

## 2 Grundlagen: Klimawandel und Stadtentwicklung

Mit der Frage, auf welche klimatischen Veränderungen sich Hamburg in den nächsten Jahrzehnten einstellen muss, setzt sich Kapitel 2 auseinander. Es erläutert auf Basis vorhandener Datengrundlagen die projizierten Klimaänderungen für den Raum Hamburg bis Mitte bzw. Ende des 21. Jahrhunderts. Anschließend werden die Auswirkungen der Klimaänderungen für unterschiedliche städtische Strukturen beschrieben, wobei insbesondere Temperaturen und Niederschläge in den Blick genommen werden. Die Einteilung in Stadtstrukturtypen dient dabei als methodischer Ansatz, um einschätzen zu können, welche Strukturen besonders betroffen sind. In einem weiteren Schritt wird ihre Anpassungsfähigkeit an den Klimawandel beurteilt, mit dem Fokus auf Rückhalt, Speicherung und Verdunstung von Niederschlagswasser auf dem Grundstück.

### 2.1 Projizierte Veränderungen des regionalen Klimas im Raum Hamburg

*Robert Schoetter, Peter Hoffmann, Marita Linde, Juliane Petersen, Diana Rechid, K. Heinke Schlünzen*

Kapitel 2.1 stellt die projizierten Veränderungen des regionalen Klimas im Raum Hamburg dar. Der Fokus liegt dabei auf Änderungen von Temperatur und Niederschlag. Grundlage der Auswertung bilden Ergebnisse der regionalen Klimamodelle REMO und CLM. Für die Quantifizierung des heutigen Klimazustands und der zukünftigen Klimaänderungen werden jeweils die mittleren Verhältnisse über einen Zeitraum von 30 Jahren, dem so genannten klimatologischen Mittel, betrachtet.

Die Auswertung bezieht sich auf Änderungen des Klimas bis zur Mitte des 21. Jahrhunderts (2036-2065) und bis zum Ende des 21. Jahrhunderts (2071-2100) gegenüber einem Referenzzeitraum im vergangenen Jahrhundert (1971-2000). Die hier vorgestellten Ergebnisse sind Teil einer Auswertung der regionalen Klimamodellergebnisse für die verschiedenen Modellgebiete des Forschungsverbundes KLIMZUG-NORD.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Rechid et al. 2014

## Datengrundlage

Als Datengrundlage dienen Simulationen der regionalen Klimamodelle REMO<sup>2</sup> und CLM<sup>3</sup>. Die Randwerte der meteorologischen Parameter stammen aus Simulationen des globalen Klimamodells ECHAM5-MPIOM<sup>4</sup>. Die Bandbreite zukünftiger Klimaänderungen in Abhängigkeit von unterschiedlichen Treibhausgasemissionen wird durch die SRES Emissionsszenarien<sup>5</sup> A1B, A2 und B1 abgebildet. Damit werden mögliche Pfade globaler demografischer, sozio-ökonomischer und technologischer Entwicklungen berücksichtigt. Das A1B Szenario geht von starkem Wirtschaftswachstum, rascher Entwicklung neuer Technologien sowie einem ausgewogenen Energiemix aus. Das B1 Szenario nimmt dagegen eine rasche Konvergenz der Volkswirtschaften und einen schnellen Übergang zur Dienstleistungs- und Informationsgesellschaft an. Folglich ist mit einem geringeren Ressourcenverbrauch und niedrigeren Treibhausgasemissionen als im A1B Szenario zu rechnen. Das A2 Szenario geht von sehr heterogenen Volkswirtschaften und einer stark steigenden Weltbevölkerung aus. Wirtschaftswachstum und technologische Entwicklung verlaufen langsamer als im A1B und B1 Szenario. Die Entwicklung der Treibhausgasemissionen verhält sich bis Mitte des 21. Jahrhunderts ähnlich wie im A1B Szenario, gegen Ende des 21. Jahrhunderts fallen die Werte höher aus. Die SRES Emissionsszenarien dürfen nicht mit den in Kapitel 4.2 dargestellten sozio-ökonomischen Entwicklungsszenarien für das Modellgebiet verwechselt werden.

