
Tabelle 19: Mittel-, Minimal- und Maximalwert der Niederschlagssumme in der Trockenzeit in Agou für die Perioden 1970 - 2000, 2021 - 2050 und 2071 – 2100 aus den Modelldaten, in mm.....	39
Tabelle 20: Aus den Modelldaten berechnete Klimaänderungssignale der Niederschlagssumme in der Trockenzeit in Agou für die Perioden 1971/2000 – 2021/2050 und 1971/2000 – 2071/2100 in mm.....	40
Tabelle 21: Mittel-, Minimal- und Maximalwert der jährlichen Anzahl von Starkregenereignissen in Agou für die Perioden 1970 - 2000, 2021 - 2050 und 2071 – 2100 aus den Modelldaten.....	41
Tabelle 22: Aus den Modelldaten berechnete Klimaänderungssignale der jährlichen Anzahl von Starkregenereignissen in Agou für die Perioden 1971/2000 – 2021/2050 und 1971/2000 – 2071/2100.....	42
Tabelle 23: Mittel-, Minimal- und Maximalwert der jährlichen Anzahl von Trockentagen in Agou für die Perioden 1970 - 2000, 2021 - 2050 und 2071 – 2100 aus den Modelldaten	43
Tabelle 24: Aus den Modelldaten berechnete Klimaänderungssignale der jährlichen Anzahl von Trockentagen in Agou für die Perioden 1971/2000 – 2021/2050 und 1971/2000 – 2071/2100.....	44

Tabelle 25: Mittel-, Minimal- und Maximalwert der jährlichen Anzahl von Trockenperioden in Agou für die Perioden 1970 - 2000, 2021 - 2050 und 2071 – 2100 aus den Modelldaten	45
Tabelle 26: Aus den Modelldaten berechnete Klimaänderungssignale der jährlichen Anzahl von Trockenperioden in Agou für die Perioden 1971/2000 – 2021/2050 und 1971/2000 – 2071/2100	46
Tabelle 27: Mittel-, Minimal- und Maximalwert der durchschnittlichen Länge der Trockenperioden in Agou für die Perioden 1970 - 2000, 2021 - 2050 und 2071 – 2100 aus den Modelldaten, in Tagen.....	47
Tabelle 28: Aus den Modelldaten berechnete Klimaänderungssignale der durchschnittlichen Länge von Trockenperioden in Agou für die Perioden 1971/2000 – 2021/2050 und 1971/2000 – 2071/2100 in Tagen.....	48
Tabelle 29: Mittel-, Minimal- und Maximalwert der jährlichen Anzahl an Tagen, die sowohl ein Hitze- als auch ein Trockentag sind, in Agou für die Perioden 1970 - 2000, 2021 - 2050 und 2071 – 2100 aus den Modelldaten.....	49
Tabelle 30: Aus den Modelldaten berechnete Klimaänderungssignale der Anzahl von Tagen, die sowohl ein Hitze- als auch Trockentag sind in Agou für die Perioden 1971/2000 – 2021/2050 und 1971/2000 – 2071/2100	50
Tabelle 31: Mittel-, Minimal- und Maximalwert der jährlichen klimatischen Wasserbilanz in Agou für die Perioden 1970 - 2000, 2021 - 2050 und 2071 – 2100 aus den Modelldaten, in mm.....	52
Tabelle 32: Aus den Modelldaten berechnete Klimaänderungssignale der jährlichen klimatischen Wasserbilanz in Agou für die Perioden 1971/2000 – 2021/2050 und 1971/2000 – 2071/2100 in mm	53
Tabelle 33: Mittel-, Minimal- und Maximalwert der klimatischen Wasserbilanz in der Trockenzeit in Agou für die Perioden 1970 - 2000, 2021 - 2050 und 2071 – 2100 aus den Modelldaten, in mm.....	54
Tabelle 34: Aus den Modelldaten berechnete Klimaänderungssignale der klimatischen Wasserbilanz in der Trockenzeit in Agou für die Perioden 1971/2000 – 2021/2050 und 1971/2000 – 2071/2100 in mm.....	55
Tabelle 35: Überblick über die Klimaänderungssignale und deren Robustheit nach dem verwendeten Ensemble	56

Kurzzusammenfassung

Im Rahmen dieser Bachelorarbeit wurde eine Klimawandelanalyse anhand verschiedener Variablen für die Präfektur Agou in Togo gefertigt, in welcher die natureOffice GmbH Naturschutzprojekte realisiert. Dazu wurden die Daten einer Wetterstation vor Ort und 17 Modellläufe analysiert. Eine solche Klimawandelanalyse dient als Grundlage für eine Klimawandelanpassungsstrategie, welche unter Anbetracht des fortschreitenden Klimawandels immer wichtiger wird. Die Analyse wurde vor allem für die Landwirtschaft ausgelegt, da diese in Togo für die Ernährung der togolesischen Bevölkerung besonders wichtig und in Betracht auf den Klimawandel äußerst vulnerabel ist.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Temperaturen in Agou bis 2100 wahrscheinlich stark ansteigen werden, sowie die Niederschlagssumme in der Regenzeit. Insgesamt ist jedoch davon auszugehen, dass die Pflanzen zunehmend unter Hitze- und Trockenstress leiden werden. Dies kann zu erheblichen Ernteeinbußen führen. Um diesen Effekt abzuschwächen, sollte die Landwirtschaft auf die Klimaänderungen angepasst werden. Dabei sollte vor allem darauf geachtet werden, Möglichkeiten der Bewässerung der Felder und hitzeresistenteres Saatgut zu finden. Die genauen Auswirkungen auf die Landwirtschaft können in weiteren Analysen, welche auf der hier geschaffenen Grundlage aufbauen können, detaillierter untersucht werden.

Abstract

As part of this bachelor's thesis, a climate change analysis based on various variables for the Agou prefecture in Togo, where the natureOffice GmbH realizes nature conservation projects, was carried out. For this purpose, the data from a weather station on site and 17 model runs were analyzed. Such a climate change analysis serves as the basis for a climate change adaptation strategy, which is becoming more important in view of the progressing climate change. The analysis was primarily designed for agriculture, since this is very important for the nutrition of the Togolese population and particularly vulnerable in view of climate change.

The results show that the temperatures in Agou are likely to rise sharply by 2100, such as the amount of precipitation during the rainy season. Overall, however, it is more likely that the plants will increasingly suffer stress from heat and drought. This can lead to significant crop losses. To mitigate this effect, agriculture should be adapted on climate change. Particular care should be taken to find irrigation options and more heat-resistant seeds. The exact effects on agriculture can be examined more detailed in further analyses, which can be built on the basis created here.

1 Einleitung

Der Klimawandel ist bereits heute global spürbar und wirkt sich auf die ganze Welt aus (European Commission). Ein Zeichen davon ist die globale Erderwärmung. So hat sich die Jahrestemperatur im globalen Mittel zwischen den Zeiträumen 1850 - 1900 und 2006 - 2015 um $0,87^{\circ}\text{C}$ erhöht (IPCC, 2019). Da das Klimasystem träge ist und die Treibhausgase in der Atmosphäre eine Verweildauer von Tagen bis hin zu Jahrtausenden haben, wäre selbst bei vollständiger anthropogener Emissionsreduzierung zum aktuellen Zeitpunkt eine Verstärkung des Klimawandels in den nächsten Jahrzehnten bis Jahrhunderten zu erwarten (DKK, 2017). So würde sich die Erdoberfläche im globalen Mittel bis 2100 um weitere $0,6^{\circ}\text{C}$ im Vergleich zu dem Zeitraum von 1980 - 1999 durch die bisherigen Emissionen erwärmen, selbst wenn ab dem Jahr 2000 keine weiteren Emissionen mehr stattgefunden hätten (IPCC, 2007). Schon heute wurden durch die bisherigen Emissionen jedoch unabwendbare Folgen des Klimawandels verursacht (DKK, 2017), die nur mit ausreichender Anpassung an die veränderten Gegebenheiten gedämpft werden können (IPCC, 2007). Da nach wie vor anthropogene Emissionen stattfinden, ist global eine Erwärmung bis auf $1,5^{\circ}\text{C}$ zwischen 2030 - 2052 gegenüber vorindustriellem Niveau wahrscheinlich (IPCC, 2018). Somit ist davon auszugehen, dass die Auswirkungen, die der Klimawandel mit sich bringt, verstärkt werden. Neben einem erhöhten Klimaschutz und der Reduzierung der anthropogenen Treibhausgasemissionen ist somit auch die Anpassung an den Klimawandel von großer Bedeutung, um die Vulnerabilität gegenüber Klimawandelfolgen möglichst gering zu halten.

Die Effekte und Auswirkungen des Klimawandels variieren regional und lokal sehr stark. Das globale Mittel zieht einen Mittelwert über alle Land- und Meeresflächen. Jedoch ist allein der Unterschied zwischen Land und Meer erheblich. So hat sich die durchschnittliche Lufttemperatur über der Landesfläche seit der vorindustriellen Zeit mit $1,53^{\circ}\text{C}$ fast doppelt so hoch erwärmt wie der globale Durchschnitt (IPCC, 2019). Doch nicht nur zwischen Land- und Meeresfläche muss unterschieden werden, auch innerhalb der Landesflächen gibt es große Unterschiede in den Auswirkungen und Ausprägungen des Klimawandels. Das Klima wird durch Faktoren wie der

geographischen Lage, den Einflüssen durch Küstennähe, der Höhenlage und der Nähe zu Gebirgen, sowie dem vorherrschenden Relief eines Ortes bestimmt (DWD a). Diese Faktoren haben auch Einfluss auf die Ausprägungen des Klimawandels vor Ort. Dadurch gibt es Orte und Regionen, die stärker vom Klimawandel betroffen sind als andere.

In Togo hat der Klimawandel von 1960 bis 2005 zu einer Temperaturerhöhung von 1,1°C geführt (GFDRR, 2011a). Obwohl es sich mit einer Fläche von 56.600 km² (PNACC, 2014a) um ein kleines Land handelt, gibt es innerhalb des Staates große klimatische Unterschiede. So wird vor allem zwischen dem Norden, welcher unter Einfluss des Harmattans, und dem Süden des Landes, welcher unter maritimen Einfluss steht, klimatisch unterschieden (PANA, 2009a). Da sich die zwei Zonen klimatisch stark unterscheiden, ist ein Mittelwert über das gesamte Land für lokale Analysen nicht sehr aussagekräftig. Um eine sinnvolle Klimawandelanpassungsstrategie für einen bestimmten Ort oder eine bestimmte Region zu erarbeiten ist es daher wichtig, den Klimawandel möglichst für diese Region speziell zu analysieren. Als Grundlage für jede Anpassungsstrategie sollte somit zuerst eine Analyse der möglichen zukünftigen Klimaänderungen unter lokalen Gegebenheiten durchgeführt werden, um anschließend sinnvolle Anpassungsmaßnahmen darauf auszulegen. Da der Klimawandel Einflüsse auf alle Klimaelemente wie Niederschlag, Verdunstung, Wind, Bewölkung etc. hat, muss bei einer solchen Analyse die Auswirkung des Klimawandels auf alle relevanten Elemente betrachtet werden.

In dieser Arbeit wird eine Klimawandelanalyse für die Präfektur Agou in Togo durchgeführt, in welcher die natureOffice GmbH, in deren Kooperation diese Bachelorarbeit steht, Klimaschutzprojekte durchführt (natureoffice).

1.1 Hypothesen

Bei fortschreitendem Klimawandel wird pauschal angenommen, dass sich die Extremen einer Region weiter verstärken. Soll heißen, dass zum Beispiel die trockenen Regionen noch trockener werden und die feuchten Regionen noch feuchter (NCAS, 2019).

Für die Präfektur Agou (später auch abgekürzt nur Agou genannt) wird somit angenommen, dass durch den Klimawandel bis 2100:

1. die Unterschiede zwischen Regen- und Trockenzeit weiter zunehmen, so dass die Niederschlagssumme in der Regenzeit ansteigen wird, während der Niederschlag in der Trockenzeit abnimmt.
2. die Temperaturextremen häufiger auftreten und noch extremer werden. Insgesamt wird es heißer werden.

1.2 Klimarelevante Gegebenheiten der Präfektur Agou

Togo liegt in Westafrika zwischen Ghana und Benin (s. Abb. 1) auf den Breitengraden 6° - 11° Nord und den Längengraden 0° - 1,40° Ost (PNACC 2014a). Das Land liegt somit in unmittelbarer Äquatornähe und wird von einem feuchtheiß-tropischen Klima beherrscht (LIP 2019a).

Die Präfektur Agou, welche für die Analyse betrachtet wird, liegt an der Grenze zu Ghana (s. Abb. 2) und weist eine Fläche von 1095 km² auf (citypopulation.de, 2017).

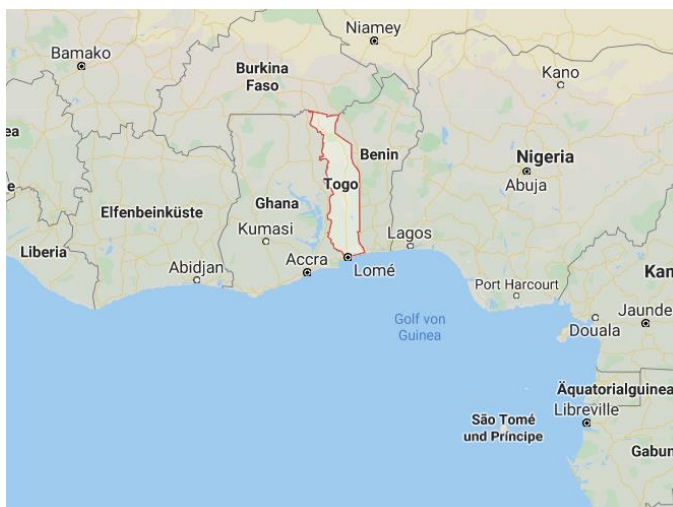


Abbildung 1: Geographische Lage Togos

Quelle: <https://www.google.de/maps/place/Togo/@7.8645376,-6.0264239,5z/data=!4m5!3m4!1s0x1023e1c113185419:0xfaae5b301ad19360!8m2!3d8.619543!4d0.824782> [24.03.2020]

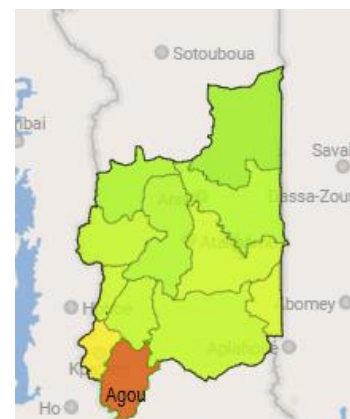


Abbildung 2: Geographische Lage der für die Analyse betrachteten Präfektur Agou innerhalb Togos

Quelle:

https://www.citypopulation.de/en/togo/admin/2_plateaux/
[08.01.2020] geändert durch Isabell Stöhr

Im Norden der Präfektur Agou liegt mit 986 m der höchste Berg Togos, der „Mount Agou“. Ansonsten besteht die Präfektur aus Flachland unterhalb von 200 Höhenmetern. Die südlichen Grenzen der Präfektur liegen nur knapp 100 km von der Küste zum Golf von Guinea entfernt. Unmittelbar von Agou entfernt beginnt im Norden die Atakora-Gebirgskette, die sich diagonal von Südwest nach Nordost durch die Plateaux- und die Zentralregion mit Erhöhungen bis auf 800 m zieht. (LIP 2019b) Die vorherrschende Landbedeckung neben landwirtschaftlichen Kulturen zeichnet sich durch Savannenvegetation aus (USGS, 2013).

1.3 Auswahl des für die Analyse betrachteten Sektors

Landwirtschaft

Die Natur, Gesellschaft und Wirtschaft sind in ihren verschiedenen Sektoren auf unterschiedliche Weise von den Folgen des Klimawandels betroffen (UBA). Für jeden Sektor muss schließlich eine eigene Risikoanalyse mit entsprechenden Anpassungsmaßnahmen entwickelt werden. Da eine ganzheitliche Risikoanalyse für alle Sektoren im Rahmen dieser Arbeit nicht möglich ist, wird der Fokus auf der Landwirtschaft liegen, da diese in Togo einen besonders hohen Stellenwert hat, wie im Folgenden beschrieben wird.

Insgesamt macht der primäre Sektor ca. 39% des togolesischen Bruttoinlandsproduktes aus (Stand 2015). Außerdem werden 20% der Exporteinnahmen über die Landwirtschaft erbracht (PNACC, 2014b). Rund 2/3 der togolesischen Bevölkerung wird durch die nationale Landwirtschaft ernährt und rund 40,7% der togolesischen Einwohner sind in dieser beschäftigt (FAO, CPP-Togo, 2012).

Da die Landwirtschaft in Togo eine sehr wichtige Rolle in der Versorgung der togolesischen Bevölkerung spielt, ist die Klimawandelanpassung in diesem Sektor besonders wichtig, um auch in Zukunft die Versorgung der Bürger gewährleisten zu können. Besonders unter dem Aspekt, dass bereits heute ca. 71,1% der Togolesen unter Ernährungsunsicherheit stehen (GFDRR, 2011b). Dies lässt sich unter anderem darauf zurückführen, dass der landwirtschaftliche Sektor unter schlechter Infrastruktur, rudimentären

Werksmitteln und unzureichender Kontrolle über die Wassermengen gekennzeichnet ist (FAO, CPP-Togo, 2012).

Vor allem für Länder, deren Landwirtschaft abhängig vom Regen ist, wird die Ernährungssicherheit unter dem Klimawandel eine Herausforderung sein. Auch in Togo ist die Landwirtschaft vom Regen abhängig. Um diese negativen Effekte abzdämpfen, muss die Landwirtschaft an den Klimawandel angepasst werden. (Pilo et. al, 2017)

1.4 Wissensstand

Im Weltrisikobericht 2019 nimmt Togo mit einem Weltrisikoindex von 10,99% Rang 35 von 180 Ländern ein und gehört somit zu den Ländern mit einem sehr hohen Katastrophenrisiko. Der Weltrisikoindex setzt sich zusammen aus dem Anteil der Bevölkerung, der im jährlichen Durchschnitt Erdbeben, Wirbelstürmen, Dürren, Überschwemmungen und/oder dem globalen Meeresspiegelanstieg ausgesetzt sind (=Exposition), sowie der Verwundbarkeit (=Vulnerabilität) eines Landes. Dabei wird die Verwundbarkeit aus den drei Faktoren Anfälligkeit, Mangel an Bewältigungskapazitäten und Mangel an Anpassungskapazitäten berechnet, die von menschengemachten Faktoren wie dem Anteil der Unterernährten und Analphabeten, sowie der Infrastruktur eines Landes bestimmt werden (Weltrisikobericht 2019a). In Togo ist die Vulnerabilität mit 65,72% besonders hoch, die Exposition liegt bei 16,72% (Weltrisikobericht 2019b). Aufgrund des hohen Risikos und der hohen Vulnerabilität gegenüber Naturkatastrophen wie Dürre, Hitzewellen und Überschwemmungen, welche durch den Klimawandel verstärkt und verändert werden können (IPCC, 2012), ist eine Anpassung an die Klimaänderungen dort besonders wichtig. Generell sind Entwicklungsländer verwundbarer gegenüber dem Klimawandel, da sie abhängiger von der Landwirtschaft sind, ein Großteil der Bevölkerung in Gefahrenzonen lebt und bereits jetzt ein semi-arides Klima herrscht. (Fankhauser, McDermott, 2013)

1.4.1 Wissensstand über die Klimawandelauswirkungen auf tropische Landwirtschaft

Bereits heute sind die Auswirkungen des Klimawandels in der Landwirtschaft spürbar: Der Klimawandel hat in den letzten 30 Jahren die globalen

landwirtschaftlichen Erträge um 1 – 5% pro Dekade gesenkt, mit besonders negativen Effekten auf tropische Getreidesorten wie Mais und Reis. Bei einer Erderwärmung von +2°C im Vergleich zur vorindustriellen Zeit wird die landwirtschaftliche Produktivität weltweit wahrscheinlich weiter sinken, vor allem aber in den tropischen Regionen. (Ramirez-Villegas u. Thornton, CCAFS, 2015)

Nach einer Analyse für Sub-Sahara West-Afrika mit 35 Klimaszenarien mit Niederschlagsanomalien von –20% bis +20% und Temperaturentwicklungen von 0 bis +6°C, wird bei 31 der 35 Szenarien ein negativer Effekt auf die landwirtschaftlichen Erträge bis 2090 deutlich (Sultan et al, 2013).

Weitere Modell-Rechnungen für tropische Regionen zeigen, dass ohne Anpassungsmaßnahmen die Maisproduktivität im Mittel um 5 – 10% und die Reisproduktivität um 2 – 5% bei jedem Grad Erwärmung der Lufttemperatur während dem 21. Jahrhundert sinken kann (Ramirez-Villegas u. Thornton, CCAFS, 2015). In Togo werden in Anbetracht der sich ändernden Temperaturen und Niederschlägen bis zur Periode 2041 – 2059 Ernteeinbußen der Getreideernte (Mittelwert für Mais und Hirse) von bis zu 15% im Vergleich zum Zeitraum 1980 – 1998 erwartet. (Ahmed et al, 2015)

Anpassungsmaßnahmen können diese negativen Effekte verringern. Jedoch ist es wichtig, die Maßnahmen früh genug umzusetzen, da die Auswirkungen des Klimawandels bereits in der nahen Zukunft zunehmen können. (Ramirez-Villegas u. Thornton, CCAFS, 2015)

1.4.2 Wissensstand über die Klimawandelauswirkungen in Togo

Bereits 2009 lief die Anpassungsstrategie „Plan d'action national d'Adaptation aux Changements Climatiques – PANA“ in Togo für drei Jahre an (PANA, 2009), 2014 wurde für weitere fünf Jahre die Anpassungsstrategie „Plan National d'Adaption aux Changements Climatiques du Togo (PNACC)“ aufgesetzt (PNACC, 2014).

Darin wird festgehalten, dass die größten klimatischen Probleme in der Plateaux-Region, in welcher die Präfektur Agou liegt, mit der schlechten zeitlichen und räumlichen Verteilung der Regenfälle einhergehen. Die Region hat zum einen mit Trockenheit, zum anderen mit Starkregenereignissen bis

hin zu Überschwemmungen zu kämpfen. Es wird beschrieben, dass die landwirtschaftlichen Ökosysteme mitunter am vulnerabelsten sind und die Gruppe der Kleinbauern somit die vulnerabelste soziale Gemeinschaft darstellt. Dies ist besonders wichtig, da diese auch die am stärksten vertretene soziale Gruppe in Togo darstellt. Der Bericht von 2009 betrachtet zwei Zeitperioden: 1961 – 1985 und 1986 – 2005. Beim Periodenvergleich wurde für die Plateaux Region eine Temperaturzunahme von 0,9°C und eine Niederschlagsabnahme von 36,7 mm festgestellt. Der Klimawandeleinfluss auf die Landwirtschaft wird über eine mögliche Verkürzung der Regenphasen, erhöhte Evapotranspiration und eine erhöhte Austrocknung der Böden charakterisiert. Diese Änderungen können zu einer Verringerung der Produktivität der Feldfrüchte führen. (PANA, 2009b)

Im Anpassungsplan von 2014 wird die betrachtete Zeitspanne von 1961 bis 2012 erweitert. Es wird ein genereller Trend von zunehmenden Temperaturen, abnehmenden Niederschlagssummen und eine Abnahme der Regentage in Togo festgehalten. Szenarien für die Zukunft zeigen eine Erwärmung von 0,9 – 4,5°C und eine Zunahme der jährlichen Niederschlagssumme von 5 – 29 mm gegenüber dem Referenzzeitraum von 1961 – 1985. (PNACC, 2014c)

Als größte Probleme in der Landwirtschaft werden die Abnahme des verfügbaren Wassers, das trockener werdende Klima und die steigenden Temperaturen benannt. Diese Klimaänderungen können bei Getreide, vor allem bei Mais und Hirse, zu Ertragsverlusten führen. Es wird darauf hingewiesen, dass dies besonders problematisch ist, da Getreide das Grundnahrungsmittel für die togolesische Bevölkerung darstellt. Es wird auch auf Problematiken durch Pilze und Krankheiten hingewiesen, welche die Pflanzen anfallen und bei extremer Nässe und starker Feuchtigkeit begünstigt werden können. (PNACC, 2014d)

Nach dem RCP Szenario 2.6 (am optimistischsten) wird bis 2100 eine maximale Tagestemperatur zwischen 27,1 – 36,24°C, eine minimale Tagestemperatur zwischen 17,1 – 24,4°C und eine durchschnittliche Tagestemperatur zwischen 22,1 – 29,65°C in Togo wahrscheinlich sein. Die Jahresniederschlagssumme wird demnach bei 859 – 1724,7 mm liegen. (PNACC, 2014e)

Nach dem RCP Szenario 8.5 (am pessimistischsten) wird die maximale Tagestemperatur bis 2100 bei 29,9 – 39,7 °C (Vergleichsperiode: 26,2 – 35,3°C), die minimale Tagestemperatur bei 20,3 – 27,3°C (Vgl: 16,1 – 23,6°C) und die durchschnittliche Tagestemperatur bei 25,1 – 33,2°C (Vgl: 21,2 – 28,7°C) liegen. Der Jahresniederschlag wird sich demnach bei 872 – 1755 mm (Vgl: 854 – 1716) befinden. Als Vergleichsperiode werden die Jahre 1986 – 2005 genommen. (PNACC, 2014e)

Als die größten klimatischen Risiken durch den Klimawandel in Togo werden Überschwemmungen, Dürre, Hitzewellen, eine Jahreszeitenverschiebung und eine schlechte Regenverteilung festgehalten (PNACC, 2014g).

Auch wenn die bisherigen Datenanalysen und Strategien als Grundlage und Vergleichsmöglichkeit für spezifischere Analysen verwendet werden können, sind sie im Allgemeinen zu ungenau und großskaliert. Die verwendeten Klimadaten, die Nennung der Probleme und die Projektionen für die Zukunft beziehen sich meist auf das gesamte Land oder auf die einzelnen Regionen. Diese Werte sind allerdings für eine sinnvolle lokale Anpassungsstrategie zu grob. Da es in Togo landesweit nur neun offizielle Wetterstationen gibt, ist eine flächendeckende, detaillierte Informationslieferung aus diesen Daten nicht möglich (infoclimat.fr). Für die Präfektur Agou ist zu diesem Zeitpunkt keine genauere Analyse bekannt.

Diese Bachelorarbeit soll diese Lücke für die Präfektur Agou, innerhalb der Plateaux Region Togos, füllen. Sie kann als Grundlage für weitere Analysen dienen und zur Entwicklung einer Klimawandelanpassungsstrategie genutzt werden.

2 Methoden

2.1 Auswahl der für die Analyse wichtigen Indikatoren

Für die Klimawandelrisikoanalyse müssen zuerst die wichtigsten zu untersuchenden Indikatoren bzw. Klimaelemente bestimmt werden. Diese werden anhand der Pflanzendaten und der Toleranzgrenzen der Pflanzen festgelegt.

In der Plateaux-Region, und somit auch in der Präfektur Agou, werden hauptsächlich Baumwolle, Mais, Hirse, Maniok, Jams, Erdnüsse, Reis, Bohnen und Soja angebaut (PANA 2009b).

