



Klimareport Schleswig-Holstein

**Fakten bis zur Gegenwart –
Erwartungen für die Zukunft**



Inhalt



Vorwort.....	2
Grußwort von Robert Habeck.....	3
Immer in Veränderung: Wetter und Klima	4
Klima, Klimavariabilität und Extreme.....	6
Klimamodelle.....	8
Klimawandel und Klimaprojektionen.....	10
Das Klima in Schleswig-Holstein heute und morgen.....	12
Klimaparameter und ihre Veränderungen	
Temperatur	14
Niederschlag	18
Sonnenschein.....	22
Wind.....	24
Meeresspiegel.....	26
Phänologie	28
Extremereignisse	30
Aktuelle Forschungsthemen zum System Klima.....	36
Begriffskompass Klima.....	38
Impressum	40



Vorwort

Liebe Leserinnen und Leser,

acht der zwölf wärmsten Jahre seit Beginn der flächenhaften Messungen im Jahr 1881 wurden im neuen Jahrtausend registriert. Auch das abgelaufene Jahr 2016 ist darunter. Den Temperaturrekord hält das Jahr 2014 mit 10,5 °C, gefolgt von 2007 mit 10,0 °C. Diese Werte stellen dabei sehr wahrscheinlich nur die bisherigen Maxima einer fortlaufenden Entwicklung dar. Der 5. Sachstandsbericht des Weltklimarates (IPCC) lässt für die noch folgenden Jahre dieses Jahrhunderts eine weitere deutliche Klimaerwärmung erwarten.

Der Klimawandel stellt für nahezu jeden von uns eine große Herausforderung dar. Sei es zum Beispiel durch vermehrt auftretende Tage mit starker Wärmebelastung oder durch die Erhöhung der Anzahl von extremen Witterungsereignissen. Wegen seiner besonderen Lage zwischen Nord- und Ostsee ist in Schleswig-Holstein nicht nur die Entwicklung einzelner Klimaparameter bedeutsam, sondern die Kombination aus verschiedenen Faktoren spielt eine herausragende Rolle. So hat der Anstieg des Meeresspiegels Auswirkungen auf die Binnenentwässerung insbesondere nach extremen Niederschlägen.

*Der **Klimareport Schleswig-Holstein** stellt das bekannte Wissen über das Klima von gestern, heute und morgen in kurzer und knapper Form dar. Er soll Ihnen als Leser die Gelegenheit geben, sich einen fundierten Überblick zum Klimawandel zu verschaffen. Der Klimareport Schleswig-Holstein stellt somit für Sie eine wesentliche Wissensgrundlage für eine erfolgreiche Anpassung an den Klimawandel dar.*

Dr. Paul Becker
Vizepräsident des Deutschen Wetterdienstes

Matthias Hoppe-Kossak
Direktor des Landesamtes für Landwirtschaft,
Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein



Grußwort von Robert Habeck zum Klimareport Schleswig-Holstein

Wir alle sind Zeugen einer dramatischen Veränderung in unserer Atmosphäre. Die Konzentration von Kohlendioxid (CO₂), die seit Beginn der industriellen Revolution rapide angestiegen ist, hat erstmals seit Millionen von Jahren einen Wert von über 400 ppm (parts per million, Teilchen pro Million) erreicht. Diese Entwicklung, die durch Landnutzung und den Verbrauch fossiler Stoffe vorangetrieben wird, hat sich in den vergangenen Jahrzehnten sogar noch weiter beschleunigt. Das macht sich auch in Schleswig-Holstein schon jetzt bemerkbar, wie der gemeinsame Bericht des Deutschen Wetterdienstes und des Landesamtes für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein zeigt.

Gerade für Schleswig-Holstein als Land zwischen den Meeren ist das besorgniserregend: Der kontinuierliche Anstieg des Meeresspiegels, der mit der globalen Erwärmung einhergeht, stellt gerade die Küstenregionen vor enorme Herausforderungen. Der Klimawandel bedroht den Lebensraum vieler Menschen, Tiere und Pflanzen. Höhere Temperaturen können Vegetation und Landwirtschaft und die Lebensgrundlagen der Menschen im Land verändern. Küstenschutz ist daher gefordert wie nie zuvor: Wir müssen das Land stärker und anders als bisher vor Sturmfluten schützen, wir müssen das Wattenmeer bewahren – als Naturraum und für den Küstenschutz. Dafür haben wir die Grundlagen – vom Klimadeich bis hin zur Wattenmeerstrategie 2100 – gelegt. Der Klimawandel hat aber auch andere, weit schwerer vorauszusagende Einflüsse, wie z. B. die Änderung der Niederschlagsmenge oder die Häufigkeit von Stürmen oder Unwetterereignissen, die Konsequenzen für Mensch und Natur haben.

Der vorliegende Klimabericht beschreibt sehr präzise das Klimageschehen speziell in Schleswig-Holstein und bildet eine Annäherung an Szenarien für das Land im Klimawandel. Und er ist eine Mahnung, dass wir mit noch mehr Nachdruck darauf hinwirken müssen, die Beschlüsse der Vertragsstaaten der UN-Weltklimakonferenz 2015 in Paris zur Reduktion der Treibhausgase gerade auch konkret umzusetzen.

Dr. Robert Habeck

Minister für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt
und ländliche Räume in Schleswig-Holstein

Immer in Veränderung: Wetter und Klima

Das Wetter mit all seinen Erscheinungen prägt unser Leben. Es beeinflusst unsere tägliche Auswahl der Kleidung, aber auch die für Wirtschaft und Gesellschaft notwendige Infrastruktur. Mit der durch den Menschen verursachten Erhöhung der Treibhausgaskonzentrationen und den Änderungen der Landnutzung ändern sich unser Wetter und Klima. Die folgenden Seiten geben einen Überblick über die klimatischen Verhältnisse in der Vergangenheit und über zukünftige Entwicklungen in Schleswig-Holstein.



Vom kurzfristigen Wechsel zur langfristigen Änderung: Wetter und Klima im Wandel

Deutschland gehört zur warm-gemäßigten Klimazone der mittleren Breiten, im Übergangsbereich zwischen dem maritimen Klima Westeuropas und dem kontinentalen Klima Osteuropas. Das Klima Mitteleuropas wird geprägt durch den Einfluss feuchter, gemäßigt temperierter atlantischer Luftmassen und trockener, im Sommer heißer, im Winter kalter kontinentaler Luft. Die großräumige Zirkulation bestimmt, welche Luftmasse dominiert. Dementsprechend können die Jahreszeiten in einzelnen Jahren sehr unterschiedlich ausfallen. Daraus resultiert die Variabilität des Klimas in Schleswig-Holstein. Den dominierenden Einfluss stellt die Nähe zum Meer da; die hohe Wärmekapa-

zität des Wassers sorgt für relativ milde Winter und mäßig warme Sommer.

Der Deutsche Wetterdienst beobachtet an vielen Orten das Wetter, teilweise seit mehr als 100 Jahren. Registriert werden Parameter wie Temperatur, Niederschlag, Sonnenschein und vieles mehr. Die Beobachtungswerte variieren von Tag zu Tag und von Jahr zu Jahr. Neben diesen Variationen können durch die Aufzeichnungen der Messsysteme des Deutschen Wetterdienstes auch langfristige Änderungen erkannt werden. So ist es in Schleswig-Holstein seit 1881 etwa 1,3 Grad wärmer geworden. Gleichzeitig nahm die Anzahl der kalten und sehr kalten Tage ab und die der warmen und sehr warmen Tage zu.

Die Menge des Niederschlags hat seit 1881 zugenommen. Dieses gilt insbesondere für den Herbst und den Winter. In der Jahressumme sind es 2016 18 Prozent mehr als noch vor 136 Jahren. Die Anzahl der Tage mit mindestens 10 Liter Niederschlag je Quadratmeter stieg seit 1951 bis heute um 3 Tage an.

Erfasst wird des Weiteren die Höhe des Meeresspiegels. Auch hier ist eine Änderung zu beobachten. Der Meeresspiegel ist in den letzten 100 Jahren um etwa 20 cm in der Deutschen Bucht und um etwa 14 cm an der deutschen Ostseeküste gestiegen.

Hat der Mensch einen Einfluss auf das Klima?

Mit dem Ausstoß von Treibhausgasen und der großflächigen Änderung der Landnutzung greift der Mensch in das natürliche Klimasystem der Erde ein. Ein Schwerpunktthema der weltweiten Forschung ist daher die Analyse der Folgen dieser Eingriffe.

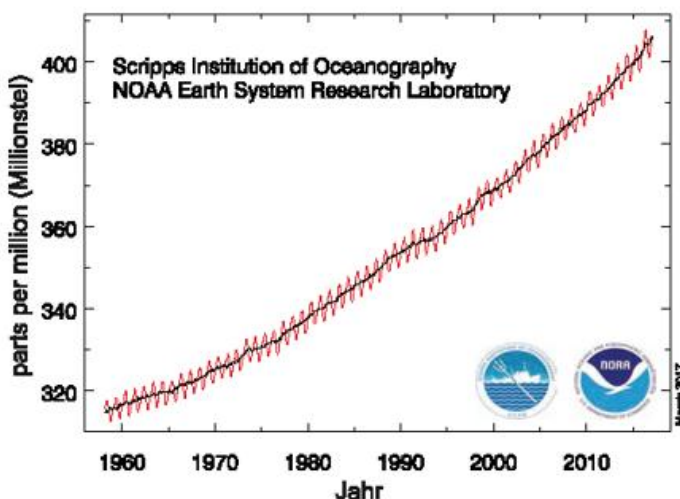
Mit Hilfe von Klimamodellen haben die Wissenschaftler die Auswirkungen auf das globale und regionale Klima auf der Basis von Szenarien untersucht. Für Schleswig-Holstein ergibt sich je nach gewähltem Szenario eine Erhöhung der Jahresmitteltemperatur von mindestens 1 °C bis hin zu mehr als 4 °C in den nächsten 100 Jahren. Eine Änderung von nur 1 °C ist laut den Klimamodellen nur bei deutlicher Reduktion der Emission von Treibhausgasen möglich. Bei weiterem Wirtschaftswachstum und weiterhin hohen Treibhausgasemissionen ist eine Änderung von 3 bis 4 °C zu erwarten. Damit verbunden nimmt die Anzahl der



kalten und sehr kalten Tage noch weiter ab, während die Zahl der warmen und sehr warmen Tage deutlich zunimmt.

Verbunden mit der Temperaturzunahme werden sehr wahrscheinlich die jährlichen Niederschlagsmengen weiter zunehmen. Die Anzahl der Tage mit mindestens 10 Liter Niederschlag je Quadratmeter wird sich nach den Ergebnissen der Klimaprojektionen erhöhen.

Ein Anstieg der Lufttemperatur geht mit einer Erhöhung der Meerwassertemperatur einher. Dadurch dehnt sich das Wasser aus und in der Folge steigt der Meeresspiegel. Dem aktuellen wissenschaftlichen Kenntnisstand nach wird sich der Meeresspiegelanstieg durch verstärkte Schmelzprozesse an den Gletschern deutlich beschleunigen.



◀ Mittlere Konzentration des atmosphärischen CO₂, gemessen am Mauna Loa Observatorium (Hawaii). Die Daten bilden die weltweit längste Reihe direkter Kohlendioxidmessungen. Dargestellt sind die Monatswerte (rote Kurve) sowie Jahresmittel (schwarze Kurve). Die Schwankungen innerhalb eines Jahres sind durch die unterschiedlichen Wachstumsperioden der Vegetation bedingt. (Quelle: NOAA)

Klima, Klimavariabilität und Extreme

Wetter, Witterung, Klima: Unter diesen drei Begriffen versteht die Meteorologie und Klimatologie Vorgänge, die in der Atmosphäre in verschiedenen langen Zeiträumen ablaufen. Das Wetter beschreibt den kurzfristigen Zustand der Atmosphäre, die Witterung eine Phase von Wochen bis mehreren Monaten und das Klima die Zeitspanne von Jahrzehnten bis hin zu geologischen Zeitaltern.

Was ist Klima?

Die Weltorganisation für Meteorologie (WMO) definiert „Klima“ wissenschaftlich präzise als „Synthese des Wetters über einen Zeitraum, der lang genug ist, um dessen statistische Eigenschaften bestimmen zu können“. „Klima“, vom altgriechischen Wort klīma für „ich neige“ stammend, spielt auf die Konstellation der Erde im Sonnensystem an, auf die Neigung der Erdachse, den variierenden Abstand unseres Planeten zur Sonne und den damit zusammenhängenden

markanten Schwankungen der meteorologischen Bedingungen. Das Klima war in der Vergangenheit nie konstant. Aus der Erdgeschichte sind Eiszeiten und Warmzeiten bekannt.

Das Klima ist auch immer auf einen Ort bezogen. Das Klima von Helgoland ist beispielsweise ein anderes als das von Lübeck. Um das Klima einer Region zu beschreiben, werden entsprechend den Vorgaben der WMO Zeiträume von mindestens 30 Jahren analysiert.





▲ Messfeld des Deutschen Wetterdienstes in St. Peter-Ording.

Klimavariabilität

Das Klima ist als Summe von Wetter und Witterung etwas Variables. Es ist nicht ausreichend, das Klima alleinig mit einem Mittelwert zu beschreiben. Schon auf der Tagesskala beobachten wir eine hohe Variabilität des Wetters. Diese Variabilität zeigt sich auch bei der Witterung. Gleiches gilt für längere Zeitskalen. So sind im Winter die Temperaturen im Mittel geringer als im Sommer. Aber auch einzelne Jahreszeiten unterscheiden sich. Es gibt milde oder kalte Winter und trockene oder feuchte Sommer.

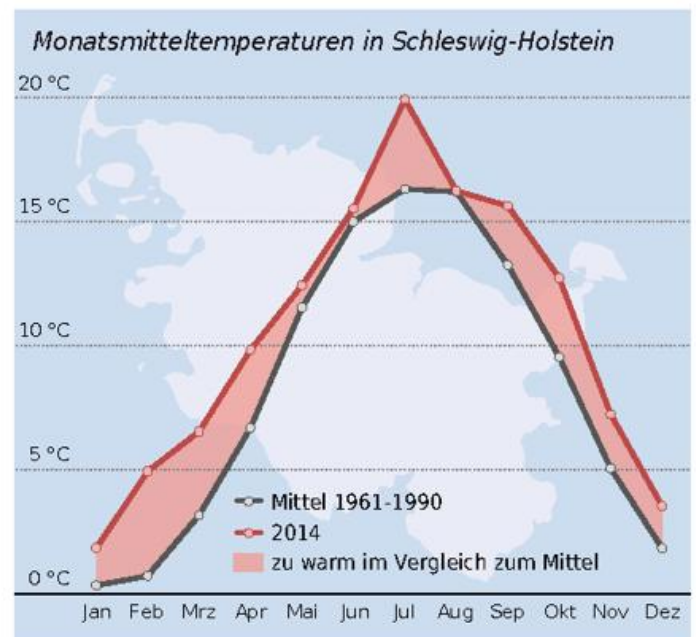
Die beschriebene Variabilität zeigt sich nicht nur bei der Temperatur. Sie gilt für alle meteorologischen Elemente (z. B. Niederschlag und Sonnenscheindauer). Auch ein sich durch den Klimawandel erwärmendes Klima weist diese Variabilität auf: Es wird nicht jedes Jahr etwas wärmer sein als das vorhergehende. Einzelne Jahre können wärmer, aber auch kälter sein als der mittlere Verlauf.

Klimatrend

Von einem Klimatrend sprechen wir, wenn innerhalb einiger Jahrzehnte verstärkt eine Veränderung, z. B. zu häufigeren positiven Temperaturabweichungen, festzustellen ist oder vermehrt bisher beobachtete Schwankungsbreiten betragsmäßig zunehmend überschritten werden. Die Änderungsrichtung kann durchaus kurzzeitig unterbrochen oder abgemildert sein, entscheidend ist, dass die zu beobachtende Änderungsrichtung über einen langen Zeitraum anhält. Solche langfristigen Änderungen können natürliche Ursachen haben, wie z. B. Veränderungen der Erdbahnparameter oder der Sonnenaktivität. Aber auch der Mensch greift mit seinen Aktivitäten in das Klimasystem ein.

Extremereignisse

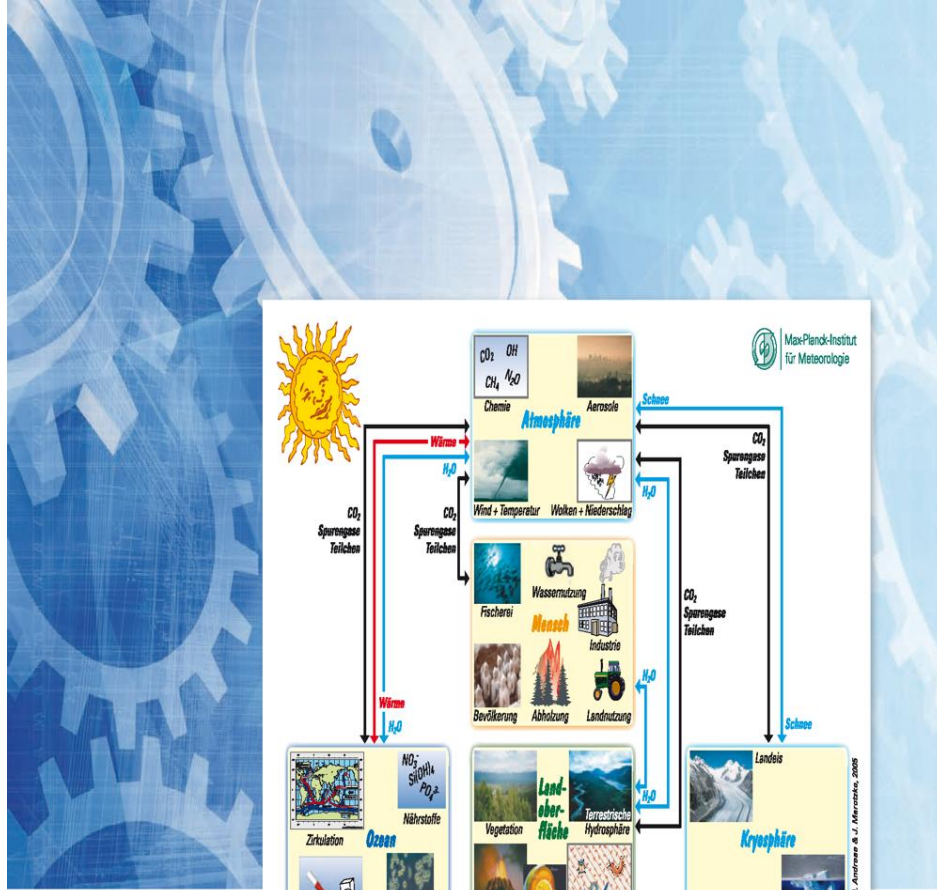
Extremereignisse sind sehr seltene Ereignisse, die stark von den mittleren Bedingungen abweichen.



▲ 2014 war in Schleswig-Holstein das wärmste Jahr seit Beginn der Wetteraufzeichnungen. Bis auf den August wiesen alle Monate zum Teil deutlich höhere Mitteltemperaturen auf als während der international gültigen Referenzperiode 1961-1990.

Ein Ereignis kann aus vielfältigen Gründen zu einem Extremereignis werden. Es kann ein auf einen Tag bezogenes Ereignis sein, wie eine Orkanböe, ein längerfristiges Ereignis, wie eine langanhaltende Trockenheit, oder ein für den Zeitpunkt im Jahr sehr untypisches Ereignis. So ist beispielweise eine Temperatur von 20 °C an einem Julitag nicht ungewöhnlich. 20 °C am Neujahrstag wären außergewöhnlich und somit ein Extremereignis.

