

Institut für Meteorologie
Report - Forschungsprojekt B

**Übereinstimmung von historischen
CMIP6-Simulationen mit sechs
verschiedenen Observationsdatensätzen
hinsichtlich Intensität und Tag des
jährlichen maximalen Tagesniederschlags**

Von: Lena Schmidt

Dozent: Dr. Patrick Pieper & Prof. Dr. Stephan Pfahl

Datum: 3. April 2023

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Motivation	1
2	Methoden	2
2.1	Verwendete Datensätze	2
2.2	Vorgehen und Auswertungsmethode	2
3	Resultate	4
4	Diskussion	10
5	Zusammenfassung	11
A	Intensität des Rx1day	14
B	Tag des Rx1day	14

1 Einleitung und Motivation

Eine der prognostizierten Folgen der ansteigenden globalen Temperaturen ist die Häufung von starken Niederschlagsereignissen über den regionalen Abschnitten in den mittleren Breitengraden. Die Folgen solcher extremen Ereignisse haben Teils schwerwiegende Folgen für die betroffenen Bevölkerungsgruppen und Ökosysteme [1]. Genaue Projektionen bezüglich des Auftretens solcher Events, sind daher von großer Wichtigkeit um die sozial-ökologischen Folgen abzulindern bzw. entsprechende Anpassungsmaßnahmen ergreifen zu können.

Um solche klimatisch-bedingten Projektionen zu erstellen, wird in den entsprechenden wissenschaftlichen Disziplinen auf Simulationen gekoppelter Klimamodelle zurückgegriffen. Eines der Werkzeuge zur Auswertung, Handhabung und Validierung solcher Klimamodelle und Prognosen ist die sechste Phase des gekoppelten Modellvergleichsprojekts (*Engl: Phase 6 of the Coupled Model Intercomparison Project; CMIP6*). Das CMIP6 Projekt wurde u.A. vom Max-Planck-Institut für Meteorologie entwickelt und besteht aus zwei Grundsäulen: Experimenten zur Evaluierung von Klimamodellierungen sowie historischen bzw. datenbasierten Vergleichsexperimenten [2]. Die Entwicklung des CMIP6 Projekts dient hauptsächlich der möglichst genauen Abschätzung von Erdsystemreaktionen auf klimatische Veränderungen, der besseren Beurteilung von modellbedingten Unsicherheiten und der allgemeinen Verbesserung von Prognosen klimatischer Veränderungen [2, 3]. Es handelt sich beim CMIP6 um die sechste Version des übergeordneten Modellvergleichsprojekts CMIP.

Die Modellauswertungen mittels des CMIP6 schwanken jedoch in ihrer Genauigkeit, je nachdem welcher Parameter analysiert wird. Die Bestimmung und Projektion der Entwicklung von Niederschlagsgrößen unterliegen zum Beispiel erheblichen Unsicherheiten bei CMIP6 Modellexperimenten. Diese Unsicherheiten manifestieren sich sowohl durch verhältnismäßig große Unterschiede zwischen Projektionen verschiedener Modelle als auch zwischen den Evaluationen mit verschiedenen Observationsdatensätzen [4]. Im Rahmen dieses Projekts werden diese Unsicherheiten anhand einer Analyse der Unterschiede zwischen CMIP6-Simulationen und verschiedenen Observationsdatensätzen weiter untersucht. Hierfür werden 48 historische Simulationen des CMIP6 und 6 Observationsdatensätze hinsichtlich der Projektion der Intensität des maximalen Tagesniederschlags (Rx1day) pro Jahr, ebenso wie des Tages des Rx1day miteinander verglichen. Der Vergleich der prognostizierten Intensität und des Tages des Rx1day zwischen historischen CMIP6-Modellen und der Observationsdatensätzen erfolgt durch die Anwendung und Auswertung verschiedener Standardabweichungsgrößen (siehe Kapitel 2). Darausfolgernd soll eine Aussage darüber getroffen werden, inwieweit die historischen Simulationsergebnisse mit den jeweiligen Observationsdatensätzen hinsichtlich der untersuchten Niederschlagsgrößenprojektionen übereinstimmen.

Der Bericht strukturiert sich wie folgt. In Kapitel 2 wird eine kurze Übersicht der verwendeten Datensätze und der Auswertungsmethoden gegeben. Die Resultate welche die CMIP6-Modelle und die Observationsdatensätze in Bezug auf die prognostizierten Intensität und des Tages des Rx1day vergleichen, werden in Kapitel 3 dargestellt und erläutert. Eine Auswertung der Ergebnisse und eine entsprechende Zusammenfassung werden in Kapitel 4 und 5 geführt.

2 Methoden

2.1 Verwendete Datensätze

Im Rahmen des Experiments wurden 48 Modelle des CMIP6 untersucht. Die Modelle unterscheiden sich in ihren Breiten- und Längengraddimensionen und den jeweiligen Ensemble Membern. Alle 48 Modelle wurden über den gleichen Zeitraum (1950 bis 2015) und über alle Ensemble Member ausgewertet. Die maximale Niederschlagsmenge Rx1day ist bei allen Modellen in mm/Jahr angegeben. Der Tag des Rx1day ist trivialerweise durch die Einheit Tag gekennzeichnet. Die historischen Simulationen sind freilaufend und entwickeln sich anhand von vorgegebenen Randbedingungen wie zB. der CO_2 Konzentration.

Bei den zu vergleichenden sechs Observationsdatensätze handelt es sich um CHIRPS, ERA5, GPCC, GPCP, PERSIANN und REGEN. Die Datensätze unterscheiden sich u.A. hinsichtlich ihrer Datengrundlage, ihrer Komplexität und auf der zugrundeliegenden Interpolierung (räumlich oder räumlich und zeitlich). So speisen sich zB. die Datensätze CHIRPS, GPCP oder PERSIANN aus Satellitendaten. Hingegen sind REGEN und GPCC Datensätze welche nur aus *in situ* Data, also aus rein stationär ermittelten Daten, inter- und extrapoliert wurden [5]. Beim ERA5 Datensatz handelt es sich wiederum um einen Re-analyse Datensatz, welches oft zur Initialisierung von Modellen verwendet wird [6].

2.2 Vorgehen und Auswertungsmethode

Die CMIP6-Modelle und die Observationsdatensätze werden anhand ihrer Mittelwerte (μ) und Standardabweichungen (σ) miteinander verglichen. Die Standardabweichung gibt Auskunft über das Streuungsmaß der Werte eines Datensatzes um den Mittelwert.