Vor allem Wassermangel und zunehmende Witterungsextreme könnten zukünftig die Ertragssicherheit gefährden. Durch Hitzestress, zunehmende Trockenheit, Staunässe und Starkniederschläge, sowie durch zu starken Wind und Sturm kann es zu Ernteaussfällen kommen. Dies ist besonders dann der Fall, wenn diese Bedingungen während den empfindlichen Phasen des Wachstums, wie der Blattbildung, beim Blühen oder der Fruchtbildung sowie der Abreife der Pflanzen auftreten. (DAS, 2008) Auch, wenn diese Einschätzung vor allem für europäische Feldfrüchte gilt, kann sie nach Vergleichen in der Literatur für tropische Feldfrüchte herangezogen werden. Am stärksten sind die negativen Effekte dann, wenn Hitze- und Wasserstress gleichzeitig auftreten. (Sultan et al, 2013)

Die Art *Sorghum bicolor* ist eine der wichtigsten Hirsearten. Sie ist licht- und wärmebedürftig und durch ihren geringen Wasserbedarf sehr dürreresistent. Bei zu starker Trockenheit kann die Pflanze jedoch in einen Wachstumsstillstand übergehen, bis wieder Wasser zur Verfügung steht. (pflanzenforschung.de a)

Jams ist ein tropisches Gewächs und hat sein Temperaturoptimum zwischen 25 – 30°C. Die Pflanze bevorzugt regelmäßige Niederschläge für ein optimales Wachstum. (pflanzenforschung.de b)

Sorghumhirse ist während der ersten 25 – 65 Tage nachdem der Keim an die Erdoberfläche getreten ist sehr vulnerabel für Extremtemperaturen und Wasserstress (Ahmed et al, 2015). Sorghumhirse und Rispenhirse erscheinen

am sensitivsten gegenüber steigenden Temperaturen. Für Sorghumhirse kann zwar sogar eine Ertragszunahme bei leichten Temperaturerhöhungen stattfinden, für Rispenhirse wird jedoch von einem Ernteverlust bei Temperaturerhöhungen in Westafrika ausgegangen. (Ahmed et al, 2015)

Mais ist eine wärmeliebende C4-Pflanze, weshalb sie vergleichsweise wenig Wasser benötigt. Jedoch kann auch hier Wassermangel in jedem Stadium des Wachstums zu Fehlbildungen und schließlich Ernteeinbußen führen. (DMK) Das Temperaturoptimum für das Pflanzenwachstum liegt zwischen 25 – 35°C (natur-lexikon.com). Bei weiter steigenden Temperaturen und abnehmenden oder nur leicht zunehmendem Niederschlag ist eine Abnahme der Maisernte in Westafrika zu erwarten. Nimmt die Niederschlagssumme jedoch stark zu, ist eine Zunahme der Maiserträge möglich. (Ahmed et al, 2015).

Getreide in Westafrika hat generell ein Temperaturoptimum von 30 – 32°C während der Wachstums- und Kornbildungsphase. (Ahmed et al, 2015)

Da es sich bei den meisten Getreidesorten im westafrikanischen Raum um C4-Pflanzen handelt, ist davon auszugehen, dass die steigende CO₂-Konzentration in der Atmosphäre keinen großen Effekt auf die Wassereffizienz der Pflanzen haben wird. Die Effizienz der Photosynthese bei C4-Pflanzen ist wahrscheinlich bereits bei einer CO₂-Konzentration von 400 ppm in der Atmosphäre gesättigt, welche heute schon überschritten ist (Wert Stand Dez. 2019: 412 ppm (ESRL)). (Ahmed et al, 2015)

Zusammenfassend lassen sich folgende Indikatoren für die Risikoanalyse der togolesischen Landwirtschaft unter Betracht des Klimawandels herausstellen: Die maximalen Tagestemperaturen, die durchschnittlichen Tagestemperaturen, die Niederschlagssumme, die Starkniederschläge, die Verteilung der Niederschlagssumme über das Jahr, die Trockenperioden, Hitzewellen, sowie deren zeitliche Überschneidung und die klimatische Wasserbilanz. Diese Indikatoren werden für die nachfolgende Analyse herangezogen.

2.2 Beschreibung der für die Analyse verwendeten Datensätze

Um den bisherigen und den möglichen zukünftigen Klimawandel zu analysieren, werden sogenannte Klimamodelle und Szenarien verwendet. Das Modell stellt dabei das Computerprogramm dar, welches mit Daten gespeist wird und anhand von Annahmen den Klimawandel berechnet. Diese verschiedenen Annahmen bilden die Szenarien. Ein Szenario gibt vor, mit welchen Entwicklungen das Modell rechnen soll. Das Ergebnis einer solchen Analyse kann dann in einer Klimaprojektion verbildlicht werden. Wichtig zu unterscheiden sind diese von Prognosen und Vorhersagen. Die Klimaprojektionen stellen lediglich die möglichen Änderungen nach dem verwendeten Modell und Szenario dar. (UBA, 2020)

Es gibt viele verschiedene Szenarien, die unterschiedliche Annahmen treffen und verschiedene Modelle, die mit unterschiedlichen Daten gespeist werden und andere Rechenmethoden verwenden. Diese können jeweils unterschiedliche Ergebnisse liefern. Um eine möglichst genaue Aussage über die Bandbreite der möglichen Klimaänderungen treffen zu können und zu analysieren, welche davon am wahrscheinlichsten ist, wird daher empfohlen, ein Ensemble zu erstellen (IPCC, 2013a). Dies bedeutet, dass so viele Szenarien wie möglich miteinander verglichen werden. Die ausgewählten Szenarien sollten zudem von möglichst vielen verschiedenen Modellen berechnet werden. Dies gilt für die zukünftigen Klimaänderungen, als auch für die bisherigen, da es auch in der Vergangenheit Unsicherheiten über die Klimadaten gibt. Die Kombinationen aus Modellen und Szenarien werden jeweils innerhalb verschiedener Projekte durchgeführt und im Folgenden als „Modellläufe“ bezeichnet.

2.2.3 Beschreibung der verwendeten Modelle

Für die folgende Analyse werden Modellläufe aus zwei verschiedenen Projekten einbezogen: dem IPCC AR4 und CORDEX.

Das IPCC AR4 Projekt arbeitet mit ECHAM, einem globalen Zirkulationsmodell, welches am Max-Planck-Institut (= MPI) in Hamburg erstellt und kontinuierlich weiterentwickelt wird (MPI-MET a). In dieser Analyse werden die Datensätze der Version ECHAM 5 verwendet.

Das Projekt CORDEX wird von dem World Climate Research Programme (= WCRP) bereitgestellt. Dabei werden aus einem GCM mit grober Auflösung die Rahmenbedingungen und enthaltenen Informationen genutzt und erweitert, um ein klein-skaliertes RCM mit genaueren Informationen zu gewinnen. (cordex.org) Die CORDEX-Datensätze für die folgende Analyse wurden über das sogenannte dynamische downscaling berechnet (unfccc). Es werden die Datensätze für „AFR-44“ verwendet, wobei AFR für Afrika und 44 für die Auflösung steht (CEDA Archive). Es werden zwei verschiedene Erdsystemmodelle (= ESM) einbezogen, eins ebenfalls entwickelt am MPI in Hamburg (= MPI-ESM) und eins konzipiert in Irland (=ICHEC-EC). Als regionale Klimamodelle werden REMO2009 und CLM verwendet. (cera)

2.2.4 Beschreibung der verwendeten Szenarien

Die Szenarien für die Vergangenheit aus dem AR4-Projekt tragen die Abkürzung 20C (= 20th Century) und werden ab 1950 bis zum Jahr 2000 betrachtet. Es wird die dritte Modifikation dieses Szenarios herangezogen (= 3M). Bei CORDEX werden die Datensätze für die Vergangenheit „historical“ genannt und werden ebenfalls ab dem Jahr 1950 betrachtet, liefern jedoch Daten bis zum Jahr 2005. (cera)

Für die Analyse des zukünftigen Klimawandels wird zwischen zwei Szenarien-Gruppen unterschieden: die SRES-Szenarien und die RCP-Szenarien.

Die SRES-Szenarien wurden im Jahr 2000 veröffentlicht und beschreiben verschiedene Entwicklungen der sozialen, wirtschaftlichen und technologischen Strukturen, die wiederum unterschiedliche Emissionsentwicklungen bedingen (IPCC, 2000). Diese Szenarien werden bei der ECHAM-Modellierung einbezogen. Es werden die SRES-Szenarien A1B, B1 und A2 genutzt, welche Daten ab dem Jahr 2001 liefern und für die Analyse bis zum Jahr 2100 betrachtet werden. (cera)

Das A1B Szenario nimmt eine zukünftig ausgewogene Nutzung aller Energiequellen, eine globalisierte Welt und eine rückläufige Bevölkerungsentwicklung ab 2050 an. Auch das B1 Szenario nimmt an, dass die Weltbevölkerung ab 2050 abnimmt. Zudem kommt eine zukünftige Nutzung von ausschließlich grünen Energien. Im A2 Szenario gibt es keine

globalisierte Welt, so dass die Weltbevölkerung weiterhin ansteigt und sich die Wirtschaft vor allem regional weiterentwickelt. (IPCC, 2007)

In diesem Falle bildet das B1 Szenario das „Best-Case-Szenario“ und A2 das „Worst-Case-Szenario“.

Für die Berechnungen mit den SRES- und den 20C-Szenarien gibt es drei Läufe, die jeweils mit anderen Anfangsbedingungen rechnen. Auch diese drei Läufe werden mit in das Ensemble einbezogen und werden durch die Zahlen 1, 2 oder 3 hinter dem Namen des Szenarios gekennzeichnet. Die 20C-Szenarien werden jeweils mit den SRES-Szenarien verknüpft, so dass insgesamt die Periode 1950 – 2100 betrachtet wird.

Die RCP-Szenarien wurden für den 5. Sachstandsbericht des IPCC entwickelt und lösen die SRES-Szenarien seit 2013 ab (DWD b). Die RCP-Szenarien skizzieren keine konkreten Änderungen der sozi-ökonomischen Strukturen, sondern betrachten verschiedene Änderungen im Strahlungshaushalt des Erd-Atmosphäre-Systems. RCP steht für „Representative Concentration Pathway“ und gibt den jeweiligen Strahlungsantrieb bis 2100 in W/m^2 an. Der Strahlungsantrieb gibt die Änderung der Energiebilanz im Erd-Atmosphäre-System im globalen, jährlichen Mittel an und kann negativ oder positiv sein. Ein positiver Strahlungsantrieb führt dabei zu einer Temperaturerhöhung, da mehr Energie dem System zugeführt wird, wohingegen ein negativer Strahlungsantrieb für eine Temperaturminderung sorgen würde. (IPCC, 2013b)

In der folgenden Analyse werden für die Modelle aus CORDEX die Szenarien RCP 2.6, RCP 4.5 und RCP 8.5 einbezogen. Der Zahlenwert steht jeweils für den Strahlungsantrieb in W/m^2 .

In diesem Fall ist das RCP 2.6 Szenario das „Best-Case-Szenario“ und RCP 8.5 das „Worst-Case-Szenario“. Hier werden ebenfalls die „historischen“ Szenarien mit den RCP-Szenarien verknüpft, so dass Daten von 1950 – 2100 zur Verfügung stehen.

Die für die Analyse verwendeten Datensätze werden im Detail mit Quelle im Anhang I angegeben.

Insgesamt werden für jede untersuchte Variable 17 Läufe verglichen, die aus den oben genannten Modellen und Szenarien bestehen und das Ensemble bilden (s. Tab. 1). (Datensatz für MPI-ESM CLM RCP 2.6 ist nicht verfügbar).

Tabelle 1: Übersicht des für die Analyse verwendeten Ensembles aus Modellen und Szenarien

Modell	Szenario Vergangenheit	Szenario Zukunft	Verwendete Abkürzung
ECHAM5	20C3M 1	A1B 1	A1B 1
ECHAM5	20C3M 2	A1B 2	A1B 2
ECHAM5	20C3M 3	A1B 3	A1B 3
ECHAM5	20C3M 1	A2 1	A2 1
ECHAM5	20C3M 2	A2 2	A2 2
ECHAM5	20C3M 3	A2 3	A2 3
ECHAM5	20C3M 1	B1 1	B1 1
ECHAM5	20C3M 2	B1 2	B1 2
ECHAM5	20C3M 3	B1 3	B1 3
MPI-ESM REMO2009	historical	RCP 2.6	MPI R 26
MPI-ESM REMO2009	historical	RCP 4.5	MPI R 45
MPI-ESM REMO2009	historical	RCP 8.5	MPI R 85
MPI-ESM CLM	historical	RCP 4.5	MPI C 45
MPI-ESM CLM	historical	RCP 8.5	MPI C 85
EC-EARTH REMO2009	historical	RCP 2.6	ICH R 26
EC-EARTH REMO2009	historical	RCP 4.5	ICH R 45
EC-EARTH REMO2009	historical	RCP 8.5	ICH R 85

Die verwendeten Datensätze stammen von dem World Data Center for Climate (= WDCC) und wurden über das Deutsche Klimarechenzentrum (= DKRZ) zur Verfügung gestellt. (dkrz.de)

2.2.5 Die verwendeten Modell-Koordinaten

Zur Berechnung in den Modellen wird ein Raster mit sogenannten Grid-Zellen über den Globus gelegt. Für jede Grid-Zelle gibt es eigene Daten. Für jede Variable wird ein Mittelwert über die gesamte Zelle angegeben. Je größer die Zelle, desto ungenauer ist daher das Ergebnis der Analyse für die einzelnen Orte innerhalb dieser Zelle. Das Modell ECHAM skaliert die Welt in einem Raster von $1,875^\circ$, was in etwa einer Auflösung von 208×208 km entspricht. Die Modelle von Cordex AFR-44 arbeiten mit einer Auflösung von $0,44^\circ$, also ca. 48×48 km. (ncdump, cera) Jedes Modell hat für sein Raster entsprechende Koordinaten, anhand welcher man die jeweilige Grid-Zelle auswählen kann, die für die Analyse von Bedeutung ist.

Da die beiden Modelle in unterschiedlichen Auflösungen und Rastern rechnen, nutzen sie auch unterschiedliche Koordinaten. Anhand der realen Koordinaten des zu untersuchenden Gebietes können die entsprechenden Modell-Koordinaten herausgesucht werden. Nachdem die jeweiligen Kacheln für die Region Agou ausgewählt wurden, müssen die Koordinaten noch an die Unsicherheiten des Programms angepasst werden, damit sichergestellt werden kann, dass die richtigen Kacheln ausgeschnitten werden. Dazu wird ein kleiner „Puffer“ den Koordinatenwerten zugerechnet. Die gewählten Koordinaten sind in Tabelle 2 aufgeführt.

Tabelle 2: Die verwendeten realen Koordinaten und die daraus abgeleiteten Modell-Koordinaten der Präfektur Agou

Koordinaten	Real (gpskoordinaten.de)	ECHAM	ECHAM + Puffer	AFR-44	AFR-44 + Puffer
Norden	$6,89^\circ$	6,52	7	7,04	7,1
Süden	$6,57^\circ$	6,52	6	6,6	6,5
Osten	$0,89^\circ$	0	1	0,879	0,9
Westen	$0,67^\circ$	0	0	0,879	0,8

In den ECHAM-Datensätzen wird eine Grid-Zelle für die Präfektur ausgeschnitten. Aufgrund der groben Auflösung mittelt das Modell innerhalb dieser Zelle jedoch die Daten von rund 43.264 km^2 , was die Fläche der

Präfektur um weiten übertrifft. In den CORDEX-Datensätzen werden zwei Zellen ausgeschnitten, welche insgesamt Daten von einer Fläche von ca. 3.872 km² mittelt. Diese Datensätze liefern somit präzisere Werte für die Präfektur Agou.

2.3 Erläuterung des Ablaufs der Analyse

Die Datensätze werden mit Hilfe des Programms „cdo“, welches von dem Max-Planck-Institut für Meteorologie entwickelt und bereitgestellt wird, bearbeitet und analysiert. Cdo ist eine Sammlung von Befehlsoperatoren und dient der Bearbeitung von Klima-Modelldaten (MPI-MET b). Anschließend werden die daraus gewonnenen Daten über Excel weiterbearbeitet.

Das Klima wird definiert als die Zusammenfassung des Zustands der Atmosphäre an einem bestimmten Ort über einen Zeitraum von mindestens 30 Jahren (DWD c). Für eine Klimawandelanalyse müssen somit immer Perioden von mindestens 30 Jahren miteinander verglichen werden.

Neben den Modell-Datensätzen liegen für diese Analyse auch Daten der Wetterstation „Kpalimé-Tové“ von 1988 bis 2018 vor, welche der Projektregion am nächsten liegt. Das erstellte Ensemble aus 17 Läufen wird für jede Variable mit diesen Stationswerten verglichen, um festzustellen, wie groß die Abweichungen zwischen den errechneten und den tatsächlich gemessenen Werten sind. Um diese Abweichungen möglichst klein zu halten, werden die Modelldaten anhand der Differenz zu den Stationsdaten korrigiert (= Delta-Methode). Die einbezogene Wetterstation liegt auf 205 m Höhe bei 0,65° östlich und 6,88° nördlich und grenzt somit nord-westlich direkt an die Projektregion an (Wetterstation „Kpalimé-Tové“). Die Abweichung zwischen Stations- und Modelldaten kommt vor allem daher, dass die Station die Werte für ihren Standpunkt misst, die Zelle im Modell aber viel größer ist und Daten aus der ganzen Umgebung mittelt. Abweichungen zwischen Stations- und Modellwerten sind somit unumgänglich. Trotzdem werden die Modellierungen anhand der Stationsdaten korrigiert, um die Fehlerquelle zu minimieren.

Nachdem die Modelldaten korrigiert wurden, wird eine Robustheitsanalyse durchgeführt, um die Aussagekräftigkeit der Analyse zu untersuchen. Als Erstes wird überprüft, ob die Trends der Datensätze alle in die gleiche Richtung gehen. Als Zweites wird die Signifikanz der Klimaänderungssignale getestet. Dazu werden die Daten zuerst über den Kolmogorov-Smirnov-Test auf Normalverteilung geprüft. Da es sich um Jahreswerte handelt, sind die Daten aller Parameter normalverteilt. Somit kann die Signifikanz über einen T-

Test überprüft werden, einmal für die nahe Zukunft (Vergleich Periode 1971/2000 - 2021/2050) und ein weiteres Mal für die ferne Zukunft (1971/2000 - 2071/2100). Dieser Test untersucht die Wahrscheinlichkeit, dass die beiden Perioden einer Modellierung identisch sind. Als Signifikanzniveau wird 15% angenommen. Solange die Wahrscheinlichkeit, dass zwei Perioden identisch sind unter 15% liegt, wird die Änderung also als signifikant angenommen. Dies bedeutet, dass die Änderung erheblich ist. Als Drittes wird die Sensitivität gegenüber zeitlichen Verschiebungen überprüft. Dabei wird geschaut, ob sich der Trend stark verändert, wenn man die beiden miteinander verglichenen Perioden um jeweils ein Jahr verschiebt. Dies wird elf Mal durchgeführt, so dass am Ende elf Perioden miteinander verglichen werden.

Das Ergebnis der Analyse ist dann robust, wenn mindestens 66% der Modellläufe alle drei Tests bestehen.

Die eigentliche Analyse erfolgt über die Bestimmung der Klimaänderungssignale. Diese Signale geben die Differenz zwischen zweier 30-jähriger Perioden und somit die Änderung des jeweiligen Klimatelements an. Dafür wird jeweils ein Mittelwert über die 30 Jahre gebildet und von dem Mittelwert der anderen Periode subtrahiert. Die Klimaänderungssignale werden im Folgenden für die nahe Zukunft (2021 - 2050) und für die ferne Zukunft (2071 - 2100) im Vergleich zu der Periode von 1971 - 2000 für jeden Parameter und jeden Modelllauf erstellt.

3 Ergebnisse der Analyse

In Kapitel 3.1 wird zuerst auf das aktuelle Klima eingegangen, welches anhand der Stationsdaten ermittelt wurde. Anschließend werden die Ergebnisse der Modelldaten präsentiert.

Es wird darauf hingewiesen, dass die Ergebnisse dieser Analyse keiner tatsächlichen Vorhersage für die Klimawandelauswirkungen in Agou entsprechen. Es handelt sich bei dieser Analyse ausschließlich um die Projektionen, die sich aus den oben genannten Szenarien und Modellen ziehen lassen. Die Ergebnisse sind weiterhin mit Unsicherheiten belastet und geben keine 100%ige Sicherheit über die Auswirkungen des Klimawandels wieder.

Anhand der Modellierungen werden folgende Parameter jeweils mit den 17 Läufen analysiert: Die jährliche mittlere Lufttemperatur, die jährliche Maximaltemperatur, die Anzahl der jährlichen Hitzetage, die Anzahl der Tage die eine Maximaltemperatur von 32°C oder höher erreichen, die Jahresniederschlagssumme, die Niederschlagssumme aufgeteilt in Trocken- und Regenzeit, die Anzahl der Starkregenereignisse und der Trockentage im Jahr, die Häufigkeit und durchschnittliche Länge von Hitze- und Trockenperioden, sowie die zeitliche Überschneidung von Hitze- und Trockentagen und die klimatische Wasserbilanz. Da in Togo ein tropisches Klima vorherrscht, welches in Trocken- und Regenzeit eingeteilt wird, ist es wichtig, dass besonders die wasserbezogenen Parameter jeweils nicht nur im jährlichen Durchschnitt, sondern für die Trocken- und Regenzeit getrennt betrachtet werden, da der Jahresdurchschnitt keine Aussage über die genauen Zustände während der zwei Phasen gibt. Die genauen Definitionen der Parameter folgen im Analyseteil.

Die Standardabweichung wird im nachfolgenden Analyseteil mit $\pm$ angegeben. Sie gibt die durchschnittliche Entfernung aller Werte eines Merkmals von deren Mittelwert an (statista). Je höher diese ist, desto größer ist die Bandbreite der möglichen Klimaänderungen.

3.1 Aktuelles Klima

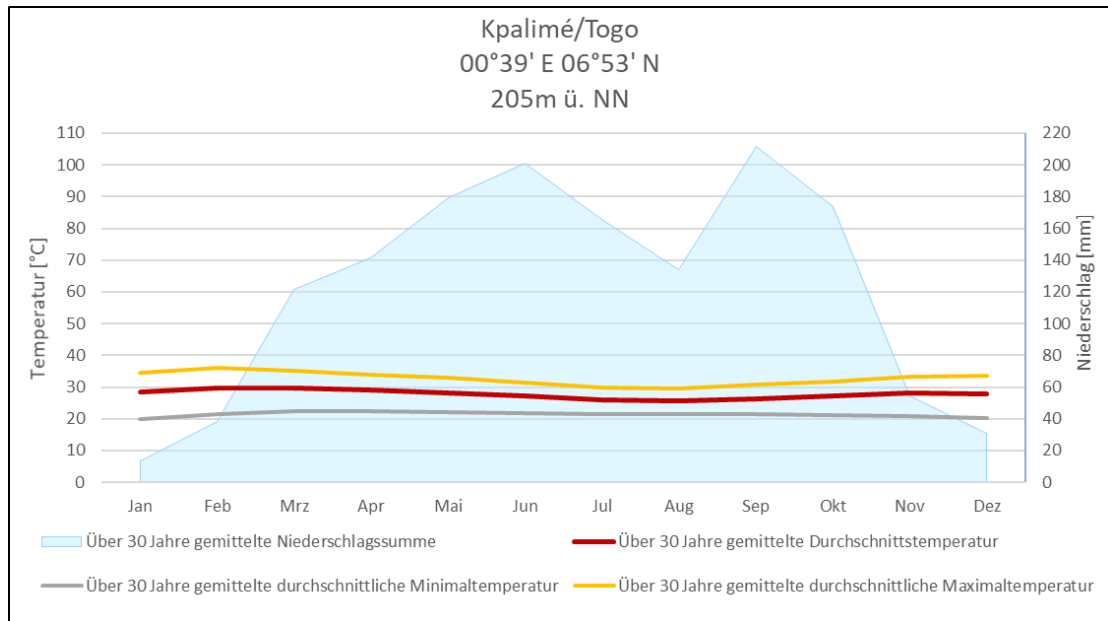


Abbildung 3: Klimadiagramm von Kpalimé, gemittelt über 1989 – 2018 Quelle: Wetterstation Kpalimé-Tové, erstellt von Isabell Stöhr

Anhand der Stationsdaten wurde ein Klimadiagramm für Kpalimé erstellt, welches den über 30 Jahre gemittelten Jahresverlauf der Durchschnitts-, mittleren Maximal- und mittleren Minimaltemperatur sowie der Niederschlagssumme von 1989 – 2018 darstellt (s. Abb. 3). Für diesen Zeitraum liegt die jährliche Durchschnittstemperatur in Kpalimé bei $27,85^{\circ}\text{C}$ ($\pm 0,39^{\circ}\text{C}$), die jährliche gemittelte Minimaltemperatur bei $21,53^{\circ}\text{C}$ ($\pm 0,41^{\circ}\text{C}$), die jährliche gemittelte Maximaltemperatur bei $32,78^{\circ}\text{C}$ ($\pm 0,77^{\circ}\text{C}$) und die jährliche Niederschlagssumme bei $1409,63\text{ mm}$ ($\pm 232,73\text{ mm}$) (Die Werte der Maximal- und Minimaltemperatur aus den Stationsdaten sind teilweise lückenhaft, an diesen Stellen wurden sie durch den jeweiligen Mittelwert ersetzt). Der wärmste Monat ist dabei im Durchschnitt der Februar mit $29,77^{\circ}\text{C}$ ($\pm 0,70^{\circ}\text{C}$) mittlere Lufttemperatur und $36,15^{\circ}\text{C}$ ($\pm 0,99^{\circ}\text{C}$) mittlere Maximaltemperatur. Der kälteste Monat ist im Schnitt der August mit einer Durchschnittstemperatur von $25,65^{\circ}\text{C}$ ($\pm 0,49^{\circ}\text{C}$) und einer mittleren Maximaltemperatur von $29,59^{\circ}\text{C}$ ($\pm 0,98^{\circ}\text{C}$). Die niedrigste gemittelte Minimaltemperatur im Jahresverlauf liegt im Januar bei $19,78^{\circ}\text{C}$ ($\pm 1,44^{\circ}\text{C}$). Der niederschlagsreichste Monat ist mit durchschnittlich $211,34\text{ mm}$ ($\pm 90,75\text{ mm}$) der September, der niederschlagsärmste Monat mit $13,13\text{ mm}$ ($\pm 15,90\text{ mm}$) der Januar. Im Jahresdurchschnitt gibt es $107,90$ Regentage ($\pm 15,17$)

und eine klimatische Wasserbilanz von 791,62 mm ($\pm$ 241,31 mm), wobei diese in den Monaten November, Dezember, Januar und Februar einen negativen Wert annimmt.

Verglichen mit den Angaben im togolesischen Anpassungsplan von 2014, wonach im Süden des Landes eine mittlere Jahresdurchschnittstemperatur von 27°C und eine Jahresniederschlagssumme von 800 – 1400 mm angenommen wird (PNACC, 2014a), lässt sich sagen, dass Kpalimé sowohl bei Temperatur, als auch bei Niederschlagssummen über dem Mittelwert liegt. Lediglich bei den Regentagen, welche sich nach Anpassungsplan auf 130 – 240 pro Jahr belaufen, liegt Kpalimé deutlich unter dem Durchschnitt. Dieser Vergleich verdeutlicht, dass ein Durchschnittswert über halb Togo keinen geeigneten Richtwert für Agou liefert.

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Modellläufe beschrieben.

3.2 Mittlere Lufttemperatur

Die jährliche mittlere Lufttemperatur wird gemittelt aus den monatlichen Mittelwerten und gibt Ausschluss darüber, wie sich die Lufttemperatur durchschnittlich im Laufe des Klimawandels verändern kann.

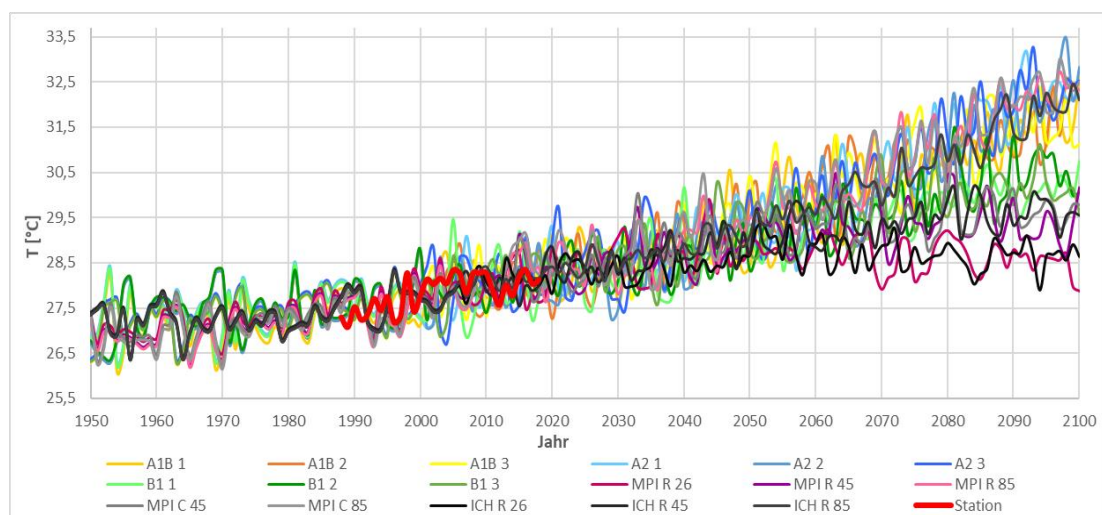


Abbildung 4: Projektion der Entwicklung der jährlichen mittleren Lufttemperatur in Agou von 1950 – 2100 nach dem verwendeten Ensemble, inkl. der Stationswerte von 1988 – 2018

In Abbildung 4 wird die Entwicklung der jährlichen mittleren Lufttemperatur in °C für die Region Agou von 1950 – 2100 nach dem verwendeten Ensemble dargestellt, verglichen mit den Stationswerten von 1988 – 2018.

