

# 4. Klimaentwicklung und Klimaszenarien<sup>1</sup>

## 4.1 Zusammenfassung

### Gegenwärtiges Klima

Das Klima in Niedersachsen wird in den Küstengebieten vor allem von Wind und Meer geprägt, während es im Landesinneren zunehmend kontinentaler wird. Für die Beschreibung des gegenwärtigen Klimas in Niedersachsen werden Beobachtungsdaten des Deutschen Wetterdienstes (DWD) der Lufttemperatur in 2 Metern Höhe und des Niederschlages für die Jahre 1971-2000 herangezogen. Die Gebirgsregion des Harzes unterscheidet sich wegen der Höhenlage klimatisch wesentlich von den Tieflagen, die das Hauptgebiet Niedersachsens bilden. Sie ist deutlich kühler und feuchter als der Großteil des Landes und muss deshalb gesondert betrachtet werden.

Der Jahresmittelwert der Lufttemperatur in Niedersachsen beträgt zwischen 8 und 9,5 Grad Celsius. Die Mitteltemperaturen der Jahreszeiten zeigen jedoch deutliche räumliche Muster. So liegt die Mitteltemperatur im Winter an der westlichen Grenze zu den Niederlanden zwischen 2,5 und 3 Grad, während sie bis zur Ostgrenze zu Sachsen-Anhalt um ca. 1 bis 2 Grad abnimmt. In den Sommermonaten ist ein leichter Anstieg in Nord-Südrichtung festzustellen, mit ca. 15,5 bis 16 Grad in Ostfriesland bis ca. 17 Grad in der geographischen Breite von Hannover. Weiter nach Süden fällt die Mitteltemperatur im Sommer wegen der zunehmenden Höhenlage wieder leicht ab. Sommerliche Wärmeperioden mit Maximaltemperaturen über 25 Grad sind an der Ostgrenze im Jahresmittel bis zu 9 Tage lang, während an den Küsten kaum längere Wärmeperioden auftreten. Die Vegetationsperiode dauert im größten Teil Niedersachsens zwischen 240 und 280 Tagen, an der südwestlichen Grenze von Niedersachsen ist sie etwas länger. Die meisten Frosttage – im Mittel bis über 80 pro Jahr – treten in den Mittelgebirgen im Süden, und in den östlichen Tieflagen entlang der Elbe auf, bis zu 8 davon sind Spätfröste nach dem 1. April. Die geringste Anzahl an Frosttagen (50-60) treten an der ostfriesischen Küste auf. Spätfröste sind hier sehr selten.

Die mittleren Windgeschwindigkeiten zeigen ebenfalls ein deutliches räumliches Muster, mit einem Nord-Süd-Gradienten von 5 bis 6 m/s an der Küste, bis zu 1 bis 2 m/s in Südniedersachsen. In der Harzregion sind die Geschwindigkeiten wegen der Höhenlage deutlich höher, teilweise liegen sie über 7 m/s.

Der Jahresniederschlag zeigt ein West-Ost-Gefälle mit 70 bis 80 Millimeter pro Monat an der West- und ca. 50 Millimeter pro Monat an der Ostgrenze. Die meisten Niederschläge fallen im Sommer mit ca. 70 bis 80 Millimeter pro Monat und sind relativ gleichmäßig über Niedersachsen verteilt, die geringsten fallen im größten Teil des Landes im Frühjahr mit weniger als 70 Millimeter pro Monat. Im Sommer sind im Durchschnitt jährlich ein bis zwei Starkniederschlagstage mit mehr als 20 Millimeter zu erwarten, im Herbst nimmt deren Anzahl nach Osten hin ab. Nur in jedem zweiten bis dritten Winter ist mit einem Starkniederschlagstag zu rechnen, das gilt auch für das Frühjahr. Eine ähnliche jahreszeitliche Verteilung zeigt die größte 5-tägige Niederschlagssumme innerhalb einer Jahreszeit. Sie erreicht ein Maximum im Herbst an den Küsten mit ca. 55 Millimeter, während sie im Osten im Winter, Frühjahr und Herbst im Mittel nur ca. 35 Millimeter beträgt. Die längsten Trockenperioden im Sommerhalbjahr zwischen April und September dauern in weiten Teilen Niedersachsens im Jahresmittel 16 bis 17 Tage.

Die oben beschriebenen Mittelwerte und räumlichen und saisonalen Verteilungen haben sich bereits während der letzten 120 Jahre geändert. Nach Angaben des DWD wurde in Niedersachsen im Zeitraum von 1881 bis 2009 eine Erhöhung der Jahresdurchschnittstemperatur um 1,2 Grad beobachtet. Die Summe des Jahresniederschlags hat sich in diesem Zeitraum um ca. 15 Prozent erhöht, wobei die Änderung im Winter mit ca. 30 Prozent am stärksten ist. Im Sommer dagegen hat sie sich kaum verändert. Die Temperaturänderung zwischen 1951-2005 sind nach Haberlandt et al. (2010b) etwas stärker: Demnach gab es eine Erhöhung der Jahresmitteltemperatur im Mittel über ganz Niedersachsen um 1,3 Grad. Außerdem wurde eine Abnahme der Anzahl der Frosttage im Jahr um 23 Tage festgestellt. Für die Niederschläge wurde eine statistisch signifikante Erhöhung im Winter, Frühjahr und Herbst und eine Abnahme im Sommer gefunden, darüber hinaus eine Zunahme der Trockenheitsdauer im Sommer und eine Abnahme im Herbst, sowie eine Zunahme der Anzahl der Starkniederschlagstage im Winter. Chmielewski et al. (2007b) wiesen einen Trend zu einem früheren Beginn und einer längeren Dauer der Vegetationsperiode in Deutschland nach.

Die mittlere Windgeschwindigkeit hat sich nicht geändert. Die Auffassungen über den Einfluss des Klimawandels auf die Anzahl der Stürme sind noch kontrovers: Einerseits hat sich die Anzahl der Stürme tatsächlich erhöht, andererseits zeigen Forschungsergebnisse, dass diese Erhöhung noch im Bereich der natürlichen Variabilität liegt.

<sup>1</sup> Beteiligte Institutionen: Max-Planck-Institut für Meteorologie, Hamburg, Climate Service Center des Helmholtz-Zentrums Geesthacht, Büsingen-Institut, Universität Göttingen, Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und landwirtschaftlichen Wasserbau der Leibniz Universität Hannover, Leuphana Universität Lüneburg.

## Klimaprojektionen in Niedersachsen bis 2100

Aussagen über zukünftige Klimaänderungen in Niedersachsen bis 2100 wurden aus insgesamt 13 Klimasimulationen der regionalen Klimamodelle REMO und CLM abgeleitet. Die Verwendung mehrerer Klimasimulationen (sog. Ensemble-Ansatz) ermöglicht Aussagen über noch bestehende Unsicherheit bei den Resultaten der Klimasimulationen. Wenn der überwiegende Teil aller Simulationen des Ensembles eine Klimaänderung (z.B. für die Temperatur oder die Monatsniederschlagssummen) in dieselbe Richtung projiziert, wird das Klimaänderungssignal als robust bezeichnet, andernfalls gilt es als unsicher. Zudem wird so die Bandbreite des Simulationsensembles ermittelt. Als Rahmenbedingungen für die Klimaprojektionen wurden Emissionsszenarien des IPCC herangezogen. Die Klimasimulationen wurden für die Perioden 2021-2050 und 2071-2100 ausgewertet. Als Klimaänderungssignale werden die Differenzen der Zukunftsperioden zu der Referenzperiode 1971-2000 bezeichnet.<sup>2</sup>

Für die Periode 2021-2050 wird für das Szenario A1B von REMO und CLM eine Erhöhung der Jahresmitteltemperatur von ca. 1 Grad projiziert. Die Erhöhung ist im Winter am höchsten und im Frühjahr am geringsten. Für 2071-2100 steigt das Änderungssignal der Jahresmitteltemperaturen auf ca. 2,5 Grad an, wobei es im Winter mit über 3 Grad am höchsten und im Frühjahr mit ca. 2 Grad am geringsten ausfällt. Mit der Temperaturerhöhung geht eine Zunahme der Länge der Vegetationsperiode um ca. 23 Tage bis 2021-2050 und ca. 60 Tage bis 2071-2100 einher, sowie eine Abnahme in der Anzahl der Frosttage um ca. ein Drittel bis 2021-2050 und um ca. zwei Drittel bis 2071-2100. Spätfröste nach dem 1. April können in der Periode 2021-2050 durchaus noch auftreten, während sie bis 2100 fast völlig verschwunden sein könnten. Ob die mittlere Dauer von Wärmeperioden bis 2021-2050 zunehmen wird, ist unsicher, für 2071-2100 wird jedoch eine Zunahme um ca. 50 Prozent projiziert.

Die projizierten Niederschläge erhöhen sich bis 2021-2050 im Jahresmittel um ca. 7 Prozent, wahrscheinlich verteilt über alle Jahreszeiten. Bis 2071-2100 bleibt das Änderungssignal der Jahresniederschlagssummen ähnlich, jedoch gibt es für diese Periode starke jahreszeitliche Unterschiede: Eine Zunahme der Niederschlagssummen wird für Winter, Frühjahr und Herbst projiziert, für den Sommer dagegen eher eine Abnahme um ca.

10 Prozent. Das statistische Modell WETTREG 2006 projiziert für den Winter für beide Perioden eine deutlich größere Niederschlagserhöhung. Mit den steigenden Temperaturen werden die Winterniederschläge zukünftig hauptsächlich als Regen fallen. Die Klimamodelle projizieren bis 2021-2050 eine Abnahme der Schneefallmenge um ca. 30 Prozent und bis 2071-2100 um ca. 50 Prozent. Eine Zunahme in der Häufigkeit der Starkniederschlagstage wird bis 2021-2050 vor allem für den Herbst projiziert (Zunahme um ca. 35 Prozent), und bis 2071-2100 für die Jahreszeiten Herbst (bis ca. 75 Prozent), Winter, und Frühjahr (jeweils um ca. 40 bis 50 Prozent). Für den Sommer ist keine deutliche Zunahme der Starkniederschlagstage zu erwarten. Auch für die größten 5-Tages-Niederschlagssummen wird vor allem im Herbst eine Zunahme um ca. 13 Prozent bis 2021-2050 und ca. 20 Prozent bis 2071-2100 projiziert, während in den übrigen Jahreszeiten eher eine moderate Erhöhung möglich ist. Für die mittlere Dauer der Trockenperioden werden keine Änderungen projiziert.

Für die mittlere Windgeschwindigkeit in 10 Meter Höhe werden leichte Änderungen projiziert, die sich jahreszeitlich unterscheiden: Für die Periode 2071-2100 wird im Winter eine Zunahme um ca. 5 Prozent ermittelt, während im Sommer eher eine leichte Abnahme zu erkennen ist. Die von den Klimamodellen projizierten Änderungen der Windgeschwindigkeit sind jedoch bisher noch mit großen Unsicherheiten behaftet. Dies gilt ebenso für Projektionen über Änderungen zur Anzahl der Stürme und für Extremwinde.

	2021-2050	2071-2100
<b>Jahresmitteltemperatur</b>	+ ca. 1°C	+ ca. 2,5°C
<b>Länge der Vegetationsperiode</b>	+ ca. 23 Tage	+ ca. 60 Tage
<b>Frosttage</b>	- ca. 31,5 %	- ca. 66 %
<b>Spätfröste (nach 1. April)</b>	- ca. 40 %	- ca. 90 %
<b>Dauer von Wärmeperioden</b>	unsicher	+ ca. 50 %
<b>Schneefall</b>	- ca. 30 %	- ca. 50 %
<b>Niederschläge</b>	+ 7 % im Jahresmittel, Zunahme in allen Jahreszeiten	Winter + ca. 18,5 % Frühjahr + ca. 11 % Sommer - 10 % Herbst + ca. 16,5 %
<b>Häufigkeit Starkniederschläge</b>	+ ca. 20 % (insb. im Herbst)	Winter, Frühjahr + ca. 40-50 % Sommer + ca. 8,5 % Herbst + ca. 75 %
<b>Mittlere Windgeschwindigkeit</b>	leichte Zunahme im Winter leichte Abnahme im Sommer (große Unsicherheiten)	leichte Zunahme im Winter leichte Abnahme im Sommer (große Unsicherheiten)

Tab. 1 Klimaänderungen in Niedersachsen, simuliert von den regionalen Klimamodellen REMO und CLM (Referenzperiode 1971-2000; Gebietsmittel für Niedersachsen – die Werte können regional stark abweichen; Bandbreiten der Klimaänderungssignale sind in den Abb. 15-20 angegeben; Datenquelle: KLIFF)

<sup>2</sup> Eine Berechnung der Klimaänderungssignale bis 2011-2040 bezogen auf 1961-1990 liefert tendenziell dieselben Resultate wie 2021-2050 bezogen auf 1971-2000.

## 4.2 Hintergrund

Im vierten Sachstandsbericht des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) wird zum ersten Mal offiziell festgestellt, dass die durch Menschen emittierten Treibhausgase (Kohlendioxid, Methan, Distickstoffoxid) einen signifikanten Beitrag zur beobachteten Klimaerwärmung leisten und diese sehr wahrscheinlich auch verursacht haben. Deshalb sind Klimaschutzmaßnahmen, zum Beispiel Emissionsminderungen, dringend erforderlich um den Klimawandel und drohende Klimafolgen abzumildern (Mitigation). Um ökologische und ökonomische Schäden als Folge der Klimaänderung zu reduzieren, müssen parallel zu den Emissionsminderungen jedoch auch adäquate, flexible Anpassungsstrategien (Adaptation) entwickelt werden (UNFCCC, 2010).

Um solche Anpassungsstrategien für Niedersachsen zu entwickeln, wurde vom Niedersächsischen Ministerium für Wissenschaft und Kultur der Forschungsverbund KLIFF (Klimafolgenforschung in Niedersachsen<sup>3</sup>) initiiert und finanziert, der im Jahr 2009 anließ und für eine Dauer von 5 Jahren konzipiert ist. Ziel von KLIFF ist es, die notwendige Wissensbasis zu schaffen, um sinnvolle und realisierbare Anpassungsstrategien an den Klimawandel zu entwickeln und um Wege aufzuzeigen, diese umzusetzen. Dabei wird für ausgewählte, vom Klimawandel möglicherweise besonders betroffene Regionen Niedersachsens interdisziplinär an Lösungskonzepten gearbeitet. Dieses Kapitel liefert eine Zusammenfassung von Informationen über das Klima in Niedersachsen, die für die Entwicklung von Anpassungsstrategien an den Klimawandel wichtig sind. Dazu gehören sowohl Informationen über das Klima in den vergangenen Dekaden und über bereits stattfindende Klimaveränderungen, als auch über die durch Klimamodelle gewonnenen Erkenntnisse über zukünftig mögliche Klimaveränderungen, die unter den Annahmen der vom IPCC entwickelten Szenarien projiziert werden. Die im Folgenden zusammengetragenen Ergebnisse stützen sich im Wesentlichen auf das in dem Verbundprojekt KLIFF zusammengetragene und erarbeitete Wissen auf dem Stand von Oktober 2011, enthalten aber auch Ergebnisse aus anderen Projekten wie KliO, Klimzug Nord, GwNM und KFM.

