

### 3 Klimatische Entwicklung von Sachsen-Anhalt

*Johannes Suttmöller, Henning Meesenburg*

#### 3.1 Begriffserklärungen

Klima ist definiert als die Zusammenfassung der Wettererscheinungen, die den mittleren Zustand der Atmosphäre an einem bestimmten Ort oder in einem mehr oder weniger großen Gebiet charakterisieren. Es wird repräsentiert durch die statistischen Gesamteigenschaften (Mittelwerte, Extremwerte, Häufigkeiten u. a.) über einen genügend langen Zeitraum. Von der Weltorganisation für Meteorologie (WMO) wird ein Zeitraum von 30 Jahren der Klimabeobachtung als Zeitraum festgelegt, die sogenannte Normalperiode. Die aktuell gültige Normalperiode umfasst den Zeitraum 1991 bis 2020. Allerdings wird im Kontext des Klimawandels weiterhin die Referenzperiode 1961 bis 1990 herangezogen.

#### 3.2 Ausgangslage

Sachsen-Anhalt befindet sich im Übergangsbereich zwischen dem ozeanisch geprägten Klima Westeuropas und dem kontinentalen Klima Osteuropas. Dabei nimmt der maritime Einfluss von West nach Ost ab. Der Harz und sein Umland nehmen in den klimatischen Bedingungen in Sachsen-Anhalt eine Sonderstellung ein, da die Hochlagen ganzjährig Niederschläge erhalten, während sich im Windschatten des Harzes die niederschlagsärmsten Regionen Deutschlands befinden.

Die langjährige Jahresmitteltemperatur beträgt in Sachsen-Anhalt 9,6 °C (s. Tab. 5). Gegenüber der Klimareferenzperiode von 1961 bis 1990 bedeutet dies einen Anstieg um 1 K (Temperaturdifferenzen werden in Kelvin (K) angegeben und entsprechen °C). Im Vergleich zur vorindustriellen Zeit liegt die Temperaturerhöhung bereits bei knapp 1,5 K. Überdurchschnittlich stark fällt die Erwärmung in den Monaten Januar bis April und in den Monaten Juli und August aus. Teilweise beträgt die Erwärmung im Vergleich zur Klimareferenzperiode mehr als 1,5 K (April). Deutlich geringer ist dagegen die Temperaturzunahme in den Herbstmonaten. Die langjährige Monatsmitteltemperatur hat sich in den Monaten September bis November um circa 0,5 K erhöht. Dabei gibt es in der Temperaturzunahme zwischen der Nicht-Vegetationszeit von Oktober bis April und der Vegetationszeit von Mai bis September nur geringe Unterschiede (s. Tab. 5).

Auch die mittlere jährliche Niederschlagssumme hat in der aktuellen Klimaperiode im Vergleich zur Klimareferenzperiode leicht zugenommen. Für das Flächenmittel von Sachsen-Anhalt werden 586 mm Jahresniederschlagssumme berechnet. Dies entspricht einer Zunahme von knapp 30 mm im Jahr (s. Tab. 5). Besonders im Juli fallen im Vergleich zur Klimareferenzperiode deutlich mehr

Niederschläge. Dies kann auf die Zunahme von Starkniederschlagsereignissen zurückgeführt werden. Dadurch ist die Niederschlagshöhe in der Vegetationszeit überproportional angestiegen. Im Gegensatz dazu haben die langjährigen Niederschlagssummen im April signifikant abgenommen (ca. 25 %). Besonders in den letzten Jahren konnte in Sachsen-Anhalt eine Zunahme der Frühjahrstrockenheit beobachtet werden. Die Veränderung in der Niederschlagsverteilung hat dazu geführt, dass das sommerliche Niederschlagsmaximum stärker ausgeprägt ist als in der Vergangenheit.