Tabelle 3: Mittel-, Minimal- und Maximalwert der Jahresmitteltemperatur in Agou für die Perioden 1970 - 2000, 2021 - 2050 und 2071 - 2100 aus den Modelldaten, in °C

	1970 - 2000	2021 - 2050	2071 - 2100
$\bar{x}$	27,45	28,67	30,52
Min	26,51	27,26	27,87
Max	28,80	30,55	33,48

Aus den Modellergebnissen ergibt sich gemittelt über alle Modellläufe für die Periode 1970 – 2000 eine jährliche mittlere Lufttemperatur von 27,45°C ($\pm 0,07^\circ\text{C}$), für die Periode 2021 – 2050 von 28,67°C ($\pm 0,12^\circ\text{C}$) und für die Periode 2071 – 2100 von 30,52°C ($\pm 1,08^\circ\text{C}$). Dabei können bis 2050 Spitzenwerte von 30,55°C als Jahresmitteltemperatur und bis 2100 von 33,48°C eintreten (s. Tab. 3). Die Jahresmitteltemperatur wird demnach ab 2021 nicht mehr unter 27,26°C und ab 2071 nicht mehr unter 27,87°C fallen. Das mittlere Klimaänderungssignal für die nahe Zukunft liegt bei +1,23°C und für die ferne Zukunft bei +3,07°C. Diese Entwicklungen sind signifikant.

Tabelle 4: Aus den Modelldaten berechnete Klimaänderungssignale der Jahresmitteltemperatur in Agou für die Perioden 1971/2000 – 2021/2050 und 1971/2000 – 2071/2100 in °C

Modelllauf	Δ 1971/2000 – 2021/2050	Δ 1971/2000 – 2071/2100	Modelllauf	Δ 1971/2000 – 2021/2050	Δ 1971/2000 – 2071/2100
A1B 1	+1,32	+3,74	MPI R 2.6	+1,18	+1,08
A1B 2	+1,31	+3,78	MPI R 4.5	+1,24	+2,00
A1B 3	+1,34	+3,70	MPI R 8.5	+1,42	+4,31
A2 1	+1,12	+4,06	MPI C 4.5	+1,30	+2,18
A2 2	+1,08	+4,01	MPI C 8.5	+1,51	+4,35
A2 3	+1,29	+4,08	ICH R 2.6	+1,02	+1,26
B1 1	+1,01	+2,47	ICH R 4.5	+1,17	+2,12
B1 2	+1,01	+2,70	ICH R 8.5	+1,34	+3,86
B1 3	+1,20	+2,53			

Das minimale Klimaänderungssignal für die nahe Zukunft liegt bei +1,01°C nach dem Szenario B1 1 und B1 2, das maximale Klimaänderungssignal bei +1,51°C nach dem Szenario MPI CLM 8.5. Für die ferne Zukunft liegt das minimale Klimaänderungssignal bei +1,08°C nach MPI REMO 2.6 und das maximale Klimaänderungssignal bei +4,35°C nach MPI CLM 8.5. Alle anderen

Klimaänderungssignale liegen dazwischen (s. Tab. 4). Das Ergebnis des Ensembles hat die Robustheitsanalyse bestanden.

Die Übereinstimmung des Trends liegt hier bei 100%, womit es nach IPCC so gut wie sicher ist (IPCC, 2010), dass die mittlere Jahrestemperatur in Agou bis zum Jahr 2100 ansteigen wird.

3.3 Maximaltemperatur

Neben der mittleren jährlichen Lufttemperatur liefert auch die durchschnittliche maximale Lufttemperatur wichtige Informationen. Denn die mittlere Lufttemperatur gibt keinen Ausschluss darüber, wie hoch die Spitzentemperaturen liegen und ob auch die Extreme durch den Klimawandel verstärkt werden. Für viele Ökosysteme und Pflanzen sind vor allem diese von Bedeutung. Die jährliche Maximaltemperatur wird hier aus den monatlich gemittelten Maximaltemperaturen berechnet. Es handelt sich somit um die gemittelte Jahresmaximaltemperatur und nicht um die absoluten Maximaltemperaturen.

In Abbildung 5 wird die Entwicklung der jährlichen mittleren Maximaltemperatur in °C für die Region Agou von 1950 – 2100 nach dem verwendeten Ensemble dargestellt, verglichen mit den Stationswerten von 1988 – 2018.

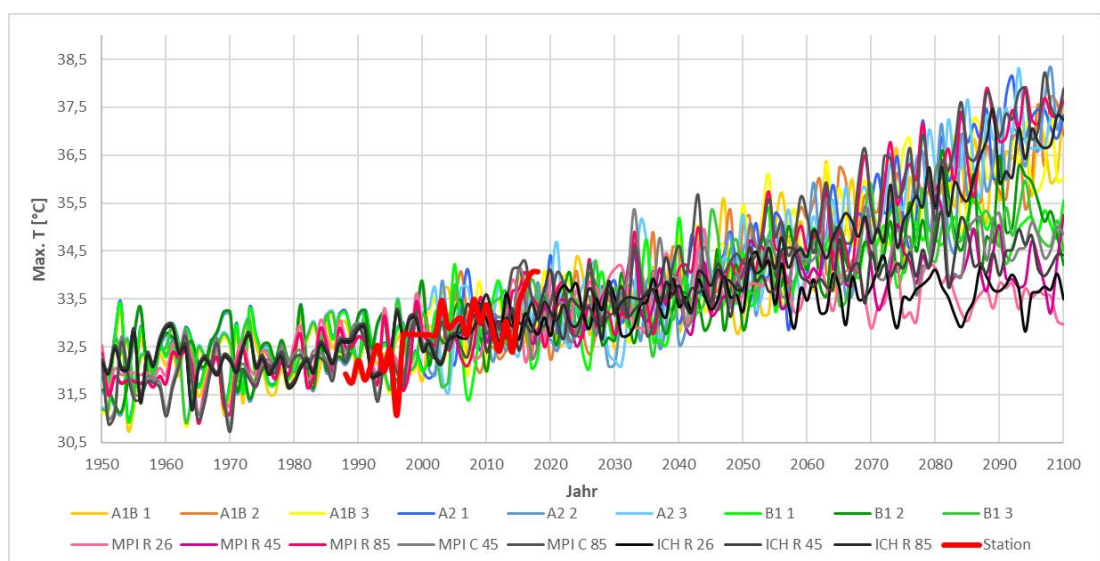


Abbildung 5: Projektion der Entwicklung der jährlichen mittleren Maximaltemperatur in Agou von 1950 – 2100 nach dem verwendeten Ensemble, inkl. der Stationswerte von 1988 – 2018

Die Modellergebnisse liefern gemittelt über alle Modellläufe eine mittlere jährliche Maximaltemperatur von 32,38°C ($\pm 0,08^\circ\text{C}$) für die Periode 1970 – 2000, von 33,57°C ($\pm 0,14^\circ\text{C}$) für die Periode 2021 – 2050 und von 35,44°C ($\pm 1,07^\circ\text{C}$) für die Periode 2071 – 2100. (s. Tab. 5)

Tabelle 5: Mittel-, Minimal- und Maximalwert der mittleren Jahresmaximaltemperatur in Agou für die Perioden 1970 - 2000, 2021 - 2050 und 2071 – 2100 aus den Modelldaten, in °C

	1970 - 2000	2021 - 2050	2071 - 2100
$\bar{x}$	32,38	33,57	35,44
Min	31,32	32,05	32,82
Max	33,85	35,67	38,34

Daraus ergibt sich gemittelt über alle Modelldaten ein mittleres Klimaänderungssignal von +1,19°C für die nahe Zukunft und von 3,06°C für die ferne Zukunft. Diese Änderungen sind signifikant.

Nach dem verwendeten Ensemble können bis 2050 Spitzenwerte von 33,85°C mittlere Jahresmaximaltemperatur erreicht werden, bis 2100 von 38,34°C. Dabei fällt die jährliche mittlere Maximaltemperatur ab 2021 nicht mehr unter 32,05°C und ab 2071 nicht mehr unter 32,82°C. (s. Tab. 5)

Tabelle 6: Aus den Modelldaten berechnete Klimaänderungssignale der mittleren Jahresmaximaltemperatur in Agou für die Perioden 1971/2000 – 2021/2050 und 1971/2000 – 2071/2100 in °C

Modelllauf	Δ 1971/2000 – 2021/2050	Δ 1971/2000 – 2071/2100	Modelllauf	Δ 1971/2000 – 2021/2050	Δ 1971/2000 – 2071/2100
A1B 1	+1,27	+3,70	MPI R 2.6	+1,20	+1,10
A1B 2	+1,28	+3,72	MPI R 4.5	+1,15	+1,94
A1B 3	+1,36	+3,66	MPI R 8.5	+1,34	+4,40
A2 1	+1,07	+4,04	MPI C 4.5	+1,35	+2,35
A2 2	+0,97	+3,92	MPI C 8.5	+1,56	+4,57
A2 3	+1,29	+4,05	ICH R 2.6	+1,05	+1,26
B1 1	+0,97	+2,40	ICH R 4.5	+1,09	+1,97
B1 2	+0,92	+2,70	ICH R 8.5	+1,19	+3,73
B1 3	+1,15	+2,49			

Für die nahe Zukunft liegt das minimale Klimaänderungssignal bei +0,92°C nach dem Szenario B1 2, das maximale Klimaänderungssignal bei +1,56°C nach dem Szenario MPI CLM 8.5. Für die ferne Zukunft liegt das minimale

Klimaänderungssignal bei $+1,10^{\circ}\text{C}$ nach MPI REMO 2.6 und das maximale Klimaänderungssignal bei $+4,57^{\circ}\text{C}$ nach MPI CLM 8.5. Alle anderen Klimaänderungssignale liegen dazwischen (s. Tab. 6). Die Modellergebnisse haben die Robustheitsanalyse bestanden.

Mit einer 100%igen Übereinstimmung im positiven Trend ist die Zunahme der jährlichen mittleren Maximaltemperatur in Agou bis 2100 nach IPCC (IPCC, 2010) so gut wie sicher.

3.4 Hitzetage

Aus der täglichen maximalen Lufttemperatur lässt sich die jährliche Anzahl an Hitzetagen ableiten. Ein Hitzetag (auch heißer Tag) ist ein Tag, an dem die maximale Temperatur im Tagesverlauf auf 30°C oder höher steigt (DWD d). Häufiger auftretende Hitzetage bedeuten mehr Hitzestress für die Ökosysteme und die Landwirtschaft.

In Abbildung 6 wird die Entwicklung der jährlichen Anzahl an Hitzetagen in der Region Agou von 1950 – 2100 nach dem verwendeten Ensemble dargestellt, verglichen mit den Stationswerten von 1988 – 2018.

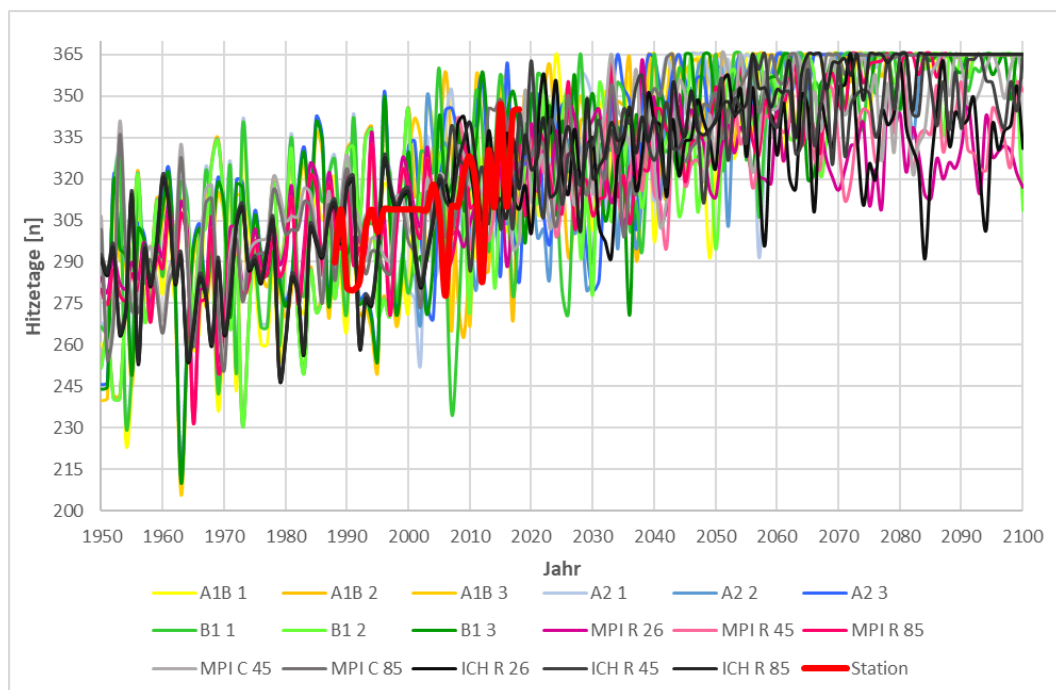


Abbildung 6: Projektion der Entwicklung der jährlichen Anzahl an Hitzetagen in Agou von 1950 – 2100 nach dem verwendeten Ensemble, inkl. der Stationswerte von 1988 – 2018

Gemittelt über alle Modellläufe liegt die mittlere Anzahl von jährlichen Hitzetagen in der Periode 1970 – 2000 bei 297,33 d/a ($\pm 3,25$ d), in der Periode 2021 – 2050 bei 332,12 d/a ($\pm 5,36$ d) und in der Periode 2071 – 2100 bei 356,68 d/a ($\pm 11,70$ d). Dem Ensemble nach können jedoch bereits ab der Periode 2021 – 2050 Jahre auftreten, in denen jeder Tag im Jahr ein Hitzetag ist. Dabei fällt die Anzahl der jährlichen Hitzetage bis 2050 nicht mehr unter 270,94 Tage und bis 2100 nicht mehr unter 291,18 Tage. (s. Tab. 7)

Tabelle 7: Mittel-, Minimal- und Maximalwert der jährlichen Anzahl an Hitzetagen in Agou für die Perioden 1970 - 2000, 2021 - 2050 und 2071 – 2100 aus den Modelldaten

	1970 - 2000	2021 - 2050	2071 - 2100
$\bar{x}$	297,33	332,12	356,68
Min	230,58	270,94	291,18
Max	350,65	365,00	365,00

Es ergibt sich ein mittleres Klimaänderungssignal für die nahe Zukunft von +34,78 Hitzetagen/a und für die ferne Zukunft von +59,35 Hitzetagen/a. Diese Klimaänderungssignale sind signifikant.

Tabelle 8: Aus den Modelldaten berechnete Klimaänderungssignale der jährlichen Anzahl an Hitzetagen in Agou für die Perioden 1971/2000 – 2021/2050 und 1971/2000 – 2071/2100

Modelllauf	Δ 1971/2000 – 2021/2050	Δ 1971/2000 – 2071/2100	Modelllauf	Δ 1971/2000 – 2021/2050	Δ 1971/2000 – 2071/2100
A1B 1	+40,91	+69,50	MPI R 2.6	+26,78	+25,28
A1B 2	+38,77	+68,70	MPI R 4.5	+23,22	+39,10
A1B 3	+48,67	+70,83	MPI R 8.5	+29,22	+63,59
A2 1	+36,36	+63,51	MPI C 4.5	+29,28	+49,37
A2 2	+28,37	+68,57	MPI C 8.5	+34,15	+66,33
A2 3	+40,34	+65,89	ICH R 2.6	+37,28	+42,73
B1 1	+29,85	+61,62	ICH R 4.5	+38,10	+55,72
B1 2	+32,03	+65,08	ICH R 8.5	+39,47	+69,39
B1 3	+38,54	+63,77			

Für die nahe Zukunft liegt das minimale Klimaänderungssignal bei +23,22 Hitzetagen/a nach dem Szenario MPI REMO 2.6, das maximale Klimaänderungssignal bei +48,67 Hitzetagen/a nach dem Szenario A1B 3. Für die ferne Zukunft liegt das minimale Klimaänderungssignal bei +25,28

Hitzetagen/a nach MPI REMO 2.6 und das maximale Klimaänderungssignal bei +70,83 Hitzetagen/a nach A1B 3. Alle anderen Klimaänderungssignale liegen dazwischen (s. Tab. 8). Das Ensemble hat die Robustheitsanalyse bestanden. Die Übereinstimmung im Trend liegt wiederum bei 100%. Somit ist es nach IPCC so gut wie sicher (IPCC, 2010), dass die jährliche Anzahl an Hitzetagen in Agou bis 2100 zunehmen wird.

3.5 Tage mit einer Maximaltemperatur von $\geq 32^{\circ}\text{C}$

Da viele Pflanzen im togolesischen Raum ein Temperaturoptimum von 30 - 32°C haben, ist neben der Anzahl der Hitzetage auch die Anzahl der Tage, deren Temperaturmaximum 32°C oder höher erreicht, von Bedeutung.

In Abbildung 7 wird die Entwicklung der jährlichen Anzahl an Tagen, deren Maximaltemperatur 32°C oder höher beträgt, in der Region Agou von 1950 – 2100 nach dem verwendeten Ensemble dargestellt, verglichen mit den Stationswerten von 1988 – 2018.

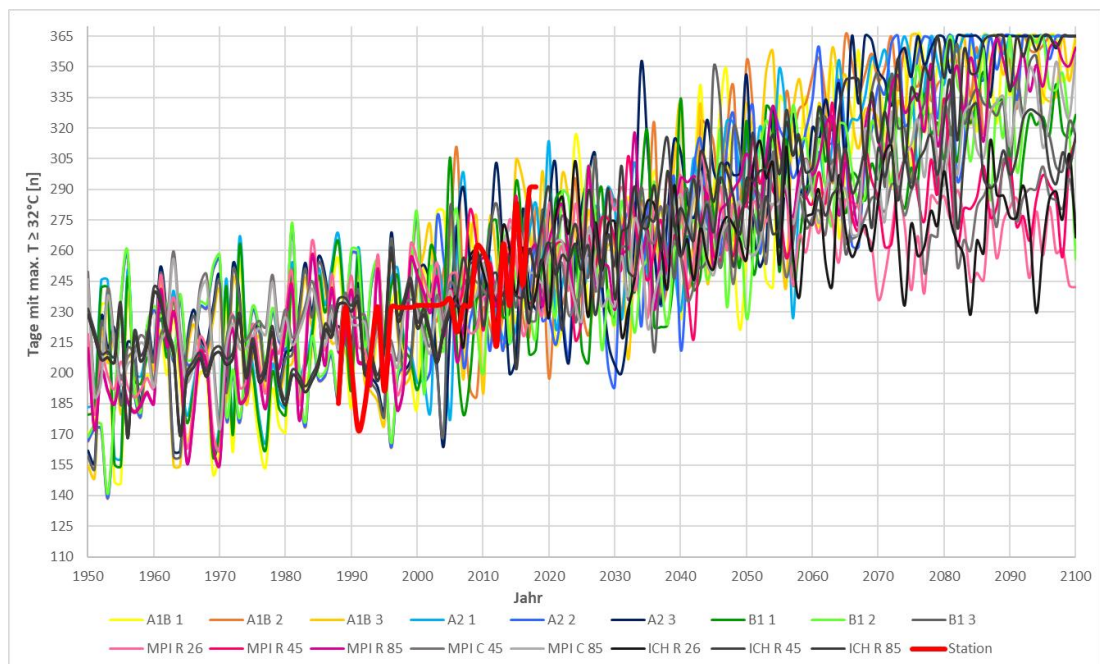


Abbildung 7: Projektion der Entwicklung der jährlichen Anzahl an Tagen mit einer maximalen Temperatur von $\geq 32^{\circ}\text{C}$ in Agou von 1950 – 2100 nach dem verwendeten Ensemble, inkl. der Stationswerte von 1988 – 2018

Aus den Modellergebnissen ergibt sich gemittelt über alle Modellläufe eine durchschnittliche Anzahl von 216,65 ($\pm 4,16$) Tagen mit einer maximalen Temperatur von $\geq 32^{\circ}\text{C/a}$ für die Periode 1970 – 2000, von 267,32 ($\pm 6,58$)

Tagen/a für die Periode 2021 – 2050 und von 324,73 ($\pm 30,71$) Tagen/a für die Periode 2071 – 2100 (s. Tab. 9).

Tabelle 9: Mittel-, Minimal- und Maximalwert der jährlichen Anzahl an Tagen mit einer maximalen Temperatur von $\geq 32^\circ\text{C}$ in Agou für die Perioden 1970 - 2000, 2021 - 2050 und 2071 – 2100 aus den Modelldaten

	1970 - 2000	2021 - 2050	2071 - 2100
$\bar{x}$	216,65	267,32	324,73
Min	154,13	193,84	228,53
Max	277,71	352,48	365,00

Daraus ergibt sich ein mittleres Klimaänderungssignal von +50,67 Tagen mit $T_{\max} \geq 32^\circ\text{C/a}$ für die nahe Zukunft und von +108,07 Tagen mit $T_{\max} \geq 32^\circ\text{C/a}$ für die ferne Zukunft. Diese Entwicklungen sind signifikant. Nach dem Ensemble liegt die maximale Anzahl von Tagen mit $T_{\max} \geq 32^\circ\text{C}$ bis 2050 bei 352,48 pro Jahr und bis 2100 bei 365 pro Jahr. Dabei fällt die Anzahl dieser Tage bis 2050 nicht mehr unter 193,84 und bis 2100 nicht mehr unter 228,53 pro Jahr (s. Tab. 9).

Tabelle 10: Aus den Modelldaten berechnete Klimaänderungssignale der jährlichen Anzahl an Tagen mit einer maximalen Temperatur von $\geq 32^\circ\text{C}$ in Agou für die Perioden 1971/2000 – 2021/2050 und 1971/2000 – 2071/2100

Modelllauf	Δ 1971/2000 – 2021/2050	Δ 1971/2000 – 2071/2100	Modelllauf	Δ 1971/2000 – 2021/2050	Δ 1971/2000 – 2071/2100
A1B 1	+61,97	+138,30	MPI R 2.6	+49,53	+45,10
A1B 2	+59,93	+137,14	MPI R 4.5	+46,65	+73,62
A1B 3	+60,73	+133,99	MPI R 8.5	+57,35	+128,25
A2 1	+48,83	+138,10	MPI C 4.5	+33,40	+58,80
A2 2	+43,80	+135,91	MPI C 8.5	+36,03	+98,35
A2 3	+56,13	+138,58	ICH R 2.6	+50,58	+61,13
B1 1	+46,10	+102,47	ICH R 4.5	+53,13	+91,28
B1 2	+41,63	+112,21	ICH R 8.5	+62,18	+137,22
B1 3	+53,33	+106,77			

Nach dem verwendeten Ensemble liegt für die nahe Zukunft das minimale Klimaänderungssignal bei +33,40 Tagen mit $T_{\max} \geq 32^\circ\text{C/a}$ nach dem Szenario MPI CLM 4.5, das maximale Klimaänderungssignal für die nahe Zukunft bei +62,18 Tagen $\geq 32^\circ\text{C/a}$ nach dem Szenario ICHEC REMO 8.5.

Für die ferne Zukunft liegt das minimale Klimaänderungssignal bei +45,10 Tagen mit $T_{\max} \geq 32^{\circ}\text{C}$ /a nach MPI REMO 2.6 und das maximale Klimaänderungssignal bei +138,58 Tagen mit $T_{\max} \geq 32^{\circ}\text{C}$ /a nach A2 3. Alle anderen Klimaänderungssignale liegen dazwischen (s. Tab. 10). Das Ergebnis des Ensembles ist robust. Auch hier zeigen alle Modellläufe einen positiven Trend an, weshalb es nach IPCC so gut wie sicher ist, dass die Anzahl der Tage mit einer Maximaltemperatur von $\geq 32^{\circ}\text{C}$ pro Jahr in Agou bis 2100 ansteigen wird.

3.6 Hitzeperioden

Hitzetage führen bei Pflanzen zu Stress. Dieser Stress wird größer und problematischer, je länger er anhält. Daher ist neben der Anzahl der Hitzetage auch wichtig, wie viele Hitzeperioden (auch Hitzewellen) auftreten. Dabei gibt es keine offizielle, internationale Definition. Eine Periode ist eine mehrtägiges Anhalten des jeweiligen Extrems (DWD e). Für diese Analyse wird eine Mindestzahl von drei aufeinanderfolgenden Tagen angenommen. Neben der Häufigkeit der Hitzeperioden wurde auch die durchschnittliche Länge der Perioden untersucht.

3.6.1 Anzahl der Hitzeperioden

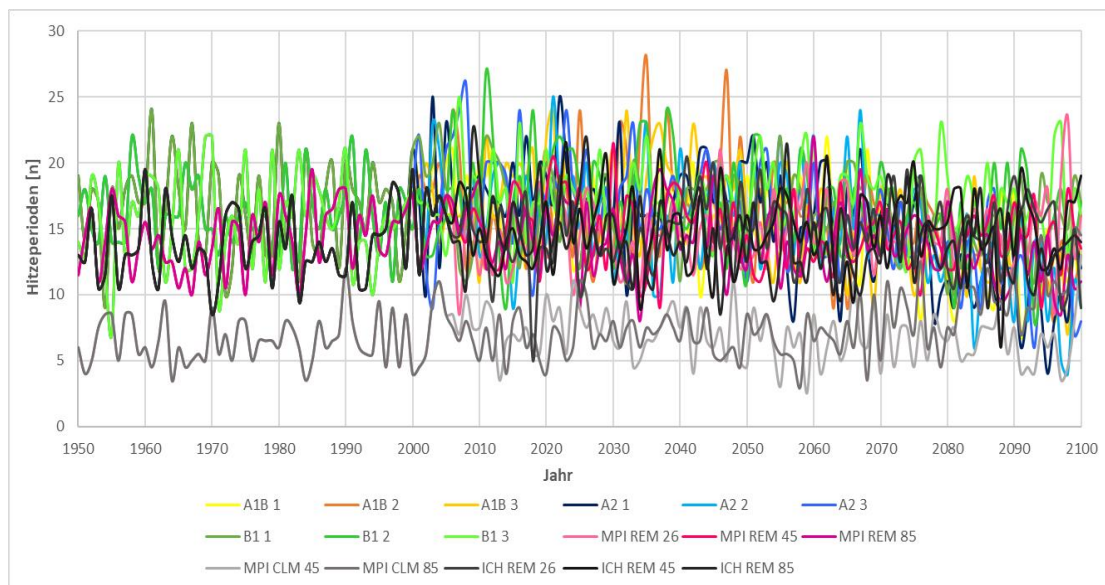


Abbildung 8: Projektion der Entwicklung der jährlichen Anzahl von Hitzeperioden in Agou von 1950 – 2100 nach dem verwendeten Ensemble

In Abbildung 8 wird die Entwicklung der jährlichen Anzahl an Hitzeperioden in der Region Agou von 1950 – 2100 nach dem verwendeten Ensemble dargestellt.