Für jedes Emissionsszenario werden mehrere Realisierungen berechnet, um die Bandbreite zukünftiger Klimaänderungen aufgrund der natürlichen Klimavariabilität abzuschätzen. Für REMO liegen jeweils drei Realisierungen der Szenarien A1B, A2 und B1 in ca. 10 km horizontaler Auflösung vor<sup>6</sup>, für CLM jeweils zwei Realisierungen der Szenarien A1B und B1 in ca. 18 km horizontaler Auflösung<sup>7</sup>. Es ist zu beachten, dass das vorliegende Ensemble von 13 Simulationen nur einen Teil der Bandbreite möglicher Klimaänderungen abdeckt<sup>8</sup>.

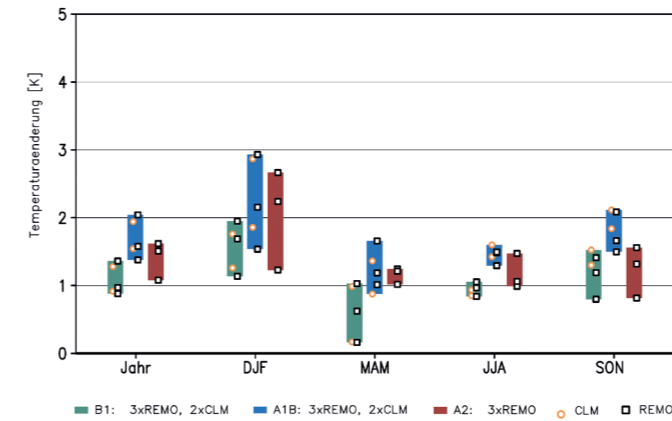
## Änderungen der jahreszeitlichen Mittel

Die projizierten Änderungen der jahreszeitlichen Mittel für Temperatur und Niederschlag sind in Abbildung 2 dargestellt. Temperaturänderungen werden den Konventionen entsprechend stets in Kelvin (K) angegeben, d.h., eine Änderung um 1 K entspricht einer Änderung um 1 °C. Die Simulationen ergeben, dass das klimatologische jahreszeitliche Mittel der Temperatur in allen vier Jahreszeiten ansteigen wird, mit dem stärksten Anstieg im Winter (DJF). Bis zur Mitte des 21. Jahrhunderts sind die ermittelten Werte des projizierten Temperaturanstiegs allerdings mehr von der Wahl des jeweiligen Modells und der Realisierung abhängig als vom Emissionsszenario. Zum Ende des 21. Jahrhunderts 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 klimatologische jahreszeitliche Niederschlagsmenge steigt im Herbst, Winter und Frühjahr an, im Winter gegen Ende des 21. Jahrhunderts ist die stärkste Zunahme zu verzeichnen. Im Sommer zeigt sich gegen Mitte des 21. Jahrhunderts kein klarer Trend. Gegen Ende des 21. Jahrhunderts zeigen im A1B Szenario alle Simulationen eine Abnahme der klimatologischen Niederschlagsmenge. Im B1 und A2 Szenario zeigen einige Simulationen eine Zunahme, andere eine Abnahme der sommerlichen Niederschlagsmenge. Der Einfluss der natürlichen Variabilität des Klimas ist beim Niederschlag deutlich größer als bei der Temperatur. Daher ist auch gegen Ende des 21. Jahrhunderts die Bandbreite innerhalb der einzelnen Szenarien in etwa so groß wie die Bandbreite zwischen den Szenarien.