Die Grundlage für Aussagen über das Referenzklima bilden Beobachtungsdaten des Deutschen Wetterdienstes (DWD), die KLIFF (Stand Oktober 2011) zur Verfügung standen. Aussagen über zukünftige Klimaänderungen stützen sich auf ein Ensemble aus regionalen Klimaprojektionen für Deutschland. Analysiert werden die Klimaperioden 2021-2050 als mittelfristiger und 2071-2100 als langfristiger Zukunftszeitraum. Im Bericht sind Ergebnisse der Modelle WETTREG, CLM und REMO dargestellt und wurden, wenn möglich, verglichen. Die Betrachtung unterschiedlicher Zeiträume und Klimaparameter in den verschiedenen Kapiteln wurde themenspezifisch ausgewählt, um den sektoralen Anforderungen gerecht zu werden. So wird zum Beispiel Trockenheit aus Sicht verschiedener Sektoren mit unterschiedlichen Indikatoren und Schwellenwerten definiert (s. z.B. Kap. 5.3 Landwirtschaft). In der Gesamttendenz ist eine Zunahme der Trockenheit im Sommer in Niedersachsen wahrscheinlich.

---

<sup>3</sup> [www.kliff-niedersachsen.de](http://www.kliff-niedersachsen.de)

## 4.3 Gegenwärtiges Klima

### 4.3.1 Räumliche Gliederung des Bundeslandes Niedersachsen

Ein schematischer Überblick über die naturräumliche Gliederung des Bundeslandes Niedersachsen ist in Abb. 1 dargestellt. Niedersachsen erstreckt sich von der Küstenregion mit den vorgelagerten ostfriesischen Inseln im Nordwesten bis zu den Hochlagen von Solling und Harz im Südosten. Die höchste Erhebung ist der Wurmberg im Harz mit 971 m ü. NN. Während das Klima entlang der Küsten vor allem von Meer und Wind beeinflusst wird, wird es nach Osten und ins Landesinnere zunehmend kontinentaler. Die wichtigsten Flüsse sind die Elbe, die im Nordosten größtenteils die Landesgrenze zu Schleswig-Holstein und Hamburg bildet, die Weser mit den beiden Zuflüssen Aller und Leine, die den Süden und das Landeszentrum dominieren, sowie die Ems nahe der östlichen Grenze zu den Niederlanden.

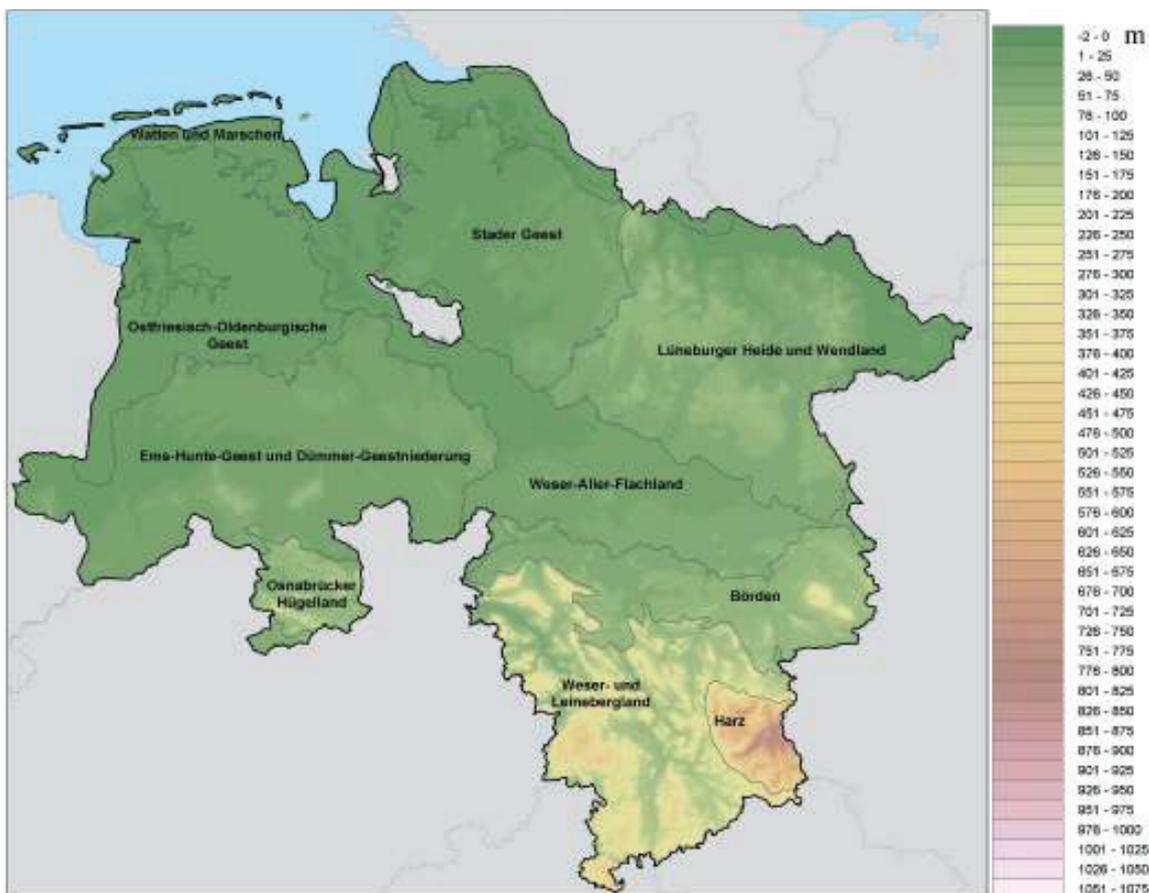


Abb. 1 Naturräumliche Gliederung nach dem niedersächsischen GEOSUM (GEOinformatiOnsSystemUMwelt)<sup>4</sup> und Topographie LBEG (DGM5)<sup>5</sup>

<sup>4</sup> Verfügbar im Internet unter [www.umwelt.niedersachsen.de/service/umweltinformationssysteme/geosum/8016.html](http://www.umwelt.niedersachsen.de/service/umweltinformationssysteme/geosum/8016.html) (Stand: April 2012).

<sup>5</sup> Datengrundlage DGM5 der Landesvermessung und Geobasisinformation Niedersachsen (LGN), korrigiert und berechnet durch LBEG/scilands (Stand: 2009).

### 4.3.2 Mittelwerte von Temperatur, Niederschlag und Wind

Die räumliche Verteilung der Temperaturmittel für die Periode 1971-2000 wird in Abb. 2 gezeigt.<sup>6</sup> Der Jahresmittelwert liegt einigermaßen gleichförmig verteilt zwischen 8 und 9,5 Grad Celsius, nur der Harz ist wegen der Höhenlage ganzjährig deutlich kühler. Im Winter ist eine Abnahme der Temperatur von Westen nach Osten zu beobachten, mit einem Temperaturmittel zwischen 2,5 und 3 Grad in der westlichen Küstenregion und der südwestlichen Grenzregion zu den Niederlanden bis zu 1 bis 1,5 Grad im Osten. In den Sommermonaten ist eine leichte Temperaturzunahme von Norden nach Süden zu beobachten, mit einem Mittelwert zwischen 15,5 und 16 Grad in Ostfriesland bis zu über 17 Grad in der Region Hannover, und einem erneuten Abfallen in den Höhenlagen im Süden. Diese räumlichen Verteilungen entsprechen auch den Temperaturverteilungen in Gesamtdeutschland (Panferov et al., 2009).

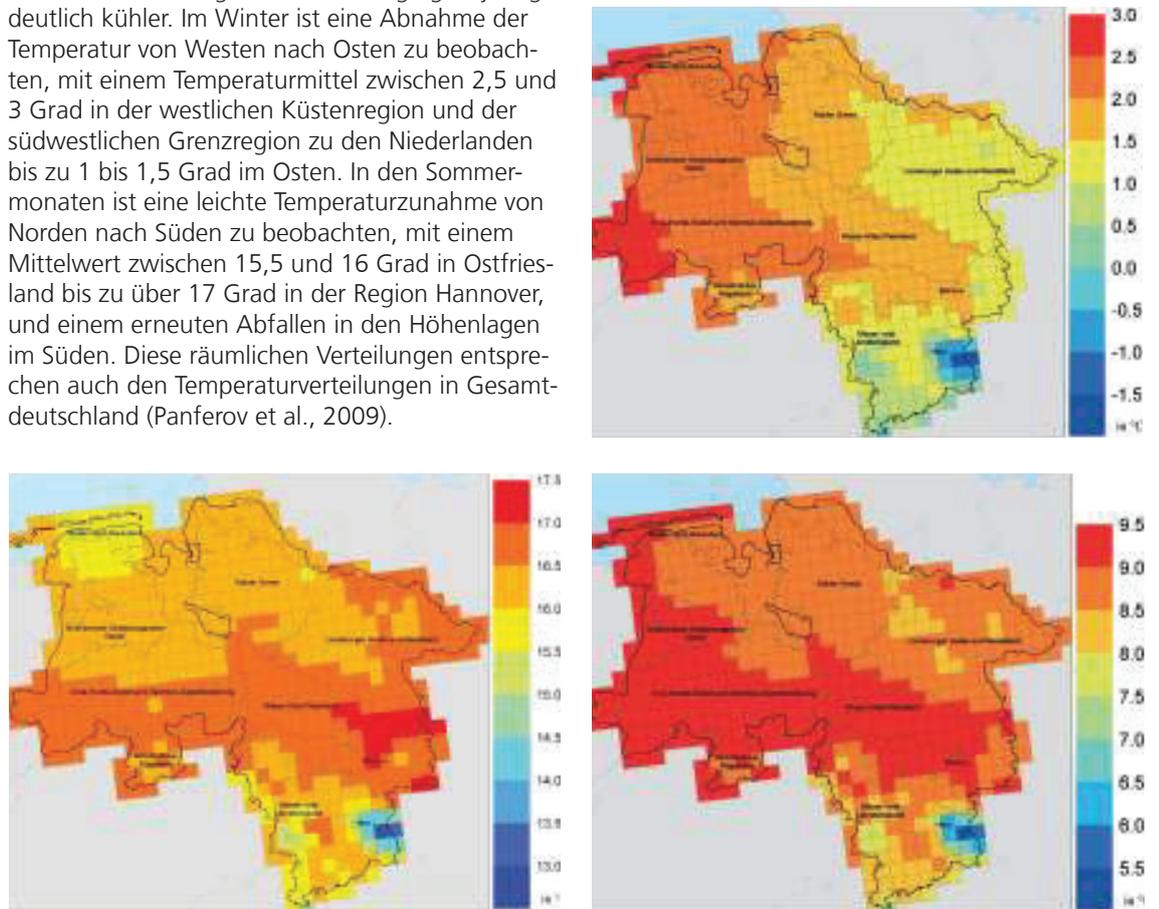


Abb. 2 Mitteltemperaturen der bodennahen Lufttemperatur in °C für 1971-2000. Oben: Wintermonate; unten links: Sommermonate, unten rechts: Jahresmittel. Man beachte die unterschiedlichen Farbskalen

<sup>6</sup> Als Bezugsdatensatz für das gegenwärtige Klima steht KLIF ein Beobachtungsdatensatz mit täglicher Auflösung zur Verfügung, der für den Zeitraum 1951 bis 2009 ausgehend von 771 Messstationen des DWD tägliche Niederschlagssummen und von 123 Klimastationen regionalisierte Tagesmittelwerte, sowie Tagesminima und Tagesmaxima der Lufttemperatur in 2 m Höhe für das Gesamtgebiet Niedersachsen liefert (Haberlandt et al., 2010a). Er liegt mit einer Auflösung von ca. 1x1 km vor. Die Anzahl der für die Regionalisierung verwendeten Stationen ist zeitlich nicht konstant, da nicht von allen Stationen lückenlose Daten für den gesamten Zeitraum vorliegen. Dieser Datensatz wurde auf das Gitter des regionalen Klimamodell REMO von ca. 10 km x 10 km horizontaler Auflösung aggregiert und dient in diesem und im folgenden Abschnitt als Grundlage für die Aussagen über Mittelwerte von Temperatur, Niederschlagssummen, sowie über einige Klimaindizes. Die folgenden Aussagen beziehen sich auf die Referenzperiode 1971 bis 2000.

Abb. 3 zeigt die räumliche Verteilung der mittleren monatlichen Niederschlagssummen. Auffällig ist wieder die Gebirgsregion des Harzes, die infolge orographischer Niederschläge (Steigungs- oder Stauniederschläge) bis zu 100 Prozent höhere Niederschläge aufweist, als die übrigen Gebiete. Der mittlere monatliche Jahresniederschlag zeigt ein West-Ost-Gefälle. Relativ hohe Niederschläge fallen an der Küste und im Westen des Landes mit zwischen 70 bis 80 Millimeter pro Monat, die geringsten an der südwestlichen Grenze zu Sachsen-Anhalt mit teils weniger als 50 Millimeter pro Monat. Eine ähnliche räumliche Verteilung ist in den Wintermonaten zu beobachten. Die im Flächenmittel höchsten Niederschläge fallen in den Sommermonaten. Im größten Teil des Landes fallen die geringsten Niederschläge im Frühjahr mit weniger als 70 Millimeter pro Monat.

Die Jahrgänge der Temperatur und des Niederschlags sind in Abb. 4 dargestellt. Es handelt sich um den Mittelwert der Gesamtlänge Niedersachsens. Der höchste Monatsmittelwert der Tagesmitteltemperaturen wird in den Monaten Juli und August mit ca. 17 Grad Celsius erreicht, der niedrigste im Januar mit 1 bis 2 Grad. Die Tageshöchstwerte variieren zwischen ca. 4 Grad im Januar und ca. 22 Grad im Juli und August, und die Tiefstwerte zwischen ca. -2 bis -1 Grad im Januar und ca. 12 Grad im Juli und August. Beim Niederschlag liegen die Höchstwerte im Juni und im Dezember mit 80 bis 85 Millimeter pro Monat, die Tiefstwerte im Februar mit ca. 50 Millimeter pro Monat.<sup>7</sup>

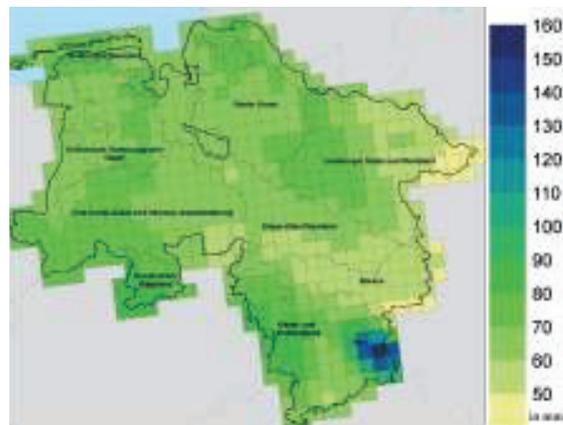


Abb. 3 Mittlere Monatssummen des Niederschlags in mm für 1971-2000. Oben: Wintermonate; unten links: Sommermonate; unten rechts: Jahresmittel

<sup>7</sup> Da Niederschlagsbeobachtungsdaten im Allgemeinen mit einer größeren Unsicherheit behaftet sind, als Beobachtungsdaten der Lufttemperatur, wurde in Abb. 4 zum Vergleich neben dem Bezugsdatensatz von Haberlandt et al. (2010a) zusätzlich der auf einem Gitter mit einer Auflösung von ca. 1 km vorliegende REGNIE-Niederschlagsbeobachtungsdatensatz des DWD (interner Bericht im DWD, 2011) dargestellt, in den im Wesentlichen dieselben DWD-Stationsdaten eingingen. Während im Sommerhalbjahr zwischen April und September beide Datensätze kaum voneinander abweichen, ist REGNIE im Winter bis zu ca. 3 mm pro Monat trockener als der Bezugsdatensatz. Diese Abweichung ergibt sich vermutlich hauptsächlich durch abweichende Niederschlagskorrekturen (Niederschlagskorrektur nach Richter, 1995), die u. a. im Winter bei Schneefall und gemischten Niederschlägen eine höhere Unsicherheitsquelle darstellen als im Sommer.