Tabelle 5: Temperaturmittelwerte und Niederschlagssummen für die langjährigen Mittelwerte der Referenzperioden 1961–1990 und 1991–2020 (Datenquelle: DWD)

Zeitraum	Temperatur (°C)		Niederschlag (mm)	
	1961–1990	1991–2020	1961–1990	1991–2020
Januar	-0,4	1,0	40	46
Februar	0,3	1,7	34	34
März	3,6	4,7	41	42
April	7,7	9,3	44	32
Mai	12,7	13,6	53	56
Juni	16,0	16,8	64	57
Juli	17,4	18,9	53	73
August	17,0	18,5	59	59
September	13,6	14,3	42	50
Oktober	9,3	9,6	36	45
November	4,4	5,0	44	45
Dezember	1,0	2,0	48	47
<i>Nicht-Vegetationszeit</i>	<i>3,7</i>	<i>4,8</i>	<i>287</i>	<i>295</i>
<i>Vegetationszeit</i>	<i>15,4</i>	<i>16,4</i>	<i>271</i>	<i>291</i>
<i>Jahr</i>	<i>8,6</i>	<i>9,6</i>	<i>558</i>	<i>586</i>

Die natürliche Variabilität des Klimas verdeutlicht Abbildung 10. Insbesondere die Jahresniederschläge unterliegen einer hohen Bandbreite. Die bisher höchsten Niederschläge seit 1961 wurden im Jahr 2007 mit knapp 820 mm Jahressumme im Flächenmittel von Sachsen-Anhalt gemessen. Das trockenste Jahr war 2018 mit einer Jahresniederschlagssumme von rund 370 mm. Der häufige Wechsel von zu trockenen und eher feuchten Jahren lässt keinen eindeutigen Trend in der langfristigen Niederschlagsentwicklung erkennen (s. Abb. 10, gleitendes Mittel der letzten 30 Jahre). Bei der Jahresmitteltemperatur ist der langfristige Erwärmungstrend jedoch eindeutig. Seit Mitte der 1980er-Jahre wurden in Sachsen-Anhalt mit Ausnahme der

Jahre 1997 und 2010 im Vergleich zur Klimareferenzperiode nur noch zu warme Jahre beobachtet. In den vergangenen 10 Jahren hat sich das gleitende Mittel der letzten 30 Jahre um knapp 0,4 K erhöht. Dies würde bedeuten, dass bei gleich bleibendem Trend alle 25 Jahre die Jahresmitteltemperatur um 1 K ansteigt. Das bisher wärmste Jahr seit Messbeginn im Jahr 1881 war 2020 mit einer Jahresmitteltemperatur von 10,9 °C. Auch die Jahre 2019 und 2018 waren nur unwesentlich kühler.

Die tiefen Lagen im Osten und Süden von Sachsen-Anhalt weisen bereits heute eine Jahresmitteltemperatur von mehr als 10 °C auf (s. Abb. 11). Damit gehören die Gebiete zu den wärmsten Regionen in Deutschland. Auch die übrigen Tieflandbereiche, wie die Altmark und Börde, sind im langjährigen Mittel nur wenig kühler ( $> 9.5$  °C). Die Temperatur nimmt im Harz mit zunehmender Höhenlage kontinuierlich ab. Im Unterharz liegt die Jahresmitteltemperatur zwischen 7 und 9 °C, während im Oberharz im langjährigen Mittel teilweise weniger als 5 °C gemessen werden (Brockengebiet).

