Hamburg | Behörde für Umwelt, Klima, Energie und Agrarwirtschaft

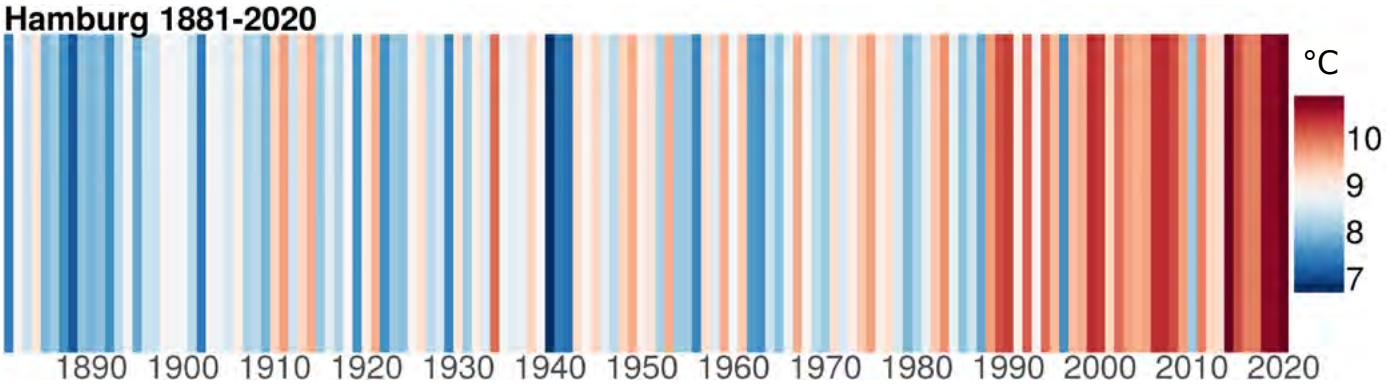
Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand

Klimareport Hamburg

Fakten bis zur Gegenwart – Erwartungen für die Zukunft

▼ **"Warming Stripes"**

Die farbigen Streifen auf der Titelseite visualisieren die Durchschnittstemperaturen für Hamburg zwischen 1881 und 2020; jeder Streifen steht für ein Jahr. Die Grafik wurde von Ed Hawkins entwickelt.



(Quelle: www.climate-lab-book.ac.uk, Datenquelle: Deutscher Wetterdienst)

Inhalt

Vorwort 4

Immer in Veränderung: Wetter und Klima 6

Klima, Klimavariabilität und Extreme 8

Klimamodelle 10

Klimawandel und Klimaprojektionen 12

Das Klima in Hamburg heute und morgen 14

Temperatur 16

Niederschlag 20

Starkregenkarte für Hamburg 24

Sonnenschein 26

Wind 28

Phänologie 30

Meeresspiegelanstieg Hamburg 32

Extremereignisse 38

Stadtklima 44

Aktuelle Forschungsthemen zum System Klima 48

Begriffskompass Klima 50

Präsenz in der Fläche 52

Weblinks 54

Impressum 55

Vorwort

Liebe Leserinnen und Leser,

die vorliegende 1. Auflage des Klimareports Hamburg fasst das derzeitige Wissen über das Klima in der Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft in kurzer und prägnanter Form zusammen. Er soll Ihnen als Leserinnen und Leser die Möglichkeit geben, sich einen fundierten Überblick über die vergangene und zukünftige zu erwartende Klimaentwicklung in der Metropolregion Hamburg zu verschaffen.

13 der 20 wärmsten Jahre in Hamburg seit dem Beginn der flächendeckenden Klimadaten im Jahr 1881 finden sich im 21. Jahrhundert wieder. Die vier Allzeit-Wärmsten aus fast 140 Jahren sind 2020 und 2014 mit Jahresmittelwerten von 10,9 °C sowie 2019 und 2018 mit je 10,7 °C. Alle vier Jahre lagen damit etwa zwei Grad über dem vieljährigen Jahresmittel der Referenzperiode 1961 bis 1990 und etwa ein Grad über der aktuellsten Referenzperiode 1991 bis 2020. In Hamburg war 2018 zudem das sonnigste und drittniederschlagsärmste Jahr seit 1881.

Der 6. Sachstandsbericht des Weltklimarates (IPCC) lässt bis Ende dieses Jahrhunderts eine weitere deutliche Klimaänderung erwarten. Der Klimawandel stellt für jeden von uns eine bedeutende Herausforderung dar, zum Beispiel durch vermehrt auftretende Tage mit starker Wärmebelastung oder durch eine steigende Häufigkeit von extremen Witterungsereignissen wie längeren Dürreperioden oder lokal auftretenden Starkniederschlagsereignissen.

Der internationale Rahmen für den Umgang mit dem Klimawandel wurde auf der UN-Klimakonferenz COP21 im Jahr 2015 in Paris vereinbart. Eine Voraussetzung für die Umsetzung der dort definierten Ziele ist ein detailliertes Verständnis des aktuellen Standes der Klimaentwicklung. Ein Sonderbericht des Weltklimarates zeigte im Jahr 2018 auf, dass es immer noch möglich ist, die Erderwärmung auf deutlich unter 2 °C zu begrenzen. Dafür sind umfangreiche Klimaschutzmaßnahmen notwendig. Der Klimareport Hamburg stellt eine wesentliche Voraussetzung für eine erfolgreiche Erarbeitung von Entwicklungsstrategien zur Anpassung an den Klimawandel und an seine erwarteten Folgen in der Metropolregion Hamburg dar.

Tobias Fuchs
DWD Vorstand Klima und Umwelt

Liebe Leserinnen und Leser,

Hamburg ist vom Wasser verwöhnt. Es sorgt für Lebensqualität und lockt viele Besucherinnen und Besucher an. Doch in den letzten Jahren wachsen die Herausforderungen, etwa wegen der auftretenden Hitzeperioden im Sommer. Nach einem extrem heißen und trockenen Jahr 2018 haben wir 2020 eine Rekordhitzewelle erlebt. Darunter leiden Gewässer, Flora und Fauna. Die Erwärmung macht sich auch im Winter bemerkbar. Waren früher Frost und zugefrorene Seen eine Normalität, haben Schnee und Eis heute Seltenheitswert. Der Winter 2019/2020 war der erste ohne Eistage in Hamburg.

Auch Extremwetterereignisse wie Starkregen, Stürme und Sturmfluten nehmen zu. Sie alle sind untrügliche Zeichen für die Veränderung des Klimas. Diesem Wandel müssen wir mit allen Mitteln begegnen. Abnormalitäten und Schäden wachsen sich sonst weiter aus und die Lebensqualität sinkt. Hamburg als Hafenstadt ist unmittelbar von dem drohenden Anstieg des Meeresspiegels betroffen.

Aber wir tun etwas dagegen. Mit seinem Klimaplan hat Hamburg ein umfangreiches Maßnahmenpaket geschnürt, um die klimaschädlichen Treibhausgase konsequent zu reduzieren. Bis deutlich vor 2050 will Hamburg Klimaneutralität erreichen. Dazu müssen alle beitragen, Privathaushalte genauso wie Industrie und Gewerbe, der Verkehr und die Energieerzeugung. Damit das am besten gelingt und wir die effizienteste Anpassungsstrategie entwickeln können, brauchen wir aber detaillierte Daten und die Wissenschaft.

Deshalb ist die Arbeit des Deutschen Wetterdienstes nicht hoch genug einzuschätzen und der vorliegende Klimareport so wichtig. Mit seinen Messungen, Erhebungen, Erläuterungen und Analysen haben wir nicht nur wissenschaftlich nachgewiesene Belege in der Hand für all die Veränderungen, die schon Realität sind. Sie bieten uns zudem die notwendige Basis, um das Instrumentarium für alle weiteren Schritte zu justieren.

Ich freue mich, dass zum Klimareport auch Hamburg Wasser als Wasser- und Wirtschaftsexpertin unserer Stadt beigetragen hat. Denn wir brauchen jeden Sachverstand, um die Herausforderungen des Klimawandels in Hamburg erfolgreich zu meistern.

Jens Kerstan
Senator für Umwelt, Klima, Energie und Agrarwirtschaft

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 Hamburg.

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

Deutschland gehört zur kühl-gemäßigten Klimazone der mittleren Breiten, im Übergangsbereich zwischen dem maritimen Klima Westeuropas und dem kontinentalen Klima in Osteuropa. 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 der Region Hamburg. Den dominierenden Einfluss stellt die Nähe zum Meer da; die hohe Wärmekapazität des Wassers sorgt für relativ milde Winter und mäßig warme Sommer.

Der Deutsche Wetterdienst beobachtet und misst an vielen Orten das Wetter, teilweise seit mehr als 100 Jahren. Registriert werden Niederschlag, Temperatur, Sonnenschein und vieles mehr. Die Beobachtungswerte variieren von Tag zu Tag und von Jahr zu Jahr. Neben diesen Variationen zeigen die Aufzeichnungen auch langfristige Änderungen. So ist es seit 1881 in Hamburg etwa 1,7 °C 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 in Hamburg seit 1881 über das Jahr verteilt zugenommen. Dies gilt besonders für den Winter. In der Jahressumme waren es 2020 etwa 112 l/m² mehr als noch vor 140 Jahren. In den Sommermonaten zeigt sich die geringste Zunahme der Niederschlagsmenge.

Erfasst wird des Weiteren die Höhe des Meeresspiegels. Auch hier ist eine Änderung zu beobachten. Der Meeresspiegel in der Elbemündung, am Pegel Cuxhaven, ist seit 1843 um etwa 40 cm gestiegen.

Hat der Mensch einen Einfluss auf das Klima?

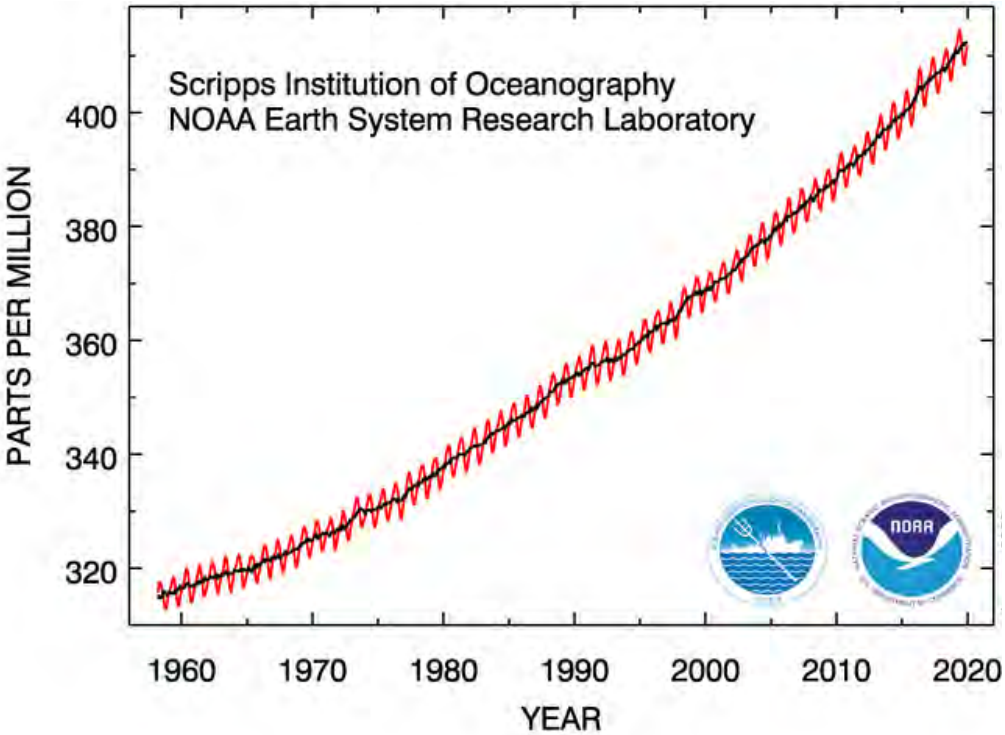
Mit dem Ausstoß von Treibhausgasen und der großflächigen Änderung der Landnutzung greift der Mensch in das natürliche Klimasystem der Erde ein. Ein Schwerpunktthema der weltweiten Forschung ist daher die Analyse der Folgen dieser Eingriffe.

Mit Hilfe von Klimamodellen haben die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler die Auswirkungen auf das globale und regionale Klima auf der Basis von Szenarien untersucht. Für Hamburg ergibt sich je nach gewähltem Szenario eine Erhöhung der Jahresmitteltemperatur von mindestens 1 °C bis hin zu knapp 4 °C bis zum Ende des Jahrhunderts. 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 globalen 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 Gletschern und polaren Eiskappen deutlich beschleunigen.



◀ *Mittlere Konzentration des atmosphärischen CO_2, 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 verstehen die Meteorologie und Klimatologie Vorgänge, die in der Atmosphäre in verschieden 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?

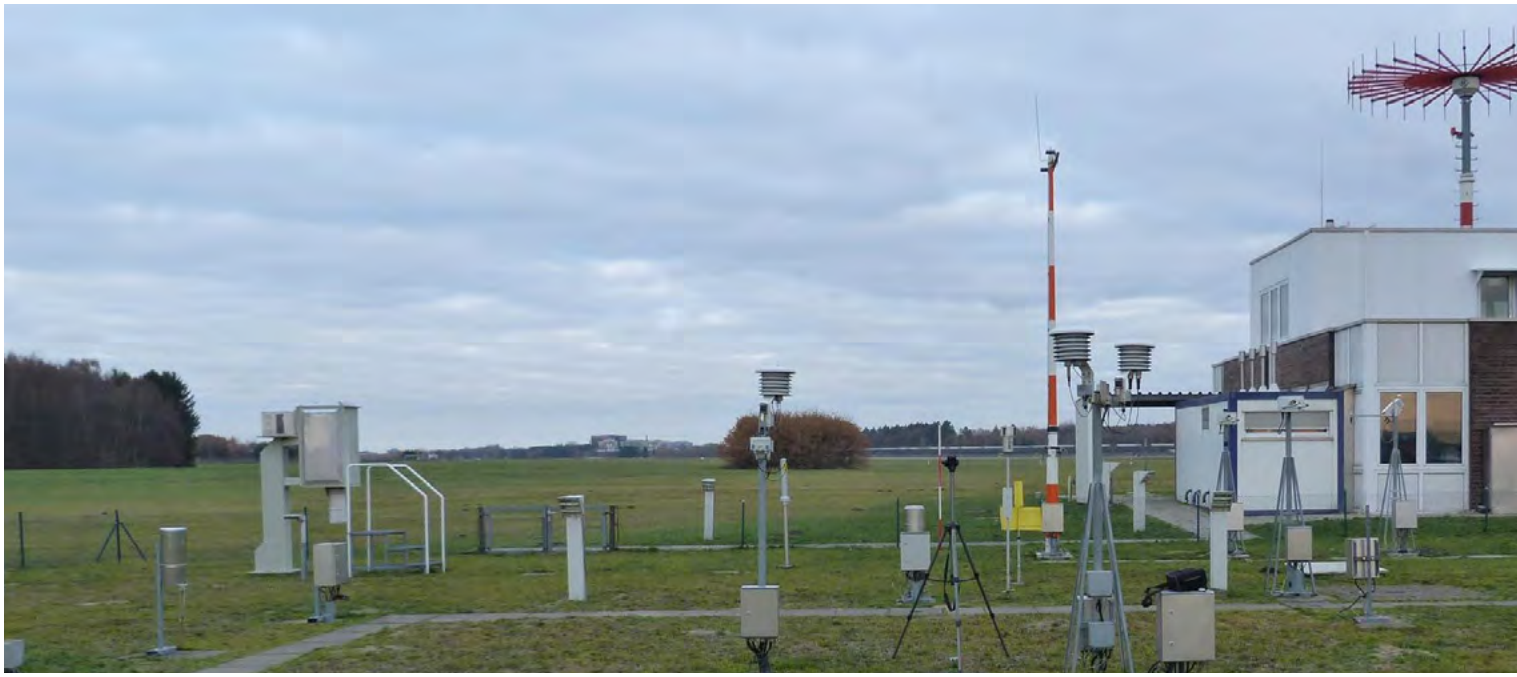
Die Weltorganisation für Meteorologie (WMO) definiert „Klima“ wissenschaftlich präzise als „Synthese des Wetters über einen Zeitraum, der lang genug ist, um dessen statistische Eigenschaften bestimmen zu können“. „Klima“, vom altgriechischen Wort klī́ma für „ich neige“ stammend, spielt auf die Konstellation 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 München. Um das Klima einer Region zu beschreiben, werden entsprechend den Vorgaben der WMO Zeiträume von mindestens 30 Jahren analysiert.

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

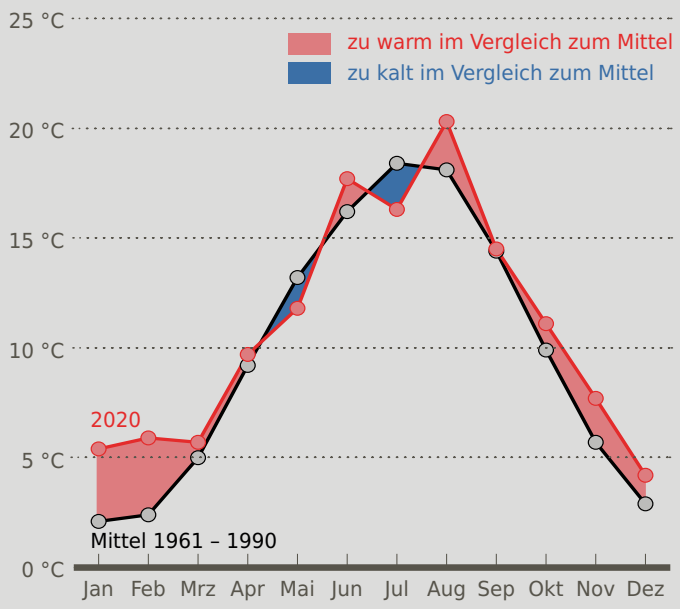
Extremereignisse sind sehr seltene Ereignisse, die stark von den mittleren Bedingungen abweichen. Ein Ereignis kann aus vielfältigen Gründen zu einem Extremereignis werden. Es kann ein auf einen Tag bezogenes Ereignis sein, wie eine Orkanböe, ein längerfristiges Ereignis, wie eine langanhaltende Trockenheit, oder ein für den Zeitpunkt im Jahr sehr untypisches Ereignis. So ist beispielweise eine Temperatur von 25 °C an einem Julitag nicht ungewöhnlich. 25 °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 extremen Wetterereignisse ist ein wesentlicher Schwerpunkt in der aktuellen Klimaforschung.

Monatsmitteltemperaturen in Hamburg

◀ Messfeld des Deutschen Wetterdienstes in Hamburg-Fuhlsbüttel

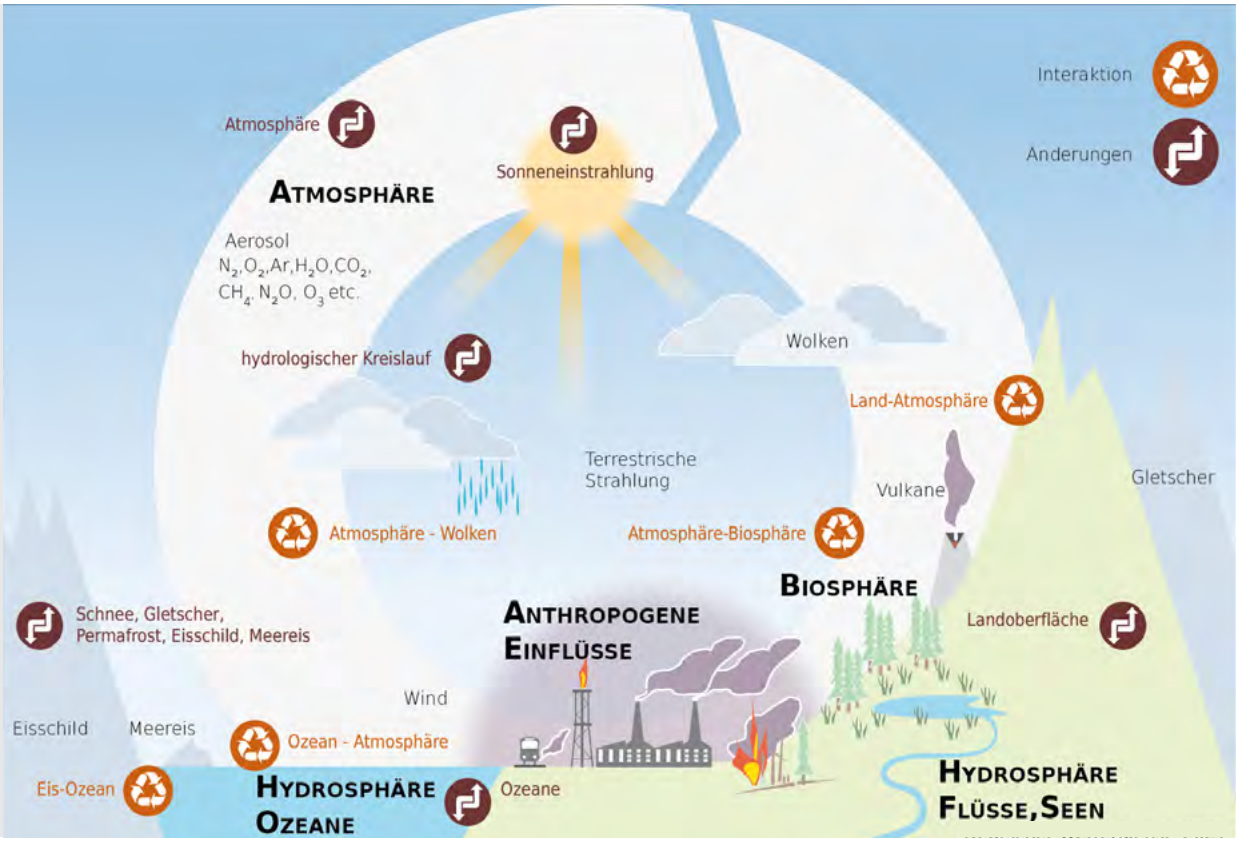
2020 war in Hamburg eines der wärmsten Jahre seit Beginn der Wetteraufzeichnungen. Bis auf den Mai und Juli wiesen alle Monate zum Teil deutlich höhere Mitteltemperaturen auf, als während der international gültigen Referenzperiode 1961–1990. (Datenbasis: Gebietsmittelwerte) ▶



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.