Tabelle 11: Mittel-, Minimal- und Maximalwert der jährlichen Anzahl von Hitzeperioden in Agou für die Perioden 1970 - 2000, 2021 - 2050 und 2071 – 2100 aus den Modelldaten

	1970 - 2000	2021 - 2050	2071 - 2100
$\bar{x}$	14,33	15,16	13,21
Min	3,50	4,00	3,50
Max	23,00	28,00	23,50

Gemittelt über alle Modellläufe ergibt sich für die Periode 1970 – 2000 eine durchschnittliche Anzahl von 14,33 ($\pm 3,00$) Hitzewellen/a, für die Periode 2021 - 2050 15,16 ($\pm 3,27$) Hitzewellen/a und für die Periode 2071 – 2100 13,21 ($\pm 2,44$) Hitzewellen/a (s. Tab. 11). Daraus ergeben sich folgende mittleren Klimaänderungssignale: +0,83 Hitzewellen/a für die nahe Zukunft und -1,12 Hitzewellen/a für die ferne Zukunft. Beide Klimaänderungssignale sind signifikant. Dem Ensemble nach können bis 2050 Jahre mit maximal 28,00 und minimal 4,00 Hitzewellen auftreten. Bis 2100 nimmt die Anzahl der jährlichen Hitzewellen dann wiederum bis auf maximal 23,50 pro Jahr und minimal 3,50 Hitzewellen pro Jahr ab (s. Tab. 11). Die Standardabweichung nimmt hier parallel dazu erst zu, dann wieder ab. Die Unsicherheit über die möglichen Änderungen ist zur Mitte des Jahrhunderts also größer als zum Ende des Jahrhunderts.

In dem Ensemble liegt das minimale Klimaänderungssignal bei -0,58 Hitzeperioden/a nach dem Szenario MPI REMO 2.6, das maximale Klimaänderungssignal bei +2,97 Hitzeperioden/a nach dem Szenario A1B 3. Für die ferne Zukunft liegt das minimale Klimaänderungssignal bei -4,47 Hitzeperioden/a nach A2 1 und das maximale Klimaänderungssignal bei +3,12 Hitzeperioden/a nach MPI CLM 8.5. Alle anderen Klimaänderungssignale liegen dazwischen (s. Tab. 12). Das Ensemble hat die Robustheitsanalyse nicht bestanden. Somit lässt sich kein robustes Ergebnis aus der Analyse ziehen.

Tabelle 12: Aus den Modelldaten berechnete Klimaänderungssignale der jährlichen Anzahl von Hitzeperioden in Agou für die Perioden 1971/2000 – 2021/2050 und 1971/2000 – 2071/2100

Modelllauf	Δ 1971/2000 – 2021/2050	Δ 1971/2000 – 2071/2100	Modelllauf	Δ 1971/2000 – 2021/2050	Δ 1971/2000 – 2071/2100
A1B 1	+0,10	-3,93	MPI R 2.6	-0,58	-0,17
A1B 2	+1,73	-2,40	MPI R 4.5	+0,65	-0,82
A1B 3	+2,97	-2,67	MPI R 8.5	-0,52	-2,23
A2 1	+1,30	-4,47	MPI C 4.5	+0,70	-0,03
A2 2	+0,60	-3,87	MPI C 8.5	+0,45	+3,12
A2 3	+1,77	-3,17	ICH R 2.6	+0,68	+0,82
B1 1	+0,07	-0,90	ICH R 4.5	+0,82	+1,05
B1 2	+1,60	-0,57	ICH R 8.5	+0,43	-0,22
B1 3	+1,40	+1,47			

Da nur 58,82 % der Modellläufe einen negativen Trend aufweisen, ist es nach IPCC ungefähr genauso wahrscheinlich, dass die jährliche Anzahl an Hitzeperioden in Agou abnimmt, wie dass sie zunimmt (IPCC, 2010). Sollte sie abnehmen, kann dies auch daran liegen, dass die eintretenden Hitzeperioden durch den Klimawandel länger werden. So kann es sein, dass sich zum Beispiel zwei zeitlich nah aneinander liegende Hitzewellen nun verbinden, womit aus ursprünglich zwei kleineren Hitzewellen eine größere entsteht. Somit ist die Anzahl der Hitzewellen zwar geringer, die eigentliche Stresssituation für die Pflanzen jedoch größer. Daher wurde auch die durchschnittliche Länge der Hitzewellen untersucht.

3.6.2 Länge der Hitzeperioden

In Abbildung 9 wird die Entwicklung der durchschnittlichen Länge von Hitzeperioden in der Region Agou von 1950 – 2100 nach dem verwendeten Ensemble dargestellt.

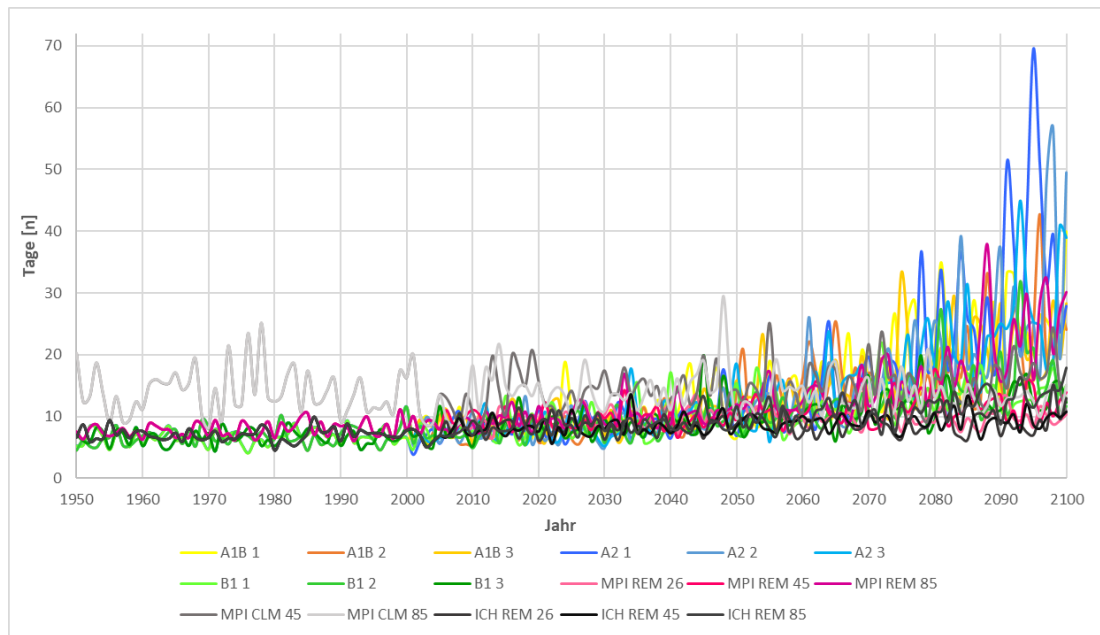


Abbildung 9: Projektion der Entwicklung der durchschnittlichen Länge von Hitzeperioden in Agou von 1950 – 2100 nach dem verwendeten Ensemble

Die durchschnittliche Länge einer Hitzeperiode beträgt gemittelt über alle Modellläufe in dem Zeitraum 1970 – 2000 7,95 ($\pm 2,42$) Tage, in dem Zeitraum 2021 – 2050 9,87 ($\pm 1,71$) Tage und in dem Zeitraum 2071 – 2100 16,36 ($\pm 5,56$) Tage. Dabei können jedoch Extreme von Hitzeperioden mit 29,44 Tagen bis 2050 und von Hitzeperioden über 69,50 Tage bis 2100 auftreten. Die Hitzeperioden sind nach dem Ensemble bis zu dem Jahr 2050 jedoch nie kürzer als 4,82 Tage und bis zum Jahr 2100 nicht kürzer als 6,22 Tage (s. Tab. 13).

Tabelle 13: Mittel-, Minimal- und Maximalwert der durchschnittlichen Länge von Hitzeperioden in Agou für die Perioden 1970 - 2000, 2021 - 2050 und 2071 – 2100 aus den Modelldaten, in Tagen

	1970 - 2000	2021 - 2050	2071 - 2100
$\bar{x}$	7,95	9,87	16,36
Min	4,06	4,82	6,22
Max	25,15	29,44	69,50

Das mittlere Klimaänderungssignal für die nahe Zukunft liegt bei +1,93 d/Hitzewelle und für die ferne Zukunft bei +8,41 d/Hitzeperiode. Diese Änderungen sind signifikant.

Tabelle 14: Aus den Modelldaten berechnete Klimaänderungssignale der durchschnittlichen Länge von Hitzeperioden in Agou für die Perioden 1971/2000 – 2021/2050 und 1971/2000 – 2071/2100 in Tagen

Modelllauf	Δ 1971/2000 – 2021/2050	Δ 1971/2000 – 2071/2100	Modelllauf	Δ 1971/2000 – 2021/2050	Δ 1971/2000 – 2071/2100
A1B 1	+3,39	+15,64	MPI R 2.6	+2,25	+1,69
A1B 2	+2,28	+12,52	MPI R 4.5	+1,36	+3,91
A1B 3	+2,91	+13,40	MPI R 8.5	+2,25	+11,85
A2 1	+2,29	+20,38	MPI C 4.5	-0,20	+1,42
A2 2	+1,78	+16,57	MPI C 8.5	-0,09	-1,14
A2 3	+2,92	+16,16	ICH R 2.6	+1,38	+2,01
B1 1	+2,75	+6,97	ICH R 4.5	+1,38	+2,29
B1 2	+1,66	+8,13	ICH R 8.5	+1,86	+5,15
B1 3	+2,55	+6,10			

Nach den Modelldaten liegt für die nahe Zukunft das minimale Klimaänderungssignal bei -0,20 d/Hitzeperiode nach dem Szenario MPI CLM 4.5, das maximale Klimaänderungssignal bei +3,39 d/Hitzeperiode nach dem Szenario A1B 1. Für die ferne Zukunft liegt das minimale Klimaänderungssignal bei -1,14 d/Hitzeperiode nach MPI CLM 8.5 und das maximale Klimaänderungssignal bei +20,38 d/Hitzeperiode nach A2 1. Alle anderen Klimaänderungssignale liegen dazwischen (s. Tab. 14). Das Ensemble hat die Robustheitsanalyse bestanden. Mit einer Übereinstimmung im positiven Trend von 94,12% ist es nach IPCC sehr wahrscheinlich (IPCC, 2010), dass die Hitzeperioden in Agou bis 2100 länger werden. Diese Entwicklung deckt sich auch mit dem Ergebnis aus Kapitel 3.4, in dem zu sehen ist, dass die Anzahl der Hitzetage so gut wie sicher zunehmen wird.

3.7 Jahresniederschlagssumme

Die jährliche Niederschlagssumme wird aus den monatlichen Summen gebildet.

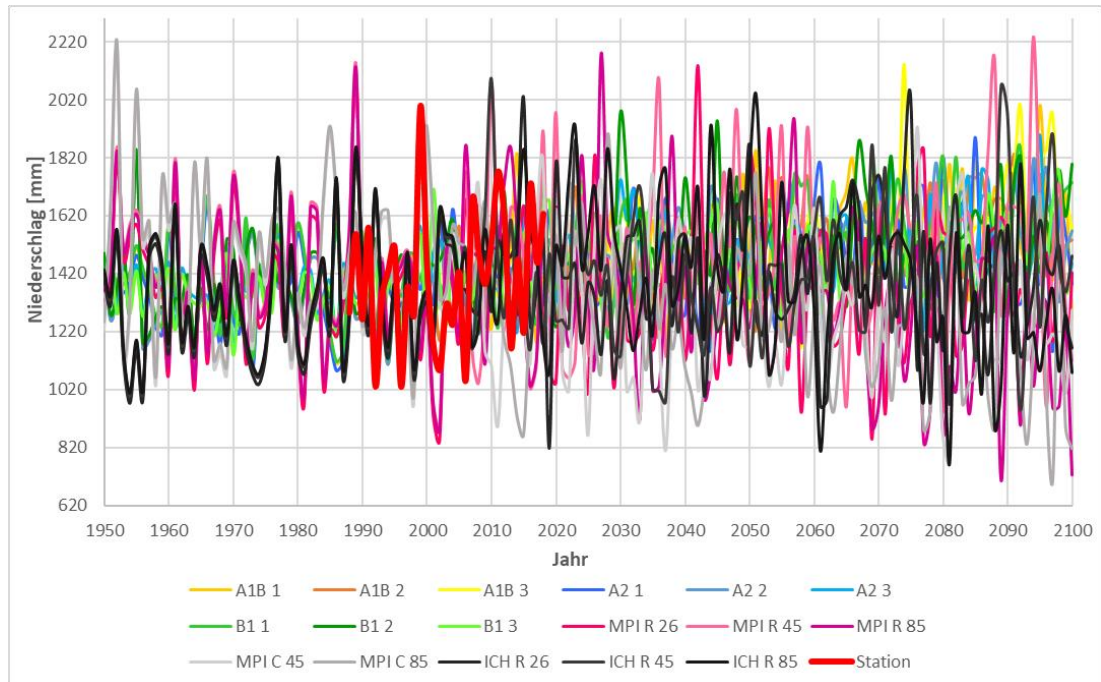


Abbildung 10: Projektion der Entwicklung der jährlichen Niederschlagssumme in Agou von 1950 – 2100 nach dem verwendeten Ensemble, inkl. der Stationswerte von 1988 – 2018

In Abbildung 10 wird die Entwicklung der jährlichen Niederschlagssumme in mm in der Region Agou von 1950 – 2100 nach dem verwendeten Ensemble dargestellt, verglichen mit den Stationswerten von 1988 – 2018.

Tabelle 15: Mittel-, Minimal- und Maximalwert der Jahresniederschlagssumme in Agou für die Perioden 1970 - 2000, 2021 - 2050 und 2071 – 2100 aus den Modelldaten, in mm

	1970 - 2000	2021 - 2050	2071 - 2100
$\bar{x}$	1379,04	1424,69	1460,48
Min	968,22	809,45	706,87
Max	2147,25	2176,77	2236,85

Gemittelt über alle Modellläufe liegt die durchschnittliche Jahresniederschlagssumme in der Periode 1970 – 2000 bei 1379,04 mm ($\pm 39,66$ mm), in der Periode 2021 – 2050 bei 1424,69 mm ($\pm 61,74$ mm) und in der Periode 2071 – 2100 bei 1460,48 mm ($\pm 147,56$ mm). Daraus ergibt sich ein gemitteltetes Klimaänderungssignal für die nahe Zukunft von +45,64 mm, für die ferne Zukunft von +81,43 mm. Diese Klimaänderungssignale sind signifikant. Nach dem Ensemble können dabei Spitzenwerte von 2176,77 mm Jahresniederschlag bis zum Jahr 2050 eintreten, aber auch Jahre mit nur 809,45 mm Niederschlag. Bis 2100 können Jahre mit 2236,85 mm oder mit nur 706,87 mm Niederschlag auftreten. (s. Tab. 15)

Tabelle 16: Aus den Modelldaten berechnete Klimaänderungssignale der Jahresniederschlagssumme in Agou für die Perioden 1971/2000 – 2021/2050 und 1971/2000 – 2071/2100 in mm

Modelllauf	Δ 1971/2000 – 2021/2050	Δ 1971/2000 – 2071/2100	Modelllauf	Δ 1971/2000 – 2021/2050	Δ 1971/2000 – 2071/2100
A1B 1	+56,72	+203,72	MPI R 2.6	+16,63	+32,99
A1B 2	+63,94	+227,54	MPI R 4.5	+24,25	+158,22
A1B 3	+65,43	+263,72	MPI R 8.5	-27,36	-206,63
A2 1	+67,15	+140,74	MPI C 4.5	-128,34	-142,29
A2 2	+116,88	+176,04	MPI C 8.5	-145,65	-288,33
A2 3	+61,75	+167,25	ICH R 2.6	+88,59	+94,22
B1 1	+74,65	+194,61	ICH R 4.5	+35,09	+115,00
B1 2	+115,27	+164,28	ICH R 8.5	+176,75	-59,32
B1 3	+114,17	+142,61			

Im Einzelnen liegt das minimale Klimaänderungssignal für die nahe Zukunft bei -145,65 mm nach dem Szenario MPI CLM 8.5, das maximale Klimaänderungssignal bei +176,75 mm nach dem Szenario ICHEC REMO 8.5. Für die ferne Zukunft liegt das minimale Klimaänderungssignal bei -288,33 mm nach MPI CLM 8.5 und das maximale Klimaänderungssignal bei +263,72 mm nach A1B 3. Alle anderen Klimaänderungssignale liegen dazwischen (s. Tab. 16). Das Ensembleergebnis ist robust. Die Übereinstimmung im positiven Trend liegt hier bei 70,59%. Somit ist es nach IPCC wahrscheinlich (IPCC, 2010), dass die Jahresniederschlagssumme in Agou bis 2100 zunehmen wird.

3.8 Saisonale Niederschlagssummen

Die Information über die Jahresniederschlagssumme gibt zwar einen groben Überblick über die Klimawandelauswirkungen, liefert allerdings nicht die notwendigen Informationen, wie sich der Niederschlag in Trocken- und Regenzeit ändert. Nimmt der Niederschlag in der Trockenzeit zum Beispiel ab, der Niederschlag in der Regenzeit hingegen zu, bleibt die Jahressumme mehr oder weniger unverändert. In der Trockenzeit kann es aber zu verstärkten Problemen durch Wasserknappheit kommen und in der Regenzeit zu Überschwemmungen, auf die das Klimaänderungssignal des Jahresniederschlags nicht hinweist. Daher ist es wichtig, die Niederschlagssummen für Trocken- und Regenzeit einzeln zu analysieren.

In der Literatur werden dem Süden Togos zwei Regen- und Trockenzeiten zugeschrieben. Nach der Analyse anhand der Wetterdaten lässt sich aus dem erstellten Klimadiagramm (s. Abb. 3) nur eine Regen- und Trockenzeit ableiten (Trockenzeit = Wenn die Niederschlagskurve unterhalb der Kurve der mittleren Lufttemperatur liegt). Zwar sinkt die Niederschlagssumme im August erkennbar ab, jedoch liegt auch im August der durchschnittliche Niederschlag für den Zeitraum 1988 – 2018 bei 130 mm. Laut den Stationsdaten herrscht von den Monaten November bis Februar eine negative klimatische Wasserbilanz, womit die Trockenzeit innerhalb dieser Monate angenommen werden könnte. Jedoch liegt die durchschnittliche Niederschlagssumme im November bei über 50 mm. Auch nach den Modellrechnungen liegt die Niederschlagssumme im November im Zeitraum von 1950 – 2100 durchschnittlich bei über 90 mm. Daher wird im Rahmen dieser Analyse eine Regenzeit von März – November und eine Trockenzeit von Dezember – Februar angenommen. Die Niederschlagssumme in der Regenzeit unterscheidet sich stark von der in der Trockenzeit. Nach den Stationsdaten liegt im 30-jährigen Mittel (1989 – 2018) die Niederschlagssumme in der Regenzeit bei 1345,78 mm ($\pm 232,05$ mm), während die Niederschlagssumme in der Trockenzeit durchschnittlich bei 76,88 mm ($\pm 50,04$ mm) liegt.

3.8.1 Niederschlagssumme in der Regenzeit

In Abbildung 11 wird die Entwicklung der Niederschlagssumme während der Regenzeit in mm in der Region Agou von 1950 – 2100 nach dem verwendeten Ensemble dargestellt, verglichen mit den Stationswerten von 1988 – 2018.

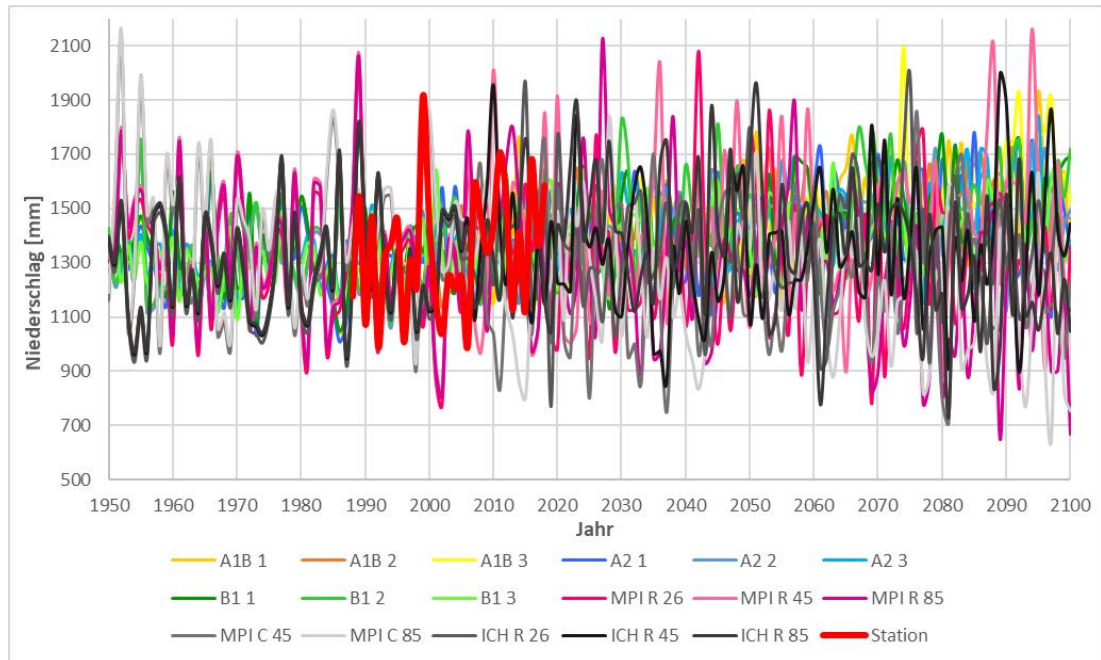


Abbildung 11: Projektion der Entwicklung der Niederschlagssumme in der Regenzeit in Agou von 1950 – 2100 nach dem verwendeten Ensemble, inkl. der Stationswerte von 1988 – 2018

Die durchschnittliche Niederschlagssumme in der Regenzeit liegt gemittelt über das Ensemble bei 1315,54 mm ($\pm 39,14$ mm) in der Periode 1970 – 2000, bei 1363,00 mm ($\pm 61,80$ mm) in der Periode 2021 – 2050 und bei 1397,87 mm ($\pm 145,76$ mm) in der Periode 2071 – 2100. Die maximalen Werte liegen dabei bis 2050 bei 2120,05 mm und bis 2100 bei 2161,14 mm. Die minimalen Werte bis 2050 bei 746,88 mm und bis 2100 bei 645,64 mm (s. Tab. 17).

Tabelle 17: Mittel-, Minimal- und Maximalwert der Niederschlagssumme in der Regenzeit in Agou für die Perioden 1970 - 2000, 2021 - 2050 und 2071 – 2100 aus den Modelldaten, in mm

	1970 - 2000	2021 - 2050	2071 - 2100
$\bar{x}$	1315,54	1363,00	1397,87
Min	908,81	746,88	645,64
Max	2074,64	2120,05	2161,14

Gemittelt über das Ensemble ergeben sich folgende Klimaänderungssignale: +47,47 mm für die nahe Zukunft und +82,33 mm für die ferne Zukunft. Diese sind signifikant.

Tabelle 18: Aus den Modelldaten berechnete Klimaänderungssignale der Niederschlagssumme in der Regenzeit in Agou für die Perioden 1971/2000 – 2021/2050 und 1971/2000 – 2071/2100 in mm

Modelllauf	Δ 1971/2000 – 2021/2050	Δ 1971/2000 – 2071/2100	Modelllauf	Δ 1971/2000 – 2021/2050	Δ 1971/2000 – 2071/2100
A1B 1	+54,72	+205,69	MPI R 2.6	+22,17	+39,18
A1B 2	+60,85	+223,99	MPI R 4.5	+26,78	+164,84
A1B 3	+64,05	+261,49	MPI R 8.5	-23,77	-201,59
A2 1	+74,97	+138,48	MPI C 4.5	-131,81	-142,16
A2 2	+115,41	+169,34	MPI C 8.5	-147,61	-289,23
A2 3	+61,37	+162,75	ICH R 2.6	+100,46	+98,38
B1 1	+79,65	+191,10	ICH R 4.5	+40,85	+121,83
B1 2	+108,31	+166,61	ICH R 8.5	+185,49	-49,52
B1 3	+115,00	+138,43			

Die untere Grenze der Klimaänderungssignale für die nahe Zukunft bildet dabei mit -147,61 mm das Szenario MPI CLM 8.5, die obere Grenze mit +185,49 mm das Szenario ICHEC REMO 8.5. Für die ferne Zukunft bildet MPI CLM 8.5 mit -289,23 mm die untere Grenze und A1B 3 mit +261,49 mm die obere Grenze. Alle anderen Klimaänderungssignale liegen dazwischen (s. Tab. 18). Das Ensemble hat die Robustheitsanalyse bestanden. Die Übereinstimmung im positiven Trend liegt bei 70,59%, womit es nach IPCC wahrscheinlich ist (IPCC, 2010), dass der Niederschlag in Agou in der Regenzeit bis zum Jahr 2100 zunehmen wird. Die Klimaänderungssignale der Niederschlagssumme in der Regenzeit gleichen sehr stark den Klimaänderungssignalen der Jahresniederschlagssumme. Daher lässt sich annehmen, dass sich der positive Trend vor allem auf die Regenzeit auswirken wird, sollte die Niederschlagssumme im Jahr zunehmen.

3.8.2 Niederschlagssumme in der Trockenzeit

In Abbildung 12 wird die Entwicklung der Niederschlagssumme während der Trockenzeit in mm in der Region Agou von 1950 – 2100 nach dem verwendeten Ensemble dargestellt, verglichen mit den Stationswerten von 1988 – 2018.

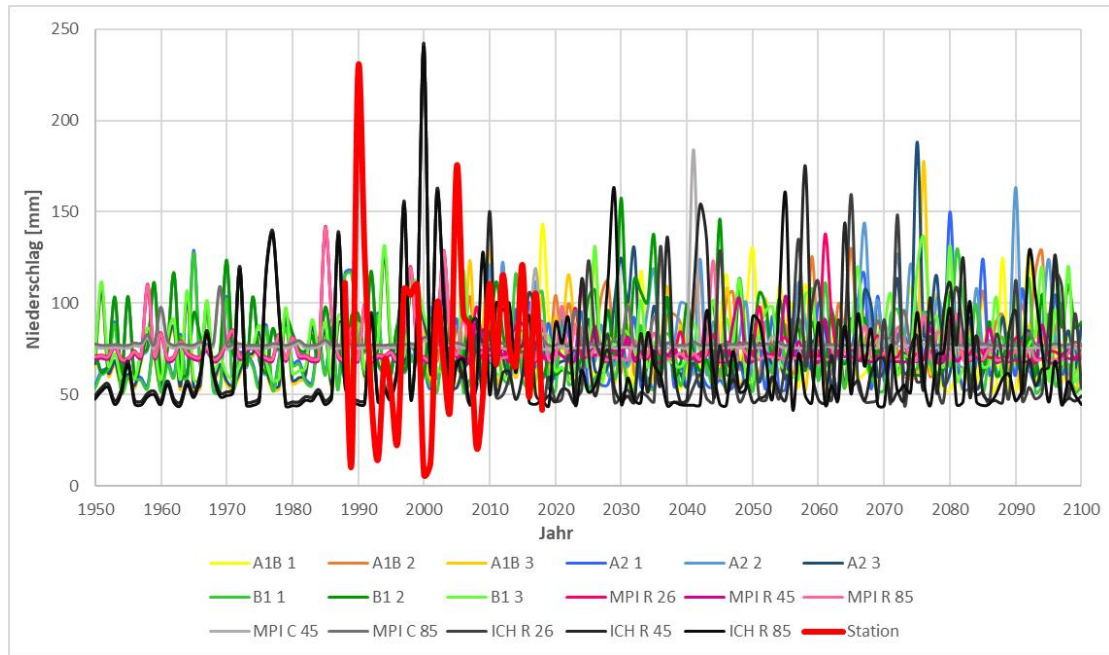


Abbildung 12: Projektion der Entwicklung der Niederschlagssumme in der Trockenzeit in Agou von 1950 – 2100 nach dem verwendeten Ensemble, inkl. der Stationswerte von 1988 - 2018

Für die Periode 1970 – 2000 ergibt sich eine über alle Modelldaten gemittelte Niederschlagssumme in der Trockenzeit von 76,11 mm ($\pm 2,46$ mm), für die Periode 2021 – 2050 von 74,28 mm ($\pm 6,40$ mm) und für die Periode 2071 – 2100 von 75,21 mm ($\pm 5,58$ mm). Daraus ergeben sich folgende gemittelte Klimaänderungssignale: -1,82 mm für die nahe Zukunft und -0,90 mm für die ferne Zukunft. Diese sind jedoch nicht signifikant.