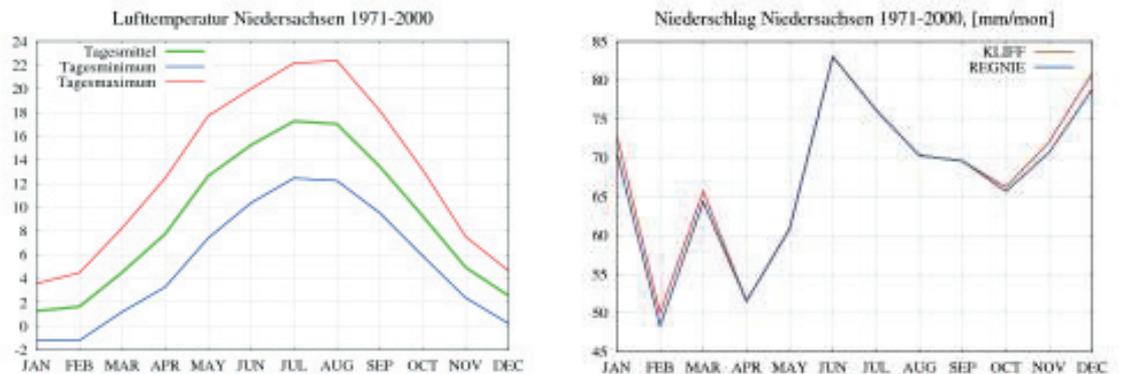


Abb. 4 Jahresgänge über das Gebietsmittel von Niedersachsen für 1971-2000. Links: Tagesmittel-, Tagesminimal- und Tagesmaximaltemperaturen [°C]. Rechts: Monatssummen des Niederschlags [mm] des Bezugsdatensatzes von Haberlandt et al. (2010a) („KLIFF“) und dem nach Richter (1995) korrigierten REGNIE-DWD Datensatz

Walter et al. (2006) haben DWD-Messungen der Windgeschwindigkeit auf 10 Meter Höhe für die Periode 1979-1993 auf ein 1x1-Kilometer-Gitter interpoliert und analysiert. Die zeitlichen Mittelwerte über diese Periode zeigten eine deutliche Nord-Süd-Abnahme der Windgeschwindigkeit von 5 bis 6 m/s an der Küste bis zu 1 bis 2 m/s in Südniedersachsen. In der Harzregion steigen die Geschwindigkeiten wegen der Höhenlage mit über 7 m/s erneut an.

### 4.3.3 Extremereignisse und Klimaindizes

Neben den Mittelwerten von Klimavariablen über einen langjährigen Zeitraum spielt auch deren Verteilung eine wichtige Rolle. Temperaturen und Niederschläge können kurzzeitig stark von den Mittelwerten abweichen (Extremereignisse). Um Aussagen über die Häufigkeit des Auftretens von Extremereignissen treffen zu können, werden aus den vorliegenden Beobachtungsdaten sog. Klimaindizes berechnet. Einige dieser Indizes wurden aus den oben beschriebenen täglichen Beobachtungsdaten von HABERLANDT ET AL. (2010a) für Mittel-, Minimal- und Maximaltemperaturen (Temperaturindizes) und Niederschlägen (Niederschlagsindizes) für Niedersachsen abgeleitet und in den Abb. 5 bis 8 dargestellt. Alle Indizes wurden über den Zeitraum 1971-2000 gemittelt.

Temperaturindizes:

- *Wärmepериодendauer*: Es wird die maximale Anzahl an aufeinander folgenden Tagen im Jahr angegeben, an denen die Maximaltemperatur 25 Grad Celsius überschreitet.
- *Länge der thermischen Vegetationsperiode*: Angegeben wird die Anzahl an Tagen im Jahr zwischen dem ersten Auftreten von mindes-

- tens 6 aufeinanderfolgenden Tagen, an der die Tagesmitteltemperatur 5 Grad überschreitet (Beginn der Vegetationsperiode), und dem ersten Auftreten von mindestens 6 aufeinanderfolgenden Tagen der zweiten Jahreshälfte, an denen die Tagesmitteltemperatur 5 Grad unterschreitet (Ende der Vegetationsperiode).
- *Frosttage und Spätfröste*: Die Anzahl der Frosttage ist die Anzahl der Tage im Jahr, an denen die Tagesminimaltemperatur den Gefrierpunkt unterschreitet. Frosttage, die ab dem 1. April oder später auftreten, werden als Spätfröste gezählt.

Während an den Küsten kaum Wärmeperioden vorkommen, treten im Landesinneren insbesondere an der Ostgrenze Niedersachsens jedes Jahr im Mittel zwischen 8 bis 9 Tage dauernde Wärmeperioden auf. Die thermische Vegetationsperiode dauert im größten Teil des Landes zwischen 240 und 280 Tage, an der südwestlichen Grenze zu den Niederlanden etwas länger. In der Harzregion ist sie wegen der tieferen Temperaturen deutlich kürzer (bis 170 Tage). Die meisten Frosttage treten mit im Mittel über 80 Tagen in den Höhenlagen der Mittelgebirge auf. Auch in den östlichen Tieflagen entlang der Elbe kommen im Jahresmittel bis stellenweise über 80 Frosttage vor. Dort treten im Jahresmittel auch bis zu 8 Spätfröste auf. Die geringste Anzahl an Frosttagen ist erwartungsgemäß an der ostfriesischen Küste zu beobachten (zwischen 50 und 60). Hier gibt es auch kaum Spätfröste.

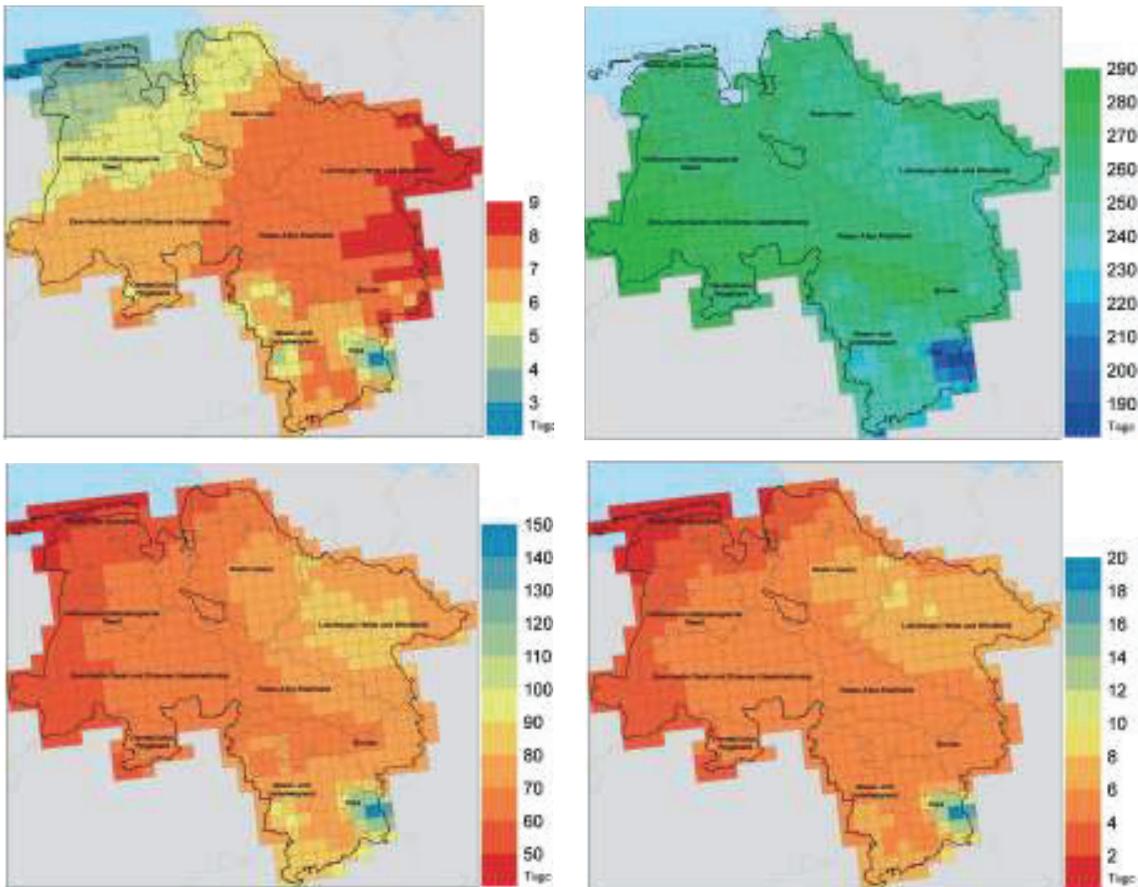


Abb. 5 Vier Temperaturindizes (jeweils mittlere Anzahl von Tagen im Jahr). Oben links: Wärmeperiodendauer; oben rechts: Dauer der Vegetationsperiode; unten links: Anzahl Frosttage; unten rechts: Anzahl Spätfröste nach dem 1. April. Man beachte die unterschiedlichen Farbskalen. Mittelungszeitraum: 1971-2000

### Niederschlagsindizes:

- **Starkniederschlagstage (Abb. 6):** Es wird die Anzahl an Tagen einer Jahreszeit (d.h. eines dreimonatigen Zeitraums) gezählt, an denen die Niederschlagssumme 20 Millimeter überschreitet.
- **Größte 5-Tages-Niederschlagssumme (Abb. 7):** Es wird die höchste Niederschlagsmenge in Millimeter innerhalb einer Jahreszeit (d.h. eines dreimonatigen Zeitraums) angegeben, die innerhalb eines 5-Tages-Zeitraums fällt.
- **Dauer der Trockenperiode (Abb. 8):** Für das Sommerhalbjahr April bis September wird die maximale Anzahl aufeinander folgender Tage angegeben, an denen weniger als 1 Millimeter Niederschlag fällt.

Die Anzahl der Starkniederschlagstage variiert vor allem jahreszeitlich. Im Winter tritt im Mittel weniger als ein Starkniederschlagstag auf. Dies bedeutet, dass im Süden Niedersachsens nur in jedem zweiten Winter, im Zentrum und Norden des Landes nur in jedem dritten Winter mit dem Auftreten eines Tages mit mehr als 20 Millimeter Niederschlag gerechnet werden muss. Das Gleiche gilt für den Frühling. Im Sommer dagegen liegt

die mittlere Zahl an Tagen mit Starkniederschlägen relativ gleichmäßig über Niedersachsen verteilt zwischen 1 und 2. Im Herbst dagegen ist ein West-Ost Gefälle zu beobachten. Im Westen, an den Küsten, aber auch im Süden, gibt es im Mittel zwischen 1 und 2 Tage mit Starkniederschlägen, an der Ostgrenze zu Sachsen-Anhalt sind es weniger als 1 Tag. Nur im Harz ist die Zahl der Tage mit Starkniederschlägen im Mittel größer als 2.

Die größten 5-Tages Niederschlagssummen, die für das Auftreten von Hochwasserereignissen relevant sein können, sind räumlich und zeitlich etwas gleichmäßiger verteilt. Sie reichen von 30 bis 40 Millimeter im Winter und Herbst (im Osten) und Frühjahr (größter Teil des Nordens), bis über 50 Millimeter im Herbst (Küstenregion und südliches Weser-Grenzgebiet zu Nordrhein-Westfalen). Im Sommer dagegen liegen sie relativ konstant bei ca. 45 bis 50 Millimeter. Eine Ausnahme sowohl bei den Tagen mit Starkniederschlägen als auch bei den 5-Tages Niederschlagssummen bildet wiederum der Harz, wo diese beiden Niederschlagsextreme deutlich häufiger sind.

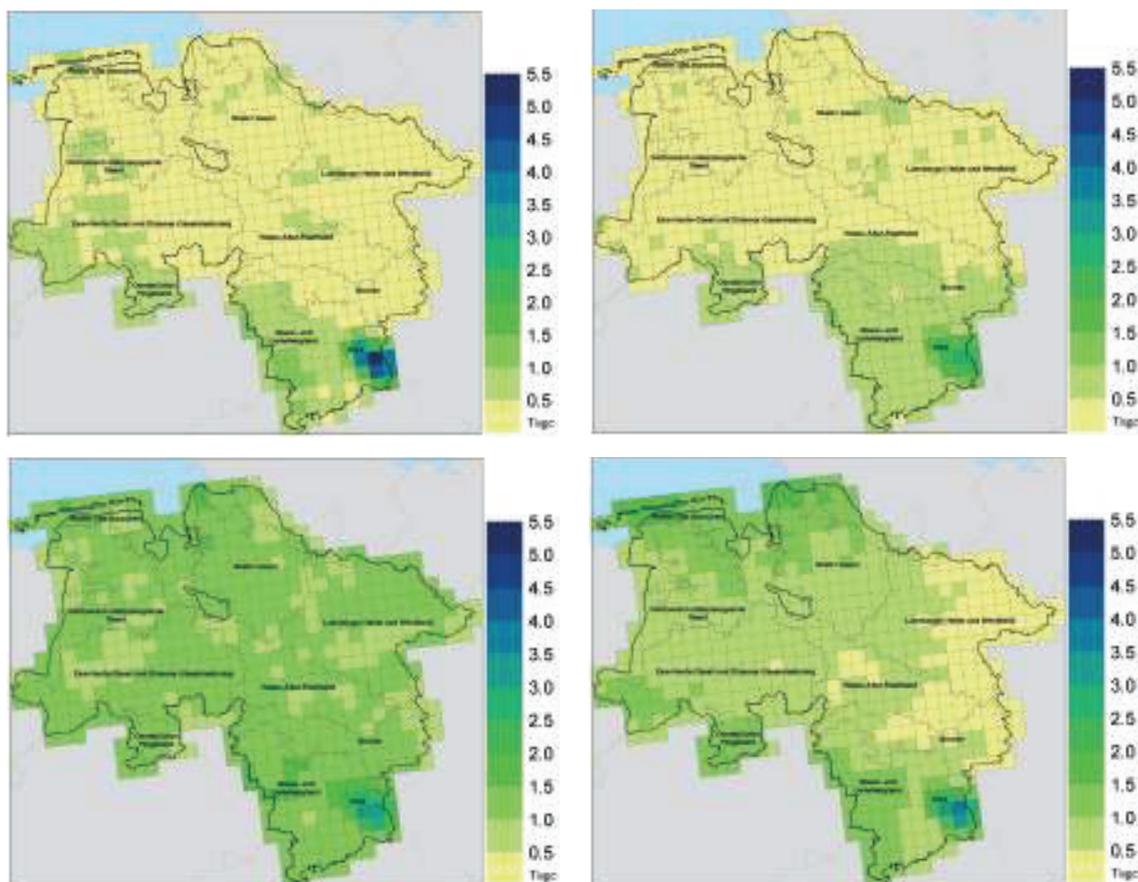


Abb. 6 Mittlere Anzahl der Starkniederschlagstage (Tagessumme > 20 mm) pro 3-Monats-Zeitraum für Winter (oben links), Frühjahr (oben rechts), Sommer (unten links), Herbst (unten rechts) Zeitraum 1971-2000

Die längsten Trockenperioden im Sommerhalbjahr dauern im größten Teil des Landes (Norden, Westen und Zentrum) im Mittel zwischen 16 und 17 Tage. An der Ostgrenze zu Sachsen-Anhalt, wo die geringsten Niederschläge fallen, sind sie mit ca. 18 Tagen etwas länger. Im Süden um Göttingen und in den Mittelgebirgen sind sie mit 13 bis 16 Tagen etwas kürzer.

