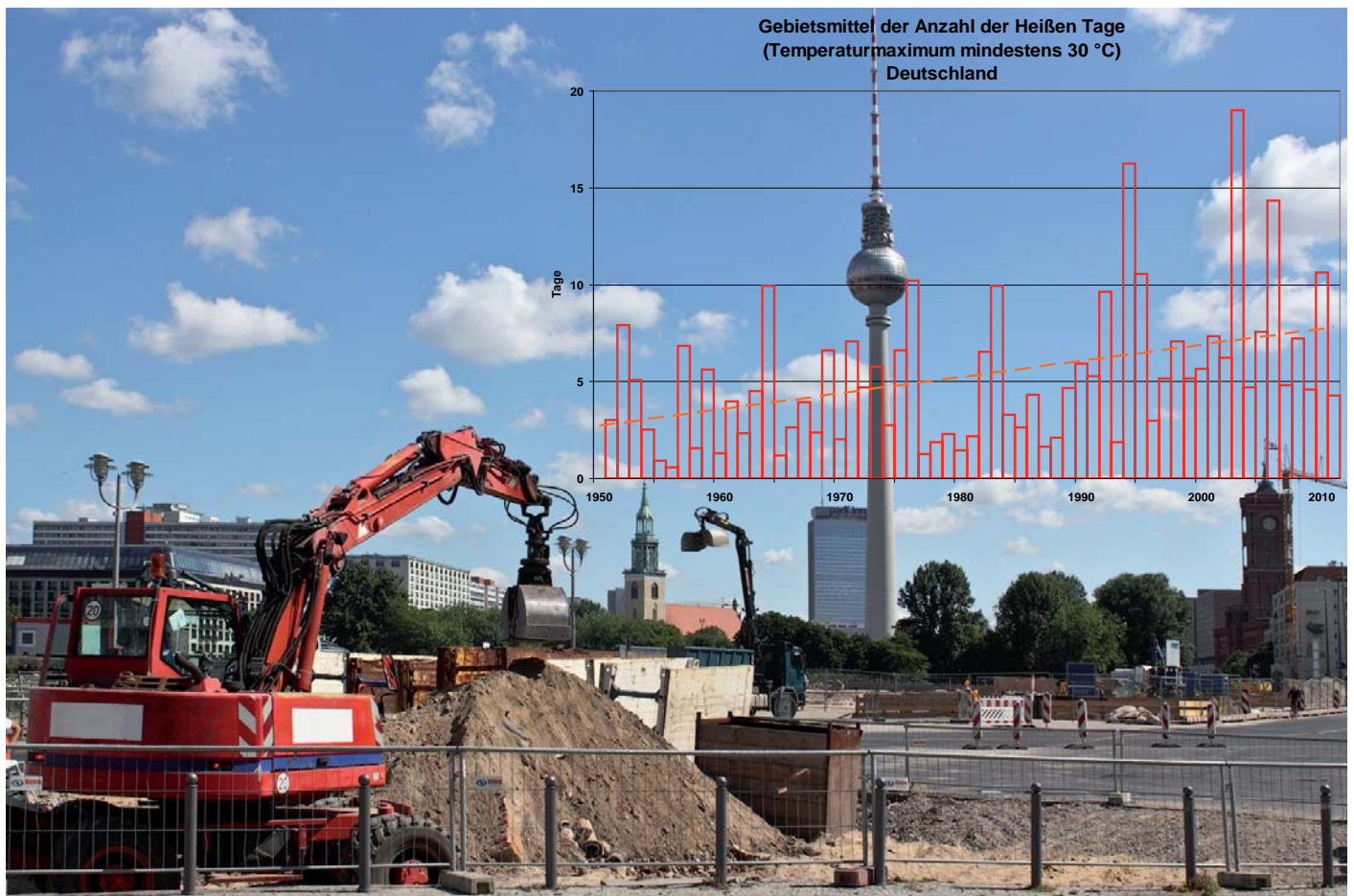


Klimastatusbericht 2011



Auswirkungen von Klimaänderungen für die Bauwirtschaft

Herausgeber und Verlag
Deutscher Wetterdienst
Frankfurter Str. 135
63067 Offenbach

Postfach 10 04 65
63004 Offenbach

Redaktion:

Gerhard Müller-Westermeier
e-mail: gerhard.mueller-westermeier@dwd.de

Juliane Breyer
e-mail: juliane.breyer@dwd.de

Der Klimastatusbericht im Internet:

www.ksb.dwd.de

ISSN 1437 - 7691
ISSN 1616 - 5063 (Internet)

Urheberrecht

Alle Rechte an den hier präsentierten Informationen liegen, soweit nicht anders vermerkt, beim DWD. Die Nutzung der nachfolgenden Informationen bzw. Teilen davon ist nur unter Nennung des Quellenhinweises „Deutscher Wetterdienst,“ gestattet. Eine kommerzielle Nutzung ohne ausdrücklich Genehmigung ist untersagt.

Zum Titelbild

Baustelle in Berlin mit überlagertem Diagramm der Zeitreihe der Anzahl heißer Tage (Temperaturmaximum mindestens 30 °C) im Gebietsmittel von Deutschland

Vorwort



Sehr geehrte Damen und Herren,

im Rahmen der allgemeinen Diskussion über zu erwartende Klimaänderungen finden deren Auswirkungen in den verschiedenen Bereichen der Gesellschaft und der Wirtschaft wachsendes Interesse. Dem soll in dieser und in den folgenden Ausgaben des Klimastatusberichts durch entsprechende anwendungsorientierte Schwerpunktthemen Rechnung getragen werden. In diesem Jahr finden Sie daher im Klimastatusbericht als Schwerpunktthema einen Beitrag zu den Auswirkungen des Klimawandels auf das Bauen und die Bauwirtschaft.

Daneben geben die Standardbeiträge der „Gelben Seiten“ wie üblich einen Überblick über den Witterungsverlauf in Deutschland und seine Auswirkungen sowie zu weltweiten Besonderheiten der Witterung,

Ich wünsche Ihnen viel Vergnügen bei dem Lesen des vorliegenden Berichts.

Ihr



Klaus-Jürgen Schreiber

Leiter der Abteilung Klimaüberwachung

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	3
Klimawandel und Bauen U. Wienert, A. Walter	5
Extremwertkarte	17
Die Witterung in Deutschland 2011 M. Böhme, F. Böttcher, C. Lefebvre, F.-J. Löpmeier, G. Müller-Westermeier, S. Pietzsch, W. Riecke, H.-H. Schmitt	18
Ergebnisse und Messungen in der freien Atmosphäre K. Zimmermann, H. Nitsche	48
Ozon in der Stratosphäre U. Köhler, W. Steinbrecht, H. Claude	55
Jahreszeitlicher Rückblick auf das Klima in Europa (RA VI) 2011 A. Meyer-Christoffer, H. Nitsche	58
Das Klima des Jahres 2011 im globalen Maßstab C. Lefebvre, A. Becker	78
Bodentemperaturen im Klimawandel Auswertungen der Messreihe der Säkularstation Potsdam M. Böhme, F. Böttcher	85
Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen	91
Autorenverzeichnis	93
Index	95

Klimawandel und Bauen

U. Wienert, A. Walter

1. Einleitung

Bauwerke jeglicher Art, seien es Gebäude, Straßen, Schienenwege, Kanalnetze, Dämme o.ä. werden mehr oder weniger stark von den Witterungsverhältnissen, denen sie ausgesetzt sind, beansprucht. Alle Bauten müssen daher so ausgelegt sein, dass sie unter den gegebenen Klimabedingungen ihre Funktion über einen möglichst langen Zeitraum beibehalten. Dazu existieren Regelwerke, die die entsprechenden Standards, nach denen Bauwerke errichtet werden, enthalten. Daneben beeinflusst die Witterung auch die Bautätigkeit selbst, d.h. widrige Wetterbedingungen wie Frost, Schneefall oder Starkregen behindern die Bautätigkeit oder unterbinden sie sogar ganz.

Der Klimawandel wird sehr wahrscheinlich auch für eine Veränderung der Witterungsbeanspruchung von Bauwerken sorgen und ggf. deren Funktion beeinträchtigen. Wärmere Sommer mit häufigeren Hitzewellen, wie sie im Zuge des Klimawandels zu erwarten sind, können zu einer verstärkten Aufheizung von Gebäuden führen und damit den Wohnkomfort einschränken. Vermehrte und intensivere Starkregenereignisse wiederum bedrohen u.U. die Standfestigkeit von Bauwerken in geneigtem Gelände. Die Bautätigkeit wird voraussichtlich ebenfalls vom Klimawandel betroffen sein. Seltener Frostperioden könnten hier zu weniger Unterbrechungen in der Bautätigkeit im Winterhalbjahr führen. Andererseits wären jedoch heftigere Starkregenereignisse und auch intensivere und längere Hitzeperioden im Sommer für die Bautätigkeit eher hinderlich.

Bauwerke werden allerdings nicht nur von den Witterungsbedingungen selbst beansprucht, sondern sie verändern ihrerseits mehr oder weniger auch das Lokalklima in ihrer Umgebung. Dies gilt insbesondere dann, wenn viele Bauwerke auf relativ engem Raum oder räumlich ausgedehnte Bauten errichtet werden. Ein besonders augenfälliges Phänomen stellt in dem Zusammenhang das Stadtklima dar. Durch die Bebauung und Versiegelung der ehemals natürlichen Erdoberfläche entstehen lokale Klimabedingungen, die sich vor allem durch eine Erhöhung der Lufttemperatur im Stadtgebiet im Vergleich zum Umland manifestieren. Diese wird allgemein als städtische Wärmeinsel, abgekürzt UHI (**U**rban **H**eat **I**sland) bezeichnet.