In einem Klimamodell werden die wesentlichen Prozesse und Wechselwirkungen in der Natur mit Näherungsformeln beschrieben. Einige der Wechselwirkungen sind hier schematisch dargestellt. ▶

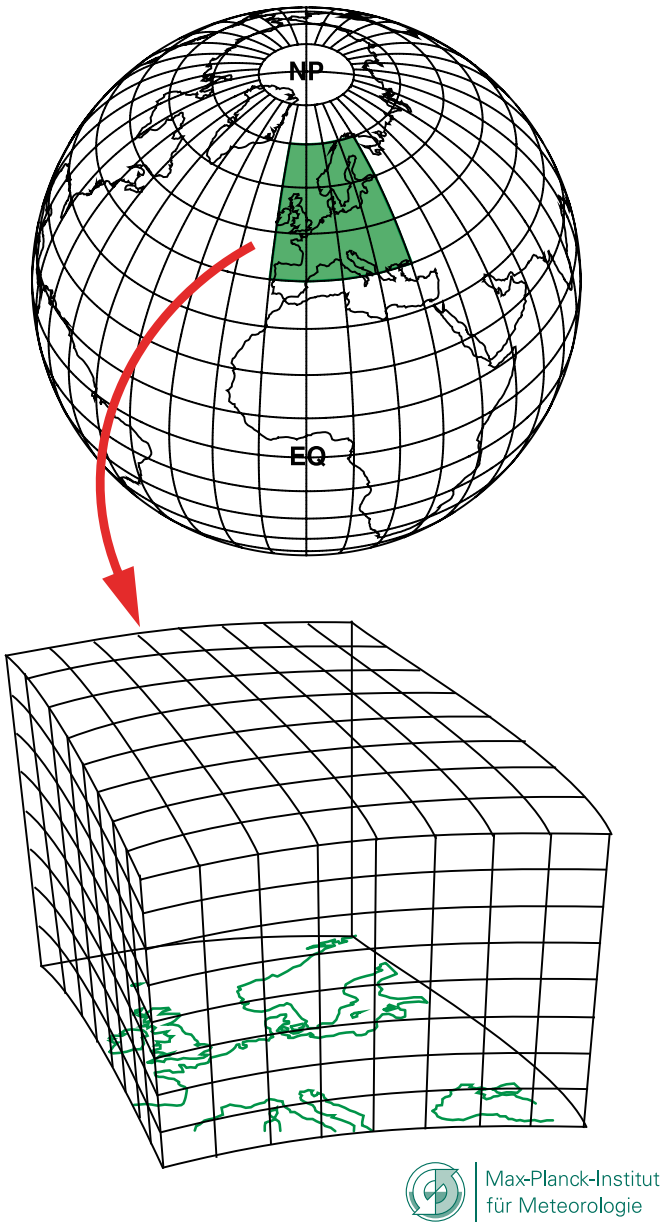


Die Welt als Gitter

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 erfordert dies einen extrem hohen Aufwand an Computerrechenzeit.

Für die Modellierung werden die Atmosphäre und die Ozeane der Erde mit einem dreidimensionalen Gitternetz überzogen. Die Auflösung (Gitterpunktabstand) 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 engmaschigeres Netz bilden, als diejenigen der globalen Klimamodelle. Sie gehen von den Ergebnissen der globalen Klimamodelle aus.

Für Deutschland liegen aktuell Simulationen mit einer räumlichen Gitterweite von 12,5 und 3 km vor. Das bedeutet zum Beispiel, dass die simulierte Temperatur nur alle 12,5 km einen anderen Wert annehmen kann.



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) ▶

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. Werden verschiedene Klimasimulationen verwendet, so wird hierfür der Begriff Ensemble genutzt.

Die vorhandene Bandbreite des Ensembles 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.

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 aktuell 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:

- Durch die Verbrennung von fossilen Brennstoffen entstehen unter anderem große Mengen an Kohlendioxid, das direkt in die Atmosphäre entweicht.
- 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.

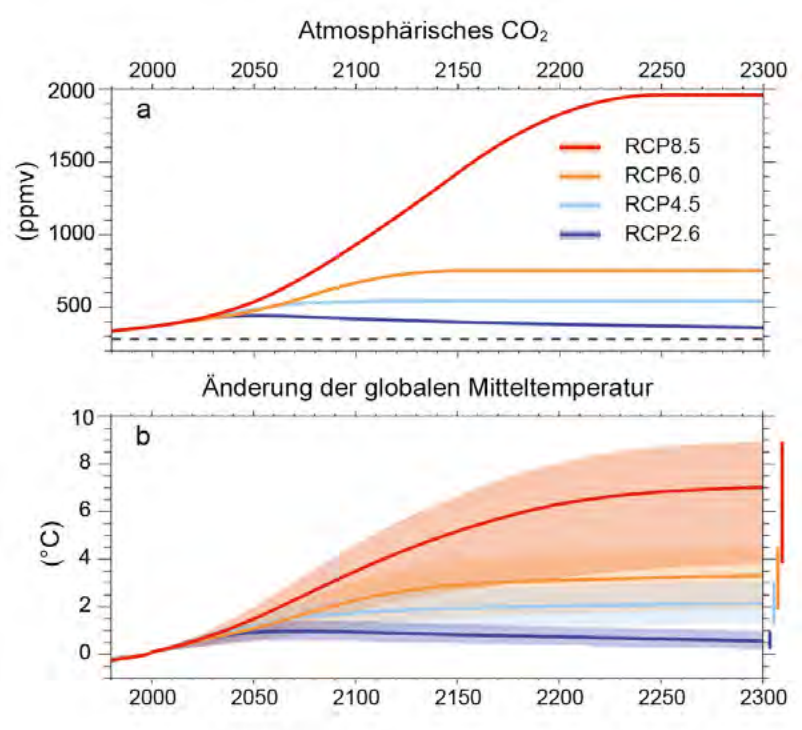
Es ist nicht möglich, den Einfluss des Menschen auf das Klima der nächsten Jahre und Jahrzehnte genau zu beschreiben. Möglich sind aber Annahmen über den wahrscheinlichen Verlauf der Einflussnahme. Diese Annahmen werden in der Wissenschaft Szenarien genannt. In den letzten Jahren wurde eine Vielzahl denkbarer Szenarien entwickelt, die einen mehr oder minder starken Einfluss des Menschen auf das Klima beschreiben. In Vorbereitung auf den 6. Sachstandsbericht des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) 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 Aerosol (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 W/m² 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 sozioökonomischer Faktoren, z. B. der Bevölkerung, der Energienutzung oder die Emissionen von Treibhausgasen werden nicht mit 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.

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 W/m²) erreicht. Von da an sinkt er kontinuierlich auf den Wert 2,6 W/m² im Jahr 2100. Hierzu ist ein Wandel hin zu einer Welt notwendig, deren Energieversorgung nicht mehr auf der Verbrennung von fossilen Kohlenstoffvorräten basiert. Das



◀ *Entwicklung der Konzentration des atmosphärischen Kohlendioxids (a) und der globalen Mitteltemperatur (b) bis zum Jahr 2300 für die verschiedenen Emissions-Szenarien. (Quelle: http://www.climatechange2013.org)*

Maximum weltweiter Emissionen von Treibhausgasen müsste dafür vor dem Jahr 2020 liegen. 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 ein weiteres Szenario im Text 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 22 Klimaprojektionen verwendet, die den Zeitraum 1971 bis 2100 umfassen. Um den Unterschied zwischen dem heutigen und einem zukünftigen Zustand zu berechnen, werden jeweils 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 Modellergebnissen.

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 Hamburg 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 von den Küsten bis zu den Mittelgebirgen stellt eine einheitliche Klimaregion dar, die geprägt ist von der Meeresnähe und der niedrigen Geländehöhe.

Für Deutschland wurden insgesamt zwölf klimatisch unterschiedliche Modellregionen definiert. Für jede Modellregion wurden die Klimaparameter bestimmt und Klimaprojektionen durchgeführt, siehe Nationaler Klimareport. Hamburg gehört zur Region „Nordwestdeutsches Tiefland“. Nicht weit östlich des Stadtgebietes beginnt die Region „Nordostdeutsches Tiefland“.

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

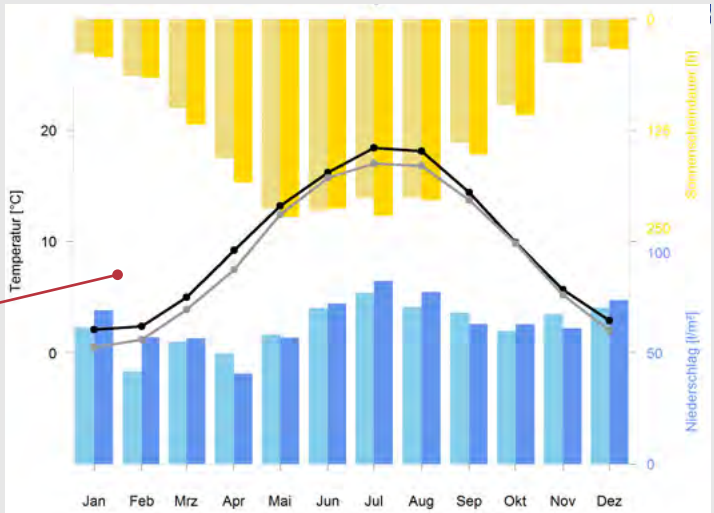
Die Klimadiagramme zeigen die Mittelwerte von Temperatur, Niederschlag und Sonnenscheindauer der international gültigen Referenzperiode 1961–1990 sowie der aktuellsten 30-Jahresperiode 1991–2020 im Vergleich. Die Unterschiede in den Flächenmittelwerten der einzelnen Parameter zwischen der Modellregion Nordwestdeutsches Tiefland und der Region Hamburg sind insgesamt nur gering.

Auf den nachfolgenden Seiten werden die Veränderungen des Klimas in Hamburg in der Vergangenheit bis heute sowie mögliche zukünftige Entwicklungen für die Modellregion „Nordwestdeutsches Tiefland“ anhand einiger Parameter aufgezeigt.

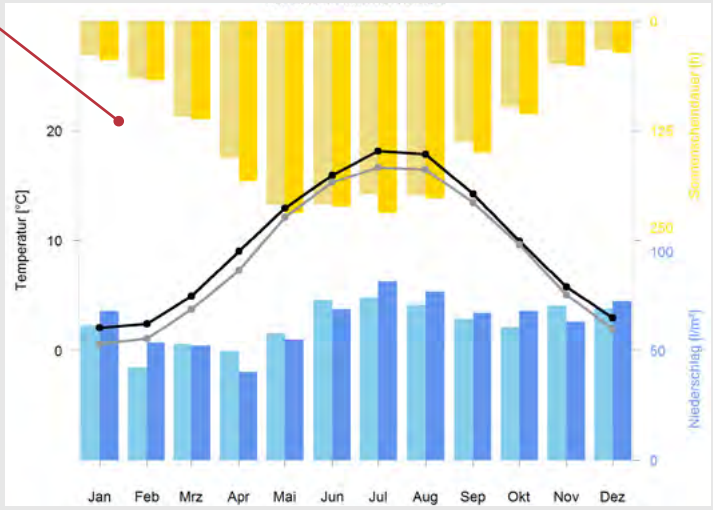
Vergleich der vieljährigen Mittelwerte 1961 – 1990 und 1991 – 2020

Kartenausschnitt der Modellregion Nordwestdeutsches Tiefland

Klimadiagramm Hamburg



Klimadiagramm der Modellregion Nordwestdeutsches Tiefland:



Temperatur [°C]

1961–1990

1991–2020

Sonnenscheindauer [h]

1961 – 1990

1991 – 2020

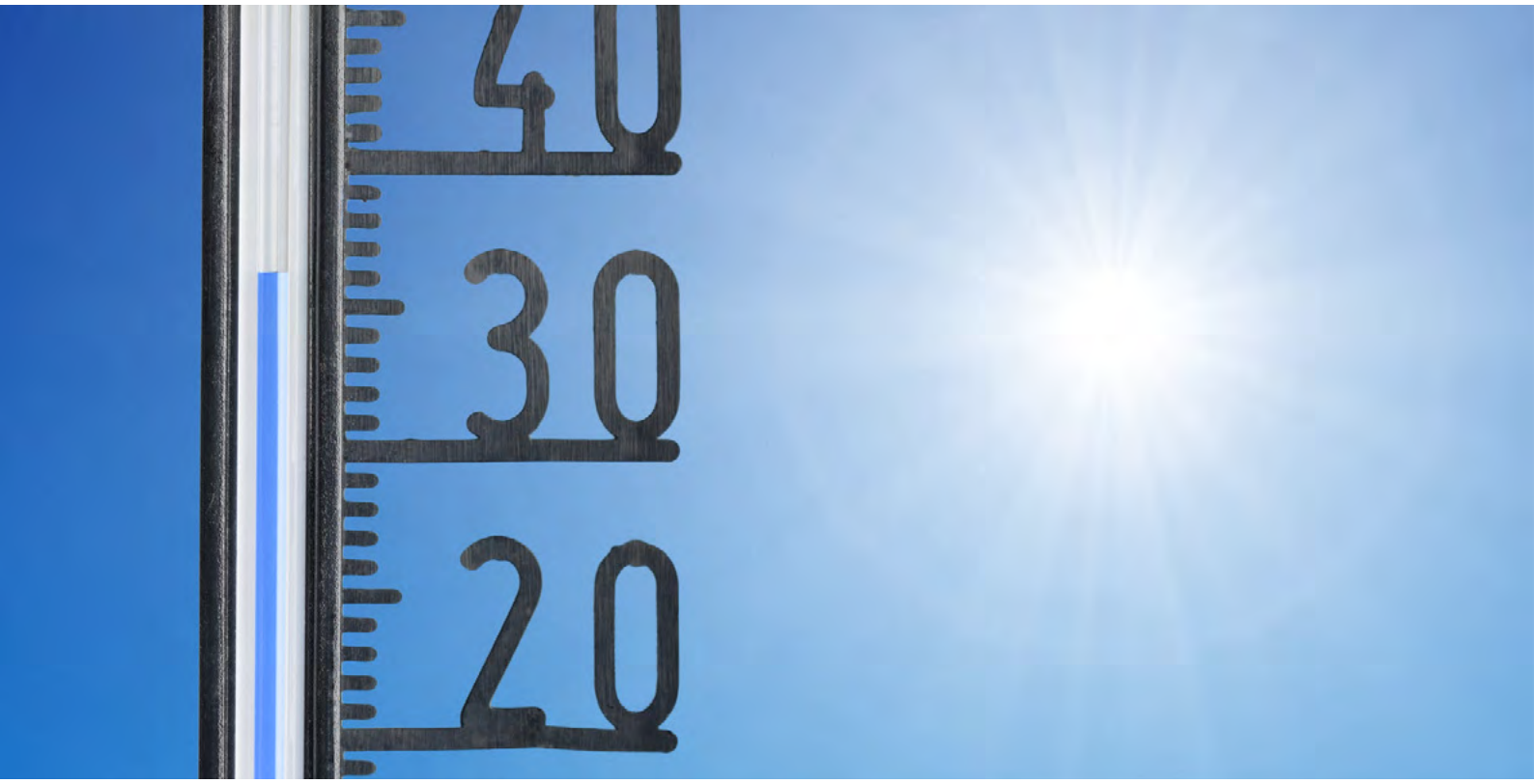
Niederschlag [l/m²]

1961 – 1990

1991 – 2020

Temperatur

Die Jahresdurchschnittstemperatur in Hamburg beträgt 9,8 °C, bezogen auf die Referenzperiode 1991–2020. Als Datenbasis wurden die Gebietsmittelwerte für das Hamburger Stadtgebiet (ohne Insel Neuwerk) verwendet.



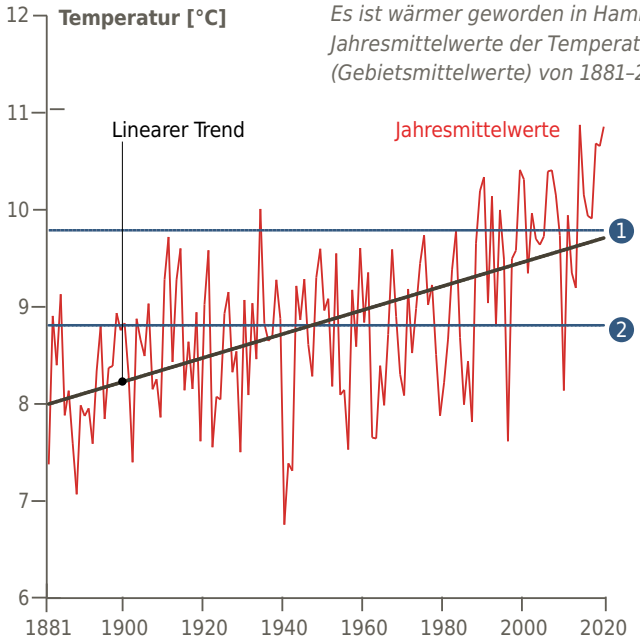
Veränderungen der Lufttemperatur seit 1881

In Hamburg ist das Jahresmittel der Temperatur seit 1881 bis heute um 1,7 °C gestiegen. Auch der vieljährige Mittelwert der Referenzperiode 1961–1990 von 8,8 °C ist mittlerweile schon auf 9,8 °C im jüngsten 30-Jahreszeitraum 1991–2020 gestiegen.

Vom Ende des 19. Jahrhunderts bis 1910 blieb die Temperatur im Wesentlichen konstant. Im Zeitraum 1910 bis 1939 und insbesondere im Zeitraum seit Ende der 1980er-Jahre ist ein verstärkter Anstieg der Temperatur zu beobachten, während sie dazwischen weitestgehend auf demselben Niveau verharrte. 2014 und 2020 waren mit Mitteltemperaturen von 10,9 °C die bisher wärmsten Jahre in Hamburg.

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

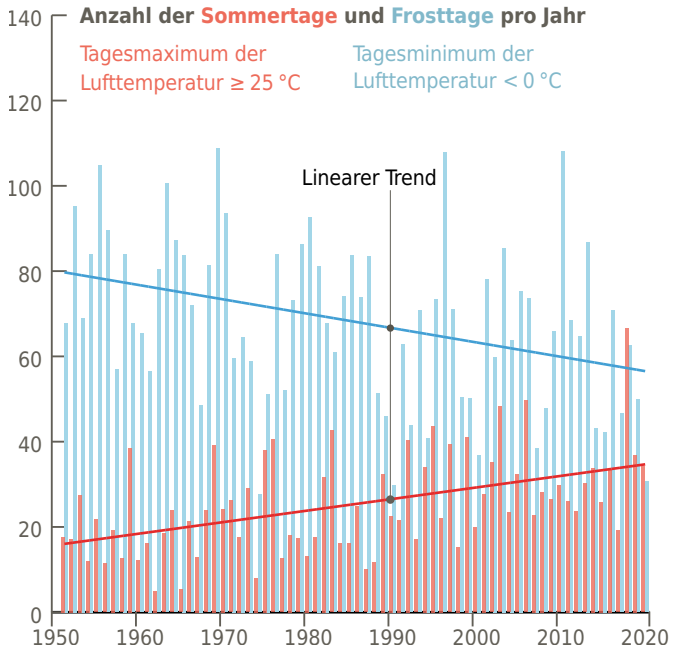
Es ist wärmer geworden in Hamburg: Jahresmittelwerte der Temperatur (Gebietsmittelwerte) von 1881–2020. ▼



1 Mittelwert 9,8 °C, Referenzzeitraum 1991–2020

2 Mittelwert 8,8 °C, Referenzzeitraum 1961–1990

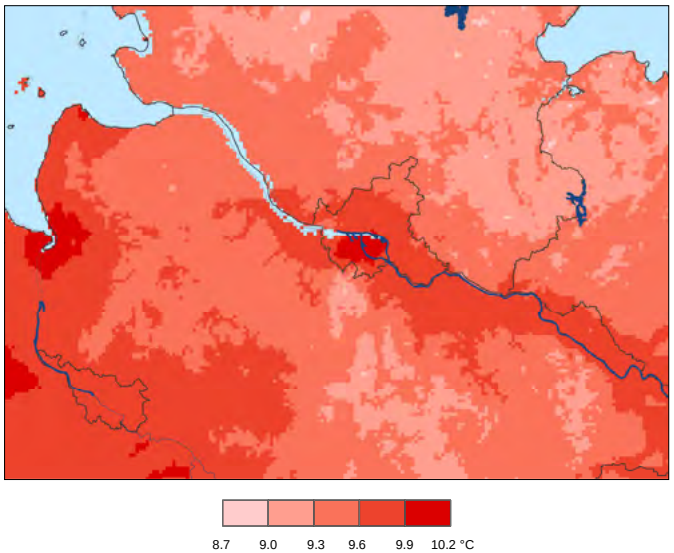
Ein Sommertag liegt dann vor, wenn die höchste Temperatur des Tages 25 °C erreicht bzw. überschreitet. Die Anzahl der Sommertage stieg in Hamburg von 21,2 Tagen in der Referenzperiode 1961–1990 auf 31,6 Tage im Zeitraum 1991–2020, also um über 10 Tage. Deutschlandweit liegen die Vergleichswerte bei 27 bzw. 39,8 Tagen, was einem Anstieg von knapp 13 Tagen entspricht. Die etwas geringere Anzahl in Hamburg ist der nördlichen Lage geschuldet. Der lineare Trend der Sommertage 1951 bis heute zeigt für das Hamburger Gebiet ein Plus von rund 16 zusätzlichen Tagen auf. Die höchste Anzahl wurde 2018 mit 66,7 Tagen registriert. Die ausgleichend auf die Temperaturen wirkende Meeresnähe zeigt sich auch in der geringeren Anzahl von Frosttagen in Hamburg im Vergleich zu Deutschland. Ein Tag wird zu einem Frosttag, wenn die tägliche Tiefsttemperatur 0 °C unterschreitet. So weist Hamburg für die Referenzperiode 1961–1990 im Mittel 70 Frosttage im Jahr auf, Deutschland dagegen 91. Die Anzahl der Frosttage ging im Bundesland Hamburg im Zeitraum 1991–2020 mit 8 Tagen weniger stark zurück als mit knapp 10 Tagen deutschlandweit. Im Zeitraum 1951 bis heute ist für Hamburg im Trend eine Abnahme von 23 Frosttagen festzustellen.