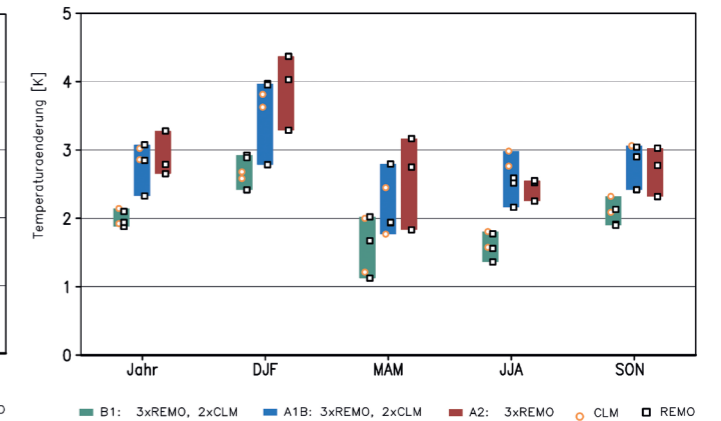
## Änderungen der Tageswerte

Abbildung 3 stellt die simulierten Hundertstelwerte, die so genannten Perzentile der Tagesmitteltemperatur im Referenzzeitraum 1971 bis 2000 sowie deren Änderungen dar.<sup>9</sup> Der Begriff des Perzentils wird im Glossar näher erläutert. Im Winter fällt der Anstieg der niedrigen Perzentile (kalte bis sehr kalte Tage) deutlich stärker aus als der Anstieg der höheren Perzentile (milde Tage). Die mittlere Erwärmung im Winter kommt vor allem dadurch zustande, dass deutlich weniger kalte bis sehr kalte Tage vorkommen. Die Verteilung der simulierten Tagesmitteltemperaturen im Winter wird damit im Zukunftsklima schmaler. Diese Aussage wird durch alle Rechenläufe, sowohl für die Mitte als auch für das Ende des 21. Jahrhunderts, bestätigt.

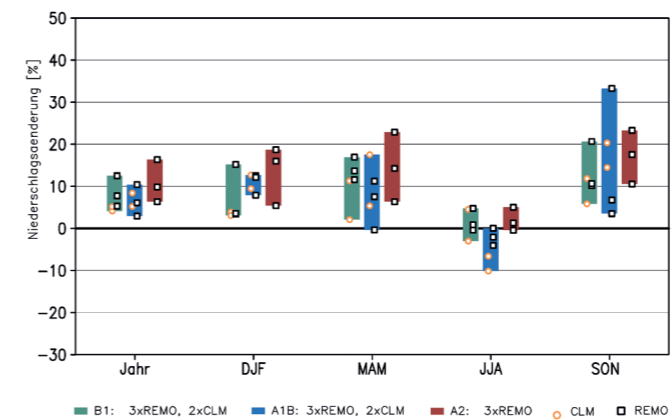
Temperatur 2036-2065



Temperatur 2071-2100



Niederschlag 2036-2065



Niederschlag 2071-2100

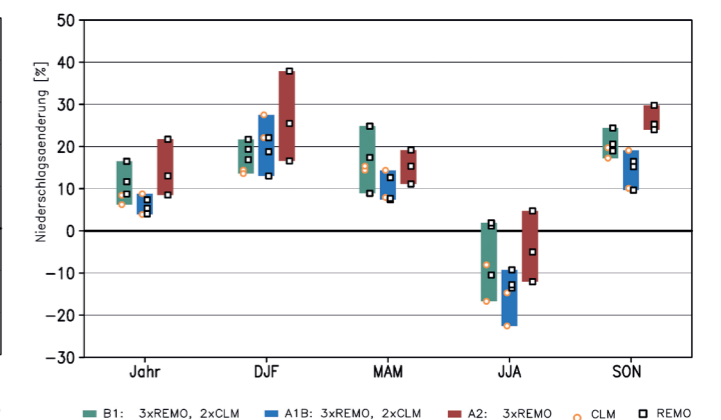


Abb. 2: Projizierte Änderungen der Temperatur und der Niederschlagsmenge für das Hamburger Stadtgebiet, jeweils im klimatologischen jahreszeitlichen Mittel. Der farbige Balken zeigt die Bandbreite der möglichen Klimaveränderung aller für das gegebene Szenario vorliegenden Simulationen an. Die Abkürzungen DJF, MAM, JJA und SON stehen für die meteorologischen Jahreszeiten Dezember-Januar-Februar, März-April-Mai, Juni-Juli-August, September-Oktober-November

