

# 3 Klimaprojektionen für das Modellgebiet Lüneburger Heide

*Diana Rechid, Juliane Petersen,  
Robert Schoetter, Daniela Jacob*

Klimaprojektionen sind Abbildungen möglicher Klimaentwicklungen unter der Annahme bestimmter Emissionen von Treibhausgasen und Aerosolen in die Atmosphäre. Sie werden mit Modellen des globalen Klimasystems erstellt, welche die Auswirkungen der veränderten Zusammensetzung der Atmosphäre auf die Energiebilanz der Erde und die globale Zirkulation und damit verbundene Änderungen der Temperatur und des Wasserkreislaufs simulieren. Um den Einfluss natürlicher interner Klimaschwankungen, also von Schwankungen, die durch natürliche Wechselwirkungen zwischen den Subsystemen des Klimasystems entstehen (s. Glossar Klimavariabilität), in die Projektionen von Klimaänderungen einzubeziehen, werden mit einem Modell mehrere Simulationen, sogenannte Realisierungen, erstellt, die sich im Ausgangszustand des Klimasystems unterscheiden. Daraus ergeben sich verschiedene Entwicklungsmöglichkeiten des Klimas innerhalb einer bestimmten Schwankungsbreite. Da sich die globalen Klimaänderungen regional unterschiedlich ausprägen, werden unter Verwendung der Ergebnisse globaler Klimasimulationen mit regionalen Klimamodellen räumlich höher aufgelöste Klimaprojektionen für einzelne Regionen erstellt. In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der regionalen Klimaprojektionen für das Modellgebiet Lüneburger Heide vorgestellt.

Die in KLIMZUG-NORD verwendeten Klimaprojektionen basieren auf den globalen Emissionsszenarien A2, A1B und B1 des IPCC (Nakicenovic et al., 2000) für das 21. Jahrhundert. Es werden Simulationen der regionalen Klimamodelle REMO (Jacob et al., 2008; Jacob et al., 2009, Jacob et al., 2012) und CLM (Hollweg et al., 2008, Lautenschlager et al., 2009; Keuler et al., 2009 a,b,c,d,e) verwendet. Mit beiden Regionalmodellen wurden bis zu 3 Realisierungen pro Emissionsszenario der globalen Klimasimulationen des gekoppelten Modellsystem ECHAM5/MPI-OM (MPI-M, 2006) dynamisch regionalisiert (s. Tab. 3.0.1). Die entsprechenden Simulationen wurden auch in dem vom Niedersächsischen Ministerium für Bildung und Wissenschaft geförderten Projekt KLIFF - Klimafolgenforschung für Niedersachsen verwendet (Moseley et al., 2012) und liegen den Empfehlungen für eine niedersächsische Klimaanpassungsstrategie zugrunde. Damit sind die Ergebnisse beider Projekte direkt vergleichbar und im sich räumlich überschneidenden Projektgebiet

übertragbar. Weitere Informationen zu den Klimaprojektionen sind Rechid et al. (2014) zu entnehmen.

Die simulierten Zeitreihen täglicher Werte der bodennahen Lufttemperatur (2 m über Grund), Tagesminima und -maxima der bodennahen Lufttemperatur und Tagessummen des Niederschlags wurden für die Referenzperiode 1971 - 2000 und für die beiden Projektionszeiträume 2036 - 2065 und 2071 - 2100 ausgewertet. Es wurden 30-jährige Mittel der Jahreswerte und der meteorologischen Jahreszeiten berechnet: Winter: Dezember, Januar, Februar (DJF), Frühjahr: März, April, Mai (MAM), Sommer: Juni, Juli, August (JJA) und Herbst: September, Oktober, November (SON). Die Klimaänderungen für die beiden Projektionszeiträume ergeben sich aus der Differenz der 30-jährigen Mittelwerte der zukünftigen Zeitperiode einer bestimmten Projektion und der Mittelwerte der Referenzperiode der entsprechenden historischen Simulation.

Tab. 3.0.1: Übersicht zu verwendeten Klimasimulationen

Modell	Gitterauflösung	Zeitraum	Simulationen	Zwischensimulation	Globalmodell
REMO	0.088°	1950 - 2000 2001 - 2100	3 C20 3 A2, A1B, B1	REMO 0.44°	ECHAM5/MPI-OM T63 (1.875°) /1.5°
CLM	0.165°	1960 - 2000 2001 - 2100	2 C20, 2 A1B, 2 B1	-	ECHAM5/MPI-OM T63 (1.875°) /1.5°

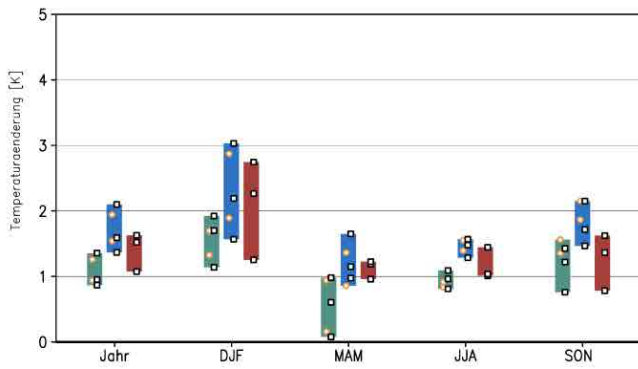
## Saisonale Änderungen

Die Bandbreiten der projizierten Klimaänderungen in Abbildung 3.0.1 veranschaulichen, in welchem Wertebereich sich je nach Annahme eines bestimmten Emissionsszenarios die mittleren saisonalen Temperatur- und Niederschlagsverhältnisse in dem Modellgebiet Lüneburger Heide im 21. Jahrhundert verändern können. Die Zahlenwerte zu den entsprechenden projizierten minimalen und maximalen Änderungen finden sich in Tabelle 3.0.2. Hier der Hinweis, dass diese Werte nur die Bandbreiten der hier verwendeten Simulationen, aber nicht alle Möglichkeiten zukünftiger Klimaänderungen abbilden.