Bereits heute treten in Städten oft höhere Lufttemperaturen im Vergleich zum Umland auf, die im Sommer zu einer gesundheitlichen Belastung der dort lebenden Menschen führen können. Durch den Klimawandel mit weiter ansteigenden Lufttemperaturen wird sich die Situation noch verschärfen, indem Witterungsperioden mit ausgeprägtem UHI-Effekt häufiger vorkommen könnten. Um die Lebensqualität in den Städten nicht zu verschlechtern, sondern zukünftig eher zu verbessern, werden Anpassungsmaßnahmen in der Stadtplanung erforderlich, wie zum Beispiel Auflockerung der Bebauung, Ausbau von Frischluftschneisen, Flächenbegrünung oder Entsiegelung von Straßen und Plätzen.

Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel sind im gesamten Bausektor gefragt. Das betrifft u.a. die allgemeine Bauplanung, die Regelwerke für das Bauen, die technische Ausstattung von Gebäuden, den Einsatz geeigneter Baustoffe aber auch die Bautätigkeit. Der Anpassungsbedarf wird besonders an den Regelwerken für das Bauen deutlich. Entsprechende Normen und Richtlinien basieren derzeit weitgehend noch auf Klimadaten aus der Vergangenheit. Neue Erkenntnisse aus der Klimaforschung, z.B. Ergebnisse regionaler Klimamodelle, fließen bis dato kaum in diese Regelwerke ein. Das wäre jedoch unbedingt notwendig, da die Normen und Richtlinien eine wesentliche Grundlage für die Bauwerksplanung darstellen und somit darüber entscheiden, inwieweit das Bauwerk auch zukünftig seine Funktion erfüllt.

Der DWD hat begonnen, in Zusammenarbeit mit den Gremien DIN und VDI sowie Institutionen wie dem BBR/BBSR (**B**undesamt für **B**auwesen und **R**aumordnung / **B**undesinstitut für **B**au-, **S**tadt- und **R**aumforschung) die entsprechenden Regelwerke zu aktualisieren und Erkenntnisse aus Untersuchungen zum Klimawandel mit einzubringen. Darüber hinaus werden auf spezielle Fragestellungen des Bauwesens ausgerichtete Auswertungen regionaler Klimamodelle durchgeführt.

2. Neue Anforderungen an Bauwerke durch den Klimawandel

Globale und regionale Klimaprojektionen zeigen für die einzelnen Klimaparameter unterschiedlich stark ausgeprägte Änderungssignale. Während zum Beispiel bei der Lufttemperatur (Jahresmitteltemperatur, Anzahl der Tage pro Jahr mit Höchsttemperatur von mindestens 25,0 °C [Sommertage]) bereits recht deutliche Aussagen bis zum Ende des Jahrhunderts vorliegen, sind signifikante Änderungen bei der Windgeschwindigkeit (Jahresmittel, Häufigkeit und Intensität von Sturmereignissen) derzeit nicht zu erkennen. In der Tabelle 1 sind die aus Klimaprojektionen (IPCC, 2007) ableitbaren Veränderungen im Auftreten extremer Werte diverser Klimaparameter zusammen mit der jeweiligen Eintretenswahrscheinlichkeit aufgeführt.

Phänomen und Veränderung	Eintretenswahrscheinlichkeit im 21. Jahrhundert
Zunahme warmer/heißer Tage (90. Perzentil der Tagesmaximumtemperatur)	sehr wahrscheinlich
Häufigere und intensivere Hitzewellen	sehr wahrscheinlich
Weniger kalte Tage, z.B. Frosttage (10. Perzentil der Tagesminimumtemperatur)	sehr wahrscheinlich
Zunahme der Häufigkeit und Intensität von Starkniederschlag	sehr wahrscheinlich
Zunahme des Auftretens von Dürre	wahrscheinlich
Intensivierung außertropischer Stürme	unsicher
Zunehmende Häufigkeit von Gewittern und Tornados	unsicher

Tab. 1: Wahrscheinlichkeit des Auftretens extremer Witterungsereignisse auf Basis beobachteter Trends und Analysen von Klimaprojekten für das 21. Jahrhundert nach IPCC (2007)

Die Auswirkungen der in Tab. 1 genannten zu erwartenden bzw. möglichen Veränderungen im Witterungsgeschehen sollen exemplarisch an Gebäuden aufgezeigt werden. Gebäude dienen dem Schutz von Menschen und Gütern vor Witterungseinflüssen. Die Sicherung ihrer Funktionsfähigkeit, auch unter sich ändernden klimatischen Bedingungen, hat daher eine besondere Bedeutung.

Höhere Lufttemperaturen besonders in Verbindung mit häufigeren sommerlichen Hitzeperioden

Hiervon sind vor allem die Außenhülle (Dach, Wände, Fenster) sowie der Innenraum von Gebäuden betroffen. Neben der stärkeren Erwärmung der Gebäudeaußenhülle kann sich auch das Gebäudeinnere sowohl durch die warme Außenhülle als auch durch direktes Eindringen der Sonnenstrahlung aufheizen und so zu einer Reduktion des Wohnkomforts (steigende Wärmebelastung) bzw. zur Einschränkung der Nutzbarkeit des Gebäudes führen. Den Nachteilen im Sommer steht ein wahrscheinlich sinkender Heizbedarf im Winterhalbjahr gegenüber.

Vermehrte und ggf. intensivere Starkregenereignisse

Betroffen sind neben der Gebäudeaußenhülle auch im Erdreich liegende Bauteile (Fundamente). Besonders in Verbindung mit Wind erhöht sich die Gefahr des Eindringens von Wasser in das Gebäudeinnere. Aber auch durch einen ansteigenden Grundwasserspiegel und das oberflächliche Abfließen von Niederschlagswasser kann Feuchtigkeit in das Gebäude gelangen. Die Aufweichung des Erdbodens gefährdet u.U. die Standfestigkeit der Fundamente. In Hanglagen kann es zu Erdbeben mit einer sich daraus ergebenden Bedrohung der Gebäudesubstanz kommen. An gewässernahen Standorten sind auch vermehrte und ausgedehntere Überschwemmungen mit einer Gefährdung dort vorhandener Gebäude zu erwarten.

Häufigeres Auftreten von Dürre

Unmittelbare Auswirkungen auf Gebäude sind zunächst nicht anzunehmen. Erst bei längerer Andauer einer Dürreperiode kann es beispielsweise durch ein starkes Absinken des Grundwasserspiegels sowie von Schrumpfungsprozessen im Erdboden evtl. zu Beeinträchtigungen der Gebäudesubstanz kommen, die von Wandrissen bis hin zur Gefährdung der Standfestigkeit der Fundamente führen. Durch Wind aufgewirbeltes Bodensubstrat kann in Gebäudeöffnungen für Lüftung und Klimatisierung gelangen und so die Funktionstüchtigkeit der technischen Gebäudeausstattung negativ beeinflussen.

Intensivere Sturmereignisse (auch in Verbindung mit Gewittern)

Vorrangig werden dadurch das Dach, die Außenanlagen (Jalousien, Pergolen etc.) und evtl. vorhandene Fassadenverkleidungen betroffen. Hier besteht die Notwendigkeit, die Windfestigkeit von Dächern und Fassadenverkleidungen zu verstärken. Auch der zunehmenden Gefahr des Ablösens von am Gebäude angebrachten Außenanlagen ist vorzubeugen. Des Weiteren bestehen steigende Anforderungen an die Schlag- und Bruchfestigkeit der verwendeten Baumaterialien, z.B. im Hinblick auf Sturm in Verbindung mit Hagel.

Höhere Luftfeuchtigkeit

Auswertungen regionaler Klimamodelle lassen erkennen, dass die Winter milder aber auch niederschlagsreicher werden. Es ist daher nicht auszuschließen, dass im Winterhalbjahr eine höhere Luftfeuchtigkeit auftritt. Dies kann eine verzögerte und über gewisse Zeiträume auch gänzlich fehlende Abtrocknung von Bauteilen bewirken. Besonders für organische Baustoffe, wie z.B. Holz, im Bereich von Dach, Wand und Fenstern bestünde dann die Gefahr des vermehrten Auftretens von Fäulnisschäden. Durch Feuchtigkeit im Mauerwerk wären auch zunehmend Frostrisse zu erwarten.

Diese wenigen Beispiele zeigen bereits die Vielschichtigkeit des Problems. Auch andere Bauwerke und die Infrastruktur unterliegen den sich ändernden Witterungseinflüssen im Zuge des Klimawandels. Es können jedoch im Rahmen dieses Artikels nicht alle Facetten dieser Thematik abgehandelt werden. Für weitere Informationen wird daher an dieser Stelle auf die einschlägige Fachliteratur verwiesen (u.a. SUDAU & RUDOLF-MIKLAU, 2011; SCHUBERT, 2012; BAUER, 2011; GEORGES, 2008; CALTHORPE, 2010; MCCARTHY, 2001; VIVIAN & WILLIAMS, 2005; BLACKWELL, 2003).

Ein wichtiger Aspekt soll aber an dieser Stelle nicht unterschlagen werden, der im Prinzip auf dem Beispiel der Einzelgebäude aufbaut. Gemeint sind hiermit die Besonderheiten des Stadtklimas, die sich neben der Versiegelung der natürlichen Erdoberfläche auch durch die gegenseitige Beeinflussung einer Vielzahl von Gebäuden auf relativ engem Raum ergeben. Vorrangig sind in diesem Zusammenhang die städtische Wärmeinsel (UHI [Urban Heat Island]) und die lokale Niederschlagsmodifikation zu nennen (BÖHM & GABL, 1978; KUTTLER, 1997; HUPFER & KUTTLER, 2005; KUTTLER, 2009; LANDSBERG, 1981; OKE, 1987).