Um eine Vergleichbarkeit zwischen den Datensätzen zu ermöglichen wurden die Datensätze der CMIP6-Modelle und der Observationen vor den jeweiligen Berechnungen auf ein einheitliches globales Gitter ($1^\circ \times 1^\circ$) interpoliert. Zunächst wurden jeweils die gemittelten Niederschlagsmengen des Rx1day in allen Gitterpunkten für die oben beschriebenen 48 Modelle und für die sechs Observationsdatensätze berechnet. Die Berechnungen bei den Modellen wurden über den Zeitraum von 65 Jahre (1950-2015) und über alle Ensemble Member erstellt. Für die Modelle mit mehreren Ensemble Membern wurde die Zeitreihe künstlich verlängert. In diesem Fall ist die Länge der neuen Zeitreihe das Produkt der Anzahl der Jahre mit der Anzahl der Ensemble Member. Im Fall der sechs Observationsdatensätze, wurden die Mittelwerte und die Standardabweichungen des Rx1day in allen Gitterpunkten ebenfalls für die Jahre 1950-2015 berechnet um die Vergleichbarkeit zwischen den Modellen und den Observationsdatensätzen zu gewährleisten. Gleiches wurde für den Tag des Rx1day gemacht. Die Berechnungen der Mittelwerte der Tage des Rx1day sind hierbei zyklischer Natur da die Berechnungsgrundlage Jahre sind¹. Anschließend wurde die Standardabweichung der Datensätze der beiden Niederschlagsgrößen für die Observationsdatensätze berechnet. Weiterhin wurden für alle 48 CMIP6-Modelle sowohl für die Intensität des Rx1day als auch für den Tag des Rx1day die

¹Zur zyklischen Anpassung der Datensätze wird innerhalb dieses Projekts auf die Funktion *circular* der Programmiersprache R zurückgegriffen

dimensionslose, durch die Standardabweichung normierte Differenz ($\Delta_{normiert_{Rx1day}}$ und $\Delta_{normiert_{TagRx1day}}$) zwischen den Mittelwerten der historischen Simulationen und jedem Observationsdatensatz wie folgt berechnet:

$$\Delta_{normiert_{Rx1day}} = \frac{\overline{Rx1day_{historisch}} - \overline{Rx1day_{observation}}}{\sigma_{Rx1day_{observation}}} \quad (1)$$

$$\Delta_{normiert_{TagRx1day}} = \frac{\overline{TagRx1day_{historisch}} - \overline{TagRx1day_{observation}}}{\sigma_{TagRx1day_{observation}}} \quad (2)$$

$\overline{Rx1day_{historisch}}$ und $\overline{TagRx1day_{historisch}}$ aus Gleichungen 1 und 2 stellen jeweils die gemittelten maximalen Niederschlagsmengen und den Tag des maximalen Niederschlags der CMIP6-Modelle dar. Analog stehen $\overline{Rx1day_{observation}}$ und $\overline{TagRx1day_{observation}}$ für die gemittelten Werte der Observationsdatensätze. Die $\sigma_{Rx1day_{observation}}$ und $\sigma_{TagRx1day_{observation}}$ stellen die jeweiligen Standardabweichungen in den Observationsdatensätzen bzgl. der beiden Niederschlagsgrößen dar. Als abschließende Berechnung wurde sowohl für die Intensität des Rx1day als auch für den Tag des Rx1day über die resultierenden 48 $\Delta_{normiert_{Rx1day}}$ und $\Delta_{normiert_{TagRx1day}}$ Datensätze gemittelt und die entsprechende Standardabweichung berechnet.

Aus Formeln 1 und 2 geht hervor, dass bei positiven gemittelten Werten der $\Delta_{normiert_{Rx1day}}$ und $\Delta_{normiert_{TagRx1day}}$ eine höhere Niederschlagsmenge des Rx1day und spätere Tage im Jahr des Rx1day in den historischen Simulationen im Vergleich zu den Observationsdatensätzen geschätzt wurden. Gegenläufig hierzu signalisieren negative Werte der $\Delta_{normiert_{Rx1day}}$ und $\Delta_{normiert_{TagRx1day}}$ eine höhere Abschätzung der Intensität des Rx1day und spätere Tage im Jahr des Rx1day in den Observationsdatensätzen im Vergleich zu den historischen Modellen. Die Standardabweichung der $\Delta_{normiert}$ sagt hingegen aus wie breit die normierten Differenzen der Mittelwerte gestreut sind. Eine geringe Standardabweichung in $\Delta_{normiert}$ weist über alle Modelle hinweg auf ähnliche Werte von $\Delta_{normiert}$ hin. Anders gesagt, ist somit der Mittelwert von $\Delta_{normiert}$ repräsentativer wenn die Standardabweichung von $\Delta_{normiert}$ gering ist, da eine geringere Wertestreuung vorliegt. Die entsprechenden Resultate werden in folgenden Kapitel 3 dargestellt.

3 Resultate

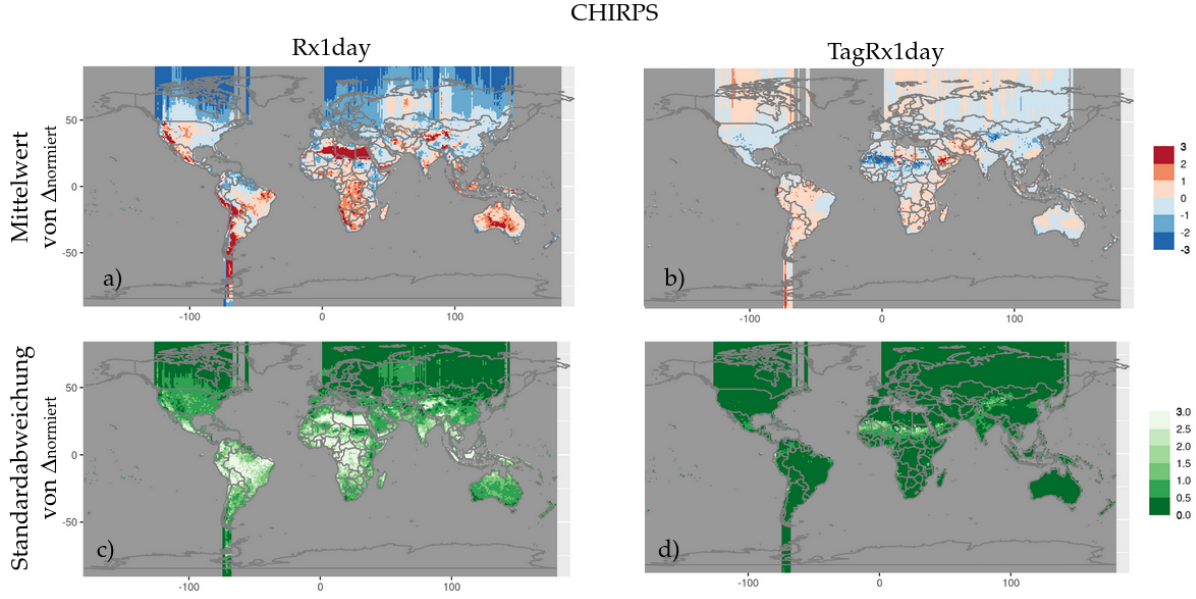


Abbildung 3.1: Darstellung der a) resultierenden Mittelwerte von $\Delta_{normiertRx1day}$, b) resultierenden Mittelwerte von $\Delta_{normiertTagRx1day}$, c) resultierenden Standardabweichungen von $\Delta_{normiertRx1day}$ und d) resultierenden Standardabweichungen von $\Delta_{normiertTagRx1day}$ aus dem Vergleich aller 48 CMIP6-Modelle und dem CHIRPS Observationsdatensatz