Sehr wichtige Extremereignisse sind Stürme, da sie große Schäden verursachen können. Ein Beispiel für Niedersachsen war der Orkan Quimburga oder sogenannte Niedersachsenorkan, der am 13.11.1972 Windgeschwindigkeiten von über 200 km/h erreichte und der in Norddeutschland, aber hauptsächlich in Niedersachsen, über 1 Milliarde DM an Schäden verursacht sowie größere Gebiete entwaldet hat (> 100.000 Hektar). Besonders starke Stürme treten vor allem in den Wintermonaten auf.

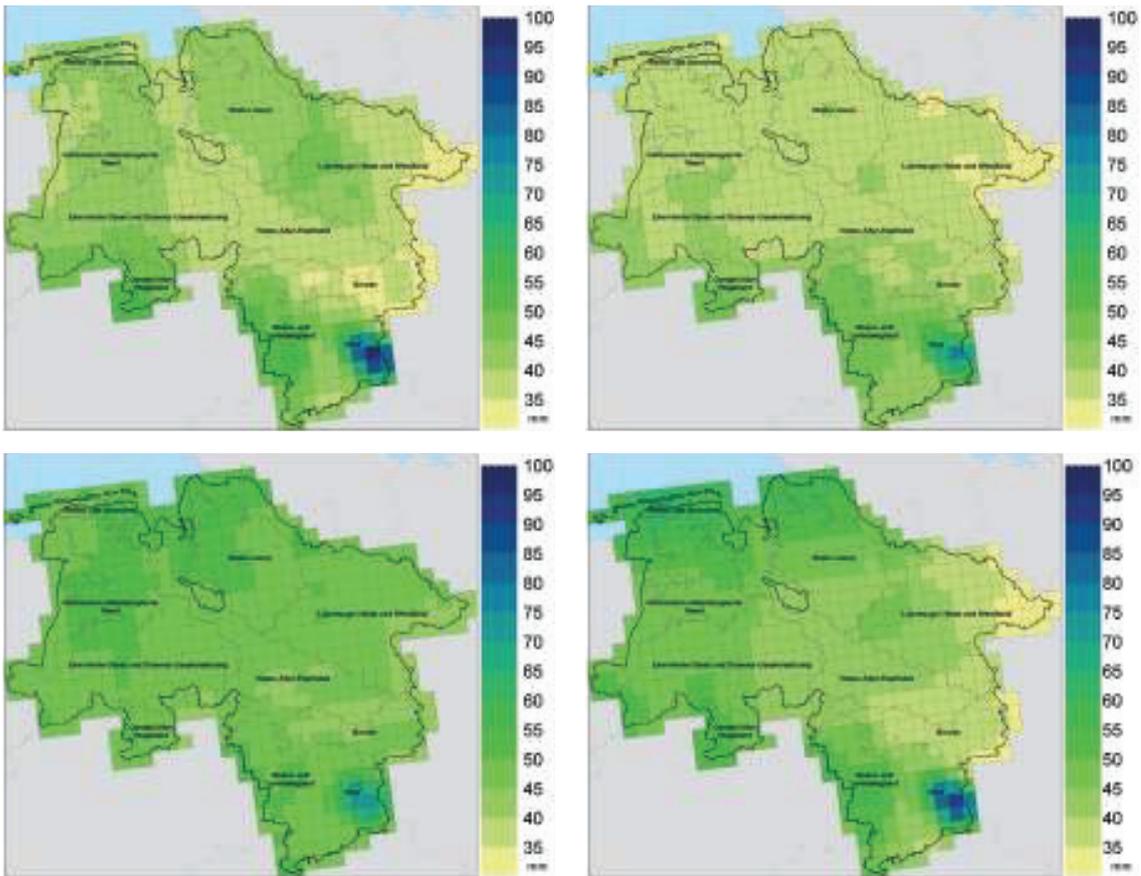


Abb. 7 Mittlere größte 5-Tages-Niederschlagssumme (in mm) pro 3-Monats-Zeitraum für Winter, Frühjahr, Sommer, Herbst (Jahreszeiten wie in Abb.6). Zeitraum 1971-2000

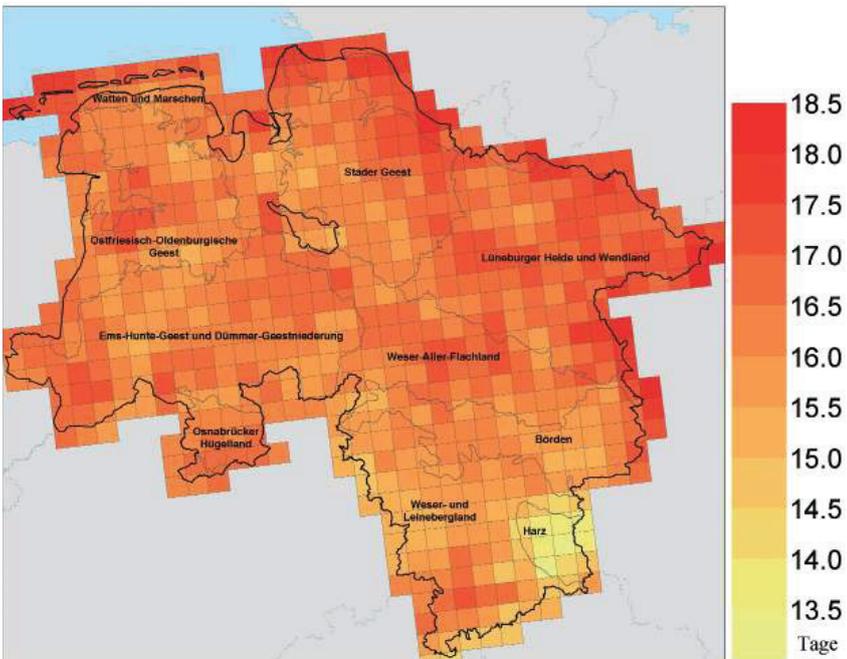


Abb. 8 Maximale Dauer der Trockenperiode im Sommerhalbjahr (April-September) in Tagen gemittelt über 1971-2000

#### 4.3.4 Aussagen über bisherige Klimaveränderungen in Niedersachsen

Die vom Deutschen Wetterdienst (DWD) beschriebenen Änderungen der jahreszeitlichen Mittelwerte von Lufttemperatur, Niederschlags-, und Sonnenscheindauern in Niedersachsen von 1881-2009 sind in Abb. 9 wiedergegeben. Demnach gab es eine Erhöhung der Jahresmitteltemperatur um 1,2 Grad Celsius. Im Vergleich dazu wird für das Deutschlandmittel eine Erhöhung um 1,07 Grad angegeben. Die Niederschlagsmenge erhöhte sich im Winter um ca. 30 Prozent, während sie im Sommer annähernd konstant blieb. Im Jahresmittel wurde eine Niederschlags-erhöhung von 15 Prozent angegeben. Die Sonnenscheindauer erhöhte sich im Winter deutlich um 17 Prozent, in den übrigen Jahreszeiten nur wenig. Bemerkenswert ist die gleichzeitige sehr starke Erhöhung des Niederschlags und der Sonnenscheindauer in Winter, was indirekt die Erhöhung des Anteils der Starkniederschläge an der Niederschlagssumme im Winter zeigt.

Von Haberlandt et al. (2010b) wurden Zeitreihen von 18 Temperaturstationen und 263 Niederschlagsstationen des DWD in Niedersachsen für den Zeitraum von 1951 bis 2005, sowie einige daraus abgeleiteter Klimaindizes, auf Trends untersucht.<sup>8</sup>

Die wichtigsten Ergebnisse für die Temperatur:

- Die Änderungen der Temperatur von 1951 bis 2005 betragen über ganz Niedersachsen für das Gesamtjahr ungefähr +1,6 Grad für die Tages-tiefst- und höchstwerte (10-Prozent-Quantil der Tagesminimal- und 90-Prozent-Quantil der Tagesmaximaltemperatur) (Abb. 10) und +1,3 Grad für den Mittelwert. Gleichzeitig nimmt die Anzahl der Frosttage um 23 Tage im Jahr ab und die Wärmeperiodendauer zu.
- Saisonal differenziert nimmt die Temperatur im Winter, Frühling und Sommer zu. Im Herbst kann nur eine Zunahme der Wärmeperiodendauer festgestellt werden.
- Ein räumliches Muster der Trends in den Temperaturindizes ist auf der Grundlage der verwendeten Datenbasis nicht erkennbar.

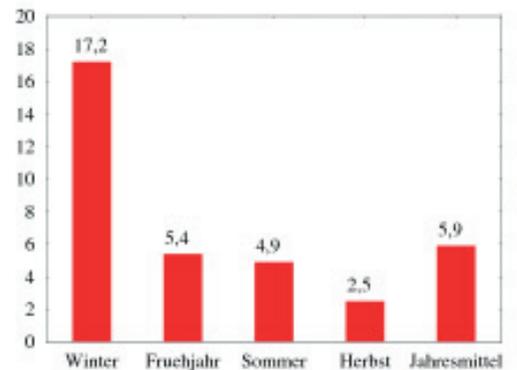
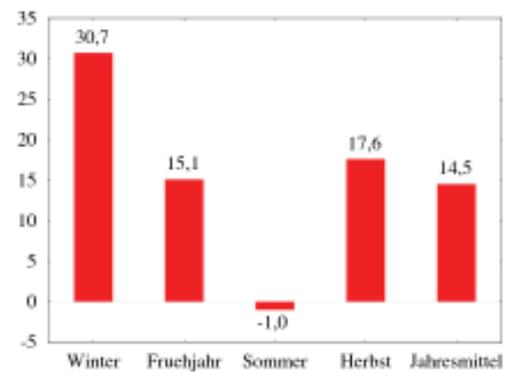
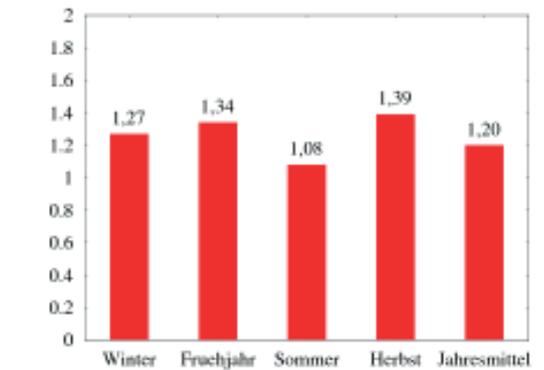
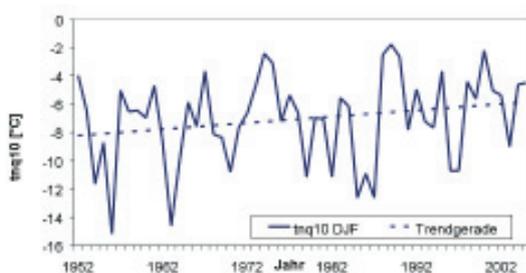


Abb. 9 Änderung der mittleren Temperatur in 2 Metern Höhe, des Niederschlags und der Sonnenscheindauer im Gebietsmittel über Niedersachsen seit 1881. Zahlenwerte wurden vom DWD übernommen

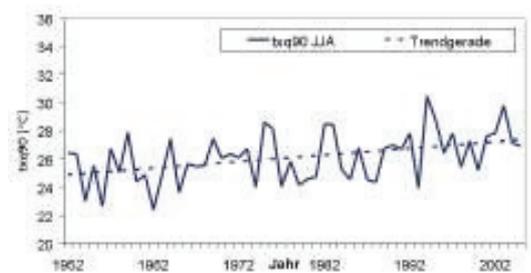


Abb. 10 Zeitreihen und Trends der Minimaltemperatur (tnq10: 10Prozent-Quantil der Tagesminima) im Winter (links) und der Maximaltemperatur (txq90: 90Prozent-Quantil der Tagesmaxima) im Sommer (rechts) gemittelt über alle 18 Klimastationen des DWD in Niedersachsen für den Zeitraum von 1951 bis 2005

<sup>8</sup> Die kürzere Periode 1951-2005 wurde gewählt, um einen hinreichenden Zeitraum kontinuierlicher Beobachtungen und einen ausreichenden Stichprobenumfang der Temperatur- und Niederschlagsstationen, sowie Vergleichbarkeit mit anderen Untersuchungen zu gewährleisten.

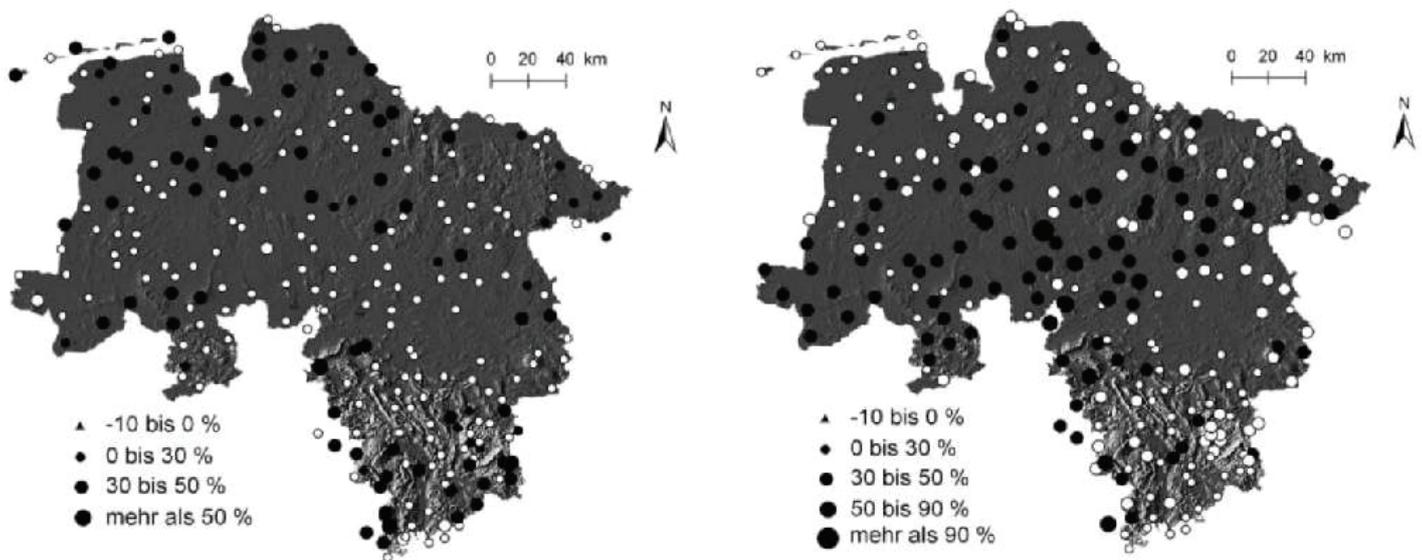


Abb. 11 Räumliche Verteilung von Niederschlagstrends in Niedersachsen im Zeitraum von 1951-2005. Links: 90 Prozent-Quantil des täglichen Niederschlages im Winter, rechts: Trockendauer im Sommer, (Kreise = positive Trends, Dreiecke = negative Trends, ausgefüllte Symbole = signifikante Trends, Größe der Symbole zeigt Stärke der Trends in Prozent)

Die wichtigsten Ergebnisse für den Niederschlag:

- Es wurde eine Zunahme der Niederschläge im Winter (Abb. 11 links), Frühjahr und Herbst und eine Abnahme im Sommer (nicht gezeigt) festgestellt. Dagegen nimmt die Trockendauer im Sommer zu (Abb. 11 rechts) und im Herbst ab.
- Die stärksten prozentualen Niederschlagszunahmen in der Zeit von 1951-2005, gemittelt über ganz Niedersachsen, sind im Winter für den Anteil des Niederschlages an der Gesamtjahressumme und die Anzahl von Tagen mit extremen Niederschlägen zu finden.
- Räumlich gesehen sind die winterlichen Niederschlagszunahmen vor allem im Norden und Süden und die Zunahme der Dauer der Trockenperioden in den letzten 50 Jahren insbesondere im zentralen Teil von Niedersachsen signifikant.