▲ *Die Zahl der Sommertage nimmt in Hamburg zu, Frosttage werden seltener. Die Darstellung zeigt die Jahreswerte von 1951–2020 sowie den entsprechenden Trend (Gebietsmittelwerte).*

Jahr	Jahresmittel
2014	10,87 °C
2020	10,86 °C
2018	10,68 °C
2019	10,66 °C
1999	10,41 °C
2007	10,41 °C
2006	10,40 °C
1990	10,34 °C
2000	10,31 °C
1989	10,19 °C
2015	10,15 °C
2008	10,15 °C

◀ *Die 12 wärmsten Jahre in Hamburg seit 1881 (Gebietsmittelwerte).*



Jahresmitteltemperatur in Hamburg und Umgebung im Zeitraum 1981–2010 als Flächendarstellung der Rasterwerte (1 km x 1 km). ▶

Zukunft

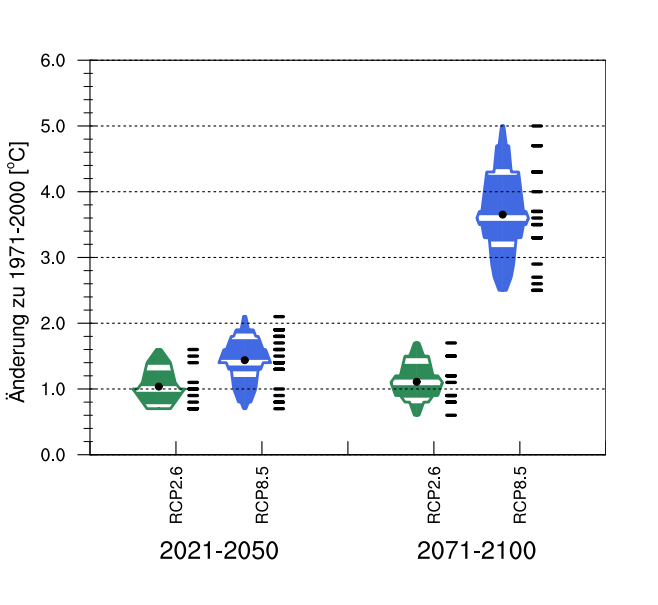
Ein weiterer Anstieg der Temperatur in in der Region Nordwestdeutsches Tiefland ist zu erwarten (sehr hohe Übereinstimmung der Ergebnisse des Ensembles*).Für den kurzfristigen Planungshorizont (2021–2050) beträgt dieser Anstieg etwa 1,0 bis 1,4 °C. Der Unterschied zwischen den durch die beiden unterschiedlichen 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 (2071–2100) wird stark vom gewählten Szenario bestimmt. Basierend auf dem Klimaschutz-Szenario ist eine Erhöhung um 1,1 °C zu erwarten (mittlere Übereinstimmung).

Erreicht wird die Stabilisierung auf dem Niveau des kurzfristigen Planungshorizontes durch die sehr starke Reduktion der Treibhausgasmissionen innerhalb der Szenariendefinition. Regionale Unterschiede sind kaum vorhanden. Unter den Bedingungen des Weiter-wie-bisher-Szenarios beträgt die Erwärmung etwa 3,6 °C (mittlere Übereinstimmung). Die Bandbreite der Ergebnisse liegt zwischen 2,5 und 5,0 °C.

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

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



◀ Darstellung der Bandbreite der vorhandenen Klimaprojektionen für die Jahresmitteltemperatur der Region Nordwestdeutsches Tiefland. Dargestellt sind die vorliegenden Änderungssignale für den kurzfristigen (2021–2050) und langfristigen (2071–2100) Planungshorizont, jeweils als Abweichung 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 Striche die Einzelergebnisse der Modelle gezeigt.

Jahreszeitliche Unterschiede

Die bisherige Erwärmung in Hamburg zeigt sich in den verschiedenen Jahreszeiten ähnlich ausgeprägt, mit Ausnahme des Herbstes, hier gibt es keinen eindeutigen Trend. Mit der Temperaturzunahme geht auch eine markante Veränderung der Temperaturextrema einher. Die mit tiefen Temperaturen verbundenen Extreme nehmen stark ab, und die mit Wärme verbundenen Extreme nehmen stark zu. Die Häufigkeit von Frost- und Eistagen geht zurück, und auch die Wahrscheinlichkeit für längere Frostperioden im Winter verringert sich. Gleichzeitig steigt die Anzahl der Sommertage und der Heißen Tage. Die Wahrscheinlichkeit von Hitzewellen nimmt zu.

Jahreszeitliche Mittelwerte der Temperatur und erwartete Änderungen

	1961-1990	1971-2000	1981-2010	1991-2020	2021-2050 (RCP2.6)	2021-2050 (RCP8.5)	2071-2100 (RCP2.6)	2071-2100 (RCP8.5)
Frühjahr	8,0 °C	8,4 °C	8,9 °C	9,1 °C	+ 0,7 °C	+ 1,2 °C	+ 0,9 °C	+ 3,1 °C
Sommer	16,5 °C	16,8 °C	17,2 °C	17,6 °C	+ 0,9 °C	+ 1,3 °C	+ 1,0 °C	+ 3,5 °C
Herbst	9,6 °C	9,4 °C	9,7 °C	10,0 °C	+ 1,2 °C	+ 1,6 °C	+ 1,3 °C	+ 3,8 °C
Winter	1,2 °C	1,9 °C	2,0 °C	2,5 °C	+ 1,1 °C	+ 1,2 °C	+ 1,1 °C	+ 3,7 °C
Jahr	8,8 °C	9,2 °C	9,3 °C	9,8 °C	+ 1,0 °C	+ 1,4 °C	+ 1,1 °C	+ 3,6 °C

▲ *Mittelwerte der Lufttemperatur von Hamburg pro Jahr und Jahreszeit, jeweils für die vier Referenzzeiträume in den Spalten 2–5. Die Spalten 6–9 zeigen die Ergebnisse der Projektionsrechnungen für das Nordwestdeutsche Tiefland. Hier sind nicht absolute Temperaturen, sondern jeweils die Abweichungen zum Bezugszeitraum 1971–2000 angegeben.*

FAKTEN:

Beobachtung

- ungebrochener Trend der Erwärmung in Hamburg
- Anstieg der Jahresmitteltemperatur um 1,7 °C seit 1881
- Änderung der Extreme: Mehr Sommertage, weniger Frosttage

Kurzfristiger Planungshorizont

- Erwärmung um im Mittel 1,0 bis 1,4 °C

Langfristiger Planungshorizont

- Beim Klimaschutz-Szenario mittlere Erwärmung um 1,1 °C
- Beim Weiter-wie-bisher-Szenario mittlere Erwärmung um 3,6 °C

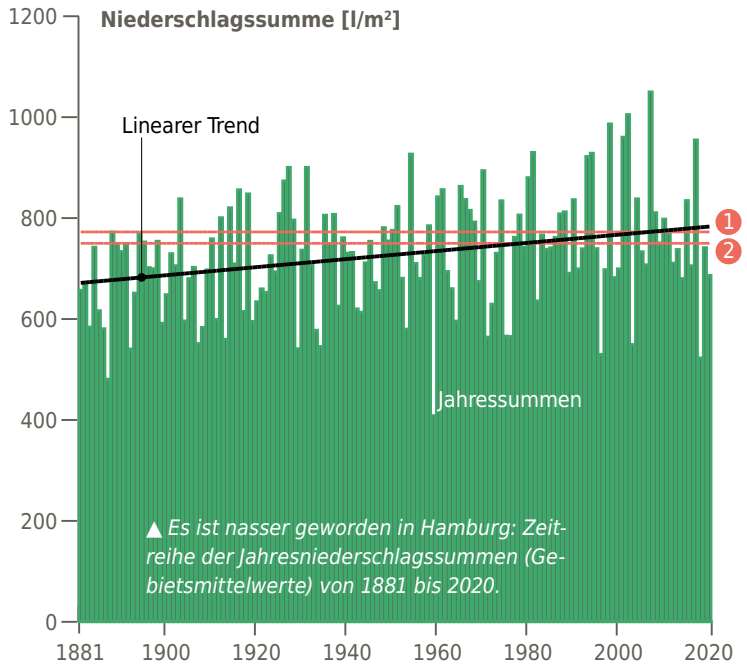
Niederschlag

Die Niederschlagsverteilung im Raum Hamburg wird wesentlich bestimmt durch die Orographie und den Stadteffekt Hamburgs. Südöstliche Bereiche wie Bergedorf und Vierlande weisen die geringsten Niederschlagssummen auf. Etwas höher sind die Werte sowohl in den nordöstlichen Stadtgebieten als auch im Bereich der Harburger Berge.

Veränderungen der Niederschlagsmengen seit 1881

Der Niederschlag ist eine sehr veränderliche Größe in Raum und Zeit. Das Gebietsmittel der Jahressummen des Niederschlags für Hamburg beträgt etwa 727 Liter pro Quadratmeter (l/m²), entspricht Millimetern (mm). Seit 1881 steigt dieser Wert, jedoch mit großer Veränderlichkeit von Jahr zu Jahr. Das höchste Flächenmittel wurde 2007 mit 1050 l/m² ermittelt, während im Jahr 1959 mit 409 l/m² der niedrigste Wert auftrat. Das 30-jährige Mittel 1961–1990 beträgt 750 l/m², für 1991–2020 liegt es mit einem Mittelwert von 773 l/m² um 3 % höher.

Der Zuwachs der Jahressumme für Hamburg in den letzten 140 Jahren seit 1881 beträgt insgesamt etwa 112 l/m². Auf die Jahreszeiten bezogen tragen insbesondere die kühleren Jahreszeiten zu dieser Zunahme bei, im Einzelnen etwa +65 l/m² im Winter, +23 l/m² im Herbst und +15 l/m² im Frühjahr. Der Sommer ist zwar insgesamt die nasseste Jahreszeit, der Zuwachs seit 1881 liegt hier aber nur bei 8 l/m².



▲ *Es ist nasser geworden in Hamburg: Zeitreihe der Jahresniederschlagssummen (Gebietsmittelwerte) von 1881 bis 2020.*

1 Mittelwert 773 l/m², Referenzzeitraum 1991–2020

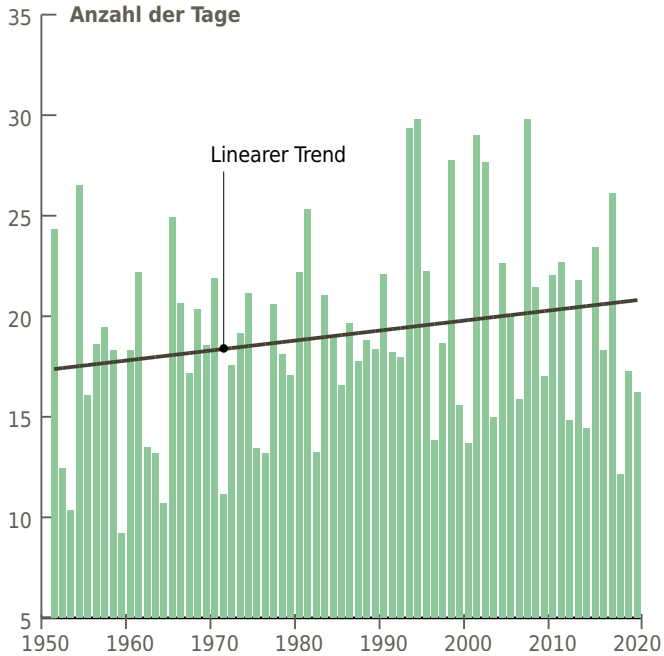
2 Mittelwert 750 l/m², Referenzzeitraum 1961–1990

Die tägliche Niederschlagssumme stellt sich für Hamburg als sehr variabler Wert heraus. Große Niederschlagssummen lassen sich durch Kenntage mit einer Tagessumme von mindestens 10 l/m² binnen 24 Stunden bzw. "pro Tag" beschreiben. Im Mittel gab es zwischen 1951 und 2020 in Hamburg an 19,1 Tagen pro Jahr eine Niederschlagssumme von mindestens 10 l/m². Die Kenntage weisen große jährliche Schwankungen auf: Ein Minimum von 9 Tagen trat 1959 auf, die größte Anzahl mit knapp 30 Tagen wurde 2007 verzeichnet. Der lineare Trend zeigt eine Zunahme von 3,4 Tagen für den Zeitraum seit 1951.

Starkniederschläge, insbesondere in Form von kurzzeitigen sommerlichen Schauern und Gewittern, weisen nur recht kleinräumig Intensitätsmaxima auf. Die Auswertungen des Niederschlagradars, dessen Messungen seit 2001 zur Verfügung stehen, werden zukünftig zu einer deutlichen Informationsverbesserung führen.

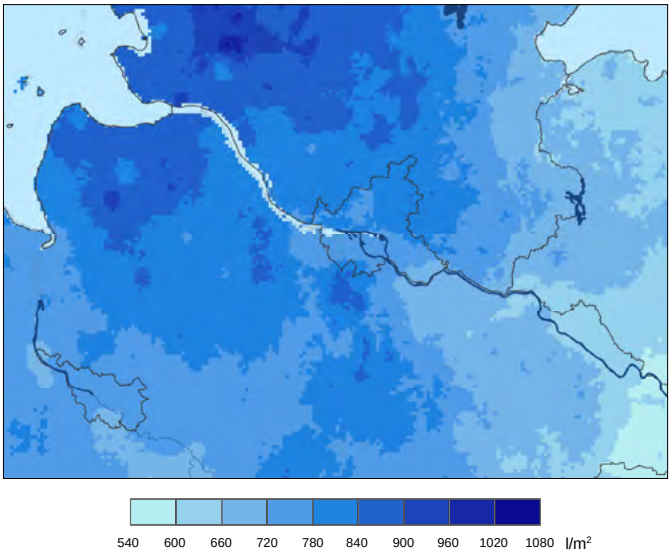
Besonders hohe Monatssummen kommen häufig im Sommerhalbjahr vor. In Hamburg fielen zum Beispiel 211 l/m² im Juli 1931, 200 l/m² im September 2002 und 193 l/m² im August 1960.

Aber auch zu wenig Niederschlag stellt in unterschiedlicher Weise ein Problem für Land- und Wasserwirtschaft sowie die Schiffbarkeit von Flüssen dar. Mit den Jahren 2018 und 2020 zeigen gleich zwei Beispiele aus jüngster Vergangenheit, welchen Einfluss außergewöhnliche Trockenphasen haben. 2018 fielen in Hamburg mit gerademal 523 l/m² lediglich zwei Drittel des vieljährigen Mittels (773 l/m²). Insbesondere der Herbst 2018 trug mit nur rund einem Drittel der sonst zu erwartenden Menge (73 l/m² statt 187 l/m²) zur negativen Jahresbilanz bei. Im Jahr 2020 waren sogar sieben Monate zu trocken, teils sehr markant: Im November fiel etwa ein Drittel, im April und Mai weniger als die Hälfte des Niederschlags im Vergleich zum vieljährigen Mittel 1991 – 2020.



▲ *Anzahl der Tage mit mindestens 10 l/m² Niederschlag in Hamburg (Gebietsmittelwerte) von 1951-2020.*

Jährliche Niederschlagssummen in Hamburg und Umgebung als Flächendarstellung der Rasterwerte (1 km x 1 km). ▼



Zukunft

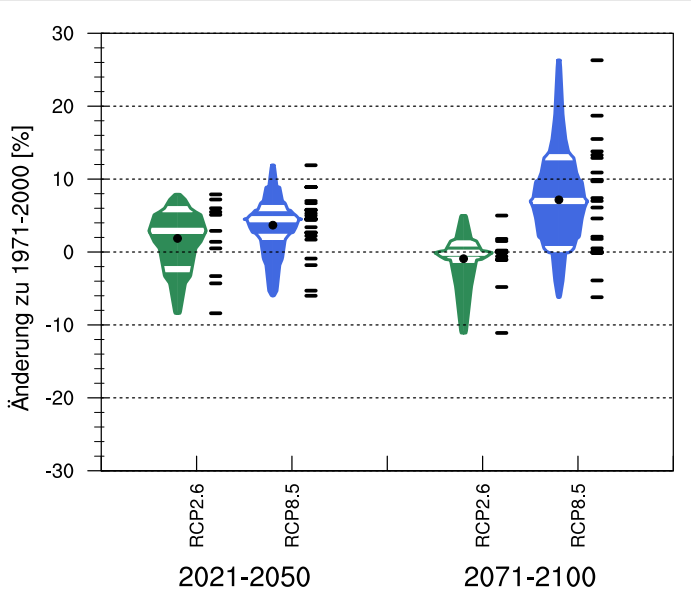
Eine deutliche Änderung der mittleren Jahressumme des Niederschlags im kurzfristigen Planungshorizont (2021–2050) ist für das Nordwestdeutsche Tiefland nicht zu erwarten. Berechnet wird eine Zunahme des mittleren Jahresniederschlags um 3 % (mittlere Übereinstimmung der Ergebnisse des Ensembles). Der Unterschied zwischen den Szenarien RCP2.6 und RCP8.5 ist gering. Die Bandbreite der Ergebnisse liegt zwischen −8 % und +12 % Änderung. Was zunächst auffällig klingt, ist aber weniger markant: Eine modellierte Änderung unterhalb von ±10 % fällt in den Bereich der natürlichen Klimavariabilität.

Im langfristigen Planungshorizont (2071–2100) ist beim Weiter-wie-bisher-Szenario (RCP8.5) mit einer leichten Zunahme des Jahresniederschlags um 8 % zu rechnen (mittlere Übereinstimmung). Die Bandbreite ist hier insgesamt recht hoch. Beim Klimaschutz-Szenario (RCP2.6) zeigt sich wenig Änderung.

Bezüglich der Änderung der Anzahl der Tage mit Niederschlag von mindestens 10 l/m² pro Tag ist sowohl für den kurzfristigen Planungshorizont als auch für den langfristigen Planungshorizont mit einer Zunahme zu rechnen. Weniger ausgeprägt ist eine Zunahme von Tagen mit Niederschlag von 20 l/m² und mehr pro Tag. Jedoch ist bei Starkniederschlägen die Spannbreite innerhalb des Ensembles teilweise sehr groß, so dass die Resultate insgesamt eher weniger belastbar sind.

Jahreszeitliche Unterschiede

Für den kurzfristigen Planungshorizont 2021–2050 werden unter Verwendung aller RCP-Szenarien



◀ *Darstellung der Bandbreite der vorhandenen Klimaprojektionen für die Jahresniederschlagssumme der Region Nordwestdeutsches Tiefland. Dargestellt sind die vorliegenden Änderungssignale für den kurzfristigen (2021–2050) und langfristigen (2071–2100) Planungshorizont, jeweils als Abweichung 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 Striche die Einzelergebnisse der Modelle gezeigt.*

Jahreszeitliche Mittelwerte der Niederschlagssummen und erwartete Änderungen

	1961-1990	1971-2000	1981-2010	1991-2020	2021-2050 (RCP2.6)	2021-2050 (RCP8.5)	2071-2100 (RCP2.6)	2071-2100 (RCP8.5)
Frühjahr	163 l/m²	158 l/m²	166 l/m²	154 l/m²	+9 %	+6 %	+3 %	+11 %
Sommer	218 l/m²	215 l/m²	231 l/m²	232 l/m²	-7 %	-1 %	-6 %	-10 %
Herbst	195 l/m²	193 l/m²	197 l/m²	187 l/m²	+1 %	+4 %	-2 %	+4 %
Winter	171 l/m²	183 l/m²	191 l/m²	202 l/m²	+4 %	+11 %	0 %	+14 %
Jahr	750 l/m²	748 l/m²	785 l/m²	773 l/m²	+3 %	+4 %	0 %	+8 %

▲ *Mittelwerte der Niederschlagssummen von Hamburg pro Jahr und Jahreszeit. Die Spalten 2 – 5 zeigen vier Referenzzeiträume, die Spalten 6 – 9 die Ergebnisse der Projektionsrechnungen für das Nordwestdeutsche Tiefland als prozentuale Abweichungen zum Bezugszeitraum 1971 – 2000 (Werte gerundet).*

für den Winter Zunahmen der Niederschlagssummen um +4 bis +11 % berechnet (mittlere Übereinstimmung). Der Sommer ist die einzige Jahreszeit mit einer leicht rückläufigen Tendenz (bis -7 %). In den Übergangsjahreszeiten zeigen sich für diesen Planungshorizont Zunahmen der mittleren Niederschlagssumme um +9 % (Frühjahr) bzw. um +4 % (Herbst) (mittlere Übereinstimmung).

Mit Blick auf den langfristigen Planungshorizont (2071–2100) betragen die Änderungen im Frühjahr bis +11 % (mittlere Übereinstimmung), in den Wintermonaten könnte der Anstieg bis +14 % (mittlere Übereinstimmung) reichen. Für den Sommer werden in diesem Planungshorizont im Mittel über alle Szenarien Abnahmen der Niederschlagshöhe berechnet. Die Abnahme ist beim Weiter-wie-bisher-Szenario (-10 %) stärker ausgeprägt als beim Klimaschutz-Szenario (-6 %). Bezogen auf das ganze Jahr sind die projizierten Niederschlagssignale insgesamt noch recht vieldeutig. Die Spannweite der Änderungen vor allem beim Weiter-wie-bisher-Szenario liegt weit zwischen einstelligen negativen und zweistelligen positiven Werten.

Die hier vorgestellten Änderungsraten und Tendenzen gelten im Wesentlichen auch für die Metropolregion Hamburg. 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.