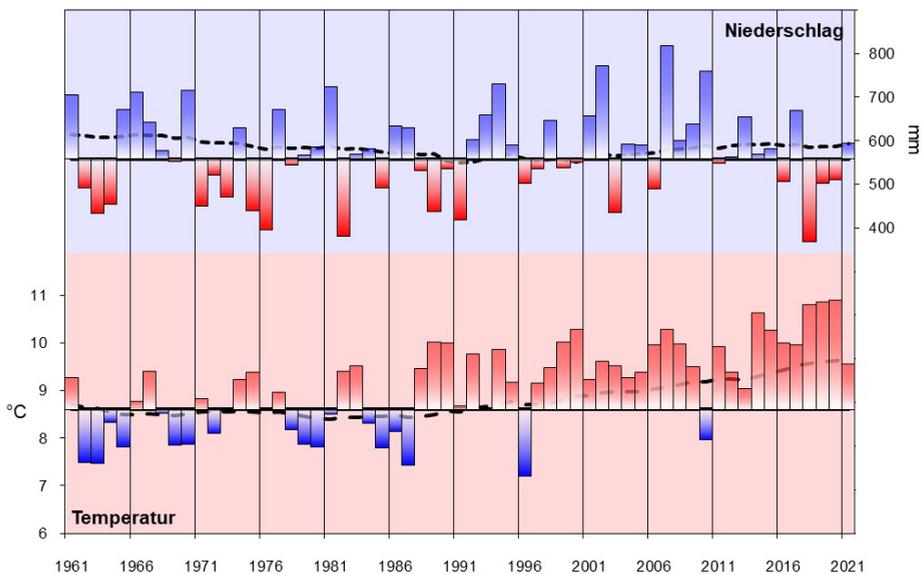


Abbildung 10: Abweichungen von Niederschlag und Temperatur vom Mittel der Klimaperiode 1961–1990 (durchgezogene schwarze Linie) und gleitendes Mittel der letzten 30 Jahre (gestrichelte schwarze Linie) in Sachsen-Anhalt, Jahreswerte (Datenquelle: DWD)

Neben den hohen Temperaturen sind die Tieflagen in Sachsen-Anhalt durch sehr geringe Jahresniederschlagssummen gekennzeichnet. Im Windschatten des Harzes werden im langjährigen Mittel nur 500 bis 550 mm Niederschlag beobachtet. Auch in der Altmark und in den östlichen und südlichen Landesteilen wird im Mittel der

aktuellen Klimanormalperiode kaum mehr als 600 mm Jahresniederschlag gemessen. Im Harz nehmen die Niederschläge mit der Höhe zu. Allerdings sind die Niederschlagssummen im Vergleich zum Westharz auf gleicher Höhenlage deutlich niedriger. Mittlere Niederschlagssummen von mehr als 800 mm werden im Ostharz (Sachsen-Anhalt) nur in den höchsten Lagen beobachtet, wobei im Brockengebiet sogar um 1.500 mm Niederschlag im Jahr fällt.

Das südliche und östliche Sachsen-Anhalt zählt zu den trockensten Regionen in Deutschland. Infolge der bereits beobachteten Klimaerwärmung haben sich die klimatischen Gegebenheiten in diesen Gebieten weiter verschlechtert, indem die Wasserversorgung nicht nur für die Wälder stark beeinträchtigt ist. Die steigenden Temperaturen bedingen einen zunehmenden Verdunstungsanspruch der Vegetation, der infolge der geringen Niederschläge und unzureichend aufgefüllter Bodenspeicher nicht erfüllt werden kann.

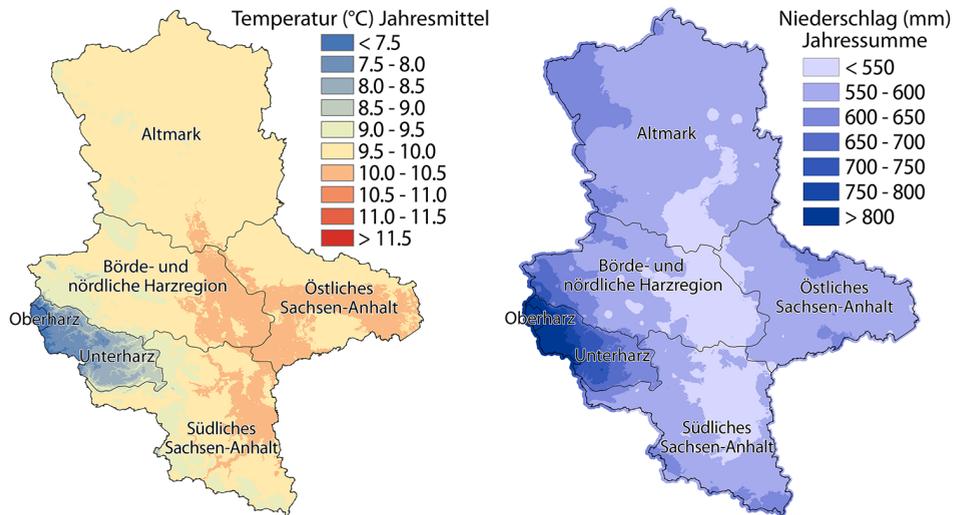


Abbildung 11: Jahresmitteltemperatur und mittlere Jahresniederschlagssumme in der aktuellen Klimanormalperiode (1991–2020; Datenquelle: DWD)