Betrachtet man den Zeitraum 2036 bis 2065 im Szenario B1, so stellt sich der für die Sommermonate berechnete Anstieg verschiedener Perzentile sehr ähnlich dar. In den Szenarien A1B und A2 zeigt sich ein etwas stärkerer Anstieg der höheren Perzentile (warme bis heiße Tage) im Vergleich zu den niedrigeren Perzentilen (kühle Tage). In beiden Szenarien ist der für den Zeitraum 2071 bis 2100 ermittelte Anstieg der höheren Perzentile noch etwas ausgeprägter als im Zeitraum 2036 bis 2065. Im B1 Szenario ist keine eindeutige Abhängigkeit des Temperaturanstiegs vom Perzentil erkennbar. Diese Aussagen sind für die beiden regionalen Klimamodelle gleich.

Abbildung 4 stellt die simulierten Perzentile der Tagesniederschlagssummen an Tagen mit mehr als 1 mm Niederschlag im Referenzzeitraum 1971 bis 2000 sowie deren Änderungen dar. Im Sommer wird für Tage mit leichten bis mittleren Niederschlägen eine Abnahme der Niederschlagsintensität projiziert, für Tage mit hoher Niederschlagsintensität dagegen eine Zunahme. Dies zeigt, dass die leichte Abnahme der klimatologischen Niederschlagsmenge im Sommer bis zum Ende des 21. Jahrhunderts mit einer Zunahme der Häufigkeit von Starkniederschlägen verbunden ist.

Der Übergangsbereich zwischen Abnahme und Zunahme der sommerlichen Niederschlagsintensitäten befindet sich in etwa im Bereich des 80. Perzentils mit Tagesniederschlägen von ca. 10 mm im Referenzzeitraum. Im Winter ist eine generelle Zunahme der Niederschlagsintensitäten festzustellen.

Die projizierten Änderungen ausgewählter Kenntage sind in den Abbildungen 5 und 6 dargestellt. Sommer- und Hitzetage werden im zukünftigen Klima deutlich zunehmen, insbesondere gegen Ende des 21. Jahrhunderts. Die Anzahl der Tropennächte steigt absolut betrachtet nur leicht an, da trotz steigender Tagesminimumtemperaturen im zukünftigen Klima die Schwelle von 20 °C Tagesminimumtemperatur nur selten überschritten wird. Die Anzahl der Starkniederschlagstage, d.h. der Tage mit Niederschlägen größer gleich 20 mm, nimmt zu. An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass sich die Definition eines Starkniederschlagstags in verschiedenen Disziplinen (bspw. Meteorologie und Wasserwirtschaft) unterscheidet.

2 Jacob 2001  
3 Rockel et al. 2008  
4 Roeckner et al. 2003, Jungclaus et al. 2006  
5 Nakicenovic et al. 2000  
6 Jacob 2005, Jacob et al. 2008, Jacob et al. 2012.

7 Hollweg et al. 2008, Lautenschlager et al. 2009, Keuler et al. 2009a, Keuler et al. 2009b

8 Zum einen besteht die Möglichkeit, dass die zukünftigen Treibhausgasemissionen, die durch die Szenarien aufgespannte Bandbreite verlassen, zum anderen wird durch die Auswertung der Ergebnisse von lediglich zwei regionalen Klimamodellen, welche von demselben globalen Klimamodell angetrieben werden, nur ein Teil der Bandbreite auf Grund von Modellunsicherheiten abgedeckt. Ein Vergleich mit größeren Ensembles wie sie in den Projekten PRUDENCE und ENSEMBLES erstellt wurden und in CORDEX zurzeit erweitert werden, bietet sich an, um die in diesem Abschnitt erhaltenen Ergebnisse besser einordnen zu können.