Extreme gehören zum Wetter und Klima. So wie sie zum Klima der Vergangenheit gehört haben, so werden sie auch zum Klima der Zukunft gehören. Die Analyse der Intensität und der Häufigkeit des Auftretens solcher extremer Wetterereignisse ist ein wesentlicher Schwerpunkt in der aktuellen Klimaforschung.



▲ In einem Klimamodell werden die wesentlichen Prozesse und Wechselwirkungen in der Natur mit Nährungsformeln beschrieben. Einige davon sind hier dargestellt. (Quelle: Max-Planck-Institut für Meteorologie)

Klimamodelle

Die beobachteten Klimaschwankungen und -trends der Vergangenheit einfach in die Zukunft zu extrapolieren ist im Hinblick auf den Klimawandel nicht sinnvoll. Daher werden Klimamodelle – als computergestützte Werkzeuge zur vereinfachten Beschreibung von in der Natur ablaufenden Erscheinungen – für die Abschätzung der zukünftigen Klimaentwicklungen genutzt.

Die Welt als Gitter

In einem Klimamodell wird eine Vielzahl an (Teil-) Modellen zu einem großen Modell zusammengefasst. Die Teilmodelle sind in der Lage, alle wesentlichen Prozesse der Atmosphäre, Hydrosphäre, Kryosphäre und Biosphäre unseres Planeten Erde zu beschreiben. Eine Eins-zu-eins-Umsetzung aller in der Realität ablaufenden Prozesse in Klimamodellen ist jedoch nicht möglich. Zum einen sind nicht alle Prozesse in der Natur hinreichend bekannt. Zum anderen ist dies durch extrem hohen Aufwand an Computerrechenzeit bislang nicht umsetzbar.

Für die Modellierung werden die Atmosphäre und die Ozeane der Erde mit einem dreidimensionalen

Gitternetz überzogen. Die Auflösung (Gitterpunkt- abstand) globaler Klimamodelle ist sehr grob, damit sie innerhalb einer akzeptablen Rechenzeit über viele Jahre gerechnet werden können. Obwohl diese Modelle die grundlegende großräumige Variabilität des Klimas ausreichend beschreiben, reicht die Auflösung nicht aus, um Unterschiede in den Ausprägungen des Klimawandels einer bestimmten Region der Erde (z. B. Deutschland) detailliert darzustellen. Hierfür werden regionale Klimamodelle eingesetzt, deren Gitterpunkte ein erheblich enmaschigeres Netz bilden als diejenigen der globalen Klimamodelle. Die regionalen Modelle werden an den seitlichen Rändern von den globalen Modellen gesteuert.

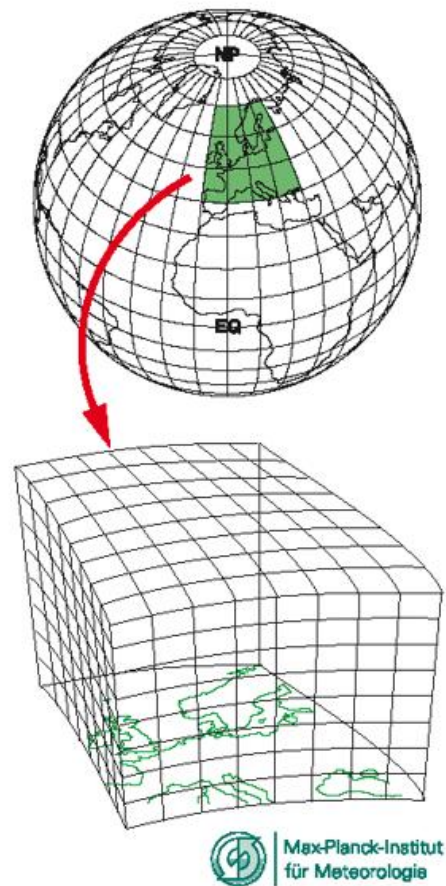
Für Deutschland liegen aktuell Simulationen mit einer räumlichen Gitterweite von 50 und 12,5 km vor. Das bedeutet zum Beispiel, dass die simulierte Temperatur nur alle 12,5 km einen anderen Wert annehmen kann.

Eine belastbare Aussage ist für eine einzelne Gitterzelle nicht möglich. Es müssen immer mehrere Gitterzellen zusammengefasst werden. Üblicherweise wird dafür eine Matrix von drei mal drei Gitterzellen genutzt. Bei einer Modellauflösung von beispielsweise 12,5 km sind nur Aussagen für eine Region von 37,5 km x 37,5 km möglich.

Viele Modelle, viele Ergebnisse

Weltweit werden von einer Vielzahl von Forschungsgruppen Klimamodelle mehr oder weniger unabhängig voneinander entwickelt. Einzelne Modellkomponenten werden dadurch unterschiedlich beschrieben, was wiederum zu unterschiedlichen Ergebnissen führen kann. Ursache hierfür sind die für die Entwicklung eines Modells notwendigen vereinfachten Grundannahmen gegenüber den in der Natur ablaufenden Prozessen.

Die vorhandene Bandbreite des Ensembles (=Gruppe von Klimaprojektionen) ist ein wichtiger Hinweis auf die Güte des Verständnisses der in der Natur ablaufenden Prozesse. Je größer die Bandbreite ist, desto vorsichtiger sollten Aussagen zum Beispiel über beschriebene Änderungssignale formuliert werden.

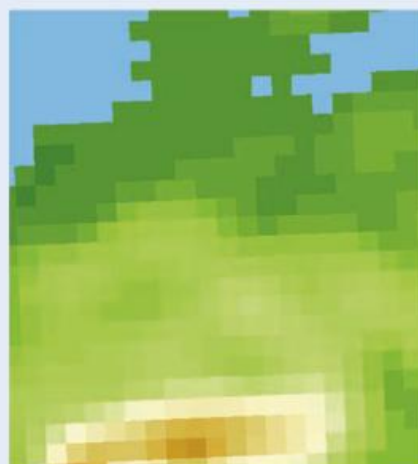


▲ Beispielhafte Darstellung von Modellgitterzellen. Sie unterteilen die Atmosphäre nicht nur in der Horizontalen, sondern bilden auch in der Vertikalen eine Reihe von Schichten. (Quelle: Max-Planck-Institut für Meteorologie)

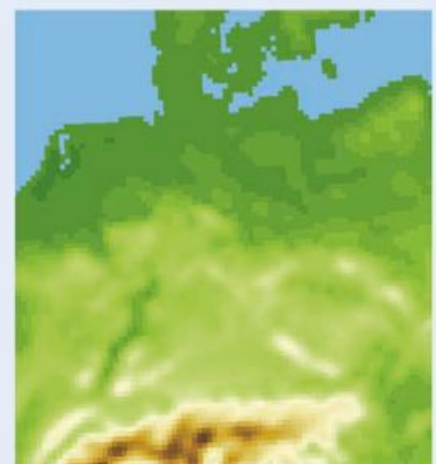
Je engmaschiger, desto genauer – hier am Beispiel des Höhenreliefs von Deutschland in unterschiedlichen Modellgitterauflösungen. Die Auswirkungen der Beschreibung einer Region auf Basis eines wesentlich dichteren Gitternetzes sind deutlich erkennbar. ▼



Globales Klimamodell (sehr grob)
1,875° (ca. 200 km)



Regionales Klimamodell (grob)
0,44° (ca. 50 km)



Regionales Klimamodell (fein)
0,11° (ca. 12,5 km)



Klimawandel und Klimaprojektionen

Der Begriff Klimawandel beschreibt eine Änderung der vorhandenen klimatischen Verhältnisse an einem Ort oder auf der gesamten Erde. Hinsichtlich des Parameters Temperatur kann diese Änderung grundsätzlich eine Erwärmung oder eine Abkühlung sein. Der viel diskutierte Klimawandel wird nicht durch natürliche Einflüsse (Erdbahnparameter oder Variationen der Solarstrahlung) hervorgerufen. Die Aktivitäten des Menschen haben einen signifikanten Einfluss auf das globale und regionale Klima.

Klimafaktor Mensch

Der Mensch wirkt auf vielfältige Weise auf das Klima ein. Wesentlich sind zwei Bereiche:

1. Durch die Verbrennung von fossilen Brennstoffen entstehen unter anderem große Mengen an Kohlendioxid, das direkt in die Atmosphäre entweicht.
2. Durch Abholzung, Aufforstung und Versiegelung verändert der Mensch die Landnutzung auf der regionalen und globalen Skala.

Nur unter der gemeinsamen Berücksichtigung der natürlichen Einflüsse sowie derjenigen, die auf den Menschen zurückzuführen sind, können die beobachteten Änderungen des globalen Klimas erklärt werden.

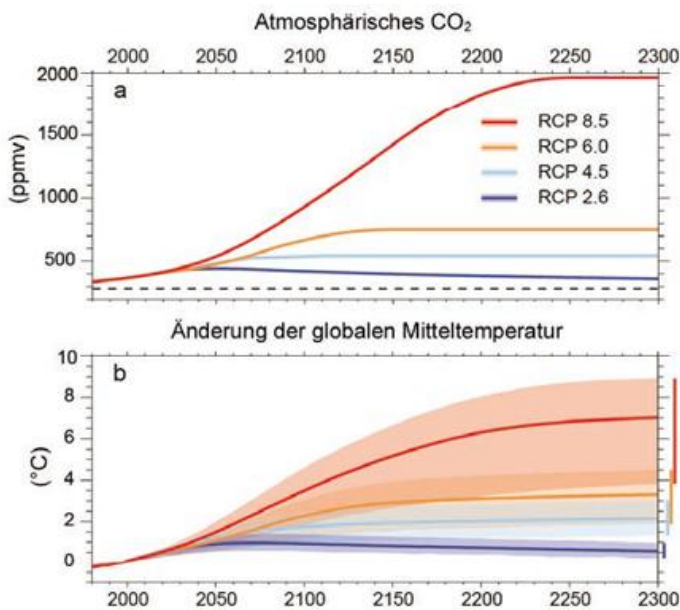
Es ist nicht möglich, den Einfluss des Menschen auf das Klima der nächsten Jahre und Jahrzehnte genau zu beschreiben. Möglich sind aber Annahmen über den wahrscheinlichen Verlauf der Einflussnahme. Diese Annahmen werden in der Wissenschaft Szenarien genannt. In den letzten Jahren wurde eine Vielzahl denkbarer Szenarien entwickelt, die einen mehr oder minder starken Einfluss des Menschen auf das Klima beschreiben. In Vorbereitung auf den 5. Sachstandsbericht des IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) wurden vier repräsentative Szenarien oder „Konzentrationspfade“ (engl. *Representative Concentration Pathways* - RCPs) ausgewählt. Hierbei handelt es sich um Szenarien, die den Verlauf von Treibhausgaskonzentrationen und den Einfluss von Aerosolen (kleinen Partikeln in der Atmosphäre wie z. B. Rußflocken) gemeinsam als Strahlungsantrieb beschreiben. Der Begriff Strahlungsantrieb ist vereinfacht als „zusätzliche/erhöhte“ Energiezufuhr für die Erde zu bezeichnen.

Die Szenarien werden RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 und RCP8.5 genannt. Hierbei steht die jeweilige Zahl (z. B. 8.5) für die „zusätzliche“ der Erde zur Verfügung stehende Energie von $8,5 \text{ W/m}^2$ im Jahr 2100 gegenüber der solaren Einstrahlung in den Jahren 1861–1880. Dieser Zeitraum repräsentiert den Zustand des Klimas, bevor der Mensch wesentlichen Einfluss auf die Konzentration der Treibhausgase in der Atmosphäre genommen hat (im Weiteren vorindustrielles Niveau genannt). Die Entwicklung sozio-ökonomischer Faktoren, z. B. der Bevölkerung, der Energienutzung oder die Emissionen von Treibhausgasen werden nicht modelliert. Sie können aber indirekt den RCPs zugeordnet werden.

Wie entwickelt sich unsere Emissions-Zukunft?

In diesem Report werden Ergebnisse von Simulationsrechnungen auf der Basis eines **Klimaschutz-Szenarios** (RCP2.6) und des **Weiter-wie-bisher-Szenarios** (RCP8.5) gezeigt.





▲ Entwicklung des atmosphärischen Kohlendioxids und der globalen Mitteltemperatur bis zum Jahr 2300 für die verschiedenen Emissions-Szenarien. (Quelle: http://www.climatechange2013.org/images/figures/WGI_AR5_Fig12-42.jpg, verändert)

Das **Klimaschutz-Szenario (RCP2.6)** basiert auf Annahmen, die der 2-Grad-Obergrenze entsprechen. Ziel ist eine Welt, in der im Jahr 2100 die globale Erwärmung nicht mehr als 2 °C im Vergleich zum Jahr 1860 beträgt. Dafür wird ein Szenarien-Verlauf angenommen, der mit einer sehr starken und sehr schnellen Reduktion der Emission von Treibhausgasen gegenüber dem heutigen Zustand verbunden ist. Der Höchstwert des Strahlungsantriebes wird vor dem Jahr 2050 ($3,0 \text{ W/m}^2$) erreicht. Von da an sinkt er kontinuierlich auf den Wert $2,6 \text{ W/m}^2$ im Jahr 2100. Hierzu ist ein Wandel hin zu einer Welt notwendig, deren Energieversorgung nicht mehr auf der Verbrennung von fossilen Kohlenstoffvorräten basiert. Noch vor dem Jahr 2080 dürfen keine wesentlichen Emissionen von Treibhausgasen mehr vorhanden sein (Null-Emission).

Das **Weiter-wie-bisher-Szenario (RCP8.5)** beschreibt eine Welt, in der die Energieversorgung im Wesentlichen auf der Verbrennung fossiler Kohlenstoffvorräte beruht. Der Ausstoß von Treibhausgasen wird sich gegenüber heute mit einem stetigen Anstieg des Strahlungsantriebes bis hin zum Jahr 2100 erhöhen.

Zu Vergleichszwecken wird im Folgenden ein weiteres Szenario erwähnt, das **SRES-Szenario A1B**. Es beschreibt eine Welt mit starkem ökonomischen Wachstum und einer Bevölkerungszunahme bis zur Mitte des Jahrhunderts und einem Rückgang danach. Auf diesem Szenario beruhen die Klimaprojektionen des 4. Sachstandesberichts des IPCC. Ein Großteil des in den letzten Jahren kommunizierten möglichen kommenden Klimawandels basiert auf diesem Szenario.

Was wäre wenn? - Klimaprojektionen

Wird ein globales Klimamodell dazu genutzt, den möglichen Klimawandel auf der Basis eines Szenarios zu berechnen, so erfolgt das im Rahmen einer Klimaprojektion. Eine Klimaprojektion darf nicht mit einer Vorhersage verwechselt werden. Sie ist eine „was wäre wenn“-Rechnung auf der Basis des gewählten Szenarios. Die Klimaprojektionen für die verschiedenen Szenarien helfen, die zu erwartenden Klimaveränderungen in eine Bandbreite einzuordnen. Zum Beispiel, welches sind die minimal zu erwartenden Änderungen, welches die maximalen? Letztendlich werden die realen Veränderungen wahrscheinlich innerhalb dieser Bandbreite liegen.

Für diesen Bericht werden Ergebnisse von 54 Klimaprojektionen verwendet, die den Zeitraum 1971 bis 2100 umfassen. Um den Unterschied zwischen dem heutigen und einem zukünftigen Zustand zu berechnen, werden jeweils zwei 30-Jahres-Zeiträume genutzt. Für jeden Zeitraum wird ein mittlerer Zustand berechnet. Als Bezugszeitraum für das beobachtete Klima dienen die Jahre 1971 bis 2000 aus den Modellen. Für die Zukunft werden zwei Zeiträume analysiert, sie werden im Weiteren kurzfristiger und langfristiger Planungshorizont genannt. Der kurzfristige Planungshorizont beschreibt den mittleren Zustand der Jahre 2021 bis 2050. Die Jahre 2071 bis 2100 werden als Grundlage für den langfristigen Planungshorizont genutzt. Die zukünftigen Änderungen werden als ein mittlerer Wert und als Bandbreite angegeben. Beschrieben wird die Bandbreite über den geringsten und höchsten Änderungswert aus den vorhandenen Datensätzen.



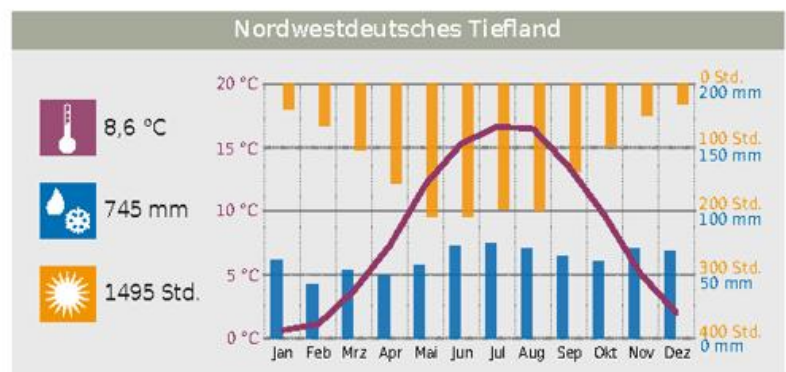
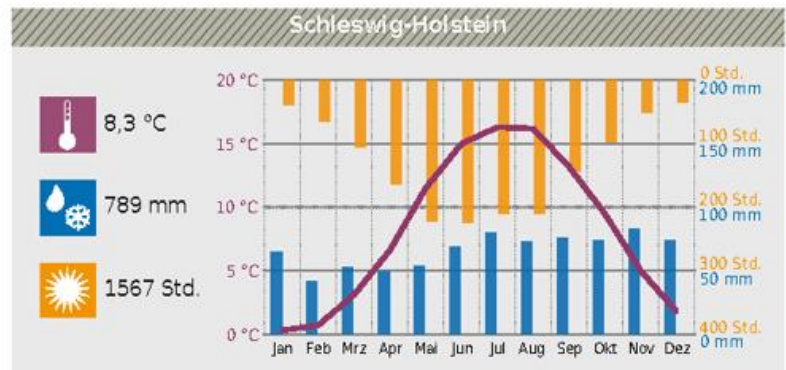


Das Klima in Schleswig-Holstein heute und morgen

Im geografischen Gebiet der Bundesrepublik finden wir unterschiedliche Klimaverhältnisse vor. Diese werden einerseits bestimmt durch den Übergang vom maritimen zum kontinentalen Einfluss und andererseits durch die naturräumlichen Strukturen, die im Wesentlichen durch das Relief geprägt sind. Der nordwestliche Teil Deutschlands bis zu den Mittelgebirgen stellt eine Klimaregion dar, geprägt von der Meeresnähe und der niedrigen Geländehöhe.

Die Ergebnisse der Klimaprojektionen für Deutschland wurden für zwölf klimatisch unterschiedliche Modellregionen bestimmt, eine davon ist das „Nordwestdeutsche Tiefland“. Schleswig-Holstein ist Teil dieser Region.