Aussagen über Veränderungen von Windgeschwindigkeit und Stürmen:

Eine Analyse der Windmessungen des DWD von Walter et al. (2006) zeigte, dass für den Zeitraum 1951-2001 kein statistisch signifikanter Trend der mittleren Windgeschwindigkeit für Deutschland beobachtet wird.

Die Ergebnisse über die Frequenz und Intensität der Stürme in Mittel- und Nordeuropa sind sehr kontrovers. Einerseits zeigen die Arbeiten von Leckebusch et al. (2008) und Wang et al. (2009) für den Nordatlantik eine Erhöhung der Sturmfrequenz in den letzten Dekaden, und Alexander et al. (2005) berichteten über die Erhöhung der Anzahl starker Stürme seit 1950. Andererseits zeigten Alexander et al. (2005), Miller (2003), die Arbeiten der WASA Group (1998), Barring und von Storch (2004) und Matulla et al. (2008), dass die jährliche Variabilität der Anzahl und Stärke der Stürme in Europa innerhalb der letzten 130 Jahren sehr stark variiert hat, und dass die in 90 Jahren beobachtete Sturmfrequenzerhöhung innerhalb der natürlichen Variabilität liegt. Wang et al. (2009) argumentieren jedoch, dass sich die saisonale Verteilung der Stürme stark verändert hat, so dass heute auftretende starke Winterstürme mit früheren starken Sommerstürmen verglichen werden können.

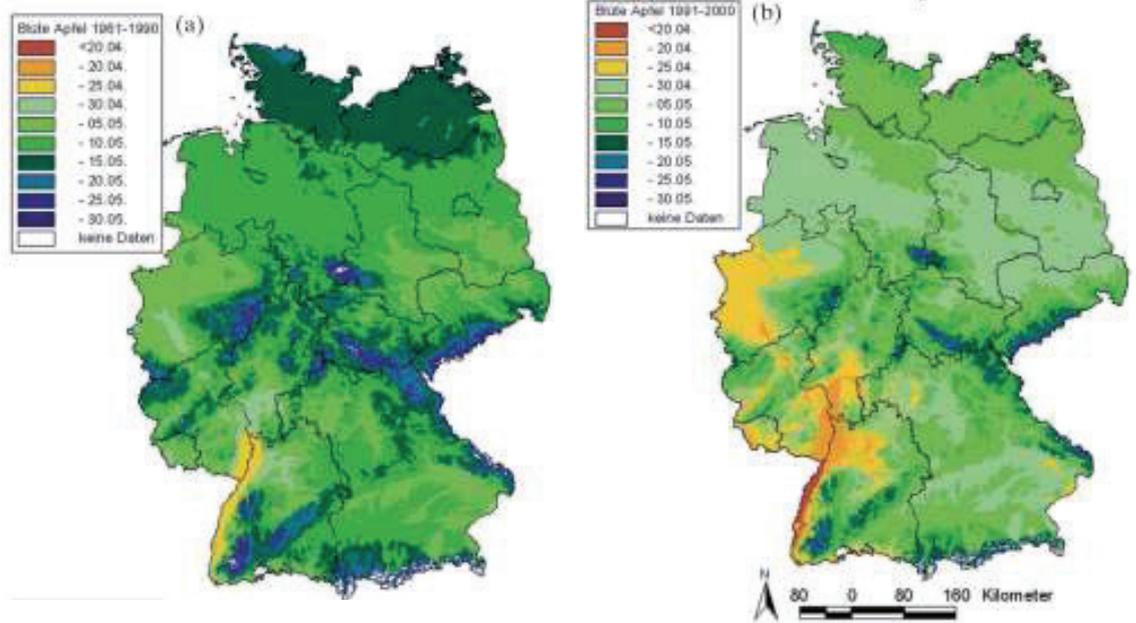


Abb. 12 Mittlerer Beginn der Apfelblüte in Deutschland in Tagen nach Jahresbeginn. (a) 1961-1990. (b) 1991-2000. Quelle: Chmielewski (2007a)

#### Veränderungen in der Vegetationsperiode:

Der DWD stellt phänologische Beobachtungen weit verbreiteter Wildpflanzen, Forst- und Ziergehölze, der wichtigsten landwirtschaftlichen Kulturen sowie häufig angebaute Obstgehölze und Weinreben zur Verfügung. Ein Trend hin zu einem früheren Beginn und einer längeren Dauer der Vegetationsperiode in Deutschland ist erkennbar. Die räumliche Verteilung des mittleren Beginns der Apfelblüte in Gesamtdeutschland, die hier als Beispiel dienen soll, für den 30-jährigen Zeitraum 1961-1990 im Vergleich zu dem 10-jährigen Zeitraum 1991-2000 zeigt Abb. 12, Chmielewski (2007a). Demnach hat sich die Apfelblüte in Niedersachsen, die im Zeitraum von 1961-1990 zwischen dem 5. und dem 10. Mai lag, in dem Jahrzehnt von 1990-2001 um bis zu 10 Tage nach vorne verschoben.

Weitere Informationen über Änderungen in der Vegetationsperiode in Deutschland, aber auch zu modellierten Änderungen in Klimaänderungsszenarien, finden sich bei Chmielewski et al. (2007b).

## 4.4 Regionale Klimaprojektionen: Modelle

In diesem Abschnitt wird ein kurzer Überblick über die in diesem Kapitel verwendeten Klimaszenarien, Klimamodellierungen und regionale Klimaprojektionen gegeben. Eine ausführliche Darstellung wird demnächst als Bericht des Hamburger Climate Service Centers (CSC) erscheinen.<sup>9</sup>

### 4.4.1 Klimaszenarien

Um mögliche Entwicklungen des Klimas im 21. Jahrhundert besser abschätzen zu können, wurden im Rahmen des IPCC globale Emissionsszenarien klimawirksamer Treibhausgase erstellt. Diese werden Special Report Emission Scenarios genannt, kurz SRES (IPCC 2000). Die SRES-Hauptszenarien A1, B1, A2 und B2 treffen verschiedene Annahmen zur möglichen Entwicklung der Bevölkerung, der Weltwirtschaft und des technologischen Fortschritts. Die IPCC-Arbeitsgruppe III erstellt nach diesen Vorgaben Emissionsszenarien für die wichtigsten klimawirksamen Gase und Aerosole und berechnet daraus den zeitlichen Verlauf der atmosphärischen Konzentrationen, die wiederum in Klimamodelle einfließen.

Mit dem globalen gekoppelten atmosphärischen und ozeanischen Klimamodellsystem ECHAM5-MPIOM wurden im Rahmen des Vierten Sachstandsberichts des IPCC Klimaprojektionen erstellt. Dabei wurden beobachtete Treibhausgaskonzentrationen für die Vergangenheit sowie projizierte Treibhausgaskonzentrationen entsprechend der Emissionsszenarien SRES A1B, A2 und B1 berücksichtigt (MPI-M 2006).<sup>10</sup> Die für die verschiedenen Szenarien getroffenen Annahmen über die Emissionen des Treibhausgases CO<sub>2</sub>, sowie die sich daraus ergebenden Konzentrationen sind in Abb. 13 dargestellt. Die CO<sub>2</sub>-Konzentration ist nicht nur klimawirksam, sondern hat auch Einfluss auf das Pflanzenwachstum und auf den Säuregehalt der Meere, und damit auf die Biosphäre. Für den kommenden Fünften IPCC-Sachstandsbericht wurden neue Szenarien – Representative Concentration Pathways, RCP – entwickelt, die sich jedoch mit den bisher verwendeten SRES-Szenarien vergleichen lassen (Moss et al. 2010).

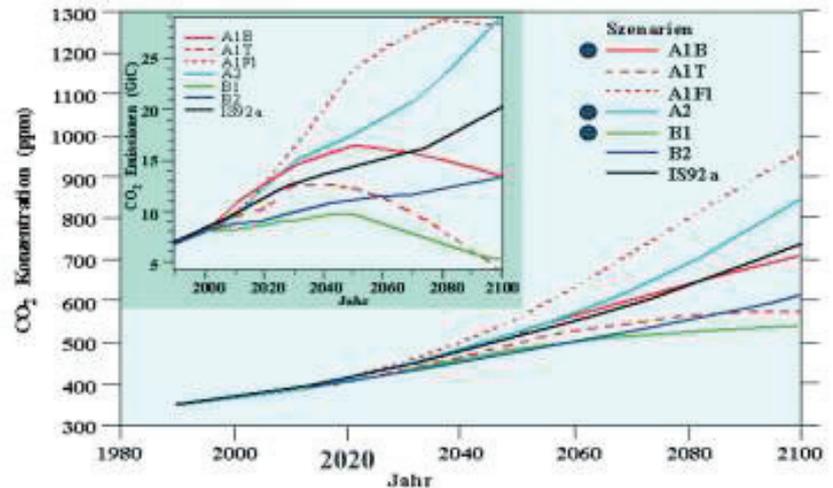


Abb. 13 Emission (innerer Graph) und Konzentration (äußerer Graph) des Gases CO<sub>2</sub>

### 4.4.2 Regionale Klimamodellierungen und ihre Grenzen

Um die Auswirkungen globaler Klimaänderungen auf regionaler Ebene zu untersuchen, werden zusätzliche Simulationen mit statistischen und dynamischen regionalen Klimamodellen durchgeführt. Diese verwenden die global simulierten großskaligen Strömungen der Atmosphäre und verfeinern diese für bestimmte kleinere Regionen der Erde. So ist es möglich, wie mit einer Lupe, eine spezielle Region detaillierter zu untersuchen und damit eine Brücke zwischen globalen Klimaänderungen und regionalen Ausprägungen zu schlagen. Durch die höhere horizontale Gitterauflösung liefern regionale Modelle wesentlich kleinräumigere Klimainformationen durch die bessere Repräsentation der Landoberfläche im Vergleich zu Globalmodellen. Zusätzlich wird eine wesentlich höhere Genauigkeit<sup>11</sup> bei der Simulation seltener kleinräumiger Extremereignisse, wie z.B. sommerlicher Starkniederschläge, erreicht.

<sup>9</sup> Jacob et al., 2012: Regionale Klimasimulationen für Europa und Deutschland.

<sup>10</sup> Für das Klima in der Vergangenheit wurden drei Realisierungen (d.h. Klimasimulationen mit gleichem Modell und Szenario aber leicht unterschiedlichen Anfangs- bzw. Randbedingungen) simuliert, die sich jeweils durch leicht unterschiedliche Initialisierungsbedingungen unterscheiden. Diese drei Simulationen der Kontrollperiode von 1950 bis 2000 erfassen jeweils eine Möglichkeit der Entwicklung des Klimas unter den beobachteten Treibhausgaskonzentrationen in der Atmosphäre. Sie sind alle gleich wahrscheinlich und ihre Spannweite resultiert aus der natürlichen Variabilität des Klimas. Den Kontrollsimulationen folgen jeweils drei Realisierungen der Klimaszenarien A1B, A2 und B1, d.h. es gibt insgesamt 9 Szenariensimulationen.

<sup>11</sup> Die für die folgenden Auswertungen verwendeten regionalen Klimasimulationen haben horizontale Auflösungen zwischen 18 km und 10 km, während die globalen Klimasimulationen des Globalmodells ECHAM5/MPI-OM, aus denen sie erzeugt wurden, eine wesentlich gröbere horizontale Auflösung von ca. 200 km haben.

## Grenzen der regionalen Klimamodellierung und Ensemble-Ansatz

Wenn Klimamodelle zur Projektion möglicher zukünftiger Entwicklungen des Klimas herangezogen werden sollen, dann müssen auch die Unsicherheiten in den Simulationsergebnissen benannt und quantitativ abgeschätzt werden. Üblicherweise werden drei Quellen von Unsicherheiten bei den Projektionen unterschieden, die unabhängig voneinander abgeschätzt werden müssen, sich jedoch gegenseitig beeinflussen:

- *Unsicherheiten in den Emissionsszenarien:* Da wir die zukünftige politische und wirtschaftliche Entwicklung nicht kennen, wurden die IPCC-Emissionsszenarien entwickelt, um eine mögliche Bandbreite des menschlichen Einflusses auf das Klima (z.B. Treibhausgasemission und Landnutzung) abbilden zu können.
- *Unsicherheiten durch die interne Modellvariabilität:* Das Klimasystem ist ein nichtlineares System, das keine exakten Vorhersagen zulässt. Klimasimulationen mit minimal unterschiedlichen Anfangs- oder Randbedingungen können sich nach kurzer Zeit stark voneinander unterscheiden, selbst wenn sie mit demselben Klimamodell durchgeführt wurden (Schmetterlingseffekt, Lorenz 1963). Die verschiedenen Zeitverläufe, die sich dadurch ergeben, werden üblicherweise als „Realisierungen“ (siehe Glossar) bezeichnet.
- *Unsicherheiten durch Modellungenauigkeiten:* Systematisch signifikante Abweichungen der Simulationsergebnisse vom tatsächlich beobachteten Klima (engl. „Bias“, siehe Glossar) ergeben sich durch eine unrealistische Beschreibung physikalischer Prozesse und können durch Modellvalidierung mittels Vergleich mit Messungen erkannt werden.

Die Unsicherheit durch die interne Modellvariabilität spielt auf kurzen Zeitskalen eine dominierende Rolle, während sie durch Mittelung über längere Zeitperioden, zum Beispiel 30-Jahre, geringer wird. Aus diesem Grund werden für Aussagen zu möglichen Klimaänderungen immer verschiedene Perioden von etwa 30 Jahren miteinander verglichen. Die Unsicherheit durch das Emissionsszenario spielt erst auf sehr langen Zeitskalen eine Rolle, wird aber selbst am Ende des 21. Jahrhunderts noch teilweise von der Unsicherheit durch Modellungenauigkeiten übertroffen.

Um die mögliche Bandbreite der projizierten Klimaänderungen zu berücksichtigen, wird

ein Ensemble-Ansatz angewendet. Dazu werden eine möglichst große Anzahl von Klimasimulationen herangezogen und zwar unter der kombinierten Verwendung von

- möglichst vielen Emissionsszenarien,
- möglichst vielen Realisierungen eines Szenarios mit demselben Globalmodell,
- möglichst vielen Kombinationen aus Global- und Regionalmodellen.

Eine solche Vorgehensweise wurde in dem EU-FP6-Projekt ENSEMBLES realisiert. Eine ausführliche Diskussion der Ergebnisse der Auswertung des Modellensembles und der Unsicherheiten ist im ENSEMBLES Abschlussbericht (2009) zu finden. Diese Vorgehensweise wird international auch für weitere Studien empfohlen.

Ein Simulationsensemble liefert einen Trend und eine Bandbreite von Klimaänderungssignalen. Dies ermöglicht robustere Aussagen über mögliche zukünftige Klimaentwicklungen als die Verwendung nur einer einzelnen Klimasimulation (zum Begriff „Robustheit“ siehe Glossar). Die Daten aus dem Simulationsensemble müssen dann möglichst vollständig in die Wirkmodelle einfließen, um auch in den Ergebnissen der Wirkmodelle die Bandbreite möglicher Klimaveränderungen aufzeigen zu können. Hierzu besteht noch ein großer Forschungsbedarf.