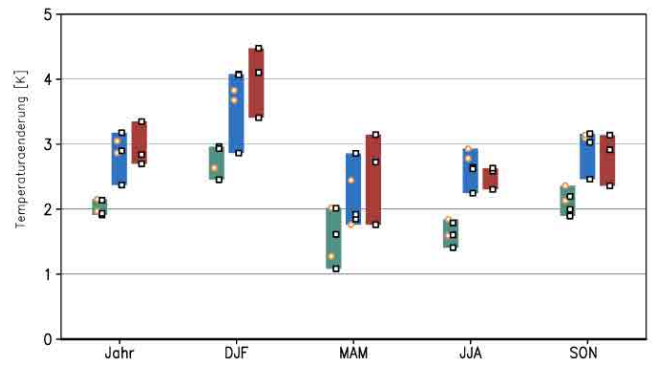
Für das Modellgebiet der Lüneburger Heide wird für alle Jahreszeiten ein Anstieg der bodennahen Lufttemperatur projiziert, der zum Ende des 21. Jahrhunderts jeweils deutlich größer ist als zur Mitte des 21. Jahrhunderts. Im Winter steigen die Temperaturen am stärksten, im Projektionszeitraum 2036 - 2065 um etwa 1 K bis 3 K und 2071 - 2100 um ca. 2.5 K bis 4.5 K (jeweils Bandbreite über alle 3 Szenarien). Die entsprechenden Änderungen im Sommer betragen 2036 - 2065 ca. 0.8 K bis 1.6 K und 2071 - 2100 etwa 1.4 K bis 2.9 K. Im Winter und auch im Frühjahr sind die Bandbreiten der Temperaturänderungen am höchsten, was durch größere Unterschiede

zwischen den verschiedenen Realisierungen und damit durch größere interne Klimaschwankungen in diesen Jahreszeiten verursacht wird. Zur Mitte des 21. Jahrhunderts hängt der projizierte Temperaturanstieg mehr von Modell und Realisierung und weniger vom Emissionsszenario ab. Zum Ende des 21. Jahrhunderts dagegen ist der Temperaturanstieg für die Szenarien A1B und A2 mit vergleichsweise hohen Treibhausgasemissionen deutlich höher als für das Szenario B1 mit vergleichsweise niedrigen Treibhausgasemissionen. Die projizierten Niederschläge nehmen 2036 - 2065 in allen Jahreszeiten für alle Szenarien zu, mit Ausnahme der Ergebnisse für das A1B Szenario im Sommer, die eine Abnahme der Niederschläge zwischen -1 % bis -11 % zeigen. Zum Ende des 21. Jahrhunderts dagegen zeigen die meisten Simulationen im Sommer eine Niederschlagsabnahme mit den stärksten Änderungen im A1B Szenario um -8 % bis -25 %. In allen anderen Jahreszeiten nimmt der Niederschlag in allen Szenarien zu, meist mit ähnlichen Werten wie zur Mitte des Jahrhunderts. Nur im Winter sind Änderungen zum Ende des Jahrhunderts mit Werten zwischen +8 % bis +32 % deutlich größer als zur Mitte des Jahrhunderts mit knapp über 0 % bis 22 %.

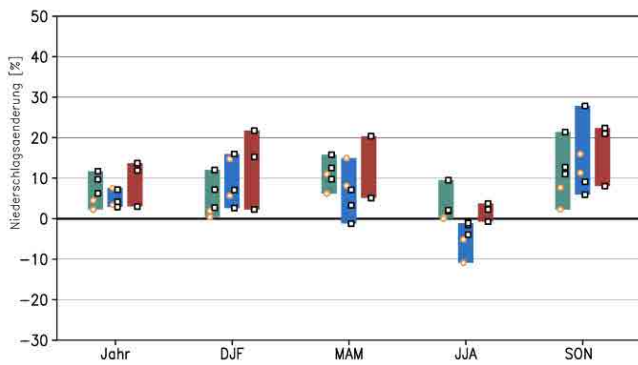
Temperatur 2036 - 2065



Temperatur 2071 - 2100



Niederschlag 2036 - 2065



Niederschlag 2071 - 2100

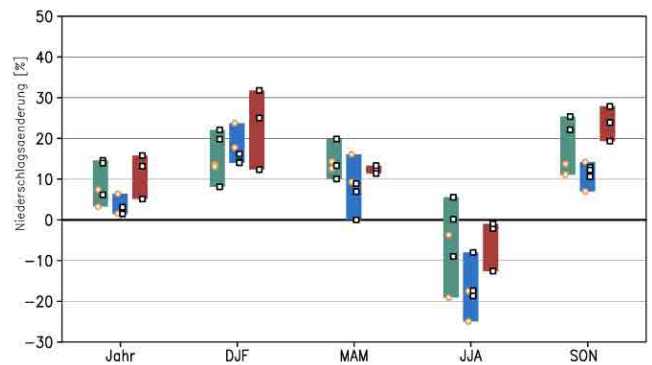


Abb. 3.0.1: Bandbreiten der jährlichen und saisonalen Temperatur- und Niederschlagsänderungen 2036 - 2065 und 2071 - 2100 gegenüber 1971 - 2000 pro Emissionsszenario und Werte der einzelnen Simulationen für das Modellgebiet Lüneburger Heide