Die Klimaverhältnisse in einer Region lassen sich durch Flächenmittelwerte charakterisieren, d. h. die Klimaparameter mehrerer Orte innerhalb dieses



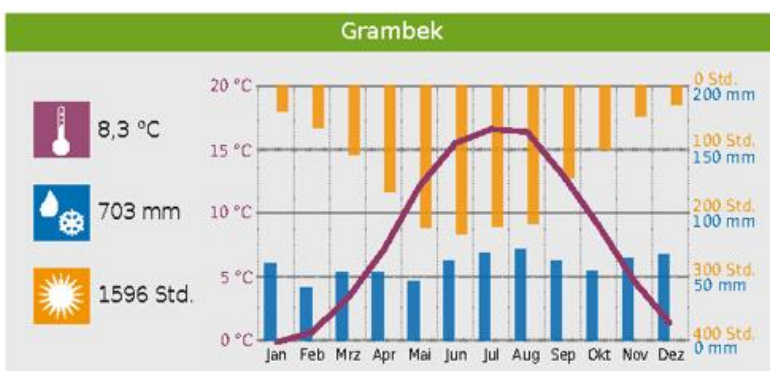
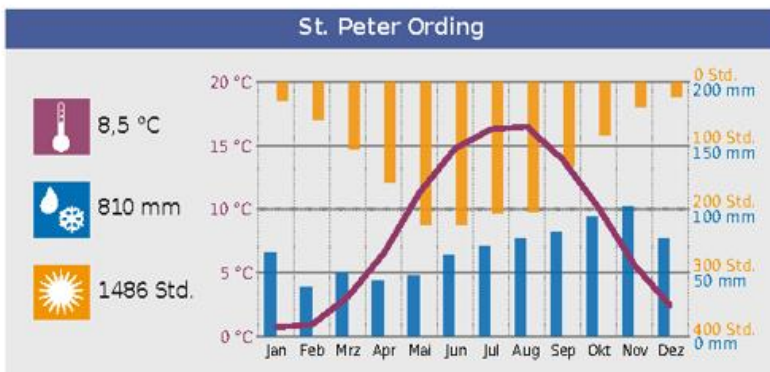


Gebietes werden flächig interpoliert. Die Klimadiagramme zeigen die Mittelwerte von Temperatur, Niederschlag und Sonnenscheindauer der international gültigen Referenzperiode 1961–1990. Die Unterschiede in den Flächenmitteln dieser Parameter zwischen der Modellregion „Nordwestdeutsches Tiefland“ und Schleswig-Holstein sind nur gering, so dass auch die Ergebnisse der Klimaprojektionen übertragbar sind.

Nichtsdestotrotz kann das Klima einzelner Orte vom Flächenmittel abweichen. Dies zeigen die Klima-

diagramme der Orte St. Peter-Ording und Grambek. Während ersterer aufgrund seiner Lage an der Nordsee besonders im Herbst höhere Niederschläge verzeichnet, macht sich in Grambek der kontinentale Einfluss unter anderem durch niedrigere Wintertemperaturen bemerkbar.

Auf den nachfolgenden Seiten werden die Veränderungen des Klimas in Schleswig-Holstein in der Vergangenheit und mögliche zukünftige Entwicklungen für die Modellregion „Nordwestdeutsches Tiefland“ aufgezeigt.





Temperatur Temperatur

Die Jahresdurchschnittstemperatur in Schleswig-Holstein beträgt für die Referenzperiode 1961-1990 8,3 °C. Höhere Durchschnittstemperaturen sind entlang der Westküste, der Elbe und in Ost-Holstein anzutreffen, kühlere Bedingungen herrschen im Norden des Landes.

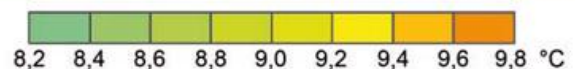
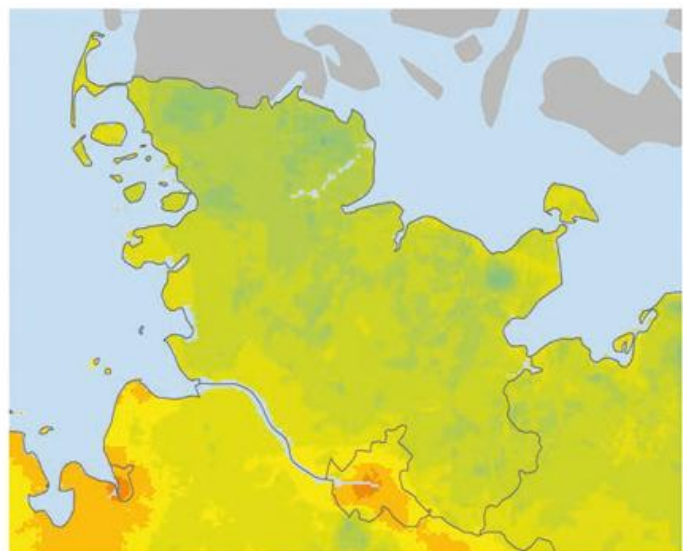
Veränderungen der Lufttemperatur seit 1881

In Schleswig-Holstein ist das Jahresmittel der Temperatur seit 1881 bis heute um 1,3 °C gestiegen. Auch der vieljährige Mittelwert der Referenzperiode 1961-1990 von 8,3 °C ist mittlerweile auf 8,9 °C im aktuellen 30-Jahreszeitraum 1981-2010 gestiegen.

Zum Ende des 19. Jahrhunderts bis 1910 blieb die Temperatur im Wesentlichen konstant. Im Zeitraum 1910 bis 1950 und insbesondere im Zeitraum seit Mitte der 1980er-Jahre ist ein verstärkter Anstieg der Temperatur zu beobachten, während diese dazwischen weitestgehend auf demselben Niveau verharrt. 2014 wurde das bisher wärmste Jahr in Schleswig-Holstein beobachtet.

Kenntage wie Sommer- oder Frosttage vermitteln Temperaturverhältnisse vielmals anschaulicher. Daher wird die Entwicklung dieser beiden Kenntage seit 1951 an dieser Stelle näher betrachtet.

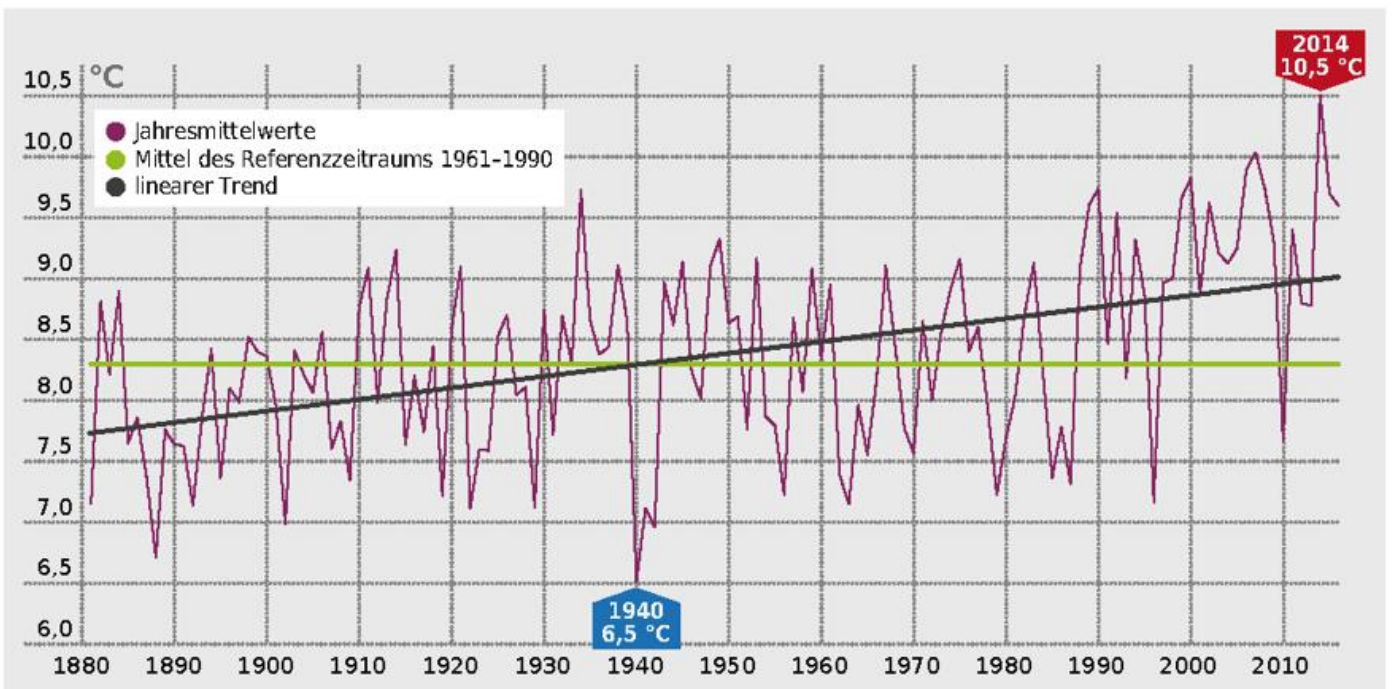
Ein Sommertag liegt dann vor, wenn die höchste Temperatur des Tages 25 °C erreicht bzw. überschreitet. Die Anzahl der Sommertage als 30-jähriges Flächenmittel stieg in Schleswig-Holstein von 15 Tagen in der Referenzperiode 1961-1990 auf 20 im Zeitraum 1981-2010, also um 5 Tage. Deutschlandweit liegen die Vergleichswerte bei 27 bzw. 34,5 Tagen, was einem Anstieg von 7,5 Tagen entspricht. Die geringere Anzahl in Schleswig-Holstein ist der nördlichen Lage, überdies zwischen zwei Meeren, geschuldet. Der lineare Trend der Sommertage 1951 bis heute zeigt für das Gebiet Schleswig-Holstein ein Plus von rund 13 zusätzlichen Tagen auf. Die höchste Anzahl wurde 2006 mit 39 Tagen registriert.



▲ Jahresmitteltemperatur in Schleswig-Holstein im Zeitraum 1981-2010 als Flächendarstellung der Rasterwerte (1 km x 1 km).

Die zwölf wärmsten Jahre in

2014	10,5 °C
2007	10,0 °C
2006	9,9 °C
2000	9,8 °C
2008	9,7 °C
1990	9,7 °C
1934	9,7 °C
2015	9,7 °C
1999	9,7 °C
2002	9,6 °C
2016	9,6 °C
1989	9,6 °C

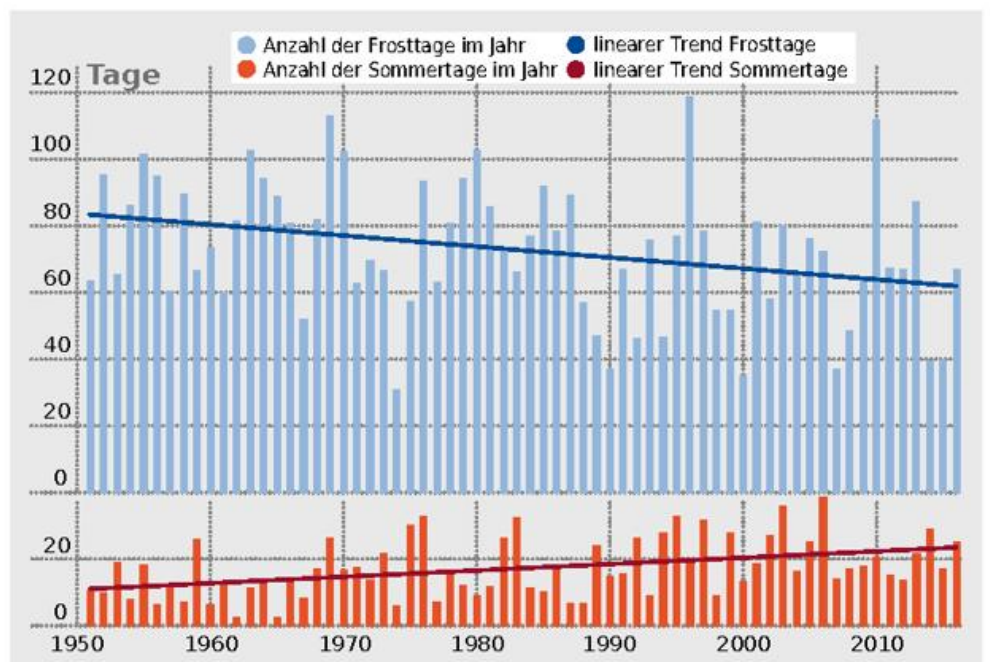


▲ Es ist wärmer geworden in Schleswig-Holstein: Jahresmittel der Temperatur (Flächenmittel aus Stationsmessungen in 2 m Höhe) von 1881-2016.

Die ausgleichend auf die Temperaturen wirkende Meeresnähe zeigt sich auch in der geringeren Anzahl von Frosttagen im nördlichsten Bundesland im Vergleich zu Deutschland. Ein Tag wird zu einem Frosttag, wenn die tägliche Tiefsttemperatur 0 °C unterschreitet. So weist Schleswig-Holstein für die Referenzperiode 1961-1990 im Mittel 76 Frosttage

im Jahr auf, Deutschland dagegen 91. Die Anzahl der Frosttage sinkt im Bundesland im Zeitraum 1981-2010 mit 8 Tagen stärker als mit 6 Tagen deutschlandweit. Im Zeitraum 1951 bis heute ist im Trend eine Abnahme von 22 Frosttagen für Schleswig-Holstein festzustellen.

Die Zahl der Sommertage nimmt in Schleswig-Holstein zu, Frosttage werden seltener. Die Darstellung zeigt die Jahreswerte von 1951-2016 sowie den entsprechenden linearen Trend.



Schleswig-Holstein seit 1881





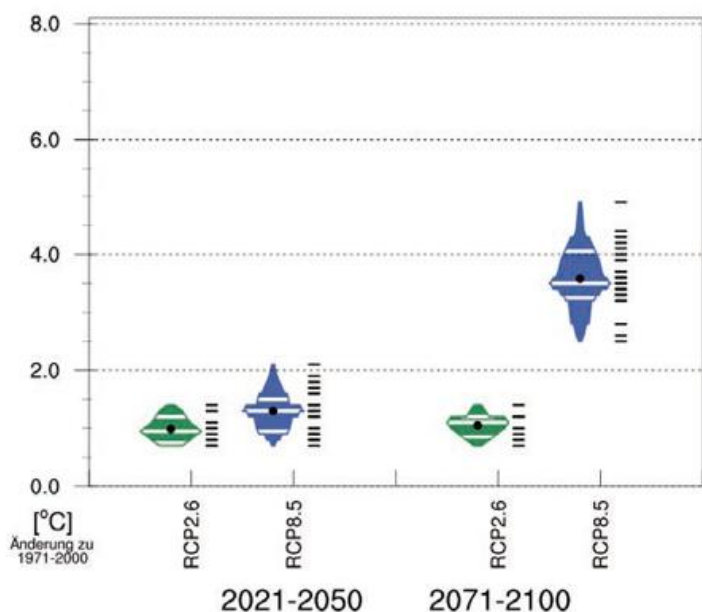
Zukunft

Ein weiterer Anstieg der Temperatur in Schleswig-Holstein ist zu erwarten (*praktisch sicher, sehr hohes Vertrauen* *). Für den kurzfristigen Planungshorizont (2021-2050) beträgt dieser Anstieg etwa 1,0 bis 1,3 °C (*wahrscheinlich, mittleres Vertrauen*). Der Unterschied zwischen den durch die Klimaprojektionen (**Klimaschutz-Szenario** und **Weiter-wie-Bisher-Szenario**) projizierten Änderungen ist gering. Die Bandbreite der Ergebnisse liegt zwischen 0,7 und 2,1 °C.

Die Temperaturentwicklung für den langfristigen Planungshorizont wird stark vom gewählten Szenario bestimmt. Basierend auf dem **Klimaschutz-Szenario** ist eine Erhöhung um 1,1 °C zu erwarten (*wahrscheinlich,*

mittleres Vertrauen). Erreicht wird die Stabilisierung auf dem Niveau des kurzfristigen Planungshorizontes durch die sehr starke Reduktion der Treibhausgasemissionen innerhalb der Szenariendefinition. Die Änderung im Vergleich zum vorindustriellen Zustand beträgt 2,4 °C. Regionale Unterschiede sind kaum vorhanden. Unter den Bedingungen des **Weiter-wie-bisher-Szenarios** beträgt die Erwärmung etwa 3,6 °C (*wahrscheinlich, mittleres Vertrauen*). Die Bandbreite der Ergebnisse liegt zwischen 2,5 und 4,9 °C.


Die vorliegenden Ergebnisse des **Weiter-wie-bisher-Szenarios** entsprechen in etwa den Ergebnissen der vorhandenen Klimaprojektionen auf der Basis des SRES-Szenarios A1B.



◀ Darstellung der Bandbreite der vorhandenen Klimaprojektionen für die Jahresmitteltemperatur von Schleswig-Holstein. Dargestellt sind die vorliegenden Änderungssignale für den kurzfristigen (2021-2050) und langfristigen (2071-2100) Planungshorizont, jeweils als Änderungssignal zum Bezugszeitraum 1971-2000. Es werden je Planungshorizont die Ergebnisse für das Klimaschutz-Szenario (RCP2.6, grün) denen des Weiter-wie-bisher-Szenarios (RCP8.5, blau) gegenübergestellt. Die dargestellten Körper symbolisieren den Bereich zwischen dem kleinsten und größten Änderungssignal innerhalb des betrachteten Szenarios. Die Breite des Körpers signalisiert die Wahrscheinlichkeit des Eintretens (je breiter, umso höher die Wahrscheinlichkeit). Zusätzlich eingetragen sind der Mittelwert (schwarzer Punkt) und die Perzentile (25, 50 und 75 %) als weiße Linien. Neben den Körpern werden als schwarze Linien die Einzelergebnisse der Modelle gezeigt.

* Leitlinien des IPCC zur Kommunikation von Ergebnissen der Klimamodellierung: siehe Begriffskompas Klima

Jahreszeitliche Mittelwerte der Temperatur und erwartete Änderungen



	1961-1990	1971-2000	2021-2050 (RCP2.6)	2021-2050 (RCP8.5)	2071-2100 (RCP2.6)	2071-2100 (RCP8.5)
Frühjahr	7,1 °C	7,5 °C	+0,9 °C	+1,1 °C	+1,0 °C	+2,9 °C
Sommer	15,8 °C	16,1 °C	+1,0 °C	+1,3 °C	+1,0 °C	+3,6 °C
Herbst	9,3 °C	9,1 °C	+1,1 °C	+1,5 °C	+1,2 °C	+4,0 °C
Winter	0,9 °C	1,5 °C	+0,9 °C	+1,3 °C	+1,1 °C	+3,9 °C
Jahr	8,3 °C	8,6 °C	+1,0 °C	+1,3 °C	+1,1 °C	+3,6 °C

Jahreszeitliche Unterschiede

Die Erwärmung ist in den verschiedenen Jahreszeiten ähnlich ausgeprägt, mit Ausnahme des Frühjahrs, hier fällt sie geringer aus. Mit der Temperaturzunahme geht eine markante Zunahme der Temperaturextreme einher. Mit tiefen Temperaturen verbundene Extreme nehmen stark ab und mit Wärme verbundene Extreme nehmen stark zu (*praktisch sicher, sehr hohes Vertrauen*). Dadurch steigt die Wahrscheinlichkeit von Hitzewellen.