Aus dem Ensemble ergeben sich folgende Spitzenwerte für die möglichen Niederschlagssummen in der Trockenzeit: Bis 2050 maximal 183,76 mm und minimal 44,09 mm. Bis 2100 maximal 188,37 mm und minimal 44,09 mm. (s. Tab. 19)

Tabelle 19: Mittel-, Minimal- und Maximalwert der Niederschlagssumme in der Trockenzeit in Agou für die Perioden 1970 - 2000, 2021 - 2050 und 2071 – 2100 aus den Modelldaten, in mm

	1970 - 2000	2021 - 2050	2071 - 2100
$\bar{x}$	76,11	74,28	75,21
Min	44,03	44,09	44,09
Max	242,37	183,76	188,37

Tabelle 20: Aus den Modelldaten berechnete Klimaänderungssignale der Niederschlagssumme in der Trockenzeit in Agou für die Perioden 1971/2000 – 2021/2050 und 1971/2000 – 2071/2100 in mm

Modelllauf	Δ 1971/2000 – 2021/2050	Δ 1971/2000 – 2071/2100	Modelllauf	Δ 1971/2000 – 2021/2050	Δ 1971/2000 – 2071/2100
A1B 1	+2,00	-1,97	MPI R 2.6	-5,53	-6,18
A1B 2	+3,06	+3,53	MPI R 4.5	-2,52	-6,61
A1B 3	+1,40	+2,22	MPI R 8.5	-3,58	-5,03
A2 1	-7,82	+2,26	MPI C 4.5	+3,46	-0,14
A2 2	+1,44	+6,69	MPI C 8.5	+1,93	+0,89
A2 3	+0,39	+4,51	ICH R 2.6	-11,88	-4,16
B1 1	-4,99	+3,51	ICH R 4.5	-5,76	-6,86
B1 2	+6,94	-2,35	ICH R 8.5	-8,73	-9,82
B1 3	-0,83	+4,19			

In Anbetracht der einzelnen Modellläufe liegt die untere Grenze der Klimaänderungssignale für die nahe Zukunft bei -11,88 mm nach dem Szenario ICHEC REMO 2.6, die obere Grenze bei +6,94 mm nach dem Szenario B1 2. Für die ferne Zukunft liegt die untere Grenze der Klimaänderungssignale bei -9,82 mm nach ICHEC REMO 8.5 und die obere Grenze bei +6,69 mm nach A2 2. Alle anderen Klimaänderungssignale liegen dazwischen (s. Tab. 20). Das Ensemble hat die Robustheitsanalyse nicht bestanden. Es lässt sich somit keine robuste Aussage aus dieser Analyse treffen. Da 64,71% der Modellläufe einen positiven Trend aufweisen, ist es nach IPCC ungefähr genauso wahrscheinlich, dass die Niederschlagssumme in Agou in der Trockenzeit zunimmt wie, dass sie abnimmt (IPCC, 2010). Nach dem verwendeten Ensemble wäre diese Entwicklung wahrscheinlich in beiden Fällen nicht erheblich.

3.9 Starkregenereignisse

Neben der Jahressumme an Niederschlag sind auch die Starkregenereignisse von Bedeutung. Denn ein Starkregenereignis kann zu großen Schäden durch Überschwemmung und Erosion in der Landwirtschaft führen, aber auch in privaten Haushalten und in der Infrastruktur. Viele Pflanzenarten vertragen keine Staunässe und gehen an zu starkem Wassergehalt in der Erde ein oder werden gar entwurzelt und weggespült.

Ein Starkregenereignis ist definiert durch die Niederschlagsmenge von 15 – 25 l/m² in einer Stunde oder 20 – 35 l/m² in sechs Stunden (DWD f). Die Analyse wird anhand von Tageswerten berechnet, die über 20 l liegen.

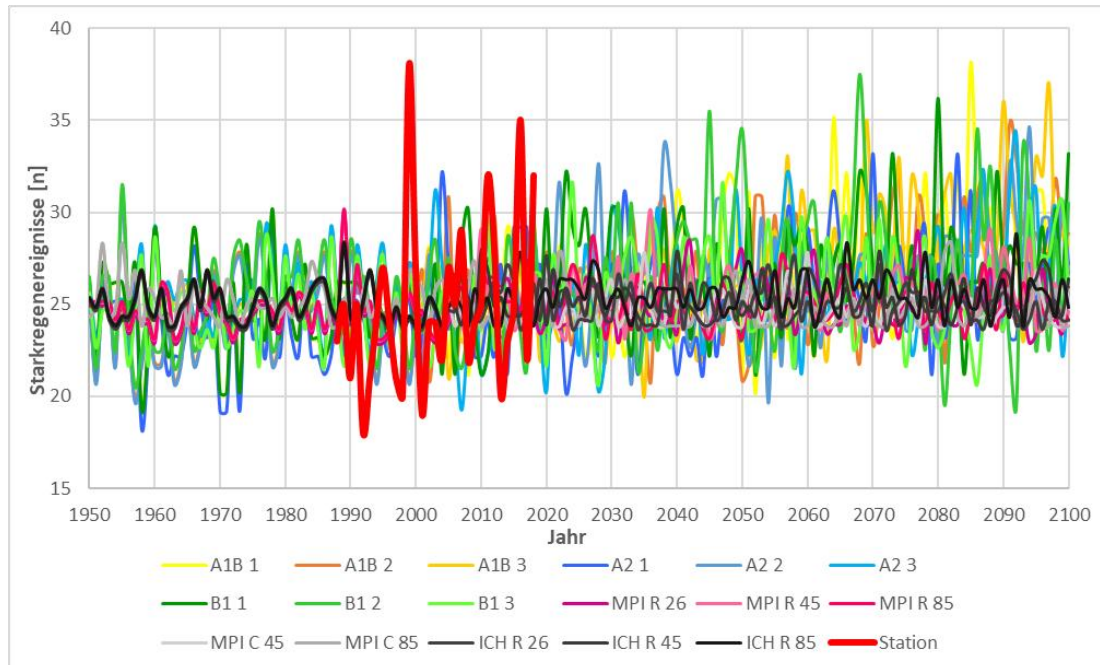


Abbildung 13: Projektion der Entwicklung der jährlichen Anzahl von Starkregenereignissen in Agou von 1950 – 2100 nach dem verwendeten Ensemble, inkl. der Stationswerte von 1988 - 2018

In Abbildung 13 wird die Entwicklung der jährlichen Anzahl an Starkregenereignissen in der Region Agou von 1950 – 2100 nach dem verwendeten Ensemble dargestellt, verglichen mit den Stationswerten von 1988 – 2018.

Tabelle 21: Mittel-, Minimal- und Maximalwert der jährlichen Anzahl von Starkregenereignissen in Agou für die Perioden 1970 - 2000, 2021 - 2050 und 2071 – 2100 aus den Modelldaten

	1970 - 2000	2021 - 2050	2071 - 2100
$\bar{x}$	24,82	25,48	26,39
Min	19,19	20,00	19,52
Max	30,23	35,52	38,16

Für die jährliche Anzahl an Starkregenereignissen ergibt sich gemittelt über das Ensemble ein Mittelwert von 24,82 ($\pm 0,42$) Starkregenereignissen/a im Zeitraum 1970 – 2000, ein Mittelwert von 25,48 ($\pm 0,74$) Starkregenereignissen/a im Zeitraum 2021 – 2050 ein Durchschnitt von 26,39 ($\pm 1,48$) im Zeitraum 2071 – 2100. Dabei können Extreme von 35,52 Starkregenereignissen/a bis 2050 auftreten, sowie von 38,16

Starkregenereignissen/a bis 2100. Während die minimale Anzahl von Starkregenereignissen im Zeitraum 2021 – 2050 bei 20,00 Starkregenereignissen im Jahr liegt, sinkt sie bis 2100 minimal bis auf 19,52 (s. Tab. 21). Über das gesamte Ensemble gemittelt ergibt sich ein Klimaänderungssignal von +0,65 Starkregenereignissen/a für die nahe Zukunft und von +1,57 Starkregenereignissen/a für die ferne Zukunft. Diese Entwicklungen sind signifikant.

Tabelle 22: Aus den Modelldaten berechnete Klimaänderungssignale der jährlichen Anzahl von Starkregenereignissen in Agou für die Perioden 1971/2000 – 2021/2050 und 1971/2000 – 2071/2100

Modelllauf	Δ 1971/2000 – 2021/2050	Δ 1971/2000 – 2071/2100	Modelllauf	Δ 1971/2000 – 2021/2050	Δ 1971/2000 – 2071/2100
A1B 1	+1,07	+4,00	MPI R 2.6	+0,58	+0,37
A1B 2	+0,60	+3,73	MPI R 4.5	+0,63	+1,07
A1B 3	-0,17	+4,03	MPI R 8.5	+0,17	+0,17
A2 1	+0,80	+2,87	MPI C 4.5	-0,28	-0,22
A2 2	+2,13	+2,90	MPI C 8.5	-0,28	-0,20
A2 3	+0,30	+1,93	ICH R 2.6	+0,23	+0,18
B1 1	+1,87	+2,70	ICH R 4.5	+0,15	+0,40
B1 2	+1,13	+1,00	ICH R 8.5	+0,58	+0,60
B1 3	+1,60	+1,13			

Näher betrachtet liegt das minimale Klimaänderungssignal für die nahe Zukunft bei -0,28 Starkregenereignissen/a nach dem Szenario MPI CLM 4.5 und MPI CLM 8.5, das maximale Klimaänderungssignal bei +2,13 Starkregenereignissen/a nach dem Szenario A2 2. Für die ferne Zukunft liegt das minimale Klimaänderungssignal bei -0,22 Starkregenereignissen/a nach MPI CLM 4.5 und das maximale Klimaänderungssignal bei +4,03 Starkregenereignissen/a nach A1B 3. Alle anderen Klimaänderungssignale liegen dazwischen (s. Tab. 22). Das Ergebnis ist nicht robust. Mit einer Wahrscheinlichkeit von 88,24% ist es nach IPCC jedoch wahrscheinlich (IPCC, 2010), dass die Starkregenereignisse in Agou bis 2100 häufiger auftreten werden.

3.10 Trockentage

Genauso wie Starkregenereignisse wichtig in der Klimawandelanalyse sind, ist das andere Extrem Trockentage ebenso von großer Bedeutung. Für die Landwirtschaft können zu viele Trockentage verheerend sein, so auch für die Wälder. Die Waldbrandgefahr steigt mit der Anzahl der Trockentage ebenfalls an. Ein Trockentag wird hier definiert durch 0 mm Niederschlag an einem Tag.

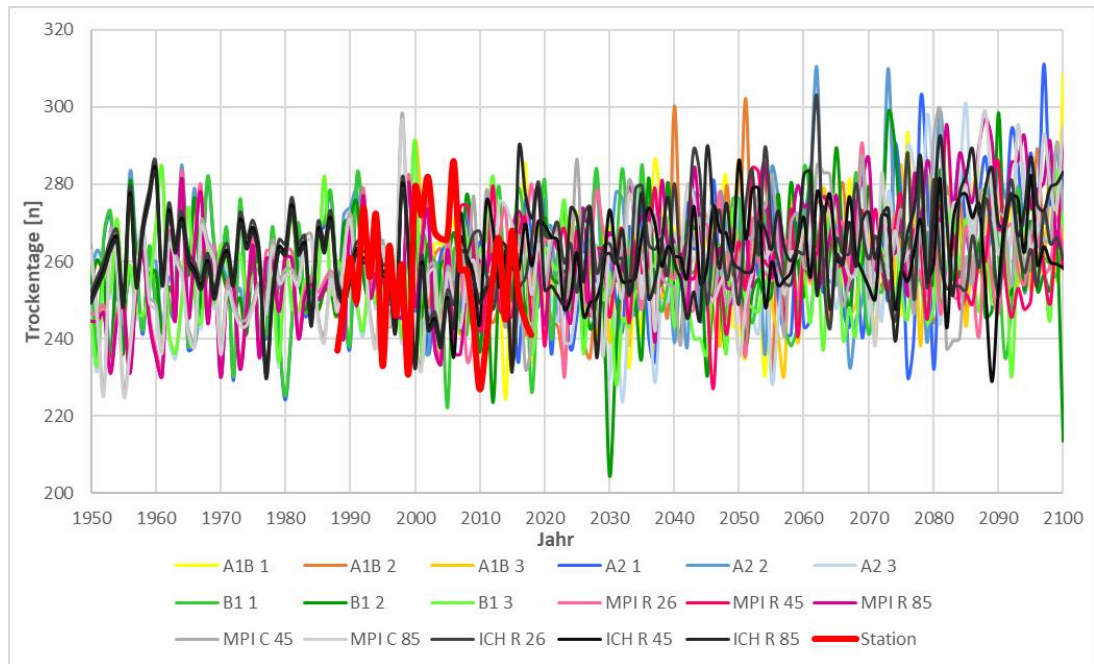


Abbildung 14: Projektion der Entwicklung der jährlichen Anzahl von Trockentagen in Agou von 1950 – 2100 nach dem verwendeten Ensemble, inkl. der Stationswerte von 1988 - 2018

In Abbildung 14 wird die Entwicklung der jährlichen Anzahl an Trockentagen in der Region Agou von 1950 – 2100 nach dem verwendeten Ensemble dargestellt, verglichen mit den Stationswerten von 1988 – 2018.

Tabelle 23: Mittel-, Minimal- und Maximalwert der jährlichen Anzahl von Trockentagen in Agou für die Perioden 1970 - 2000, 2021 - 2050 und 2071 – 2100 aus den Modelldaten

	1970 - 2000	2021 - 2050	2071 - 2100
$\bar{x}$	256,18	258,89	266,67
Min	224,10	204,61	213,61
Max	298,47	300,19	311,10

Gemittelt über alle Modellläufe ergibt sich für den Zeitraum 1970 – 2000 eine durchschnittliche Anzahl von 256,18 ($\pm 2,17$) Trockentagen/a, für den Zeitraum 2021 – 2050 von 258,89 ($\pm 2,99$) Trockentagen/a und für den Zeitraum 2071 – 2100 von 266,67 ($\pm 5,64$) Trockentagen/a. Dabei liegt das mittlere

Klimaänderungssignal für die nahe Zukunft bei +2,70 Trockentagen/a, für die ferne Zukunft bei +10,49 Trockentagen/a. Diese Änderungen sind signifikant. Dabei können bis 2050 Jahre mit Extremwerten von 300,19 Trockentagen/a und bis 2100 von 311,10 Trockentagen/a eintreffen (s. Tab. 23).

Tabelle 24: Aus den Modelldaten berechnete Klimaänderungssignale der jährlichen Anzahl von Trockentagen in Agou für die Perioden 1971/2000 – 2021/2050 und 1971/2000 – 2071/2100

Modelllauf	Δ 1971/2000 – 2021/2050	Δ 1971/2000 – 2071/2100	Modelllauf	Δ 1971/2000 – 2021/2050	Δ 1971/2000 – 2071/2100
A1B 1	+4,80	+15,47	MPI R 2.6	+5,92	+4,15
A1B 2	+1,10	+9,27	MPI R 4.5	+4,83	+7,13
A1B 3	+0,87	+7,20	MPI R 8.5	+7,98	+24,67
A2 1	+2,60	+17,83	MPI C 4.5	+3,90	+10,22
A2 2	+0,20	+13,10	MPI C 8.5	+4,63	+18,15
A2 3	+0,63	+15,37	ICH R 2.6	+3,80	+1,45
B1 1	+5,13	+4,20	ICH R 4.5	+2,23	+3,87
B1 2	-3,10	+6,70	ICH R 8.5	+2,28	+14,65
B1 3	-1,90	+4,87			

Nach dem Ensemble liegt das minimale Klimaänderungssignal für die nahe Zukunft bei -3,10 Trockentagen/a nach dem Szenario B1 2, das maximale Klimaänderungssignal bei +7,98 Trockentagen/a nach dem Szenario MPI REMO 8.5. Für die ferne Zukunft liegt das minimale Klimaänderungssignal bei +1,45 Trockentagen/a nach ICHEC REMO 2.6 und das maximale Klimaänderungssignal bei +24,67 Trockentagen/a nach MPI REMO 8.5. Alle anderen Klimaänderungssignale liegen dazwischen (s. Tab. 24). Das Ergebnis für die nahe Zukunft ist nicht robust, für die ferne Zukunft jedoch schon. Da die Trends zu 100% übereinstimmen, ist es nach IPCC so gut wie sicher (IPCC, 2010), dass die Trockentage in Agou bis 2100 häufiger werden.

Es wurde außerdem untersucht, wie viele dieser Trockentage in der Trockenzeit liegen. Durchschnittlich über alle Modellläufe und 150 Jahre liegen 85,42 der jährlichen Trockentage in der Trockenzeit. Da sich die Trockenzeit auf die Monate Dezember, Januar und Februar bezieht, ist die maximale Anzahl an Tagen in der Trockenzeit 91 in einem Schaltjahr und 90 in allen anderen Jahren. Somit zeigt sich, dass die Trockenzeit fast ausschließlich von

Trockentagen geprägt ist und somit eine schwere Phase für die Landwirtschaft darstellt.

3.11 Trockenperioden

Genauso wie andauernde Hitze die Pflanzen in enormen Stress versetzt, ist auch eine aufeinanderfolgende Periode aus Trockentagen eine Belastung für die Ökosysteme. Auch hier wird angenommen, dass ab drei Tagen in Folge eine Trockenperiode vorherrscht.

3.11.1 Anzahl der Trockenperioden

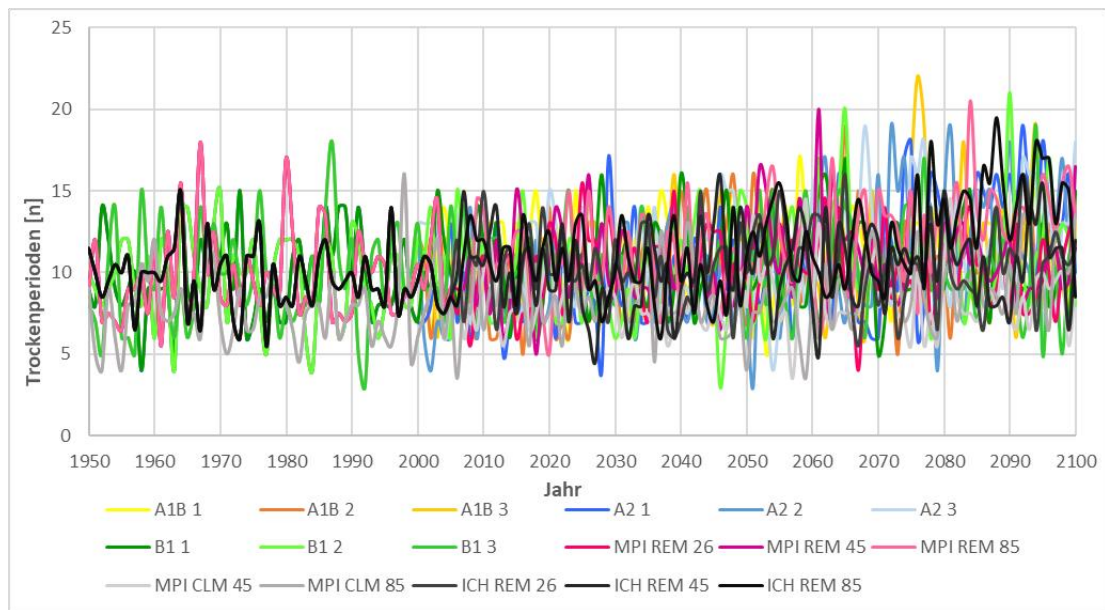


Abbildung 15: Projektion der Entwicklung der jährlichen Anzahl von Trockenperioden in Agou von 1950 – 2100 nach dem verwendeten Ensemble

In Abbildung 15 wird die Entwicklung der jährlichen Anzahl an Trockenperioden in der Region Agou von 1950 – 2100 nach dem verwendeten Ensemble dargestellt.

Tabelle 25: Mittel-, Minimal- und Maximalwert der jährlichen Anzahl von Trockenperioden in Agou für die Perioden 1970 - 2000, 2021 - 2050 und 2071 – 2100 aus den Modelldaten

	1970 - 2000	2021 - 2050	2071 - 2100
$\bar{x}$	9,41	10,06	11,28
Min	3,00	3,00	4,00
Max	18,00	17,00	22,00

Über das Ensemble gemittelt liegt die durchschnittliche Anzahl an Trockenperioden bei 9,41 ($\pm 0,76$) pro Jahr in der Periode 1971 – 2000, bei

10,06 ($\pm 0,86$) pro Jahr in der Periode 2021 – 2050 und bei 11,28 ($\pm 1,52$) pro Jahr in der Periode 2071 – 2100. Die Maximalwerte liegen dabei bei 17 Trockenperioden pro Jahr bis zum Zeitraum 2021 – 2050 und bei 22 Trockenperioden pro Jahr bis zum Zeitraum 2071 – 2100. Die Minimalwerte bis 2050 bei 3 Trockenperioden im Jahr und bis 2100 bei 4 Trockenperioden im Jahr (s. Tab. 25). Die mittleren Klimaänderungssignale lauten + 0,65 Trockenperioden/a für die nahe Zukunft, +1,87 Trockenperioden/a für die ferne Zukunft und sind signifikant.

Tabelle 26: Aus den Modelldaten berechnete Klimaänderungssignale der jährlichen Anzahl von Trockenperioden in Agou für die Perioden 1971/2000 – 2021/2050 und 1971/2000 – 2071/2100

Modelllauf	Δ 1971/2000 – 2021/2050	Δ 1971/2000 – 2071/2100	Modelllauf	Δ 1971/2000 – 2021/2050	Δ 1971/2000 – 2071/2100
A1B 1	+1,40	+1,70	MPI R 2.6	+0,95	+0,52
A1B 2	+0,80	+2,03	MPI R 4.5	+0,80	+0,88
A1B 3	+0,77	+1,90	MPI R 8.5	+1,33	+3,70
A2 1	-0,03	+3,67	MPI C 4.5	+0,58	+0,82
A2 2	+0,20	+3,33	MPI C 8.5	+0,77	+1,97
A2 3	+0,73	+2,20	ICH R 2.6	+0,52	+1,05
B1 1	+0,80	+0,33	ICH R 4.5	+0,42	+1,30
B1 2	+0,30	+1,70	ICH R 8.5	+0,50	+4,43
B1 3	+0,20	+0,27			

Im Einzelnen liegt das für die nahe Zukunft minimale Klimaänderungssignal bei -0,03 Trockenperioden/a nach dem Szenario A2 1, das maximale Klimaänderungssignal bei +1,40 Trockenperioden/a nach dem Szenario A1B 1. Das für die ferne Zukunft minimale Klimaänderungssignal liegt bei +0,33 Trockenperioden/a nach B1 1 und das maximale Klimaänderungssignal bei +4,43 Trockenperioden/a nach ICHEC REMO 8.5. Alle anderen Klimaänderungssignale liegen dazwischen (s. Tab. 26). Das Ensemble hat die Robustheitsanalyse für die nahe Zukunft zwar nicht bestanden, für die ferne Zukunft jedoch schon. Im positiven Trend stimmt das Ensemble zu 100% überein, womit es nach IPCC so gut wie sicher ist (IPCC, 2010), dass Trockenperioden in Agou bis 2100 häufiger auftreten werden.

3.11.2 Länge der Trockenperioden

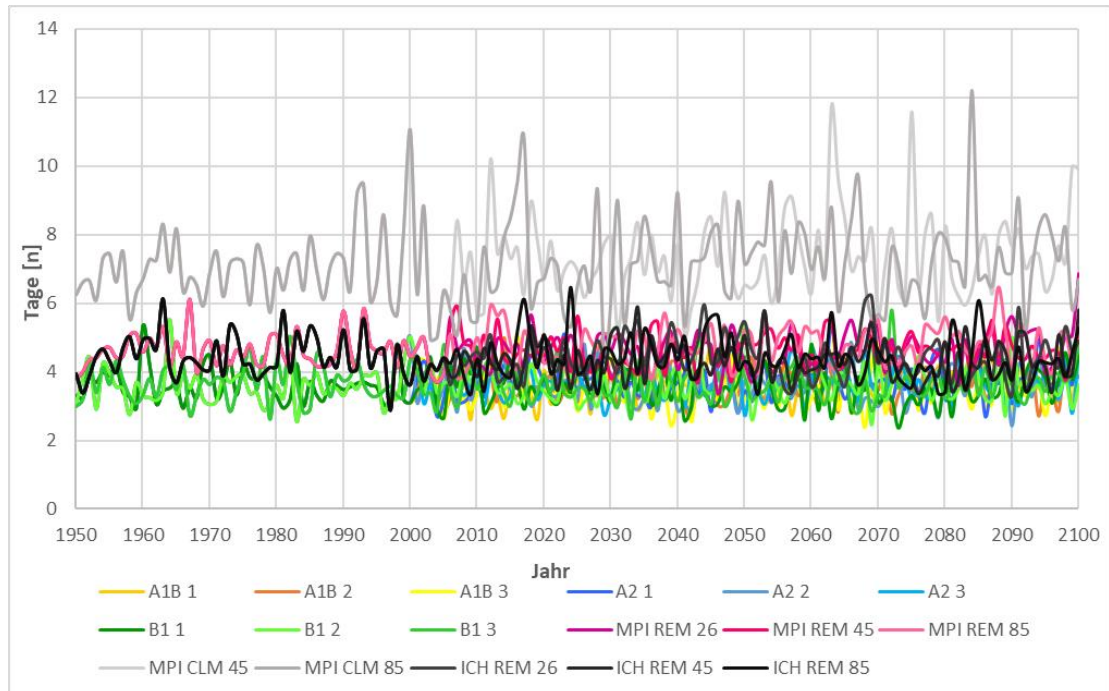


Abbildung 16: Projektion der Entwicklung der durchschnittlichen Länge von Trockenperioden in Agou von 1950 – 2100 nach dem verwendeten Ensemble

In Abbildung 16 wird die Entwicklung der durchschnittlichen Länge von Trockenperioden in der Region Agou von 1950 – 2100 nach dem verwendeten Ensemble dargestellt.

Tabelle 27: Mittel-, Minimal- und Maximalwert der durchschnittlichen Länge der Trockenperioden in Agou für die Perioden 1970 - 2000, 2021 - 2050 und 2071 – 2100 aus den Modelldaten, in Tagen

	1970 - 2000	2021 - 2050	2071 - 2100
$\bar{x}$	4,37	4,35	4,42
Min	2,56	2,43	2,36
Max	11,04	9,33	12,20

Im Mittel über alle Modellläufe liegt die durchschnittliche Länge der Trockenperioden im Zeitraum 1970 – 2000 bei 4,37 ($\pm 1,16$) Tagen, im Zeitraum 2021 – 2050 bei 4,35 ($\pm 1,12$) Tagen und im Zeitraum 2071 – 2100 bei 4,42 ($\pm 1,19$) Tagen. Daraus ergibt sich ein mittleres Klimaänderungssignal von -0,02 Tagen/Trockenperiode für die nahe Zukunft und von +0,05 Tagen/Trockenperiode für die ferne Zukunft. Beide Klimaänderungssignale sind nicht signifikant. Bis 2050 können Spitzenwerte von 9,33 Tagen/Trockenperiode auftreten, bis 2100 von 12,20 Tagen/Trockenperiode.

Dabei sind die Trockenperioden bis 2050 nicht kürzer als 2,43 Tage, bis 2100 nicht kürzer als 2,36 Tage. (s. Tab. 27)

Tabelle 28: Aus den Modelldaten berechnete Klimaänderungssignale der durchschnittlichen Länge von Trockenperioden in Agou für die Perioden 1971/2000 – 2021/2050 und 1971/2000 – 2071/2100 in Tagen

Modelllauf	Δ 1971/2000 – 2021/2050	Δ 1971/2000 – 2071/2100	Modelllauf	Δ 1971/2000 – 2021/2050	Δ 1971/2000 – 2071/2100
A1B 1	+0,05	+0,30	MPI R 2.6	+0,04	+0,13
A1B 2	-0,11	+0,09	MPI R 4.5	-0,13	+0,03
A1B 3	-0,23	-0,15	MPI R 8.5	+0,10	+0,25
A2 1	+0,20	+0,22	MPI C 4.5	-0,16	+0,28
A2 2	-0,02	+0,05	MPI C 8.5	-0,16	+0,02
A2 3	-0,10	+0,03	ICH R 2.6	+0,19	-0,12
B1 1	+0,08	-0,03	ICH R 4.5	-0,10	-0,16
B1 2	+0,05	+0,07	ICH R 8.5	+0,09	-0,24
B1 3	-0,16	+0,07			

Das minimale Klimaänderungssignal des Ensembles liegt bei -0,23 Tagen/Trockenperiode nach dem Szenario A1B 3, das maximale Klimaänderungssignal bei +0,19 Tagen/Trockenperiode nach dem Szenario ICHEC REMO 2.6. Für die ferne Zukunft liegt das minimale Klimaänderungssignal bei -0,24 Tagen/Trockenperiode nach ICHEC REMO 8.5 und das maximale Klimaänderungssignal bei +0,30 Tagen/Trockenperiode nach A1B 1. Alle anderen Klimaänderungssignale liegen dazwischen (s. Tab. 28). Da das Ergebnis nicht robust ist, lässt sich keine robuste Aussage aus der Analyse treffen. Mit einer Übereinstimmung von 76,47% ist es nach IPCC jedoch wahrscheinlich (IPCC, 2010), dass die Trockenperioden in Agou bis 2100 länger werden.