Tab. 3.0.2: Zahlenwerte der projizierten jährlichen und saisonalen Änderungen der bodennahen Lufttemperatur (2 m über Grund) (a,b) und des Niederschlags (c,d) gegenüber 1971 - 2000 für das Gebietsmittel des Modellgebiets Lüneburger Heide (s. Abb. 3.0.1) jeweils der Simulationen, die die kleinste und die größte Änderung pro Emissionsszenario zeigen; die Differenz ergibt die Bandbreite aus den verfügbaren Modellsimulationen pro Emissionsszenario.

a. Temperatur [K] 2036 - 2065

	B1 min	B1 max	A1B min	A1B max	A2 min	A2 max
<b>Jahr</b>	0.9	1.4	1.4	2.1	1.1	1.6
<b>D,J,F</b>	1.1	1.9	1.6	3.0	1.3	2.7
<b>M,A,M</b>	0.1	1.0	0.9	1.7	1.0	1.2
<b>J,J,A</b>	0.8	1.1	1.3	1.6	1.0	1.4
<b>S,O,N</b>	0.8	1.6	1.5	2.2	0.8	1.6

## b. Temperatur [K] 2071 - 2100

	B1 min	B1 max	A1B min	A1B max	A2 min	A2 max
<b>Jahr</b>	1.9	2.2	2.4	3.2	2.7	3.4
<b>D,J,F</b>	2.5	3.0	2.9	4.1	3.4	4.5
<b>M,A,M</b>	1.1	2.0	1.8	2.9	1.8	3.2
<b>J,J,A</b>	1.4	1.8	2.3	2.9	2.3	2.6
<b>S,O,N</b>	1.9	2.4	2.5	3.2	2.4	3.1

## c. Niederschlag [%] 2036 - 2065

	B1 min	B1 max	A1B min	A1B max	A2 min	A2 max
<b>Jahr</b>	2.3	11.7	2.9	7.6	3.0	13.7
<b>D,J,F</b>	0.4	12.0	2.6	16.0	2.3	21.7
<b>M,A,M</b>	6.2	15.8	-1.2	15.0	5.1	20.4
<b>J,J,A</b>	0.0	9.5	-10.9	-1.1	-0.7	3.7
<b>S,ON</b>	2.5	21.4	5.9	27.8	8.0	22.4

## d. Niederschlag [%] 2071 - 2100

	B1 min	B1 max	A1B min	A1B max	A2 min	A2 max
<b>Jahr</b>	3.2	14.6	1.45	6.4	5.1	15.8
<b>D,J,F</b>	8.1	22.1	14.0	23.8	12.4	31.8
<b>M,A,M</b>	10.1	19.8	0.0	16.1	11.4	13.3
<b>J,J,A</b>	-19.1	5.5	-25.0	-8.0	-12.6	-1.0
<b>S,O,N</b>	11.1	25.4	7.0	14.2	19.3	27.9

## Veränderte Verteilung der Tageswerte von Temperatur und Niederschlag

Die Verteilungen der täglichen Temperaturwerte im Referenzzeitraum und ihre Änderungen in den Projektionszeiträumen sind in Abbildung 3.0.2 anhand der Perzentile dargestellt. Eine markante Veränderung im Winter, die in allen Simulationen und Projektionszeiträumen auftritt, ist der deutlich stärkere Anstieg der niedrigen als der höheren Perzentile. Das bedeutet, dass im Winter der Anteil sehr kalter und kalter Tage, also von Tagen mit durchschnittlichen Temperaturen von weniger als  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,

deutlich stärker abnimmt, als die Tage mit höheren Temperaturen zunehmen. Im Sommer nehmen in beiden Projektionszeiträumen im B1 Szenario die Tageswerte der Temperatur gleichmäßig zu. Für das A1B und das A2 Szenario zeigt sich dagegen zur Mitte und noch ausgeprägter zum Ende des Jahrhunderts ein etwas stärkerer Anstieg der höheren Perzentile, d. h. warme und heiße Tage können sehr viel häufiger auftreten.