KURZ NOTIERT

Beobachtung

- Ungebrochener Trend der Erwärmung in Schleswig-Holstein
- Anstieg der Jahresmitteltemperatur um 1,3 °C seit 1881
- Änderung der Extreme: Mehr Sommertage, weniger Frosttage

Kurzfristiger Planungshorizont

- Landesweit Erwärmung um im Mittel 1,0 bis 1,3 °C

Langfristiger Planungshorizont

- Beim Klimaschutz-Szenario Stabilisierung auf eine Erwärmung von 1,1 °C
- Beim Weiter-wie-bisher-Szenario Erwärmung um im Mittel 3,6 °C





Niederschlag

Niederschlag

Die Niederschlagsverteilung in Schleswig-Holstein wird bestimmt durch den Wechsel atlantischer und kontinental geprägter Luftmassen. Im äußersten Osten, von Fehmarn bis Lauenburg, sind die niedrigsten Jahresniederschlagshöhen zu beobachten, ein Maximum des Niederschlags findet sich entlang der Geest.

Veränderungen in der Niederschlagshöhe seit 1881

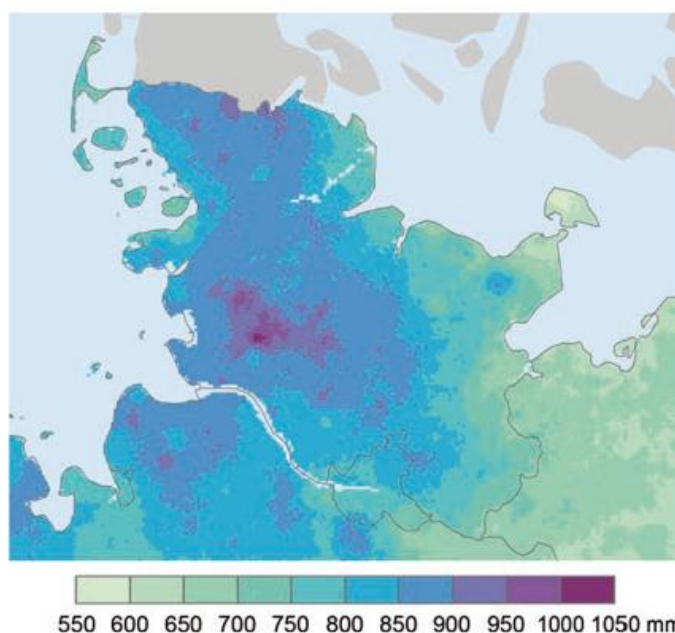
Der Niederschlag ist eine sehr veränderliche Größe in Raum und Zeit. Das Gebietsmittel der Jahressummen des Niederschlags für Schleswig-Holstein zeigt seit 1881 einen ansteigenden Trend, jedoch auch eine große Veränderlichkeit von Jahr zu Jahr. Das höchste Flächenmittel wurde 1998 mit 1041 mm (entspricht Liter/m²) ermittelt, während im Jahr 1959 mit 478 mm der niedrigste Wert auftrat. Das 30jährige Mittel 1961–1990 beträgt 789 mm, im Zeitraum 1981–2010 liegt es höher mit einem Mittelwert von 823 mm.

Im Trend gibt es für das nördlichste Bundesland im Zeitraum 1881 bis heute einen Zuwachs in der Jahressumme von gut 130 mm. Auf die Jahreszeiten bezogen tragen insbesondere der Winter und der Herbst zu dieser Zunahme bei, im Einzelnen etwa +64 mm im Winter, +33 mm im Herbst, +21 mm im Sommer und +14 mm im Frühjahr.

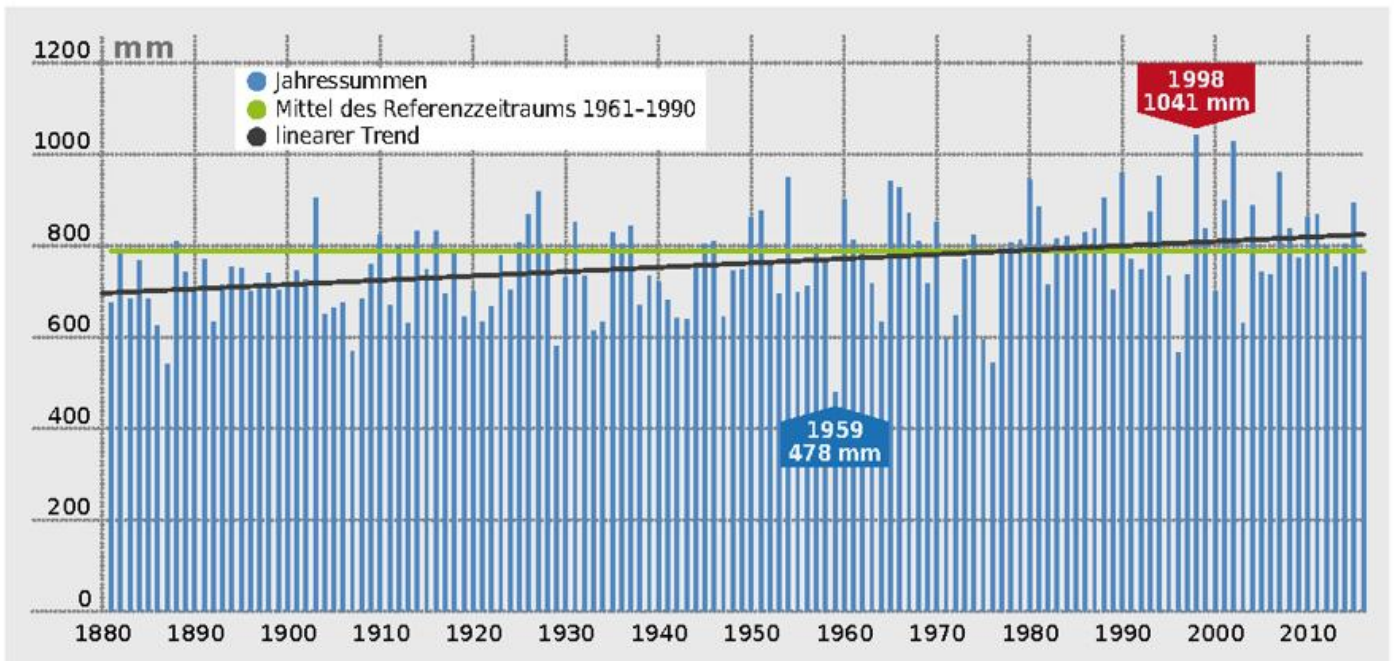
Die Niederschlagsmenge von Tag zu Tag zeigt sich sehr variabel zwischen den beiden Extremen des Zuwenig und des Zuviels. Große Niederschlagsmengen können durch den Kenntag mit einer Menge von mindestens 10 mm Niederschlag beschrieben werden. Im Mittel gab es im Zeitraum 1951 bis 2016 in Schleswig-Holstein an 21 Tagen eine Niederschlagsmenge von mindestens 10 mm. Die Anzahl zeigt große jährliche Schwankungen auf: ein Minimum von 10 Tagen trat 1959 auf, die größte Anzahl mit 30 Tagen wurde 2002 verzeichnet, gefolgt von 1990. Der lineare Trend weist eine Zunahme von 3 Tagen für den Zeitraum seit 1951 auf.

Eine Auswertung über Starkniederschlagshöhen bei einer Niederschlagsdauer von 15 min und einer Wiederkehrzeit von 100 Jahren deutet statistisch für Schleswig-Holstein bei einem Vergleich der Zeiträume 1951–1980 gegen 1981–2010 ebenfalls auf eine leichte Zunahme hin.

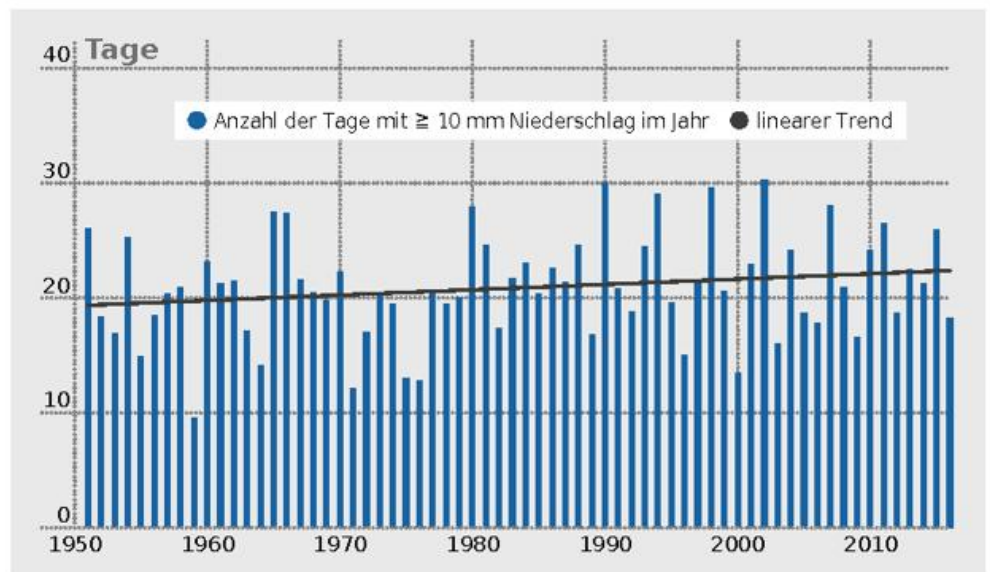
Starkniederschläge, insbesondere in Form von kurzzeitigen sommerlichen Schauern und Gewittern, weisen nur recht kleinräumig Intensitätsmaxima auf. Die Auswertungen des Niederschlagsradars, dessen



▲ jährliche Niederschlagshöhe in Schleswig-Holstein im Zeitraum 1981–2010 als Flächendarstellung der Rasterwerte (1 km x 1 km).



▲ Es ist nasser geworden in Schleswig-Holstein: Zeitreihe der Jahresniederschlagshöhen (Flächenmittel aus Stationsmessungen) von 1881 bis 2016.



Anzahl der Tage mit mindestens 10 mm Niederschlag (Flächenmittel aus Stationsmessungen) von 1951 bis 2016.

Messungen seit 2001 zur Verfügung stehen, werden zukünftig zu einer deutlichen Informationsverbesserung führen.

Zuwenig Niederschlag stellt in unterschiedlicher Weise ein Problem für Land- und Wasserwirtschaft sowie die Schiffbarkeit der Flüsse dar. Für diesen Bericht wurde ein Drei-Monats-Zeitraum als trocken definiert, wenn die Gebiets-Niederschlagsmenge weniger als 45 % des Wertes aus dem Referenzzeitraum 1961-1990 betrug. Für alle Jahreszeiten liegt die Zahl dieser Ereignisse zwischen zwei und vier in den ausgewerteten 136 Jahren. Das trockenste Frühjahr war 1893 mit 38 % der Durchschnittsmenge. Besonders trockene Sommermonate wurden 1976 und 1983 verzeichnet mit 35 bzw. 31 %. Der Herbst war 1907 mit 35 % noch trockener als 1959 mit 37 %. Im Winter 1946/47 fielen nur 33 % der langjährigen Menge.



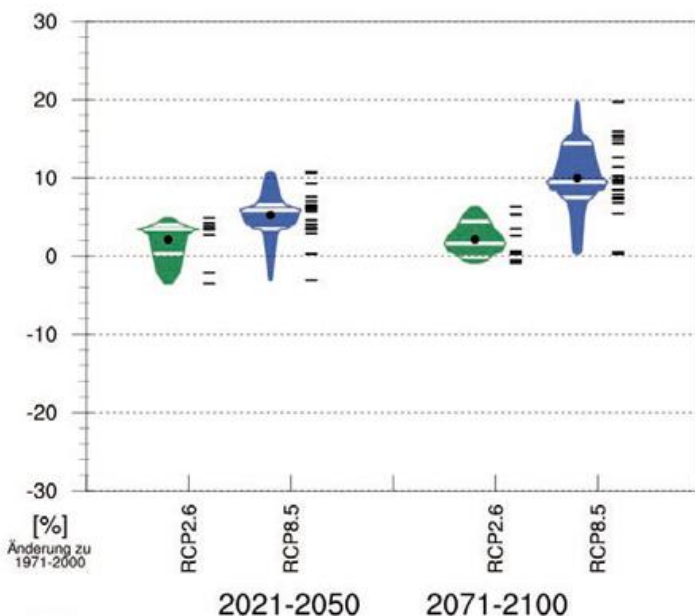


Zukunft

Eine deutliche Änderung der mittleren Jahressumme des Niederschlags im kurzfristigen Planungshorizont (2021–2050) ist für Schleswig-Holstein nicht zu erwarten (*praktisch sicher, sehr hohes Vertrauen*). Berechnet wird eine Zunahme des mittleren Jahresniederschlags von 2 bis 5 % (*wahrscheinlich, mittleres Vertrauen*). Der Unterschied zwischen den Szenarien ist gering. Die Bandbreite der Ergebnisse liegt zwischen –3 % und +11 % Änderung. Grundsätzlich muss angemerkt werden, dass eine modellierte Änderung unterhalb von 10 % nicht von der natürlichen Klimavariabilität unterschieden werden kann. Diese Schwelle gilt auch für alle nachfolgenden Werte.

Für den langfristigen Planungshorizont (2071–2100) ist für Schleswig-Holstein mit einer Zunahme des Jahresniederschlags um +10 % zu rechnen (*praktisch sicher, sehr hohes Vertrauen*). Die Änderung wird in allen Teilen des Landes in etwa gleich stark ausgeprägt sein.

Bezüglich der Änderung der Anzahl der Tage mit Niederschlag von mindestens 10 mm pro Tag ist sowohl für den kurzfristigen Planungshorizont als auch für den langfristigen Planungshorizont mit einer Zunahme zu rechnen. Ein weniger ausgeprägter Anstieg wird für die Tage mit Niederschlag von 20 mm und mehr projiziert. Jedoch ist bei Starkniederschlägen die Spannweite innerhalb des Ensembles teilweise sehr groß, so dass die Resultate nur wenig belastbar sind.



◀ Darstellung der Bandbreite der vorhandenen Klimaprojektionen für die Jahresniederschlagssumme von Schleswig-Holstein. Dargestellt sind die vorliegenden Änderungssignale für den kurzfristigen (2021–2050) und langfristigen (2071–2100) Planungshorizont, jeweils als Änderungssignal zum Bezugszeitraum 1971–2000. Es werden je Planungshorizont die Ergebnisse für das Klimaschutz-Szenario (RCP2.6, grün) denen des Weiter-wie-bisher-Szenarios (RCP8.5, blau) gegenübergestellt. Die dargestellten Körper symbolisieren den Bereich zwischen dem kleinsten und größten Änderungssignal innerhalb des betrachteten Szenarios. Die Breite des Körpers signalisiert die Wahrscheinlichkeit des Eintretens (je breiter, umso höher die Wahrscheinlichkeit). Zusätzlich eingetragen sind der Mittelwert (schwarzer Punkt) und die Perzentile (25, 50 und 75 %) als weiße Linien. Neben den Körpern werden als schwarze Linien die Einzelergebnisse der Modelle gezeigt.

Jahreszeitliche Mittelwerte der Niederschlagshöhe und erwartete Änderungen



	1961-1990	1971-2000	2021-2050 (RCP2.6)	2021-2050 (RCP8.5)	2071-2100 (RCP2.6)	2071-2100 (RCP8.5)
Frühjahr	155 mm	152 mm	+6 %	+7 %	+4 %	+14 %
Sommer	222 mm	215 mm	-5 %	+2 %	-1 %	-4 %
Herbst	232 mm	229 mm	+3 %	+2 %	±0 %	+9 %
Winter	180 mm	188 mm	+5 %	+7 %	+6 %	+18 %
Jahr	789 mm	784 mm	+2 %	+5 %	+2 %	+10 %

Jahreszeitliche Unterschiede

Für den kurzfristigen Planungshorizont 2021–2050 werden unter Verwendung aller RCP-Szenarien für den Winter Zunahmen der Niederschlagsmenge um +5 bis +7 % berechnet (*praktisch sicher, sehr hohes Vertrauen*). Für den Sommer ist eine Richtungsangabe nicht möglich. Die Spannbreite der Ergebnisse liegt im Bereich von geringen Zunahmen bis hin zu einem leichten Rückgang. In den Übergangsjahreszeiten zeigen sich für diesen Planungshorizont Zunahmen der mittleren Niederschlagssumme von bis zu +3 % (Herbst) bzw. bis zu +7 % (Frühjahr) (*praktisch sicher, sehr hohes Vertrauen*).

Im Frühjahr und im Herbst kann die Änderung für den langfristigen Planungshorizont (2071–2100) ±0 bis +14 % betragen (*praktisch sicher, sehr hohes Vertrauen*), wohingegen die Änderung im Winter bis zu +18 % betragen kann (*wahrscheinlich, mittleres Vertrauen*). Für den Sommer werden in diesem Planungshorizont im Mittel über alle Szenarien Abnahmen der Niederschlagshöhe berechnet. Die Abnahme ist beim **Weiter-wie-bisher Szenario** (-4 %) stärker ausgeprägt als beim **Klimaschutz-Szenario** (-1 %). Die Spannbreite liegt im **Weiter-wie-bisher-Szenario** zwischen einer Zunahme um +27 % (*unwahrscheinlich, sehr geringes Vertrauen*) und einer Abnahme um -43 % (*unwahrscheinlich, sehr geringes Vertrauen*).

Die vorliegenden Ergebnisse des **Weiter-wie-bisher-Szenarios** unterscheiden sich von denen der bisher genutzten Klimaprojektionen auf der Basis des SRES-Szenarios A1B. Das **Weiter-wie-bisher-Szenario** zeigt nicht mehr die im SRES-Szenario A1B beschriebenen hohen Rückgänge der Sommerniederschläge beim langfristigen Planungshorizont.

KURZ NOTIERT

Beobachtung

- Zunahme der Jahresniederschlagshöhe um 18 % seit 1881
- Niederschlagsanstieg in allen Jahreszeiten, besonders im Winter; im Frühjahr geringste Zunahme
- Leichter Anstieg der Häufigkeit von Starkregenereignissen seit 1951

Kurzfristiger Planungshorizont

- Keine deutliche Änderung der mittleren Jahressumme des Niederschlags (+5 %)

Langfristiger Planungshorizont

- Für Schleswig-Holstein ist mit einer Zunahme des Jahresniederschlags um +10 % zu rechnen

Für beide Planungshorizonte werden jeweils für Winter und Frühjahr Zunahmen der Niederschlagsmenge und für den Sommer im langfristigen Planungshorizont Abnahmen der Niederschlagsmenge simuliert.



Sonnenschein

In Schleswig-Holstein scheint die Sonne im Mittel 1603 Stunden im Jahr, bezogen auf den Zeitraum 1981–2010. Besonders viel Sonnenschein wird auf Fehmarn und Sylt registriert, recht sonnig ist es auch an den Küsten von Nord- und Ostsee, am wenigsten Sonne gibt es im südlichen Binnenland von Holstein.