Es wird empfohlen, für Anpassungsstudien alle zur Verfügung stehenden Informationen (Beobachtungen, Ergebnisse verschiedener Klimamodelle und verschiedener Emissionsszenarien) zu berücksichtigen. Bis etwa zur Mitte dieses Jahrhunderts können diese Ergebnisse zu einem großen Ensemble zusammengefasst betrachtet werden, danach sind die Veränderungen stark von dem jeweiligen Emissionsszenario abhängig und sollten getrennt untersucht werden.

Es muss betont werden, dass generell für die Analyse der Klimaveränderungen keine bias-korrigierten Klimamodelldaten verwendet werden, wie dies gelegentlich bei Klimawirkmodellen der Fall ist. Es wird angenommen, dass trotz des Bias der modellierten Absolutwerte der Klimavariablen die berechneten Klimaänderungssignale, die in Kapitel 4 angegeben werden, relativ robust sind. Für die Wirkmodellierung sind jedoch meist nicht die relativen Änderungssignale, sondern die absoluten Werte der Klimavariablen entscheidend, weshalb hierfür Bias-Korrekturen verwendet werden (Mudelsee et al. 2010). Unabhängig davon, ob biaskorrigierte oder unkorrigierte Modellsimulationen herangezogen werden, sollten sich die Wirkmodellbetreiber über die systematischen Fehler der verwendeten Daten informieren.

#### 4.4.3 Das für KLIFF verwendete Ensemble aus regionalen Klimasimulationen

Innerhalb des Projektes KLIFF werden Klimasimulationen der dynamischen Regionalmodelle REMO und CLM verwendet. Beide Modelle werden von Klimasimulationen der globalen IPCC/AR4-Klimasimulationen des gekoppelten Modellsystems ECHAM5-MPIOM angetrieben. Verwendet wurden neun REMO-Simulationen mit jeweils drei Realisierungen des Globalmodells, die sich jeweils in die Szenarien A1B, A2 und B1 aufspalten und eine horizontale Auflösung von ca. 10 x 10 Kilometer aufweisen. Weiter werden 4 CLM-Simulationen mit jeweils 2 A1B- und B1-Realisierungen und einer horizontalen Auflösung von ca. 18 x 18 Kilometer herangezogen. Auch stehen die Daten des statistischen Regionalmodells WETTREG in den Versionen 2006 (Spekat et al. 2007) und 2010 (Kreienkamp et al. 2011) zur Verfügung, die ebenfalls mit ECHAM5-MPIOM angetrieben wurden und auf Stationen vorliegen<sup>12</sup>. Das Ensemble aus 20 WETTREG 2006 Simulationen des A1B-Szenarios wurde mit der Interpolationsmethode von Haberlandt et al. (2010a) auf ein Gitter mit 5 x 5 Kilometer Auflösung interpoliert und mit dem Ensemble aus REMO- und CLM-Simulationen verglichen.

Eine Einschränkung des vorliegenden Ensembles ist, dass die globalen Daten nur von einem einzigen Globalmodell (ECHAM5-MPIOM) stammen.<sup>13</sup>

#### Validierung der Regionalmodelle REMO und CLM in Niedersachsen

Die systematischen Abweichungen (Bias) der von REMO und CLM modellierten Mitteltemperaturen vom Beobachtungsdatensatz von Haberlandt et al. (2010a) können den in Abb. 14 dargestellten Jahresgängen entnommen werden. Gezeigt wird jeweils das Mittel über alle Realisierungen des Kontrollzeitraums 1971-2000. Während der Temperatur-Bias von REMO nur im Frühjahr und Herbst größer ist als 1 Grad Celsius, sind die CLM Temperaturen vor allem im Sommer bis über 1,5 Grad zu kühl. Die Niederschläge, die aufgrund der großen räumlichen Variabilität schwieriger zu modellieren sind, werden in beiden Modellen vor allem im Sommer um bis zu 50 Prozent überschätzt.

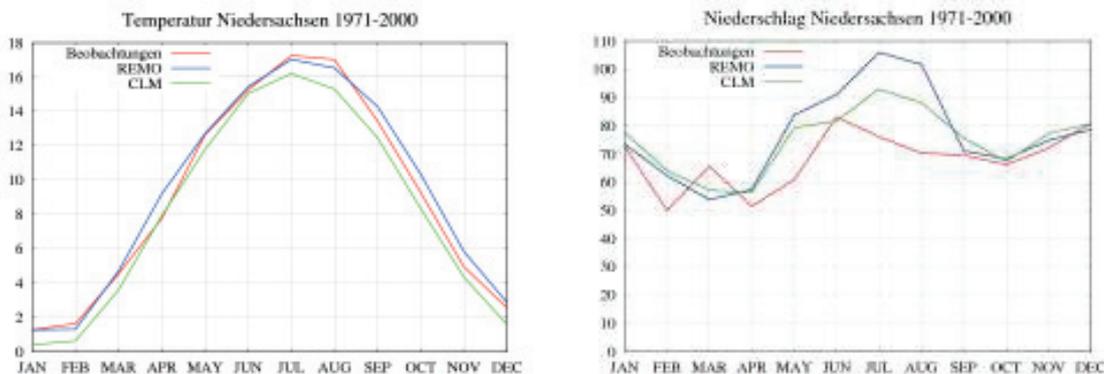


Abb. 14 Mittlere Temperatur in °C (links) und mittlerer Niederschlag in mm pro Monat (rechts), modelliert von REMO und CLM, und beobachtet. Gebietsmittel für ganz Niedersachsen über den Zeitraum 1971-2000

<sup>12</sup> Die WETTREG Versionen 2006 und 2010 arbeiten mit unterschiedlichen Methoden, die zu unterschiedlichen Klimaänderungssignalen führen. Ein Vergleich beider Methoden ist in KREIENKAMP ET AL. (2010) diskutiert.

<sup>13</sup> Für die im Folgenden beschriebene Auswertung werden die Ausgaben der Regionalmodelle mit rotierten geographischen Koordinaten („DataStream 2“) verwendet.

## 4.5 Regionale Klimaprojektionen: Klimaänderungssignale

### 4.5.1 Klimaänderungssignale von Temperatur und Niederschlag

Als Klimaänderungssignal bezeichnet man die Differenz der Mittelwerte einer Klimavariablen zwischen einer zukünftigen Klimaperiode und einer Kontrollperiode der Vergangenheit. Die von REMO und CLM berechneten Klimaänderungssignale sind, besonders für die Temperatur, sehr homogen über Niedersachsen verteilt. Das Niederschlagsänderungssignal ist in den Küstengebieten und im Harz etwas stärker als im Inland (Abb. 15). Die projizierte Niederschlagsenerhöhung ist für WETTREG 2006 etwas größer und zeigt eine deutliche Abnahme von Nordwest nach Südost<sup>14</sup>. Die Darstellung der räumlichen Verteilung zeigt den Mittelwert des Klimaänderungssignals mehrerer Klimasimulationen, nicht aber die Bandbreite. Diese ist jedoch notwendig, um Aussagen über die Unsicherheit in den Simulationen treffen zu können. Aus diesem Grund ist es sinnvoller, Gebietsmittel über ganz Niedersachsen oder z.B. Naturräume zu betrachten.

Trotz des unterschiedlichen Bias sind die Klimaänderungssignale der Lufttemperatur und des Niederschlages der Regionalmodelle REMO und CLM ähnlich. In Abb. 16 sind gleitende 31-Jahresmittel der Klimaänderungssignale von Temperatur und Niederschlag jeweils für Jahresmittel, Winter- und Sommermonate im Gebietsmittel über Niedersachsen dargestellt. Dabei sind alle 9 REMO- und 4 CLM-Simulationen der drei SRES-Szenarien (A1B, B1, A2) von 1970-2100 in jeweils einem Graphen gleichzeitig dargestellt. Jedes Jahr auf der x-Achse der Graphen ist jeweils der Mittelwert der 31-jährigen Periode. Deshalb schneiden sich alle Graphen im Jahr 1985, da dies die Mitte der Bezugsperiode 1970-2000 ist.

Das Ende der Graphen bei 2085 bezieht sich auf die Periode 2071-2100, und die Periode 2020-2050 ist bei dem Jahr 2035 abzulesen. Die Spanne zwischen dem Minimum und dem Maximum aller Simulationen wird als Bandbreite bezeichnet. Hellgrau unterlegt sind jeweils die Einzeljahresmittel, um einen Eindruck der jährlichen Variabilität der einzelnen Simulationen zu gewinnen. Während für die Temperaturen sowohl im Jahresmittel als auch in Sommer und Winter ein monotoner Anstieg festzustellen ist, ist für die Niederschläge ein Anstieg im Winter, im Sommer jedoch tendenziell eher eine Abnahme zu erkennen.<sup>15</sup>

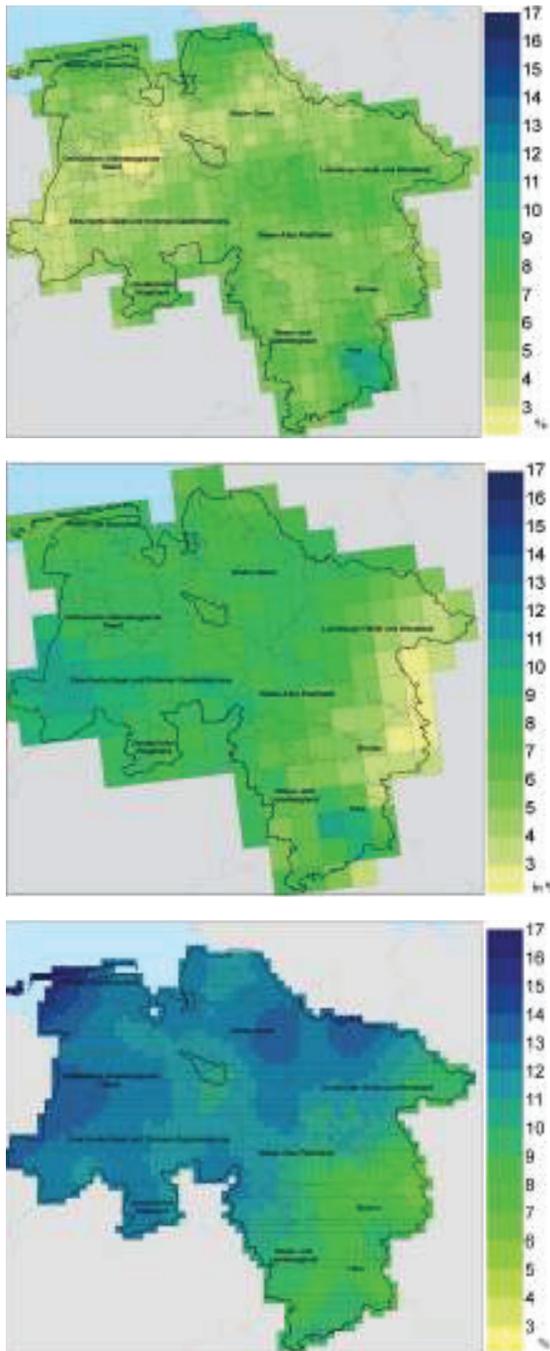


Abb. 15 Niederschlagsänderungssignal in Prozent im Jahresmittel für den Zeitraum 2021-2050 mit dem Referenzzeitraum 1971-2000. Oben: Mittelwert über drei Realisierungen des A1B-Szenarios von REMO; Mitte: Mittelwert über zwei Realisierungen des A1B-Szenarios von CLM; unten: Mittelwert über 20 Realisierungen des A1B-Szenarios von WETTREG 2006

<sup>14</sup> Die räumliche Verteilung der simulierten Niederschlagsänderungssignale sowohl von REMO, CLM, als auch von WETTREG hängen stark von den von ECHAM5/MPI-OM simulierten Großwetterlagen ab und sind als sehr unsicher einzustufen. Die Unterschiede in den Niederschlagsänderungssignalen, die in Abb. 15 zu sehen sind, sind vor allem durch die Darstellung verursacht (Auflösung der Farbskala von 1%).

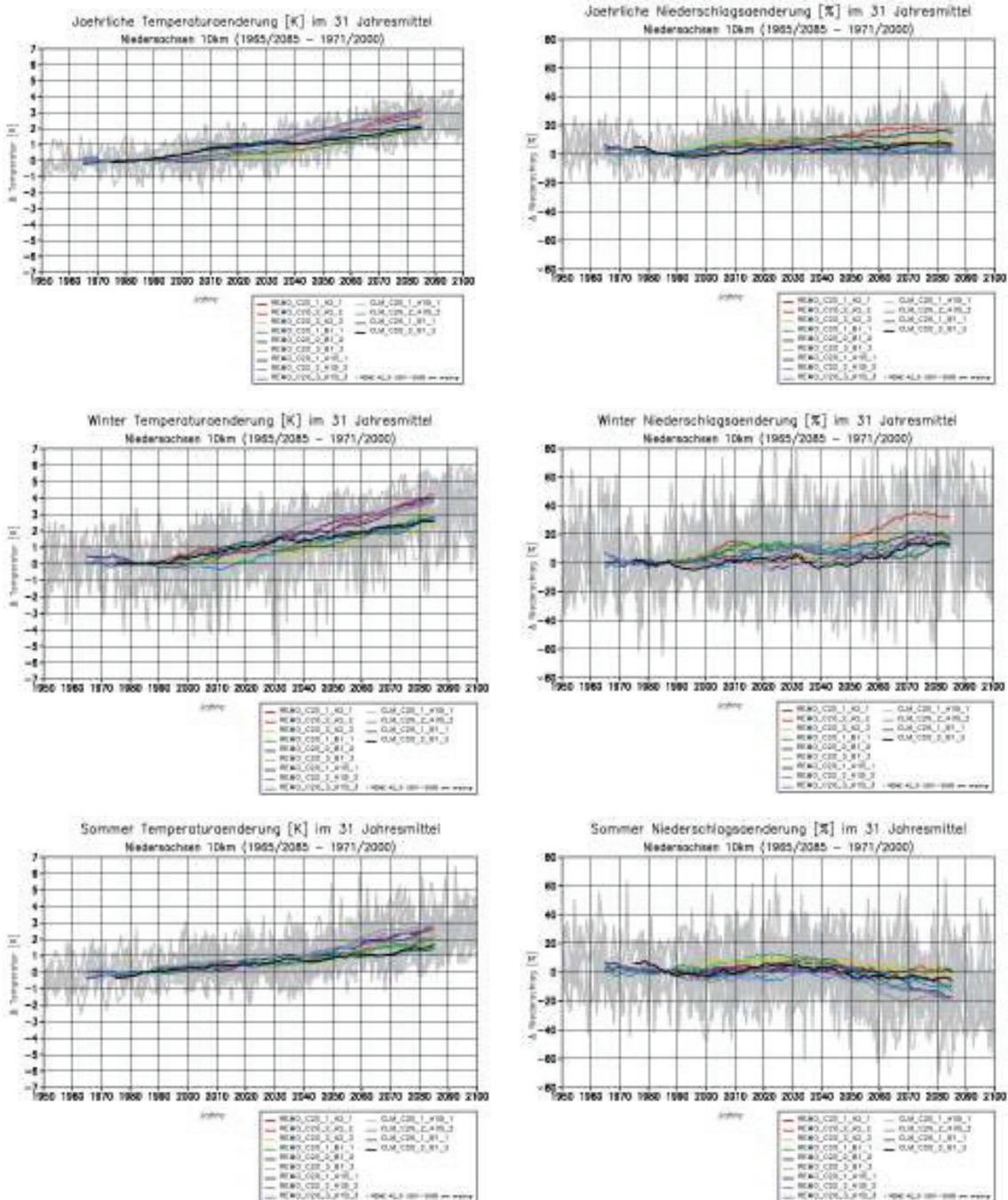


Abb. 16 Gleitende 31-Jahresmittel der Temperatur- (links, in °C) und Niederschlagsänderungssignale (rechts, in Prozent) des Ensembles aus 9 REMO- und 4 CLM-Simulationen im Gebietsmittel über Niedersachsen. Von oben nach unten: Jahresmittel, Winter, Sommer. Die Einzeljahresmittel aller Ensemblesimulationen sind jeweils in hellgrau unterlegt. Quelle: D. Rechid, KLIMZUG-NORD. Zur Bezeichnungen der Datensätze: REMO bzw. CLM – Name des Regionalmodells; C20\_1 (2,3) – Referenzszenario C20 (1971-2000), Realisierung 1 (2,3); A2\_1 (2,3) bzw. B1\_1/A1B\_1(2,3) – SRES-Szenario A2 (B1, A1B) (2001-2100), Realisierung 1 (2,3)