Aus Abbildung 3.1 geht hervor, dass die CMIP6-Modelle die Intensität von Rx1day (im Mittel) im Vergleich zu CHIRPS stärker über den Norden Afrikas, Chile, Südaustraliens und den westlichen Abschnitten Zentral- und Nordamerikas überschätzen. Dies lässt sich aus großen gemittelten Werte der $\Delta_{normiertRx1day}$ ableiten. Diesbezüglich, werden Werte im Bereich zwischen 2 und 3 verzeichnet. In den genannten Regionen werden ebenfalls die größten Standardabweichungen von $\Delta_{normiertRx1day}$ gemessen, was auf erhebliche Unterschiede in den $\Delta_{normiertRx1day}$ hinweist. CHIRPS eignet sich demnach deutlich besser als Referenz in einigen Regionen als in Anderen. Die niedrigsten Werte der gemittelten $\Delta_{normiertRx1day}$ werden in den mittleren Breitengraden und nördlich hiervon verzeichnet. Die Werte erstrecken sich hierbei im Vergleich zum Rest der Karte auch über den Ozean. Die Werte sind mit einem Wert von -3 hier am niedrigsten. In dieser Region wird ebenfalls die geringste Wertestreuung zwischen den Modellen verzeichnet, gemessen an einer Standardabweichung von $\Delta_{normiertRx1day}$ zwischen 0 und 0.5.

Bezüglich des Tages des Rx1day werden die größten positiven gemittelten Werte der $\Delta_{normiertTagRx1day}$ über Saudi Arabien im Nahen Osten verzeichnet. Dabei nimmt die $\Delta_{normiertTagRx1day}$ einen Werte bis zu 3 an. Die geringsten Werte von -3 wurden über der Sahelzone berechnet. Dies bedeutet, dass der Tag des Rx1day in den historischen Simulationen derart spät bzw. früh stattfindet, dass der Zeitpunkt bis zu 3 Standardabweichungen weit vom gemittelten Tag in CHIRPS entfernt ist. In der erstgenannten Region über Saudi Arabien im Nahen Osten werden auch die größten Werte der Standardabweichung der $\Delta_{normiertTagRx1day}$ gemessen, was auf eine erhöhte Wertestreuung über alle Modelle zurückzuführen ist.

Aus Abbildung 3.2 geht hervor dass, über der westlichen Hemisphäre, speziell über dem

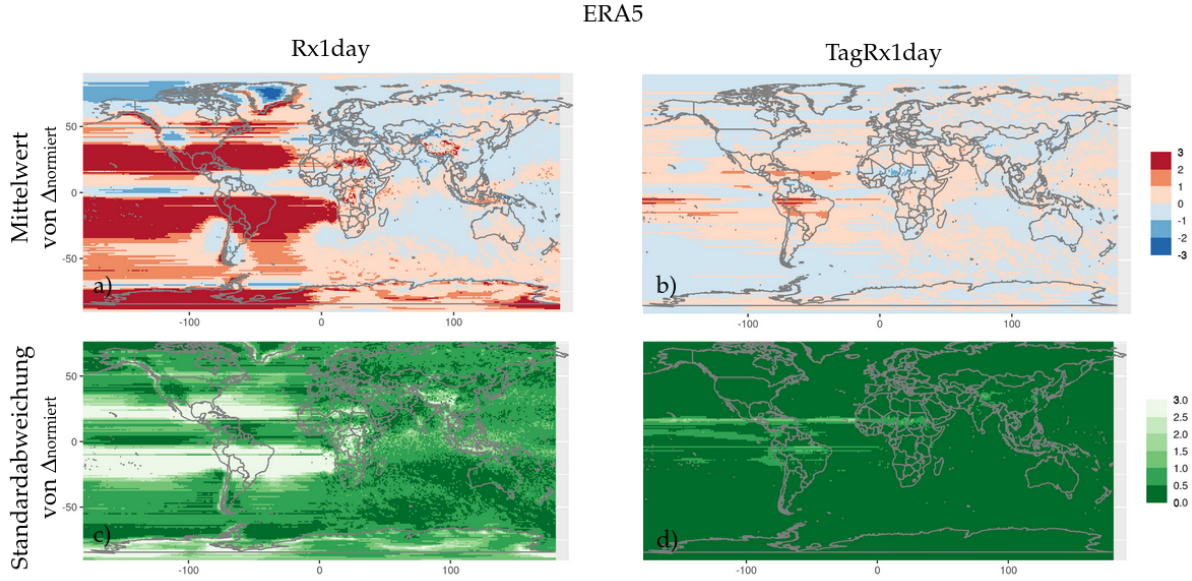


Abbildung 3.2: Darstellung der a) resultierenden Mittelwerte von $\Delta_{normiert_{Rx1day}}$, b) resultierenden Mittelwerte von $\Delta_{normiert_{TagRx1day}}$, c) resultierenden Standardabweichungen von $\Delta_{normiert_{Rx1day}}$ und d) resultierenden Standardabweichungen von $\Delta_{normiert_{TagRx1day}}$ aus dem Vergleich aller 48 CMIP6-Modelle und dem ERA5 Observationsdatensatz

Ozean auf der Höhe der Antarktis, Brasiliens und Nordamerikas, die CMIP6-Modelle die Intensität des Rx1day deutlich im Vergleich zu ERA5 überschätzen. Diesbezüglich, werden Werte der gemittelten $\Delta_{normiert_{Rx1day}}$ im Bereich zwischen 2 und 3 gemessen. In den genannten Regionen werden ebenfalls die größten Werte der Standardabweichung der $\Delta_{normiert_{Rx1day}}$ verzeichnet. Hierbei werden Werte von 3 Standardabweichungen berechnet, welches auf eine hohe Diskrepanz zwischen den Ausgaben der gemittelten $\Delta_{normiert_{Rx1day}}$ hinweist. Diese Unterschiede lassen sich darauf zurückführen, dass es sich bei ERA5 um ein Re-analyse Datensatz handelt, dessen Hauptaugenmerk auf der korrekten Darstellung Europas liegt. In den restlichen Regionen kann es daher zu größeren Ungenauigkeiten in Größenabschätzungen kommen. Nichtsdestotrotz ist der zu erkennende Werteunterschied beim Längengrad von 180° in Abbildungen 3.2a) und 3.2c) ungewöhnlich groß. Die Differenz zwischen westlicher und östlicher Hemisphäre beträgt im Mittel 3 Standardabweichungen. Dies lässt sich höchstwahrscheinlich auf technische Details im ERA5 Quellcode zurückführen, da der Wertebruch im GPCP (siehe Abbildung 3.4) nicht vorkommt. Dies schließt ein Berechnungsproblem in den historischen Simulationen aus. Die niedrigsten Werte der gemittelten $\Delta_{normiert_{Rx1day}}$ werden über Grönland mit einem Wert von -3 gemessen. Hier unterschätzen die CMIP6-Modelle die Intensität des Rx1day im Vergleich zu ERA5. In dieser Region wird ebenfalls eine geringe Diskrepanz zwischen den gemittelten $\Delta_{normiert_{Rx1day}}$ verzeichnet. Gemessen an einer Standardabweichung von $\Delta_{normiert_{Rx1day}}$ zwischen 0 und 0.5.