3.12 Überschneidung von Hitze- und Trockentagen

Viele Pflanzen können Wasser- oder Hitzestress im gewissen Rahmen durch Anpassungsmechanismen überstehen, solange nur eins dieser Ereignisse auftritt. Tritt jedoch Wasser- und Hitzestress gleichzeitig über einen längeren Zeitraum auf, wird es für viele Pflanzen kritisch. Daher wurde auch die Anzahl der Tage im Jahr analysiert, die sowohl Hitze- als auch Trockentage sind.

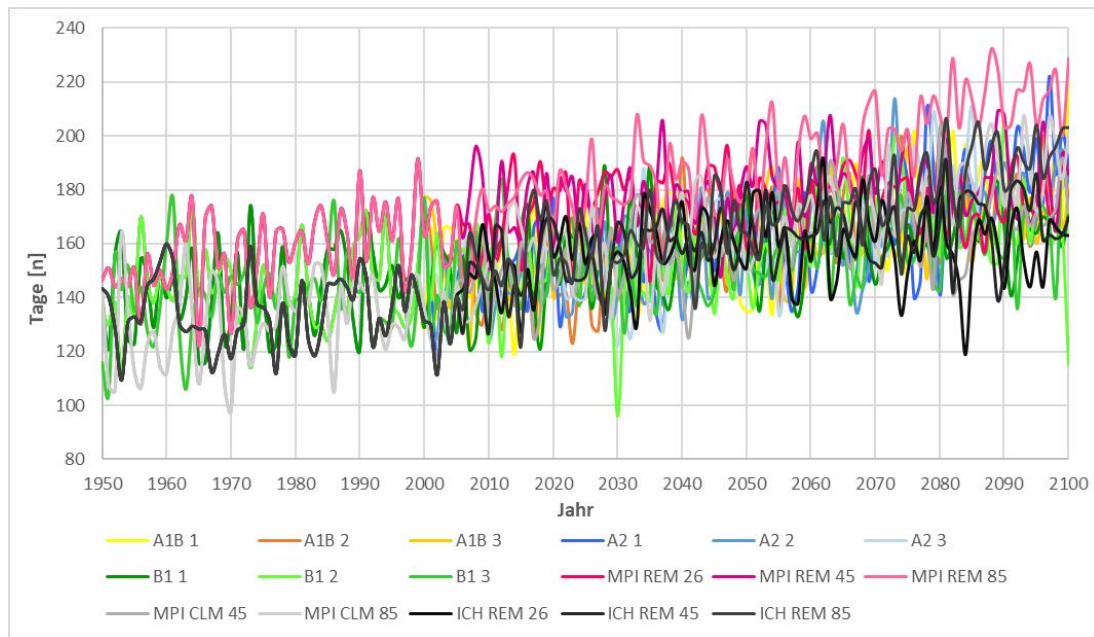


Abbildung 17: Projektion der Entwicklung der jährlichen Anzahl an Tagen, die sowohl ein Hitzetag als auch ein Trockentag sind in Agou von 1950 – 2100 nach dem verwendeten Ensemble

In Abbildung 17 wird die Entwicklung der jährlichen Anzahl an Tagen, die sowohl Trocken- als auch Hitzetage sind, in der Region Agou von 1950 – 2100 nach dem verwendeten Ensemble, dargestellt.

Tabelle 29: Mittel-, Minimal- und Maximalwert der jährlichen Anzahl an Tagen, die sowohl ein Hitze- als auch ein Trockentag sind, in Agou für die Perioden 1970 - 2000, 2021 - 2050 und 2071 – 2100 aus den Modelldaten

	1970 - 2000	2021 - 2050	2071 - 2100
$\bar{x}$	144,43	159,97	176,11
Min	105,00	96,00	115,00
Max	191,50	208,00	232,50

Die jährliche Anzahl an Tagen, die sowohl ein Hitze- als auch ein Trockentag sind (= Überschneidungstage), liegt gemittelt über das Ensemble in der Periode 1970 – 2000 bei 144,43 ($\pm 9,14$), in der Periode 2021 – 2050 bei 159,97 ($\pm 9,23$) und in der Periode 2071 – 2100 bei 176,11 ($\pm 11,78$). Daraus ergeben sich folgende mittleren Klimaänderungssignale: +15,54 der Überschneidungstage/a für die nahe Zukunft und +31,68 der Überschneidungstage/a für die ferne Zukunft. Diese Ergebnisse sind signifikant.

Dabei können Extremwerte von 208,00 Überschneidungstagen/a bis 2050 auftreten, bis 2100 von 232,50 Überschneidungstagen/a. Bis 2050 wird der

Wert von 96,00 Überschneidungstagen/a nicht mehr unterschritten, bis 2100 der Wert von 115,00 Überschneidungstagen/a. (s. Tab. 29)

Tabelle 30: Aus den Modelldaten berechnete Klimaänderungssignale der Anzahl von Tagen, die sowohl ein Hitze- als auch Trockentag sind in Agou für die Perioden 1971/2000 – 2021/2050 und 1971/2000 – 2071/2100

Modelllauf	Δ 1971/2000 – 2021/2050	Δ 1971/2000 – 2071/2100	Modelllauf	Δ 1971/2000 – 2021/2050	Δ 1971/2000 – 2071/2100
A1B 1	+15,60	+35,20	MPI R 2.6	+15,30	+12,93
A1B 2	+12,50	+30,37	MPI R 4.5	+13,37	+21,53
A1B 3	+12,70	+28,23	MPI R 8.5	+19,58	+48,25
A2 1	+11,13	+38,17	MPI C 4.5	+20,25	+33,32
A2 2	+8,57	+33,53	MPI C 8.5	+22,38	+46,8
A2 3	+12,90	+36,60	ICH R 2.6	+22,17	+22,13
B1 1	+14,10	+21,13	ICH R 4.5	+22,13	+31,48
B1 2	+7,10	+25,23	ICH R 8.5	+24,95	+50,95
B1 3	+9,50	+22,73			

Aus dem Ensemble ergibt sich das minimale Klimaänderungssignal mit +7,10 Überschneidungstagen/a nach dem Szenario B1 2, das maximale Klimaänderungssignal mit +24,95 Überschneidungstagen/a nach dem Szenario ICHEC REMO 8.5. Für die ferne Zukunft liegt das minimale Klimaänderungssignal bei +12,93 Überschneidungstagen/a nach MPI REMO 2.6 und das maximale Klimaänderungssignal bei +50,95 Überschneidungstagen/a nach ICHEC REMO 8.5. Alle anderen Klimaänderungssignale liegen dazwischen (s. Tab. 30). Das Ensemble hat die Robustheitsanalyse bestanden. Da eine 100%ige Übereinstimmung des Trends vorliegt, ist es nach IPCC so gut wie sicher (IPCC, 2010), dass die Anzahl der Tage, welche sowohl als Hitze- als auch als Trockentag gelten, in Agou bis 2100 häufiger auftreten werden.

Es wurde wiederum untersucht, wie viele dieser Tage in der Trockenzeit liegen. Durchschnittlich über alle Modellläufe und 150 Jahre liegen 81,87 der jährlichen Überschneidungstage in der Trockenzeit. Somit zeigt sich, dass die Trockenzeit fast ausschließlich von Tagen geprägt ist, an denen die Pflanzen sowohl Hitze- als auch Trockenstress erleiden.

3.13 Klimatische Wasserbilanz

Die Klimatische Wasserbilanz ist die Differenz zwischen Niederschlag und der potenziellen Verdunstung (DWD g). Sie ist wichtig, da sie angibt, wie viel Wasser im Endeffekt zur Nutzung zur Verfügung steht. Selbst wenn durch den Klimawandel die Niederschlagsmenge an einem Ort zunimmt, kann es sein, dass durch höhere Temperaturen auch die Verdunstung zunimmt und somit im Endeffekt nicht mehr, sondern sogar noch weniger Wasser zur Verfügung steht. Daher liefert die Wasserbilanz notwendige Ergänzungen zu der ermittelten Niederschlagssumme. Die Wasserbilanz für die ECHAM-Modellläufe wird über die PET nach „Haude“ berechnet, welche über die Taupunkttemperaturen ermittelt wird. Da die Liste der Haude-Faktoren vor allem für Deutschland berechnet wurde und es in Togo keine jahreszeitlichen Temperaturverläufe wie in Deutschland gibt, wurde ausschließlich der Haude-Faktor für Juli verwendet, da dieser Monat den Temperaturen in Togo am nächsten kommt. Es wurde der Haude-Faktor für Mais (wetter.andreae-gymnasium.de) verwendet, da diese Analyse vor allem auf die Landwirtschaft eingeht. Für die CORDEX-Modellläufe sind die Taupunkttemperaturen nicht verfügbar, weshalb die KWB hier über die Verdunstungs-Dateien berechnet wurde.

Das Ensemble zur Analyse der Klimatischen Wasserbilanz besteht nur aus 14 Läufen, da die drei Läufe MPI REMO 2.6, MPI REMO 4.5 und MPI REMO 8.5 fehlerhafte Enddateien ergaben.

3.13.1 Jährliche klimatische Wasserbilanz

In Abbildung 18 wird die Entwicklung der jährlichen klimatischen Wasserbilanz in mm in der Region Agou von 1950 – 2100 nach dem verwendeten Ensemble dargestellt, verglichen mit den Stationswerten von 1988 – 2018.

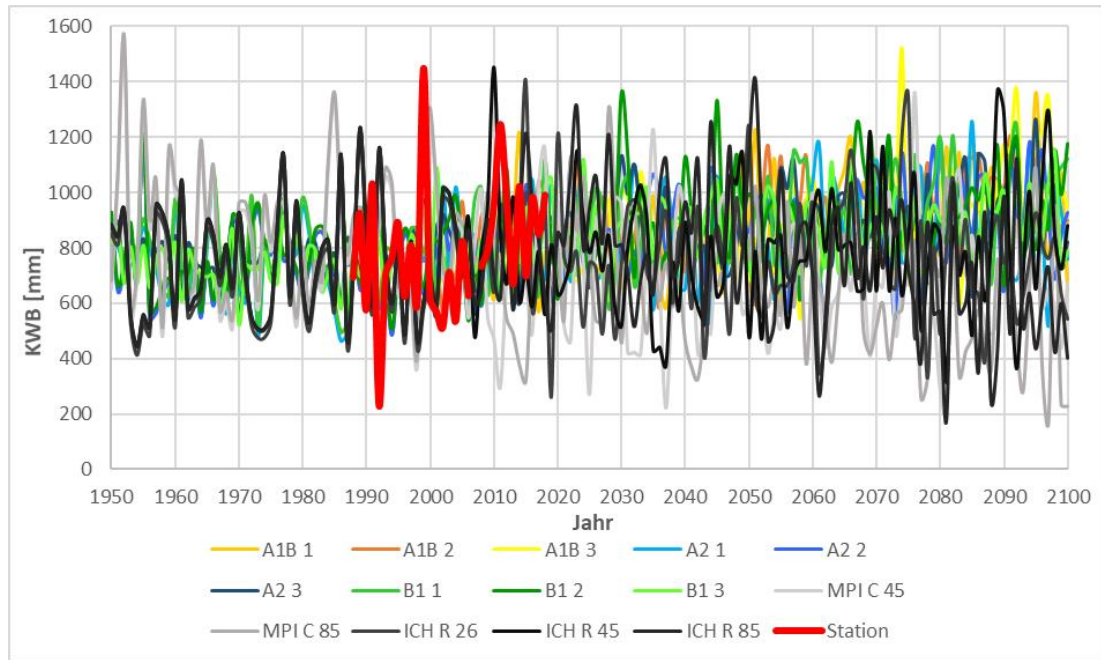


Abbildung 18: Projektion der Entwicklung der jährlichen klimatischen Wasserbilanz in Agou von 1950 – 2100 nach dem verwendeten Ensemble, inkl. der Stationswerte von 1988 – 2018

Die jährliche klimatische Wasserbilanz liegt gemittelt über alle Modellläufe in der Periode 1970 – 2000 bei 767,35 mm ($\pm 40,50$ mm), in der Periode 2021 – 2050 bei 814,98 mm ($\pm 59,96$ mm) und in der Periode 2071 – 2100 bei 851,75 mm ($\pm 137,35$ mm) (s. Tab. 31). Daraus ergibt sich ein mittleres Klimaänderungssignal von +47,63 mm für die nahe Zukunft und von +84,39 mm für die ferne Zukunft. Diese Änderungen sind signifikant.

Tabelle 31: Mittel-, Minimal- und Maximalwert der jährlichen klimatischen Wasserbilanz in Agou für die Perioden 1970 - 2000, 2021 - 2050 und 2071 – 2100 aus den Modelldaten, in mm

	1970 - 2000	2021 - 2050	2071 - 2100
$\bar{x}$	767,35	814,98	851,75
Min	380,83	221,82	171,64
Max	1362,84	1357,75	1521,22

Das Maximum liegt dabei im Zeitraum 2021 – 2050 bei 1357,75 mm und das Minimum bei 221,82 mm. Für den Zeitraum 2071 – 2100 liegt das Maximum bei 1521,22 mm und das Minimum bei 171,64 mm klimatischer Wasserbilanz (s. Tab. 31).

Tabelle 32: Aus den Modelldaten berechnete Klimaänderungssignale der jährlichen klimatischen Wasserbilanz in Agou für die Perioden 1971/2000 – 2021/2050 und 1971/2000 – 2071/2100 in mm

Modelllauf	Δ 1971/2000 – 2021/2050	Δ 1971/2000 – 2071/2100	Modelllauf	Δ 1971/2000 – 2021/2050	Δ 1971/2000 – 2071/2100
A1B 1	+52,54	+190,42	B1 2	+112,88	+153,83
A1B 2	+60,25	+213,96	B1 3	+111,25	+133,76
A1B 3	+61,41	+250,77	MPI C 4.5	-120,11	-146,17
A2 1	+62,97	+127,43	MPI C 8.5	-149,78	-294,77
A2 2	+114,35	+162,31	ICH R 2.6	+58,15	+53,68
A2 3	+57,65	+152,07	ICH R 4.5	+17,69	+81,74
B1 1	+73,56	+192,98	ICH R 8.5	+154,03	-90,50

Die untere Grenze der Klimaänderungssignale liegt bei -149,78 mm nach dem Szenario MPI CLM 8.5, die obere Grenze bei +154,03 mm nach dem Szenario ICHEC REMO 8.5. Für die ferne Zukunft liegt die untere Grenze bei -294,77 mm nach MPI CLM 8.5 und die obere Grenze bei +250,77 mm nach A1B 3. Alle anderen Klimaänderungssignale liegen dazwischen (s. Tab. 32). Das Ergebnis des Ensembles ist robust. Mit einer Übereinstimmung im Trend von 78,57% ist es nach IPCC wahrscheinlich (IPCC, 2010), dass die jährliche klimatische Wasserbilanz in Agou bis 2100 zunehmen wird.

3.13.2 Klimatische Wasserbilanz in der Trockenzeit

In Abbildung 19 wird die Entwicklung der klimatischen Wasserbilanz in der Trockenzeit in mm in der Region Agou von 1950 – 2100 nach dem verwendeten Ensemble dargestellt, verglichen mit den Stationswerten von 1988 – 2018.

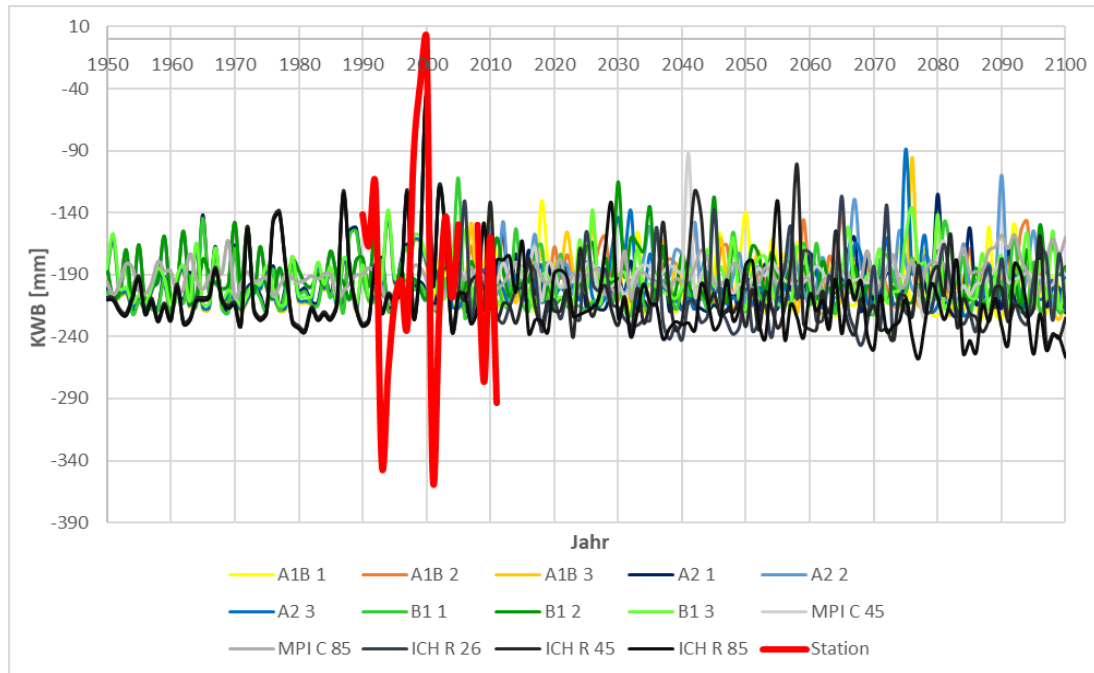


Abbildung 19: Projektion der Entwicklung der klimatischen Wasserbilanz in der Trockenzeit in Agou von 1950 – 2100 nach dem verwendeten Ensemble, inkl. der Stationswerte von 1988 – 2018

Im Mittel über das Ensemble liegt die klimatische Wasserbilanz in der Trockenzeit für die Periode 1970 – 2000 bei -195,30 mm ($\pm 2,40$ mm), für die Periode 2021 – 2050 bei -198,48 mm ($\pm 8,79$ mm) und für die Periode 2071 – 2100 bei -199,40 mm ($\pm 11,08$ mm). Die gemittelten Klimaänderungssignale sind -3,18 mm für die nahe Zukunft und -4,10 mm für die ferne Zukunft. Diese Ergebnisse sind signifikant. Der maximale mögliche Wert im Zeitraum 2021 – 2050 liegt nach dem Ensemble bei -92,29 mm, der minimale mögliche Wert bei -242,54 mm. Im Zeitraum 2071 – 2100 liegen diese bei -88,62 mm bzw. -258,19 mm. (s. Tab. 33)

Tabelle 33: Mittel-, Minimal- und Maximalwert der klimatischen Wasserbilanz in der Trockenzeit in Agou für die Perioden 1970 - 2000, 2021 - 2050 und 2071 – 2100 aus den Modelldaten, in mm

	1970 - 2000	2021 - 2050	2071 - 2100
$\bar{x}$	-195,30	-198,48	-199,40
Min	-236,62	-242,54	-258,19
Max	-43,48	-92,29	-88,62

Diese Werte bedeuten, dass den Pflanzen in der Trockenzeit kein Wasser zur Verfügung steht.

Tabelle 34: Aus den Modelldaten berechnete Klimaänderungssignale der klimatischen Wasserbilanz in der Trockenzeit in Agou für die Perioden 1971/2000 – 2021/2050 und 1971/2000 – 2071/2100 in mm

Modelllauf	Δ 1971/2000 – 2021/2050	Δ 1971/2000 – 2071/2100	Modelllauf	Δ 1971/2000 – 2021/2050	Δ 1971/2000 – 2071/2100
A1B 1	+0,38	-6,74	B1 2	+6,15	-6,00
A1B 2	+2,02	-1,28	B1 3	-1,75	+0,97
A1B 3	+0,24	-2,23	MPI C 4.5	+4,75	+2,17
A2 1	-9,43	-2,51	MPI C 8.5	+2,69	+12,68
A2 2	+0,33	+1,98	ICH R 2.6	-16,39	-8,34
A2 3	-0,99	-1,17	ICH R 4.5	-11,62	-20,01
B1 1	-5,70	+2,20	ICH R 8.5	-15,25	-29,18

Die untere Grenze der möglichen Klimaänderungssignale für die nahe Zukunft bildet mit -16,39 mm das Szenario ICHEC REMO 2.6, die obere Grenze mit +6,15 mm das Szenario B1 2. Für die ferne Zukunft liegt die untere Grenze der Klimaänderungssignale bei -29,18 mm nach ICHEC REMO 8.5 und die obere Grenze bei +12,68 mm nach MPI CLM 8.5. Alle anderen Klimaänderungssignale liegen dazwischen (s. Tab. 34). Das Ensemble hat die Robustheitsanalyse nicht bestanden. Daher lässt sich keine robuste Aussage aus der Analyse treffen. Mit einer Übereinstimmung von 57,14% im negativen Trend ist es nach IPCC genauso wahrscheinlich, dass die klimatische Wasserbilanz in der Trockenzeit in Agou bis 2100 abnehmen wird, wie dass sie zunehmen wird (IPCC, 2010). In beiden Fällen wäre die Entwicklung nach dem verwendeten Ensemble nicht erheblich.

3.14 Übersicht der Ergebnisse

Zusammenfassend ergibt die Analyse folgende Klimaänderungssignale:

Tabelle 35: Überblick über die Klimaänderungssignale und deren Robustheit nach dem verwendeten Ensemble

Klimaelement	Δ 1971/2000 – 2021/2050	Robust	Δ 1971/2000 – 2071/2100	Robust
Jährliche mittlere Lufttemperatur [°C]	+1,01 bis +1,51	Ja	+1,08 bis +4,35	Ja
Jährliche gemittelte Maximaltemperatur [°C]	+0,92 bis +1,56	Ja	+1,10 bis +4,57	Ja
Hitzetage [d]	+23,22 bis +48,67	Ja	+25,28 bis +70,83	Ja
Tage mit Tmax $\geq$ 32°C [d]	+33,40 bis +62,18	Ja	+45,10 bis +138,58	Ja
Anzahl Hitzeperioden [n]	-0,58 bis +2,97	Nein	-4,47 bis +3,12	Nein
Länge der Hitzeperioden [d]	-0,20 bis +3,39	Ja	-1,14 bis +20,38	Ja
Jahresniederschlags- summe [mm]	-145,65 bis +176,75	Ja	-288,33 bis +263,72	Ja
Niederschlagssumme Regenzeit [mm]	-147,61 bis +185,49	Ja	-289,23 bis +261,49	Ja
Niederschlagssumme Trockenzeit [mm]	-11,88 bis +6,94	Nein	-9,82 bis +6,69	Nein
Starkregen- ereignisse [n]	-0,28 bis +2,13	Nein	-0,22 bis +4,03	Nein
Trockentage [d]	-3,10 bis +7,98	Nein	+1,45 bis +24,67	Ja
Anzahl Trockenperioden [n]	-0,03 bis +1,40	Nein	+0,33 bis +4,43	Ja
Länge der Trockenperioden [d]	-0,23 bis +0,19	Nein	-0,24 bis +0,30	Nein
Hitze- u. Trockentag [d]	+7,10 bis +24,95	Ja	+12,93 bis +50,95	Ja
KWB [mm]	-149,78 bis +154,03	Ja	-294,77 bis +250,77	Ja
KWB Trockenzeit [mm]	-16,39 bis +6,15	Nein	-29,18 bis +12,68	Nein

Es wurde anschließend betrachtet, welche Modell-Daten durchschnittlich eine geringere Differenz zu den Stationswerten aufweisen. Dabei wurde deutlich, dass trotz der größeren Einzugsfläche, die ECHAM-Daten im Schnitt näher an den Stationswerten liegen. Dafür wurden jeweils die Mittelwerte der Periode 1988 – 2018 miteinander verglichen.

4 Auswertung und Interpretation der Ergebnisse

Nach Betrachtung der Klimaänderungssignale lassen sich folgende klimatischen Hauptprobleme nach dem verwendeten Ensemble herausstellen:

Die sowieso schon hohen Lufttemperaturen in Agou werden weiter ansteigen und auch die Spitzentemperaturen werden zunehmend extremer, so dass die Temperaturoptima vieler Pflanzen vermutlich überschritten werden. Es wurde beschrieben, dass viele tropische Getreidesorten ein Temperaturoptimum von 30 – 32°C haben. Da auch die Tage, deren Maximaltemperatur 32°C oder höher beträgt bis 2100 so gut wie sicher häufiger werden, steigt somit die Anzahl der Tage, an denen es potenziell zu Wachstumsstillstand bei den Pflanzen kommen kann. Generell geraten die Ökosysteme und Pflanzen durch eine höhere Anzahl von Hitzetagen und wahrscheinlich längeren Hitzewellen zunehmend unter Stress.

Da die Entwicklung des Jahresniederschlags, sowie der Niederschlagssummen jeweils in Trockenzeit und Regenzeit keinen 100%igen Trend aufweisen, sind die damit eingehenden Probleme schwer abzuschätzen. Nimmt der Niederschlag in der ohnehin schon von Überschwemmungen geprägten Regenzeit weiter zu, was wahrscheinlich ist, kann dies zu schnelleren und häufigeren Überschwemmungen und Erosion führen. Auch Krankheiten und Pilze können durch die extreme Nässe zunehmend begünstigt werden. Nimmt der Niederschlag in der Trockenzeit auch zu, kann dies neue Chancen für die Landwirtschaft und alle anderen Ökosysteme schaffen. Nimmt der Niederschlag in der Trockenzeit jedoch weiter ab, wird das Problem des Wassermangels immer größer.

Durch die steigende Zahl der Trockentage und häufigeren Trockenperioden können die Pflanzen zunehmend unter Trockenstress geraten. Vermutlich wird auch der Zeitpunkt der Pflanzungen immer bedeutender und die Überbrückung kurzer Trockenperioden in den sensiblen Wachstumsphasen.

Auch die ansteigende Überschneidung von Hitze- und Trockenstress wird für die Landwirtschaft eine zunehmende Herausforderung darstellen.

Da die klimatische Wasserbilanz stark von den Niederschlagssummen abhängt, ist auch hier schwer einzuschätzen, welche Problematiken sich in

diesem Bereich ergeben werden. Wird die KWB in der Trockenzeit weiter abnehmen, werden die Ökosysteme in der Trockenzeit noch größere Probleme durch Trockenstress erleiden. Generell lässt sich sagen, dass die Trockenzeit von Dezember bis Februar eine sehr kritische Phase darstellt, geprägt von Wasserdefizit und Hitzestress. Es ist möglich, dass die Trockenzeit durch den Klimawandel verlängert wird. Dazu müsste jedoch die jährliche Verteilung der zunehmenden Trockentage und der Niederschlagsentwicklung genauer untersucht werden, was im Rahmen dieser Arbeit nicht möglich war.

Insgesamt wird es durch die verschiedenen Auswirkungen des Klimawandels wahrscheinlich vermehrt zu Ernteeinbußen kommen, vor allem bedingt durch höheren Hitze- und Trockenstress. Die Auswirkungen des Klimawandels auf Pflanzen können aufbauend auf dieser Analyse genauer betrachtet werden. Dazu müssten des Weiteren die Klimaänderungen in den jeweiligen kritischen Phasen des Pflanzenwachstums untersucht werden.