9 Für den Winter wurden alle CLM, sowie die REMO-A1B-1; REMO-A1B-2; REMO-B1-1; REMO-A2-1 Läufe weggelassen, da in den für diese Simulationen verwendeten Modellversionen eine unrealistische Häufung von Tagesmitteltemperaturen um 0°C aufgetreten ist.

# TAGESMITTELTEMPERATUR

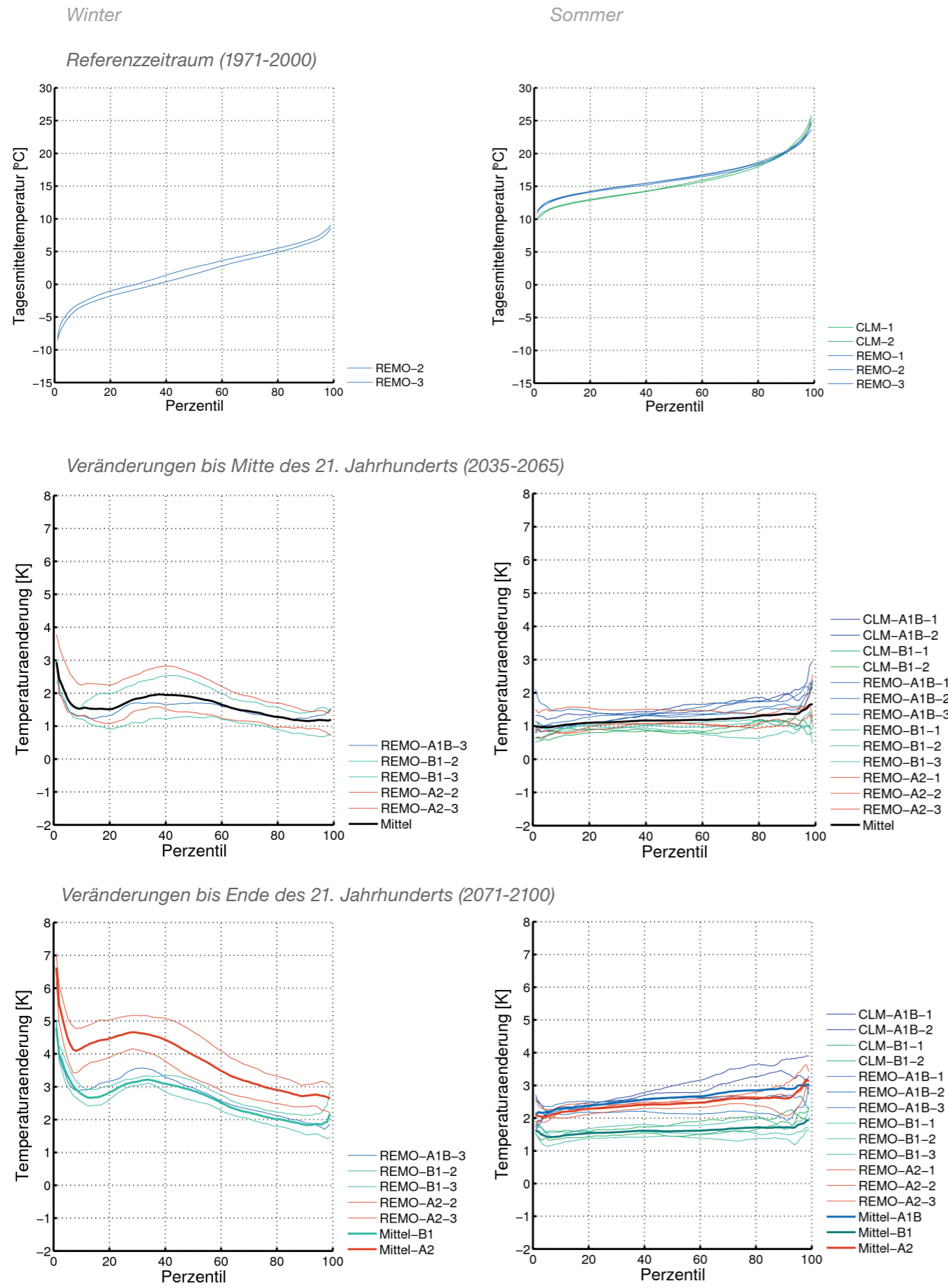


Abb. 3: Simulierte Perzentile der Tagesmitteltemperatur im Referenzzeitraum 1971 bis 2000 sowie projizierte Änderungen für den Zeitraum 2036 bis 2065 und 2071 bis 2100, jeweils dargestellt für Winter und Sommer