Vergangenheit und Gegenwart

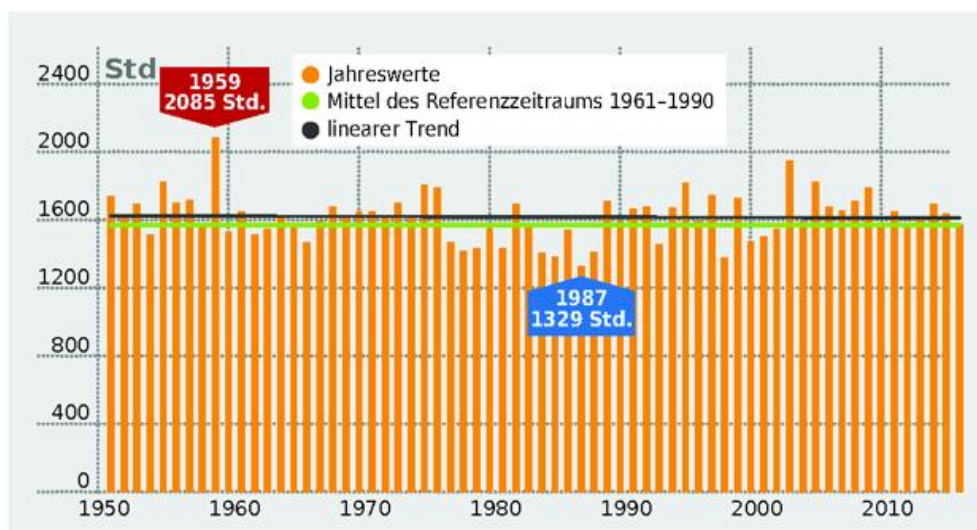
Die Zeitreihe der Jahressummen der Sonnenscheindauer in Schleswig-Holstein seit 1951 lässt sich in drei Zeitabschnitte einteilen: Von 1951 bis 1976 eine Phase höherer Jahreswerte, dann anschließend bis etwa zur Jahrtausendwende vermehrt geringere Jahressummen und dann wieder ansteigend. Zwischen etwa 1950 und 1980 gab es weltweit eine Phase zurückgehender Sonneneinstrahlung, die u.a. einer verstärkten Luftverschmutzung zugeschrieben wird. Verbunden mit den Erfolgen der Maßnahmen zur Reinhaltung der Luft nahm danach die den Boden erreichende Sonneneinstrahlung wieder zu.

Die bisherigen jährlichen Gebietsmittel der Sonnenscheindauer in Schleswig-Holstein variierten zwischen

1329 Stunden (1987) und 2085 Stunden (1959). In dieser Zeitreihe gibt es kein weiteres Jahr, in dem nochmals 2000 Stunden Sonne überschritten wurden. Auch das „Hitzejahr“ 2003 blieb mit 1948 Stunden darunter.

Der vieljährige Mittelwert 1981–2010 des Flächenmittels für die Sonnenscheindauer beträgt 1603 Stunden, das entspricht einer täglichen durchschnittlichen Sonnenscheindauer von 264 Minuten und liegt damit 6 Minuten höher als der entsprechende Wert 1961–1990. Bei einer jahreszeitlichen Betrachtung der durchschnittlichen täglichen Sonnenscheindauer zeigt vor allem das Frühjahr eine Zunahme (+17 Minuten), Herbst (+6 Minuten) und Winter (+3 Minute) kaum, während die Sommermonate eine leichte Abnahme (–4 Minuten) aufweisen.

Jahressummen der Sonnenscheindauer (Flächenmittel aus Stationsmessungen) in Schleswig-Holstein von 1951–2016.





Zukunft

Die Sonnenscheindauer wird in den Klimamodellen nicht direkt berechnet, sondern indirekt aus der kurzwelligen Strahlung abgeleitet. Die Strahlung ist verbunden mit den Bewölkungsverhältnissen, eine der großen Herausforderungen der Klimamodellierung. Die Bandbreite der modellierten Werte ist daher zwischen den Modellen sehr hoch. Dieses führt dazu, dass die Ergebnisse weniger aussagekräftig sind als beispielsweise die Ergebnisse der Temperaturänderungen.

Jahreszeitliche Mittelwerte der täglichen Sonnenscheindauer und erwartete Änderungen

	1961-1990	1971-2000	2021-2050 (RCP2.6)	2021-2050 (RCP8.5)	2071-2100 (RCP2.6)	2071-2100 (RCP8.5)
Frühjahr	321 Min.	328 Min.	-6 Min.	-12 Min.	-6 Min.	-24 Min.
Sommer	421 Min.	421 Min.	±0 Min.	-6 Min.	±0 Min.	±0 Min.
Herbst	192 Min.	190 Min.	±0 Min.	±0 Min.	-6 Min.	-6 Min.
Winter	92 Min.	93 Min.	-6 Min.	-12 Min.	-12 Min.	-24 Min.
Jahr	257 Min.	259 Min.	-6 Min.	-6 Min.	-6 Min.	-12 Min.

Für den kurzfristigen Planungshorizont 2021-2050 wird für Schleswig-Holstein ein Rückgang der Tagessonnenscheindauer um 6 Minuten projiziert (*ebenso wahrscheinlich wie nicht, mittleres Vertrauen*). Dieser Rückgang macht sich beim **Weiter-wie-bisher-Szenario** besonders im Winter und Frühjahr bemerkbar (*wahrscheinlich, hohes Vertrauen*), wohingegen im Sommer und im Herbst mit keinen Änderungen zu rechnen ist (*wahrscheinlich, hohes Vertrauen*).

Für den langfristigen Planungshorizont 2071-2100 wird eine Verstärkung dieser Änderungen erwartet. Im Jahresmittel ist mit einer Abnahme der mittleren Tagessonnenscheindauer zwischen 6 Minuten und 12 Minuten zu rechnen (*ebenso wahrscheinlich wie nicht, mittleres Vertrauen*). Dieser Rückgang macht sich besonders im Frühjahr und im Winter bemerkbar, hier kann mit einer Abnahme von bis zu 24 Minuten pro Tag gerechnet werden (*ebenso wahrscheinlich wie nicht, geringes Vertrauen*). Im Sommer und Herbst treten wahrscheinlich keine Änderungen der Sonnenscheindauer auf, wobei im **Weiter-wie-bisher-Szenario** im Sommer durch einzelne Projektionen auch Zunahmen der mittleren Tagessonnenscheindauer von bis zu einer Stunde projiziert werden (*sehr unwahrscheinlich, sehr geringes Vertrauen*).

KURZ NOTIERT

Beobachtung

- Durchschnittlich 264 Minuten Sonnenschein pro Tag 1981-2010
- Wenig Änderung der Sonnenscheindauer in Schleswig-Holstein seit 1951
- Große Variabilität von Jahr zu Jahr

Kurzfristiger Planungshorizont

- Landesweit minimaler Rückgang der Sonnenscheindauer möglich

Langfristiger Planungshorizont

- Verstärkung vorgenannter Tendenzen

Für beide Planungshorizonte stärker ausgeprägter Rückgang im Winter und im Frühjahr.



Wind

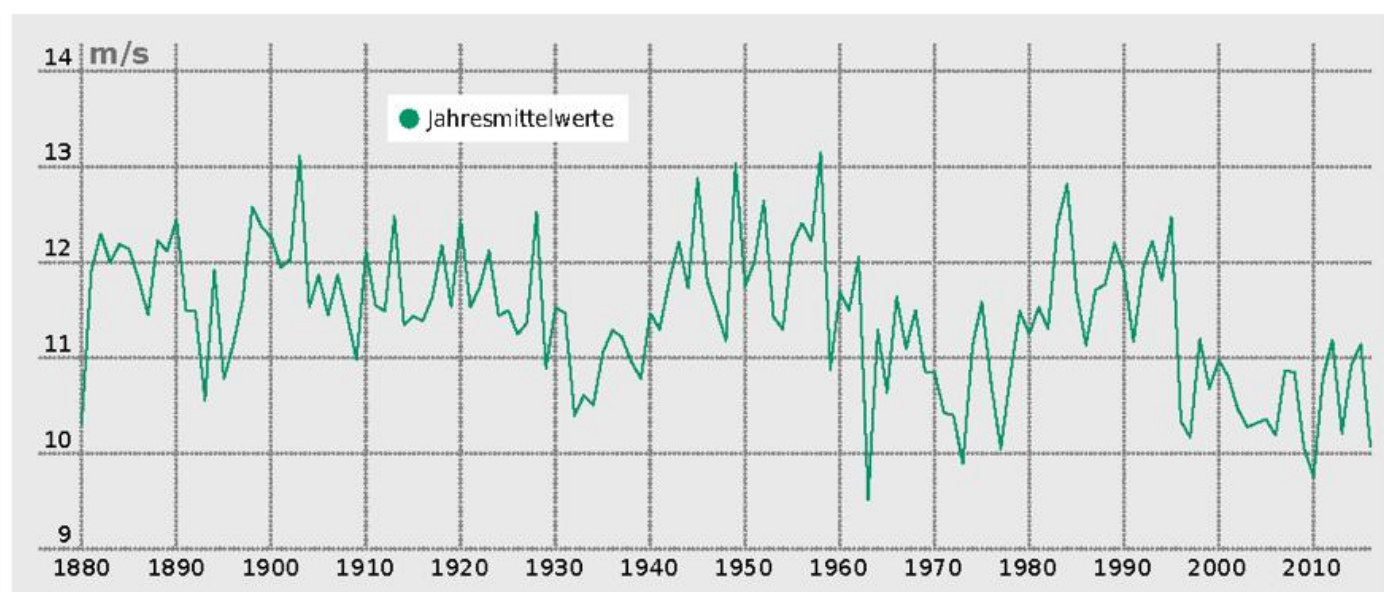
Die Verteilung der Windgeschwindigkeit in Schleswig-Holstein wird vom Abstand zu den Küsten geprägt: die höchsten Werte sind an der Nordsee anzutreffen, gefolgt von den küstennahen Gebieten der Ostsee. Die niedrigsten Windgeschwindigkeiten werden im Südosten des Landes verzeichnet.

Windverhältnisse in der Vergangenheit und Gegenwart

Standardmäßig wird der Wind in 10 m Höhe über Grund gemessen, um den Einfluss des Untergrundes möglichst gering zu halten. Trotzdem reagiert der gemessene Wind, insbesondere die Windgeschwindigkeit empfindlich auf Veränderungen im Umfeld der Messstation (z. B. wachsende Bäume) oder auf Änderungen des Messortes. Fast alle Windzeitreihen weisen

Inhomogenitäten auf. Die zur Verfügung stehenden Zeitreihen umfassen nur einige Jahrzehnte.

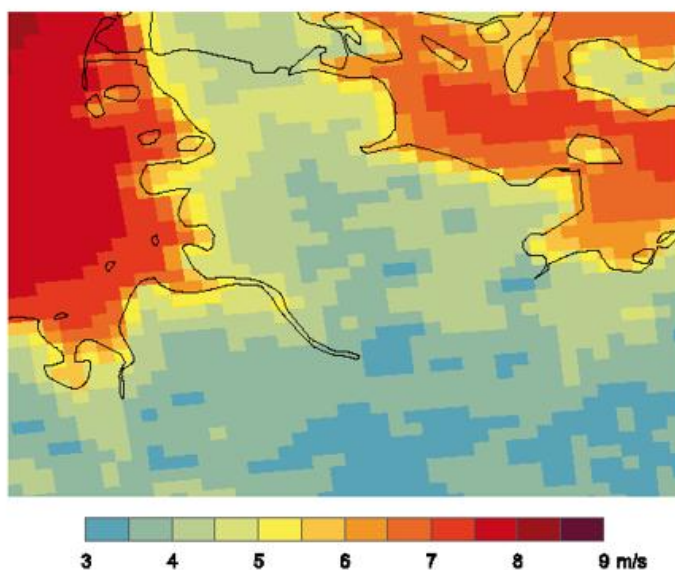
Eine Möglichkeit, trotzdem Aussagen über die Entwicklung der Windgeschwindigkeit zu machen, ist die Betrachtung des geostrophischen Windes. Dieser beruht auf Luftdruckdifferenzen und ist eng mit dem



▲ Jahresmittel des geostrophischen Windes, berechnet aus den bodennahen Luftdruckdaten der Stationen Hamburg, Ermden und List. Dargestellt ist der Zeitraum 1880 bis 2016.



„wahren“ Wind gekoppelt. Die Messung des Luftdrucks ist bereits seit dem Ende des 18. Jahrhunderts mit hoher Qualität möglich. Betrachtet man den geostrophischen Wind, der aus den Luftdruckdaten von Hamburg, Emden und List auf Sylt für die Deutsche



▲ Jahresmittel der Windgeschwindigkeit (10 m über Grund) in Schleswig-Holstein im Zeitraum 1995–2014 als Flächendarstellung der Rasterwerte (6 km x 6 km). Basis sind Reanalyse­daten des Wettervorhersage-Modells COSMO.

Bucht berechnet wurde, zeigen sich Abschnitte mit Längen von 10 Jahren bis wenigen Jahrzehnten mit höherer oder niedrigerer Windgeschwindigkeit (sogenannte multidekadische Schwankung). Für die gesamte Zeitreihe ist ein schwacher, abfallender Trend zu sehen. Deutlich erkennbar ist die windreiche Zeit der 1990er-Jahre, die sich aber unauffällig in die Maxima der Gesamtreihe einreihen.

Sturmtage

Sturmtage sind Tage mit Spitzenwindgeschwindigkeiten von mindestens 8 Bft (entsprechend 62 km/h). In Schleswig-Holstein gibt es deutliche Unterschiede in der Anzahl der Sturmtage zwischen Küsten und dem Binnenland. So weist z.B. die DWD-Station List in der Periode 1961–1990 eine mittlere jährliche Anzahl von 128 Sturmtagen auf, während Schleswig nur 49 Tage zeigt. Von 1981–2010 traten dann an den beiden Stationen 114 bzw. 47 Sturmtage pro Jahr auf. An der Ostseeküste wurden für die Station Fehmarn für denselben Zeitraum 60 Sturmtage ermittelt.

Zukunft

Die Berechnungen der Klimaprojektionen deuten darauf hin, dass sich die Windverhältnisse in der Zukunft wenig ändern bzw. eine Änderung aus den Modellen nicht ablesbar ist.

KURZ NOTIERT

Beobachtung

- Große regionale Unterschiede zwischen windreicher Küste und windschwächeren Orten in Südost-Holstein
- Kein deutlicher Trend in den Windverhältnissen seit 1880

Kurzfristiger Planungshorizont

- Wahrscheinlich keine Veränderung

Langfristiger Planungshorizont

- Veränderung nicht ablesbar



Meeresspiegel

Meeresspiegel

Beitrag des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie

Seit dem Beginn regelmäßiger Pegelaufzeichnungen steigt der mittlere Meeresspiegel an der gesamten Nordseeküste um etwa 2 bis 4 mm pro Jahr an. Für die Zukunft sagen Klimamodelle einen weiteren Anstieg voraus. Neue Untersuchungen über Ozeanerwärmung und zu den Eisschilden in der Antarktis und Grönland lassen eine Beschleunigung des Anstiegs als wahrscheinlich erscheinen.

Der Meeresspiegel – eine schwankende Größe

Der mittlere Meeresspiegel und seine zukünftige Änderung sind für die langfristigen Planungen der Küstenschutzbauwerke von großer Bedeutung. Die Änderung des Meeresspiegels setzt sich aus mehreren Komponenten zusammen:

- der sogenannte sterische Anteil (Änderung des Meeresspiegels aufgrund von Temperatur- oder Salzgehaltsänderungen)
- dynamisch bedingte Änderungen aufgrund geänderter Meeresströmungen
- verstärkter Süßwassereintrag in die Weltmeere aufgrund von Gletscherschmelze
- verstärkter Süßwassereintrag durch schmelzende grönländische und/oder antarktische Eisschilde
- Landhebungen bzw. Landsenkungen

Die durch die Punkte a) bis d) hervorgerufenen Beiträge bewirken die absolute Meeresspiegeländerung,

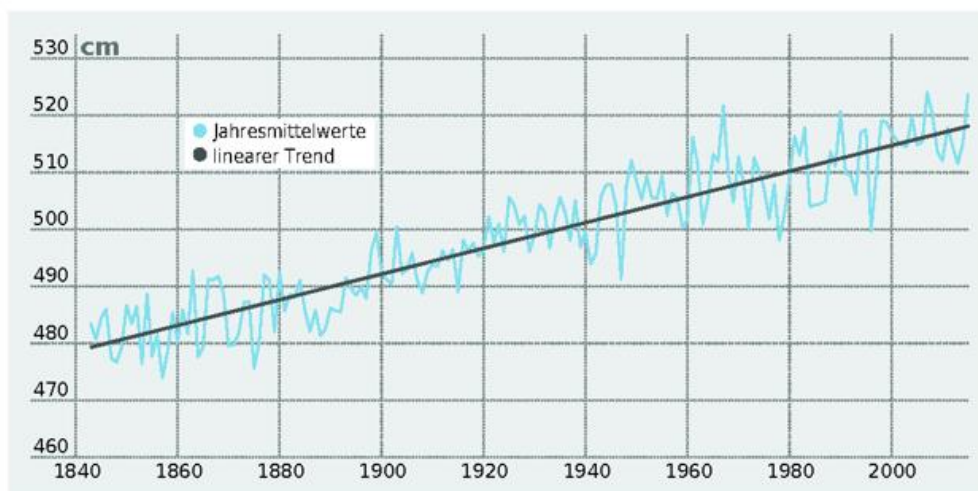
während die an den Pegeln tatsächlich gemessene Änderung die vertikale Landbewegung mitberücksichtigt und als relative Meeresspiegeländerung bezeichnet wird.

Die globalen wie auch regionalen Klimamodelle sind derzeit noch nicht in der Lage, den Süßwassereintrag aufgrund von Gletscher- und Eisschildschmelze hinreichend zu simulieren, daher müssen Abschätzungen dieser Werte heutzutage noch zu den berechneten sterischen und dynamischen Werten addiert werden.

Beobachtete Meeresspiegeländerungen

Nordsee: Für die Deutsche Bucht gibt es Pegelaufzeichnungen, die bis 1843 (Cuxhaven) zurückreichen, zumeist allerdings ab den dreißiger Jahren des vorigen Jahrhunderts vorliegen. Zwischen den einzelnen Pegeln gibt es größere, von der geographischen Lage abhängige Unterschiede in der Rate des relativen

Mittlerer Meeresspiegel am ►
Pegel Cuxhaven 1843-2015.
(Quelle: Universität Siegen,
Bundesamt für Seeschifffahrt
und Hydrographie)





Meeresspiegelanstiegs, zwischen 1,7 mm/Jahr und 4,1 mm/Jahr. Allen Pegeln gemeinsam ist eine große dekadische Variabilität. So gibt es Dekaden mit einem Meeresspiegelanstieg von über 4 mm/Jahr wie auch Dekaden mit leicht sinkendem Meeresspiegel. Allerdings müssen wegen der Landsenkung an der deutschen Nordseeküste etwa 0,5–1,5 mm/Jahr abgezogen werden. An der englischen und schottischen Ostküste, an der niederländischen Küste, wie auch generell im Nordostatlantik treten ähnliche Anstiege des absoluten Meeresspiegels (um 1,7 mm/Jahr) auf wie in der Deutschen Bucht.

Die zeitenabhängigen Wasserstände verändern sich in der Nordsee nicht parallel zum mittleren Anstieg des Meeresspiegels. Am Pegel Cuxhaven steigen seit 1950 das mittlere Hochwasser stärker und das mittlere Niedrigwasser schwächer an als der mittlere Wasserstand. Die Ursache könnten Maßnahmen des Gewässerausbaus in der Elbe und geänderte morphologische Verhältnisse im Bereich des Elbe-Weser-Dreiecks sein.

Ostsee: An der Ostseeküste steigt der Meeresspiegel absolut um etwa 1,4–2,0 mm/Jahr an. Außer in der südwestlichen Ostsee sinkt in allen anderen Küstenregionen der relative Meeresspiegel aufgrund der noch stattfindenden nacheiszeitlichen Landhebung.