Die städtische Wärmeinsel beschreibt die je nach Tageszeit und Witterungsbedingungen auftretende Überwärmung des Stadtgebiets im Vergleich zum umgebenden Freiland. Sie ist in windschwachen wolkenarmen Wettersituationen in der Regel in den späten Nacht- und frühen Morgenstunden am stärksten ausgeprägt. In den Großstädten Mitteleuropas erreicht die Wärmeinselintensität Maximalwerte zwischen 6 K und 9 K. Besonders die verringerte nächtliche Abkühlung kann an heißen Sommertagen zu einer Beeinträchtigung des Wohlbefindens bzw. der Gesundheit der Stadtbewohner führen.

Die im Rahmen des Klimawandels zu erwartende Temperaturzunahme mit häufigeren sommerlichen Hitzeperioden wird voraussichtlich zu einem vermehrten Auftreten ausgeprägter Wärmeinselsituationen führen. Damit steigt die bereits bestehende Belastung der Einwohner in Städten und städtischen Ballungsgebieten durch hohe Lufttemperaturen sehr wahrscheinlich weiter an. Dies gilt vor allem für die am dichtesten bebauten und versiegelten Stadtbereiche.

Durch die Besonderheiten der Stadt, wie eine erhöhte Oberflächenrauigkeit durch die Bebauung sowie ein insgesamt meist höheres Temperaturniveau können unter geeigneten Wetterbedingungen vorzugsweise konvektive Niederschläge verstärkt oder sogar erst ausgelöst werden. Die zu erwartenden häufigeren und intensiveren Starkregenereignisse werden daher im städtischen Umfeld möglicherweise noch verstärkt. Da die dicht bebauten und versiegelten Flächen in der Stadt zu einem raschen Oberflächenabfluss des Niederschlagswassers führen, können ergiebiger Starkregenereignisse Überlastungen der Kanalisation und in der Folge Überschwemmungen verursachen.

3. Auswirkungen sich ändernder Klimabedingungen auf die Bautätigkeit

Nicht nur das Bauwerk, sondern auch das eigentliche Bauen selbst wird durch die Witterungsbedingungen beeinflusst. Beispielsweise können eine Reihe von Baumaterialien wie Beton, Mörtel, Klebstoffe oder Anstriche nur in bestimmten Temperaturbereichen verarbeitet werden. Vor allem Frost und sehr hohe Temperaturen schränken die Einsetzbarkeit vieler Baustoffe ein. Durch Starkregen wiederum können Bauwerksteile durch Eindringen von Feuchtigkeit beschädigt oder sogar fortgespült werden.

Ungünstige Witterungsbedingungen gefährden aber auch die auf der Baustelle arbeitenden Menschen. Besonders Schnee, Eis, Starkregen oder hohe Windgeschwindigkeiten erhöhen die Unfallgefahr. Einschränkungen oder Unterbrechungen der Bautätigkeit aufgrund widriger Witterungsumstände haben auch nicht unerhebliche wirtschaftliche Folgen, zum Beispiel durch eine verspätete Fertigstellung des Bauwerks oder durch Zusatzkosten infolge des Einsatzes spezieller Techniken, die das Weiterbauen unter schwierigen Wetterbedingungen ermöglichen.

Gegenwärtig behindern vor allem tiefe Lufttemperaturen (Frost), eine Schneedecke und Starkregen die Bauarbeiten. Zum Nachweis witterungsbedingter Einschränkungen bzw. Unterbrechungen der Bautätigkeit wurde zwischen der ehemaligen Bundesanstalt für Arbeit und dem DWD ein Bewertungsverfahren entwickelt, das unter Berücksichtigung der vorgenannten meteorologischen Parameter eine Einstufung für jeden Tag des Jahres erlaubt, ob und in welchem Ausmaß die Arbeiten auf der Baustelle durch die Witterungsverhältnisse beeinträchtigt sind. Dieses Verfahren, dessen Ergebnisse als „Schlechtwettertage“ bezeichnet werden, wird seit Jahrzehnten in der Bauwirtschaft genutzt.

Im Rahmen der Bestimmung der Schlechtwettertage wird jeder Arbeitstag in vier Kategorien eingestuft und zwar, ob das Wetter die Bauarbeiten nicht behindert, ungünstig beeinflusst, erschwert oder sehr erschwert. Dazu wird geprüft, ob die Parameter Lufttemperatur, 24-stündige Niederschlagshöhe, Niederschlagsdauer, Schneedeckenhöhe und Neuschneehöhe bestimmte Schwellenwerte über- oder unterschreiten. Die jeweils ungünstigste Einstufung für eines der erwähnten Wetterelemente führt dann zur Schlechtwetter-Einstufung für den betreffenden Tag.

Durch den Klimawandel werden sich sehr wahrscheinlich auch Veränderungen in der Häufigkeit von Einschränkungen der Bauarbeiten ergeben. Der DWD hat auf Basis eines Ensembles von 19 regionalen Klimamodellen untersucht, wie sich die Häufigkeit bestimmter Schlechtwettertage voraussichtlich bis zum Ende dieses Jahrhunderts entwickelt. Ausgewertet wurde dabei das Schlechtwetterkriterium „erschwerter Bautätigkeit“ mit den Parametern Lufttemperatur (Tagesmaximum unter 0 °C und Tagesminimum zwischen -6,9 °C und -4,0 °C oder Tagesmaximum über 0 °C und Tagesminimum unter -6,9 °C) und/oder Niederschlag (24-stündige Niederschlagshöhe mindestens 20 mm). In Klammern sind die in der Schlechtwetterauswertung verwendeten Schwellenwerte aufgeführt.

Das Ergebnis der Auswertungen ist in Abb. 1 dargestellt. Sie enthält die Änderung der Häufigkeit von Schlechtwettertagen bezogen auf das Kriterium „Bautätigkeit erschwert“ für die beiden Zeiträume 2021 bis 2050 und 2071 bis 2100 relativ zum Bezugszeitraum 1961 bis 1990. Zur Orientierung kann davon ausgegangen werden, dass derzeit im Flachland durchschnittlich 20 Tage pro Jahr mit erschwerter Bautätigkeit in Deutschland auftreten.

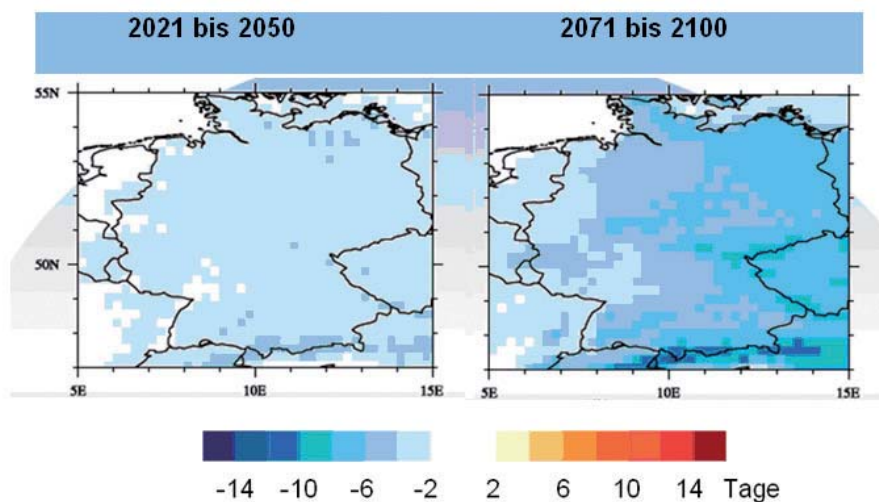


Abb. 1: Mittlere Änderung der Häufigkeit von Schlechtwetterlagen (Kriterium „Bautätigkeit erschwert“) relativ zu 1961 bis 1990. Basis: 19 regionale Klimamodelle in Bezug auf Witterungsbedingungen, die die Bautätigkeit erschweren

Aus Abb. 1 geht zunächst hervor, dass bis Mitte des Jahrhunderts die Veränderungen in der Häufigkeit von Schlechtwettertagen vergleichsweise gering bleiben. Im Mittel über Deutschland wird bis 2050 die jährliche Anzahl von Tagen mit erschwerter Bautätigkeit um etwa 3 zurückgehen. In der zweiten Jahrhunderthälfte wird sich dieser Rückgang verstärken. Je nach Region werden für den Zeitraum 2071 bis 2100 im Jahresmittel bis zu 10 Schlechtwettertage weniger im Vergleich zur Periode 1961 bis 1990 erwartet. Der ausgeprägteste Rückgang tritt im Osten und Süden Deutschlands auf.

Nähere Analysen haben gezeigt, dass der beschriebene Rückgang in der Häufigkeit von Tagen mit erschwerter Bautätigkeit wesentlich auf der Abnahme von Tagen mit zu niedrigen Lufttemperaturen (Frost) beruht. Besonders im Winterhalbjahr könnte dann insgesamt länger gebaut werden als bisher. Andererseits deuten die Auswertungen auf eine leichte Zunahme der Beeinträchtigungen des Bauens durch Starkniederschlag hin, was jedoch durch den Rückgang des Auftretens von Frost überkompensiert wird, so dass sich hinsichtlich erschwerter Bautätigkeit in dem definierten Sinne unter dem Strich eher eine Entlastung für den Bausektor abzeichnet.