FAKTEN:

Beobachtung

- Zunahme der Jahresniederschlagssumme in Hamburg um etwa 17 % seit 1881
- Niederschlagszunahme im Winter, im Frühjahr und Herbst kaum Änderungen
- Leichter Anstieg der Häufigkeit von Starkregenereignissen seit 1951

Kurzfristiger Planungshorizont

- Keine deutliche Änderung der mittleren Jahressumme des Niederschlags (bis +4 %)

Langfristiger Planungshorizont

- Im Weiter-wie-bisher-Szenario Zunahme des Jahresniederschlags um 8 %

Starkregenkarte für Hamburg

Andreas Kuchenbecker, HAMBURG WASSER

Hitzewellen, Starkregen und Stürme gehören zu den Folgen des Klimawandels, die mit großer Wahrscheinlichkeit vermehrt auf uns zukommen werden [1]. So könnte sich die Regenmenge im Sommer nicht wesentlich ändern, aber auf weniger Regentage verteilt werden, an denen mehr Niederschlag fällt.

Durch langjährige Messungen an einem Ort, können Niederschläge statistisch ausgewertet werden. Dabei werden Regenhöhen bestimmter Regenintervalle einer statistischen Wiederkehrzeit zugeordnet [2]. Im KOSTRA-DWD werden die statistischen Parameter für Starkregen bereitgestellt [3]. Starkregen gelten ab einem Wiederkehrintervall von einem Jahr. So wird in Hamburg ab einer Niederschlagsmenge von etwa 30 mm pro Tag nicht mehr von Regen, sondern von Starkregen gesprochen. Aber auch Regenmengen anderer Regenintervalle gelten für Hamburg als Starkregen: zum Beispiel zwölf Millimeter in einer halben Stunde oder 47 Millimeter in drei Tagen.

Die überwiegende Anzahl der Regenereignisse eines Jahres kann von der bestehenden Infrastruktur aus Kanalnetz, Rückhalteräumen und Gewässern ohne Probleme abgeleitet werden. Nur etwa zehn Prozent des Regens eines Jahres führt zu einer Überlastung der Entwässerungssysteme, die manchmal auch zu vereinzelten Überflutungen und selten auch mal zu größeren Schäden führen können. Durch die prognostizierte Veränderung des Niederschlagverhaltens könnte sich dies jedoch ändern [1].

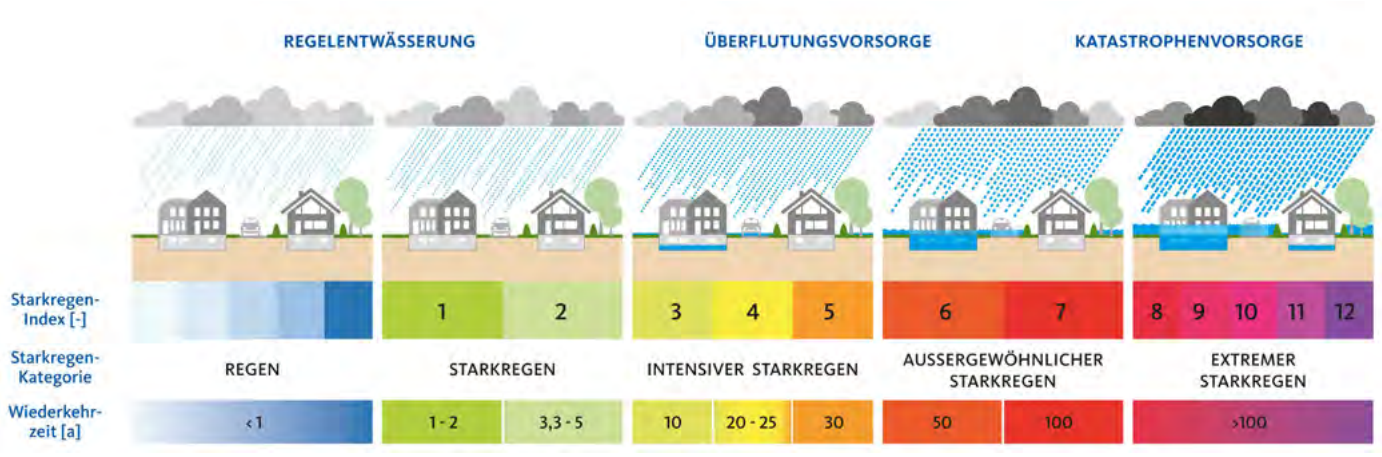
Erschwerend kommt hinzu, dass immer mehr Flächen durch bauliche Veränderung versiegelt werden. Verdichtung durch neuen Wohnraum und der Bau großer Parkplätze bedeutet, dass natürliche Versickerungsflächen schwinden.

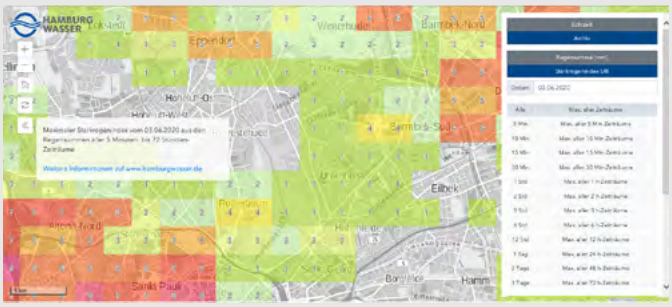
Angaben über Regenereignisse sahen bisher beispielsweise so aus: „Im langjährigen Mittel kehrt ein Regenereignis in dieser Intensität alle 30 Jahre wieder“. Eine Differenzierung von Regen erfolgte meist über die Nennung der statistischen Wiederkehrzeit. Eine einheitliche Kategorisierung von Regen gab es nicht.

In Zukunft soll im Sinne der Transparenz eine Skala etabliert werden, die solche Wetterereignisse besser verständlich und vergleichbar macht. Da es für Starkregen noch keine Nummern-basierte Einteilung und keine Namenskategorisierung gab, wurde 2015 eine Skala von eins bis zwölf entwickelt [4], anhand der man die Stärke von Starkregen ähnlich der Windstärke einordnen und benennen kann. Die bisherige Statistik der langjährigen Niederschlagsmessungen wurde dabei nicht verändert, sondern der Skala entsprechend zugeordnet. Für extreme Starkregen wurden Erhöhungsfaktoren neu eingeführt. Zudem wurden die abflussseitigen Auswirkungen der unterschiedlichen Starkregenkategorien anhand von Schaubildern verdeutlicht.

HAMBURG WASSER berechnet alle fünf Minuten aus den BUFR-Sweep-Rohdaten des Deutschen

▼ *Darstellung zur Risikokommunikation, HAMBURG WASSER*





Weitere Informationen hierzu auf risa-hamburg.de ▶

Wetterdienstes in Kombination mit eigenen Regenmessdaten ein qualitativ hochwertiges Abbild des Regengeschehens über Hamburg [5]. Die Rechenprozeduren sind aufwändig und berücksichtigen die Korrektur des Radarsignals infolge der Signaldämpfung vom Radarradom sowie durch die Hydrometeore selbst. Die Wahl einer geeigneten Z-R-Beziehung stellt eine weitere Herausforderung dar. Hier helfen Tropfenspektren von drei Disdrometern, die von HAMBURG WASSER betrieben werden. Die aufbereiteten Radardaten werden mit den 18 Regenmessstationen von HAMBURG WASSER und zwei DWD-Stationen verglichen und gegebenenfalls mit leicht veränderten Parametern nochmal berechnet, bis Bodenmessungen und Radaraufbereitung optimal zusammenpassen. In einem letzten Schritt werden die aufbereiteten Radialdaten des Radars Rasterfeldern von 500 m x 500 m zugeordnet.

Für jedes Feld werden alle fünf Minuten die Regenmengen von zehn unterschiedlichen Regenintervallen neu berechnet, die innerhalb der letzten drei Tage gefallen sind. Erreicht die berechnete Regenmenge eines bestimmten Regenintervalls den für Starkregen definierten Schwellenwert, wird dem zugehörigen Feld der entsprechende Starkregenindex zugeordnet und zusammen mit der Stadtkarte von Hamburg auf einer Live-Karte auf **hamburgwasser.de** veröffentlicht.

Diese Karte aktualisiert sich alle fünf Minuten und zeigt daher quasi live, ob, wo und in welchem Ausmaß es zu Starkregen in Hamburg kommt. Neben der Echtzeitanwendung kann der Benutzer auch auf ein Tagesarchiv zugreifen und historische Regenereignisse betrachten. Eine Starkregenstatistik wurde erarbeitet und 2020 in die Webkarte integriert. Ab der Starkregenkategorie „intensiver Starkregen“ sind Schäden durch Überflutungen zu erwarten. HAMBURG WASSER möchte daher auch an die Wohnungswirtschaft und an Eigentümer appellieren, Präventions- und Schutzmaßnahmen zu ergreifen und ihre Immobilien vor solchen Gefahren zu schützen. Städtebauliche Maßnahmen wie die Entsiegelung von Flächen und die Entwicklung von Hamburg zur qualifizierten Schwammstadt, sind wichtige Elemente, um sich für die Zukunft zu wappnen.

Literatur

[1] IPCC, 2018: Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger. In: 1,5 °C globale Erwärmung. Ein IPCC-Sonderbericht über die Folgen einer globalen Erwärmung um 1,5 °C gegenüber vorindustriellem Niveau und die damit verbundenen globalen Treibhausgasemissionspfade im Zusammenhang mit einer Stärkung der weltweiten Reaktion auf die Bedrohung durch den Klimawandel, nachhaltiger Entwicklung und Anstrengungen zur Beseitigung von Armut. [V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H. O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P. R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J. B. R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M. I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, T. Waterfield (Hrsg.)]. World Meteorological Organization, Genf, Schweiz. Deutsche Übersetzung auf Basis der Version vom 14.11.2018. Deutsche IPCC-Koordinierungsstelle, ProClim/SCNAT, Österreichisches Umweltbundesamt, Bonn/Bern/Wien, November 2018.

[2] DWA (2012): Arbeitsblatt DWA-A 531: Starkregen in Abhängigkeit von Wiederkehrzeit und Dauer, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA), Hennef, ISBN 978-3-94 2964-28-9.

[3] Deutscher Wetterdienst, KOSTRA-DWD-2010R, Starkniederschlagshöhen für Deutschland – KOSTRA, DWD, Offenbach, 2017.

[4] Schmitt, T.G., Krüger M., Pfister, A., Becker M., Mudersbach, C., Fuchs, L., Hoppe, H., Lakes, I. (2018): Einheitliches Konzept zur Bewertung von Starkregenereignissen mittels Starkregenindex. In: Korrespondenz Abwasser, Abfall (65), Nr. 2, S. 113-120, DOI: 10.3242/kae2018.02.002.

[5] DWA (2017): Themenheft DWA T2/2017: Niederschlagserfassung durch Radar und Anwendung in der Wasserwirtschaft, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA), Hennef, ISBN 978-3-88721-478-4.

KONTAKT:

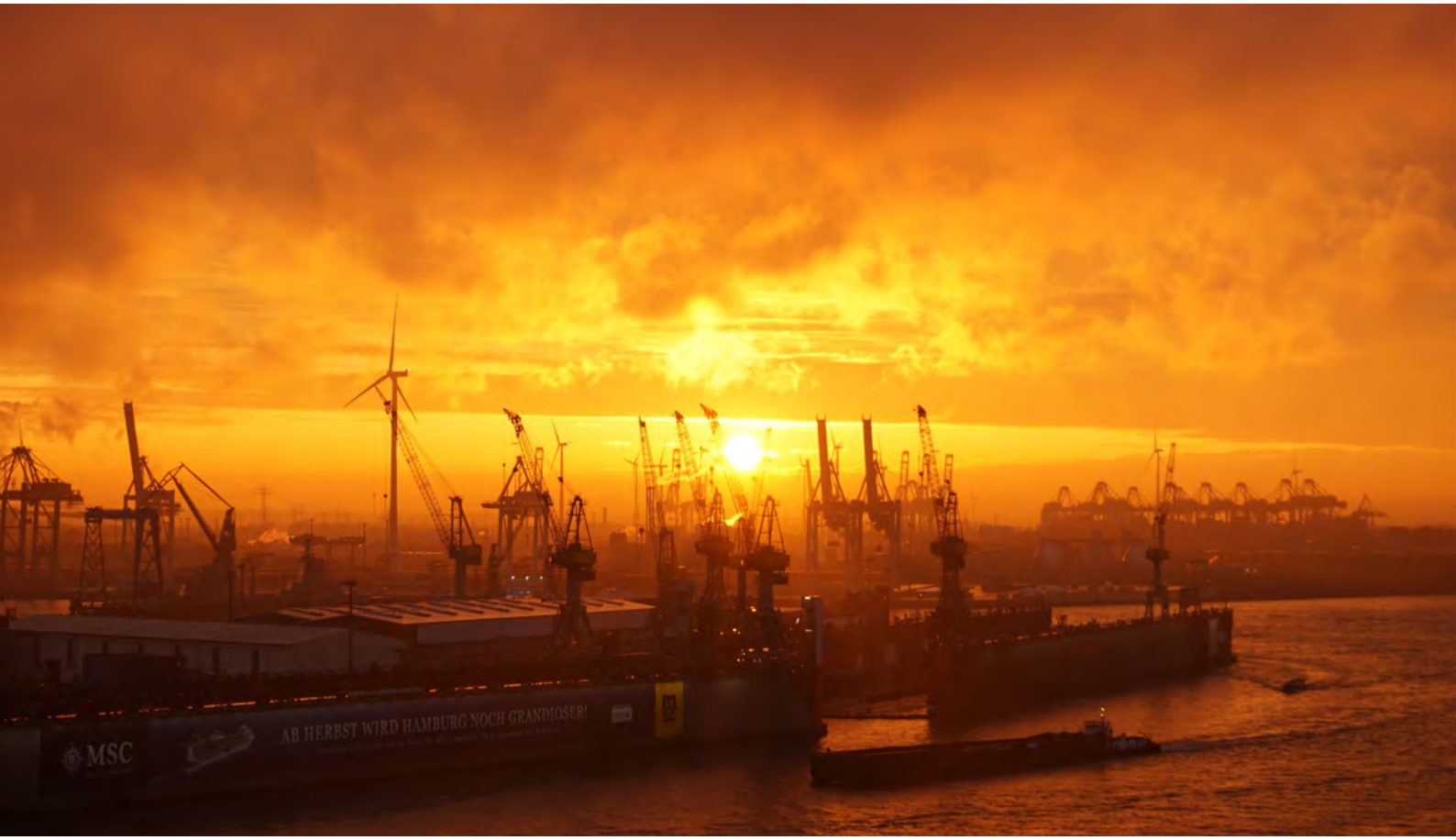
Weitere Informationen zum Starkregenindex für Hamburg finden Sie auf der Internetseite von HAMBURG WASSER unter hamburgwasser.de/starkregen.

Bei Fragen können Sie sich auch gerne direkt an Herrn Andreas Kuchenbecker wenden:

• Andreas.Kuchenbecker@hamburgwasser.de

Sonnenschein

In Hamburg scheint die Sonne im Mittel 1617 Stunden im Jahr, bezogen auf den Zeitraum 1991–2020. Das sonnenscheinreichste Jahr war 2018 mit 1969 Stunden, am wenigsten Sonne gab es 1998 mit 1301 Stunden.



Vergangenheit und Gegenwart

Die Zeitreihe der Jahressummen der Sonnenscheindauer in Hamburg zeigt große Schwankungen von Jahr zu Jahr, aber dennoch lassen sich Muster erkennen. Zunächst gab es bis zu den späten 1980er Jahren weltweit eine Phase zurückgehender Sonneneinstrahlung, die u.a. einer verstärkten Luftverschmutzung zugeschrieben wird. Der vieljährige Mittelwert 1961-1990 lag bei 1507 Stunden. In den 1960er und 1980er-Jahren zeigt das Diagramm vermehrt geringe Jahressummen, ebenso rund um die Jahrtausendwende.
Höhere Werte gab es bereits vereinzelt in den 1950er und 1970er-Jahren. Aber seit 1989 werden wieder häufiger hohe Sonnenscheindauern gemessen. Die Maßnahmen zur Reinhaltung der Luft waren zunehmend erfolgreich und mehr Sonnenstrahlung erreichte den Boden.

Zukunft

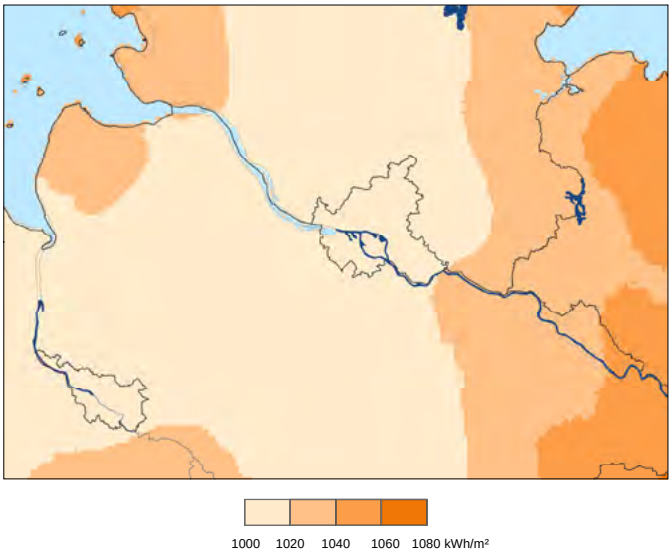
Die Sonnenscheindauer wird in den Klimamodellen nicht direkt berechnet, sondern indirekt aus der kurzwelligen Strahlung abgeleitet. Die Strahlung ist, verbunden mit den Bewölkungsverhältnissen, eine der großen Herausforderungen der Klimamodellierung. Die Bandbreite der modellierten Werte ist daher zwischen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

Weder für den kurzfristigen, noch für den langfristigen Planungshorizont können derzeit belastbare Aussagen für die zu erwartenden Änderungen gegeben werden. Allerdings zeigen alle Klimamodelle, dass für beide Szenarien die Änderungen lediglich in der Größenordnung von wenigen Minuten liegen.

Globalstrahlung

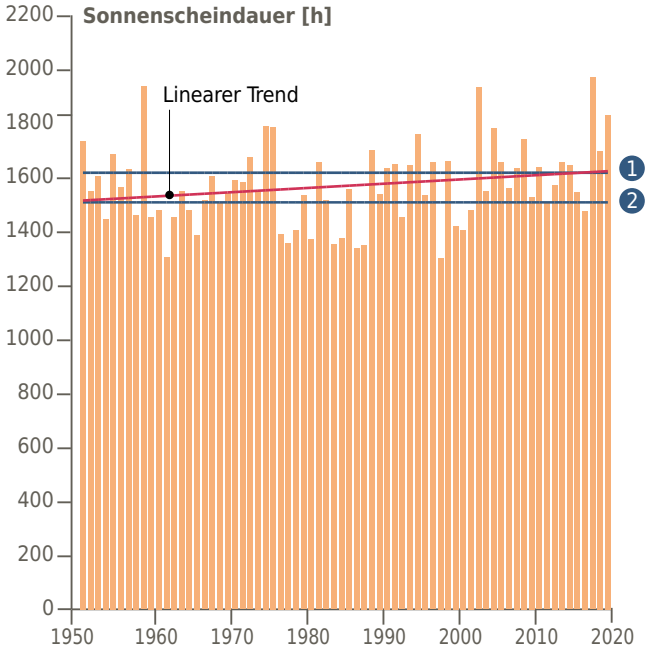
Mit der Globalstrahlung steht uns ein weiterer meteorologischer Parameter zur Verfügung, um die Sonnenstrahlung zu beschreiben. Die Globalstrahlung setzt sich zusammen aus der direkten, schattengebenden Sonnenstrahlung und der in der Atmosphäre gestreuten, diffusen Sonnenstrahlung. Die Karte der Globalstrahlung zeigt für den Raum Hamburg relativ niedrige Werte. Höhere Jahresmittelwerte werden an den Küsten von Nord- und Ostsee sowie nach Osten und Süden hin, also in Ostholstein, Ostniedersachsen und Mecklenburg-Vorpommern gemessen.

Das Zusammenspiel von Sonnenstrahlung und Atmosphäre hat die Entstehung von Leben auf der Erde erst ermöglicht. Ein Zuviel an Globalstrahlung kann allerdings für alle Lebewesen gefährlich werden. Daher erstellt der Deutsche Wetterdienst in den Sommermonaten täglich Vorhersagen des UV-Indexes. Aber auch als Quelle für erneuerbare Energien spielt die Nutzung der Globalstrahlung eine zunehmend wichtige Rolle.



▲ *Mittlere Jahressummen (kWh/m²) der Globalstrahlung in Norddeutschland (Zeitraum 1981 – 2010), basierend auf Bodenmessungen und Satellitendaten.*

▼ *Jahressummen der Sonnenscheindauer (Gebietsmittelwerte) in Hamburg von 1951–2020*



1 Mittelwert 1617 h, Referenzzeitraum 1991–2020

2 Mittelwert 1507 h, Referenzzeitraum 1961–1990

FAKTEN:

Beobachtung

- Durchschnittlich 266 Minuten Sonnenschein pro Tag 1991–2020
- Leichter Anstieg der Sonnenscheindauer in Hamburg seit 1951
- Große Variabilität von Jahr zu Jahr

Kurzfristiger Planungshorizont

- Änderungen wahrscheinlich nur gering

Langfristiger Planungshorizont

- Änderung in der Größenordnung von wenigen Minuten täglich

Wind

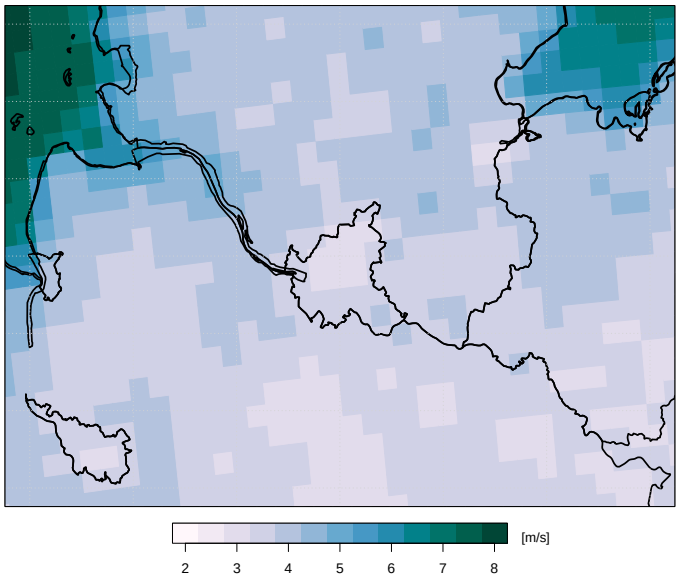
Die Verteilung der Windgeschwindigkeit im Großraum Hamburg ist geprägt vom Abstand zu freien Flächen und vom Geländerelief. Die höchsten Werte treten in den südöstlichen Stadtbereichen auf. Die niedrigsten Windgeschwindigkeiten werden im Bezirk Mitte etwa zwischen Flughafen und Elbe verzeichnet.