Die größten gemittelten Werte der $\Delta_{normiert_{TagRx1day}}$ werden wie bei der Abschätzung des Tages des Rx1day auf der Höhe Brasiliens, sowohl auf dem Land als auch über dem Ozean verzeichnet. Die Werte erreichen hierbei einen Wert bis zu 3 Standardabweichungen. CMIP6-Modelle berechnen hier einen späteren Tag des Rx1day als ERA5. Global betrachtet liegen bei der Berechnung der gemittelten $\Delta_{normiert_{TagRx1day}}$ die meisten Werte

zwischen -1 und 1. Ebenfalls gering sind global gesehen die berechneten Werte der Standardabweichung der $\Delta_{normiert_{TagRx1day}}$. Der Großteil der Werte liegt hierbei zwischen 0 und 0.5. Die beiden letzten Tatsachen lassen auf eine allgemein hohe Übereinstimmung zwischen historischen Simulationen und ERA5 bezüglich der Bestimmung des Tages des Rx1day schließen.

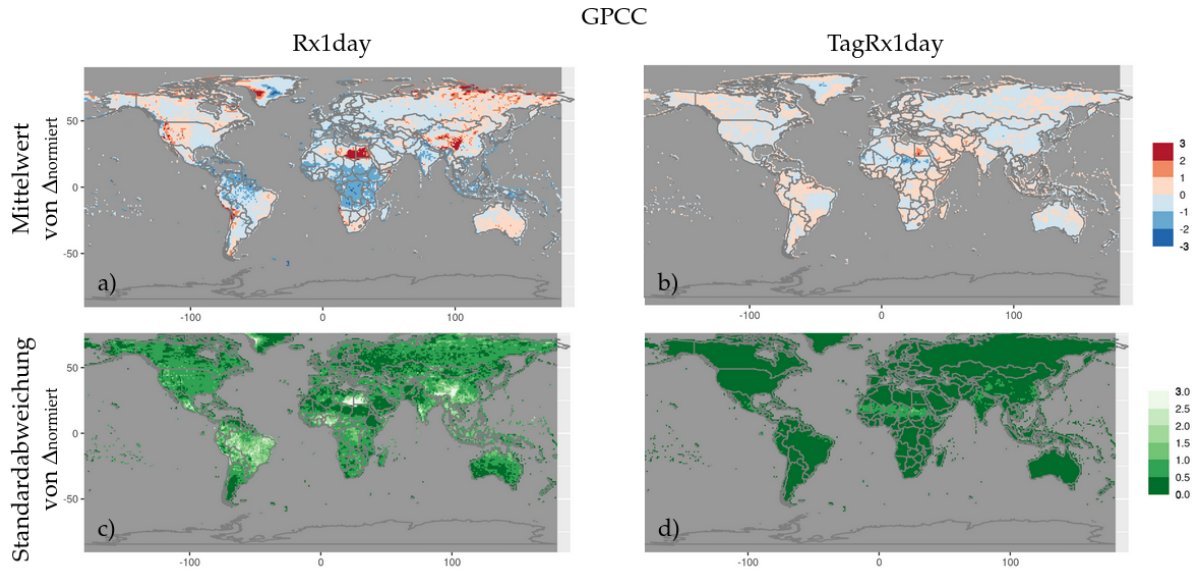


Abbildung 3.3: Darstellung der a) resultierenden Mittelwerte von $\Delta_{normiert_{Rx1day}}$, b) resultierenden Mittelwerte von $\Delta_{normiert_{TagRx1day}}$, c) resultierenden Standardabweichungen von $\Delta_{normiert_{Rx1day}}$ und d) resultierenden Standardabweichungen von $\Delta_{normiert_{TagRx1day}}$ aus dem Vergleich aller 48 CMIP6-Modelle und dem GPCC Observationsdatensatz

Aus Abbildung 3.3 werden die größten gemittelten Werte der $\Delta_{normiert_{Rx1day}}$ im Nordosten Afrikas und über Zentralchina verzeichnet. Diesbezüglich, werden Werte im Bereich zwischen 2 und 3 berechnet. In den genannten Regionen nimmt die Standardabweichung der $\Delta_{normiert_{Rx1day}}$ ebenfalls die größten Werte an - circa 3. Dies deutet auf eine Überschätzung der CMIP6-Modelle bzgl. der Intensität des Rx1day im Vergleich zu GPCC in diesen Regionen hin. Die niedrigsten Werte der gemittelten $\Delta_{normiert_{Rx1day}}$ (Unterschätzung der CMIP6-Modelle im Vergleich zu GPCC) werden für über Zentralafrika und den Norden Südamerikas berechnet. Dabei nimmt diese einen Werte von bis zu -3 an. In diesen Regionen wird ebenfalls eine erhöhte Wertestreuung verzeichnet, ersichtlich an einer Standardabweichung der $\Delta_{normiert_{Rx1day}} \geq 1.0$. GPCC eignet sich somit weniger als Referenz bei Betrachtung der oben genannten Regionen hinsichtlich der Abschätzung der Intensität des Rx1day.

Die CMIP6-Modelle sagen einen deutlich späteren Tag des Rx1day im Jahr über Ägypten voraus als GPCC. Über der Sahelzone hingegen wird ein deutlich früherer Tag des Rx1day als beim GPCC vorausgesagt. Beide Tatsachen lassen sich aus Werten bis zu 3 bzw. -3 der gemittelten $\Delta_{normiert_{TagRx1day}}$ ableiten. Global gesehen bewegen sich die meisten Werte der gemittelten normierten $\Delta_{normiert_{TagRx1day}}$ jedoch zwischen -1 und 1. Zudem nimmt die Standardabweichung der $\Delta_{normiert_{TagRx1day}}$ global größtenteils Werte zwischen 0 und 0.5 an. Dies deutet auf eine allgemein hohe Übereinstimmung zwischen historischen Simulationen und GPCC bzgl. der Abschätzung des Zeitpunktes des Tages des Rx1day hin.