Spürbare Behinderungen der Arbeit am Bau könnten sich allerdings durch zukünftig vermehrt auftretende Hitzeperioden im Sommerhalbjahr ergeben. Dazu wurde wiederum ein Ensemble von 19 regionalen Klimamodellen hinsichtlich der Veränderung in der Häufigkeit des Auftretens der jährlichen Anzahl heißer Tage (Tagesmaximumtemperatur mindestens 30,0 °C) untersucht. Die Ergebnisse dieser Untersuchung sind in Abb. 2 dargestellt. Für die beiden Projektionszeiträume 2021 bis 2050 und 2071 bis 2100 ist jeweils die mittlere Veränderung der jährlichen Anzahl heißer Tage im Vergleich zur Referenzperiode 1961 bis 1990 aufgeführt. Zur Einschätzung der Ergebnisse sei hier noch erwähnt, dass die bezogen auf 1961 bis 1990 in Deutschland im Flächenmittel vorkommende mittlere Anzahl heißer Tage bei 6 bis 7 pro Jahr liegt.

Wie Abb. 2 verdeutlicht, nimmt die mittlere jährliche Anzahl heißer Tage im Laufe des Jahrhunderts erkennbar zu. Bis zur Jahrhundertmitte ist vor allem der Südwesten Deutschlands betroffen. Dort sind im Jahresmittel bis zu etwa 8 Tage mehr zu erwarten, an denen das Tagesmaximum der Lufttemperatur mindestens 30 °C erreicht. Diese Entwicklung wird sich nach den derzeitigen Erkenntnissen in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts beschleunigen. Insbesondere im Süden Deutschlands sind verbreitet über 20 heiße Tage mehr im Vergleich zum Referenzzeitraum 1961 bis 1990 anzunehmen. Nur der äußerste Norden mit den Küsten von Nord- und Ostsee bleibt von der Zunahme heißer Tage weitestgehend verschont.

Hitze gehört bisher nicht zu den Kriterien bei der Definition der Schlechtwettertage für die Bauwirtschaft. Dennoch können sehr hohe Lufttemperaturen ebenfalls zu Beeinträchtigungen der Bautätigkeit führen. So sind bei Hitze Einschränkungen in der Verarbeitbarkeit bestimmter Baumaterialien möglich. Beispielsweise wäre im Straßenbau der Einsatz von Asphalt zunehmend problematisch und müsste u.U. durch andere Baumaterialien wie Beton ersetzt werden. Darüber hinaus kann Hitze eine gesundheitliche Belastung der am Bau eingesetzten Arbeitskräfte bedeuten und ggf. die Arbeitsleistung beeinträchtigen. Es ist also zu überlegen, das Kriterium „Hitze“ aufgrund der zu erwartenden Zunahme entsprechender Witterungsverhältnisse in ein Bewertungsschema zur Behinderung der Bautätigkeit mit einzubeziehen.

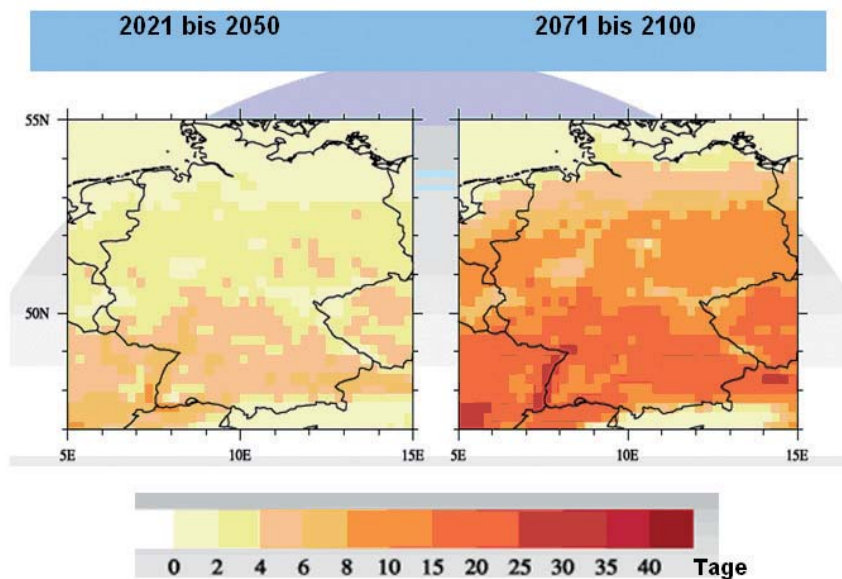


Abb. 2: Mittlere Änderung der mittleren Häufigkeit heißer Tage (Tagesmaximumtemperatur mindestens 30 °C) relativ zu 1961 bis 1990. Basis: 19 regionale Klimamodelle

4. Anpassung des Bauwesens an veränderte Klimaverhältnisse

Die geschilderten Veränderungen der für das Bauen relevanten Klimaparameter erfordern die Anpassung der Bauwirtschaft an den Klimawandel, um weiterhin langfristig funktionstüchtige Bauwerke sowie ein kosten- und energieeffizientes Bauen zu gewährleisten. Die Anpassungsmaßnahmen umfassen dabei ein breites Spektrum, das von den Baurichtlinien und Normen über die Bauweise und die Verwendung von Baumaterialien bis zum Einsatz der Arbeitskräfte an der Baustelle reicht. Bereits in der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS, 2008) des Umweltbundesamtes wurde auf die Notwendigkeit der Klimawandelanpassung des Bauwesens hingewiesen.

Welchen Umfang die verschiedensten Anpassungsmaßnahmen an veränderte Klimaverhältnisse annehmen können, lässt sich an dieser Stelle nur recht verkürzt darstellen. In Abschnitt 2 waren einige Auswirkungen des Klimawandels auf Gebäude und Städte beschrieben worden. Nachfolgend sollen daher einige Anpassungsmaßnahmen im Gebäudebereich und im Städtebau skizziert werden.

Höhere Lufttemperaturen

In den kommenden Jahrzehnten muss sehr wahrscheinlich mit weiter ansteigenden Lufttemperaturen gerechnet werden. Vorrangig sind daher Maßnahmen zu ergreifen, die eine zu starke Erwärmung der Gebäude, vor allem des Gebäudeinneren, im Sommerhalbjahr verhindern. Dies kann zum Einen durch eine geeignete Gestaltung der Gebäudeaußenhülle (Dach, Wände, Fenster), durch Verwendung von Baumaterialien mit geringer Wärmeleitfähigkeit und hohem Reflexionsvermögen bezüglich der Sonneneinstrahlung, einer Dach- und Fassadenbegrünung (KÖHLER, 2008) sowie einem Sonnenschutz (z.B. Außenjalousien), der das Eindringen der Sonneneinstrahlung durch die Fenster in das Gebäudeinnere reduziert, erreicht werden.

Zum Anderen können auch Maßnahmen im Bereich der technischen Gebäudeausstattung dazu beitragen, dass die Innenraumtemperaturen nicht zu sehr ansteigen. Konventionelle Klimaanlage sollten allerdings nur in Fällen, in denen dies unvermeidbar ist, eingesetzt werden, da neben dem Energieverbrauch zum Betrieb der Klimaanlage auch Abwärme anfällt, die an die Außenluft abgeführt wird und besonders in Stadtgebieten so zu einer unerwünschten Wärmequelle wird, gerade dann, wenn ohnehin hohe Lufttemperaturen herrschen. Eine Alternative wären intelligente Lüftungssysteme, die an den Witterungsverlauf angepasst das Öffnen und Schließen der Gebäudeöffnungen steuern und somit die Aufheizung der Innenräume reduzieren oder verhindern.

Eine bessere Wärmedämmung der Gebäudeaußenhülle verringert im Winter den Wärmeverlust an die Umgebungsluft. Obwohl die Winter voraussichtlich insgesamt milder werden, werden weiterhin Heizungen in den Gebäuden benötigt. Die Wärmedämmung reduziert damit auch den Energiebedarf zur Erwärmung des Gebäudeinneren. Soweit fossile Brennstoffe verwendet werden, wird dann weniger CO₂ freigesetzt und somit ein Beitrag zum Klimaschutz geleistet. Darüber hinaus ist zu beachten, dass auch erneuerbare Energien in der Regel nicht unbegrenzt zur Verfügung stehen, so dass ein effizienter Energieeinsatz, z.B. zum Heizen, ohnehin anzustreben ist (NAUMER, 2008).

Besondere Anstrengungen sind in der Stadtplanung gefordert, damit sich die bestehenden ungünstigen Auswirkungen der Stadt auf das Lokalklima durch den Klimawandel nicht weiter verstärken (BICKNELL et al., 2009; CALTHORPE, 2010; HANDBUCH STADTKLIMA, 2011). Eine wichtige Zielsetzung besteht dabei in der Reduktion der urbanen Wärmeinsel. Wesentliche Maßnahmen zu diesem Zweck sind die Verbesserung der Durchlüftung der Stadt (z.B. Ausbau und Neuplanung von Frischluftschneisen, Anlage von Wasserflächen, perforierte Bauweise durch Mischung bebauter und naturbelassener Flächen), die Erweiterung vegetationsbestandener Flächen (z.B. Anpflanzung von Bäumen, Fassadenbegrünung, Dachgärten) und die Vermeidung zusätzlicher Wärmeproduktion (z.B. Vermeidung von Klimaanlage zur Gebäudekühlung, Ausbau des öffentlichen Nahverkehrs, Erhöhung der Energieeffizienz, vermehrter Einsatz regenerativer Energieformen).

Häufigere Starkregenereignisse

Zum Schutz vor zukünftig zu erwartenden häufigeren und auch intensiveren Starkregenereignissen steht zunächst die Erhöhung der Gebäudedichtigkeit im Vordergrund. Dies gilt vor allem für Gebäudeöffnungen wie Türen und Fenster aber auch für das Dach. Des Weiteren ist für eine ausreichende Entwässerung (Drainage) am Gebäude zu sorgen, um das Eindringen von Wasser aus dem Erdreich oder des ggf. oberflächlich abfließenden Niederschlagswassers zu verhindern. Speziell in Hanglagen ist an die Erhöhung der Festigkeit der Fundamente sowie an die Absicherung des Geländes gegen Erdbeben zu denken (BLACKWELL, 2003; VIVIAN et al., 2005).