In Anbetracht der anfänglich aufgestellten Hypothesen, lässt sich sagen, dass sich Hypothese eins nur zum Teil bestätigen lässt. Zwar ist es mit 70,59% wahrscheinlich, dass der Niederschlag in der Regenzeit zunehmen wird, es ist aber mit 35,29% nicht sehr wahrscheinlich, dass der Niederschlag in der Trockenzeit abnehmen wird. Sollte er jedoch in der Trockenzeit zunehmen, so nur gering. Hypothese zwei lässt sich dagegen komplett bestätigen, da die Lufttemperatur in Agou bis 2100 nach dem verwendeten Ensemble mit einer Wahrscheinlichkeit von 100% ansteigen wird. Ebenso die Annahmen, dass die Extremtemperaturen häufiger auftreten werden (Wahrscheinlichkeit von 100%) und noch extremer werden (Wahrscheinlichkeit von 100%) lagen nach dem verwendeten Ensemble richtig.

5 Anpassungsvorschläge

Aus den zusammengestellten möglichen Auswirkungen des Klimawandels auf die Region Agou lassen sich verschiedene Anpassungsvorschläge für den Sektor Landwirtschaft ableiten.

Werden die Temperaturoptima der zurzeit verwendeten Pflanzen so weit überschritten, dass es zu Wachstumseinstellung und damit Ernteeinbußen kommt, wäre es eine Möglichkeit, nach toleranterem Saatgut zu suchen. Pflanzen mit einem höheren Temperaturoptimum können selbst unter höheren Temperaturen Ertragssicherheit bieten. Auch die Frage nach gentechnisch manipuliertem Saatgut wird mit dem Klimawandel immer wichtiger. In einigen afrikanischen Regionen gibt es bereits Projekte mit solchem Saatgut (PNACC, 2014h). Es stellt sich jedoch die Frage, ob dieses Saatgut für die breite ländliche Bevölkerung zugänglich und bezahlbar gemacht werden kann, da die Landwirtschaft in Togo hauptsächlich von kleinbäuerlichen Betrieben geprägt ist (LIP c). Eine weitere Anpassungsmöglichkeit, um den Hitzestress abzumildern, ist die Agroforstwirtschaft. Dabei wird den Kulturpflanzen durch Bäume Schatten gespendet (agroforst-info.de). Um dem Trockenstress entgegenzuwirken wären Möglichkeiten zur Bewässerung von Nöten. Dazu bräuchte es zum Beispiel Wege den überschüssigen Regen während der Regenzeit aufzufangen, um daraus die Pflanzen bei Bedarf zu bewässern. Um die großflächigen Felder zu bewässern fehlt es den Landwirten jedoch oft an Material, Maschinen und Wissen. Daher ist eine wichtige Anpassungsmaßnahme auch die Verbreitung von Technologien, Praktiken und Bereitstellung von Maschinen und Geldern. Generell kann eine Verbesserung der Zustände (Methoden, Materialien, Infrastruktur und Wissen) zu einer Ertragssteigerung führen. Auch die Bildung der Landwirte in diesem Thema ist eine wichtige Maßnahme.

Konkretere Anpassungsmethoden können aufgrund dieser Bachelorarbeit unter Betracht der Gegebenheiten vor Ort in Togo und genaueren Analysen der Klimawandelauswirkungen auf die landwirtschaftlichen Pflanzen ausgearbeitet werden. Die nähere Betrachtung der Auswirkungen auf die einzelnen Pflanzen rückt jedoch in einen anderen Fachbereich und kann daher innerhalb dieser Arbeit nicht behandelt werden.

6 Diskussion

Die Analyse wurde nach Möglichkeit unter den aktuellen wissenschaftlichen Kenntnissen und unter dem Versuch, die Fehlerquellen möglichst gering zu halten, gefertigt. Dennoch sollten einige Aspekte der Arbeit kritisch betrachtet werden. So zum Beispiel die Korrektur der Modelldaten anhand der Stationsdaten. Es gibt verschiedene Möglichkeiten diese Korrektur durchzuführen, welche möglicherweise die Modelldaten auf unterschiedliche Weise abändern. Es stellt sich also zum einen die Frage, ob die hier gewählte Delta-Methode die richtige Wahl war bzw. ob es überhaupt die eine richtige Methode gibt, und wie die Analyse vielleicht mit einer anderen Methode ausgefallen wäre. Zum anderen stellt sich die Frage der Korrektur an sich. Zwar gibt die Wetterstation tatsächlich gemessene Daten aus der untersuchten Region wieder, während die Modelldaten nur theoretische Werte einbeziehen, dennoch gibt die Wetterstation nur die Messwerte für einen Punkt innerhalb der untersuchten Region wieder. Fraglich ist, ob die Station repräsentativ für die Region gesehen werden kann. In diesem Fall lagen die Modellwerte meist systematisch unterhalb der Stationswerte. Wären die Daten also nicht anhand der Stationswerte korrigiert worden, würden die Ergebnisse der Analyse eventuell etwas milder ausfallen. In Sachen Klimawandelanpassung ist jedoch im Zweifel eine Überschätzung der Auswirkungen besser als eine Unterschätzung der Auswirkungen. Daher war die Korrektur in diesem Falle von Nöten.

Im Falle der KWB wurde der Haude-Faktor anhand der Tabelle für Deutschland hergeleitet. Um die Temperaturunterschiede möglichst klein zu halten wurde der Wert für Juli verwendet. Dennoch war die darüber berechnete KWB im Vergleich zu den Stationswerten viel zu hoch. Daraus lässt sich schließen, dass die Verdunstungswerte, die über den Haude-Faktor für Juli berechnet wurden, noch längst nicht an die tatsächliche PET in Togo herankam. Erst nach der Korrektur der Werte wurden diese realistisch. Es gibt verschiedene Methoden, um eine PET zu berechnen. Es stellt sich also die Frage, welche besser für afrikanische Länder wie Togo geeignet sind, und wie unterschiedlich die Werte mit einer geeigneteren Variante ausgefallen wären.

Die Schlüsselfrage über diese Arbeit ist wohl, wie sinnvoll es ist, aufgrund dieser Analyse praktische Maßnahmen in Agou zu ergreifen und ob die Aussagen des hier verwendeten Ensembles sicher genug sind. Generell gilt, je mehr Modelle und Szenarien miteinander verglichen werden, desto sicherer können Aussagen getroffen werden. Eine 100%ige Sicherheit über die zukünftigen Änderungen werden sich aber auch dann nicht treffen lassen, da die realen Entwicklungen des Klimas niemals genau vorausgesagt werden können. In der Klimawandelanpassung wird immer mit Unsicherheiten gehandelt werden müssen. Daran setzt das sogenannte „Vorsorgeprinzip“ an, welches als Leitlinie in der Umweltpolitik dient und besagt, dass auch ohne adäquate wissenschaftliche Beweise gehandelt werden muss (UBA, 2015). So zeigen auch die Klimaänderungssignale des hier verwendeten Ensembles nur mögliche zukünftige Veränderungen und liefern keine Garantien. Da bezüglich einigen Variablen, wie zum Beispiel der Lufttemperatur, alle 17 Modellläufe einen ähnlichen Trend aufweisen, lässt sich an diesen Stellen eine sehr hohe Wahrscheinlichkeit für diese Entwicklung aussprechen. Somit dürfte die Analyse in diesen Punkten als Grundlage für die Einleitung von Maßnahmen reichen. Generell gilt jedoch, dass vor allem flexible und nachsteuerbare Maßnahmen, welche gegebenenfalls auf neue wissenschaftliche Kenntnisse angepasst werden können, sowie no- bzw. low-regret Maßnahmen zu empfehlen sind, welche in jedem Falle einen positiven Effekt haben. In dem Falle Agou wären Maßnahmen zur Bewässerung zum Beispiel eine solche Maßnahme, da bereits heute Probleme durch Wassermangel entstehen, nicht erst in der Zukunft durch den Klimawandel. Maßnahmen zur Bewässerung der Felder hätten somit heute schon einen positiven Effekt auf die Landwirtschaft.

7 Zusammenfassung

Durch den fortschreitenden Klimawandel wird neben dem Klimaschutz auch die Klimawandelanpassung immer wichtiger. Als Grundlage für eine Anpassung an den Klimawandel wird eine Analyse der möglichen Klimaänderungen benötigt. Da es große klimatische Unterschiede innerhalb Togos gibt, sind die bisherigen Analysen und Datengrundlagen über die Klimawandelauswirkungen in dem Land unzureichend für eine spezifische Klimawandelanpassung in kleineren Regionen. Ziel dieser Arbeit war es, eine solche Klimawandelanalyse für die Präfektur Agou in Togo zu machen, welche als Projektort der natureOffice GmbH dient. Dabei wurde das Hauptaugenmerk auf die Landwirtschaft gelegt, da diese in Togo für die Ernährung der togolesischen Bevölkerung besonders wichtig und in Betracht auf den Klimawandel besonders vulnerabel ist. Durch den Klimawandel werden in der Landwirtschaft zukünftig starke Ernteeinbußen erwartet. Eine Anpassung des Sektors an die klimatischen Änderungen kann diesen Effekt verringern. Durch diese Arbeit wurde eine Grundlage geschaffen, auf derer weitere und genauere Analysen des Klimawandeleinflusses auf die Landwirtschaft aufbauen können. Anhand der Daten einer Wetterstation und 17 Modellläufen, welche verschiedene Kombinationen aus Klimamodellen und Szenarien beinhalten, wurden verschiedene Variablen bezüglich der Lufttemperatur und der Niederschlagssumme untersucht. Dafür wurden jeweils die Klimaänderungssignale für die nahe und ferne Zukunft berechnet. Die Ergebnisse der Modelldaten wurden einer Robustheitsanalyse unterzogen, um die Aussagekräftigkeit der Analyse zu untersuchen.

Die Ergebnisse der Klimawandelanalyse zeigen, dass sowohl die Durchschnitts- als auch die Maximaltemperaturen in Agou bis 2100 wahrscheinlich stark ansteigen werden. Die Niederschlagssumme wird im Jahr wahrscheinlich zunehmen, sowie in der Regenzeit. Trotz der wahrscheinlich zunehmenden Niederschlagssumme ist davon auszugehen, dass der Hitze- und Trockenstress für die Pflanzen insgesamt extremer wird. Eine Klimawandelanpassung sollte also vor allem darauf ausgelegt werden, eine Bewässerung der Felder zu ermöglichen und gegebenenfalls auf Saatgut umzuschwenken, welches hitzeresistenter ist.

8 Fazit

Schlussfolgernd lässt sich aus der Arbeit schließen, dass sich die gewonnenen Kenntnisse in vielen Punkten mit den bereits veröffentlichten Analysen decken. So lässt sich zum Beispiel der in der togolesischen Anpassungsstrategie von 2014 festgehaltene zunehmende Trend in der Temperatur bestätigen, sowie die Abnahme der Regentage. Jedoch kann die Abnahme in der Niederschlagssumme nicht als solche bestätigt werden. Die gefertigte Analyse bietet insgesamt ein breiteres Bild der möglichen Entwicklungen, als aus den hier anfänglich herangezogenen Veröffentlichungen hervorging. Die zu erwartenden Probleme durch den Klimawandel wie Ernteverlust durch Trocken- und Hitzestress decken sich weitestgehend mit den hier erschlossenen Problemstellungen.

Es lässt sich außerdem festhalten, dass die Worst-Case-Szenarien und die Best-Case-Szenarien tatsächlich in den meisten Fällen auch die schlechteste bzw. beste Entwicklung darstellen, allerdings nicht immer. In Einzelfällen kann sogar ein Worst-Case-Szenario die beste Entwicklung aufzeigen, sowie andersherum. In dieser Analyse liefert oftmals das A1B-Szenario die schädlichste Änderung. Interessant zu sehen ist auch, dass ein Szenario berechnet von einem anderen Modell komplett unterschiedliche Ergebnisse liefern kann.

Auffallend ist, dass in fast allen Fällen die Standardabweichungen der Mittelwerte größer werden, je weiter der betrachtete Mittelwert in der Zukunft liegt. Dadurch wird deutlich, dass die Unsicherheiten über die Klimaänderungen größer werden, je weiter sie für die Zukunft analysiert werden. Die Änderungen, die näher an der Gegenwart liegen, lassen sich in der Regel besser abschätzen.

Obwohl die ECHAM-Datensätze ein viel zu großes Gebiet mitteln und theoretisch die klein-skalierten CORDEX-Datensätze repräsentativer für ein kleines Gebiet wie Agou sein sollten, sind die Daten aus ECHAM den Stationsdaten meistens ähnlicher. Es kann also nicht pauschal gesagt werden, dass die Modelle mit einer höheren Auflösung zutreffendere Werte liefern.

Literaturverzeichnis

Agroforst-info.de, „Was ist Agroforstwirtschaft?“

<https://agroforst-info.de/agroforstwirtschaft/> [06.04.2020; 17:55]

Ahmed, Kazi Farzan & Guiling Wang & Miao Yu & Jawoo Koo & Liangzhi You – Climate Change 2015 133:321–334 “Potential impact of climate change on cereal crop yield in West Africa” S. 326 ff DOI 10.1007/s10584-015-1462-7, S. 326 ff

CDO User Guide, 2019

<https://code.mpimet.mpg.de/projects/cdo/embedded/cdo.pdf> [26.03.2020; 14:12]

CEDA, Centre for Environmental Data Analysis, Archive

<https://catalogue.ceda.ac.uk/uuid/5f6dde2669184967b19c5e4c36d5d362>
[26.03.2020; 16:35]

citypopulation.de “Togo” 2017

https://www.citypopulation.de/en/togo/admin/2_plateaux/ [04.01.2020; 17:53]

Cordex.org WCRP

<http://www.cordex.org/about/what-is-regional-downscaling/> [23.01.2020; 17:07]

DAS Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel 2008, S.29

https://www.bmu.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/das_gesamt_bf.pdf [24.03.2020; 14:56]

DKK Deutsches Klima Konsortium: IPCC 2014: Klimaänderung 2013: Naturwissenschaftliche Grundlagen. Häufig gestellte Fragen und Antworten – Teil des Beitrags der Arbeitsgruppe I zum Fünften Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC) [T.F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex und P.M. Midgley (Hrsg.)]. Deutsche Übersetzung durch die deutsche IPCC-Koordinierungsstelle und Klimabüro für Polargebiete und Meeresspiegelanstieg, Bonn, 2017

<https://www.deutsches-klima-konsortium.de/de/klimafaq-12-3.html> [18.03.2020; 17:36]

DMK Deutsches Mais Komitee, „Standortansprüche“

<https://www.maiskomitee.de/Produktion/Anbau/Standortanspr%C3%BChe>
[06.01.2020; 15:50]

DWD a, Wetterlexikon - “Klimafaktoren”

<https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/Functions/glossar.html?lv2=101334&lv3=101422> [03.01.2020; 17:54]

DWD b, “RCP -Szenarien”

<https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimawandel/klimaszenarien/rcp-szenarien.html;jsessionid=AE9F99DDAD41F11BBCD41CBD17B7DF21.live21071?nn=582524> [26.03.2020; 16:37]

DWD c, Wetterlexikon – „Klima“

<https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/Functions/glossar.html?nn=103346&lv2=101334&lv3=101462> [25.03.2020; 17:11]

DWD d, Wetterlexikon – „Heißer Tag“

<https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/Functions/glossar.html?nn=103346&lv2=101094&lv3=101162> [14.03.2020; 15:52]

DWD e, Wetterlexikon - „Hitzewelle“

<https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/Functions/glossar.html?nn=103346&lv2=101094&lv3=624852> [14.03.2020; 15:53]

DWD f, Wetterlexikon - „Starkregen“

<https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/Functions/glossar.html?nn=103346&lv2=102248&lv3=102572> [14.03.2020; 15:52]

DWD g, Wetterlexikon - „Wasserbilanz – klimatische“

<https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/Functions/glossar.html?nn=103346&lv2=102936&lv3=103052> [14.03.2020; 15:51]

ESRL Earth System Research Laboratory “Trends in Atmospheric Carbon Dioxide”

<https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/global.html#global> [16.03.2020; 15:56]

European Comission, „Folgen des Klimawandels“

https://ec.europa.eu/clima/change/consequences_de

Fankhauser, S and McDermott, T K.J September 2013 “Understanding the adaptation deficit: why are poor countries more vulnerable to climate events than rich countries?” Centre for Climate Change Economics and Policy Working Paper No. 150

FAO Food and Agriculture Organization of the United Nations, Cadre de programmation par pays CPP – TOGO, 2012, S.9f

<http://www.fao.org/3/a-bp641f.pdf> [06.01.2020; 13:14]

GFDRR a Global Facility for Disaster Reduction and Recovery, 2011, “Togo - Climate Risk and Adaptation Country Profile” S. 2

<https://www.gfdr.org/sites/default/files/publication/climate-change-country-profile-2011-togo.pdf> [04.01.2020; 17:26]

GFDRR b Global Facility for Disaster Reduction and Recovery, 2011, “Togo - Climate Risk and Adaptation Country Profile” S. 8

<https://www.gfdr.org/sites/default/files/publication/climate-change-country-profile-2011-togo.pdf> [04.01.2020; 17:26]

infoclimat.fr

<https://www.infoclimat.fr/climatologie-mensuelle/65387/septembre/2019/lome.html> [18.03.2020; 17:34]

IPCC, 2000: “A Special Report of IPCC Working Group III”, S. 3

<https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/sres-en.pdf> [26.03.2020; 16:31]

IPCC, 2007: “Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability”

Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 976pp. S. 19 ff

https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ar4_wg2_full_report.pdf [03.01.2020; 15:48]

IPCC, 2010: "Guidance Note for Lead Authors of the IPCC Fifth Assessment Report on Consistent Treatment of Uncertainties"

Mastrandrea, M.D., C.B. Field, T.F. Stocker, O. Edenhofer, K.L. Ebi, D.J. Frame, H. Held, E. Kriegler, K.J. Mach, P.R. Matschoss, G.-K. Plattner, G.W. Yohe, and F.W. Zwiers, 2010: Guidance Note for Lead Authors of the IPCC Fifth Assessment Report on Consistent Treatment of Uncertainties. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). S. 3

IPCC, 2012: "Summary for Policymakers" In: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, pp. 1-19. S. 5

https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/SREX_FD_SPM_final-2.pdf
[18.03.2020; 17:40]

IPCC, 2013a: "Evaluation of Climate Models" Flato, G., J. Marotzke, B. Abiodun, P. Braconnot, S.C. Chou, W. Collins, P. Cox, F. Driouech, S. Emori, V. Eyring, C. Forest, P. Gleckler, E. Guilyardi, C. Jakob, V. Kattsov, C. Reason and M.

Rummukainen, 2013: Evaluation of Climate Models. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. S. 754

https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_Chapter09_FINAL.pdf
[26.03.2020; 16:42]

IPCC, 2013b: "Anthropogenic and Natural Radiative Forcing" Myhre, G., D. Shindell, F.-M. Bréon, W. Collins, J. Fuglestad, J. Huang, D. Koch, J.-F. Lamarque, D. Lee, B. Mendoza, T. Nakajima, A. Robock, G. Stephens, T. Takemura and H. Zhang, 2013: Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. S. 664

https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_Chapter08_FINAL.pdf
[19.02.2020; 15:15]

IPCC, 2018: "Summary for Policymakers" In: Global Warming of 1.5 °C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5 °C above preindustrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H. O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P. R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J. B. R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M. I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, T. Waterfield (eds.)]. World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 32 pp. S. 8

https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/03/SR1.5-SPM_de_barrierefrei-2.pdf
[18.03.2020; 17:37]

IPCC, 2019: "Summary for Policymakers" In: Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems [P.R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte, H.- O. Pörtner, D. C. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M. Belkacemi, J. Malley, (eds.)]. In press. S. 7
https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/4/2019/12/02_Summary-for-Policymakers_SPM.pdf [03.01.2020; 16:11]

LAENGENGGRAD, Breitengrad, GPS-Koordinaten von Togo
<https://www.laengengrad-breitengrad.de/gps-koordinaten-von-togo> [08.01.2020; 15:43]

LIP a, Das Länderinformationsportal 2019 „Klima“
<https://www.liportal.de/togo/ueberblick/> [08.01.2020; 16:13]

LIP b, Das Länderinformationsportal „Landschaftsräume und Vegetationszonen“
<https://www.liportal.de/togo/ueberblick/#c9246> [08.01.2020; 16:55]

LIP c, Das Länderinformationsportal „Wirtschaftssektoren“
<https://www.liportal.de/togo/wirtschaft-entwicklung/#c9368> [06.04.2020; 11:14]

MPI-MET a, Max-Planck-Institut für Meteorologie, „ECHAM“
<http://www.mpimet.mpg.de/en/science/models/mpi-esm/echam/> [26.03.2020; 16:47]

MPI-MET b, Max-Planck-Institut für Meteorologie, Project Management Service, „CDO“
<https://code.mpimet.mpg.de/projects/cdo/> [26.03.2020; 14:34]

NCAS National Centre for Atmospheric Science of the UK
<https://www.ncas.ac.uk/en/climate-science-highlights/463-wet-regions-getting-wetter-dry-regions-drier-as-planet-warms> [26.03.2020; 13:59]

natur-lexikon.com „Mais“
<http://www.natur-lexikon.com/Texte/MZ/003/00224-Mais/MZ00224-mais.html>
[07.01.2020; 14:10]

natureOffice "project togo"
<https://www.natureoffice.com/klimaschutzprojekte/project-togo/projektdetails>
[16.01.2020; 14:54]

PANA a, Plan d'action national d'Adaptation aux Changements Climatiques, 2009, S. 18
<https://unfccc.int/resource/docs/napa/tgo01f.pdf> [04.01.2020; 17:33]

PANA b, Plan d'action national d'Adaptation aux Changements Climatiques, 2009, S. 24
<https://unfccc.int/resource/docs/napa/tgo01f.pdf> [04.01.2020; 17:33]

Pflanzenforschung.de a, „Hirse“
<https://www.pflanzenforschung.de/de/themen/pflanzen-im-fokus/hirse/> [24.03.2020; 15:06]

Pflanzenforschung.de b, „Yams“

<https://www.pflanzenforschung.de/de/themen/pflanzen-im-fokus/yams/> [24.03.2020; 15:08]

Pilo, Gerber, Wünscher 2017 “Climate Change and Land Degradation in the Savana Region of Togo: What are the Available Useful Adaptation Options?” S. 11

PNACC a, Plan National d’Adaption aux Changements Climatiques du Togo, 2014, S. 10

<https://www4.unfccc.int/sites/NAPC/Documents%20NAP/Togo%20NAP.pdf>
[04.01.2020; 17:36]

PNACC b, Plan National d’Adaption aux Changements Climatiques du Togo, 2014, S. 17

<https://www4.unfccc.int/sites/NAPC/Documents%20NAP/Togo%20NAP.pdf>
[04.01.2020; 17:36]

PNACC c, Plan National d’Adaption aux Changements Climatiques du Togo, 2014, S. XVII

<https://www4.unfccc.int/sites/NAPC/Documents%20NAP/Togo%20NAP.pdf>
[04.01.2020; 17:36]

PNACC d, Plan National d’Adaption aux Changements Climatiques du Togo, 2014, S. XIX f

<https://www4.unfccc.int/sites/NAPC/Documents%20NAP/Togo%20NAP.pdf>
[04.01.2020; 17:36]

PNACC e, Plan National d’Adaption aux Changements Climatiques du Togo, 2014, S. 25

<https://www4.unfccc.int/sites/NAPC/Documents%20NAP/Togo%20NAP.pdf>
[04.01.2020; 17:36]

PNACC f, Plan National d’Adaption aux Changements Climatiques du Togo, 2014, S. 28

<https://www4.unfccc.int/sites/NAPC/Documents%20NAP/Togo%20NAP.pdf>
[04.01.2020; 17:36]

PNACC g, Plan National d’Adaption aux Changements Climatiques du Togo, 2014, S. XIX

<https://www4.unfccc.int/sites/NAPC/Documents%20NAP/Togo%20NAP.pdf>
[04.01.2020; 17:36]

PNACC h, Plan National d’Adaption aux Changements Climatiques du Togo, 2014, S. 39 ff

<https://www4.unfccc.int/sites/NAPC/Documents%20NAP/Togo%20NAP.pdf>
[06.04.2020; 11:15]

Ramirez-Villegas, J und Thornton, P K “Climate change impacts on African crop production” Working Paper No. 119; CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS); 2015

Statista, “Definition Standardabweichung”

<https://de.statista.com/statistik/lexikon/definition/126/standardabweichung/>
[04.04.2020; 17:08]

Sultan, B., Roudier, P., Quirion, P., Alhassane, A., Muller, B., Dingkuhn, M., Ciais, P., Guimberteau, M., Traore, S., and Baro, C.

“Assessing climate change impacts on sorghum and millet yields in the Sudanian and Sahelian savannas of West Africa” 2013

UBA, Umweltbundesamt „Folgen des Klimawandels“

<https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimafolgen-anpassung/folgen-des-klimawandels-0#regionale-auswirkungen-des-klimawandels>
[18.03.2020; 17:38]

UBA 2015, Umweltbundesamt „Vorsorgeprinzip“

<https://www.umweltbundesamt.de/themen/nachhaltigkeit-strategien-internationales/umweltrecht/umweltverfassungsrecht/vorsorgeprinzip> [03.04.2020; 14:42]

UBA 2020, Umweltbundesamt „Klimamodelle und Szenarien“

<https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimafolgen-anpassung/folgen-des-klimawandels/klimamodelle-szenarien#textpart-4>
[23.01.2020; 16:16]

unfccc „Dynamical Downscaling“

https://unfccc.int/files/adaptation/methodologies_for/vulnerability_and_adaptation/application/pdf/dynamical_downscaling.pdf [19.02.2020; 14:17]

USGS United States Geological Survey “West Africa: Land Use and Land Cover Dynamics – The Republic of Togo” 2013

<https://eros.usgs.gov/westafrica/land-cover/land-use-land-cover-and-trends-togo>
[08.01.2020; 17:30]

Weltrisikobericht 2019a

ISBN 978-3-946785-07-1 S. 43 f

Weltrisikobericht 2019b

ISBN 978-3-946785-07-1 S. 56

Wetter.andreae-gymnasium.de „Die potentielle Verdunstung nach HAUDE“

<http://wetter.andreae-gymnasium.de/interaktives/Feuchte/haude.htm> [14.03.2020; 16:03]

Anhangsverzeichnis

Anhang I	Liste der verwendeten Datensätze mit Quellenangabe	72
----------	--	----

Im digitalen Anhang werden alle verwendeten Datensätze, die Logbücher, anhand welcher diese bearbeitet wurden, die Excel-Datei, in welcher die Modellergebnisse analysiert wurden, sowie die Excel-Datei, in welcher die Stationswerte analysiert wurden, mitgereicht.