Zukünftige Änderungen des Meeresspiegels

Im 5. Sachstandsbericht des IPCC von 2013 wurden für verschiedene Treibhausgasszenarien Anstiege des Meeresspiegels bis Ende des 21. Jahrhunderts ange-

geben. Für das **Klimaschutz-Szenario** ergab sich ein Bereich von 26–55 cm, für das **Weiter-wie-bisher-Szenario** ein Bereich von 52–98 cm. Allerdings war darauf hingewiesen worden, dass die möglichen Beiträge der Eisschilde von Grönland und der Antarktis bislang unzureichend berücksichtigt worden sind, da deren physikalische Prozesse unbekannt oder noch nicht mathematisch beschrieben seien.

Mittlerweile haben sich die Kenntnisse darüber deutlich verbessert. Des Weiteren wird mithilfe von ozeanographischen Beobachtungen und bathymetrischen Vermessungen an den Rändern der Eisschilde zunehmend festgestellt, dass erwärmtes Ozeanwasser die Eisschelfe zerstört sowie den Kontakt zwischen Gletschern und dem unterlagernden Festgestein mehr und mehr aufschmilzt. Dieses führt dazu, dass Gletscher erheblich schneller ins Meer strömen. In der Konsequenz wird dieses den Meeresspiegelanstieg in Größen beschleunigen, die deutlich über die Werte von 2013 hinaus reichen. Dieser stärkere Anstieg ist schon aktuell zu beobachten. Gegenwärtig tendieren die Angaben über den weiteren Anstieg beim **Weiter-wie-bisher-Szenario** für die deutschen Küsten bis hin zu Werten von deutlich über einen Meter bis zum Ende des 21. Jahrhunderts. Allerdings ist weiterhin noch nicht die sich abzeichnende Möglichkeit eines Kollabierens der beiden Eisschilde einbezogen.

Durch die große Wärmespeicherkapazität der Ozeane wird der Meeresspiegelanstieg, ungeachtet des weiteren Verlaufs der Erderwärmung, weit über das 21. Jahrhundert hinaus andauern.





Phänologie

Die Witterungs- und Klimaverhältnisse beeinflussen Wachstum und Entwicklung von Pflanzen. Die Wissenschaft, die sich damit beschäftigt, ist die Phänologie (griech.: „Lehre von den Erscheinungen“). Daten pflanzenphänologischer Beobachtungen zählen zu den wertvollsten Anzeigern von Veränderungen in den Umweltbedingungen und werden weltweit seit Jahrhunderten erhoben.

Der Kreislauf der Natur als Klimaindikator

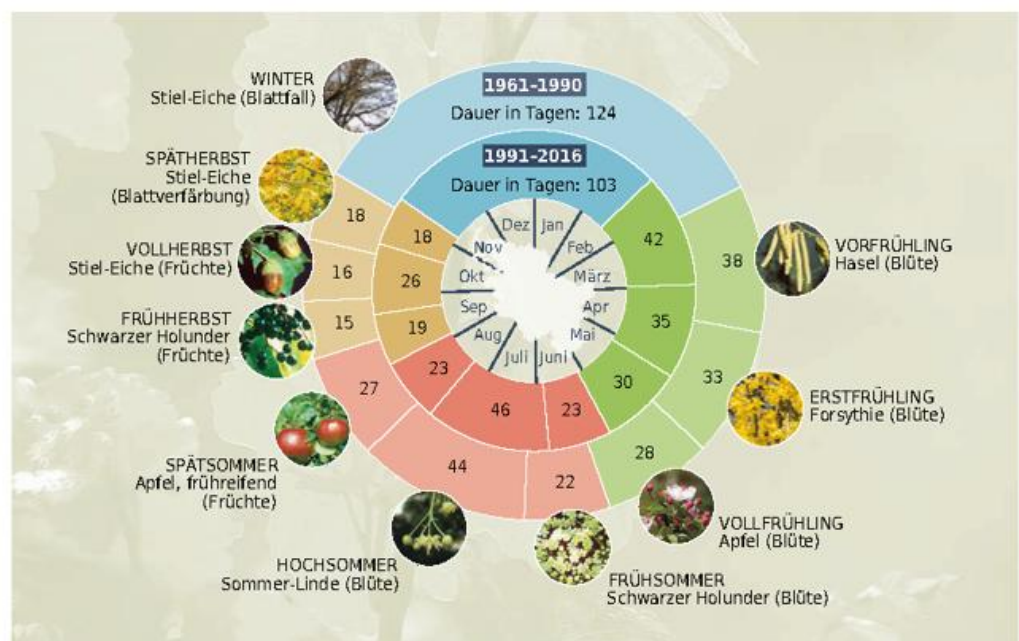
Phänologie beschreibt im Jahresverlauf periodisch wiederkehrende Erscheinungen in der Natur: das Aufblühen einer Pflanze, Fruchtreife, den Brutbeginn von Vögeln und so weiter. Gerade Pflanzen eignen sich gut als sensitiver Bioindikator für Klima- und Umweltveränderungen, da ihre Entwicklung direkt von sich verändernden Umweltbedingungen beeinflusst wird. Die Pflanzen der gemäßigten Breiten sind in ihrer Vegetationsrhythmik – Wachstumsperiode im Frühling und Sommer und Ruheperiode im Winter – an den jahreszeitlichen Wechsel ihrer Umweltbedingungen angepasst.

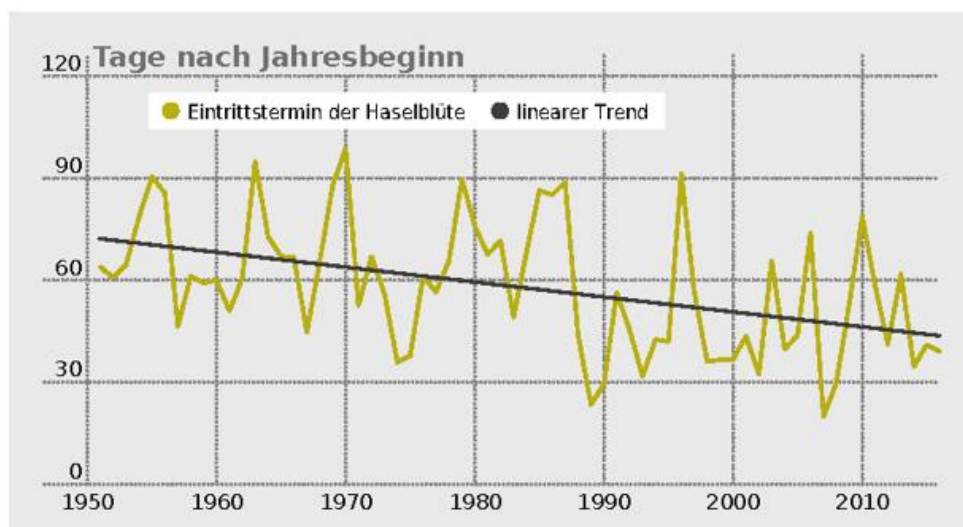
Die Natur Schleswig-Holsteins zeigt bereits Auswirkungen auf die sich verändernden klimatischen Bedingungen. So verändern sich beispielsweise die Eintrittszeiten der phänologischen Jahreszeiten.

Phänologische Jahreszeiten

Der Phänologische Kalender unterteilt sich in zehn physiologisch-biologisch begründete Jahreszeiten. Jeder phänologischen Jahreszeit werden bestimmte Zeigerpflanzen mit entsprechenden Entwicklungsphasen zugeordnet. So beginnt das phänologische Jahr mit dem **Vorfrühling**, dessen Beginn von der Blüte der Gemeinen Hasel (*Corylus avellana*) eingeleitet wird. In den Jahren 1991–2016 waren die Eintrittszeiten des Vorfrühlings zweieinhalb Wochen früher als in der Referenzperiode 1961–1990. Der Vorfrühling endet mit dem Beginn der Forsythienblüte (*Forsythia x intermedia*), die den **Erstfrühling** einläutet. Hier kann eine Verfrühung der Eintrittszeit von fast zwei Wochen beobachtet werden. Dem Erstfrühling folgt der **Vollfrühling**, welcher durch das Erblühen der ersten Apfelbäume (*Malus*) beginnt. Hier tritt die Blüte in den Jahren 1991–2016 um 11 Tage früher ein als in der Vergleichsperiode.

Die verschiedenen Entwicklungsphasen der Pflanzen sind phänologischen Jahreszeiten zugeordnet. Die „Phänologische Uhr“ zeigt diese Jahreszeiten und ihre sogenannten Leitphasen (Mittelwert für Schleswig-Holstein). Beim Vergleich der Zeiträume 1961–1990 und 1991–2016 wird die Verschiebung der phänologischen Jahreszeiten deutlich.





▲ Eintrittstermine 1951–2016 der Leitphase der phänologischen Jahreszeit Vorfrühling, die den Beginn des phänologischen Jahres markiert und sich an der Blüte der Gemeinen Hasel orientiert.

Mit der Blüte des Schwarzen Holunders (*Sambucus nigra*) setzt der **Frühsommer** ein, dessen Eintrittszeit sich im Untersuchungszeitraum 1991–2016 um 9 Tage nach vorne verschoben hat. Der **Hochsommer**, welcher sich durch erste blühende Sommerlinden (*Tilia platyphyllos*) bemerkbar macht, weist eine Verfrühung von etwa einer Woche auf. Nachdem das Erblühen der Leitpflanzen bisher als Indikator diente, rücken nun erste Früchte in den Fokus der Beobachtung. Die ersten frühreifenden Äpfel können zu Beginn des **Spätsommers** gepflückt werden. Diese phänologische Phase ist mit 6 Tagen nur leicht verfrüht.

Beim Übergang zum **Frühherbst** wird nochmals der Schwarze Holunder als Leitpflanze herangezogen. Seine ersten reifen Früchte zeigen sich im Zeitraum 1991–2016 etwa 10 Tage früher. Der **Vollherbst** beginnt mit den ersten reifen Früchten der Stiel-Eiche (*Quercus robur*) und zeigt mit einer um 6 Tage verfrühten Fruchtreife einen nur gering verfrühten Eintrittstermin. Beginnen die Blätter der Stiel-Eiche sich zu verfärben, bricht der **Spätherbst** an. Dies ist die einzige aller Phasen, die eine Verspätung von 4 Tagen aufzeigt. Der Grund hierfür ist, dass höhere Temperaturen im Herbst den Chlorophyllabbau im Blatt verlangsamen und damit zu einer späteren Blattverfärbung führen. Wirft die Stiel-Eiche ihre ersten Blätter ab, beginnt der phänologische **Winter**.

Die Eintrittstermine der Frühjahrsphasen zeigen die stärksten Änderungen. Das liegt einerseits daran, dass zu Beginn der Vegetationsperiode die stärksten Veränderungen stattfinden, und daran, dass diese Phasen wesentlich durch den Anstieg der Temperatur

ausgelöst werden, während in späteren Phasen immer mehr Faktoren eine Rolle spielen.

Regionale Unterschiede

Die oben beschriebenen Entwicklungen beziehen sich auf die mittleren Werte für ganz Schleswig-Holstein. Da die phänologischen Jahreszeiten im engen Zusammenhang mit meteorologischen Größen wie der mittleren bodennahen Lufttemperatur und der Wasser- und Lichtverfügbarkeit stehen, können regional zum Teil massive Unterschiede entstehen. Entgegen des landesweiten Trends der früheren Haselblüte, welche den Eintrittstermin des Vorfrühling bestimmt, weist der Naturraum Schleswiger Vorgeest beispielsweise eine um 6 Tage verspätete Haselblüte auf. Eigene Beobachtungen können sich also vom landesweiten Trend abheben.

Allgemeiner Trend

Auch deutschlandweit lassen sich Verschiebungen der phänologischen Jahreszeiten feststellen. Bis auf die Eintrittstermine des phänologischen Spätherbstes und Winters, die keine markanten Veränderungen aufzeigen, rutschen alle phänologischen Jahreszeiten im Jahresverlauf nach vorne und weisen zum Teil auch eine längere Dauer auf.

Der Jahreszyklus der Pflanzen ist dahingehend optimiert, bei einer möglichst langen Wachstumsperiode das Frostrisiko gering zu halten. Ein im Jahr früher Anstieg der mittleren Tagestemperaturen verlängert zwar die Vegetationsperiode durch verfrühten Austrieb, ist aber auch möglicherweise mit einer erhöhten Spätfrostgefahr verbunden.



Extremereignisse

Jeder erinnert sich daran. Ein verheerender Orkan, extreme Hitze oder eine katastrophale Sturmflut. Extremereignisse verursachen oft menschliches Leid und richten große Zerstörungen an. Wie hat sich die Häufigkeit von Extremen in der Vergangenheit entwickelt und welche Veränderungen sind in Zukunft zu erwarten?

Extrem = selten

Extremereignisse sind sehr selten auftretende Ereignisse. Sie sind gekennzeichnet durch stark vom üblichen Zustand abweichende Verhältnisse. Es gab sie in der Vergangenheit und es wird sie auch in der Zukunft geben. Bekannte Beispiele aus der entfernten Vergangenheit sind die 2. Marcellusflut am 15. Januar 1362, bei der Rungholt unterging, oder 1816, das Jahr ohne Sonne nach dem Ausbruch des Vulkans Tambora.

Auch in der nahen Vergangenheit haben wir Extremereignisse beobachten können. Das sind beispielsweise die Hochwasser in den Jahren 2002 und 2013 an der Elbe, beide ausgelöst durch sehr hohe Niederschlagsmengen, die lange andauernde Hitze im Juli 1994 oder die Stürme Anatol (1999) und Christian (2013).

Damit steht berechtigterweise eine Frage im Raum: *Was kommt mit dem Klimawandel noch alles?* Da Extreme definitionsgemäß sehr seltene Ereignisse sind, sind statistische Analysen weniger belastbar. Häufig wird ein Wiederkehrzeitraum von einmal in 100 Jahren betrachtet (das Jahrhundertereignis). Die vorhandenen Messreihen sind kaum länger. Somit ist die statistische Erfassung eines Ereignisses auf dieser Skala nicht einfach.

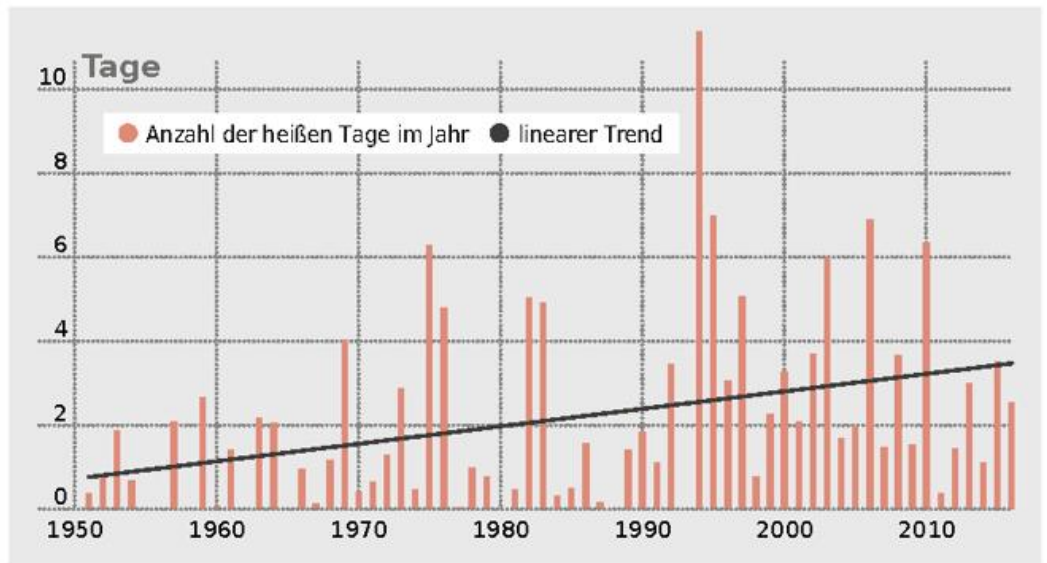
Temperatur

Die mittlere Temperatur hat in den letzten Jahrzehnten stark zugenommen. In der Folge sind auch mehr Tage mit sehr hohen Temperaturen und Hitzeperioden aufgetreten. Beispiel dafür sind die im Lande verzeichneten Temperaturrekorde: im Juli 2015 wurden an der Station Grambek 37,2 °C gemessen, an der Station Lübeck-Blankensee 38,0 °C im August 1992.

Um extreme Temperaturereignisse klimatologisch einordnen zu können, dient die Anzahl der heißen Tage (Höchsttemperatur mindestens 30 °C) als Anhaltspunkt. Sie ist seit 1951 von unter einem Tag pro Jahr auf 3,5 Tage pro Jahr in 2016 angestiegen. Das Maximum in Schleswig-Holstein wurde 1994 mit über 11 Tagen verzeichnet, mit Abstand gefolgt von Jahren mit 6 bis 7 heißen Tagen, nämlich 1975, 1995, 2006 und 2010.

Mehrtägige Hitzeperioden können erhebliche negative Folgen für die Gesundheit haben. Um die Auswirkungen möglichst gering zu halten, führte der Deutsche Wetterdienst im Jahr 2005 ein Hitzewarnsystem ein. Wetterlagen, die hohe Temperaturen, hohe Luftfeuchte, geringe Windgeschwindigkeit, intensive Sonneneinstrahlung und geringe nächtliche Abkühlung

Anzahl der heißen Tage ▶
(Tageshöchsttemperatur
≥ 30 °C, Flächenmittel aus
Stationsmessungen) von
1951 bis 2016.

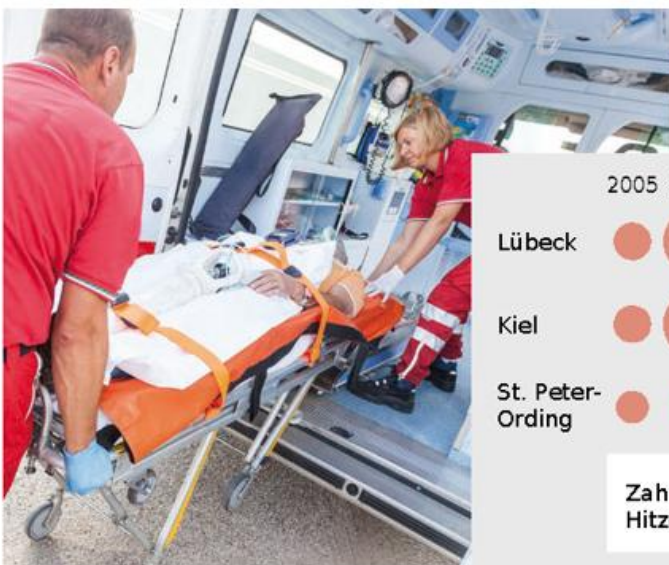


aufweisen, können zu hitzebedingten Erkrankungen führen. Hitzewarnsysteme verwenden die aktuellen Wettervorhersagen, um Episoden mit hoher Wärmebelastung vorherzusagen. Gewarnt wird in zwei Stufen anhand einer berechneten *gefühlten Temperatur*: Liegt sie an zwei Tagen in Folge über 32 °C und bleibt die Nacht dazwischen warm, wird vor starker Wärmebelastung gewarnt. Werden 38 °C überschritten, gibt der DWD eine Warnung vor extremer Hitzebelastung heraus. In den Jahren 2006 und 2010 wurden in Kiel, Lübeck und St. Peter-Ording die meisten Warnungen vor Wärmebelastung ausgesprochen. Ein Trend ist in der Anzahl der Hitzewarnungen in dem kurzen Zeitraum nicht erkennbar.