In Stadt- und Ballungsräumen besteht aufgrund der vielfach versiegelten und bebauten Flächen die Gefahr, dass Niederschlagswasser bei Starkregenereignissen konzentriert oberflächlich, d.h. entlang von Straßenzügen abfließt oder durch Überforderung der Kanalisation an die Oberfläche tritt und zu Überflutungen führt. Prinzipiell sollten daher dem Niederschlagswasser durch die Reduzierung versiegelter Bereiche, z.B. durch Anlage von Grünflächen oder den Einsatz von Dachbegrünungen Möglichkeiten zur Versickerung gegeben werden. Der Oberflächenabfluss kann auch durch den Bau von Rückhaltebecken oder die Anpassung (Neubemessung) der Kanalisation verringert werden.

Intensivere Stürme

Stürme beanspruchen im Besonderen die Außenhülle (Dach, Wände) von Gebäuden (MC-CARTHY, 2001; VIVIAN et al., 2005). Durch Schäden am Dach kann es zum Beispiel durch eindringendes Niederschlagswasser zu weiteren Folgeschäden kommen, die die Funktion des Gebäudes u.U. ganz erheblich einschränken. Um sich auf im Rahmen des Klimawandels möglicherweise auftretende höhere Windgeschwindigkeiten bei Stürmen anzupassen, wäre vor allem die Windfestigkeit von Dächern zu erhöhen. Aber auch die Fassadenverkleidungen sollten verstärkt gegen Fortwehen gesichert werden.

Hohe Windgeschwindigkeiten besonders in Verbindung mit Hagel aber zum Beispiel auch zusammen mit abgerissenen Zweigen und Ästen oder anderen sich lösenden Teilen führen zur Beschädigung der Außenhülle eines Gebäudes. Dem kann in einem gewissen Rahmen durch die Erhöhung der Schlag- und Bruchfestigkeit der für die Gebäudehülle verwendeten Baumaterialien begegnet werden. Die Anlage eines Windschutzes, beispielsweise durch Bewuchs, in der Umgebung des Gebäudes kann als Gegenmaßnahme im Fall höherer Windgeschwindigkeiten sinnvoll sein.

In der Tab. 2 sind einige Anpassungsmaßnahmen im Bereich von Gebäuden sowie der Stadtplanung, die aufgrund der zu erwartenden zukünftigen Veränderungen einer Reihe von Klimaparametern erforderlich sind, zusammengefasst.

Klimaparameter	betroffen	Anpassungsmaßnahmen
Lufttemperaturanstieg	Gebäude	Dach- und Wandisolierung, Sonnenstrahlung reflektierende Anstriche, Fassaden- und Dachbegrünung, Sonnenschutz (Rollläden, Jalousien u.a.), Abschattung durch Bäume, „intelligente“ Lüftung (keine Klimaanlage)
Lufttemperaturanstieg	Stadt	Ausbau und Planung von Frischluftschneisen, Durchgrünung (Dach, Fassade, ebenerdig), Anpflanzung von Bäumen (Schatten), Anlage von Wasserflächen, Perforierte Bauweise (Wechsel von bebauten und naturbelassenen Flächen), Ausbau des öffentlichen Nahverkehrs, Vermeidung konventioneller Klimaanlagen, Erhöhung der Energieeffizienz
Vermehrter Starkregen	Gebäude	Erhöhung der Bauwerksdichtigkeit (Abdichten von Dach, Fenster und Türen u.a.), ausreichende Entwässerung (Drainage), besonders in Hanglagen Erhöhung der Standfestigkeit der Fundamente, Absicherung des Geländes gegen Hangrutschungen
Vermehrter Starkregen	Stadt	Reduzierung der versiegelten Flächen, mehr Stadtgrün (Parks, Bäume, Dachgärten), Anlage von Rückhaltebecken, Neubemessung der Kanalisation
Intensivere Stürme	Gebäude	Erhöhung der Windfestigkeit von Dächern und Fassadenverkleidungen, Vermeidung oder verstärkte Befestigung von Außenanlagen, Erhöhung der Schlag- und Bruchfestigkeit von Baumaterialien, Anlage von Windschutz (z.B. durch Bewuchs)
Erhöhte Luftfeuchtigkeit (Winter)	Gebäude	Verwendung feuchtigkeitsabweisender bzw. feuchteresistenter Baustoffe, geeigneter Oberflächenschutz (z.B. Anstriche), Gewährleistung einer ausreichenden Durchlüftung am und im Gebäude (z.B. Vermeidung von Schimmelbildung)

Tab. 2: Einige Anpassungsmaßnahmen im Bereich Bauwerke (Gebäude) und Stadtplanung im Hinblick auf sich im Zuge des Klimawandels voraussichtlich ändernder Klimaparameter.

Natürlich stellen die beschriebenen Anpassungsmaßnahmen im Bereich Gebäude und Stadtplanung im Rahmen dieses Artikels nur einen begrenzten Ausschnitt aus dem gesamten Anpassungsbedarf des Bauwesens an den Klimawandel dar. Beispielsweise gehört die gesamte Verkehrs- und Versorgungsinfrastruktur zu einem weiteren wichtigen Bereich des Bauwesens, der dem Klimawandel im beträchtlichen Ausmaß unterliegt. So müssen z. B. Straßen, Schienenwege oder Stromleitungen so ausgelegt werden, dass sie ihre Funktionstüchtigkeit auch in Zukunft behalten. Entscheidend hierbei kann die Wahl des geeigneten Baumaterials aber auch die Trassenführung mit Schutz vor Witterungseinflüssen wie Windbruch oder Überflutung u.a. sein.

Um Anpassungsmaßnahmen im Bauwesen an den Klimawandel sowohl möglichst wirksam als auch wirtschaftlich treffen zu können, benötigen Planer, Architekten und Ingenieure umfassende und auf den neuesten wissenschaftlichen Erkenntnissen beruhende Informationen zu den zu erwartenden Klimaveränderungen. Hierzu arbeitet der Deutsche Wetterdienst bereits seit Jahren an der Auswertung regionaler Klimamodelle und stellt in zunehmendem Maße auch Klimainformationen der Bauwirtschaft und für das Bauwesen verantwortlicher Institutionen zur Verfügung. Damit unterstützt der DWD die Anpassung des Bauwesens an die Anforderungen durch den Klimawandel.

5. Der DWD unterstützt die Bauwirtschaft bei der Anpassung an den Klimawandel

In Deutschland bestehen Grundsätze (Baugesetzbuch, Verordnungen, Richtlinien und Regelwerke), wie in unterschiedlichen Regionen unter den jeweiligen Klimaverhältnissen zu bauen ist. Derzeit basieren Normen und Regelwerke im Bauwesen auf Klimadaten, die aus Mess- und Beobachtungswerten vergangener Jahre und Jahrzehnte stammen. In Zeiten des Klimawandels besteht jedoch die Notwendigkeit, die Regelungen für das Bauen sowohl an aktuelle Klimabedingungen anzupassen als auch Erkenntnisse über das zukünftige Klima mit einfließen zu lassen. Dies gilt besonders im Hinblick darauf, dass Gebäude und Infrastrukturen in der Regel über lange Zeiträume hinweg genutzt werden und so auch Veränderungen in den Klimaverhältnissen die Funktion der Bauwerke beeinträchtigen können.

Der DWD hat zwischenzeitlich begonnen, zusammen mit verantwortlichen Institutionen wie dem **Verein Deutscher Ingenieure (VDI)** oder dem **Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR)** im **Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)** Richtlinien und Regelwerke für das Bauen zu aktualisieren und erstmals auch Ergebnisse aus den Analysen regionaler Klimamodelle darin aufzunehmen. Beispiele hierfür sind die VDI-Richtlinie 4710, Blatt 3 Meteorologische Grundlagen für die technische Gebäudeausrüstung (VDI, 2009) und die sog. Testreferenzjahre, ein Datensatz zur thermischen Gebäudesimulation.

Testreferenzjahre

Die Testreferenzjahre, abgekürzt auch als TRY (**T**est **R**eference **Y**ears) bezeichnet, stehen den Anwendern bereits seit über 25 Jahren zur Verfügung. Die Erstausgabe erfolgte im Jahr 1986 (BLÜMEL et al, 1986). Eine Aktualisierung der Datensätze erfolgte dann im Jahr 2004 (CHRISTOFFER et al, 2004). Die TRY enthalten stündliche Werte diverser meteorologischer Parameter (Lufttemperatur, Wolkenbedeckungsgrad, Wasserdampfgehalt der Luft, Windrichtung, Windgeschwindigkeit, solare Einstrahlung u.a.) von auf Basis statistischer Methoden ausgewählter Repräsentanzstationen, die den typischen Witterungsverlauf eines Jahres in 15 unterschiedlichen Klimaregionen Deutschland darstellen.

Diese Datensätze werden vorrangig von Ingenieuren dazu benutzt, das thermische Verhalten von Gebäuden unter verschiedenen Klimaverhältnissen zu simulieren. Daraus können auch Aussagen zur erforderlichen Dimensionierung von Heizungs-, Klima- und Lüftungsanlagen abgeleitet sowie der Energieverbrauch für die Gebäudeklimatisierung berechnet werden. Sie stellen somit ein wichtiges Instrument dar, um Gebäude so zu planen, dass mit möglichst geringem Energieaufwand ein optimales Innenraumklima erzielt werden kann.