Windverhältnisse in der Vergangenheit und der 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 meist 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 „wahren“ Wind gekoppelt. Betrachtet man den geostrophischen Wind, der aus den Luftdruckdaten von Hamburg, Emden und List auf Sylt für die Deutsche Bucht berechnet wurde, zeigen sich Abschnitte mit höherer oder niedrigerer Windgeschwindigkeit (sogenannte multidekadische Schwankungen). Für die gesamte Zeitreihe ist ein schwacher, leicht abfallender Trend zu sehen. Deutlich erkennbar sind windreiche Zeiten Anfang der 1950er und der 1980er sowie inden 1990er-Jahren, die sich aber unauffällig in die Maxima der Gesamtreihe einreihen. 2020 betrug der Jahresmittelwert 11,43 m/s.

Jahresmittel der Windgeschwindigkeit (10 m über Grund) in Norddeutschland im Zeitraum 1995-2018. Flächendarstellung der Rasterwerte (6 km x 6 km) aus Reanalysedaten des Modells COSMO-REA6. ▶



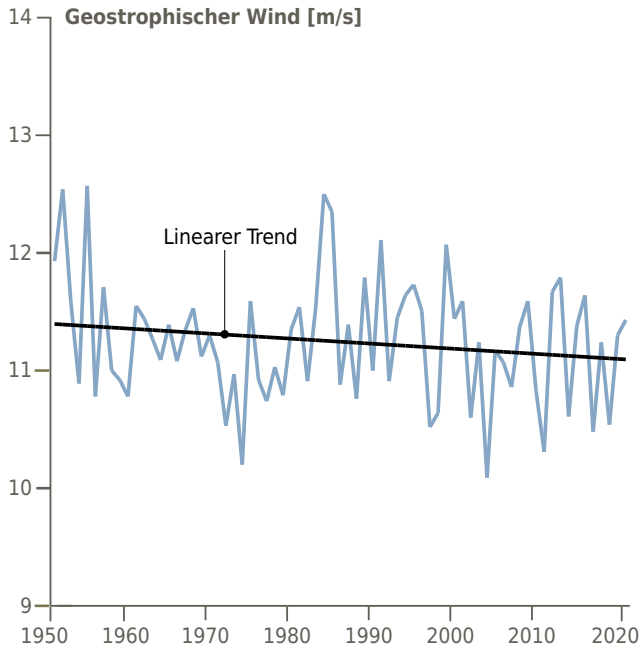
Sturmtage

Sturmtage sind Tage mit Spitzenwindgeschwindigkeiten (Böen) von mindestens 8 Bft (62 km/h). Im klimatologischen 30-jährigen Mittel zwischen 1981 und 2010 wurden in Hamburg 29 solcher Tage jährlich registriert. Zum Vergleich: Auch in Hannover wird an 30 Tagen im Jahr mindestens Windstärke 8 erreicht. Aber: Die Anzahl des Auftretens zwischen dem Binnenland und den Küstengebieten unterscheidet sich merklich. So weisen die Stationen Norderney und Cuxhaven jährlich knapp 75 Sturmtage auf – zweieinhalbmal so viele wie in der Hansestadt.

Zukunft

Klimaprojektionen zeigen für zukünftige Windverhältnisse insgesamt bisher wenige Änderungen. Möglicherweise sind unauffällige Veränderungen aus den Modellen bislang noch nicht ablesbar.

▼ *Jahresmittel des geostrophischen Windes, berechnet aus den bodennahen Luftdruckdaten der Stationen Hamburg, Emden und List. Dargestellt ist der Zeitraum 1950 bis 2020. Die schwarze Linie zeigt den linearen Trend – eine leichte Abnahme.*



FAKTEN:

Beobachtung

- Deutliche Abnahme der mittleren Windgeschwindigkeiten von den Nord- und Ostseeküsten hin in das Stadtgebiet Hamburgs
- Kein deutlicher Trend in den Windverhältnissen seit 1950

Kurzfristiger Planungshorizont

- Wahrscheinlich keine oder kaum Änderungen

Langfristiger Planungshorizont

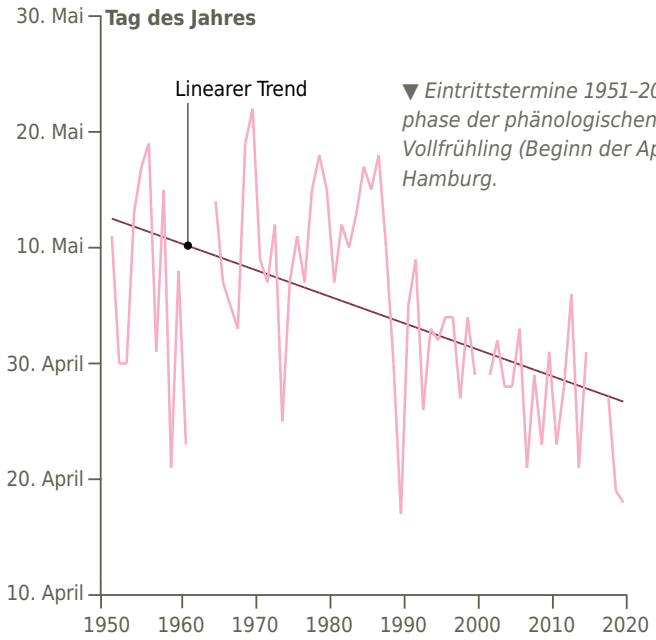
- Veränderung nicht ablesbar

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 Hamburgs zeigt bereits Auswirkungen auf die sich verändernden klimatischen Bedingungen. So verändern sich beispielsweise die Eintrittszeiten der phänologischen Jahreszeiten.



▼ *Eintrittstermine 1951–2020 der Leitphase der phänologischen Jahreszeit Vollfrühling (Beginn der Apfelblüte) in Hamburg.*

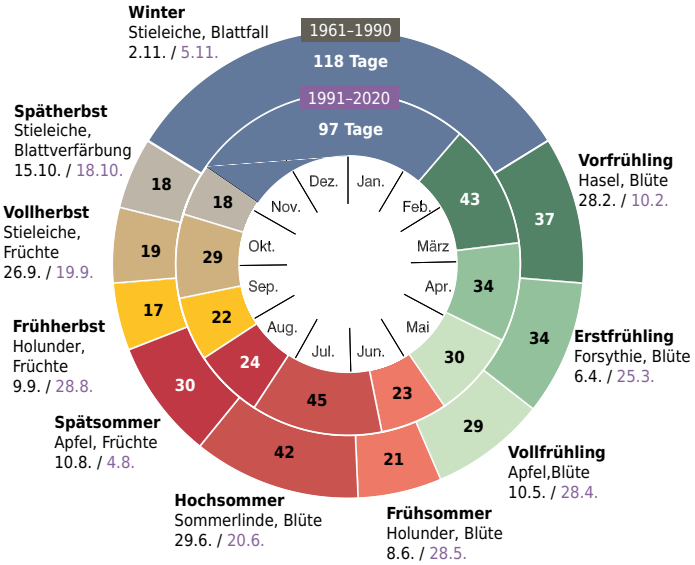
Phänologische Jahreszeiten

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 1991–2020 war die mittlere Eintrittszeit des Vorfrühlings 18 Tage früher als in der Periode 1961–1990. Der Vorfrühling endet mit dem Beginn der Forsythienblüte (Forsythia x indermedia), die den Erstfrühling einläutet. Hier kann eine Verfrühung der Eintrittszeit von 12 Tagen beobachtet werden. Dem Erstfrühling folgt der Vollfrühling, welcher durch das Erblühen der ersten Apfelbäume (Malus) beginnt. Auch hier trat die Blüte in den Jahren 1991–2020 im Mittel 12 Tage früher ein als in der Vergleichsperiode 1961-1990.

Mit der Blüte des Schwarzen Holunders (Sambucus nigra) setzt der Frühsommer ein, dessen Eintrittszeit sich im Zeitraum 1991–2020 um 11 Tage nach vorne verschoben hat. Der Hochsommer, welcher sich durch erste blühende Sommerlinden (Tilia platyphyllos) bemerkbar macht, weist eine Verfrühung von 9 Tagen auf. Nachdem bis zum Beginn des Hochsommers das Erblühen der Leitpflanzen als Indikator für den Beginn einer phänologischen Jahreszeit dient, rücken nun erste Früchte in den Fokus der Beobachtung. Die ersten frühreifenden Äpfel können zu Beginn des Spätsommers gepflückt werden. Diese phänologische Phase tritt im Mittel 6 Tage früher auf als im Referenzzeitraum. Beim Übergang zum Frühherbst wird nochmals der Schwarze Holunder als Leitpflanze herangezogen. Seine Früchte waren im Zeitraum 1991–2020 etwa 12 Tage früher reif.

Der Vollherbst beginnt mit den ersten reifen Früchten der Stieleiche (Quercus robur) und zeigt einen um 1 Woche verfrühten Eintrittstermin für die Fruchtreife. Beginnen die Blätter der Stieleiche sich zu verfärben, fängt der Spätherbst an. Dies ist, neben dem Beginn des phänologischen Winters, die einzige Phase, die eine Verspätung von 3 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 Stieleiche ihre ersten Blätter ab, beginnt der phänologische Winter. Auch diese Phase hat sich 3 Tage nach hinten verschoben. Die Eintrittstermine der Frühjahrsphasen zeigen generell die stärksten Änderungen. Das liegt u.a. daran, dass diese Phasen wesentlich durch den Anstieg der Temperatur ausgelöst werden, während bei den späteren Phasen noch weitere Faktoren eine wichtige Rolle spielen.

Phänologische Jahreszeiten für Hamburg



▲ *Die verschiedenen Entwicklungsphasen der Pflanzen sind phänologischen Jahreszeiten zugeordnet. Die „Phänologische Uhr“ zeigt diese Jahreszeiten und ihre sogenannten Leitphasen für Hamburg. Beim Vergleich der Zeiträume 1961–1990 und 1991–2020 wird die Verschiebung der phänologischen Jahreszeiten deutlich.*

Lokale und zeitliche Unterschiede

Die oben beschriebenen Entwicklungen beziehen sich auf die mittleren Werte für Hamburg über 2 lange Vergleichszeiträume. Da die phänologischen Jahreszeiten im engen Zusammenhang mit meteorologischen Größen wie der mittleren bodennahen Lufttemperatur und der Wasser- und Lichtverfügbarkeit stehen, kann es lokal und von Jahr zu Jahr zu Abweichungen hiervon kommen. Entgegen des Trends der deutlich früheren Apfelblüte im Zeitraum 1991-2020, welche den Eintrittstermin des Vollfrühlings bestimmt, weist beispielsweise das Jahr 2013 eine um rund eine Woche spätere Apfelblüte auf, als im Mittel dieses Zeitraums.

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. 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.

Meeresspiegelanstieg Hamburg

Beitrag des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) und der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW)

Seit seinem Tiefpunkt in der letzten Eiszeit steigt der Meeresspiegel. Insgesamt ist der global gemittelte Meeresspiegel im 20. Jahrhundert bereits um etwa 15 Zentimeter angestiegen, und der Anstieg beschleunigt sich seit den letzten zwei Dekaden (Nerem et al. 2018). In der südlichen Nordsee wurden zwischen 1992 und 2015 Anstiegsraten von bis zu 0,4 cm pro Jahr ermittelt, die damit etwas über dem globalen Mittelwert liegen. Über die Elbe überträgt sich der Meeresspiegelanstieg aus der südlichen Nordsee bis in die Metropolregion Hamburg.
Bei einer andauernden globalen Erwärmung ist eine zunehmende Beschleunigung des Meeresspiegelanstiegs zu erwarten, deren Stärke vom Emissionsszenario abhängt.

Warum steigt der Meeresspiegel?

Die Veränderung des Meeresspiegels setzt sich aus mehreren Komponenten zusammen. Eine der beiden wichtigsten Ursachen ist die Ausdehnung des Meerwassers als Folge der globalen Erwärmung. Der zweite wichtige Aspekt ist das weltweite Abschmelzen von Gletschern und der großen Eisschilde in Grönland und der Antarktis. Beide Faktoren haben zum langfristigen Anstieg des globalen Meeresspiegels seit 1900 gleich viel beigetragen. Allerdings hat in den letzten 20 Jahren das Schmelzen von Gletschern und Eisschilden zugenommen und so zu einem beschleunigten Anstieg des Meeresspiegels geführt.

Wichtig ist nicht nur die globale Entwicklung, sondern für die Beurteilung des Risikos vor Ort auch die regionale/lokale Verteilung des Meeresspiegelanstiegs.

Regionale Unterschiede im Meeresspiegelanstieg entstehen durch regional unterschiedliche Änderungen der Wassertemperatur und des Salzgehalts, die durch Strömungssysteme verteilt werden. In Bezug auf die deutsche Nordseeküste ist auch das lokale Absinken der Küstenbereiche um etwa 0,1 cm pro Jahr als Nachwirkung der letzten Eiszeit zu beachten. Auch Faktoren wie die Entnahme von Grundwasser, die Förderung von Öl und Erdgas können relevante Folgen für den lokalen Meeresspiegel haben.

Beobachtete Meeresspiegeländerungen

Eine weitere Komplikation bei Meerspiegeluntersuchungen stellen zyklische Variationen infolge von Gezeiten dar. Die Gezeiten bzw. die Tiden sind an der Nordsee besonders stark ausgeprägt und bis in die Metropolregion Hamburg zu beobachten. Zweimal am Tag steigt und sinkt das Wasser in der Nordsee. Flut bezeichnet den Zeitraum, in dem das Wasser auf seinen höchsten Stand ansteigt, das Tidehochwasser (Thw). In der folgenden Ebbephase von rund sechs Stunden fällt der Wasserstand bis das Tideniedrigwasser (Tnw) eintritt. Der als Tidehub (Thb) bezeichnete Höhenunterschied zwischen Tnw und Thw beträgt in der Nordsee ortsabhängig zwei bis fünf Meter. Der mittlere Meeresspiegel entspricht nun i.d.R. nicht dem Tidehalbwasser (T½w), als zum halben Thb gehörigen Wasserstand, sondern dem Tidemittelwasser (Tmw), dessen Bestimmung aufgrund des nicht-sinusoidalen Charakters der Tidekurve zeitlich hochaufgelöste Wasserstandsmessungen erfordert.

Wasserstände in der Deutschen Bucht und insbesondere im tideabhängigen Bereich der Elbe von Cuxhaven bis Geesthacht sind durch eine hohe Variabilität auf unterschiedlichen Zeitskalen geprägt. Messungen am Pegel Cuxhaven repräsentieren die Verhältnisse im Bereich der Elbmündung sehr gut. Jahresmittel des relativen Meeresspiegels wurden für diesen Pegel bis 1917 mithilfe des k-Wert Verfahrens aus mittleren Thw- und Tnw-Scheitelwerten bestimmt (Jensen et al. 2011). Ab 1918 wurden sie als mittleres Tidemittelwasser (MTmw) aus 15-minütigen Wasserstandsdaten berechnet.

Die langfristige Entwicklung des Meeresspiegels unterliegt hier einer erheblichen dekadischen Variabilität: Dem grundsätzlichen Anstieg sind

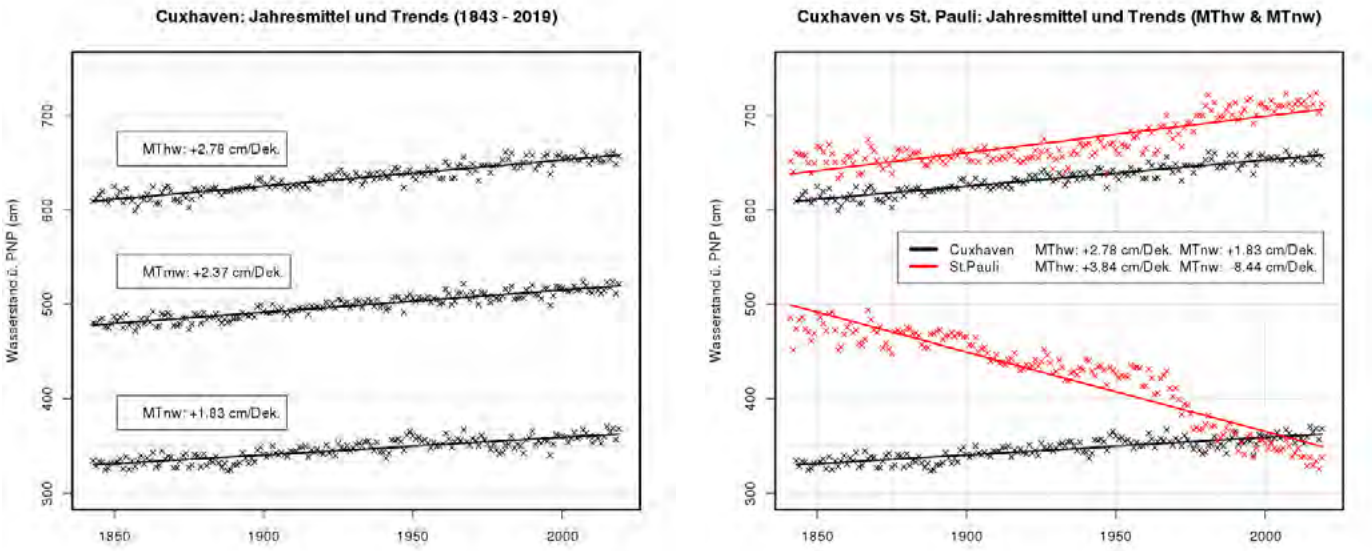


Abb.1: Jährliche MTmw, MThw und MTnw am Pegel Cuxhaven für 1843-2019 mit Trendangaben (links) und Vergleich der MThw und MTnw mit denen von Hamburg St. Pauli (rechts).(Quelle: Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie; Rohdaten: WSA Cuxhaven und HPA Hamburg.)

wechselnde Phasen stärkeren Anstiegs und schwächeren Sinkens überlagert (Abb. 1, links). Im Mittel nahm der gemessene relative Meeresspiegel um 2,37 cm pro Dekade zu. In den letzten 177 Jahren stieg der Wasserstand damit um rund 40 cm. Anders als am Pegel Cuxhaven existieren vor 1992 keine hochaufgelösten digitalisierten Wasserstandsdaten für den Pegel Hamburg St. Pauli. Für die Anwendung des k-Wert Verfahrens fehlen aufwendige Voruntersuchungen.Daher beschränkt sich die Beschreibung der Entwicklung der hydrologischen Verhältnisse auf einen Vergleich der Tidekennwerte Thw und Tnw an beiden Pegeln (Abb. 1, rechts).

Über den Beobachtungszeitraum 1843-2019 stieg in Cuxhaven sowohl das Thw, als auch das Tnw im Jahresmittel an. Aufgrund des stärker ansteigenden Thw nahm der Tidehub in 177 Jahren um rund 15 cm zu. Im gleichen Zeitraum stieg das Jahresmittel des Thw am Pegel Hamburg St. Pauli um 3,84 cm pro Dekade, wohingegen das Niedrigwasser sogar um rund 8,5 cm pro Dekade sank. Damit verdoppelte sich der Tidehub seit Mitte des 19 Jahrhunderts in St. Pauli von unter 2 m auf 3,8 m. Die Zunahme des Tidehubs in Hamburg wird demnach deutlich stärker durch das Absinken des Tnw verursacht.

Die dargestellten lang- und kurzfristigen Veränderungen des Wasserstandes in der tideabhängigen Elbe sind nicht allein dem Meeresspiegelanstieg im Rahmen des Klimawandels zuzuschreiben. Zahlreiche andere anthropogene Einflüsse, wie Elbvertiefungen, Eindeichung und Schleusenbetrieb, aber auch natürliche Phänomene wie Sedimentablagerungen und -umlagerungen spielen eine Rolle.

Zukünftige Meeresspiegeländerungen
Projektionen für die nahe und ferne Zukunft

Für die Zukunft wird eine zunehmende Beschleunigung des globalen Meeresspiegelanstiegs erwartet. Diese Beschleunigung hängt allerdings stark vom jeweils angenommenen Emissionsszenario ab. Im aktuellen Sonderbericht Ozean und Kryosphäre im Klimawandel (SROCC) des Weltklimarats wird der globale Meeresspiegelanstieg bis zum Jahr 2100 auf Basis von Klimaprojektionen unter verschieden Treibhausgasszenarien angegeben (IPCC 2019). Danach wird der Meeresspiegel im Vergleich zum Zeitraum 1986-2005 im Klimaschutzszenario RCP2.6 wahrscheinlich (Bandbreite: 17.-83. Perzentil) um 29-59 cm (Median 43 cm), im Weiter-wie-bisher-Szenario RCP8.5 um 61-110 cm (Median 84 cm) ansteigen. Während die Projektionen für die nahe Zukunft (2046-2065) mit 17-32 cm (Median 24cm) im RCP2.6 gegenüber 23-40 cm (Median 32 cm) im RCP8.5 noch eng beisammen liegen, wachsen Unsicherheitsbereich und Szenarioabhängigkeit des Meeresspiegelanstiegs zum Ende des Jahrhunderts deutlich an.