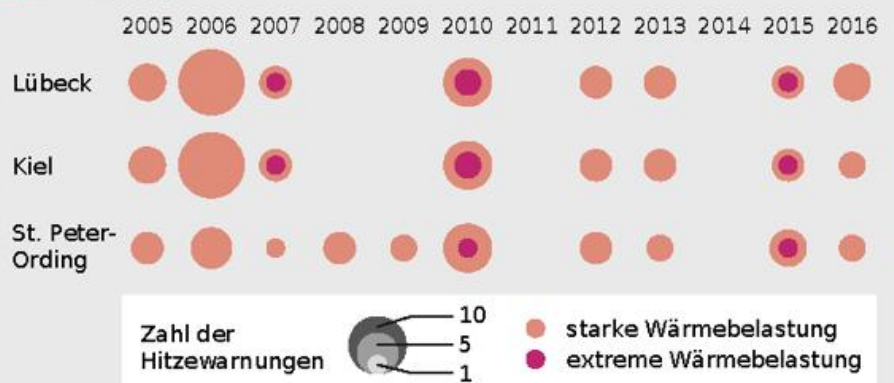
Aufgrund der vorhandenen und weiter fortschreitenden Erwärmung ist es sehr wahrscheinlich, dass solch hohe

Temperaturen und noch höhere Extrema öfter auftreten werden. Sie werden oft mit lang anhaltenden Hitzeperioden verbunden sein. Hierfür geben die Ergebnisse der regionalen Klimaprojektionen klare Indizien. Eine belastbare Abschätzung, welche Spitzentemperatur zukünftig auftreten kann, gibt es noch nicht.

Es stellt sich die Frage, ob es zukünftig keine kalten Winter mehr geben wird. Kalte Winter in Norddeutschland werden hervorgerufen durch längere Witterungsperioden, die durch arktische oder eurasische Kaltluftzufuhr geprägt sind. Wie sich die Wahrscheinlichkeit für derartige Witterungssituationen vor dem Hintergrund einer häufiger eisfreien Barentssee entwickeln wird, ist Gegenstand aktueller Forschung. Grundsätzlich schwächt sich aber die Intensität solcher Witterungsverhältnisse durch die globale Erwärmung ab.



Zahl der vom DWD ausgegebenen Hitzewarnungen im Zeitraum 2005 bis 2016 für ▼ verschiedene Orte in Schleswig-Holstein.



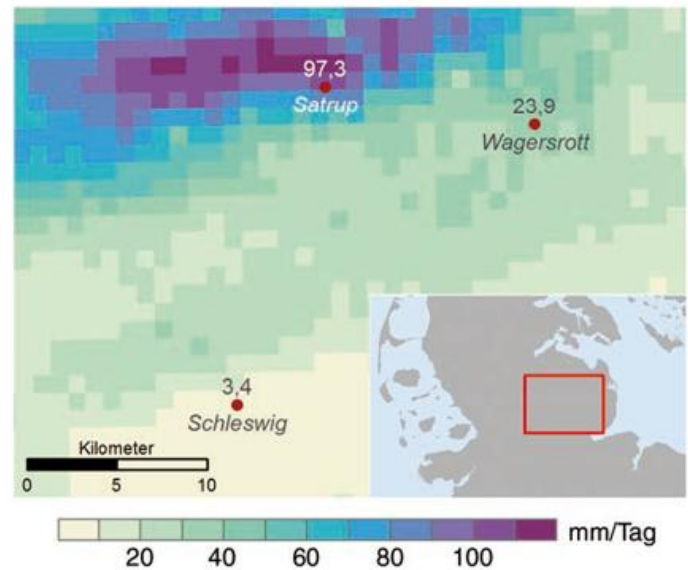
Niederschlag

120,9 mm Niederschlag fielen innerhalb von 24 Stunden am 23. August 2001 in Quickborn. Damit so viel Niederschlag abregnet, müssen mehrere meteorologische Ursachen aufeinandertreffen. Lokal müssen starke Hebungsprozesse auftreten, die zu einem Ausfallen der in der Luft enthaltenen Feuchtigkeit führen. Dabei gilt: je höher die Temperatur der Luftmasse, desto mehr Wasser kann enthalten sein. Die großräumige Wettersituation muss weiterhin für eine stetige Zufuhr weiterer warmer und feuchter Luftmassen sorgen.

Es gibt einen hohen Forschungsbedarf in der Thematik Starkniederschläge, denn die Anforderungen an quantitative Angaben zu großen bis außergewöhnlich extremen Niederschlagsmengen für praxisrelevante Zielsetzungen sind hoch. Die für unterschiedliche Anwendungen relevanten Starkniederschlagsereignisse können sowohl lokale Niederschläge kurzer Dauer und hoher Intensität als auch mehrere Stunden oder Tage anhaltende und ausgedehnte Niederschläge mit beträchtlichen Gesamtniederschlagsmengen sein. So wird für die Siedlungsentwässerung unter anderem als wichtige Bezugsgröße die Auftretenshäufigkeit von Niederschlägen mit einer Andauer von 15 Minuten genutzt. Für das Risikomanagement von Fluss-Hochwassern sind Niederschläge mit einer Dauerstufe von 12 Stunden und mehr relevant. Der diagnostizierte Forschungs- und Entwicklungsbedarf zum Risikomanagement in der Lücke zwischen der Siedlungsentwässerung einerseits und dem Umgang mit Fluss-Hochwassern andererseits muss weiter abgebaut werden.

Für viele Orte liegen lange, tageswertbasierte Niederschlagszeitreihen vor, für die bereits vielfältige Extremwert- und Trenduntersuchungen durchgeführt wurden. Zahlreiche offene Fragen gibt es hingegen im Zusammenhang mit starken, lokal begrenzten Kurzzeitniederschlägen. Daher hat der Deutsche Wetterdienst jüngst die hoch aufgelösten Niederschlagsdaten näher untersucht. Es finden sich allenfalls regional begrenzte Gebiete, in denen die heftigen Schauerniederschläge tendenziell zugenommen haben.

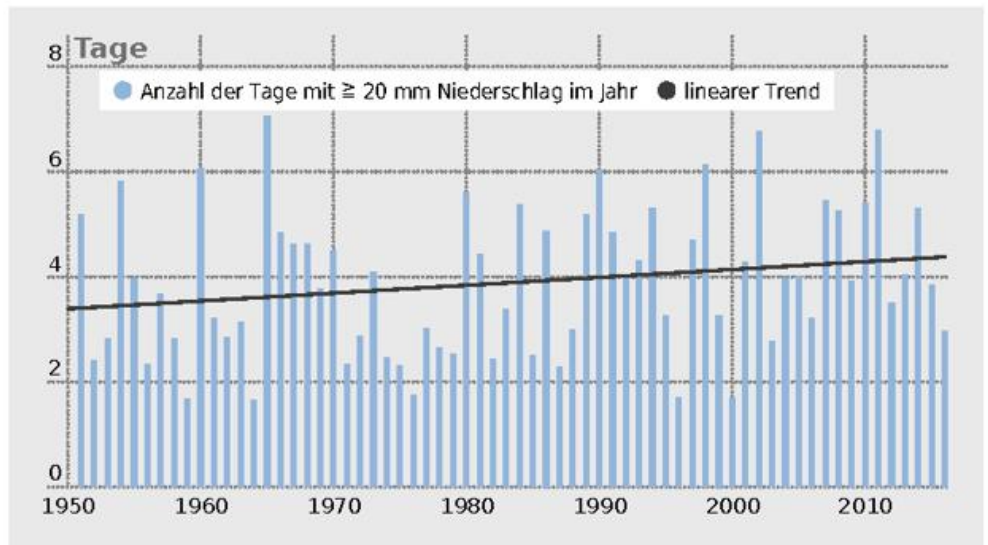
Seit 2001 ist es möglich, durch Fernerkundungsmethoden wie dem Wetterradarverbund des Deutschen Wetterdienstes den Niederschlag flächendeckend zu erfassen und damit auch die lokalen und kurzzeitigen hohen Intensitäten des Niederschlags. Der Zeitraum von 16 Jahren, in dem diese Daten erfasst sind, ist



▲ Starkregenereignis am 22.8.2007: In schwül-warmer Luft entwickelten sich Schauer und Gewitter, die räumlich eng begrenzt zu hohen Niederschlagsmengen führten. Die Bodenmessstationen liefern exakte Angaben zu den lokal gefallenen Regenmengen, Radarbilder zeigen die flächendeckende Verteilung des Niederschlags. Im Verfahren RADOLAN werden beide Informationen kombiniert. Punkte: Automatische Niederschlagsstation, Tagessumme des Niederschlags in mm; farbiges Raster: Tagessumme des Niederschlags in mm aus RADOLAN. Größe der Rasterzellen 1 km x 1 km.

aber klimatologisch gesehen noch sehr kurz. Die Analyse der Nutzbarkeit der Daten steht noch am Anfang.

Bis 2000 stellten die Messdaten der Bodenmessstationen die einzige, bekanntermaßen unzureichende Informationsquelle dar, um Starkregenereignisse zu erfassen. Zu einer Abschätzung der Entwicklung der Starkniederschläge kann der Kenntag mit einer Tagessumme des Niederschlags von mindestens 20 mm herangezogen werden. Dabei nehmen wir an, dass die Messung an einer Station einer Stichprobe entspricht. Nehmen wir die Mittel aller Stationen, wie es bei der Bildung des Mittelwertes über die Fläche des Landes gemacht wird, so ist die Auswertung auf Basis der großen Menge der Stichprobenwerte statistisch belastbarer. Die größte Anzahl derartiger Starkregenereignisse trat im Flächenmittel im Jahr 1965 mit 7 Tagen auf; ausgewertet wurde der Zeitraum 1951 bis 2016. Bisher ist in jedem Jahr mindestens ein Tag mit Starkregen aufgetreten. Der lineare Trend seit 1951 bis heute von einem zusätzlichen Starkregentag ist nur begrenzt aussagefähig. In der Referenzperiode 1961–1990 wurden landesweit durchschnittlich 3,6 Tage beobachtet, dieser Wert erhöhte sich um 0,5 Tage in der Periode 1981–2010. Generell ist bei diesen geringen Änderungsraten Vorsicht bei der Interpretation geboten.



Anzahl der Tage mit mindestens 20 mm Niederschlag (Flächenmittel aus Stationsmessungen) von 1951 bis 2016.

Der Klimawandel führt durch die Erhöhung der Lufttemperatur zu einer Erhöhung des Potenzials für extreme Niederschlagsereignisse. Dieser Prozess wird noch dadurch verstärkt, dass der Zusammenhang zwischen Temperatur und Wassergehalt nicht linear, sondern exponentiell verläuft. Die aktuelle Generation regionaler Klimamodelle zeigt eine Tendenz weiterer Zunahmen von Niederschlagsextremen an, ist aber aufgrund einer für diese Prozesse zu groben Auflösung nicht in der Lage, detaillierte lokale Angaben zu liefern.

Auswirkungen von Starkniederschlag in Schleswig-Holstein

Schleswig-Holstein legt ein besonderes Augenmerk auf die Untersuchung von Starkniederschlagsereignissen, weil diese Geschehnisse, die gerade in den Sommermonaten mit heftigen Gewittern auftreten können,

Warnkriterien des Deutschen Wetterdienstes für Niederschlag mit hohen Intensitäten		
Bezugszeitraum	Wetterwarnung	Unwetterwarnung
1 Stunde	15 bis 25 Liter/m ²	>25 Liter/m ²
6 Stunden	20 bis 35 Liter/m ²	>35 Liter/m ²
12 Stunden	25 bis 40 Liter/m ²	>40 Liter/m ²
24 Stunden	30 bis 50 Liter/m ²	>50 Liter/m ²
48 Stunden	40 bis 60 Liter/m ²	>60 Liter/m ²
72 Stunden	60 bis 90 Liter/m ²	>90 Liter/m ²

wegen der Topografie des Landes schwere Überflutungen und damit große Schäden anrichten können. Das Land ist hier in der Verantwortung für die Daseinsvorsorge und den vorbeugenden Katastrophenschutz.

Die Starkregenwarnungen des DWD sind eine wichtige Informationsquelle: sie unterteilen sich in Warnungen vor markantem Wetter und Unwetterwarnungen.



◀ Deichsicherung an der Treene. (Quelle: Eider-Treene-Verband)



▲ Ausschnitt einer Reliefklassifikationskarte nach dem topographischen Klassifikationsindex für Flachland. Blaue Farben kennzeichnen Senken, an die bei Starkregen erhöhte Anforderungen an die Entwässerung gestellt werden. (Quelle: LLUR)

Eine Reihe von Faktoren beeinflussen die Auswirkungen intensiver Niederschläge. Zunächst können die Niederschläge am Ort des Niederschlags eine lokale Überflutung erzeugen. Diese Überflutungen werden entscheidend durch das Maß der baulichen Nutzung und der Versiegelung beeinflusst. Eine flächige Bebauung, die nicht mit einer großzügig dimensionierten Regensammlung und Regenrückhaltung ausgestattet ist, wird größere Schäden verzeichnen als dies auf nicht bebauten Flächen der Fall sein wird. Hinzu kommt die in weiten Teilen des Landes Schleswig-Holstein sehr flache und nur wenig höhenmäßig strukturierte Landschaft, die ein schnelles Abfließen von Starkregen nicht fördert, sondern den Regen am Ort des Niederschlags hält. Im Rahmen des Hochwasserisikomanagements, wie es die entsprechende Richtlinie der EU¹ vorsieht, sind daher auch die durch diese außergewöhnlichen Niederschlagsereignisse bedingten Hochwassergefahren und -risiken für unterschiedliche Hochwasserwiederkehrhäufigkeiten darzustellen und in einen Hochwassermanagementplan einzustellen.

Die Niederschläge werden im Land über die Gewässer der Flussgebietsgemeinschaften Elbe, Eider und Schlei/Trave direkt in die Nord- und Ostsee sowie die Tideelbe abgeführt. Daher spielt für die Entwässerung der Niederungsgebiete der Außenwasserstand der Meere eine entscheidende Rolle. Bei einer Erhöhung des Meeresspiegels und einer allenfalls geringfügigen Veränderung der Windverhältnisse ist davon auszugehen, dass die Entwässerung der Niederungsgebiete im Freigefälle in den nächsten Jahrzehnten zusehends schwieriger wird und sich daher durch den Meeresspiegelanstieg auch binnenseitig eine Erhöhung des Hochwasserrisikos ergibt.

¹ Richtlinie 2007/60/EG über die Bewertung und das Management von Hochwasserrisiken vom 23. Oktober 2007

Wind

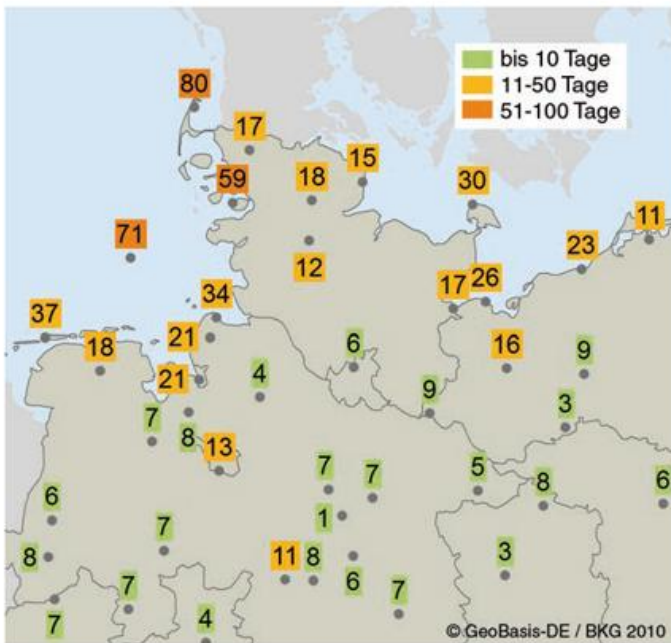
Markante Sturmereignisse wie „Christian“ oder „Xaver“ im Jahr 2013 beleben regelmäßig die Diskussion über mögliche Änderungen der Häufigkeit von Stürmen oder generell über Langzeittrends der Windgeschwindigkeit. Die Antwort darauf ist schwierig. Fast alle Windzeitreihen weisen Inhomogenitäten auf. Des Weiteren sind die zur Verfügung stehenden Zeitreihen meist nur einige Jahrzehnte lang, zu kurz, um Langzeittrends über zum Beispiel 100 Jahre bestimmen zu können. Die besonders interessierenden Stürme oder Orkane sind seltene Ereignisse und damit nur mit möglichst langen Zeitreihen statistisch zu bewerten.

Um darzustellen, wie stark die Regionen in Schleswig-Holstein durch hohe Windgeschwindigkeiten gefährdet sind, wurden die Messungen an den Stationen des Windmessnetzes des DWD ausgewertet. Verwendet wurden die täglichen Windspitzen (höchster 3-Sekunden-Mittelwert des Tages) des Zeitraums 1981–2010. Die Karte der Häufigkeit der Spitzenböen der Stärke 11 und 12 Bft (Beaufort) zeigt die durchschnittliche Anzahl an Tagen für einen Zeitraum von 10 Jahren, in dem Windspitzen ab 103 km/h (Bft 11 und 12) aufgetreten sind. Gibt es z.B. in 10 Jahren Windspitzen ab 11 Bft an durchschnittlich 21 Tagen, so ist – statistisch gesehen – jedes Jahr mit 2 Ereignissen zu rechnen.

In Schleswig-Holstein ist das Gebiet nördlich einer Linie Elbmündung/Travemündung stärker gefährdet als der Süden des Landes. Am häufigsten werden die höchsten Windspitzen an der Nordseeküste verzeichnet.

Aus den Ergebnissen der Klimamodellprojektionen ist für die Zukunft bei den Stürmen keine deutliche Änderung erkennbar.





▲ Häufigkeit von Spitzenböen der Stärke 11 und 12 Bft (Tage in 10 Jahren) im Zeitraum 1981 bis 2010.

Hagel

Hagelereignisse sind lokale und seltene Ereignisse, welche hohe Schäden an der Infrastruktur und Verluste in der Landwirtschaft verursachen können. Durch die meist geringe Ausdehnung der Hagelereignisse und die nur punktuelle Beobachtung konnten in der Vergangenheit nicht alle Ereignisse erfasst werden. Um diese Informationslücke zu schließen, werden die seit 2001 vorliegenden Radardaten genutzt. Die Ergebnisse zeigen eine höhere Anzahl von Hagelereignissen je Jahr im Süden als im Norden. Auf Basis der vorhandenen Beobachtungsdaten ist es nicht möglich, Entwicklungstendenzen für die Änderung der Anzahl an Hagelereignissen zu bestimmen. Alternativ ist die Nutzung von Daten, die indirekt auf Hagelfall schließen lassen, möglich. Dies sind Konvektionsparameter, die das Potential für die Gewitter- und

Hagelbildung beschreiben. Statistische Analysen der hagelrelevanten Konvektionsparameter zeigen für die vergangenen 20 bis 30 Jahre eine leichte Zunahme des Potentials.

Die räumliche Auflösung der aktuell genutzten regionalen Klimamodelle ist nicht ausreichend, um Hagel direkt zu modellieren. Hagel wird nur grob über Parametrisierungen abgeschätzt. Somit sind keine Aussagen zu zukünftigen Tendenzen möglich. Analysen des Konvektionspotentials zeigen für den kurzfristigen Planungshorizont keine einheitliche Tendenz auf.