Seit 2018 herrscht in Sachsen-Anhalt eine ausgeprägte Trockenperiode. Diese nun mehrjährige extreme Trockenheit begann mit der Vegetationsperiode 2018, in der nicht einmal 50 % der üblichen Niederschlagssumme fiel. In Kombination mit den sehr hohen Temperaturen trockneten die Böden tiefgründig aus. In den Trockengebieten Sachsens-Anhalts fielen von Mai bis September nicht einmal 100 mm Niederschlag. An der Station Jeßnitz, südlich von Dessau gelegen, waren es bspw. nur knapp 80 mm Niederschlag. Auch in den Jahren 2019 und 2020 führte die Kombination von überdurchschnittlich hohen Temperaturen mit Abweichungen von mehr als 2 K im Vergleich zur Klimareferenzperiode und geringen Niederschlägen dazu, dass die Trockenheit sich fortsetzte (s. Abb. 10). Obwohl im Jahr 2021 das Niederschlagssoll leicht übertroffen wurde und die Temperaturabweichung mit 1 K nicht

so hoch ausfiel wie in den Vorjahren, konnte die Trockenheit kaum abgemildert werden, da die Niederschläge häufig als Starkniederschlag fielen und damit den Bodenwasserspeicher nicht nachhaltig auffüllten. Auch im Jahr 2022 setzte sich die Trockenperiode unvermindert fort.

Die extreme Trockenheit der letzten Jahre stellt in ihrer Intensität und Andauer ein außergewöhnliches Ereignis dar, das seit Messbeginn im Jahr 1881 noch nicht beobachtet wurde. Aktuelle Klimaprojektionen für Deutschland berechnen bis zum Ende des Jahrhunderts eine deutliche Zunahme von Trockenperioden. Somit könnte die aktuelle Dürre in Sachsen-Anhalt nur ein Vorgeschmack auf zukünftig noch extremere Trockenereignisse sein.

### 3.3 Zukünftige Entwicklung

#### 3.3.1 Methodik und Datengrundlage

Seit Mitte des letzten Jahrhunderts wird auf der Erde ein signifikanter Anstieg der Lufttemperatur bodennaher Schichten beobachtet. Im Vergleich zur vorindustriellen Zeit hat sich die globale Erdoberflächentemperatur bereits um mehr als 1,2 K erhöht (s. Abb. 12). Dies zeigen die Ergebnisse des aktuellen sechsten Sachstandsberichtes des *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC 2021). Die Erwärmung der Landflächen im Vergleich zu den Meeren ist deutlich stärker ausgeprägt. So hat sich bspw. die Jahresmitteltemperatur in Deutschland seit Beginn der Industrialisierung um fast 2 K erhöht. Bis zum Ende des 21. Jahrhunderts wird je nach Klimaszenario die globale Oberflächentemperatur um bis zu weiteren 4 K ansteigen.

Zur Abschätzung zukünftiger klimatischer Veränderungen werden Klimaszenarien verwendet. Diese beruhen auf unterschiedlichen sozioökonomischen Annahmen, die das Ergebnis der Arbeiten des IPCC sind. Der aktuelle Forschungsstand zu den wissenschaftlichen Grundlagen des Klimawandels wird in regelmäßigen Abständen im sogenannten Sachstandsbericht des IPCC veröffentlicht. Die Unsicherheit bezüglich der zukünftigen Entwicklung wird durch verschiedene Emissionsszenarien abgebildet. Diese stellen mögliche Entwicklungspfade des anthropogenen (durch den Menschen verursacht) Ausstoßes von Treibhausgasen wie Kohlendioxid, Lachgas oder Methan dar. Die Emissionsszenarien dienen als Antrieb für globale Klimamodelle.

Globale Klimamodelle (*General Circulation Models*, GCM) berechnen die künftige Entwicklung des Klimas anhand komplexer physikalisch basierter Funktionen. Dabei wird das Klimasystem der Erde vereinfacht auf einem dreidimensionalen Gitter abgebildet (s. Abb. 13 links). Die räumliche Auflösung der GCMs beträgt in der Regel mehr als 100 km, d. h. ein Gitterpunkt repräsentiert eine Fläche des hinterlegten Rasters. Infolge des hohen Rechenaufwandes für die Modellierung ist die räumliche Auflösung der Klimamodelle limitiert. Damit die Ergebnisse der globalen

Modelle auch für kleinere Gebiete genutzt werden können, werden die Modellergebnisse der GCMs mittels regionaler Klimamodelle auf eine höhere räumliche Auflösung herunter gerechnet (s. Abb. 13 rechts). Hierbei werden zwei verschiedene Verfahren des *Downscalings* unterschieden.