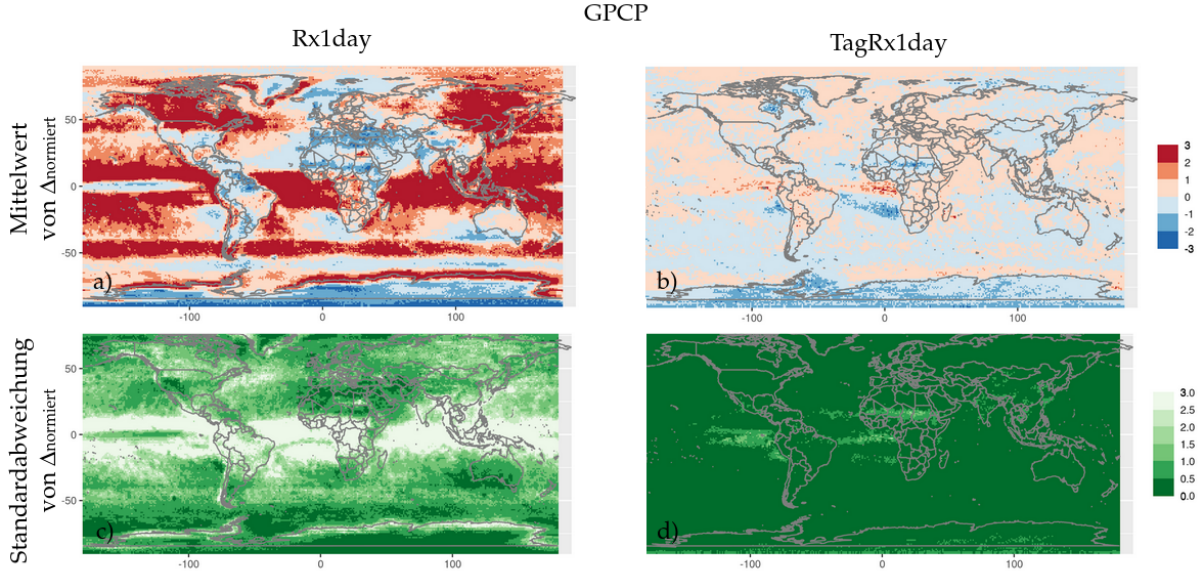


Abbildung 3.4: Darstellung der a) resultierenden Mittelwerte von $\Delta_{normiertRx1day}$, b) resultierenden Mittelwerte von $\Delta_{normiertTagRx1day}$, c) resultierenden Standardabweichungen von $\Delta_{normiertRx1day}$ und d) resultierenden Standardabweichungen von $\Delta_{normiertTagRx1day}$ aus dem Vergleich der Ausgaben aller 48 historischen Simulationen des CMIP6 mit den Werten des GPCP Observationsdatensatzes

Eine Überschätzung der Intensität des Rx1day der CMIP6-Modelle im Vergleich zu GPCP wird über den Tropen und um 50° südlicher Breite in Abbildung 3.4 verzeichnet. Speziell über der Nordhemisphäre, über Kanada, Sibiren, des Fernen Ostens, der Mongolei und nördlich von China. Diesbezüglich werden Werte der gemittelten $\Delta_{normiertRx1day}$ im Bereich zwischen 2 und 3 berechnet. In diesen Regionen werden ebenfalls die größten Werte der Standardabweichung der $\Delta_{normiertRx1day}$ verzeichnet. Dabei nimmt die Standardabweichung Werte von bis zu -3 an. Die niedrigsten Werte der gemittelten $\Delta_{normiertRx1day}$ sind über der Sahelzone, der Antarktis und dem Mittelmeerraum verzeichnet. Hierbei handelt es sich um Werte bis zu -3. Dies deutet auf eine Unterschätzung der CMIP6 Modelle bzgl. der Intensität des Rx1day im Vergleich zu GPCP in diesen Regionen hin. Nichtsdestotrotz, wird in diesen Regionen eine allgemein geringe Wertestreuung zwischen CMIP6 und GPCP Abschätzungen verzeichnet. Dies wird an einer Standardabweichung der $\Delta_{normiertRx1day}$ zwischen 0 und 0.5 in den Regionen sichtbar.

Eine Überschätzung des Zeitpunktes des Tages des Rx1day der historischen Simulationen wird hauptsächlich auf Höhe des Niger Delta auf dem Ozean berechnet. Dabei nimmt die gemittelte $\Delta_{normiertTagRx1day}$ circa einen Wert von 3 an. Die niedrigsten Werte der gemittelten normierte $\Delta_{normiertTagRx1day}$ werden über die Antarktis verzeichnet. Über dieser Region wird eine hohe Konsistenz in den Differenzen zwischen historischen Simulationen und CMIP6-Modellen erkennbar. Dies zeichnet sich durch eine geringe Standardabweichung der $\Delta_{normiertTagRx1day}$ zwischen 0 und 0.5 in der Region ab. Generell, stimmen die historischen Simulationen mit GPCP global gesehen aber größtenteils überein. Außer über dem Ozean an der westlichen Küste Südamerikas, über der Sahelzone und dem Niger Delta liegen die Werte der Standardabweichung der $\Delta_{normiertTagRx1day}$ zwischen 0 und 0.5.