Regionale Studien zum Meeresspiegelanstieg für Hamburg sind derzeit nicht verfügbar. Es wird aber angenommen, dass sich der Meeresspiegelanstieg in der Deutschen Bucht und im Elbegebiet in der gleichen Größenordnung wie der globale Meeresspiegelanstieg bewegt.

Zur Entwicklung von Anpassungsstrategien für die Metropolregion Hamburg an die Folgen des Klimawandels ist es wichtig zu verstehen, welche Bedeutung ein Meeresspiegelanstieg in der Nordsee für die Wasserstände in der Elbe bei mittleren Tiden

und bei Sturmfluten hat (Seiffert und Hesser 2014; Rudolph 2014; BAW 2015a; BAW 2015b; BAW 2018). Für den heutigen Zustand der Elbe sind exemplarische Tidekurven für Cuxhaven (Elbmündung) und Hamburg bei aktueller Meeresspiegelhöhe sowie für eine Bandbreite von potenziellen Meeresspiegelanstiegen zwischen 25 cm und 200 cm in Abb. 2 veranschaulicht. Die Analyse der Thw und der Tnw entlang des Elbefahrwassers zeigt unter anderem, dass die Tnw und die Thw im gesamten Elbeästuar durch einen Meeresspiegelanstieg angehoben werden (BAW 2018). Ähnliche Folgen ergeben sich auch für das exemplarische Sturmflutszenario vom Januar 1976 (Abb. 3). Der Sturmflutscheitelwasserstand tritt mit steigendem Meeresspiegel früher ein, und hohe Wasserstände dauern länger an.

Da sowohl Tnw als auch Thw bei einem Meeresspiegelanstieg für die hier untersuchten Szenarien stets höher als die heutigen Tnw und Thw liegen, ändert sich durch einen Meeresspiegelanstieg nichts an der Erreichbarkeit des Hamburger Hafens. Jedoch nimmt infolge eines Meeresspiegelanstiegs in einigen Bereichen des Elbeästuars die Flutstromgeschwindigkeit stärker zu als die Ebbestromgeschwindigkeit. Eine entsprechend verstärkte Flutstromdominanz erhöht den stromaufgerichteten Sedimenttransport und führt somit zu einem erhöhten Aufwand für die Unterhaltungsbaggerung (Seiffert et al. 2014).

Die tiefliegenden eingedeichten Niederungsgebiete im Bereich der Elbe werden über Siele und Pumpwerke entwässert. Beim Sielen wird das Wasserstandsgefälle

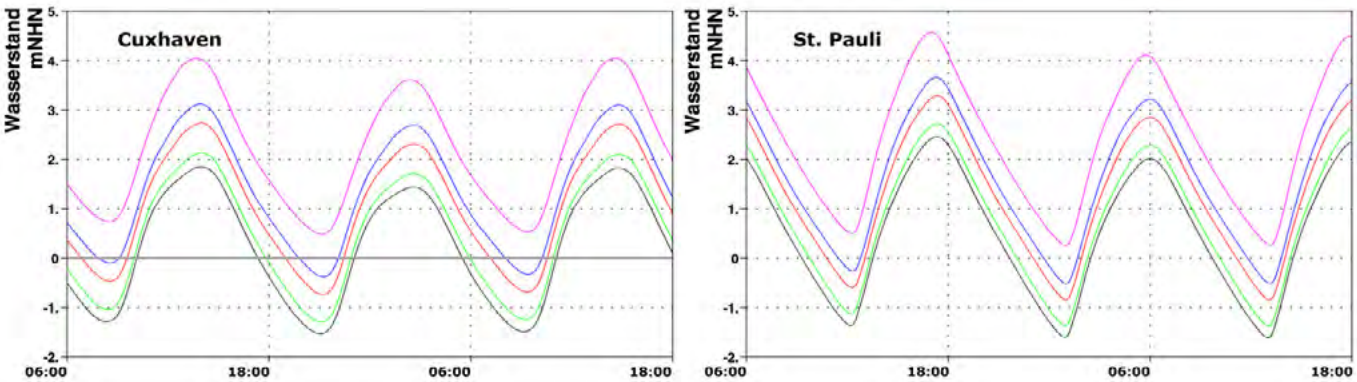


Abb. 2: Zeitreihen des Wasserstandes (m, relativ zum Normal-Höhen-Null) in der Elbmündung bei Cuxhaven (Elbe-km 725, links) und Hamburg St. Pauli (Elbe-km 625, rechts) für einen beispielhaften Zeitraum ohne Meeresspiegelanstieg (schwarz), sowie mit Meeresspiegelanstiegsszenarien von 25 cm (grün), 80 cm (rot), 115 cm (blau) und 200 cm (magenta); Abfluss: 500 m³/s. (Nach BAW 2018, modifiziert.)

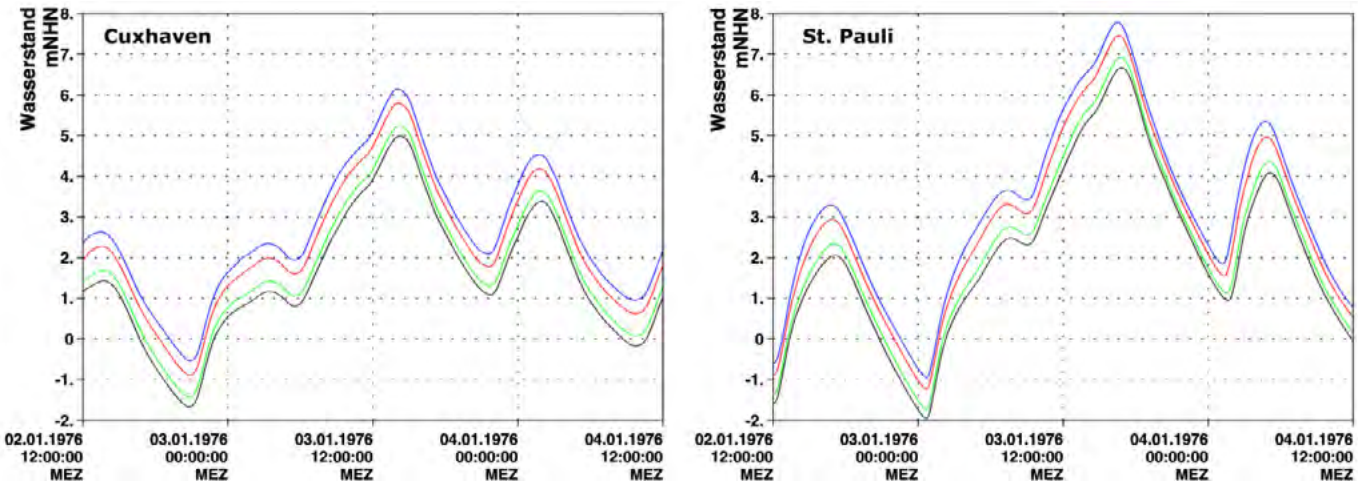


Abb 3: Zeitreihen des Wasserstandes (m, relativ zum Normal-Höhen-Null) in der Elbmündung bei Cuxhaven (Elbe-km 725, links) und Hamburg St. Pauli (Elbe-km 625, rechts) für das Sturmflutszenario SF76 ohne Meeresspiegelanstieg (schwarz), sowie mit Meeresspiegelanstiegsszenarien von 25 cm (grün), 80 cm (rot) und 115 cm (blau); Abfluss: 500 m³/s. (Aus BAW 2015b, modifiziert).

zur Tideelbe bei Tnw ausgenutzt. Durch einen Meeresspiegelanstieg werden die Tnw angehoben, so dass sich die Zeitfenster verkürzen, in denen ohne Pumpen entwässert werden kann. Prominentestes Beispiel ist der Nordostseekanal (NOK), der zu 90 % über die Schleusen in Brunsbüttel in die Elbe entwässert wird.

Küstenschutzmaßnahmen

Die Auswirkungen des Meeresspiegelanstiegs auf Sturmflutscheitelwasserstände, Eintrittszeiten und Andauer hoher Wasserstände werden bereits heute bei der Planung des Küstenschutzes berücksichtigt (LSBG 2012). Zusätzlich werden in regelmäßigen Abständen die Grundlagen für die Bemessung von Küstenschutzmaßnahmen an den Stand der Forschung zum Klimawandel angepasst (LSBG 2012).

Als Reaktion auf den Meeresspiegelanstieg wird sich die Topographie des Wattenmeeres verändern. Bis zu einer gewissen Meeresspiegelanstiegsrate können die Wattflächen bei ausreichender Sedimentverfügbarkeit mitwachsen (van Goor et al. 2001; van Goor et al. 2003; Hofstede 2002; Dissanayake et al. 2012; Becherer et al. 2018). Inwieweit dieser Prozess einen beschleunigten Meeresspiegelanstieg kompensieren kann, ist jedoch ungewiss.

Ein Erhalt der Watten bei Meeresspiegelanstieg hätte positive Auswirkungen unter anderem auf Tidedynamik und Küstenschutz, da durch die vorgelagerten Wattflächen Tideenergie bereits im Küstenvorfeld gedämpft werden kann. Um die Watten auch bei höheren Meeresspiegelanstiegsraten zu schützen, sollten Maßnahmen, wie z.B. gezielte Sandvorspülungen, untersucht und rechtzeitig durchgeführt werden.

Literatur

BAW (Hg.) (2015a): BAWBildatlas. Ergebnisse aus KLIWAS und KLIMZUG-NORD - Band 1. Bundesanstalt für Wasserbau. Online verfügbar unter https://izw.baw.de/e-medien/bawbildatlas-band1-2015/index.html, zuletzt geprüft am 13.05.2020.

BAW (Hg.) (2015b): BAWBildatlas. Ergebnisse aus KLIWAS und KLIMZUG-NORD - Band 2. Bundesanstalt für Wasserbau.

BAW (Hg.) (2018): BAWBildatlas. Eine Sensitivitätsstudie vor dem Hintergrund des Klimawandels. Bundesanstalt für Wasserbau. Online verfügbar unter https://hdl.handle.net/20.500.11970/105573, zuletzt geprüft am 13.05.2020.

Becherer, Johannes; Hofstede, Jacobus; Gräwe, Ulf; Purkiani, Kaveh; Schulz, Elisabeth; Burchard, Hans (2018): The Wadden Sea in transition - consequences of sea level rise. In: Ocean Dynamics 68 (1), S. 131–151. DOI: 10.1007/s10236-017-1117-5.

Dissanayake, D. M. P. K.; Ranasinghe, R.; Roelvink, J. A. (2012): The morphological response of large tidal inlet/basin systems to relative sea level rise. In: Climatic Change 113 (2), S. 253–276. DOI: 10.1007/s10584-012-0402-z.

Hofstede, Jacobus (2002): Morphologic responses of Wadden Sea tidal basins to a rise in tidal water levels and tidal range. In: Z. Geomorph. N. F. 46 (1), S. 93–108.

IPCC, 2019: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (eds.)]

Jensen J, Frank T, Wahl T (2011) Analyse von hochaufgelösten Tidewasserständenund Ermittlung des MSL an der deutschen Nordseeküste (AMSeL). Küste 78:59–163 (Webseiten des Kuratoriums für Forschung im Küsteningenieurwesen (KFKI))

LSBG (2012): Ermittlung des Sturmflutbemessungswasserstandes für den öffentlichen Hochwasserschutz in Hamburg. Landesbetrieb Straßen, Brücken und Gewässer. Hamburg (Berichte des Landesbetriebes Straßen, Brücken und Gewässer, 12).

R. S. Nerem, B. D. Beckley, J. T. Fasullo, B. D. Hamlington, D. Masters, G. T. Mitchum, (2018), Climate-change–driven accelerated sea-level rise rise detected in the altimeter era, Proceedings of the National Academy of Sciences Feb 2018, 115 (9) 2022-2025; DOI: 10.1073/pnas.1717312115

Rudolph, Elisabeth (2014): Storm Surges in the Elbe, Jade-Weser and Ems Estuaries. In: Die Küste 81.

Seiffert, Rita; Hesser, Fred (2014): Investigating Climate Change Impacts and Adaptation Strategies in German Estuaries. In: Die Küste (81), S. 551–563.

Seiffert, Rita; Hesser, Fred; Büscher, Annette; Fricke, Benjamin; Holzwarth, Ingrid; Rudolph, Elisabeth; Sehili, Aissa; Seiß, Guntram; Winkel, Norbert (2014): Auswirkungen des Klimawandels auf die deutsche Küste und die Ästuare. Mögliche Betroffenheiten der Seeschifffahrtsstraßen und Anpassungsoptionen hinsichtlich der veränderten Hydrodynamik und des Salz- und Schwebstofftransports ; Schlussbericht KLIWAS-Projekte 2.04 / 3.02. DOI: 10.5675/Kliwas_36/2014_3.02.

van Goor, M. A.; T. J. Zitman; Z. B. Wang; M. J. F. Stive (2003): Impact of sea-level rise on the morphological equilibrium state of tidal inlets. In: Marine Geology 202, S. 211–227.

van Goor, Michiel A.; Stive, Marcel J. F.; Wang, Zheng B.; Zitman, Tjerk J. (2001): Influence of Relative Sea Level Rise on Coastal Inlets and Tidal Basins. In: The Proceedings of the Fourth Conference on Coastal Dynamics, ASCE, Lund, 2001, S. 242–252.

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. Beispiele aus der entfernten Vergangenheit sind die Hamburg-Flut im Sommer 1771 mit Bruch der Elbdeiche bei Neuengamme oder der große März-Orkan von 1876, der in seiner Intensität noch heute mit Stürmen wie „Kyrill“ aus 2007 verglichen wird.

Auch in der nahen Vergangenheit traten immer wieder Extremereignisse auf. Viele Hamburger*innen erinnern sich an die Sturmflut im Februar 1962 mit über 300 Toten, die markanten Hitzewellen im Juli 1994, in den Sommern 2003 und 2018 oder an 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 selten auftreten, 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 eher schwierig.

Temperatur

Die mittlere Temperatur ist in den letzten Jahrzehnten auffällig gestiegen. Die Folge sind mehr Tage mit sehr hohen Temperaturen und auch Hitzeperioden. Die am Flughafen Hamburg bisher höchste gemessene Temperatur beträgt 37,3 °C (09.08.1992). Am 30.06.2019 wurden auf dem Höhepunkt einer mehrtägigen Hitzewelle in Hamburg-Neuwiedenthal 35,7 °C notiert. Im August 2020 stieg die Temperatur in der Hansestadt acht Tage in Folge auf über 30 °C – so oft wie nie zuvor seit Beginn der Wetteraufzeichnungen.

Sommerliche Hitze

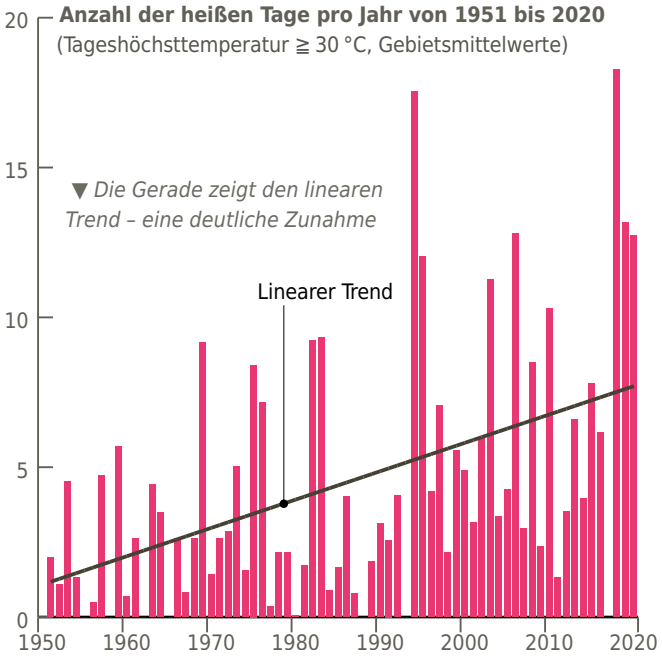
Um extreme Temperaturereignisse klimatologisch einordnen zu können, kann die Anzahl der heißen Tage (Höchsttemperatur mindestens 30 °C) pro Jahr als Anhaltspunkt dienen. In den Jahren 2018 und 2019 wurden insgesamt 31 solcher Tage gezählt. Im vieljährigen Mittel 1981-2010 wären im selben Zeitraum lediglich 9 zu erwarten gewesen.

Daneben eignet sich auch der Kenntag „Tropennacht“ als Anzeiger für belastende Wärmeereignisse, die speziell im Sommer vorkommen. Von einer Tropennacht spricht man, wenn das nächtliche Temperaturminimum nicht unter 20 °C absinkt. Tropennächte sind in der Regel keine Einzelereignisse, sondern flankiert von Sommertagen oder heißen Tagen. Eine fehlende nächtliche Abkühlung erschwert die Regeneration der Menschen und ist daher besonders belastend. In Hamburg-Fuhlsbüttel wurden zwischen 1951 und 2020 insgesamt 32 Tropennächte registriert, allein 5 davon während der Hitzewelle zwischen Ende Juli und Anfang August des Jahres 1994.

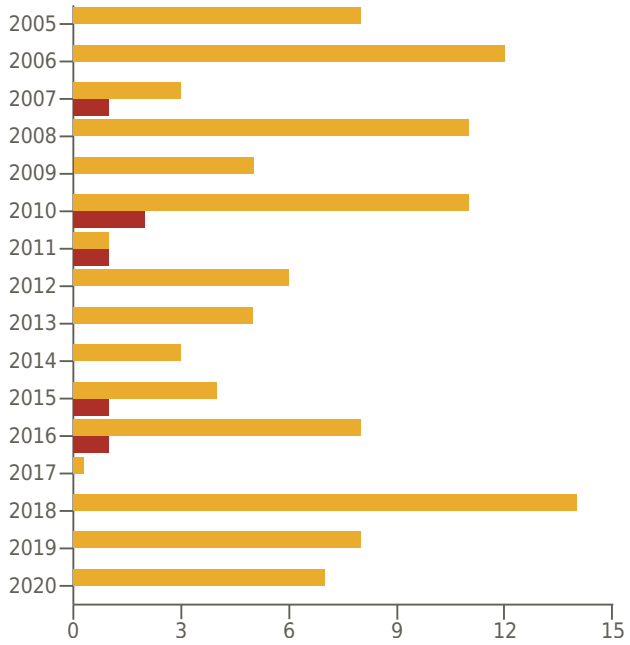
Insbesondere innerstädtisch, beispielsweise in Eimsbüttel oder St. Pauli, ist die Wahrscheinlichkeit für Tropennächte wesentlich höher als an der DWD-Messstation am Flughafen, da in Bereichen mit hoher Versiegelungsrate und Bebauung die nächtliche Auskühlung langsamer verläuft als in freiem Gelände. Ebenso werden in Nähe großer Wasserflächen deutlich mehr warme Nächte verzeichnet als in höheren Lagen wie den Harburger Bergen. Wasserflächen kühlen nachts kaum ab, dadurch wirken sie wie eine Warmwasserheizung auf die nähere Umgebung.

Hitzewarnsystem des DWD

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 mit hoher Temperatur, hoher Luftfeuchte, geringer Windgeschwindigkeit, intensiver Sonneneinstrahlung und geringer nächtlicher Abkühlung können zu hitzebedingten Erkrankungen führen.



Anzahl der Hitzewarnungen für starke (orange) oder extreme (rot) Wärmebelastung in Hamburg



Anhaltende Kälte bescherte Hamburg am zweiten Februarwochenende im Jahr 2012 erstmals seit 15 Jahren wieder ein offizielles Alstereisvergnügen ▶

Hitzewarnsysteme verwenden die aktuellen Wettervorhersagen, um Episoden mit hoher Wärmebelastung vorherzusagen. Gewarnt wird in zwei Stufen anhand einer berechneten gefühlten Temperatur: Liegt sie für das Gebiet 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 Wärmebelastung heraus. In Hamburg gab es 2018 die meisten Warnungen vor starker Wärmebelastung (an 14 Tagen), aber auch 2006, 2008 und 2010 wurde häufig gewarnt. Warnungen vor extremer Wärmebelastung wurden für Hamburg bisher selten ausgegeben. Ein Trend ist aufgrund des kurzen Zeitraums seit 2005 nicht erkennbar.

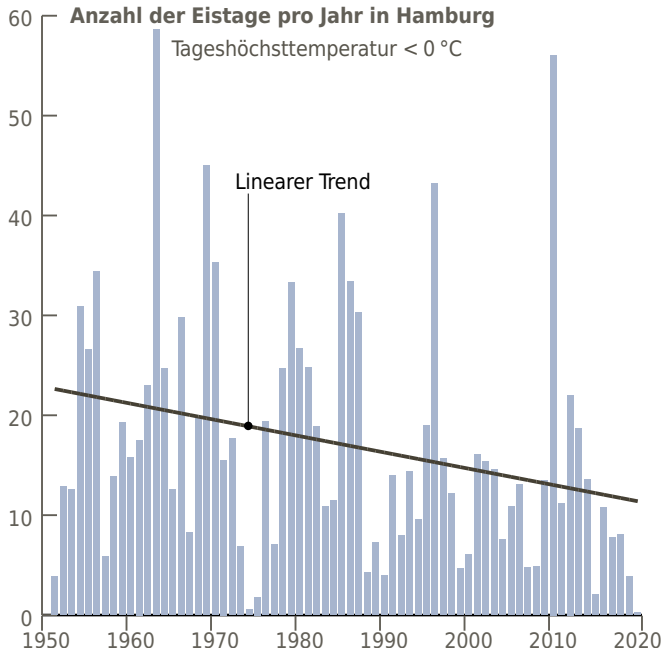
Aufgrund der vorhandenen und weiter fortschreitenden Erwärmung ist es sehr wahrscheinlich, dass hohe Temperaturen und noch höhere Extrema öfter auftreten werden. Sie werden oft mit lang anhaltenden Hitzeperioden verbunden sein. Hierfür geben die Ergebnisse der regionalen Klimaprojektionen klare Indizien. Eine belastbare Abschätzung, welche Spitzentemperatur zukünftig auftreten kann, gibt es bislang nicht.