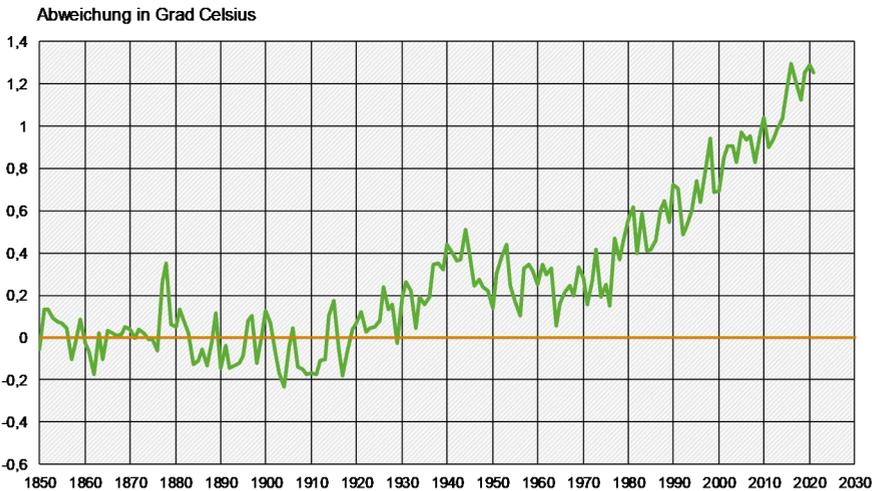


Abbildung 12: Abweichung der globalen Lufttemperatur vom Durchschnitt der Jahre 1850 bis 1990. Die Nulllinie entspricht dem globalen Temperaturdurchschnitt der Jahre 1850 bis 1990 (UBA 2022).

Dynamische Regionalmodelle sind in globale Klimamodelle eingebettet („genestet“) und berechnen das Klimasystem nur für einen Ausschnitt der Erde jedoch mit einer deutlich höheren räumlichen Auflösung ( $> 10$  km). Die physikalisch basierte Berechnung der klimatischen Entwicklung ist mit denen der Globalmodelle vergleichbar.

Statistische Regionalmodelle beschreiben das Klimasystem anhand von Beobachtungen, indem z. B. der Zusammenhang zwischen großräumigen Zirkulationsmustern der Atmosphäre und der regionalen Ausprägung des Wettergeschehens in Beziehung gesetzt werden. Die Veränderungen in der Häufigkeit großräumiger Zirkulationsmuster, die die globalen Klimamodelle berechnen, können durch statistische Verfahren auf die regionale Skala übertragen werden.

Für die forstliche Planung ist die räumliche Auflösung der Regionalmodelle unzureichend. Deshalb werden die Ergebnisse der Klimamodelle mit einem etablierten statistischen Verfahren (*Quantil Mapping*) oder Modellen (STARS II) auf ausgewählte Klimastationen des Deutschen Wetterdienstes herunter gerechnet (FEIGENWINTER et al. 2018, SUTMÖLLER et al. 2021). Vergleichbar mit den Messwerten an der Klimastation wird für die relevanten Klimavariablen (Temperatur, Niederschlag, etc.) eines Klimalaufes eine Zeitreihe erzeugt, die als Tageswerte den gesamten Projektionszeitraum abdeckt. Klimamodelle können systematische

Abweichungen oder Fehler aufweisen. So berechnen einige Modelle den Niederschlagsschwerpunkt im Vorland von Mittelgebirgen und nicht entsprechend den Beobachtungen in den höchsten Lagen. Mit Hilfe der verwendeten *Downscaling*-Verfahren werden Fehler in den Klimadaten korrigiert (Bias-Korrektur).