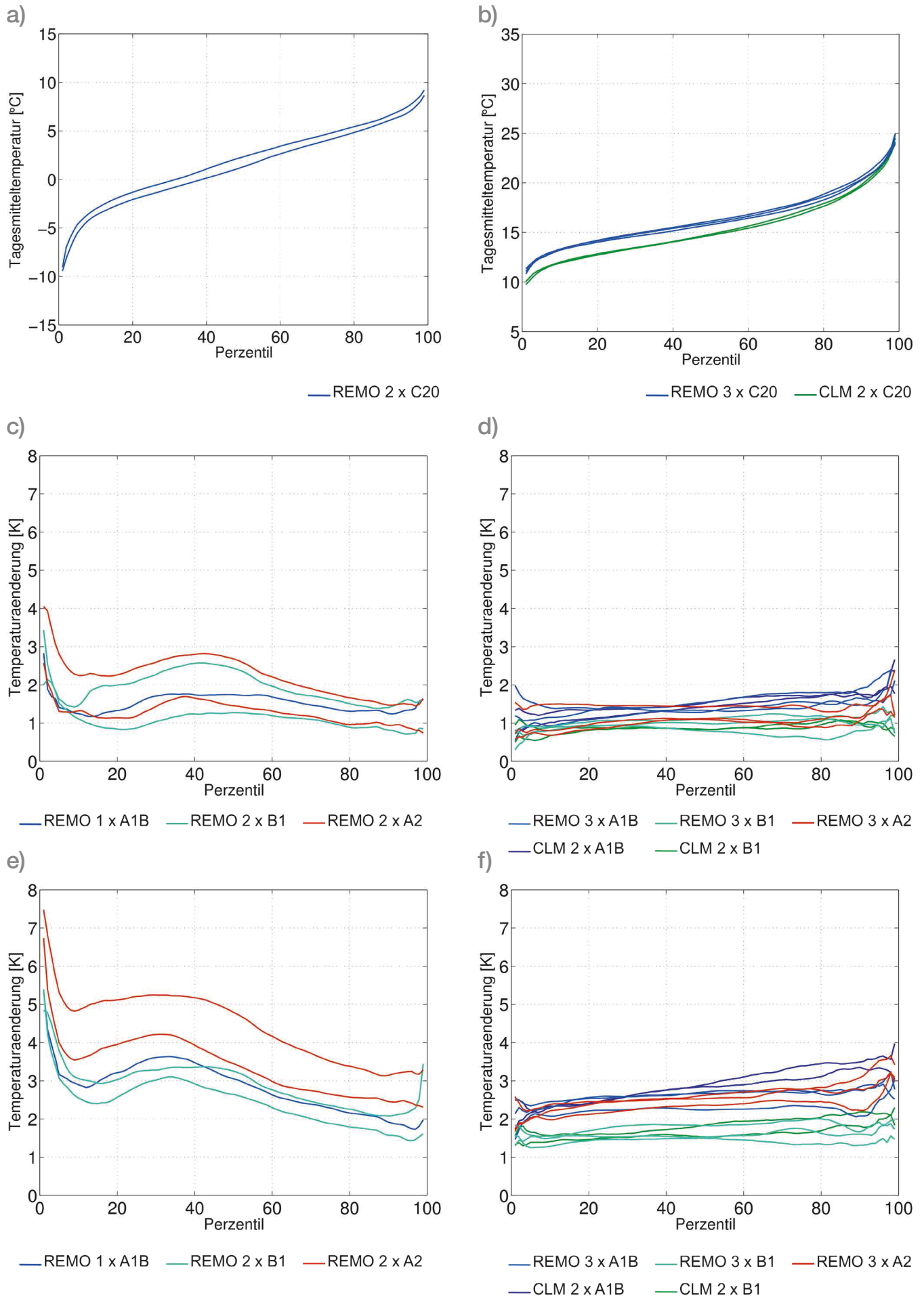


Abb. 3.0.2: Simulierte Perzentile der Tagesmitteltemperatur im Referenzzeitraum 1971-2000 im Winter (a) und im Sommer (b) sowie projizierte Änderungen der Perzentile der Tagesmitteltemperatur für den Zeitraum 2036-2065 im Winter (c) und im Sommer (d) und für den Zeitraum 2071-2100 im Winter (e) und im Sommer (f) für das Modellgebiet Lüneburger Heide. (Anmerkung: Für den Winter wurden nur die Modellsimulationen ausgewertet, die keine unrealistische Häufung von 0°-Werten zeigen, s. Rechid et al. 2014).

In Abbildung 3.0.3 sind Auswertungen zu thermischen Klimaindizes zu sehen. Die hier verwendeten Klimaindizes sind über absolute Schwellenwerte definiert (s. Glossar). Eine deutlich höhere Anzahl an Tagen überschreitet die 25 °C Schwelle und auch Hitzetage mit über 30 °C Tagesmaximumtemperatur treten häufiger auf. Zudem können Tage auftreten, an denen die Temperatur von 20 °C nicht unterschritten wird (sog. Tropentage od. Tropennächte), die im heutigen Klima der Lüneburger Heide im Mittel nur alle paar Jahre einmal auftreten, in Zukunft bis zu 5 mal in jedem Jahr auftreten können. Niedrige Schwellenwerte werden seltener unterschritten, Eis- und Frosttage treten sehr viel seltener auf (s. Abb.

3.0.4). Die Anzahl der Tage pro Jahr mit Temperaturen höher als 5 °C nimmt deutlich zu, was eine wichtige physiologische Schwelle für das Wachstum von Pflanzen ist. Die Änderung der Anzahl zusammenhängender Tage der längsten Periode mit Tagesmitteltemperaturen >5 °C um 10 bis 30 Tage pro Jahr in 2036 - 2065 und um 20 bis 80 Tage pro Jahr in 2071 - 2100 gibt einen Hinweis auf eine markante Verlängerung der thermischen Vegetationsperiode. Dieser Wert allein reicht allerdings nicht aus, die Vegetationsperiode insgesamt zu charakterisieren, da diese auch von pflanzenphysiologischen Prozessen und weiteren Umweltbedingungen wie z. B. Tageslänge, pflanzenverfügbarem Wasser und Nährstoffen abhängt.