<sup>15</sup> Es ist zu beachten, dass die Bandbreite stark von dem verwendeten Simulationsensemble abhängt. Für Gesamtdeutschland wurde gezeigt, dass die Bandbreite der Temperatur- und Niederschlagsänderungssignale des hier verwendeten REMO/CLM-Ensembles, in das drei SRES-Szenarien eingehen, kleiner ist, als die Bandbreite aller für das EU-FP6-Projekt ENSEMBLES verwendeten Global- und Regionalmodelle für ein einziges Szenario (A1B) (Jacob et al. 2012: Regionale Klimasimulationen für Europa und Deutschland). Deshalb wird im Folgenden nicht zwischen den einzelnen Szenarien unterschieden, d.h. alle drei SRES-Szenarien A1B, B1 und A2 werden als gleichwertige mögliche Zukunftsszenarien betrachtet. Eine Aussage über mögliche Klimaänderungen wird als robust bezeichnet, wenn alle Klimasimulationen des Ensembles eine Veränderung in dieselbe Richtung anzeigen. Dabei können sogenannte „Ausreißer“ ausgeschlossen werden. Damit sind einzelne Realisierungen gemeint, deren Klimaänderungssignal sich erheblich von der überwiegenden Mehrheit der Simulationen unterscheidet.

Eine weitere Möglichkeit, die Klimaänderungssignale des Simulationsensembles für die beiden Perioden 2021-2050 und 2071-2100 auf kompakte Weise darzustellen, sind die Kastengrafiken (engl. Box-Whisker-Plots, Erläuterung s. Glossar) in den Abb. 17-22. Zusätzlich ist in den Kastengrafiken durch einen roten Querbalken der Mittelwert des Ensembles eingezeichnet und dessen Wert angegeben<sup>16</sup>. Die in den Kastengrafiken dargestellten Werte sind Gebietsmittel über ganz Niedersachsen und Bremen. Die Gebietsmittel der Klimaänderungssignale über die in Abb. 1 dargestellten niedersächsischen Naturräume sind im Tabellenwerk in Anhang II aufgelistet, jeweils mit Ensemblemittelwert, -minimum und -maximum.

In den Kastengrafiken in Abb. 17 für die mittleren Klimaänderungssignale von Temperatur und Niederschlag ist zusätzlich zu dem REMO/CLM-Ensemble zum Vergleich das Ensemble aus 20 WETTREG 2006 Simulationen (Szenario A1B) eingezeichnet. Für 2021-2050 wird eine robuste Erhöhung der Jahresmitteltemperatur mit einem Ensemblemittel von ca. 0,9 Grad Celsius projiziert. Auch für jede Jahreszeit wird im Mittel eine Temperaturerhöhung simuliert, die jedoch im Frühjahr nicht robust ist. Für 2071-2100 ist die Temperaturerhöhung für alle Jahreszeiten robust und wird im Ensemblemittel mit ca. 2,5 Grad im Jahresmittel simuliert. Am stärksten ist die Temperaturerhöhung am Ende des 21. Jahrhunderts im Winter (Ensemblemittel ca. 3,3 Grad) und am geringsten im Frühling (Ensemblemittel ca. 2,0 Grad). Für die Temperaturänderungssignale sind fast keine Unterschiede zwischen den einzelnen Naturräumen feststellbar (s. Anhang II, Tab. 1-3). Die projizierten Temperaturänderungen von WETTREG 2006 (nur A1B-Szenario) decken sich bis 2050 gut mit denen des REMO/CLM-Ensembles. Bis 2100 liefert das statistische Modell für den Winter eine geringfügig höhere und für das Frühjahr eine geringfügig kleinere Temperaturerhöhung.<sup>17</sup>

Das Niederschlagsänderungssignal für 2021-2050 ist im Jahresmittel relativ gering (Ensemblemittel ca. +7 Prozent), aber robust. Auf die Jahreszeiten aufgeteilt wird nur im Herbst eine robuste Niederschlagsänderung simuliert (Ensemblemittel ca. 12 Prozent). Die Ensemblemittel der übrigen Jahreszeiten sind positiv, zeigen jedoch keine robuste Niederschlagserhöhung. Bis zum Ende des 21. Jahrhunderts wird eine ähnliche, ebenfalls schwache, aber robuste Niederschlagserhöhung mit einem Ensemblemittel von ca. 7 Prozent simu-

liert, mit einer relativ großen Bandbreite. Das fast gleiche Änderungssignal im Zeitraum 2071-2100 resultiert aber vom veränderten zeitlichen Muster des Niederschlags, wo eine starke Zunahme im Winter und Herbst durch eine starke Abnahme des Niederschlags im Sommer kompensiert wird. Die jahreszeitlichen Niederschlagsänderungssignale für Winter (Ensemblemittel für ganz Niedersachsen ca. 18 Prozent, in den Watten und Marschen ca. 23, im Inland etwas schwächer s. Anhang II, Tab. 4), Frühling (ca. 11 Prozent) und Herbst (ca. 17 Prozent) sind ebenfalls robust positiv, aber die einzelnen Simulationen liefern sehr unterschiedliche Werte. Im Sommer ergibt sich im Ensemblemittel eine Abnahme von ca. 11 Prozent, obwohl nicht alle Simulationen übereinstimmend eine Abnahme aufweisen. WETTREG 2006 liefert für beide Perioden ein deutlich höheres Änderungssignal im Winter (bis 2100 zwischen 40 und 60 Prozent), und ein geringeres im Herbst.<sup>18</sup>

Die Klimaprojektionen ermöglichen auch Aussagen über den Anteil des Niederschlags, der als Schnee fällt (Abb. 18). Das Simulationsensemble legt für 2021-2050 eine Abnahme der Schneemenge um ca. 30 Prozent nahe, und eine Abnahme der Tage, an denen Schnee fällt, um ebenfalls ca. 30 Prozent. Bis 2071-2100 nimmt die projizierte Schneemenge und die Anzahl der Schneetage insgesamt um ca. zwei Drittel ab. Am stärksten ist die prozentuale Abnahme der Schneemenge an den Küsten (Watten und Marschen, Ostfriesisch-Oldenburgische Geest) und am geringsten im Harz (s. Anhang II, Tab. 7). Trotz abnehmender Schneemenge können vereinzelt sehr schneereiche Winter auftreten.

<sup>16</sup> In einigen Diagrammen ist die Markierung des Medians durch die rote Mittelwertlinie verdeckt, da hier Median und Mittelwert zusammenfallen.

<sup>17</sup> Das WETTREG 2010 Ensemble für das A1B-Szenario zeigt ganzjährig ein höheres Temperaturänderungssignal als WETTREG 2006, mit einer größeren Bandbreite (KREIENKAMP ET AL., 2011, Abb. 5.4 bis 5.6, 5.13 bis 5.15, und 6.1).

<sup>18</sup> Das WETTREG 2010 Ensemble für das A1B Szenario zeigt ganzjährig eine geringe Niederschlagserhöhung als WETTREG 2006 und das REMO/CLM-Ensemble, tendenziell sogar eher eine Abnahme (KREIENKAMP ET AL., 2011, Abb. 5.7 bis 5.9, 5.16 bis 5.18, und 6.2).

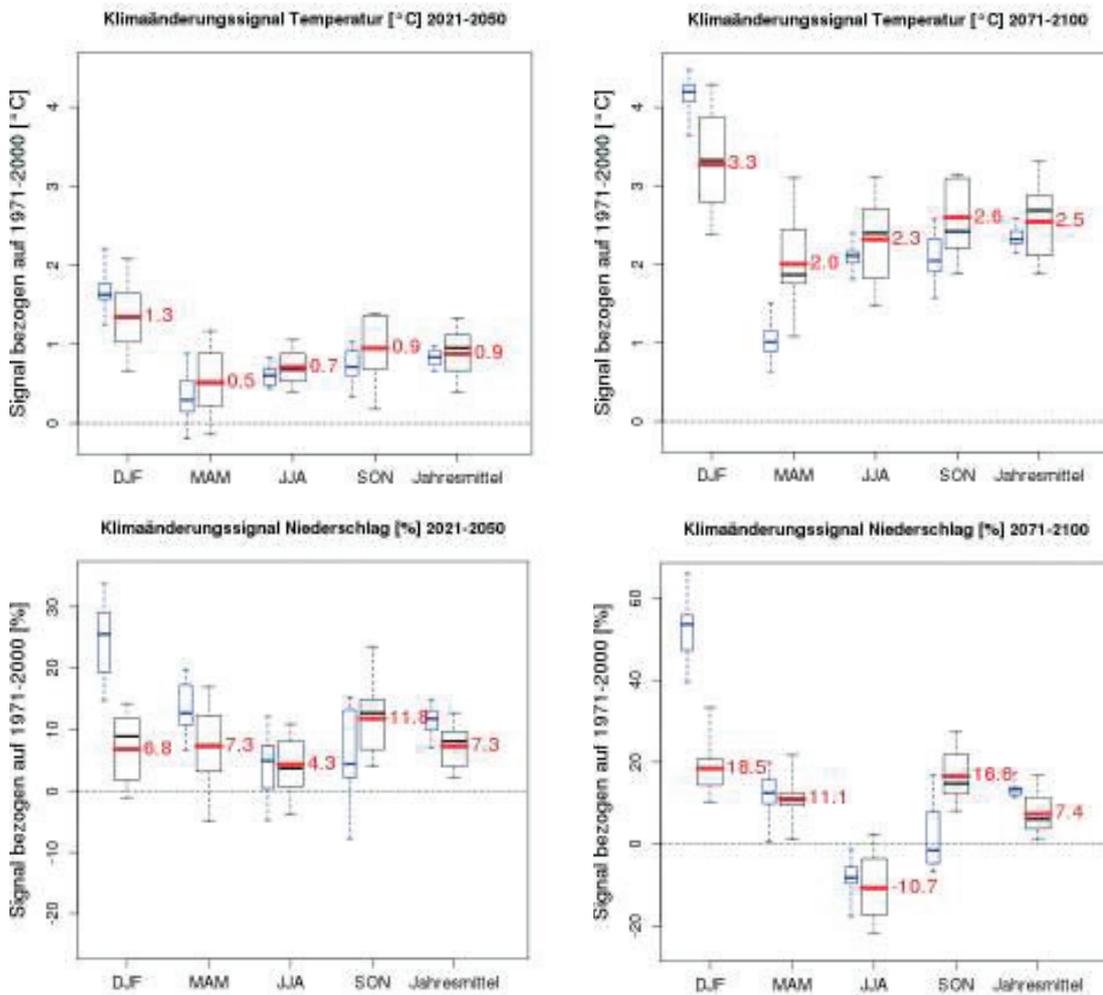


Abb. 17 Temperaturänderungssignal in °C (oben) und Niederschlagsänderungssignal in Prozent (unten) im Gebietsmittel über Niedersachsen für die Zeiträume 2021-2050 (links) und 2071-2100 (rechts). Der Referenzzeitraum ist jeweils 1971-2000. Gezeigt sind Box-Whisker-Plots des gesamten Ensembles aus REMO- und CLM-Simulationen aller Szenarien (in schwarz, mit rot markiertem Mittelwert, der mit seinem numerischen Wert bezeichnet ist), und der 20 WETTREG 2006 A1B Simulationen (in blau), für Winter (DJF), Frühjahr (MAM), Sommer (JJA), Herbst (SON) und Jahresmittelwert.

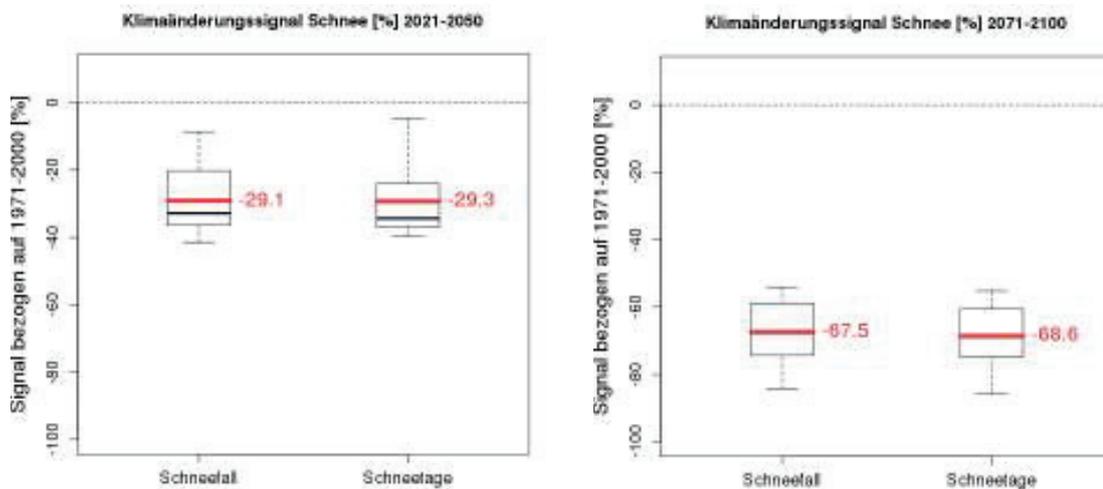


Abb. 18 Relative Änderung der Jahressummen des Schneefalls und der Anzahl der Schneetage im Jahr, jeweils in Prozent im Gebietsmittel über Niedersachsen, die Zeiträume 2021-2050 (links) und 2071-2100 (rechts) relativ zum Referenzzeitraum 1971-2000. Dargestellt sind Box-Whisker-Plots und Mittelwerte (rot).