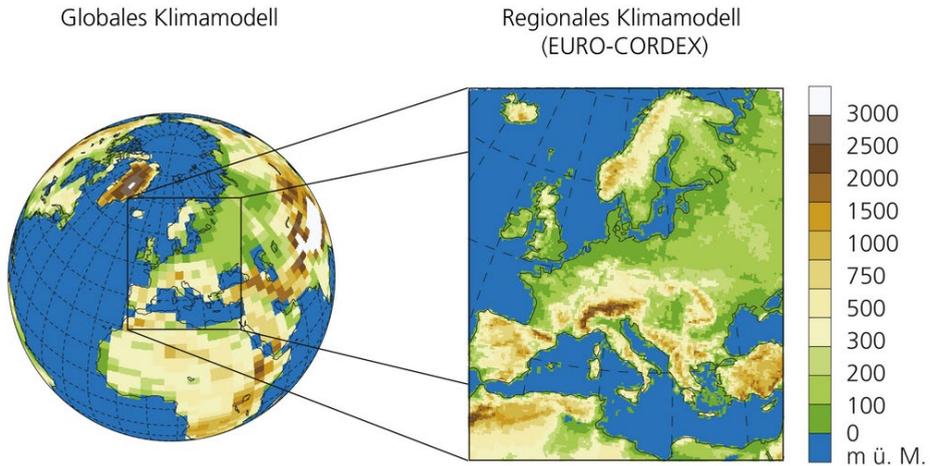


Abbildung 13: Global- und Regionalmodell (CH2018 2018)

Um Aussagen für bestimmte Standorte bzw. für die Planungseinheiten der Forstwirtschaft treffen zu können, ist es notwendig, die Stationsdaten in die Fläche zu interpolieren. Für die Klimavariablen Temperatur und Niederschlag zeigte das kombinierte Verfahren aus *Inverse Distance Weighting* (IDW) und Höhenregression (SCHULLA 2015) eine hohe Anpassungsgüte an unabhängige Messdaten von Intensivmessflächen in Nordwestdeutschland. Ein Vergleich mit regionalisierten Klimadaten des DWD mit einer räumlichen Auflösung von einem Kilometer zeigte ebenfalls plausible Ergebnisse. Mit den erprobten Regionalisierungsverfahren ist es möglich, die räumliche Verteilung ausgewählter Klimavariablen und abgeleiteter Indikatoren zu schätzen.

### 3.3.2 RCP-Klimaszenarien

Klimaprojektionen zeigen mögliche zukünftige Veränderungen des Klimasystems. Der fünfte Sachstandsbericht des IPCC (IPCC 2013) benennt vier Hauptszenarien, sogenannte repräsentative Konzentrationspfade der Treibhausgasemissionen (*Representative Concentration Pathways*, RCP), die die Bandbreite der Klimaveränderungen abbilden. Den vier Emissionsszenarien liegen sehr unterschiedliche sozio-ökonomische Annahmen bis zum Jahr 2100 zugrunde. Die Klimaszenarien wurde im Rahmen des CMIP5-Modellprojektvergleiches (*Coupled Model Intercomparison Project - Phase 5*, TAYLOR et al. 2012) gerechnet. Die CMIP5 Ergebnisse wurden im Rahmen

des CORDEX-Programmes für Europa regionalisiert (*Coordinated Downscaling Experiment*, JACOB et al. 2014). Jedes RCP wird durch eine Vielzahl von Klimäläufen repräsentiert, sodass eine mehr oder weniger große Bandbreite der Temperaturerhöhung erwartet wird. So beträgt der Temperaturanstieg beim RCP8.5 im Mittel mehr als 4 K im Vergleich zur vorindustriellen Zeit, die Unsicherheit (Bandbreite) reicht von 3,5 K bis knapp 5 K (s. Abb. 14).

Der erwartete zusätzliche Strahlungsantrieb (in Watt pro Quadratmeter,  $W/m^2$ ) zum Ende des Jahrhunderts ist aus der Benennung der Klimaszenarien ersichtlich. Die Hauptszenarien werden entsprechend des zusätzlichen Strahlungsantriebes als RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 und RCP8.5 bezeichnet. Beim *Klimaschutzszenario* oder 2 °C-Ziel (RCP2.6) wird die Erhöhung der globalen Mitteltemperatur auf 2 K zur vorindustriellen Zeit begrenzt (s. Abb. 14). Um dies zu erreichen, ist ein umgehender Ausstieg aus den fossilen Energieträgern notwendig. Die Treibhausgaskonzentration im Jahr 2100 würde dann bei 400 ppm CO<sub>2</sub>-Äquivalenten (VAN VUUREN et al. 2011) liegen und damit deutlich unter den aktuellen Werten. Im Gegensatz dazu ist beim pessimistischen Klimaszenario RCP8.5 mit einer deutlichen Erwärmung zu rechnen, die regional sehr unterschiedlich ausfallen würde. Während die Temperatur über den Ozeanen im Mittel um rund 4 K ansteigen würde, erwärmen sich die Landflächen um etwa 6 K im Vergleich zur vorindustriellen Zeit. Für die Arktis werden sogar Temperaturerhöhungen von mehr als 10 K erwartet. Beim RCP8.5 oder *Weiter-wie-bisher*-Szenario wird angenommen, dass keine Klimaschutzmaßnahmen getroffen werden und die Nutzung fossiler Energieträger infolge des Bevölkerungswachstums weiter zunimmt. Bei den *mittleren* Klimaszenarien RCP4.5 und RCP6.0 werden Klimaschutzmaßnahmen langfristig umgesetzt, sodass die Erwärmung etwa 2 bis 3 K betragen würde (s. Abb. 14).