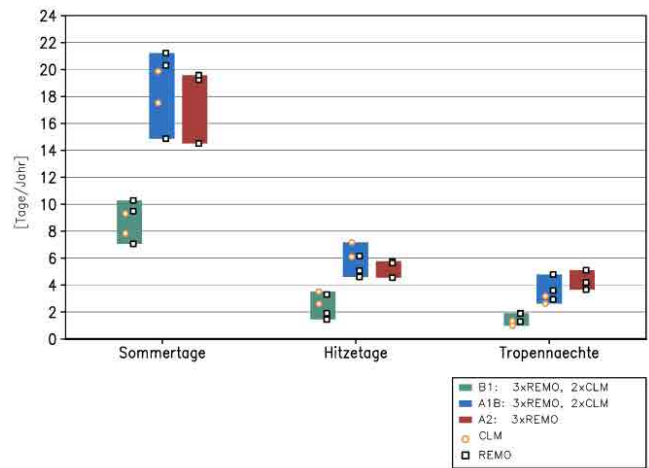
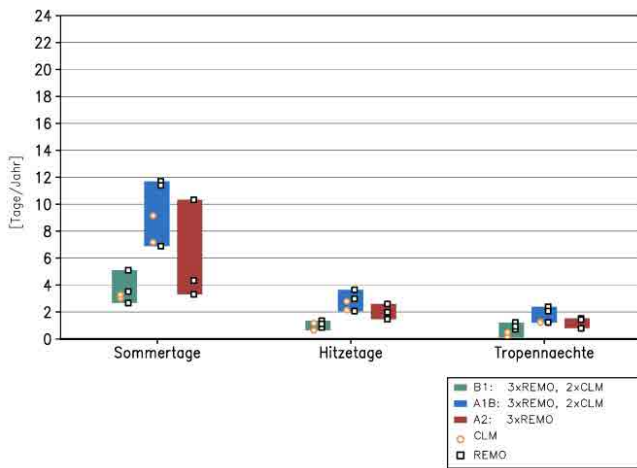


Abb. 3.0.3: Simulierte Änderungen der Anzahl von Sommer-, Hitze- und Tropentagen/-nächten pro Jahr 2036 - 2065 (links) und 2071 - 2100 (rechts) gegenüber 1971 - 2000 für die Szenarien B1, A2 und A1B, dargestellt mit den Werten der einzelnen Simulationen.

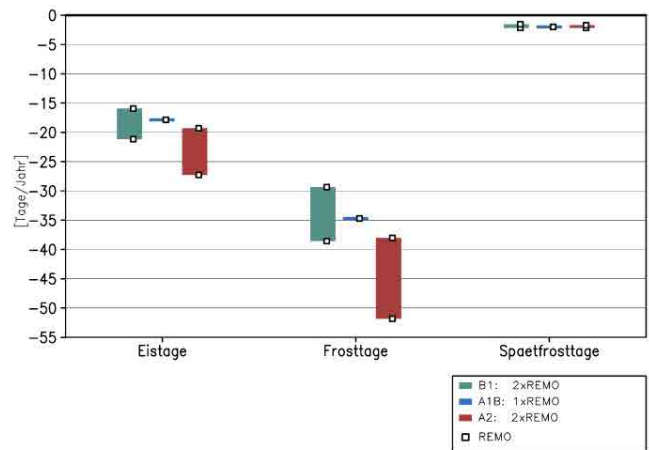
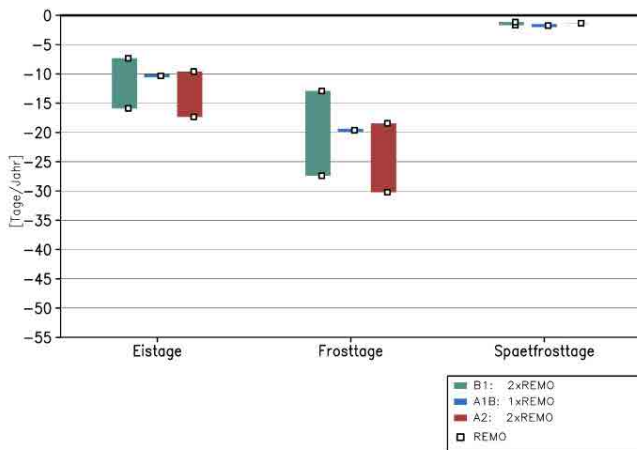


Abb. 3.0.4: Simulierte Änderungen der Anzahl von Eis-, Frost-, Spätfrosttagen pro Jahr 2036 - 2065 (links) und 2071 - 2100 (rechts) gegenüber 1971 - 2000 für die Szenarien B1, A2 und A1B, dargestellt mit den Werten der einzelnen Simulationen. (Anmerkung: Für die Auswertung der Frosttage wurden nur die Modellsimulationen ausgewertet, die keine unrealistische Häufung von 0°-Werten zeigen, s. Rechid et al. 2014).