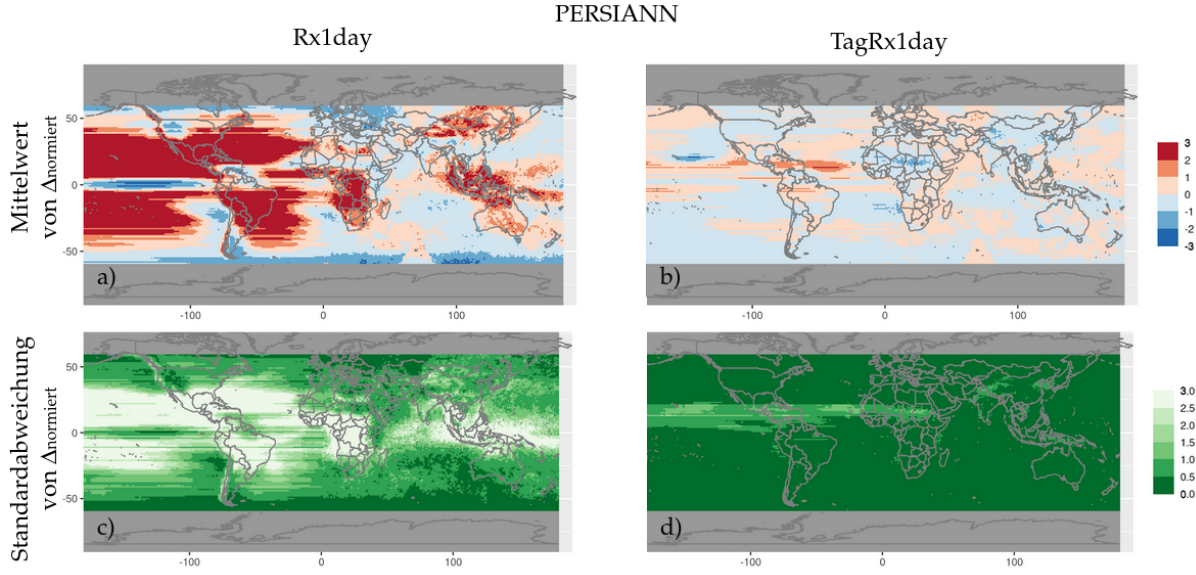


Abbildung 3.5: Darstellung der a) resultierenden Mittelwerte von $\Delta_{normiert_{Rx1day}}$, b) resultierenden Mittelwerte von $\Delta_{normiert_{TagRx1day}}$, c) resultierenden Standardabweichungen von $\Delta_{normiert_{Rx1day}}$ und d) resultierenden Standardabweichungen von $\Delta_{normiert_{TagRx1day}}$ aus dem Vergleich der Ausgaben aller 48 historischen Simulationen des CMIP6 mit den Werten des PERSIANN Observationsdatensatzes

CMIP6-Modelle überschätzen die Intensität Rx1day im Vergleich zu PERSIANN am stärksten in Abbildung 3.5 über dem Ozean auf der Höhe Brasiliens und Nordamerikas. Dies lässt sich aus erhöhten Werten der gemittelten $\Delta_{normiert_{Rx1day}}$ zwischen 2 und 3 ableiten. In den genannten Regionen werden ebenfalls die größten Werte der Standardabweichung der $\Delta_{normiert_{Rx1day}}$ verzeichnet - circa 3. Die niedrigsten Werte der gemittelten $\Delta_{normiert_{Rx1day}}$ über Europa und über dem Ozean auf Höhe des äquatorialen Pazifiks berechnet. Dabei wird ein Wert von bis zu -3 angenommen. In dieser Region werden ebenfalls eine geringe Wertestreuung in den gemittelten $\Delta_{normiert_{Rx1day}}$ verzeichnet. Dies wird aus einer Standardabweichung der $\Delta_{normiert_{Rx1day}}$ zwischen 0 und 0.5 abgeleitet.

Die größten gemittelten Werte der $\Delta_{normiert_{TagRx1day}}$ werden über dem Äquator der westlichen Hemisphäre verzeichnet. Hierbei wird ein Wert von bis zu 3 angenommen. Die CMIP6-Modelle schätzen in diesen Regionen einen späteren Zeitpunkt des Tages des Rx1day als PERSIANN. In den restlichen Regionen bewegen sich die Werte der gemittelten $\Delta_{normiert_{TagRx1day}}$ zwischen -1 und 1. Dies lässt auf eine allgemein hohe Übereinstimmung bzgl. der Abschätzung des Zeitpunktes des Tages des Rx1day zwischen CMIP6-Modellen und PERSIANN schließen. Zudem nimmt die Standardabweichung der $\Delta_{normiert_{TagRx1day}}$ global gesehen fast überall Werte zwischen 0 und 0.5 an. Nur über dem Äquator der westlichen Hemisphäre werden Werte ≥ 1 verzeichnet.

Die CMIP6-Modelle überschätzen die Intensität des Rx1day im Vergleich zu REGEN deutlich im nordöstlichen Teil Russlands und Afrikas aber auch im Norden Kanadas, im Westen Grönlands, im Norden Chiles und im Osten Chinas. Dies geht aus erhöhten Werten der gemittelten $\Delta_{normiert_{Rx1day}}$ in diesen Regionen hervor. Dabei werden Werte zwischen 2 und 3 angenommen. In den Regionen um Brasilien, Zentralafrika und im Osten Chinas werden außerdem die größten Unterschiede in der Abschätzung der Intensität

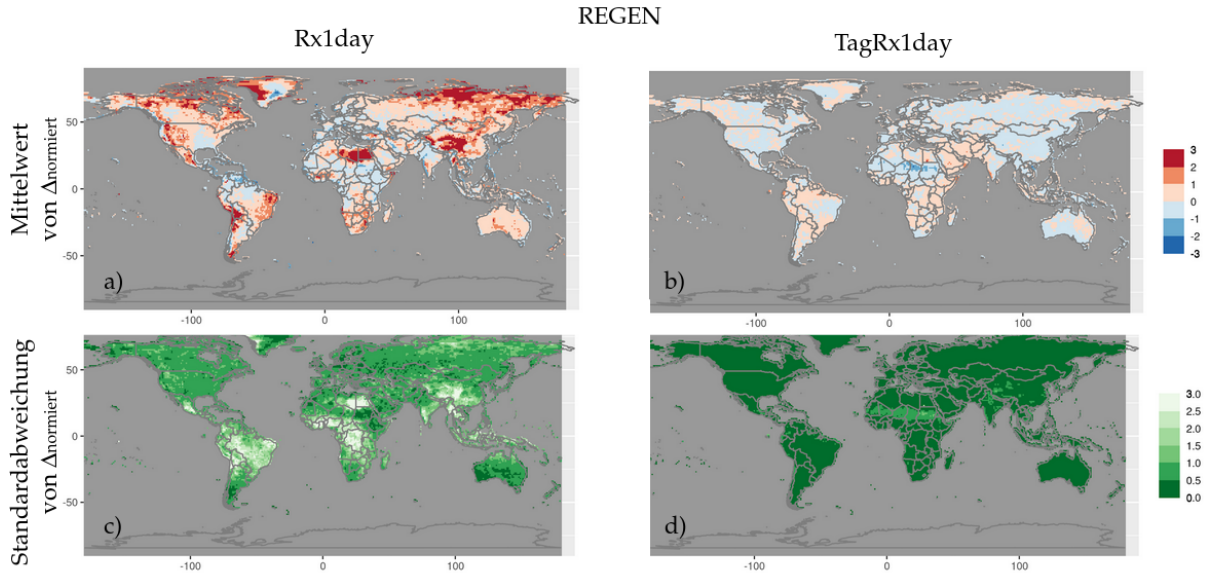


Abbildung 3.6: Darstellung der a) resultierenden Mittelwerte von $\Delta_{normiert_{Rx1day}}$, b) resultierenden Mittelwerte von $\Delta_{normiert_{TagRx1day}}$, c) resultierenden Standardabweichungen von $\Delta_{normiert_{Rx1day}}$ und d) resultierenden Standardabweichungen von $\Delta_{normiert_{TagRx1day}}$ aus dem Vergleich der Ausgaben aller 48 historischen Simulationen des CMIP6 mit den Werten des REGEN Observationsdatensatzes

des Rx1day zwischen CMIP6-Modellen und REGEN verzeichnet. Dies geht aus erhöhten Werten der Standardabweichung der $\Delta_{normiert_{Rx1day}}$ zwischen 2 und 3 hervor. Die niedrigsten Werte der gemittelten $\Delta_{normiert_{Rx1day}}$ werden über den Osten Grönlands berechnet. Es werden Werte bis zu -3 angenommen. Dies weist auf eine Überschätzung seitens REGEN bzgl. der Intensität des Rx1day im Vergleich zu den historischen Simulationen in dieser Region hin.