Bereits kurz nach der Aktualisierung der TRY im Jahr 2004 auch in Anbetracht des in weiten Teilen Deutschlands außergewöhnlich heißen Sommers 2003 wuchsen die Nachfragen aus Anwenderkreisen, inwieweit die Datensätze auf die Zukunft übertragen werden können. Die Erkenntnisse aus dem 4. IPCC-Bericht 2007 (IPCC, 2007) gaben diesen Nachfragen weiteren Auftrieb. Im Auftrag des BBSR und in Zusammenarbeit mit der Firma CEC-Potsdam GmbH führte der DWD vom April 2009 bis zum März 2011 ein spezielles Projekt durch, in dem neben einer weiteren Aktualisierung der TRY-Datensätze auch Erkenntnisse aus regionalen Klimamodellen für die zukünftige Klimaentwicklung bis 2050 einfließen.

Die Testreferenzjahre bestehen jetzt erstmals nicht nur aus einem Datensatz, der die gegenwärtigen Klimaverhältnisse basierend auf den Zeitraum 1988 bis 2007 beschreibt, sondern beinhaltet auch einen vom Aufbau identischen Datensatz, der die für den Zeitraum 2021 bis 2050 zu erwartenden Klimabedingungen enthält. Das sog. „Zukunfts-TRY“ wurde auf der Grundlage von 5 regionalen Klimamodellen entwickelt. Mit diesen Datensätzen können Gebäude nun zukunftsicherer geplant werden, insbesondere was die Bereitstellung eines optimalen Innenraumklimas betrifft. In Abb. 3 sind exemplarisch die typischen Jahrgänge der Lufttemperatur sowohl für den Zeitraum 1988 bis 2007 als auch von 2021 bis 2050 an der Station Mannheim, die die Klimaverhältnisse der Region „Oberrheingraben und unteres Neckartal“ repräsentiert, dargestellt.

Neben dem typischen Jahrgang der Lufttemperatur in den beiden Zeiträumen 1988 bis 2007 und 2021 bis 2050 enthält Abb. 3 auch die Jahresmitteltemperaturen aus den beiden Zeiträumen. Daraus wird ersichtlich, dass insgesamt bis zur Mitte dieses Jahrhunderts eine Erwärmung um 1,3 K in der durch die Station Mannheim repräsentierten Klimaregion Oberrheingraben und unteres Neckartal zu erwarten ist. Beide Datensätze der Testreferenzjahre können unmittelbar in die von den anwendenden Ingenieuren betriebenen Gebäudesimulationsprogramme aufgenommen werden. Nähere Informationen zu den aktualisierten Testreferenzjahren sind unter www.dwd.de/TRY zu finden. Dort sind auch Hinweise enthalten, wie die Datensätze bestellt bzw. direkt heruntergeladen werden können.

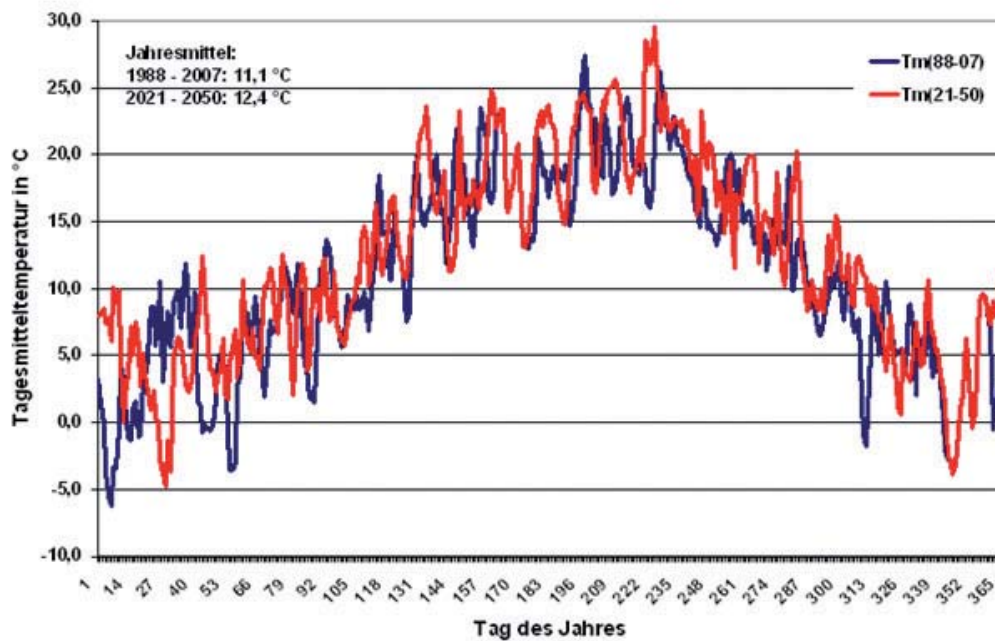


Abb. 3: Verlauf der Tagesmitteltemperaturen im Jahresgang der Testreferenzjahre (TRY) für die Gegenwart (Zeitraum 1988 bis 2007) und die Zukunft (Zeitraum 2021 bis 2050) mit Daten der Repräsentanzstation Mannheim für die Klimaregion „Oberrheingraben und unteres Neckartal“. Tm(88-07) : Tagesmitteltemperaturen aus dem Zeitraum 1988 bis 2007, Tm(21-50) : Tagesmitteltemperaturen aus dem Zeitraum 2021 bis 2050 auf Basis von 5 regionalen Klimamodellen.

Stadtplanung

In der Stadtplanung werden Maßnahmen projiziert, die in der Regel über viele Jahrzehnte Bestand haben. Um Maßnahmen so umzusetzen, dass sie das Stadtklima nicht nachteilig beeinflussen, sind neben der Kenntnis des grundsätzlichen Wirkungsbezuges zwischen geplanter Maßnahme und Stadtklima auch Kenntnisse über die zukünftig zu erwartende Veränderung der klimatischen Verhältnisse selbst erforderlich. Vor allem gilt es zu klären, in welcher Weise sich schon heute zeitweise die Stadtbewohner belastende Phänomene, wie z.B. die städtische Überwärmung in Form der städtischen Wärmeinsel, in Häufigkeit und Intensität zukünftig entwickeln können.

Auf Basis des Stadtklimamodells MUKLIMO_3 (Mikroskaliges Urbanes Klimamodell; SIEVERS, 1990, 1995; SIEVERS & ZDUNKOWSKI, 1986) hat der DWD eine Methode entwickelt, um mit den Daten regionaler Klimamodelle vorrangig die Veränderung der thermischen Bedingungen in Städten und Ballungsgebieten zu bewerten (FRÜH et al., 2011a). In einem Pilotprojekt mit der Stadt Frankfurt am Main wurde mit dieser Methodik sowohl die vergangene als auch die in Zukunft zu erwartende Entwicklung des städtischen Lufttemperaturregimes untersucht. Dabei können auch einzelne Stadtstrukturen mit ihrer Bebauung und ihrer Flächennutzung berücksichtigt werden.

Ein weiterer Vorteil der genannten Stadtklimasimulationen besteht darin, dass geplante, also noch gar nicht realisierte Maßnahmen, in ihren Auswirkungen auf das Stadtklima bewertet werden können.

Für die Abschätzung der zukünftigen Entwicklung der Lufttemperatur im Gebiet der Stadt Frankfurt/Main bis zur Mitte dieses Jahrhunderts (FRÜH et al., 2011b) wurden die Klimaprojektionen der regionalen Klimamodelle CLM (KEULER & LAUTENSCHLAGER, 2006), REMO (JACOB, 2005; JACOB et al., 2008), STAR (ORLOWSKY et al., 2008) und WETTREG (KREIEN-KAMP & ENKE, 2006) auf Basis des gemäßigten Emissionsszenarios A1B (IPCC, 2007) verwendet. Damit konnte gezeigt werden, dass in Frankfurt/Main bis 2050 die jährliche Anzahl der Sommertage (Tage mit einem Temperaturmaximum von mindestens 25,0 °C) von gegenwärtig 44 pro Jahr um weitere 5 bis 31 Tage pro Jahr ansteigt, wie Abb. 4 noch einmal verdeutlicht.

Ein weiterer interessanter Teilaspekt der o.g. beim DWD durchgeführten Stadtklimauntersuchung ergibt sich dadurch, dass die zu erwartende Zunahme der jährlichen Anzahl von Sommertagen sich kaum zwischen Stadt und Umland unterscheidet. Damit wird die Belastung der Menschen durch hohe Lufttemperaturen sowohl in der Stadt als auch außerhalb in etwa dem gleichen Ausmaß ansteigen. Andererseits werden sich jedoch häufiger ausgeprägte Wärmeinselsituationen, wie sie typisch für wolkenarme und windschwache Wetterlagen sind, einstellen und im Sommerhalbjahr dann auch öfter mit hohen Lufttemperaturen das Wohlbefinden der Stadtbevölkerung beeinträchtigen.