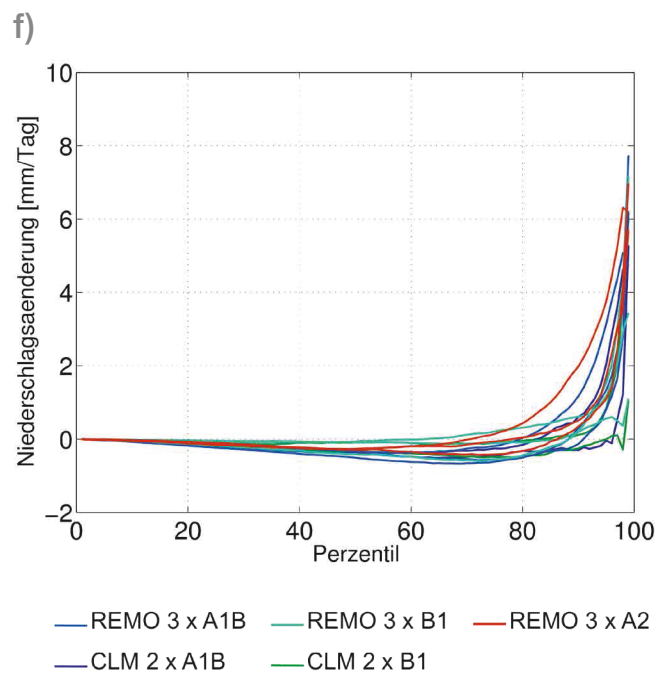
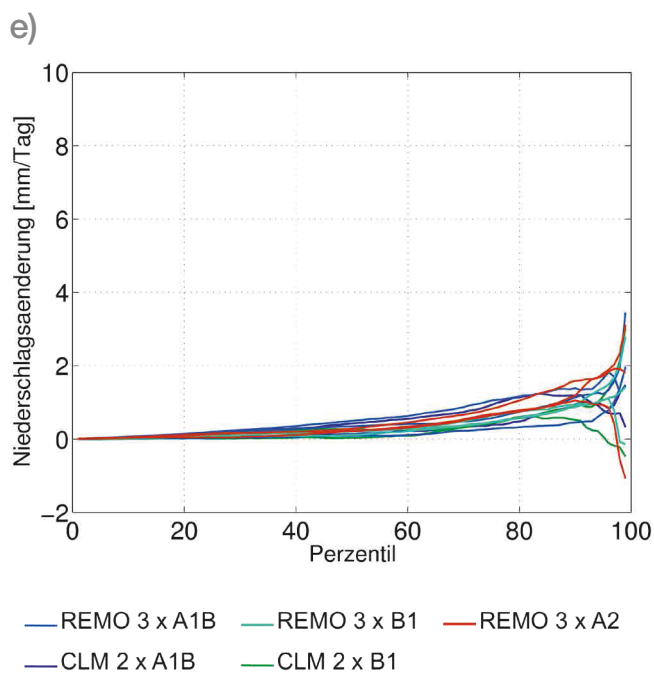
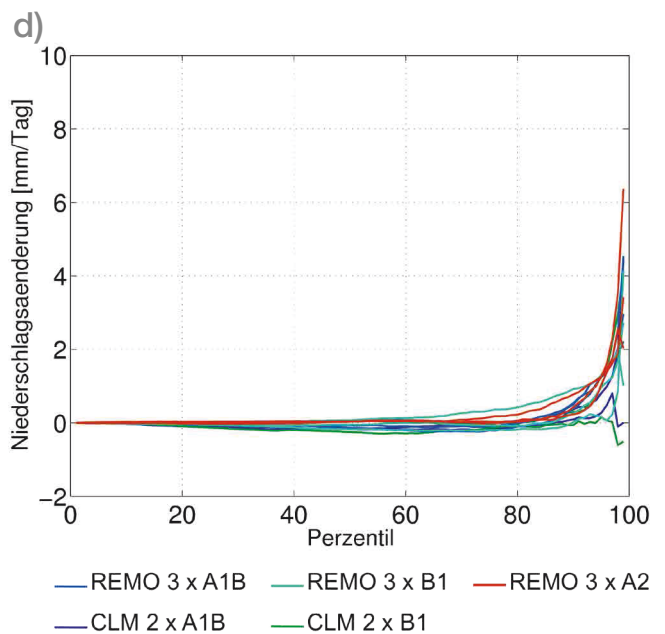
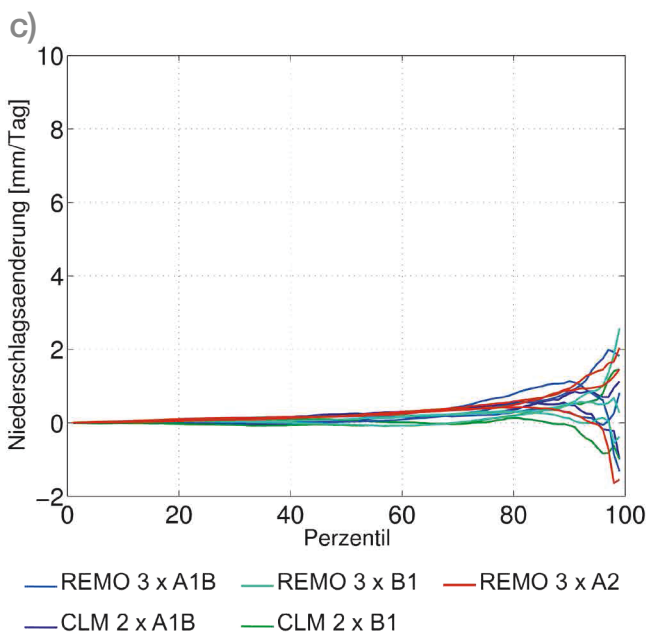
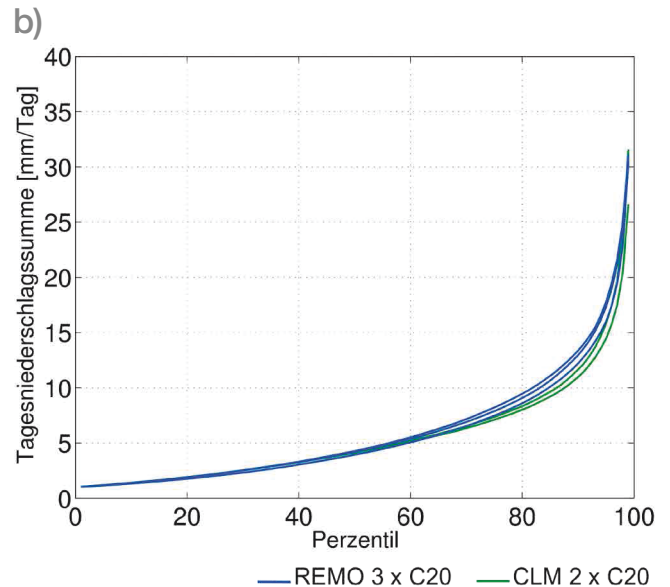
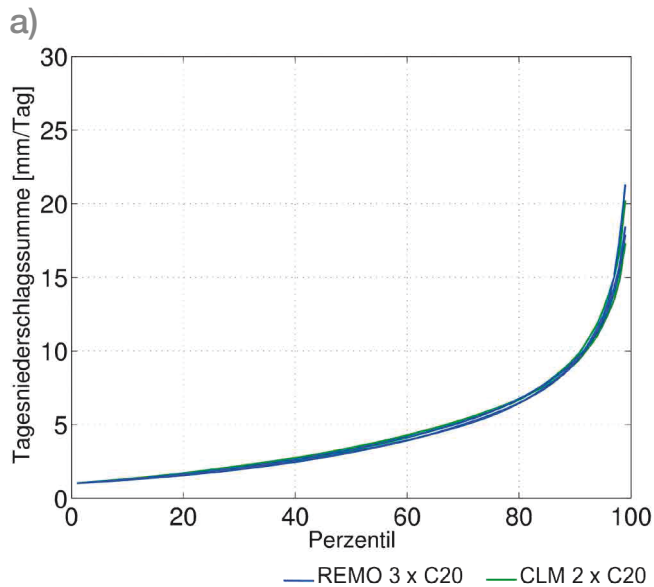