Winterliche Kälte

Werden klassische Winter mit Schnee und Kälte zukünftig immer seltener? 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 Witterungsereignisse durch die globale Erwärmung ab.

Die Winter in und um Hamburg zeigen von Jahr zu Jahr ein anderes Gesicht. Zur Einordnung eignet sich der Kenntag Eistag, an dem die Maximumtemperatur unter null Grad bleibt, umgangssprachlich auch als „Dauerfrost“ bekannt. Von jährlich 20 Eistagen im Zeitraum 1961-1990 ist die Häufigkeit auf 13 im Zeitraum 1991-2020 zurückgegangen. Im jährlichen Mittel zwischen 1951 und 2020 verzeichnet Hamburg 17 Eistage pro Jahr, allerdings mit einer hohen Spannbreite von Jahr zu Jahr (56 in 2010, 0 in 2020).

In dem kalten Winter und 1962/63 wurden 60 Eistage gezählt, 2009/10 immerhin noch 32. In Winter 2011/12 reichte es sogar zum beliebten Alstereisvergnügen auf einer tagelang vollständig zugefrorenen Außenalster. Zuletzt wurden Eistage allerdings zur Rarität: Im Winter 2018/19 hatte Hamburg noch 4, 2019/20 hingegen keinen Eistag mehr.



Insgesamt zeigt sich ein Rückgang winterlicher Phasen hin zu eher milden Winterverhältnissen. Wenngleich winterliche Kleidung zukünftig seltener zum Einsatz kommen könnte, sollte sie aber nicht völlig verbannt werden. Schnee und Frost werden auch in Hamburg weiterhin auftreten.

Niederschlag

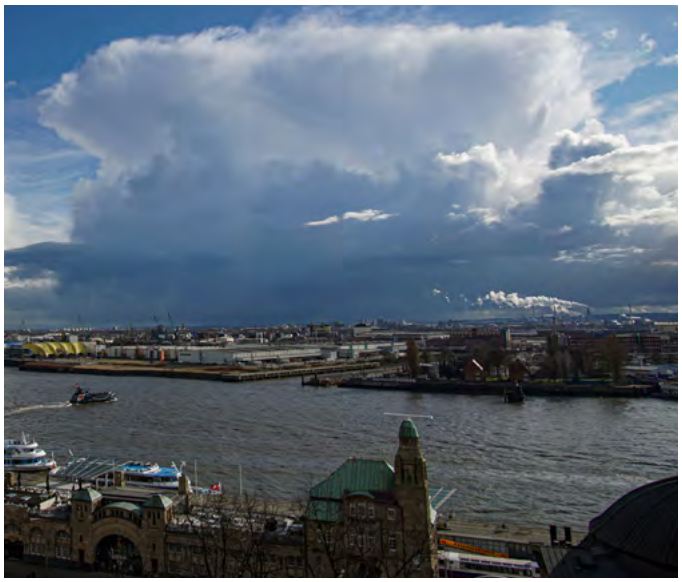
In Hamburg fallen im vieljährigen Mittel (1961-1990) verteilt über die Stadt etwa 750 l/m² Niederschlag pro Jahr. Außergewöhnlich trockenen Jahren wie 1959 (etwa die Hälfte weniger), 2003

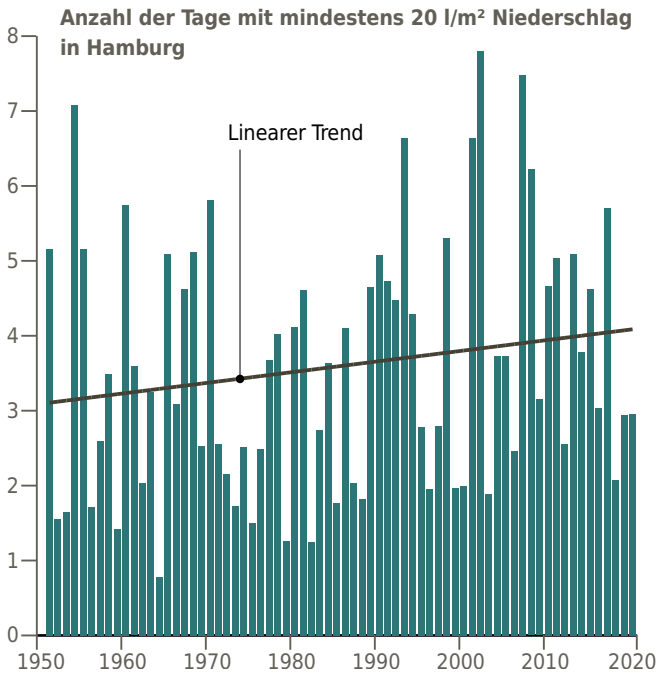
(ca. ein Viertel weniger) oder 2018 (knapp ein Drittel weniger) folgen nasse Jahre wie 2002, 2007 oder 2017, in denen bis zu 40 % mehr Niederschlag fiel, als klimatologisch zu erwarten war.

Häufig sind einzelne Extremereignisse für hohe Jahressummen mitverantwortlich. So gingen am 06.06.2011 bei einem aus östlicher Richtung aufziehenden Gewitter zwischen etwa 17:00 und 18:00 Uhr in der Hamburger Innenstadt in nur einer Stunde fast 80 l/m² Regen nieder - mehr als sonst im gesamten Juni zusammen. Damit so viel Niederschlag abregnet, müssen mehrere meteorologische Ursachen zusammentreffen. Lokal müssen starke Hebungsprozesse auftreten, die zu einem Ausfallen der in der Luft enthaltenden Feuchtigkeit führen. Dabei gilt: Je höher die Temperatur der Luftmasse, desto mehr Wasser kann enthalten sein. Die großräumige Wettersituation muss anhaltend für eine stetige Zufuhr weiterer warmer und feuchter Luftmassen sorgen.

Am Himmelfahrtstag 2018 wurden der Osten Hamburgs und angrenzende Gebiete in Schleswig-Holstein von Starkregen heimgesucht. Insbesondere im Stadtteil Lohbrügge und in Oststeinbek entstanden massive Schäden. DWD-Analysen aus radar- und stationsbasierten Messungen ergaben zwischen etwa 15:00 und 17:00 Uhr im am stärksten betroffenen Gebiet knapp 90 l/m² Niederschlag. Die Häufigkeit des Auftretens derartiger Starkniederschläge lässt sich mittels extremwertstatistischer Auswertungen als Wiederkehrzeit bestimmen. Diese ist abhängig von der Dauer und der Menge des gefallenen Niederschlags und gibt Auskunft darüber, wie oft in der Region ein derartiges Ereignis zu erwarten ist. Der Starkregen in Oststeinbek 2018 hatte eine Wiederkehrzeit von über 100 Jahren.

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 l/m² herangezogen werden. Diese Gesamtmenge binnen 24 Stunden wird in Hamburg fast jedes Jahr mindestens einmal erreicht, in einigen Jahren (zum Beispiel 1954, 1982, 1998, 2001, 2002) auch bis zu siebenmal. Spitzenreiter seit 1951 ist an der Messstation am





Flughafen Fuhlsbüttel das Jahr 2007 mit insgesamt neun Tagessummen von jeweils mindestens 20 l/m².

Die seit Aufzeichnungsbeginn höchste Niederschlagsmenge binnen eines Tages fiel dort am 18.08.1994 mit 68,2 l/m² – nahezu die gesamte Monatsmenge (70 l/m²), die im vieljährigen Mittel 1961 bis 1990 in einem Hamburger August erwartet wird. Auch am 27.08.1989 (66 l/m²) und am 27.09.1965 (60,3 l/m²) fiel binnen eines Tages außergewöhnlich viel Niederschlag.

Seit 2001 ist es möglich, durch Fernerkundungsmethoden wie dem Wetterradarverbund des Deutschen Wetterdienstes den Niederschlag flächendeckend zu erfassen und damit auch die lokalen und kurzeitigen hohen Intensitäten des Niederschlags. Der Zeitraum von 20 Jahren, in dem diese Daten erfasst sind, ist aber klimatologisch gesehen noch recht kurz. Die Analyse der Nutzbarkeit der Daten steht noch am Anfang.

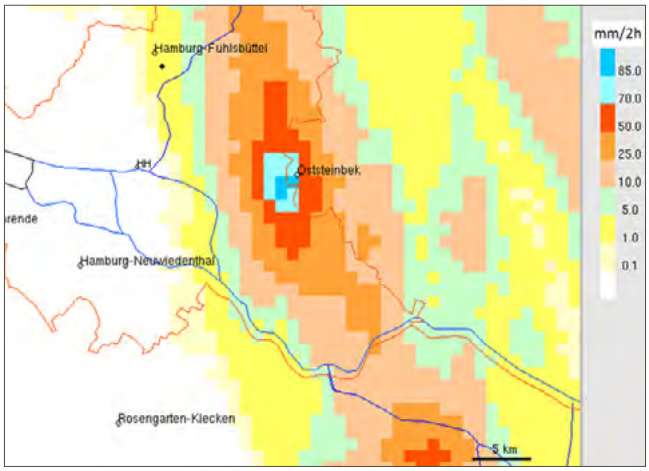
Auf dem Gebiet der Starkniederschläge ist der Forschungsbedarf hoch, denn die Anforderungen an quantitative Angaben zu großen bis außergewöhnlich extremen Niederschlagsmengen für praxisrelevante Zielsetzungen sind hoch. Die für unterschiedliche Anwendungen relevanten Starkniederschlagsereignisse können 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 Häufigkeit des Auftretens von Niederschlägen mit einer Dauer von 15 Minuten genutzt. Für das Risikomanagement von Fluss-Hochwassern sind Niederschläge mit einer Dauerstufe von 12 Stunden und mehr relevant.

Für die aktuelle Daseinsvorsorge bieten die Starkregenwarnungen des DWD eine wichtige Informationsquelle: Sie unterteilen sich in Warnungen vor markantem Wetter und in Unwetterwarnungen und berücksichtigen sowohl die kurzzeitig intensiven als auch länger andauernden Regenereignisse.

Warnkriterien des Deutschen Wetterdienstes für Niederschlag mit hohen Intensitäten

Bezugszeitraum	Wetterwarnung	Unwetterwarnung
1 Stunde	15 bis 25 l/m²	> 25 l/m²
6 Stunden	20 bis 35 l/m²	> 35 l/m²
12 Studnen	25 bis 40 l/m²	> 40 l/m²
24 Stunden	30 bis 50 l/m²	> 50 l/m²
72 Stunden	60 bis 90 l/m²	> 90 l/m²

Der Klimawandel führt durch die Erhöhung der Lufttemperatur zu einem Anstieg 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 der für diese Prozesse zu groben Auflösung nicht in der Lage, detaillierte lokale Angaben zu liefern.



Hagel

Hagel ist ein lokales und seltenes Ereignis, das hohe Schäden an der Infrastruktur und Verluste in der Landwirtschaft verursachen kann. Durch die meist geringe Ausdehnung eines Hagelschauers konnten in der Vergangenheit nicht alle Ereignisse erfasst werden. Um diese Informationslücke zu schließen, werden die seit 2001 vorliegenden Radardaten genutzt. Die Ergebnisse zeigen in Süddeutschland eine höhere Anzahl von Hagelereignissen pro Jahr als in Norddeutschland. Auf Basis der vorhandenen Beobachtungsdaten ist es aber 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 z. B. 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.

Auch Hamburg und seine Metropolregion werden zuweilen von Unwettern mit Hagelschlag heimgesucht. Am 15.06.2019 beschädigten mehrere

◀ **Starkregenereignis am 10.05.2018:**
In schwülwarmer Luft entwickelten sich Schauer und Gewitter, die räumlich eng begrenzt zu außergewöhnlich 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 – radar- und stationsbasierte Messungen – miteinander kombiniert. Die Farben zeigen die Summe des Niederschlags (mm, entspricht l/m²) aus RADOLAN binnen 2 Stunden Lokalzeit. Größe der Rasterzellen: 1 km x 1 km.

Zentimeter große Hagelkörner einen Großteil der Apfelernte rund um Jork. Die Hofbetreiber im Alten Land sprachen von „münzgroßen Dellen“ in den Früchten. Betroffen waren dutzende Betriebe zwischen den Flüssen Este und Lühe.

Die räumliche Auflösung der aktuell genutzten regionalen Klimamodelle ist unzureichend, um Hagel gezielt 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.

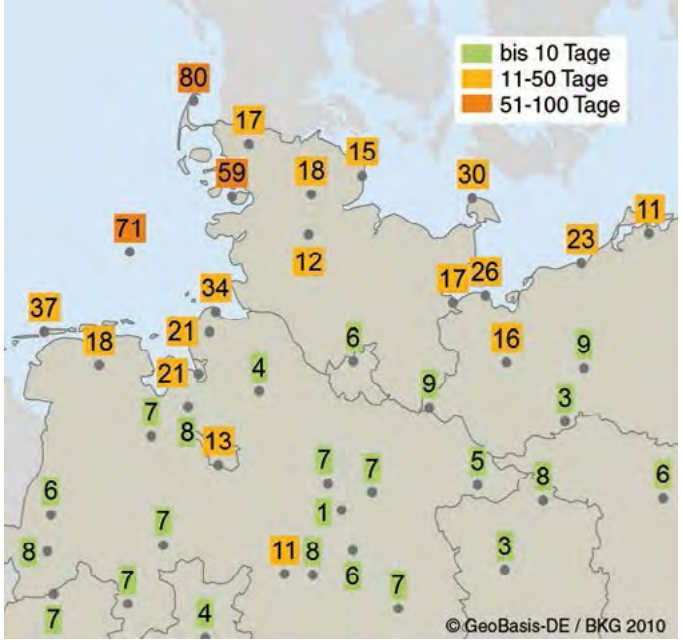
▲ *Sturmflut nach Orkan „Sabine“ am 11.02.2020.*

Wind

Markante Sturm- und Orkanereignisse wie „Fabienne“ im September 2018 oder „Sabine“ im Februar 2020 beleben regelmäßig die Diskussion über mögliche Änderungen der Häufigkeit von Stürmen oder generell über Langzeittrends der Windgeschwindigkeit. Die Antwort darauf ist schwierig. Viele 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. Stürme und Orkane von besonderer Bedeutung sind selten und nur mit langen Zeitreihen statistisch zu bewerten.

Der maritime Charakter des Klimas in der Metropolregion Hamburg nimmt von West nach Ost und von den Küsten der Nord- und Ostsee zum Binnenland hin ab. Durch höhere mittlere Windgeschwindigkeiten an den Küsten treten dort auch Sturmereignisse häufiger auf als im Binnenland. Innerhalb Hamburgs führt der Stadteffekt mit seiner erhöhten Rauigkeit und Bebauung zu einer weiteren Verringerung der Windgeschwindigkeit gegenüber dem Umland.

Stürme gehen in Hamburg häufig mit Sturmfluten einher. Wie im Februar 2020 bei Orkantief "Sabine" stehen zeitweise weite Teile des Fischmarkts unter Wasser. Je nach Sturmstärke, Windrichtung und Gezeiten dringt das Wasser weit in Hafengebiet ein. Klimamodellprojektionen liefern für Stürme in der Zukunft keine deutlichen Änderungssignale.



▲ *Häufigkeit von Spitzenböen der Stärke 11 und 12 Bft im Zeitraum 1981 bis 2010 (angegeben in Tage pro 10 Jahre)*

Tornados

Kurzlebige, räumlich stark begrenzte rotierende Luftmassen unter einer konvektiven Wolke mit Bodenkontakt, die hohe Schäden verursachen können: Tornados gehören zu den gefährlichsten und intensivsten Wettererscheinungen in Norddeutschland. Mittlerweile werden mehr Tornados entdeckt als noch vor 20 Jahren. Dies lässt allerdings keine Rückschlüsse auf eine Steigerung der Gesamtzahl zu. In einer hochtechnisierten, digitalen Welt ist es wesentlich einfacher, per Smartphone und Internet besondere Ereignisse schnell zu erfassen und weiterzuverbreiten.

Am 27.03.2006 zog gegen 19:00 Uhr ein Tornado der Stärke F2 (bis zu 253 km/h) von Harburg aus Richtung Nordosten, überquerte die Süderelbe und die Autobahn A1 in Höhe Stillhorn. Ein Millionenschaden und zwei Kranarbeiter im Hafen, die in ihren Kabinen beim Sturz in die Tiefe starben, waren zu beklagen. Am 07.06.2016 entstand gegen 18:15 Uhr ein Tornado auf Höhe der Bramfelder Chaussee und zog Richtung Farmsen-Berne. Dort wurden damals unzählige Hausdächer abgedeckt und viele Bäume entwurzelt.

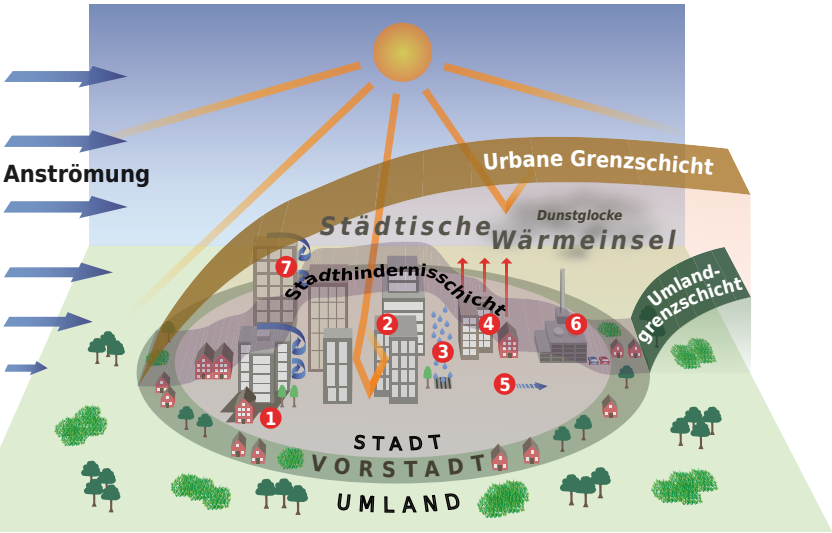
Regionale Klimaprojektionen zeigen keinen Anstieg von Tornadoereignissen. Aufgrund des zukünftig höheren Energiepotenzials könnte es jedoch eine Zunahme in der Intensität von Tornados geben.

Stadtklima

Städte weisen gegenüber dem Umland deutliche klimatische Unterschiede auf. Besonders markant ist die städtische Wärmeinsel, aber auch das gestörte Windfeld und die verminderte Verdunstung haben vielfältige Auswirkungen. Die Unterschiede zum Umland nehmen mit zunehmender Stadtgröße und stärkerer Verdichtung zu. Der weltweite Klimawandel ist wissenschaftlich belegt. Auch Hamburg ist davon betroffen, wie in den vorigen Kapiteln dargelegt wurde. Die Hitzewellen in den Sommern 2018 bis 2020 vermitteln einen Vorgeschmack dessen, was die Zukunft möglicherweise bringt.

Schematische Darstellung der städtischen Wärmeinsel ▶

1. Abschattung
2. Erhöhte Energieabsorption
3. Reduzierte Verdunstung
4. Anthropogener Wärmefluss
5. Reduzierte Windgeschwindigkeit
6. Emissionen
7. Erhöhte Turbulenz



Die städische Wärmeinsel

Im Zuge steigender Temperaturen und möglicherweise zunehmender Extremwetterereignisse sind die Innenstädte besonders anfällig für die Folgen des Klimawandels. So können gerade in eng bebauten städtischen Quartieren deutlich höhere Temperaturen als im Umland auftreten mit negativen Folgen für die Gesundheit der Menschen. Starkregenereignisse können verheerende Auswirkungen haben.

Gebäude wechselwirken durch die Baustruktur und die Baumaterialien mit ihrer Umgebung. Durch Strahlungsabsorption heizen sich Oberflächen auf, diese speichern die Wärme und geben sie später langsam wieder ab. Weitere Wärmequellen sind u.a. der Verkehr, Industrie und Heizanlagen. Allerdings wirken Gebäude auch durch Verschattung und als Windhindernis auf das innerstädtische Klima. In den Quartieren finden sich daher sowohl lauschige als auch zugige Bereiche, abhängig von Sonnenstand und Windrichtung.

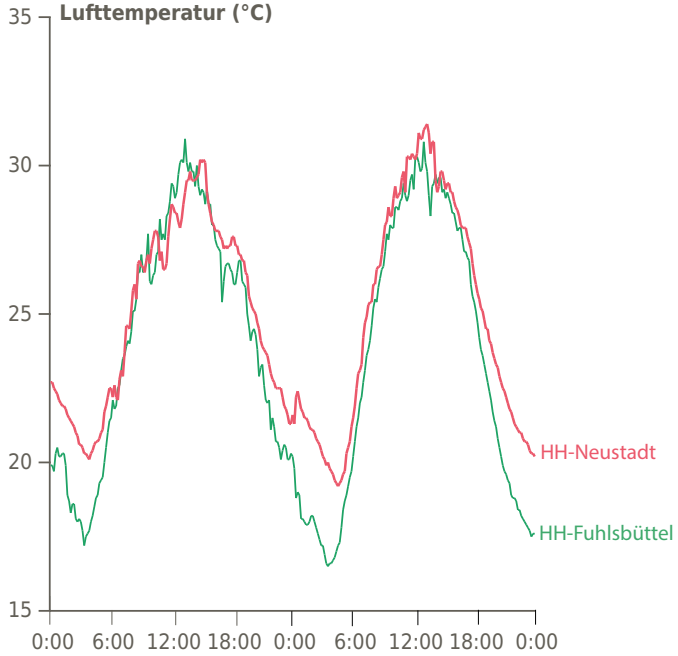
Wie entwickelt sich das Stadtklima?

Die Luftqualität ist in Innenstädten häufig schlechter als im Umland. Die Ursachen liegen in den Emissionen von Verkehr und Verbrennung, niedrigerer Luftfeuchte und geringeren Windgeschwindigkeiten. Abseits der Magistralen steigt die Luftqualität wieder an.