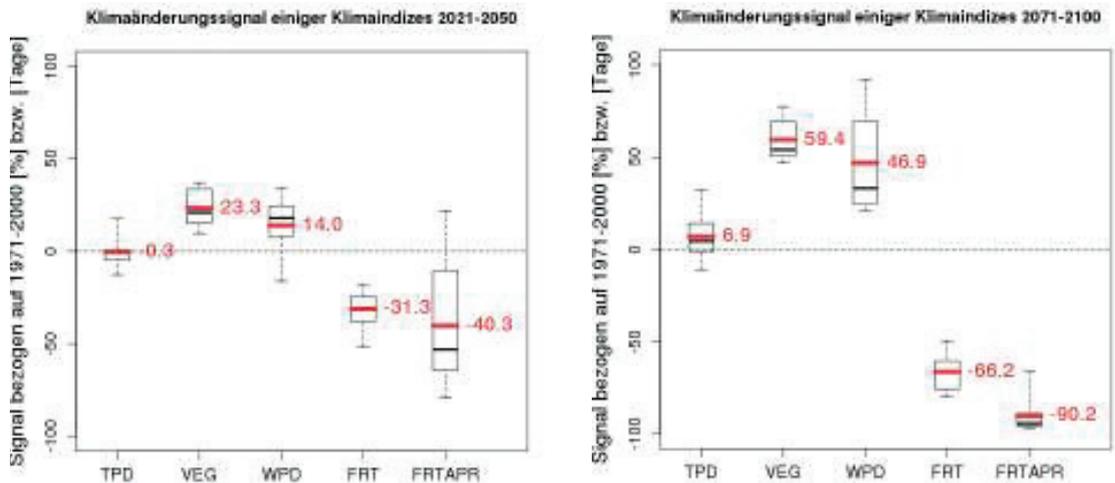


Abb. 19 Änderungen der in Abschnitt 4.2.3 vorgestellten Klimaindizes im Gebietsmittel über Niedersachsen für die Zeiträume 2021-2050 (links) und 2071-2100 (rechts) relativ zum Referenzzeitraum 1971-2000: Länge der Dauer der Trockenperioden zwischen April und September in Prozent (TPD); Länge der thermischen Vegetationsperiode in Tagen (VEG); rel. Wärmeperiodendauer in Prozent (WPD); rel. Anzahl der Frosttage in Prozent (FRT), rel. Anzahl der Spätfröste in Prozent (FRTAPR). Dargestellt sind Box-Whisker-Plots und Mittelwerte (rot)

#### 4.5.2 Änderungssignale in der Häufigkeit von Extremereignissen und Windgeschwindigkeit

In Abschnitt 4.3.3 wurden die Definitionen einiger Klimaindizes angegeben. Dieselben Klimaindizes lassen sich auch aus den regionalen Klimamodell-daten berechnen.<sup>19</sup>

In den Kastengrafiken in Abb. 19 sind die Änderungssignale der Dauer der Trockenperioden zwischen April und September, der Länge der thermischen Vegetationsperiode in Tagen, der Wärmeperiodendauer, sowie der Anzahl der Frosttage und Spätfröste angegeben. Bis auf die Länge der thermischen Vegetationsperiode sind alle angegebenen Werte relative prozentuale Änderungen. In der Periode 2021-2050 wird eine Verlängerung der thermischen Vegetationsperiode um ca. 10 bis 40 Tage projiziert, sowie eine Abnahme der Frosttage um ca. 20 Prozent bis 50 Prozent. Über Änderungen in der Wärmeperiodendauer, aber auch der Anzahl der Spätfröste bis 2050 können wegen der großen Bandbreite keine robusten Aussagen getroffen werden. Bis Ende des 21. Jahrhunderts für die Periode 2071-2100 wird eine Verlängerung der Wärmeperiodendauer um ca. 50 Prozent im Ensemblemittel projiziert, sowie eine Verlängerung der thermischen Vegetationsperiode um 50 bis 80 Tage, und eine Abnahme in der Anzahl der Frosttage (FRT) zwischen ca. 50 Prozent und 80 Prozent. Spätfröste ab dem 1.

April sind in dieser Periode in den Klimaprojektionen fast gänzlich verschwunden. Für die Länge von Trockenperioden werden für beide Zukunftsperioden kaum Änderungen projiziert. Im Harz ist die Zunahme der Länge der Vegetationsperiode etwas geringer (s. Anhang II, Tab. 9), ebenso die prozentuale Abnahme der Anzahl der Frosttage und der Spätfröste (s. Anhang II, Tab. 11, 12). Für die Änderungen der Dauer der Trockenperioden (s. Anhang II, Tab. 8) und der Wärmeperiodendauer (s. Anhang II, Tab. 10) sind keine klaren räumlichen Variationen feststellbar.

Änderungen in der Anzahl der Starkniederschlagstage und der maximalen 5-Tages-Niederschlagssumme sind wie in Abschnitt 4.3.3 für jede Jahreszeit separat berechnet und werden als relative Änderungen in Prozent angegeben. Mit der Zunahme der Niederschläge zeigt das Simulationsensemble ebenfalls eine Zunahme in der Anzahl der Starkniederschlagstage mit Gesamtniederschlagssummen über 20 mm an (Abb. 20). Bis 2050 ist diese Zunahme im Herbst am größten, im Frühjahr und Sommer ist sie kleiner, jedoch sind einzelne Simulationen mit relativ hohen Zunahmen zu erkennen, was auf hohe Unsicherheiten hindeutet. Im Winter ist bis zur Mitte des 21. Jahrhunderts keine robuste Aussage über eine Zunahme möglich. In der Periode 2071-2100 erhöht sich die Zunahme in der Anzahl der Starkniederschlagstage im Jahresmittel auf ca. 20 bis 50 Prozent. Am größten ist sie auch für diese Periode im Herbst mit einer Zunahme im Ensemblemittel

<sup>19</sup> Ebenso wie für die Klimaänderungssignale der Mitteltemperatur und der Niederschlagssummen, wurden die Änderungssignale der Klimaindizes für alle Simulationen des Simulationsensembles bestimmt und über Niedersachsen gemittelt.

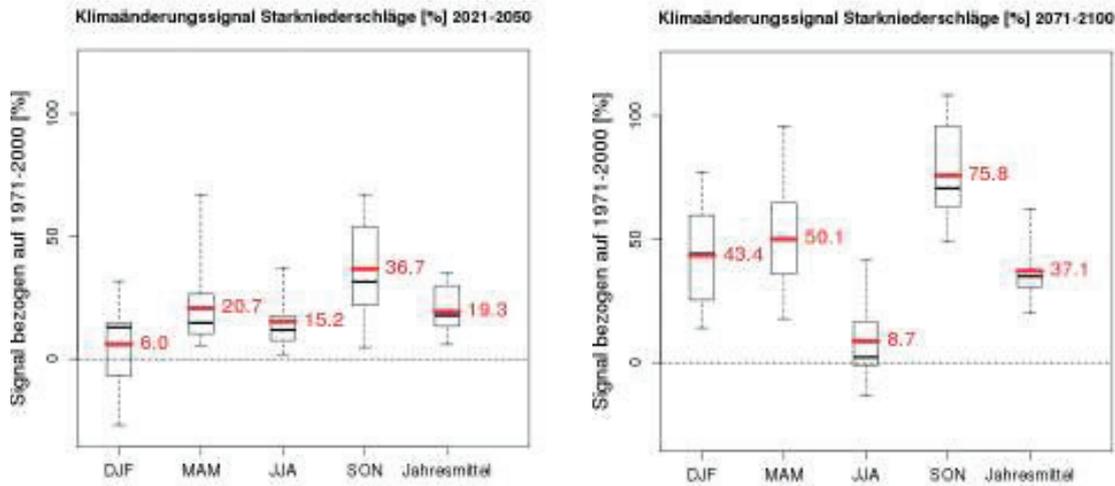


Abb. 20 Relative Änderung in der Anzahl der Starkniederschlagstage (Tagessumme > 20 mm) in Prozent im Gebietsmittel über Niedersachsen, für die Zeiträume 2021-2050 (links) und 2071-2100 (rechts) relativ zum Referenzzeitraum 1971-2000. Dargestellt sind Box-Whisker-Plots und Mittelwerte (rot) für Winter (DJF), Frühjahr (MAM), Sommer (JJA), Herbst (SON) und der Jahresmittelwert

von mindestens 50 Prozent, möglicherweise bis zu 100 Prozent. Im Winter und im Frühjahr wird eine Erhöhung im Ensemblemittel von ca. 40 bis 50 Prozent projiziert. Nur für den Sommer, wo auch einige Simulationen Abnahmen der Gesamtniederschläge projizieren, ist kein robustes Änderungssignal feststellbar. Die größte Zunahme in der Anzahl der Starkniederschlagstage wird für die Ostfriesisch-Oldenburgische Geest simuliert, die geringste für den Harz (s. Anhang II, Tab. 13).

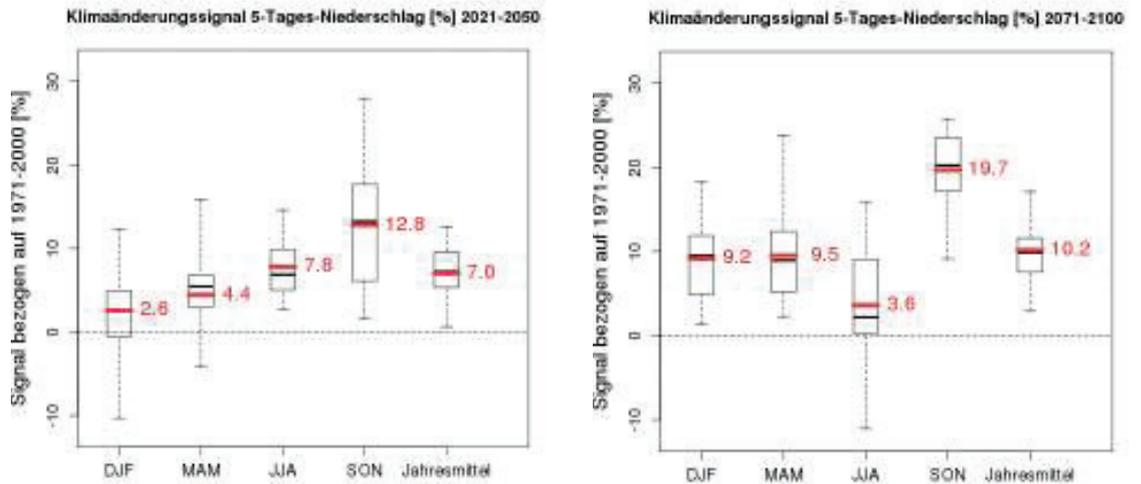


Abb. 21 Relative Änderung in der Anzahl der größten 5-Tages-Niederschlagssumme in Prozent im Gebietsmittel über Niedersachsen, die Zeiträume 2021-2050 (links) und 2071-2100 (rechts) relativ zur Referenzzeitraum 1971-2000. Dargestellt sind Box-Whisker-Plots und Mittelwerte (rot) für Winter (DJF), Frühjahr (MAM), Sommer (JJA), Herbst (SON) und der Jahresmittelwert

Bei den größten 5-Tages-Niederschlagssummen (Abb. 21) sind sehr große Bandbreiten zu erkennen, weshalb Aussagen über Änderungen dieses Klimaindex unsicher sind. Dennoch sind Zunahmen in den Klimaprojektionen für 2021-2050 vor allem im Herbst zu beobachten. In der Periode 2071-2100 nimmt das Änderungssignal im Herbst noch weiter zu (Ensemblemittel ca. 20 Prozent), auch im Winter und im Frühjahr werden robuste Zunahmen von jeweils ca. 10 Prozent projiziert, während im Sommer bei der sehr großen Bandbreite des Simulationsensembles keine robusten Aussagen zu machen sind. Es sind keine deutlichen räumlichen Unterschiede auszumachen (s. Anhang II, Tab. 14).

Das Simulationsensemble projiziert Änderungen in der mittleren Windgeschwindigkeit in 10 Metern Höhe.<sup>20</sup> Die Modelle projizieren übereinstimmend eine leichte Erhöhung der Windgeschwindigkeit vor allem für die Wintermonate (ca. 5 Prozent), während in den Sommermonaten eher eine etwas geringere Abnahme projiziert wird. (Abb. 22). Alle Projektionen der Windgeschwindigkeit sind noch sehr unsicher.

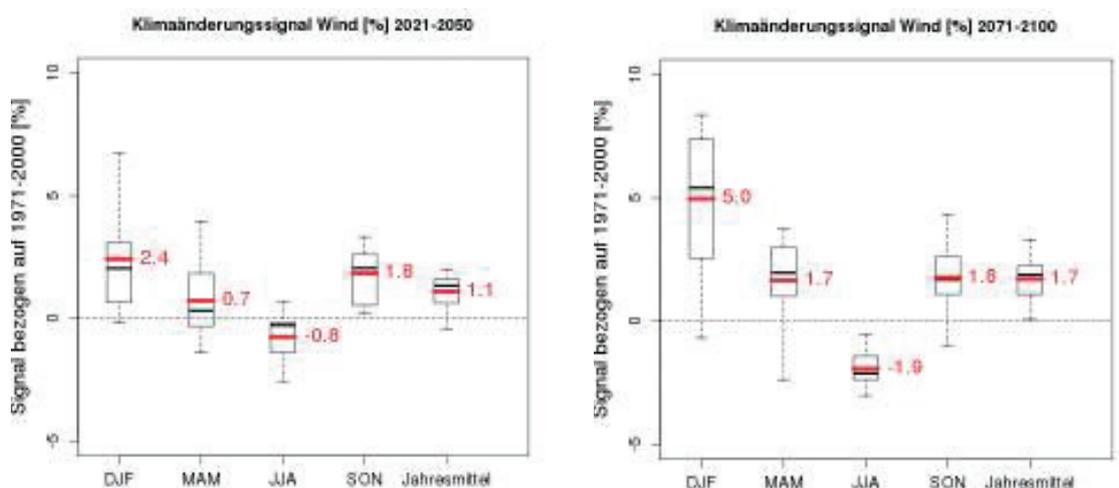


Abb. 22 Relative Änderung der Windgeschwindigkeit in Prozent im Gebietsmittel über Niedersachsen, die Zeiträume 2021-2050 (links) und 2071-2100 (rechts) relativ zum Referenzzeitraum 1971-2000. Dargestellt sind Box-Whisker-Plots und Mittelwerte (rot) für Winter (DJF), Frühjahr (MAM), Sommer (JJA), Herbst (SON) und die Jahresmittelwerte

<sup>20</sup> Es muss beachtet werden, dass die von den Modellen simulierten Windgeschwindigkeiten nicht ausreichend validiert sind, was die Unsicherheit in den Simulationen erhöht. Dies macht weitere Forschung notwendig, um robuste Aussagen zu Änderungen der Windgeschwindigkeit treffen zu können.

## 4.6 Erfordernisse und Aufgaben in der Klimaforschung

- Fortsetzung der statistischen und meteorologischen Bewertung der räumlichen Besonderheiten des Klimas in Niedersachsen.
- Analyse der unterschiedlichen Klimasignalmuster im Niederschlag für dynamische und statistische Klimamodelle.
- Analyse der räumlichen Verteilung von Extremereignissen im Hinblick auf Häufigkeit, Dauer und Intensität.
- Weiterentwicklung des Ensembleansatzes für die Anwendung auf Regionen.
- Erweiterung des Ensembleansatzes auf andere klimatologische Parameter, die für Wirkmodelle benötigt werden.
- Entwicklung von Instrumenten zur Bereitstellung, Interpretation und Visualisierung von Klimadaten.
- Weiterentwicklung des Ensembleansatzes für Wirkmodelle
- Entwicklung von Methoden und Schnittstellen zur optimalen Verbindung von Klimaänderungssignalen mit Wirkmodellen unter Berücksichtigung der Unsicherheiten in beiden Modellsystemen.
- Pflege und laufende Ergänzung sowie nutzergerechte Aufbereitung und Bereitstellung von Klimadaten und Projektionen.
- Zusammenarbeit mit Klimaforschern auf nationaler und internationaler Ebene zur Vermeidung von Doppelarbeit, zur Abstimmung der Resultate und zur Erzeugung von Synergien.
- Wesentliche Arbeiten dazu werden vom Klimarechenzentrum und vom Climate Service Center durchgeführt. In Niedersachsen ist eine Schnittstelle einzurichten, die als Bindeglied zwischen den o.g. Zentren und den Datennutzern fungiert.