Abb. 3.0.5: Simulierte Perzentile der Tagesniederschlagssummen an Tagen mit mehr als 1 mm Niederschlag im Referenzzeitraum 1971 - 2000 im Winter (a) und im Sommer (b) sowie projizierte Änderungen für den Zeitraum 2036 - 2065 im Winter (c) und im Sommer (d) und für den Zeitraum 2071 - 2100 im Winter (e) und im Sommer (f) für das Modellgebiet Lüneburger Heide.

Die simulierten Perzentile der Tagesniederschlagssummen an Tagen mit mehr als 1 mm Niederschlag im Referenzzeitraum sowie deren projizierte Änderungen sind in Abbildung 3.0.5 dargestellt. Die Verteilung der Tagesniederschläge an Tagen mit mehr als 1 mm Niederschlag verdeutlichen, wie sich die Niederschlagsintensitäten verändern. Es zeigt sich für den Winter in allen Simulationen eine generelle Zunahme aller Niederschlagsintensitäten und besonders zum Ende des Jahrhunderts mit einer Tendenz zur stärkeren Zunahme höherer Intensitäten. Bei den hohen Perzentilen zeigen einzelne Simulationen negative Änderungen im Winter, welche auf die hohe Variabilität der stärkeren Niederschläge zurückzuführen sind. Im Sommer wird 2036 - 2065 in fast allen und 2071 - 2100 in allen Simulationen eine Abnahme der Niederschlagsintensität an Tagen mit leichten bis mittleren Niederschlägen projiziert. An Tagen mit hohen Niederschlagsintensitäten zeigt sich dagegen bis auf eine Ausnahme in allen Simulationen zur Mitte und noch deutlicher zum Ende des Jahrhunderts eine Zunahme der Niederschlagsmenge. Das bedeutet, dass die leichte Abnahme der mittleren Niederschlagsmenge im Sommer gleichzeitig mit einer Zunahme der Intensität von Starkniederschlägen verbunden sein kann.

Diese Änderungen sind in den A2 und A1B Szenarien etwas stärker ausgeprägt als im B1 Szenario. Das gibt einen Hinweis darauf, dass die Intensität von Starkniederschlägen umso mehr zunehmen kann, je höher der Grad der Erwärmung und damit der Wassergehalt der Atmosphäre ist. Dieser Zusammenhang wurde kürzlich in einer Studie, basierend auf Beobachtungsdaten, bestätigt (Berg et al., 2013).