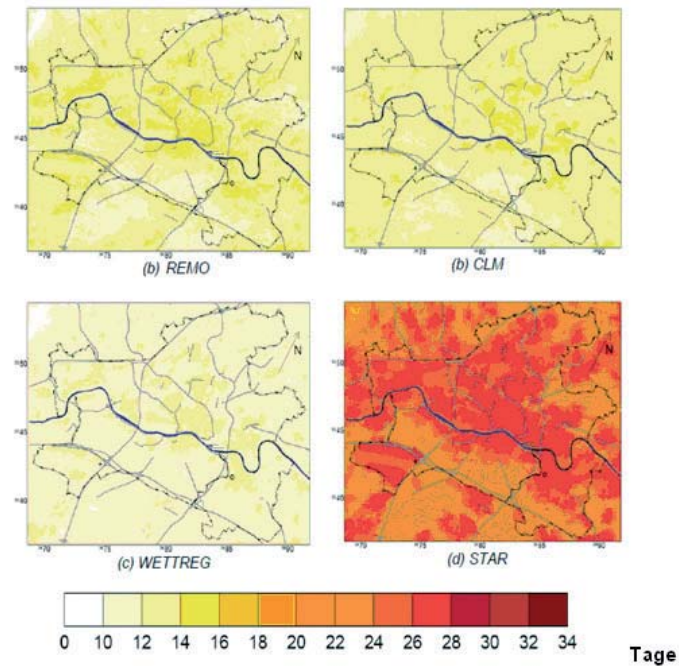


Abb. 4: Änderungen der mittleren jährlichen Anzahl der Sommertage zwischen den Zeiträumen 1971 bis 2000 und 2021 bis 2050 bei 4 regionalen Klimamodellen und dem IPCC-Emissionsszenario A1B für das Stadtgebiet Frankfurt/Main aus FRÜH et al. (2011b)

Wie bereits erwähnt, können mit den Stadtklimasimulationen auch die lokalklimatischen Auswirkungen von Stadtplanungsmaßnahmen vor ihrer Realisierung abgeschätzt werden. In dem beschriebenen Pilotprojekt mit der Stadt Frankfurt am Main wurden daher auch die möglichen Auswirkungen schon vorliegender Stadtplanungsmaßnahmen auf die lokalen Temperaturverhältnisse bewertet. Nach FRÜH et al. (2011) konnte gezeigt werden, dass eine Umwandlung von bebauten Flächen in Grünflächen die durch den Klimawandel erwartete Zunahme an Sommertagen ungefähr halbieren würde. Auf der anderen Seite kann die Bebauung einer Grünfläche die mögliche Zunahme an jährlichen Sommertagen in etwa verdoppeln.

Allerdings werden die lokalklimatischen Auswirkungen der genannten Einzelmaßnahmen räumlich auf die nahe Umgebung begrenzt bleiben. Für die Gestaltung einer „klimawandelgerechten“ Stadt, in der die negativen Folgen des Stadtklimas reduziert werden, wären geeignete Maßnahmen, wie z.B. Anlage von Frischluftschneisen, Schaffung und Erweiterung von Grünzügen und Parkanlagen, aufgelockerte Bauweise oder Dach- und Fassadenbegrünung, zu bündeln und in möglichst allen Stadtteilen umzusetzen.

6. Fazit

Der Klimawandel stellt das Bauwesen vor neue Herausforderungen. So wird sich zum Beispiel durch häufigere sommerliche Hitzeperioden, durch vermehrte und intensivere Starkregenereignisse oder durch Stürme mit möglicherweise höheren Windgeschwindigkeiten die Witterungsbeanspruchung von Bauwerken und Infrastruktur erhöhen. Um die optimale Funktion von Bauwerken und Infrastruktur auch zukünftig zu gewährleisten, sind umfangreiche Anpassungsmaßnahmen an sich verändernde Klimabedingungen erforderlich. Wie bereits die in diesem Beitrag näher aufgeführten Beispiele im Bereich Gebäude und Stadtplanung zeigen, überdecken die notwendigen Anpassungsmaßnahmen ein weites Spektrum, das von der Aktualisierung und Neufassung von Baurichtlinien und Normen über konkrete Bau- und Planungsmaßnahmen, wie verstärkter Schutz von Bauwerken vor extremen Wetterereignissen und Reduzierung lokalklimatisch nachteiliger Auswirkungen des Stadtklimas, bis zum effizienteren Energieeinsatz für die Innenraumklimatisierung von Gebäuden reicht.

Die Bautätigkeit selbst wird voraussichtlich ebenfalls von den Folgen des Klimawandels betroffen sein. Im DWD durchgeführte Analysen deuten daraufhin, dass Frostperioden im Winterhalbjahr seltener werden. Damit besteht die Aussicht, im Winter länger bauen zu können als das bisher der Fall ist. Andererseits könnten zunehmend auftretende Hitzeperioden im Sommer zu einem Problem werden sowohl was die Leistungsfähigkeit der am Bau Beschäftigten als auch den Einsatz bestimmter Baumaterialien betrifft. Anpassungsmaßnahmen im Bereich der Bautätigkeit können beispielsweise in an extreme Witterung (Hitze u.a.) angepasste Arbeitsbedingungen und in der Verwendung für diese Witterungsverhältnisse besser geeigneter Baustoffe bestehen.

Die Anpassung des Bauwesens an den Klimawandel wird vor allem bei bestehenden Bauwerken und der Infrastruktur erhebliche Investitionen erfordern. Das Ziel der Anpassungsmaßnahmen besteht in der langfristigen Sicherung der Nutzbarkeit und Funktion

von Bauwerken und Infrastruktur sowie in der Erhöhung der Energieeffizienz, insbesondere bei der Innenraumklimatisierung von Gebäuden. Damit können entsprechende Anpassungsmaßnahmen auch dazu beitragen, dass weniger Treibhausgase freigesetzt und das Ausmaß des Klimawandels verringert werden.

Die begonnene Zusammenarbeit mit Planern, Architekten und Ingenieuren sowie für die Erstellung von Baurichtlinien und Regelwerken verantwortlichen Institutionen wird der DWD fortsetzen und vertiefen. Fundierte Erkenntnisse aus der Klimatologie und aus der Analyse globaler und regionaler Klimamodelle zur zukünftigen Klimaentwicklung bilden die Basis einer effektiven, aber auch ökonomischen Anpassungsstrategie der Bauwirtschaft an sich verändernde Klimaverhältnisse.

7. Literaturzitate

- BAUER, M., G. HAUSLADEN, M. HEGGER, H.-D. HEGNER, T. LÜTZENKOPF, J. RADERMACHER, K. SEDLBAUER, W. SOBECK (2011): Nachhaltiges Bauen: Zukunftsfähige Konzepte für Planer und Entscheider. Deutsches Institut für Normung e.V., Beuth-Verlag, 240 pp.*
- BICKNELL, J., D. DODMAN, D. SATTERTHWAITTE (2009): Adapting Cities to Climate Change: Understanding and Addressing the Development Challenges. earthscan from Routledge, 397 pp.*
- BLACKWELL, J. (2003): Climate change and construction. University of Manchester. Dept. of Mechanical, Aerospace and Civil Engineering, 77 pp.*
- BLÜMEL, K., HOLLAN, E., KÄHLER, M., PETER, R. (1986): Entwicklung von Testreferenzjahren (TRY) für Klimaregionen der Bundesrepublik Deutschland. Forschungsbericht T 86-051, Technologische Forschung und Entwicklung – Nichtnukleare Energietechnik -, Bundesministerium für Forschung und Technologie.*
- BÖHM, R. und GABL, K. (1978): Die Wärmeinsel einer Großstadt in Abhängigkeit von verschiedenen meteorologischen Parametern. Arch. Meteorol. Geoph. Biokl., Ser. B 26, 219 – 237.*
- CALTHORPE, P. (2010): Urbanism in the Age of Climate Change. ISLAND PRESS, 145 pp.*
- CHRISTOFFER, J., DEUTSCHLÄNDER, T., WEBS, M. (2004): Testreferenzjahre von Deutschland für mittlere und extreme Witterungsverhältnisse TRY. Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes, Offenbach a. Main.*
- FRÜH, B., P. BECKER, T. DEUTSCHLÄNDER, J.-D. HESSEL, M. KOßMANN, I. MIESKES, J. NAMYS-LO, M. ROOS, U. SIEVERS, T. STEIGERWALD, H. TURAU, U. WIENERT (2011a): Estimation of climate change impacts on the urban heat load using an urban climate model and regional climate projections. J. Appl. Met. And Climatol., Vol. 50, No. 1, 167 – 184.*
- FRÜH, B., M. KOßMANN, M. ROOS, MARITA (Hrsg.: Deutscher Wetterdienst) (2011b): Frankfurt am Main im Klimawandel – Eine Untersuchung zur städtischen Wärmebelastung. Offenbach am Main: Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes, (Berichte des Deutschen Wetterdienstes; 237) ISBN 978-3-88148-453-4.*
- GEORGES, M. (2008): Bauen im Zeitalter des Klimawandels: Klimaschutz für Hamburg: Hinweise für Planer, Bauherren und Architekten. Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt, Hamburg, 48 pp.*
- HANDBUCH STADTKLIMA (2011): Maßnahmen und Handlungskonzepte für Städte und Ballungsräume zur Anpassung an den Klimawandel. Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, mediateam, Erftstadt, 68 pp.*
- HUPFER, P. (Hrsg.) & KUTTLER, W. (Hrsg.) (2005): Witterung und Klima. Eine Einführung in die Meteorologie und Klimatologie. B.G. Teubner, Stuttgart, Leipzig, Wiesbaden.*

JACOB, D. (2005):

REMO Climate of the 20th century run No. 006210, 1950-2000 und A1B scenario run No. 006211, 2001-2100.
UBA Project, 0.088 degree resolution, 1h Data. CERA-Datenbank:
<http://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/BrowseExperiments.jsp?proj=REMO-UBA>

JACOB, D., H. GÖTTEL, S. KOTLARSKI, P. LORENZ, K. SIECK (2008):

Klimaauswirkungen und Anpassung in Deutschland - Phase 1: Erstellung regionaler Klimaszenarien für Deutschland.
Tech. Rep. Abschlussbericht zum UFOPLAN Vorhaben 204 41 138, 11, 154pp, UBA-Reihe Climate Change, Dessau.

KEULER, K. & M. LAUTENSCHLAGER (2006):

Climate Simulations with CLM. Climate of the 20th Century run No.1, 1960-2000, Data Stream 2 und Scenario A1B run No.1, 2001-2100, Data Stream 2. European region, MPI-M/MaD. CERA-Datenbank:
http://cerawww.dkrz.de/WDCC/ui/BrowseExperiments.jsp?proj=CLM_regional_climate_model_runs

KÖHLER, M., 2008:

Green facades – a view back and some visions. – Urban Ecosystems. doi: 10.1007/s11252-008-0063-x.