# TAGESNIEDERSCHLAGSSUMME

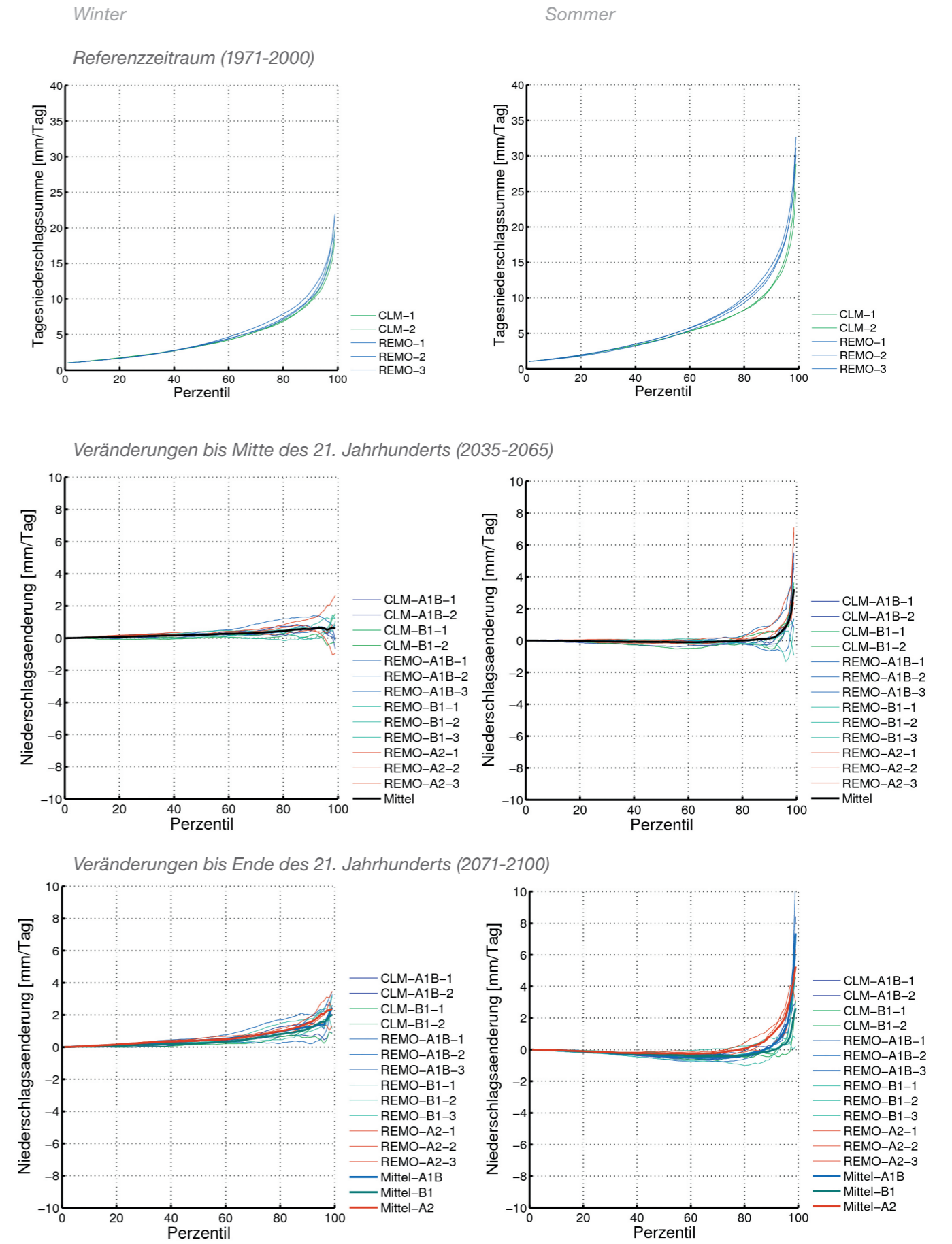
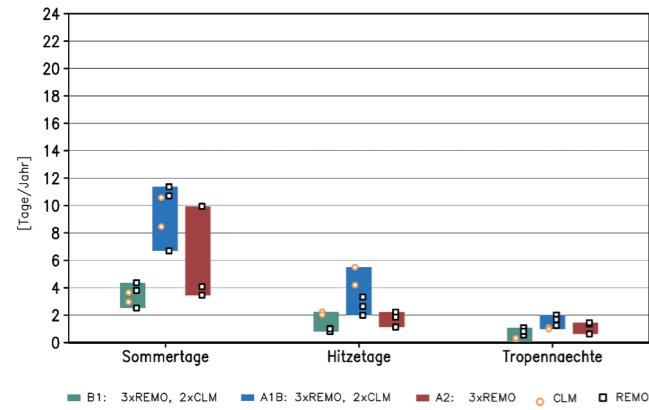