Die größten gemittelten Werte der $\Delta_{normiert_{TagRx1day}}$ erstrecken sich über den südöstlichen Teil Afrikas und in Bereichen des Nahen und Mittleren Ostens. Diese Werte liegen jedoch im Wertebereich zwischen 0 und 1. Sind also verglichen mit den obigen Datensätzen aus Abbildungen 3.1 - 3.5 sehr gering. Dies weist auf eine sehr hohe allgemeine Übereinstimmung zwischen REGEN und den historischen Simulationen des CMIP6 bzgl. der Abschätzung des Tages des Rx1day hin. Hinsichtlich der Standardabweichung der $\Delta_{normiert_{TagRx1day}}$ werden Werte ≥ 1.0 über der Sahelzone sichtbar, welches auf ein erhöhtes Streuungsmaß in den Differenzbeträgen zwischen den historischen Simulationen und dem REGEN Observationsdatensatzes bzgl. der Abschätzung des Zeitpunktes des Tages des Rx1day hinweist.

Allgemein, weisen die historischen Simulationen der CMIP6-Modelle geringere Abweichungen in $\Delta_{normiert_{TagRx1day}}$ als in $\Delta_{normiert_{Rx1day}}$ auf. Zudem sind allgemein geringeren Standardabweichungen der $\Delta_{normiert_{TagRx1day}}$ im Vergleich zu den Standardabweichungen der $\Delta_{normiert_{Rx1day}}$ verzeichnet. Daraus folgernd, stimmen die CMIP6-Modelle mit den Observationsdatensätzen besser in der Abschätzung des Tages des Rx1day überein als in der Intensität des Rx1day. Dies trifft auf sämtliche sechs Beobachtungsdatensätze zu (Abbildungen 3.1 - 3.6).

4 Diskussion

CMIP6-Modelle überschätzen die Intensität von Rx1day (im Mittel) stärker im Vergleich zu GPCP als zu anderen Beobachtungsdatensätze. Hierbei überschätzen die CMIP6-Modelle die Intensität des Rx1day am stärksten über dem Ozean. Dies wird durch erhöhte Werte der Standardabweichung der $\Delta_{normiert_{Rx1day}}$ über diesen Regionen untermauert. GPCP speist sich aus der Kombination von Daten aus Niederschlagsmessstationen, Satelliten und Sondierungsbeobachtungen und zählt damit zu den genauesten Datensätzen zur Abbildung von Niederschlagsgrößen (speziell über dem Ozean) [7]. Dies deutet auf eine höhere Genauigkeit von GPCP in Bezug auf die Abschätzung der Intensität des Rx1day im Vergleich zu den historischen Simulationen hin.

Die Übereinstimmung hinsichtlich der Intensität von Rx1day ist am stärksten zwischen CMIP6-Modellen und GPCC; sowohl hinsichtlich Über- als auch Unterschätzungen. Das heißt, im Schnitt stimmen die historischen Simulationen und die Daten aus dem GPCC, abgesehen von Zentralafrika, weitestgehend in ihrer Abschätzung der Intensität des Rx1day überein. Der GPCC Datensatz speist sich hauptsächlich aus global positionierten *in situ* Stationen. Da in Afrika generell weniger Stationen vorhanden sind, weist das GPCC hier die größten Unsicherheiten bezüglich der Abschätzung der Intensität des Rx1day auf [8].

CHIRPS überschätzt die CMIP6-Modelle hinsichtlich der Intensität des Rx1day. Diese Überschätzung wird hauptsächlich in den höheren Breitengraden sichtbar. Dies erklärt sich dadurch, dass der CHIRPS Observationsdatensatz hauptsächlich dafür entworfen wurde, die Bereiche der Breitengrade 50°S-50°N abzudecken [9]. Die Abschätzungen in den Regionen ober- oder unterhalb dieses Bereiches sind somit größeren Unsicherheiten unterworfen.

Die geringste räumliche Ausdehnung an Unterschätzungen der historischen Simulation bzgl. der Intensität des Rx1day finden sich beim Vergleich mit dem REGEN Datensatz. Der entsprechende Datensatz REGEN wurde als eine Kombination des GPCC und des Global Historical Climatology Network – Daily (GHCN-Daily) konzipiert. Die Einspeisung der zusätzlichen Stationsdaten des GHCN-Daily gleichen hierbei die Unterschätzungen des GPCC Datensatzes durch zusätzliche Messungen wieder aus [10].

Unterschiede zwischen CMIP6 Modellen und Observationen sind grundsätzlich geringer im Tag des Rx1day als in der Intensität. Dies gilt für alle untersuchten Observationsdatensätze. Die größten Unterschiede in der Abschätzung des Tages des Rx1day sind zudem über dem Ozean verzeichnet (siehe Abbildungen 3.5 und Abbildungen 3.4; GPCP und PERSIANN). Dies lässt sich durch die Struktur der verwendeten Formeln 1 und 2 erklären. Einerseits zeigen sich geringere Mittelwerte bei der Berechnung der Differenzen zwischen historischen Modellen und Observationsdatensätze (Zähler in Formeln 1 und 2) bei Betrachtung des Tages des Rx1day als bei der Berechnung der Intensität des Rx1day (siehe Tabellen 3 und 1 aus dem Appendix A und B). Andererseits sind die berechneten Mittelwerte der Standardabweichungen in den Observationsdatensätzen (Nenner in Formeln 1 und 2) für den Tag des Rx1day deutlich geringer (siehe Tabelle 4 aus Appendix B) als bei der Berechnung der Standardabweichung der Observationsdatensätze für die Intensität des Rx1day (siehe Tabelle 1 aus Appendix A). Dies führt zu höheren

bzw. geringeren Werten der $\Delta_{normiert}$ und der Standardabweichung der $\Delta_{normiert}$ bei Verwendung der Formeln 1 bzw. 2. Der Tag des Rx1day unterliegt dementsprechend in den Observationsdatensätzen größeren zeitlichen Variabilitäten als die Intensität des Rx1day. Zudem kann die Differenz (zwischen historischer Simulation und Beobachtung) aufgrund der zyklischen Betrachtung für den Tag des Rx1day maximal ± 183 ($365/2$) betragen. Damit existiert eine obere Differenzgrenze beim Tag des Rx1day, die bei der Intensität nicht besteht.