Tornados

Tornados sind kurzlebige und räumlich stark begrenzte, rotierende Luftmassen unter einer konvektiven Wolke, mit Bodenkontakt. Je nach Stärke können sie sehr hohe Schäden verursachen. Aktuell werden mehr Tornados entdeckt als früher. Schwächere Tornados, die nur geringere Schäden verursachen, bleiben in vielen Fällen auch heute noch unentdeckt. In Schleswig-Holstein wurden im Zeitraum 2000 bis 2016 im Mittel 1 bis 2 Tornados pro Jahr über Land beobachtet und 4 bis 5 Tornados über See (Wasserhosen). Stärkere Tornados mit großer Zerstörungskraft sind in Schleswig-Holstein selten. Ob die Zahl der Tornados zugenommen hat, ist aufgrund der Dunkelziffern in der Vergangenheit nicht nachweisbar.

Auf Basis der vorliegenden regionalen Klimaprojektionen ist nicht abzuleiten, dass Tornados zukünftig häufiger auftreten werden. Aufgrund des zukünftig höheren Energiepotenzials könnte es in der Verteilung der Stärke von Tornados zu einer Erhöhung des Anteils starker Ereignisse kommen und damit zu einem erhöhten Risiko sehr zerstörerischer Tornados.





Aktuelle Forschungsthemen zum System Klima

Klimaveränderungen basieren auf komplexen Zusammenhängen. Sie erstrecken sich über lange Zeiträume und können regional unterschiedlich ausgeprägt sein. Der Klimawandel ist daher mit der üblichen Wahrnehmung für einen Menschen schwer erfassbar. Die nationale und internationale Forschungsgemeinschaft sieht die Erforschung des Klimasystems und die damit verbundenen Auswirkungen auf die Gesellschaft als ein zentrales Thema.

Mit der Erkenntnis, dass die vermehrte Verbrennung fossiler Kohlenstoffvorräte die Zusammensetzung der Erdatmosphäre verändern wird, wurde der Grundstein der modernen Klimaforschung gelegt. In den letzten Jahren konnte der Zusammenhang zwischen der beobachteten Erwärmung der Erdatmosphäre und den Aktivitäten der Menschheit klar belegt werden. Dies verstärkt die Notwendigkeit zur weiteren Erforschung des Klimasystems. Dazu hat die Forschungsgemeinschaft für die nächsten Jahre drei wesentliche Ziele formuliert:

1. Eine Vertiefung des Systemverständnisses der komplexen Zusammenhänge im Klimasystem
2. Die Bewertung und der Umgang mit den durch den Klimawandel verursachten Risiken und Chancen
3. Die Rolle der Klimaforschung in der Gesellschaft

Vertiefung des Systemverständnisses zum Klimageschehen

Die Funktionsweise des Klimasystems der Erde ist prinzipiell verstanden. Seine Komplexität erfordert jedoch zukünftig noch enorme Forschungsanstrengungen, um bei noch unvollständig verstandenen Detailspekten weiterhin Fortschritte im Verständnis zu erzielen. Diese Aspekte betreffen sowohl Verständnislücken bei einzelnen Prozessen als auch Wechselwirkungen zwischen Klimasystemkomponenten.

In Zusammenarbeit vieler Klimawissenschaftler auf nationaler wie auch auf internationaler Ebene wurden in den letzten Jahren viele Themengebiete systematisch analysiert und vorhandene Lücken identifiziert.

Auf Basis dieser Analysen wurden sechs Themengebiete herausgearbeitet, die von besonderem Interesse sind:

1. Bestimmung und Reduzierung von Unsicherheiten in Klimavorhersagen und Klimaprojektionen
2. Verlängerung der Wettervorhersage und Verbindung zur subsaisonalen Klimavorhersage
3. Abrupte Klimaänderungen
4. Wasserkreislauf in einer wärmeren Welt
5. Luftqualität und Klimawandel
6. Treibhausgas-Kreisläufe im Klimasystem

Zur Aufarbeitung dieser Themenfelder sind neben Forschungsinitiativen auch dauerhafte Aktivitäten notwendig. So können in Forschungsinitiativen beispielsweise die Basis für langfristige Strategien im Bereich des Ausbaus regionaler und globaler Beobachtungssysteme gelegt und vielerlei Hypothesen durch Modelle überprüft werden. Daneben muss die langfristige und systematische Erfassung der relevanten Prozesse sichergestellt werden. Hierfür ist eine zuverlässige Überwachung der anthropogenen Veränderungen und der natürlichen Variabilität notwendig.

Bewertung und Umgang mit Risiken und Chancen

Der zeitliche und räumliche Versatz zwischen den Ursachen und den Folgen des Klimawandels führt zu einer besonderen Herausforderung aller Akteure. So ist die Frage nach Nutzen und Schaden durch den Klimawandel nicht durch einzelne Akteure in der Wissenschaft zu beantworten. Diese Frage und die daraus zu entwickelnden Handlungsoptionen müssen

auf regionaler und globaler Ebene als Gemeinschaftsaufgabe vieler Wissenschaftsbereiche interdisziplinär bearbeitet werden.

Die regionalen Wirkungen des Klimawandels treffen weltweit auf unterschiedlich geprägte wirtschaftliche, soziale und kulturelle Gegebenheiten. Der Umgang mit Risiken unterscheidet sich durch die verschiedenen kulturellen Hintergründe und Möglichkeiten teilweise deutlich. Die Forschung muss die jeweiligen Herangehensweisen analysieren und regional spezifische Handlungsoptionen entwickeln.

Erforschung des Zusammenspiels Klimawandel und Gesellschaft

Eine wichtige Frage der Zukunft ist die zukünftige Position des Wissenschaftlers und der Forschungs-

institutionen in der Gesellschaft. Dabei steht die Frage nach deren Aufgabe und den damit verbundenen Grenzen im Vordergrund. Welche Aufgaben hat ein Klimaforscher? Hört seine Verantwortlichkeit bei der Wissenschaft auf und inwieweit darf oder sollte er sich in die Politik einmischen? Ein Beispiel dafür ist das IPCC-Mandat, das sich als „... politikrelevant, aber nicht Politik vorschreibend ...“ positioniert.

Eine große und dauerhafte Herausforderung einer jeden Wissenschaftsrichtung ist die regelmäßige Analyse der Wissensgenerierung. Auf welchen Annahmen basieren die aktuellen Erkenntnisse? Wo besteht Konsens und wo Dissens? Aber auch die Frage, ob die vorhandenen institutionellen Strukturen der Klimaforschung sinnvoll sind. Sind die einzelnen Themenfelder ausreichend miteinander vernetzt?



Klimavorhersagen geben eine Prognose darüber ab, mit welcher Wahrscheinlichkeit die kommenden Monate bis Jahre wärmer/kälter oder auch trockener/feuchter als im langzeitlichen Mittel werden. Dem zugrunde liegen Vorhersagen für die kommenden Monate (Stichwort: Jahreszeitemvorhersagen) und Jahre (Stichwort: Dekadenvorhersagen). Die Kombination mit Vorhersagen aus der Vergangenheit erlaubt eine umfassende statistische Bewertung der Prognosen und die Ableitung von Tendaussagen auf Basis einer Klimatologie. Damit unterscheidet sich die Klimavorhersage grundlegend von der Wettervorhersage, welche Aussagen über detailliertes Wettergeschehen der nächsten Stunden bis Tage trifft.

Bei einer Vorhersage über einen Zeitraum von mehreren Monaten bis zu 10 Jahren sind zudem alle Bestandteile des Klimasystems zu berücksichtigen: nicht nur die untere Schicht der Atmosphäre (die Troposphäre, bis circa 9-16 km Höhe), sondern auch höhere Luftschichten, der Boden sowie der Ozean und das Meereis. Für die Klimavorhersage wird ein mit all diesen Komponenten gekoppeltes Klimamodell genutzt.

Für eine robuste statistische Abschätzung der Qualität und Verlässlichkeit der Vorhersagen werden eine Vielzahl an historischen und aktuellen Vorhersagen gerechnet, die zu jedem Prognosestart mit leicht variierenden Bedingungen gestartet werden. Die so entstehende Lösungsvielfalt, auch Ensemble genannt, dient zugleich dazu, die Unsicherheiten, welche durch die Nichtlinearität des Klimasystems bedingt sind, zu bewerten.

Jahreszeitemvorhersagen werden aktuell unter anderem auf den Rechnern des Europäischen Zentrums für mittelfristige Wettervorhersage in Reading (Großbritannien) jeden Monat neu berechnet. Durch den Deutschen Wetterdienst werden diese Vorhersagen monatlich analysiert. Mit den Ergebnissen sind beispielsweise El Niño-Vorhersagen möglich. Dekadenvorhersagen sind aktuell noch Forschungsgegenstand. Eine Operationalisierung ist in den nächsten Jahren geplant.

Begriffskompass Klima



Bezugszeitraum/Bezugsperiode

Angaben über eine Änderung der zukünftigen mittleren klimatischen Verhältnisse werden immer in Relation zu einer Bezugsperiode getätigt. Im dem hier vorliegenden Bericht werden Aussagen zu möglichen zukünftigen Änderungen auf den Zeitraum der Jahre 1971 bis 2000 bezogen. Die Aussagen beschreiben immer die mittleren Verhältnisse über eine Zeitspanne von 30 Jahren.

Kenntage

Ein Kenntag ist ein Tag, an dem ein definierter Schwellenwert eines klimatischen Parameters erreicht beziehungsweise über- oder unterschritten wird (z. B. Sommertag als Tag mit Temperaturmaximum ≥ 25 °C) oder ein Tag, an dem ein definiertes meteorologisches Phänomen auftrat (z. B. Gewittertag als Tag, an dem ein Gewitter auftrat).

Klimaprojektion

Eine Klimaprojektion ist die Beschreibung eines möglichen und plausiblen künftigen Zustandes des Klimasystems nebst der zeitlichen Entwicklungslinie, die dorthin führt. Klimaprojektionen werden üblicherweise mit einem Klimamodell auf der Basis eines Szenarios erstellt.

Klimavorhersage

Vorhersagen leiten aus dem vergangenen und aktuellen Zustand der Atmosphäre Aussagen über dessen zukünftigen Zustand ab. Traditionell beinhaltet eine Vorhersage die Wetterentwicklung der nächsten ein bis zehn Tage. Ein aktueller Forschungsgegenstand ist die Abschätzung der Entwicklung über diesen Zeithorizont hinaus für Zeitskalen von mehreren Monaten bis einer Dekade.

Perzentil

Perzentile oder auch Quantile sind Prozentangaben. Sie gliedern die Anzahl der untersuchten Modellergebnisse in Maßklassen, womit sich ein bestimmter Prozentanteil dieser Ergebnisse umschließen lässt. Der Bereich zwischen dem 15. und 85. Perzentil umschließt beispielsweise 70 % der Modellergebnisse. Der Wert, den ein Perzentil annimmt, z.B. 85. Perzentil = 9,4 °C, bedeutet, dass 85 % der Ergebnisse unterhalb dieses Wertes liegen und nur 15 % darüber.

Planungshorizonte

In diesem Bericht wird zwischen einem kurzfristigen und langfristigen Planungshorizont unterschieden. Der kurzfristige Planungshorizont beschreibt das Zeitfenster der Jahre 2021 bis 2050, der langfristige das Zeitfenster der Jahre 2071 bis 2100. Auf diese Zeiträume bezogene Aussagen erfolgen immer in Relation zur Bezugsperiode 1971 bis 2000.

Referenzzeitraum/Referenzperiode

Angaben über eine Änderung der beobachteten mittleren klimatischen Verhältnisse werden immer in Relation zu einem Referenzzeitraum getätigt. In diesem Klimareport werden Aussagen über die Vergangenheit auf den Zeitraum der Jahre 1961 bis 1990 bezogen. Dieser Zeitraum entspricht der WMO-Referenzperiode für die langfristige Klimaüberwachung. Die Aussagen beschreiben immer die mittleren Verhältnisse über eine Zeitspanne von 30 Jahren.

RCP

Repräsentative Konzentrationspfade (*Representative Concentration Pathways* - RCPs) beschreiben Szenarien, die eine zeitliche Entwicklung der Emissionen und Konzentrationen der Treibhausgase, Aerosole und chemisch aktiven Gasen, aber auch der Landnutzung beschreiben. Details sind im Abschnitt *Klimawandel und Klimaprojektionen* beschrieben.

Spannbreite

Für die Analyse der zukünftigen klimatischen Entwicklungen wird eine Gruppe von Klimaprojektionen (Ensemble) genutzt. Mit der Spannbreite wird der Bereich zwischen dem Modellergebnis mit der geringsten und größten Änderung beschrieben.

Szenarien

Ein Szenario ist eine Beschreibung einer möglichen Zukunft auf Grund von Annahmen. Eine Möglichkeit ist der Aufbau einer in sich schlüssigen Kette von Annahmen bezüglich der politischen, wirtschaftlichen und ökologischen Bedingungen in der Zukunft und daraus abgeleiteten Veränderungen der Treibhausgasemissionen.

Begriffsbestimmung in der Klimamodellierung

Für die Analyse von Ergebnissen der Klimamodellierung ist es notwendig, in den Texten zum Klimawandel eine einheitliche und fest definierte Sprache zu nutzen. Sie soll helfen

- das Vertrauen in die Stichhaltigkeit der Erkenntnisse, basierend auf der Art, der Menge, der Qualität, der Konsistenz der Belege und dem Grad der Übereinstimmung, aufzubauen. Das Vertrauen wird qualitativ beschrieben.
- ein auf der Basis quantitativer Analysen berechnetes Maß der Unschärfe der Erkenntnisse, ausgedrückt über Wahrscheinlichkeitsaussagen, bereitzustellen.

In Vorbereitung des 5. Sachstandsberichtes des IPCC wurde eine Leitlinie entwickelt. Der **Vertrauensgrad** wird darin durch die fünf Begriffe *sehr gering*, *gering*, *mittel*, *hoch* und *sehr hoch* beschrieben und kursiv gesetzt, z. B. *mittleres Vertrauen*. Für die Angabe der Übereinstimmung können unterschiedliche Vertrauensgrade angegeben werden. Ein steigender Umfang an Belegen mit hoher Übereinstimmung ist mit einem zunehmendem Vertrauensgrad verbunden. Der Vertrauensgrad wird einer Anzahl an Belegen zugeordnet.

Alternativ/ergänzend dazu ist es auch möglich, eine Angabe der berechneten **Wahrscheinlichkeit eines Befundes oder Resultats** durch festgelegte Begriffe zu beschreiben.



Begriff	Vertrauensgrad
<i>sehr hohes Vertrauen</i>	In mindestens 9 von 10 Fällen korrekt
<i>hohes Vertrauen</i>	In etwa 8 von 10 Fällen korrekt
<i>mittleres Vertrauen</i>	In etwa 5 von 10 Fällen korrekt
<i>geringes Vertrauen</i>	In etwa 2 von 10 Fällen korrekt
<i>sehr geringes Vertrauen</i>	In weniger als 1 von 10 Fällen korrekt

Begriff	Wahrscheinlichkeit
<i>praktisch sicher</i>	≥ 99 % Wahrscheinlichkeit
<i>sehr wahrscheinlich</i>	≥ 90 % Wahrscheinlichkeit
<i>wahrscheinlich</i>	≥ 66 % Wahrscheinlichkeit
<i>ebenso wahrscheinlich wie nicht</i>	33–66 % Wahrscheinlichkeit
<i>unwahrscheinlich</i>	≤ 33 % Wahrscheinlichkeit
<i>sehr unwahrscheinlich</i>	≤ 10 % Wahrscheinlichkeit
<i>besonders unwahrscheinlich</i>	≤ 1 % Wahrscheinlichkeit

Zusätzliche Begriffe (*äußerst wahrscheinlich* ≥ 95 %, *eher wahrscheinlich als nicht* > 50 % und *äußerst unwahrscheinlich* 0–5 %) können, falls angebracht, auch verwendet werden. Die abgeschätzte Wahrscheinlichkeit ist kursiv gesetzt, z. B. *sehr wahrscheinlich*.



Impressum

Die Erstellung des Klimareports Schleswig-Holstein erfolgte in enger Zusammenarbeit zwischen dem Deutschen Wetterdienst und dem Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein (LLUR).

Autoren

Andreas Friedrich¹, Karsten Friedrich¹,
Dr. Kristina Fröhlich¹, Dr. Barbara Früh¹,
Dr. Anette Ganske³, Marie Gerber¹,
Dr. Hartmut Heinrich³, Dr. Thomas Hirschhäuser²,
Dr. Frank Kreienkamp¹, Dr. Gabriele Malitz¹,
Jens Möller³, Maren Quell², Dr. Uwe Rammert²,
Dr. Monika Rauthe¹, Wolfgang Riecke¹,
Dr. Birger Tinz¹, Dr. Andreas Walter¹

¹ Deutscher Wetterdienst

² Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume
des Landes Schleswig-Holstein

³ Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie

Redaktion

Marie Gerber, Dr. Frank Kreienkamp

Online-Ausgabe

Dieses Heft liegt als digitales Dokument auf unserer
Internetseite www.dwd.de/klimareport-sh.

Die Online-Ausgabe unterliegt der Lizenz



<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.de>

Zitierhinweis

DWD (2017): Klimareport Schleswig-Holstein;
Deutscher Wetterdienst, Offenbach am Main,
Deutschland, 44 Seiten.

ISBN 978-3-88148-493-0 (Print)

ISBN 978-3-88148-494-7 (Online)

Gestaltung und Satz

Elke Roßkamp (Deutscher Wetterdienst)

Bildnachweis

DWD: 2l, 7

LLUR: 2r

Olaf Bathke: 3

Creative Collection: 6m, 13l, 14/15, 17o, 21l, 23ml,
23mr, 23r, 29o

Panthermedia.net: Ul (Antje Lindert-Rottke), Um
(Paola Giannoni), Ur (Dagmar Richardt) 1o (Laurent
Renault), 1m (Hans Eder), 1u (Tilo Grellmann), 4
(Dario Sabljak), 6l (Clemens Humeniuk), 6r (Wolfgang
Filsler), 10u (Orlando Rosu), 11 (Hendrik Fuchs),
12l (Dominik Zwingmann), 12r (Ralph Glaser), 13r
(Wolfgang Heise), 17ur (Daniel Loretto), 19 (pekada),
20 (bestshot70), 21ml (Oliver C. Bellido), 21mr (Gabi
Faltenbacher), 21r (Tyler Olson), 23l (Ingram Vitan-
tonio Cicorella), 26o (Roland Schmock), 26u (Ines
Weiland-Weiser), 29u (isoga), 30 (Bernd Leitner), 31
(william87), 34 (JCB Prod), 35l (D. Mattwich), 35r
(Oemer Tigrel), 36 (James Steidl), 38 (Rilo Naumann),
39 (Jörg Röse-Oberreich)

MEV-Verlag: 17ul

Fotolia.com: 5 (Gina Sanders), 8 (AndreasG), 10o (Paul
Paladin), 16 (gradt), 23o (Mykola Velychko), 24/25

(l: links; m: mitte; o: oben; r: rechts; u: unten;

U: Umschlag)



Deutscher Wetterdienst
Abt. Klima- und Umweltberatung
Regionales Klimabüro Hamburg
Bernhard-Nocht-Str. 76
20359 Hamburg
Tel: +49 (0) 69 / 8062 - 6022
Fax: +49 (0) 69 / 8062 - 6033
E-Mail: klima.hamburg@dwd.de

Über www.dwd.de gelangen Sie
auch zu unseren Auftritten in:



**Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt
und ländliche Räume des Landes
Schleswig-Holstein (LLUR)**
Hamburger Chaussee 25
24220 Flintbek
Tel.: +49 (0) 43 47 / 704 - 0
Ansprechpartner:
Dr. Uwe Rammert
Tel. +49 (0) 43 47 / 704 - 240
E-Mail: uwe.rammert@llur.landsh.de

www.llur.schleswig-holstein.de