Abb. 4: Simulierte Perzentile der Tagesniederschlagssummen an Tagen mit mehr als 1 mm Niederschlag im Referenzzeitraum 1971 bis 2000 sowie projizierte Änderungen für den Zeitraum 2036 bis 2065 und 2071 bis 2100. Jeweils dargestellt für Winter und Sommer.

Sommer- und Hitzetage, Tropennächte 2036-2065



Sommer- und Hitzetage, Tropennächte 2071-2100

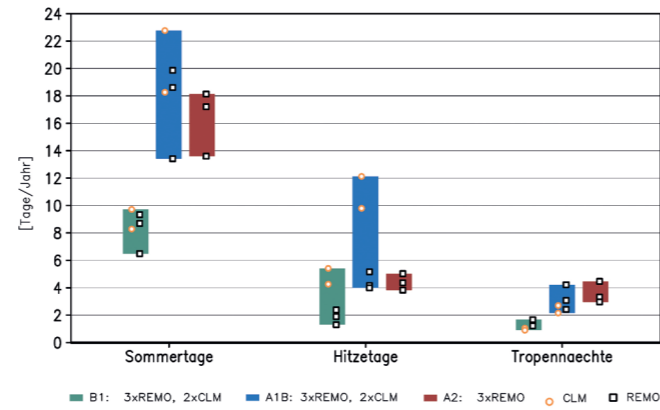
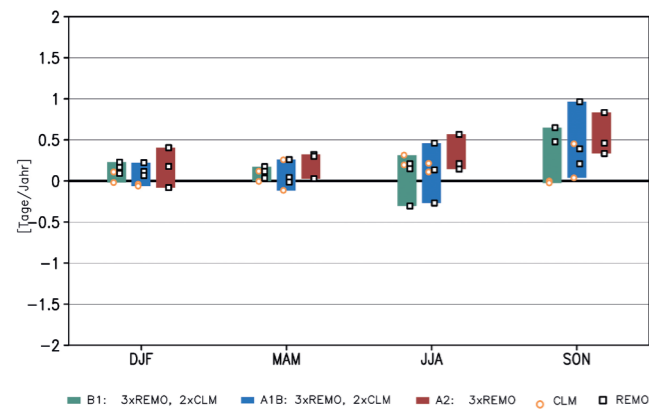


Abb. 5: Projizierte Änderungen der Anzahl von Sommertagen (14 bis 23 Tage pro Jahr im Referenzzeitraum), der Anzahl von Hitzetagen (1 bis 8 Tage pro Jahr im Referenzzeitraum), und der Anzahl von Tropennächten (0,2 bis 0,4 Tage pro Jahr im Referenzzeitraum).