Während die Temperaturerhöhung von den Klimamodellen sehr ähnlich (trotz hoher Bandbreite) berechnet wird, ist die Niederschlagsentwicklung mit einer deutlich höheren Unsicherheit behaftet. Die Zunahme des Energiegehaltes der Atmosphäre kann zu einer Erhöhung der Niederschlagsmengen führen, die allerdings regional sehr unterschiedlich ausfallen dürfte. So wird angenommen, dass niederschlagsreiche Regionen in Zukunft noch mehr Niederschlag erhalten, während in bereits heute trockenen Gebieten mit einer Abnahme der Niederschläge gerechnet wird. Für Deutschland lassen die Modelle keine signifikante Veränderung in der Niederschlagshöhe erwarten. Jedoch zeigen die Ergebnisse vieler Modellsimulation, dass sich die Niederschlagsverteilung zugunsten der Winterniederschläge verschieben wird. Entsprechend ist im Sommer mit einer mehr oder weniger starken Abnahme der Niederschlagsmenge zu rechnen. Dies hätte zur Folge, dass auch die Andauer und Intensität von Trockenperioden und Dürren zunehmen würden.

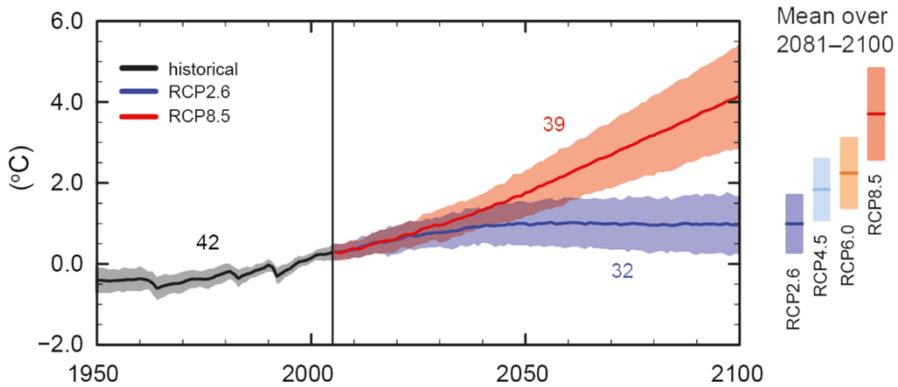


Abbildung 14: Erhöhung der globalen Oberflächentemperatur nach den vier Hauptszenarien des IPCC (IPCC 2013)

### 3.3.3 Entwicklung von Temperatur und Niederschlag

Die im fünften Sachstandsbericht beschriebenen Emissions-(Klima-)Szenarien sind grundsätzlich gleich wahrscheinlich. Allerdings zeigen die aktuell beobachteten Treibhausgasemissionen keinen rückläufigen Trend, sodass die Werte sogar etwas über dem pessimistischen RCP8.5-Szenario liegen (PETERS et al. 2013). Das bedeutet, dass unter der Annahme, dass der Trend der beobachteten Treibhausgasemissionen weiter erhalten bleibt, das RCP8.5-Szenario in erster Näherung als realistisch einzustufen ist.