Die Anzahl der Tage mit hohen Niederschlagsintensitäten (> 20 mm) steigt in allen Jahreszeiten geringfügig an (ohne Abb.). Das bedeutet insgesamt, dass es in den Projektionszeiträumen wenige Tage mehr mit starkem Niederschlag geben kann, und wenn es einen Tag mit starkem Niederschlag gibt, die Intensität des Niederschlags noch stärker ausfallen kann. Die Anzahl der Trockentage (Abb. 3.0.6), also von Tagen mit weniger als 1 mm Niederschlag, verringert sich in beiden Projektionszeiträumen im Winter, Frühjahr und in den meisten Simulationen auch im Herbst. Im Sommer treten 2036 - 2065 im A1B und A2 Szenario häufiger Trockentage auf und 2071 - 2100 bis auf eine Realisierung auch im B1 Szenario.

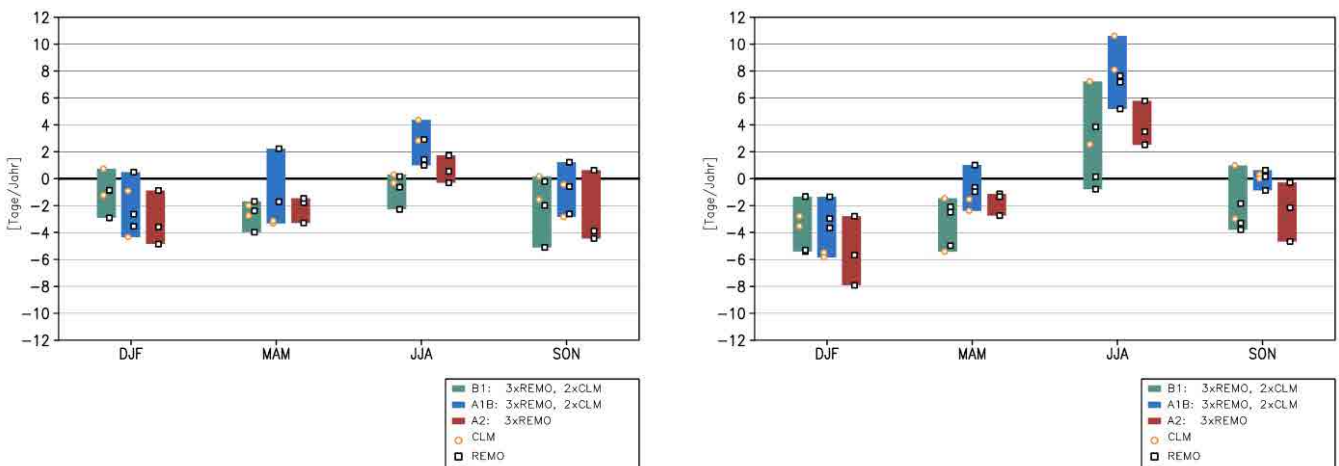


Abb. 3.0.6: Simulierte Änderungen der Anzahl von Trockentagen mit < 1 mm Tagesniederschlag pro Jahreszeit für 2036 - 2065 (links) und 2071 - 2100 (rechts) gegenüber 1971 - 2000 für die Szenarien B1, A2 und A1B, dargestellt mit den Werten der einzelnen Simulationen



## Zusammenfassung

Für das Modellgebiet der Lüneburger Heide werden zur Mitte des 21. Jahrhunderts für alle Jahreszeiten höhere Mitteltemperaturen projiziert. Zum Ende des 21. Jahrhunderts sind noch größere Temperaturzunahmen zu erwarten. Im Winter steigen die Temperaturen jeweils am stärksten, im Frühjahr am geringsten. Dabei nehmen im Winter die niedrigen Tagesmitteltemperaturen stärker zu als die höheren und Eis- und Frosttage treten deutlich seltener auf. Im Sommer können Tage mit extremen Temperaturen wie Hitzetage und Tropentage bzw. -nächte deutlich häufiger auftreten. Im Jahr nimmt die Anzahl der Tage mit Temperaturen höher als 5 °C deutlich zu, was eine wichtige physiologische Schwelle für das Wachstum von Pflanzen ist. Im Verlauf des Jahrhunderts unterscheiden sich die für das B1 Szenario simulierten Temperaturen immer deutlicher von den Ergebnissen für die A1B und A2 Szenarien. Das bedeutet, wenn es gelingt, die Treibhausgasemissionen zu vermindern, deutlich geringere Klimaänderungen zu erwarten sind. Die projizierten Niederschläge nehmen 2036-2065 in allen Jahreszeiten für alle Szenarien leicht zu, mit Ausnahme abnehmender Niederschläge für das A1B Szenario im Sommer. Insgesamt sind die Veränderungen im Sommer sehr gering und zeigen keinen klaren Trend. Zum Ende des 21. Jahrhunderts dagegen zeigen die meisten Simulationen im Sommer eine Niederschlagsabnahme mit den stärksten Änderungen im A1B Szenario. In Winter und Herbst verstärkt sich die Niederschlagszunahme, sodass eine Umverteilung der Niederschläge im Jahresverlauf stattfindet mit insgesamt im Jahresmittel leicht steigenden Werten. Zudem zeigt sich im Sommer trotz abnehmender Niederschläge eine Zunahme der Intensität von starken Niederschlägen.