Anhang I: Liste der verwendeten Datensätze mit Quellenangabe

cera-dkrz.de

<https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/> [19.02.2020; 15:29]

EH5_OM_20C3M_1_MM_TEMP2: near surface air temperature (Roeckner, E et al., 2003)

<https://cera->

www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=EH5_OM_20C3M_1_MM_TEMP2 [23.02.2020; 14:33]

EH5_OM_20C3M_2_MM_TEMP2: near surface air temperature (Roeckner, E et al., 2003)

<https://cera->

www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=EH5_OM_20C3M_2_MM_TEMP2 [23.02.2020; 14:34]

EH5_OM_20C3M_3_MM_TEMP2: near surface air temperature (Roeckner, E et al., 2003)

<https://cera->

www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=EH5_OM_20C3M_3_MM_TEMP2 [23.02.2020; 14:35]

EH5_OM_A1B_1_MM_TEMP2: near surface air temperature (Roeckner, E et al., 2003)

<https://cera->

www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=EH5_OM_A1B_1_MM_TEMP2 [23.02.2020; 14:36]

EH5_OM_A1B_2_MM_TEMP2: near surface air temperature (Roeckner, E et al., 2003)

<https://cera->

www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=EH5_OM_A1B_2_MM_TEMP2 [23.02.2020; 14:36]

EH5_OM_A1B_3_MM_TEMP2: near surface air temperature (Roeckner, E et al., 2003)

<https://cera->

www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=EH5_OM_A1B_3_MM_TEMP2 [23.02.2020; 14:37]

EH5_OM_A2_1_MM_TEMP2: near surface air temperature (Roeckner, E et al., 2003)

<https://cera->

www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=EH5_OM_A2_1_MM_TEMP2 [23.02.2020; 14:38]

EH5_OM_A2_2_MM_TEMP2: near surface air temperature (Roeckner, E et al., 2003)

<https://cera->

www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=EH5_OM_A2_2_MM_TEMP2 [23.02.2020; 14:39]

EH5_OM_A2_3_MM_TEMP2: near surface air temperature (Roeckner, E et al., 2003)

https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=EH5_OM_A2_3_MM_TEMP2
[23.02.2020; 14:39]

EH5_OM_B1_1_MM_TEMP2: near surface air temperature (Roeckner, E et al., 2003)

https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=EH5_OM_B1_1_MM_TEMP2
[23.02.2020; 14:40]

EH5_OM_B1_2_MM_TEMP2: near surface air temperature (Roeckner, E et al., 2003)

https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=EH5_OM_B1_2_MM_TEMP2
[23.02.2020; 14:40]

EH5_OM_B1_3_MM_TEMP2: near surface air temperature (Roeckner, E et al., 2003)

https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=EH5_OM_B1_3_MM_TEMP2
[23.02.2020; 14:41]

EH5_OM_20C3M_1_T2MAX: near surface maximum air temperature (Roeckner, E et al., 2003)

https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=EH5_OM_20C3M_1_T2MAX
[23.02.2020; 14:48]

EH5_OM_20C3M_2_T2MAX: near surface maximum air temperature (Roeckner, E et al., 2003)

https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=EH5_OM_20C3M_2_T2MAX
[23.02.2020; 14:49]

EH5_OM_20C3M_3_T2MAX: near surface maximum air temperature (Roeckner, E et al., 2003)

https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=EH5_OM_20C3M_3_T2MAX
[23.02.2020; 14:50]

EH5_OM_A1B_1_T2MAX: near surface maximum air temperature (Roeckner, E et al., 2003)

https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=EH5_OM_A1B_1_T2MAX
[23.02.2020; 14:50]

EH5_OM_A1B_2_T2MAX: near surface maximum air temperature (Roeckner, E et al., 2003)

https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=EH5_OM_A1B_2_T2MAX
[23.02.2020; 14:51]

EH5_OM_A1B_3_T2MAX: near surface maximum air temperature (Roeckner, E et al., 2003)

https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=EH5_OM_A1B_3_T2MAX
[23.02.2020; 14:51]

EH5_OM_A2_1_T2MAX: near surface maximum air temperature (Roeckner, E et al., 2003)

https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=EH5_OM_A2_1_T2MAX
[23.02.2020; 14:52]

EH5_OM_A2_2_T2MAX: near surface maximum air temperature (Roeckner, E et al., 2003)

https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=EH5_OM_A2_2_T2MAX
[23.02.2020; 14:53]

EH5_OM_A2_3_T2MAX: near surface maximum air temperature (Roeckner, E et al., 2003)

https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=EH5_OM_A2_3_T2MAX
[23.02.2020; 14:53]

EH5_OM_B1_1_T2MAX: near surface maximum air temperature (Roeckner, E et al., 2003)

https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=EH5_OM_B1_1_T2MAX
[23.02.2020; 14:54]

EH5_OM_B1_2_T2MAX: near surface maximum air temperature (Roeckner, E et al., 2003)

https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=EH5_OM_B1_2_T2MAX
[23.02.2020; 14:55]

EH5_OM_B1_3_T2MAX: near surface maximum air temperature (Roeckner, E et al., 2003)

https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=EH5_OM_B1_3_T2MAX
[23.02.2020; 14:55]

EH5_OM_20C3M_1_MM_TPREC: total precipitation (Roeckner, E et al., 2003)

https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=EH5_OM_20C3M_1_MM_TPREC
[23.02.2020; 15:03]

EH5_OM_20C3M_2_MM_TPREC: total precipitation (Roeckner, E et al., 2003)

https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=EH5_OM_20C3M_2_MM_TPREC
[23.02.2020; 15:03]

EH5_OM_20C3M_3_MM_TPREC: total precipitation (Roeckner, E et al., 2003)
[https://cera-
www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=EH5_OM_20C3M_3_MM_TPREC](https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=EH5_OM_20C3M_3_MM_TPREC)
[23.02.2020; 15:04]

EH5_OM_A1B_1_MM_TPREC: total precipitation (Roeckner, E et al., 2003)
[https://cera-
www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=EH5_OM_A1B_1_MM_TPREC](https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=EH5_OM_A1B_1_MM_TPREC)
[23.02.2020; 15:05]

EH5_OM_A1B_2_MM_TPREC: total precipitation (Roeckner, E et al., 2003)
[https://cera-
www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=EH5_OM_A1B_2_MM_TPREC](https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=EH5_OM_A1B_2_MM_TPREC)
[23.02.2020; 15:05]

EH5_OM_A1B_3_MM_TPREC: total precipitation (Roeckner, E et al., 2003)
[https://cera-
www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=EH5_OM_A1B_3_MM_TPREC](https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=EH5_OM_A1B_3_MM_TPREC)
[23.02.2020; 15:06]

EH5_OM_A2_1_MM_TPREC: total precipitation (Roeckner, E et al., 2003)
[https://cera-
www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=EH5_OM_A2_1_MM_TPREC](https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=EH5_OM_A2_1_MM_TPREC)
[23.02.2020; 15:06]

EH5_OM_A2_2_MM_TPREC: total precipitation (Roeckner, E et al., 2003)
[https://cera-
www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=EH5_OM_A2_2_MM_TPREC](https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=EH5_OM_A2_2_MM_TPREC)
[23.02.2020; 15:07]

EH5_OM_A2_3_MM_TPREC: total precipitation (Roeckner, E et al., 2003)
[https://cera-
www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=EH5_OM_A2_3_MM_TPREC](https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=EH5_OM_A2_3_MM_TPREC)
[23.02.2020; 15:07]

EH5_OM_B1_1_MM_TPREC: total precipitation (Roeckner, E et al., 2003)
[https://cera-
www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=EH5_OM_B1_1_MM_TPREC](https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=EH5_OM_B1_1_MM_TPREC)
[23.02.2020; 15:08]

EH5_OM_B1_2_MM_TPREC: total precipitation (Roeckner, E et al., 2003)
[https://cera-
www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=EH5_OM_B1_2_MM_TPREC](https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=EH5_OM_B1_2_MM_TPREC)
[23.02.2020; 15:08]

EH5_OM_B1_3_MM_TPREC: total precipitation (Roeckner, E et al., 2003)
[https://cera-
www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=EH5_OM_B1_3_MM_TPREC](https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=EH5_OM_B1_3_MM_TPREC)
[23.02.2020; 15:09]

EH5_OM_20C3M_1_TPREC: total precipitation (Roeckner, E et al., 2003)
[https://cera-
www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=EH5_OM_20C3M_1_TPREC](https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=EH5_OM_20C3M_1_TPREC)
[23.02.2020; 15:14]

EH5_OM_20C3M_2_TPREC: total precipitation (Roeckner, E et al., 2003)
[https://cera-
www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=EH5_OM_20C3M_2_TPREC](https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=EH5_OM_20C3M_2_TPREC)
[23.02.2020; 15:15]

EH5_OM_20C3M_3_TPREC: total precipitation (Roeckner, E et al., 2003)
[https://cera-
www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=EH5_OM_20C3M_3_TPREC](https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=EH5_OM_20C3M_3_TPREC)
[23.02.2020; 15:16]

EH5_OM_A1B_1_TPREC: total precipitation (Roeckner, E et al., 2003)
[https://cera-
www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=EH5_OM_A1B_1_TPREC](https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=EH5_OM_A1B_1_TPREC)
[23.02.2020; 15:16]

EH5_OM_A1B_2_TPREC: total precipitation (Roeckner, E et al., 2003)
[https://cera-
www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=EH5_OM_A1B_2_TPREC](https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=EH5_OM_A1B_2_TPREC)
[23.02.2020; 15:17]

EH5_OM_A1B_3_TPREC: total precipitation (Roeckner, E et al., 2003)
[https://cera-
www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=EH5_OM_A1B_3_TPREC](https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=EH5_OM_A1B_3_TPREC)
[23.02.2020; 15:17]

EH5_OM_A2_1_TPREC: total precipitation (Roeckner, E et al., 2003)
[https://cera-
www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=EH5_OM_A2_1_TPREC](https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=EH5_OM_A2_1_TPREC)
[23.02.2020; 15:18]

EH5_OM_A2_2_TPREC: total precipitation (Roeckner, E et al., 2003)
[https://cera-
www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=EH5_OM_A2_2_TPREC](https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=EH5_OM_A2_2_TPREC)
[23.02.2020; 15:19]

EH5_OM_A2_3_TPREC: total precipitation (Roeckner, E et al., 2003)
[https://cera-
www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=EH5_OM_A2_3_TPREC](https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=EH5_OM_A2_3_TPREC)
[23.02.2020; 15:19]

EH5_OM_B1_1_TPREC: total precipitation (Roeckner, E et al., 2003)
[https://cera-
www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=EH5_OM_B1_1_TPREC](https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=EH5_OM_B1_1_TPREC)
[23.02.2020; 15:20]

EH5_OM_B1_2_TPREC: total precipitation (Roeckner, E et al., 2003)
[https://cera-
www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=EH5_OM_B1_2_TPREC](https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=EH5_OM_B1_2_TPREC)
[23.02.2020; 15:20]

EH5_OM_B1_3_TPREC: total precipitation (Roeckner, E et al., 2003)
[https://cera-
www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=EH5_OM_B1_3_TPREC](https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=EH5_OM_B1_3_TPREC)
[23.02.2020; 15:21]

EH5_OM_20C3M_1_MM_DEW2: near surface dew point temperature (Roeckner, E et al., 2003)
https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=EH5_OM_20C3M_1_MM_DEW2 [23.02.2020; 17:30]

EH5_OM_20C3M_2_MM_DEW2: near surface dew point temperature (Roeckner, E et al., 2003)
https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=EH5_OM_20C3M_2_MM_DEW2 [23.02.2020; 17:31]

EH5_OM_20C3M_3_MM_DEW2: near surface dew point temperature (Roeckner, E et al., 2003)
https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=EH5_OM_20C3M_3_MM_DEW2 [23.02.2020; 17:31]

EH5_OM_A1B_1_MM_DEW2: near surface dew point temperature (Roeckner, E et al., 2003)
https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=EH5_OM_A1B_1_MM_DEW2 [23.02.2020; 17:32]

EH5_OM_A1B_2_MM_DEW2: near surface dew point temperature (Roeckner, E et al., 2003)
https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=EH5_OM_A1B_2_MM_DEW2 [23.02.2020; 17:33]

EH5_OM_A1B_3_MM_DEW2: near surface dew point temperature (Roeckner, E et al., 2003)
https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=EH5_OM_A1B_3_MM_DEW2 [23.02.2020; 17:33]

EH5_OM_A2_1_MM_DEW2: near surface dew point temperature (Roeckner, E et al., 2003)
https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=EH5_OM_A2_1_MM_DEW2 [23.02.2020; 17:34]

EH5_OM_A2_2_MM_DEW2: near surface dew point temperature (Roeckner, E et al., 2003)
https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=EH5_OM_A2_2_MM_DEW2 [23.02.2020; 17:34]

EH5_OM_A2_3_MM_DEW2: near surface dew point temperature (Roeckner, E et al., 2003)
https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=EH5_OM_A2_3_MM_DEW2 [23.02.2020; 17:35]

EH5_OM_B1_1_MM_DEW2: near surface dew point temperature (Roeckner, E et al., 2003)
https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=EH5_OM_B1_1_MM_DEW2
[23.02.2020; 17:36]

EH5_OM_B1_2_MM_DEW2: near surface dew point temperature (Roeckner, E et al., 2003)
https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=EH5_OM_B1_2_MM_DEW2
[23.02.2020; 17:36]

EH5_OM_B1_3_MM_DEW2: near surface dew point temperature (Roeckner, E et al., 2003)
https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=EH5_OM_B1_3_MM_DEW2
[23.02.2020; 17:37]

cordex output AFR-44 MPI-CSC MPI-M-MPI-ESM-LR historical r1i1p1 REMO2009 v1 mon v20160412 tas
<https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=CXAF44MCElhi011001R1Mtas>
[23.02.2020; 17:49]

cordex output AFR-44 MPI-CSC MPI-M-MPI-ESM-LR rcp26 r1i1p1 REMO2009 v1 mon v20160412 tas
<https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=CXAF44MCElr2011001R1Mtas>
[23.02.2020; 17:51]

cordex output AFR-44 MPI-CSC MPI-M-MPI-ESM-LR rcp45 r1i1p1 REMO2009 v1 mon v20160412 tas
<https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=CXAF44MCElr4011001R1Mtas>
[23.02.2020; 17:51]

cordex output AFR-44 MPI-CSC MPI-M-MPI-ESM-LR rcp85 r1i1p1 REMO2009 v1 mon v20160412 tas
<https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=CXAF44MCElr8011001R1Mtas>
[23.02.2020; 17:52]

cordex output AFR-44 MPI-CSC ICHEC-EC-EARTH historical r12i1p1 REMO2009 v1 mon v20160412 tas
<https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=CXAF44MCEChi121001R1Mtas>
[23.02.2020; 17:55]

cordex output AFR-44 MPI-CSC ICHEC-EC-EARTH rcp26 r12i1p1 REMO2009 v1 mon v20160412 tas
<https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=CXAF44MCECr2121001R1Mtas>
[23.02.2020; 17:56]

cordex output AFR-44 MPI-CSC ICHEC-EC-EARTH rcp45 r12i1p1 REMO2009 v1
mon v20160412 tas
[https://cera-
www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=CXAF44MCECr4121001R1Mtas](https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=CXAF44MCECr4121001R1Mtas)
[23.02.2020; 17:56]

cordex output AFR-44 MPI-CSC ICHEC-EC-EARTH rcp85 r12i1p1 REMO2009 v1
mon v20160412 tas
[https://cera-
www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=CXAF44MCECr8121001R1Mtas](https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=CXAF44MCECr8121001R1Mtas)
[23.02.2020; 17:57]

cordex output AFR-44 CLMcom MPI-M-MPI-ESM-LR historical r1i1p1 CCLM4-8-17
v1 mon v20140401 tas
[https://cera-
www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=CXAF44CLELhi011001CLM1tas](https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=CXAF44CLELhi011001CLM1tas)
[23.02.2020; 17:58]

cordex output AFR-44 CLMcom MPI-M-MPI-ESM-LR rcp45 r1i1p1 CCLM4-8-17 v1
mon v20140401 tas
[https://cera-
www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=CXAF44CLELr4011001CLM1tas](https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=CXAF44CLELr4011001CLM1tas)
[23.02.2020; 17:59]

cordex output AFR-44 CLMcom MPI-M-MPI-ESM-LR rcp85 r1i1p1 CCLM4-8-17 v1
mon v20140401 tas
[https://cera-
www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=CXAF44CLELr8011001CLM1tas](https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=CXAF44CLELr8011001CLM1tas)
[23.02.2020; 17:59]

cordex output AFR-44 MPI-CSC MPI-M-MPI-ESM-LR historical r1i1p1 REMO2009
v1 day v20160412 tasmax
[https://cera-
www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=CXAF44MCELhi011001R1Dtas
max](https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=CXAF44MCELhi011001R1Dtasmax) [23.02.2020; 18:12]

cordex output AFR-44 MPI-CSC MPI-M-MPI-ESM-LR rcp26 r1i1p1 REMO2009 v1
day v20160412 tasmax
[https://cera-
www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=CXAF44MCELr2011001R1Dtas
max](https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=CXAF44MCELr2011001R1Dtasmax) [23.02.2020; 18:12]

cordex output AFR-44 MPI-CSC MPI-M-MPI-ESM-LR rcp45 r1i1p1 REMO2009 v1
day v20160412 tasmax
[https://cera-
www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=CXAF44MCELr4011001R1Dtas
max](https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=CXAF44MCELr4011001R1Dtasmax) [23.02.2020; 18:12]

cordex output AFR-44 MPI-CSC MPI-M-MPI-ESM-LR rcp85 r1i1p1 REMO2009 v1
day v20160412 tasmax
[https://cera-
www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=CXAF44MCELr8011001R1Dtas
max](https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=CXAF44MCELr8011001R1Dtasmax) [23.02.2020; 18:13]

cordex output AFR-44 MPI-CSC ICHEC-EC-EARTH historical r12i1p1 REMO2009
v1 day v20160412 tasmax
[https://cera-
www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=CXAF44MCEChi121001R1Dtas
max](https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=CXAF44MCEChi121001R1Dtasmax) [23.02.2020; 18:17]

cordex output AFR-44 MPI-CSC ICHEC-EC-EARTH rcp26 r12i1p1 REMO2009 v1
day v20160412 tasmax
[https://cera-
www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=CXAF44MCECr2121001R1Dtas
max](https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=CXAF44MCECr2121001R1Dtasmax) [23.02.2020; 18:17]

cordex output AFR-44 MPI-CSC ICHEC-EC-EARTH rcp45 r12i1p1 REMO2009 v1
day v20160412 tasmax
[https://cera-
www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=CXAF44MCECr4121001R1Dtas
max](https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=CXAF44MCECr4121001R1Dtasmax) [23.02.2020; 18:18]

cordex output AFR-44 MPI-CSC ICHEC-EC-EARTH rcp85 r12i1p1 REMO2009 v1
day v20160412 tasmax
[https://cera-
www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=CXAF44MCECr8121001R1Dtas
max](https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=CXAF44MCECr8121001R1Dtasmax) [23.02.2020; 18:18]

cordex output AFR-44 CLMcom MPI-M-MPI-ESM-LR historical r1i1p1 CCLM4-8-17
v1 day v20140401 tasmax
[https://cera-
www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=CXAF44CLELhi011001CLD1tas
max](https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=CXAF44CLELhi011001CLD1tasmax) [23.02.2020; 18:15]

cordex output AFR-44 CLMcom MPI-M-MPI-ESM-LR rcp45 r1i1p1 CCLM4-8-17 v1
day v20140401 tasmax
[https://cera-
www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=CXAF44CLELr4011001CLD1tas
max](https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=CXAF44CLELr4011001CLD1tasmax) [23.02.2020; 18:16]

cordex output AFR-44 CLMcom MPI-M-MPI-ESM-LR rcp85 r1i1p1 CCLM4-8-17 v1
day v20140401 tasmax
[https://cera-
www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=CXAF44CLELr8011001CLD1tas
max](https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=CXAF44CLELr8011001CLD1tasmax) [23.02.2020; 18:16]

cordex output AFR-44 MPI-CSC MPI-M-MPI-ESM-LR historical r1i1p1 REMO2009
v1 mon v20160412 pr
[https://cera-
www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=CXAF44MCELhi011001R1Mpr](https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=CXAF44MCELhi011001R1Mpr)
[24.02.2020; 14:03]

cordex output AFR-44 MPI-CSC MPI-M-MPI-ESM-LR rcp26 r1i1p1 REMO2009 v1
mon v20160412 pr
[https://cera-
www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=CXAF44MCELr2011001R1Mpr](https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=CXAF44MCELr2011001R1Mpr)
[24.02.2020; 14:04]

cordex output AFR-44 MPI-CSC MPI-M-MPI-ESM-LR rcp45 r1i1p1 REMO2009 v1
mon v20160412 pr
[https://cera-
www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=CXAF44MCELR4011001R1Mpr](https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=CXAF44MCELR4011001R1Mpr)
[24.02.2020; 14:04]

cordex output AFR-44 MPI-CSC MPI-M-MPI-ESM-LR rcp85 r1i1p1 REMO2009 v1
mon v20160412 pr
[https://cera-
www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=CXAF44MCELR8011001R1Mpr](https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=CXAF44MCELR8011001R1Mpr)
[24.02.2020; 14:05]

cordex output AFR-44 MPI-CSC ICHEC-EC-EARTH historical r12i1p1 REMO2009
v1 mon v20160412 pr
[https://cera-
www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=CXAF44MCEChi121001R1Mpr](https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=CXAF44MCEChi121001R1Mpr)
[24.02.2020; 14:06]

cordex output AFR-44 MPI-CSC ICHEC-EC-EARTH rcp26 r12i1p1 REMO2009 v1
mon v20160412 pr
[https://cera-
www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=CXAF44MCECr2121001R1Mpr](https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=CXAF44MCECr2121001R1Mpr)
[24.02.2020; 14:07]

cordex output AFR-44 MPI-CSC ICHEC-EC-EARTH rcp45 r12i1p1 REMO2009 v1
mon v20160412 pr
[https://cera-
www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=CXAF44MCECr4121001R1Mpr](https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=CXAF44MCECr4121001R1Mpr)
[24.02.2020; 14:07]

cordex output AFR-44 MPI-CSC ICHEC-EC-EARTH rcp85 r12i1p1 REMO2009 v1
mon v20160412 pr
[https://cera-
www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=CXAF44MCECr8121001R1Mpr](https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=CXAF44MCECr8121001R1Mpr)
[24.02.2020; 14:08]

cordex output AFR-44 CLMcom MPI-M-MPI-ESM-LR historical r1i1p1 CCLM4-8-17
v1 mon v20140401 pr
[https://cera-
www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=CXAF44CLELhi011001CLM1pr](https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=CXAF44CLELhi011001CLM1pr)
[24.02.2020; 14:08]

cordex output AFR-44 CLMcom MPI-M-MPI-ESM-LR rcp45 r1i1p1 CCLM4-8-17 v1
mon v20140401 pr
[https://cera-
www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=CXAF44CLELR4011001CLM1pr](https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=CXAF44CLELR4011001CLM1pr)
[24.02.2020; 14:09]

cordex output AFR-44 CLMcom MPI-M-MPI-ESM-LR rcp85 r1i1p1 CCLM4-8-17 v1
mon v20140401 pr
[https://cera-
www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=CXAF44CLELR8011001CLM1pr](https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=CXAF44CLELR8011001CLM1pr)
[24.02.2020; 14:09]

cordex output AFR-44 MPI-CSC MPI-M-MPI-ESM-LR historical r1i1p1 REMO2009
v1 day v20160412 pr
[https://cera-
www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=CXAF44MCELhi011001R1Dpr](https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=CXAF44MCELhi011001R1Dpr)
[24.02.2020; 14:14]

cordex output AFR-44 MPI-CSC MPI-M-MPI-ESM-LR rcp26 r1i1p1 REMO2009 v1
day v20160412 pr
[https://cera-
www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=CXAF44MCElr2011001R1Dpr](https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=CXAF44MCElr2011001R1Dpr)
[24.02.2020; 14:15]

cordex output AFR-44 MPI-CSC MPI-M-MPI-ESM-LR rcp45 r1i1p1 REMO2009 v1
day v20160412 pr
[https://cera-
www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=CXAF44MCElr4011001R1Dpr](https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=CXAF44MCElr4011001R1Dpr)
[24.02.2020; 14:15]

cordex output AFR-44 MPI-CSC MPI-M-MPI-ESM-LR rcp85 r1i1p1 REMO2009 v1
day v20160412 pr
[https://cera-
www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=CXAF44MCElr8011001R1Dpr](https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=CXAF44MCElr8011001R1Dpr)
[24.02.2020; 14:16]

cordex output AFR-44 MPI-CSC ICHEC-EC-EARTH historical r12i1p1 REMO2009
v1 day v20160412 pr
[https://cera-
www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=CXAF44MCEChi121001R1Dpr](https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=CXAF44MCEChi121001R1Dpr)
[24.02.2020; 14:17]

cordex output AFR-44 MPI-CSC ICHEC-EC-EARTH rcp26 r12i1p1 REMO2009 v1
day v20160412 pr
[https://cera-
www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=CXAF44MCECr2121001R1Dpr](https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=CXAF44MCECr2121001R1Dpr)
[24.02.2020; 14:17]

cordex output AFR-44 MPI-CSC ICHEC-EC-EARTH rcp45 r12i1p1 REMO2009 v1
day v20160412 pr
[https://cera-
www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=CXAF44MCECr4121001R1Dpr](https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=CXAF44MCECr4121001R1Dpr)
[24.02.2020; 14:18]

cordex output AFR-44 MPI-CSC ICHEC-EC-EARTH rcp85 r12i1p1 REMO2009 v1
day v20160412 pr
[https://cera-
www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=CXAF44MCECr8121001R1Dpr](https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=CXAF44MCECr8121001R1Dpr)
[24.02.2020; 14:18]

cordex output AFR-44 CLMcom MPI-M-MPI-ESM-LR historical r1i1p1 CCLM4-8-17
v1 day v20140401 pr
[https://cera-
www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=CXAF44CLELhi011001CLD1pr](https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=CXAF44CLELhi011001CLD1pr)
[24.02.2020; 14:22]

cordex output AFR-44 CLMcom MPI-M-MPI-ESM-LR rcp45 r1i1p1 CCLM4-8-17 v1
day v20140401 pr
[https://cera-
www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=CXAF44CLELr4011001CLD1pr](https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=CXAF44CLELr4011001CLD1pr)
[24.02.2020; 14:23]

cordex output AFR-44 CLMcom MPI-M-MPI-ESM-LR rcp85 r1i1p1 CCLM4-8-17 v1
day v20140401 pr
[https://cera-
www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=CXAF44CLELr8011001CLD1pr](https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=CXAF44CLELr8011001CLD1pr)
[24.02.2020; 14:24]

cordex output AFR-44 MPI-CSC ICHEC-EC-EARTH historical r12i1p1 REMO2009
v1 mon v20160412 evspsbl
[https://cera-
www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=CXAF44MCEChi121001R1Mev
sbl](https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=CXAF44MCEChi121001R1Mevsbl) [24.02.2020; 14:32]

cordex output AFR-44 MPI-CSC ICHEC-EC-EARTH rcp26 r12i1p1 REMO2009 v1
mon v20160412 evspsbl
[https://cera-
www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=CXAF44MCECr2121001R1Mev
sbl](https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=CXAF44MCECr2121001R1Mevsbl) [24.02.2020; 14:33]

cordex output AFR-44 MPI-CSC ICHEC-EC-EARTH rcp45 r12i1p1 REMO2009 v1
mon v20160412 evspsbl
[https://cera-
www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=CXAF44MCECr4121001R1Mev
sbl](https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=CXAF44MCECr4121001R1Mevsbl) [24.02.2020; 14:33]

cordex output AFR-44 MPI-CSC ICHEC-EC-EARTH rcp85 r12i1p1 REMO2009 v1
mon v20160412 evspsbl
[https://cera-
www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=CXAF44MCECr8121001R1Mev
sbl](https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=CXAF44MCECr8121001R1Mevsbl) [24.02.2020; 14:34]

cordex output AFR-44 CLMcom MPI-M-MPI-ESM-LR historical r1i1p1 CCLM4-8-17
v1 mon v20150114 evspsbl
[https://cera-
www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=CXAF44CLELhi011001CLM1ev
sbl](https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=CXAF44CLELhi011001CLM1evsbl) [24.02.2020; 14:34]

cordex output AFR-44 CLMcom MPI-M-MPI-ESM-LR rcp45 r1i1p1 CCLM4-8-17 v1
mon v20150114 evspsbl
[https://cera-
www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=CXAF44CLELr4011001CLM1ev
sbl](https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=CXAF44CLELr4011001CLM1evsbl) [24.02.2020; 14:35]

cordex output AFR-44 CLMcom MPI-M-MPI-ESM-LR rcp85 r1i1p1 CCLM4-8-17 v1
mon v20150114 evspsbl
[https://cera-
www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=CXAF44CLELr8011001CLM1ev
sbl](https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/entry?acronym=CXAF44CLELr8011001CLM1evsbl) [24.02.2020; 14:35]

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich an Eides statt, dass ich die vorliegende Abschlussarbeit "Klimawandelanalyse als Grundlage für eine Klimawandelanpassungsstrategie in der Landwirtschaft in Agou, Togo" selbstständig und ohne fremde Hilfe angefertigt habe. Ich habe dabei nur die in der Arbeit angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt. Die Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfung vorgelegt und auch noch nicht veröffentlicht.

.....
(Ort, Datum)

.....
(Unterschrift)

Erklärung zu Eigentumsübertragung und Verwertungsrechte

Hiermit erkläre ich mein Einverständnis, dass die Technische Hochschule Bingen die vorliegende Abschlussarbeit den Studierenden und interessierten Dritten zur Einsichtnahme zur Verfügung stellt und unter Nennung meines Namens (Urheber) veröffentlichen darf.

.....
(Ort, Datum)

.....
(Unterschrift)