Die kleinen und größeren Grünflächen in den städtischen Quartieren, aber auch die Straßenbäume, Hinterhöfe und Gärten wirken positiv auf die Luftqualität. Ein Indiz dafür ist auch, dass in den letzten Jahren immer mehr Bienen in der Stadt

gehalten werden. Es gibt ausreichend Blüten in der Stadt und die Vegetationsperiode ist sogar länger, als auf dem Land. Untersuchungen des Honigs haben gezeigt, dass Stadthonig durch Umweltschadstoffe weniger belastet ist als Landhonig.

▼ *Tagesgang der Temperatur an der Stadtklimastation Hamburg-Neustadt (rote Linie) und der Umlandstation Hamburg-Fuhlsbüttel (grüne Linie) am 30.-31.05.2018; Datenbasis: 10-Minutenmittelwerte.*



Durch dichte Bebauung und Versiegelung wird auch die Versickerung von Regenwasser behindert. Es kann bei Starkregenereignissen zu lokalen Überschwemmungen kommen, wie es z.B. im Juni 2011 in der Hamburger Innenstadt geschehen ist.

Milde Nächte in der Stadt

Bislang ist die Messreihe an unserer Stadtklimastation Hamburg-Neustadt noch kurz, denn sie ist erst Ende Mai 2018 eingerichtet worden, dennoch können hier schon einige Ergebnisse vorgestellt werden. Als Umlandstation wird die am Stadtrand gelegene Wetterstation Hamburg-Fuhlsbüttel verwendet.

Typische Tagesgänge der Lufttemperaturen während einer Hitzeperiode Ende Mai 2018 zeigt die nebenstehende Abbildung. An diesen Tagen wurden an beiden Stationen Höchstwerte nahe 30 °C erreicht. Deutlich unterschiedlich ist allerdings der nächtliche Temperaturrückgang: In der Stadt fiel die Temperatur viel langsamer ab, und es blieb insgesamt um etwa 3 Grad wärmer.

Allgemein erleben wir in der Stadt mehr laue Abende und milde Nächte. In den städtischen Quartieren in Hamburg gibt es deutlich mehr Sommerabende, an denen es um 22 Uhr noch 20 °C warm ist und die zum Flanieren einladen. Tropische Nächte, in denen die Temperatur nicht unter 20 °C absinkt, sind sogar um ein Vielfaches häufiger als im Umland.

Jährliche Kenntage der Temperatur an den beiden Stationen

	Jahr	Sommertage	Hitzetage	Sommerabende	Tropennächte	Frosttage	Eistage
HH-Fuhlsbüttel	2018*	49	16	33	4	11	0
	2019	34	12	23	2	50	4
	2020	33	13	23	0	37	0
HH-Neustadt	2018*	47	16	47	10	6	0
	2019	37	12	39	8	25	4
	2020	37	13	29	3	18	0

2018= Daten aus dem Zeitraum Juni-Dezember 2018.*

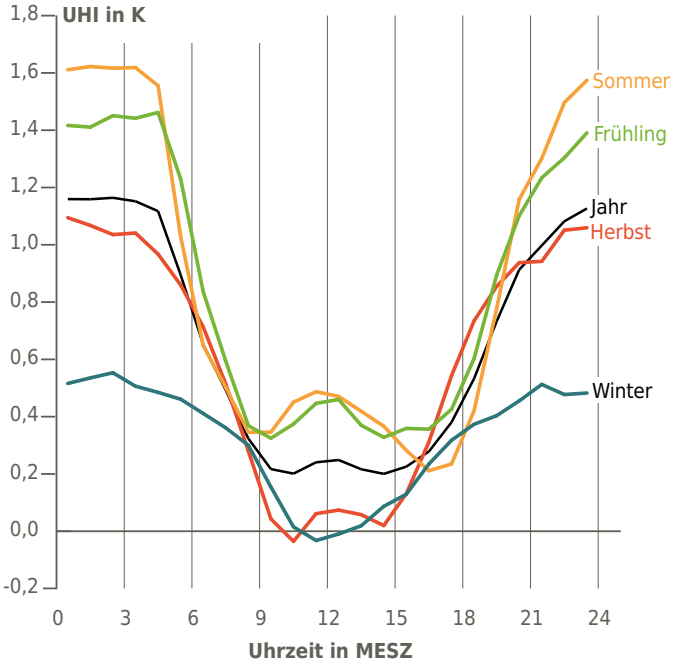
▼ *Definitionen der Kenntage*

Kenntage	Parameter	Bezugszeitraum (UTC)	Grenzwert
Sommertag	Höchsttemperatur	0 – 23	≥ 25 °C
Hitzetag	Höchsttemperatur	0 – 23	≥ 30 °C
Sommerabend	Temperatur (22 Uhr MESZ)	20	≥ 20 °C
Tropennacht	Nächtliche Tiefsttemperatur	18 - 06	≥ 20 °C
Frosttag	Tiefsttemperatur	0 – 23	< 0 °C
Eistag	Höchsttemperatur	0 – 23	< 0 °C

Bei Wetterlagen mit extremen Tageswerten der Temperatur, also während winterlicher Kälteperioden, aber auch während sommerlicher Hitzewellen, zeigt sich nur ein geringer Unterschied zwischen Stadt und Umland. In unserem noch recht kurzen Vergleichszeitraum von drei Jahren ist die Häufigkeit von Eistagen und Hitzetagen an beiden Stationen gleich. Nachts gilt das allerdings nicht, sondern es zeigen sich deutliche Unterschiede.

Wärmeinseleffekt

Der Wärmeinseleffekt einer Stadt kann dargestellt werden über die Differenz der Lufttemperaturen zwischen der Stadtklimastation und der Umlandstation. Dieser Parameter wird als Urban Heat Index (UHI) bezeichnet. Er weist einen ausgeprägten Tagesgang, aber auch einen Jahresgang auf. In Hamburg ist er,



▲ *Tagesgang des UHI in Hamburg; Datenbasis: Stundenmittelwerte der Temperaturen, Zeitraum: Juni 2018 bis Juni 2020.*

wie auch in anderen Städten, tagsüber nicht besonders groß. Weitaus größere Unterschiede zwischen Stadt und Umland zeigen sich nachts. Insbesondere im Frühling und Sommer ist es in der Stadt im Mittel um um 1,4 bis 1,6 K wärmer. Die höchsten Werte des UHI liegen in Hamburg zwischen 4 und 6 K.

Auch im Winter sind die thermischen Unterschiede markant: in der Stadt ist es fast immer wärmer als im Umland, und die Stadt erlebt deutlich weniger Frosttage (Tn < 0 °C).

Übrigens: Die Wasserflächen in der Stadt wirken nachts – nicht nur in Sommernächten - in ihrer unmittelbaren Umgebung wie Warmwasserheizungen und dämpfen die Abkühlung der Luft. Tagsüber ist es häufig umgekehrt: die Wasserflächen sorgen für Kühlung, vorausgesetzt die Luft ist wärmer als das Wasser.

Zukunft

Die Ergebnisse der vorliegenden Klimaprojektionen für den Bereich Nordwestdeutsches Tiefland liefern wichtige Informationen und können im Kern auf Hamburg übertragen werden. Sie zeigen einen Anstieg der Temperatur und eine Veränderung der Niederschlagsmuster, siehe vorige Kapitel. Es wird in absehbarer Zukunft mehr Sommertage, Hitzetage und Tropennächte in Hamburg geben.

Sommerliche Hitzeperioden werden häufiger auftreten und wahrscheinlich auch länger andauern, auch können höhere Temperaturen erreicht werden. Die winterliche Kälte schwächt sich weiter ab, die Häufigkeit und Andauer von Frostperioden geht zurück.

Auf der Webseite www.dwd.de/waermeinsel finden Sie weitere Informationen zum Thema Stadtklima ▶

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:

- Eine Vertiefung des Systemverständnisses der komplexen Zusammenhänge im Klimasystem
- Die Bewertung und der Umgang mit den durch den Klimawandel verursachten Risiken und Chancen
- 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 Detailaspekten 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:

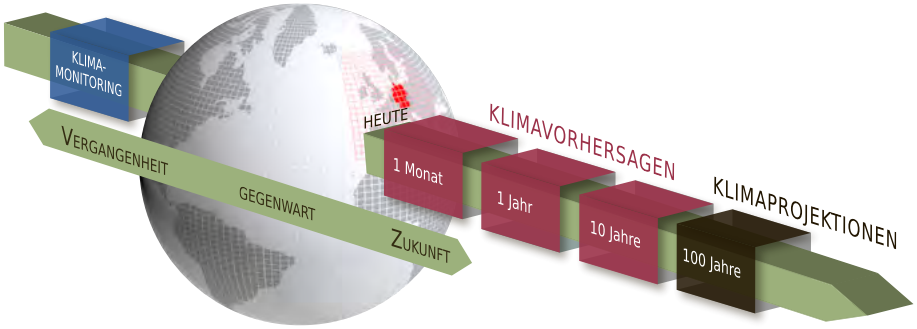
- Bestimmung und Reduzierung von Unsicherheiten in Klimavorhersagen und Klimaprojektionen
- Verlängerung der Wettervorhersage und Verbindung zur subsaisonalen Klimavorhersage
- Abrupte Klimaänderungen
- Wasserkreislauf in einer wärmeren Welt
- Luftqualität und Klimawandel
- Treibhausgas-Kreisläufe im 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



Auf der Webseite www.dwd.de/klimavorhersagen werden die Klimavorhersagen des Deutschen Wetterdienstes veröffentlicht. ▼

die verschiedenen kulturellen Hintergründe 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 Forschungsinstitutionen 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?

Klimaforschung für die nächsten Monate bis Jahre

Wie wird die Witterung der nächsten Wochen, Monate und Jahre? Klimavorhersagen können schon heute für einige Regionen in der Welt die Grundlage für Entscheidungen liefern.

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: Jahreszeitenvorhersagen) und Jahre (Stichwort: Dekadenvorhersagen). Die Kombination mit Vorhersagen aus der Vergangenheit erlaubt eine umfassende statistische Bewertung der Prognosen und die Ableitung von Trendaussagen 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.

Jahreszeitenvorhersagen 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. Auf der Webseite www.dwd.de/klimavorhersagen werden die Klimavorhersagen des Deutschen Wetterdienst veröffentlicht.

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.

▶ Frühindustrieller Zeitraum
Der Zeitraum 1881 bis 1910 wird als frühindustrieller Zeitraum definiert. Die Definition erfolgt in Anlehnung an die Definition eines vorindustriellen Zeitraumes durch die Pariser Klimakonferenz COP21.

▶ Gebietsmittelwerte
Die Wetterstationen sind sehr unregelmäßig verteilt über Deutschland. Um Aussagen nicht nur für eine Station, sondern für einen größeren Bereich machen zu können, werden die Messwerte mit Hilfe mathematischer Methoden auf ein 1 km x 1 km-Raster interpoliert. Aus den Rasterdaten werden Gebietsmittelwerte für einzelne Bundesländer und für ganz Deutschland berechnet.

▶ Kenntage
Ein Kenntag ist ein Tag, an dem ein definierter Schwellenwert eines meteorologischen 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. Gewitter 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 des Klimasystems Aussagen über dessen zukünftigen Zustand ab. Traditionell beinhaltet eine Wettervorhersage die Entwicklung der nächsten ein bis zehn Tage. Die Klimavorhersage, 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. In diesem Bericht werden noch weitere Zeiträume betrachtet (1971-2000, 1981-2010, 1991-2020). Die Aussagen beschreiben immer die mittleren Verhältnisse über eine Zeitspanne von 30 Jahren.

▶ 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.
- ein auf der Basis quantitativer Analysen berechnetes Maß der Unschärfe der Erkenntnisse bereitzustellen.

Multi-Modell-Ensembles sind ihrer Natur nach „Ensembles of Opportunity“, das heißt, sie sind eine Ansammlung zur Verfügung stehender Klimaprojektionen, die bestimmte Mindestanforderungen erfüllen, wie beispielsweise für eine gewisse Region in einer gewissen Auslösung über einen gewissen Zeitraum vorzuliegen. Weiterhin weisen viele Klimamodelle mehr oder weniger starke Ähnlichkeiten auf. Die Kombination dieser beiden wichtigen Eigenschaften von Multi-Modell-Ensembles, willkürliche Zusammensetzung des Ensembles und nichtzufällige Ähnlichkeiten zwischen den Modellen, bewirkt, dass sich die Datenwolke der Klimaänderungssignale, die aus einem solchen Ensemble generiert wird, nicht wie eine unabhängige, identisch verteilte Zufallsstichprobe verhält und zudem erhebliche Redundanzen aufweist. In der Folge ist es nur möglich, den Grad der Übereinstimmung der genutzten Modellläufe zu beschreiben.

Der Grad der Übereinstimmung ist kursiv gesetzt, z. B. *sehr hohe Übereinstimmung*.

Begriff	Übereinstimmung
sehr hohe Übereinstimmung	In mindestens 9 von 10 Fällen
hohe Übereinstimmung	In etwa 8 von 10 Fällen
mittlere Übereinstimmung	In etwa 5 von 10 Fällen
geringe Übereinstimmung	In etwa 2 von 10 Fällen

Weitere Begriffeserklärungen zu Wetter und Klima finden sie im Wetterlexikon auf der Webseite www.dwd.de/lexikon ▶

Präsenz in der Fläche

Unsere Ansprechpartner und Beratungsstellen

Klima- und Umweltberatung

Hamburg, Bremen, Niedersachsen, Schleswig-Holstein, Mecklenburg-Vorpommern, Ausland und Weltmeere:

Regionales Klimabüro Hamburg
Bernhard-Nocht-Straße 76
20359 Hamburg
0 69 / 80 62 - 60 22
klima.hamburg@dwd.de

Berlin, Brandenburg, Sachsen, Sachsen-Anhalt, Thüringen:

Regionales Klimabüro Potsdam
Güterfelder Damm 87-91
14532 Stahnsdorf
0 69 / 80 62 - 54 44
klima.potsdam@dwd.de

Nordrhein-Westfalen, Hessen, Rheinland-Pfalz, Saarland

Regionales Klimabüro Essen
Wallneyer Straße 10
45133 Essen
0 69 / 80 62 - 68 88
klima.essen@dwd.de

Bayern

Regionales Klimabüro München
Helene-Weber-Allee 21
80637 München
0 69 / 80 62 - 92 25
klima.muenchen@dwd.de

Deutschland überregional:

Zentrales Klimabüro
Frankfurter Straße 135,
63067 Offenbach
0 69 / 80 62 - 29 12
klima.offenbach@dwd.de

Baden-Würtemberg

Regionales Klimabüro Freiburg
Stefan-Meier-Straße 4
79104 Freiburg
0 69 / 80 62 - 96 03
klima.freiburg@dwd.de

Agrarmeteorologie

Agrarmeteorologie
Frankfurter Straße 135
63067 Offenbach
0 69 / 80 62 - 23 01
lw.offenbach@dwd.de

Zentrum für Agrarmeteorologische Forschung
Bundesallee 50
38116 Braunschweig
0 531 / 2 52 05 - 39
lw.braunschweig@dwd.de

Außenstelle
Weihenstephan
Alte Akademie Nr. 16
Weihenstephaner Berg
85354 Freising
0 8161 / 5 37 69 - 0
lw.weihenstephan@dwd.de

Hydrometeorologie

Hydrometeorologie
Frankfurter Straße 135
63067 Offenbach
0 69 / 80 62 - 29 80
hydromet@dwd.de

Außenstelle Berlin-Buch
Lindenberger Weg 24
13125 Berlin
0 69 / 80 62 - 55 70
hydromet.be@dwd.de

Medizin-Meteorologie

Zentrum für Medizin
Meteorologische
Forschung
Stefan-Meier-Straße 4
79104 Freiburg
0 69 / 80 62 - 96 30
mm.freiburg@dwd.de

Deutscher Klimadienst (DKD)

DKD Geschäftsstelle
Frankfurter Straße 135
63067 Offenbach
gs.dkd@dwd.de

Weblinks

IPCC - Sonderberichte

Sonderbericht über den Ozean und die Kryosphäre (SROCC)

www.de-ipcc.de/252.php

Sonderbericht 1,5 °C globale Erwärmung (SR1.5)

www.de-ipcc.de/256.php

Sonderbericht über Klimawandel und Landsysteme (SRCCL)

www.de-ipcc.de/254.php

Sachstandsberichte des IPCC

6. Sachstandsbericht

https://www.de-ipcc.de/250.php

Daten und Informationen zum Klimawandel

Klimadaten Deutschland

www.dwd.de/klimadaten

Auswertungen zur Klimaentwicklung in Deutschland

www.dwd.de/zeitreihen

Fakten zum Klimawandel

www.klimafakten.de

Das Deutsche Klimavorsorgeportal

www.klivoportal.de

Klimaveränderungen und Wasserwirtschaft

www.kliwa.de

Monitoringbericht zur Deutschen Anpassungsstrategie

www.umweltbundesamt.de/publikationen/monitoringbericht-2019

Deutscher Klimaatlas

www.dwd.de/klimaatlas

Regionale Klimaprojektionen Ensemble für Deutschland und Europa (ReKliEs-De)

https://reklies.hlnug.de/home

BMVI.Expertennetzwerk

www.bmvi-expertennetzwerk.de/DE/Home/home_node.html

Besondere Ereignisse

www.dwd.de/witterungsereignisse

Phänologie

Informationen zur Phänologie

www.dwd.de/phaenologie

Attribution

Informationen zur Attributionsforschung

www.dwd.de/attribution

Klimavorhersagen

Klimavorhersagen

www.dwd.de/klimavorhersagen

Impressum

Der Klimareport Hamburg ist eine Veröffentlichung des Deutschen Wetterdienstes. Die Erstellung erfolgte in enger Zusammenarbeit mit der Stabsstelle Klimaanpassung/RISA in der Behörde für Umwelt, Klima, Energie und Agrarwirtschaft, Hamburg.

Autoren

Dr. Michael Borsche, Andreas Friedrich,
Karsten Friedrich, Dr. Kristina Fröhlich, Dr. Barbara Früh,
Dr. Birgit Klein (BSH), Dr. Frank Kreienkamp, Gabriele Krugmann,
Andreas Kuchenbecker (Hamburg Wasser), Peter Löwe (BSH),
Jens Möller (BSH), Saskia Pietzsch, Caroline Rasquin (BAW),
Dr. Monika Rauthe, Ludwig Schenk (BSH), Dr. Birger Tinz,
Dr. Andreas Walter, Elmar Weigl, Oliver Weiner

Beiträge Landes- und Bundesinstitutionen:

HAMBURG WASSER
Infrastrukturkoordination und Stadthydrologie
Billhorner Deich 2
20539 Hamburg
www.hamburgwasser.de

Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie
Bernhard-Nocht-Straße 78
20359 Hamburg
www.bsh.de

Bundesanstalt für Wasserbau
Wedeler Landstraße 157
22559 Hamburg
www.baw.de

Redaktion

Gabriele Krugmann, Oliver Weiner (Deutscher Wetterdienst)

Online-Ausgabe

Dieses Heft liegt als digitales Dokument auf unserer Internetseite www.dwd.de/klimareports.

Die Online-Ausgabe unterliegt der Lizenz
- http://creativecommons.org/
- licenses/by-nc-nd/4.0/deed.de

Zitierhinweis

DWD (2021): Klimareport Hamburg; Deutscher Wetterdienst, Offenbach am Main, Deutschland, 56 Seiten.

ISBN 978-3-88148-529-6 (Print)
ISBN 978-3-88148-530-2 (Online)

Gestaltung und Satz

Marcel Reichel (Deutscher Wetterdienst)

Druck

Bundesministerium für Verkehr und
digitale Infrastruktur, Referat Z 32, Hausdruckerei

Bildnachweis

Titelseite: links Pixabay/Wolfgang Appel, **Mitte** Pixabay/Thomas Ulrich, Lobo Studio Hamburg, **rechts** DWD/Thomas Möller
S. 4: DWD; **S. 5:** Fotografie Ole Hoffmann; S. 6: Mitte Pixabay/Karsten Bergmann; **S. 7**: rechs oben Fotolia/Gina Sanders; **S. 8, 9**: unten doppelseitig DWD, rechts oben Creative Collection/Clemens Humeniuk; **S. 11:** rechts oben MPI-M; **S. 12:** oben links Creative Collection/Hendrik Fuchs; **S. 13:** rechts oben Pantermedia/Orlando Rosu; **S. 14:** Mitte Unsplash/Chris Unger; **S. 16:** Mitte Fotolia/gradt; **S. 19:** rechts oben Pixabay/nidan; **S. 20:** Mitte Creative Collection/Peter Kaschuba; **S. 22, 23:** oben doppelseitig Pixabay/eyeonicimages; **S. 24, 25:** beide Hamburg Wasser; **S. 26:** Mitte DWD/Thomas Möller; **S. 28:** Mitte DWD/Frank Kahl; **S. 30:** Mitte Panthermedia/Steidi; **S. 32, 33, 35, 36, 37:** alle BAW **S. 38:** Mitte DWD/Thomas Möller; **S. 40:** oben rechts DWD/Elke Roßkamp; **S. 41:** oben rechts DWD/Thomas Möller; **S. 42:** Mitte rechts Fotolia/akf; **S. 43:** Mitte links DWD/Thomas Möller, Mitte rechts Creative Collection / Oemer Tigrel; **S. 44, 45:** doppelseitig Mediaserver Hamburg / C. Spahrbier; **S. 47:** Mediaserver Hamburg / Andreas Vallbracht; **S. 48:** DWD / Alexander Heimann; **S. 52:** Panthermedia / Vitaliy Pakhnyushchyy; **S. 53 v. l. n. r.:** Piqs CC-BY 2.0, Pixabay/PublicDomainPictures, Fotolia / makuba, DWD

Hamburg | Behörde für Umwelt, Klima, Energie und Agrarwirtschaft

Behörde für Umwelt, Klima, Energie und Agrarwirtschaft

Neuenfelder Straße 19
21109 Hamburg

www.blauer-engel.de/uz14a

Deutscher Wetterdienst

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

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

Zertifikat seit 2011 audit berufundfamilie

DWD 1. Auflage 750 / 09.21