5 Zusammenfassung

Im Rahmen dieses Projekts wurden 48 historische Simulationen des CMIP6 mit sechs Observationsdatensätzen hinsichtlich ihrer Abschätzung der Intensität und des Tages des jährlichen maximalen Tagesniederschlags miteinander verglichen. Es soll eine Aussage darüber getroffen werden, inwiefern die sechs Observationsdatensätze mit den historischen Simulationen bzgl. der Abschätzung der beiden Niederschlagsgrößen übereinstimmen. Es wurde die gemittelte $\Delta_{normiert}$ und die Standardabweichung der $\Delta_{normiert}$ als Vergleichsgrundlage gebildet um die Differenzen zwischen historischen Modellen und Observationsdatensätzen einzuschätzen.

Die Observationsdatensätze GPCC und REGEN, welche sich aus *in situ* Stationsdaten speisen, zeigen eine hohe Übereinstimmung in den Abschätzungen sowohl der Intensität als auch des Tages des Rx1day, zu den historischen Simulationen auf. Die Datensätze GPCC und REGEN eignen sich somit am Besten als Referenzdatensätze für zukünftige Experiment im Rahmen des CMIP6 Projekts bezüglich der beiden untersuchten Niederschlagsgrößen. Dahingegen weichen die Abschätzungen bzgl. der Intensität des Rx1day der Datensätze CHIRPS, GPCP und PERSIANN maßgeblich von den historische Simulationen ab. Diese Datensätze, welche hauptsächlich auf der Einspeisung von Satellitendaten basieren, eignen sich weniger als Referenzdatensätze für zukünftige CMIP6 niederschlagsbezogene Experimente. Bei Untersuchung des Tages des Rx1day eignen sich die genannten Datensätze dennoch als Referenzalternative, da diese maßgeblich mit den historischen Simulationssabschätzungen dieser Größe übereinstimmen.

CHIRPS und der ERA5 Datensatz, sind je nach zu untersuchender globaler Region als mögliche Referenzalternative bei der Untersuchung der Intensität und des Tages des Rx1day in Betracht zu ziehen.

Literatur

- [1] A. Srivastava, R. Grotjahn, and P. A. Ullrich, “Evaluation of historical CMIP6 model simulations of extreme precipitation over contiguous US regions,” *Weather and Climate Extremes*, vol. 29, p. 100268, sep 2020.
- [2] Max-Planck-Institut für Meteorologie, “CMIP6: Das gekoppelte Modellvergleichsprojekt.” [Online]. Available: <https://mpimet.mpg.de/wissenschaft/projekte/uebergreifende-aktivitaeten/cmip6-das-gekoppelte-modellvergleichsprojekt>
- [3] B. C. O’Neill, C. Tebaldi, D. P. Van Vuuren, V. Eyring, P. Friedlingstein, G. Hurtt, R. Knutti, E. Kriegler, J. F. Lamarque, J. Lowe, G. A. Meehl, R. Moss, K. Riahi, and B. M. Sanderson, “The Scenario Model Intercomparison Project (ScenarioMIP) for CMIP6,” *Geoscientific Model Development*, vol. 9, no. 9, pp. 3461–3482, 2016. [Online]. Available: www.geosci-model-dev.net/9/3461/2016/
- [4] B. I. Cook, J. S. Mankin, K. Marvel, A. P. Williams, J. E. Smerdon, and K. J. Anchukaitis, “Twenty-First Century Drought Projections in the CMIP6 Forcing Scenarios,” *Earth’s Future*, vol. 8, no. 6, pp. 1–20, 2020.
- [5] S. Contractor, M. G. Donat, L. V. Alexander, M. Ziese, A. Meyer-Christoffer, U. Schneider, E. Rustemeier, A. Becker, I. Durre, and R. S. Vose, “Rainfall Estimates on a Gridded Network (REGEN) - A global land-based gridded dataset of daily precipitation from 1950 to 2016,” *Hydrology and Earth System Sciences*, vol. 24, no. 2, pp. 919–943, feb 2020.
- [6] D. Jiao, N. Xu, F. Yang, and K. Xu, “Evaluation of spatial-temporal variation performance of ERA5 precipitation data in China,” *Scientific Reports*, vol. 11, no. 1, p. 17956, 2021.
- [7] G. J. Huffman, R. F. Adler, D. T. Bolvin, and G. Gu, “Improving the global precipitation record: GPCP Version 2.1,” *Geophysical Research Letters*, vol. 36, no. 17, sep 2009.
- [8] B. Rudolf, C. Beck, J. Grieser, and U. Schneider, “Global Precipitation Analysis Products of the GPCC,” *Internet Publication*, pp. 1–8, 2005. [Online]. Available: http://gpcc.dwd.de/ftp://ftp-anon.dwd.de/pub/data/gpcc/PDF/GPCC_intro-products_2008.pdf
- [9] C. Funk, P. Peterson, M. Landsfeld, D. Pedreros, J. Verdin, S. Shukla, G. Husak, J. Rowland, L. Harrison, A. Hoell, and J. Michaelsen, “The climate hazards infrared precipitation with stations - A new environmental record for monitoring extremes,” *Scientific Data*, vol. 2, pp. 1–21, 2015.
- [10] S. Contractor, M. G. Donat, L. V. Alexander, M. Ziese, A. Meyer-Christoffer, U. Schneider, E. Rustemeier, A. Becker, I. Durre, and R. S. Vose, “Rainfall Estimates on a Gridded Network (REGEN) - A global land-based gridded dataset of daily precipitation from 1950 to 2016,” *Hydrology and Earth System Sciences*, vol. 24,

no. 2, pp. 919–943, 2020. [Online]. Available: <https://doi.org/10.5194/hess-2018-595>

A Intensität des Rx1day

Tabelle 1: Globales Mittel vom Multi-Modell-Mittel der Differenz in der Intensität von Rx1day zwischen CMIP6-Modellen und den sechs untersuchten Observationsdatensätzen

	CHIRPS	ERA5	GPCC	GPCP	PER-SIANN	REGEN
Mittelwert	-13.7	4.9	-10.7	7.3	9.3	1.8

Tabelle 2: Globales Mittel vom Multi-Modell-Mittel der Standardabweichungen in der Intensität von Rx1day der sechs untersuchten Observationsdatensätzen

	CHIRPS	ERA5	GPCC	GPCP	PER-SIANN	REGEN
Mittelwert	14.0	12.7	18.2	7.0	12.0	12.2

B Tag des Rx1day

Tabelle 3: Globales Mittel vom Multi-Modell-Mittel der Differenz in der Abschätzung des Tages von Rx1day zwischen CMIP6-Modellen und den sechs untersuchten Observationsdatensätzen

	CHIRPS	ERA5	GPCC	GPCP	PER-SIANN	REGEN
Mittelwert	1.3	-0.7	0.8	-4.6	-5	0.5

Tabelle 4: Globales Mittel vom Multi-Modell-Mittel der Standardabweichungen in der Abschätzung des Tages des Rx1day der sechs untersuchten Observationsdatensätzen

	CHIRPS	ERA5	GPCC	GPCP	PER-SIANN	REGEN
Mittelwert	65.8	87.8	77	90	89.5	75.9