Tage mit Niederschlag über 20mm 2036-2065



Tage mit Niederschlag über 20mm 2071-2100

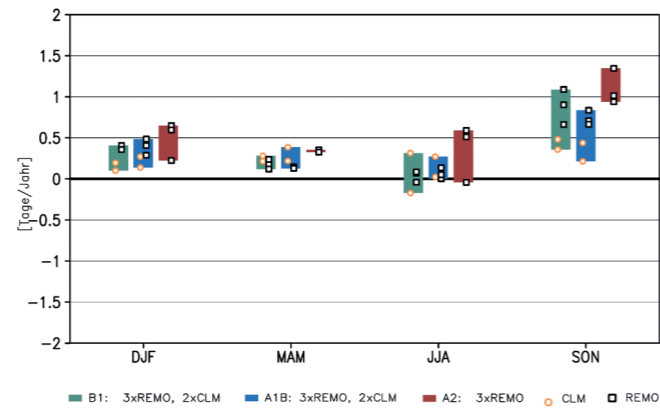


Abb. 6: Projizierte Änderungen der Anzahl von Starkniederschlagstagen (0,3 bis 0,6 Tage pro Jahr in DJF; 0,2 bis 0,5 Tage pro Jahr in MAM; 0,8 bis 2,0 Tage pro Jahr in JJA; und 0,5 bis 1,1 Tage pro Jahr im Referenzzeitraum in SON) für die verschiedenen Jahreszeiten.

## Zusammenfassung

Die globalen Klimaänderungen wirken sich regional auf Hamburg aus. Bis Mitte des 21. Jahrhunderts muss sich die Metropole auf steigende Temperaturen einstellen, das bedeutet ca. 1 K bis 3 K höhere Temperaturen im Winter und ca. 1 K bis 1,5 K im Sommer. Der Temperaturanstieg hängt bis zur Mitte des 21. Jahrhunderts nur geringfügig davon ab, wie hoch die Menge an Treibhausgasen ist, die global ausgestoßen wird. Ab Mitte des 21. Jahrhunderts wird ein deutlicher Unterschied zwischen den Szenarien mit vergleichsweise hohen Treibhausgasemissionen (A1B und A2) und dem Szenario mit vergleichsweise niedrigen Treibhausgasemissionen (B1) erkennbar. Je mehr Treibhausgase ausgestoßen werden, desto höher ist der zu erwartende Temperaturanstieg. Dementsprechend steigt die Anzahl von Sommer- und Hitzetagen künftig an. Dies wird sehr wahrscheinlich tagsüber zu einer erhöhten Hitzebelastung für die Hamburger Bevölkerung führen. Auch die Anzahl der Tropennächte wird steigen, bleibt aber absolut betrachtet mit ein bis vier Tagen pro Jahr auch in Zukunft gering.

Des Weiteren muss sich Hamburg in Zukunft auf zunehmende Niederschlagsmengen einstellen. Einzige Ausnahme ist der Sommer, für den zeigen gegen Ende des 21. Jahrhunderts die meisten Simulationen eine Abnahme der Niederschlagsmengen. Einher geht dies mit einer Zunahme der Häufigkeit von Starkniederschlägen. In allen anderen Jahreszeiten nimmt sowohl die Niederschlagsmenge als auch die Häufigkeit von Starkniederschlägen zu. Beim Niederschlag ist – im Gegensatz zur Temperatur – der Einfluss der global ausgestoßenen Treibhausgasmenge deutlich geringer, der Einfluss der natürlichen Variabilität des Klimas jedoch deutlich höher. Die ausgewerteten Simulationen bilden die lokalen Einflüsse der Stadt Hamburg aufgrund der niedrigen Auflösung regionaler Klimamodelle nur grob ab. Untersuchungen zur Auswirkung des Klimawandels auf das Hamburger Stadtklima mit höher aufgelösten Modellen beschreibt Kapitel 3.2.