Die Baumartenempfehlung in Sachsen-Anhalt werden auf Grundlage der Ergebnisse des globalen Klimamodells *ECHAM6-OM* (JUNGCLAUS et al. 2010, STEVENS et al. 2013) für das Szenario RCP8.5 abgeleitet. Die Daten des Globalmodells wurden mit dem Regionalmodell *STARS II*, einer Weiterentwicklung des am Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung entwickelten statistischen Regionalmodell *STARS*, für ganz Deutschland herunterskaliert (ORLOWSKY et al. 2008).

Nach dem Regionalmodell *STARS II* wird die Jahresmitteltemperatur in Sachsen-Anhalt in der Periode 2041 bis 2070 auf rund 11,4 °C im Flächenmittel (s. Abb. 15, links) ansteigen. Im Vergleich zur aktuellen Referenzperiode 1991–2020 entspricht dies einer Temperaturerhöhung um knapp 2 K und zur vorindustriellen Zeit von ungefähr 3,5 K. Besonders die Hochlagen des Harzes würden sich überdurchschnittlich stark erwärmen. Ebenso würden die Temperaturen in den südlichen und östlichen Landesteilen von Sachsen-Anhalt stärker ansteigen als im Landesmittel, während in der Altmark sowie der Börde der Temperaturanstieg mit 1,5 K etwas geringer ausfallen würde. Im östlichen Sachsen-Anhalt wird nach den Modellrechnungen die Jahresmitteltemperatur regional mehr als 12 °C betragen.

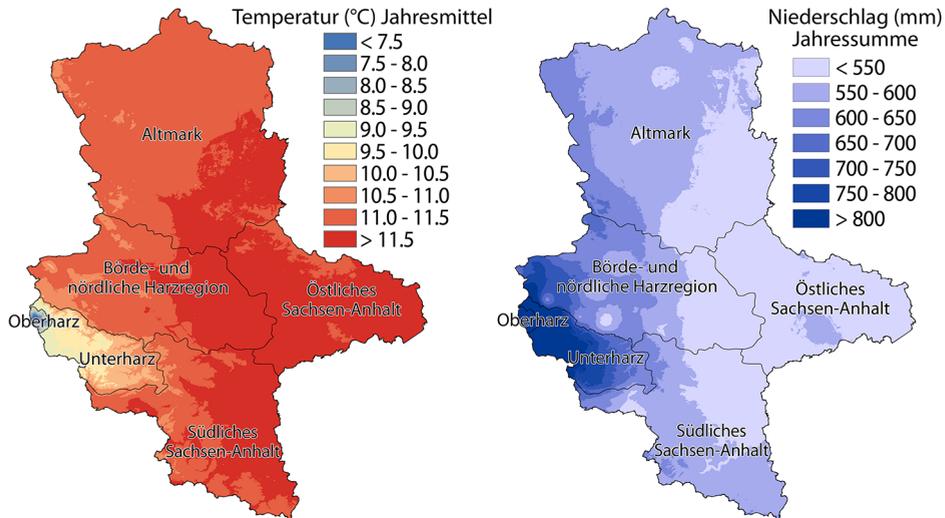


Abbildung 15: Jahresmitteltemperatur und mittlere Jahresniederschlagssumme in der Periode 2041–2070 für das Klimaszenario RCP8.5, berechnet mit dem Modell STARS II (Medianlauf)

Im Gegensatz zur Temperaturentwicklung weist die Jahresniederschlagssumme keine Veränderung auf. Nach den Ergebnissen des STARS II-Modells (Medianlauf) wird die langjährige Niederschlagsmenge im Flächenmittel von Sachsen-Anhalt mit rund 580 mm den heutigen Summen entsprechen. Allerdings käme es im Tiefland zu einer geringen Abnahme der Niederschläge, die in den östlichen Landesteilen bis zu 50 mm beträgt, während im Harz und den angrenzenden Gebieten die Niederschläge insbesondere in den Hochlagen um 50 bis 100 mm zunehmen würden. Für die tiefen Lagen im östlichen und südlichen Sachsen-Anhalt werden für die Periode 2041 bis 2070 mittlere Niederschlagshöhen von teilweise weniger als 500 mm im Jahr berechnet. Die Verteilung der Niederschläge im Jahr wird sich nach den Modellsimulationen allerdings deutlich verschieben. Während im Sommer die Niederschläge signifikant abnehmen werden (regional um bis zu 20 %), ist in den Wintermonaten mit einer deutlichen Zunahme der Niederschlagshöhe zu rechnen.