KREIENKAMP, F. & W. ENKE, 2006:

WETTREG 20C control run 1961-2000 und WETTREG A1B scenario run 2001-2100, UBA Project. CERA-Datenbank:
<http://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/BrowseExperiments.jsp?proj=WETTREG-UBA>

KUTTLER, W. (1997):

Städtische Klimamodifikation. VDI-Berichte 1330, 87 – 108.

LANDSBERG, H. E. (1981):

The Urban Climate. Int. Geophys. Ser. 28, Academic Press, New York.

MCCARTHY, J. J. (2001):

Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, Vulnerability: Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 1032 pp.

NAUMER, W. (2008):

Energiesparend bauen und modernisieren. Haufe-Verlag, 224 pp.

OKE, T.R. (1987):

Boundary Layer Climates. Methuen 2.ed., London.

ORLOWSKY, B., F.-W. GERSTENGARBE, P.C. WERNER (2008):

A resampling scheme for regional climate simulations and its performance compared to a dynamical RCM.
Theor. Appl. Climatol, 92 (3-4), 209–223, doi:10.1007/s00704-007-0352-y.

SIEVERS, U. (1990):

Dreidimensionale Simulationen in Stadtgebieten. Umweltmeteorologie, Schriftenreihe Band 15: Sitzung des Hauptausschusses II am 7. und 8. Juni in Lahnstein. Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN, Düsseldorf. S. 92-105.

SIEVERS, U. (1995):

Verallgemeinerung der Stromfunktionsmethode auf drei Dimensionen. Meteorol. Zeitschrift, N. F. 4, S. 3-15.

SIEVERS, U. & W. ZDUNKOWSKI (1986):

A microscale urban climate model. Beitr. Phys. At-mosph. 59, S. 13-40.

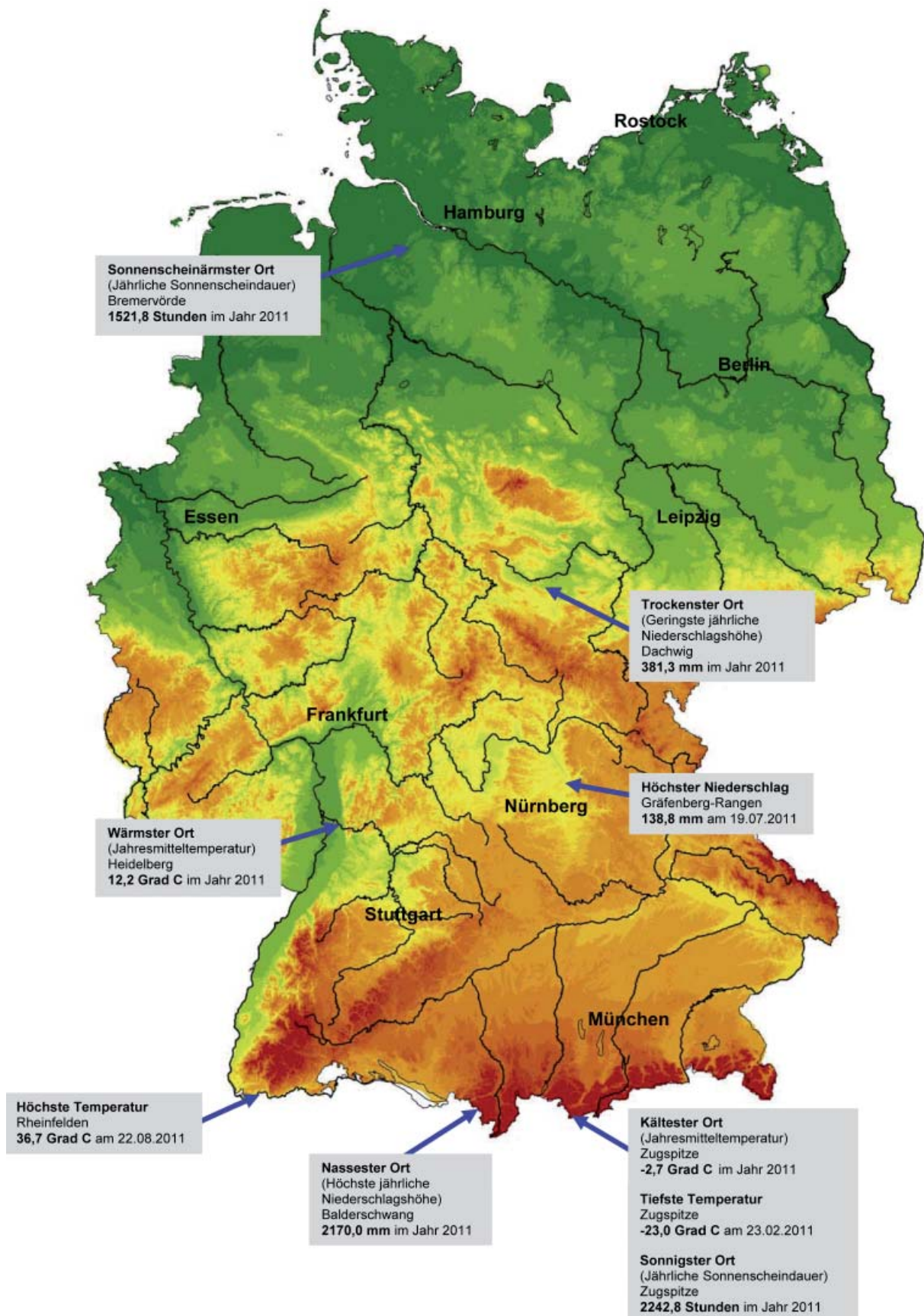
VDI 4710 BLATT 3 (2009):

Meteorologische Grundlagen für die technische Gebäudausrüstung – t, x – Korrelationen der Jahre 1991 bis 2005 für 15 Klimazonen in Deutschland, Beuth-Verlag, 28 pp.

VIVIAN, S., N. WILLIAMS, W. ROGERS (2005):

Climate change and risks in building. CIRIA, 100 pp.

Extremwertkarte 2011



Die Witterung in Deutschland 2011

M. Böhme, F. Böttcher, C. Lefebvre, F.-J. Löpmeier, G. Müller-Westermeier, S. Pietzsch,
W. Riecke, H.-H. Schmitt

Übersicht

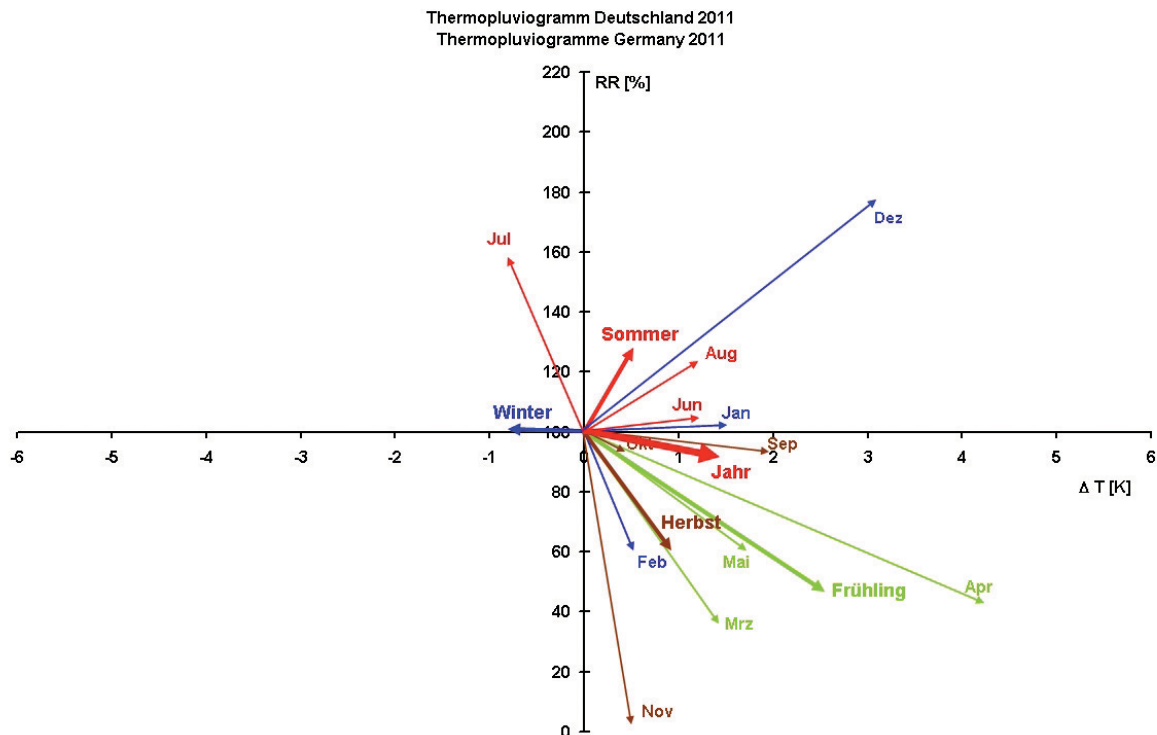
Nach dem „Ausrutscher“ im vergangenen Jahr lag Deutschland in diesem Jahr wieder voll im globalen klimatologischen Trend, denn es war wieder deutlich wärmer als in der internationalen klimatologischen Referenzperiode 1961-90.

Es gab im Gebietsmittel von Deutschland weniger Niederschlag als im Bezugszeitraum. Die Sonnenscheindauer war extrem hoch.

Die **Mitteltemperatur** für Deutschland berechnet aus einem interpolierten 1-km-Raster lag mit 9,6 °C um 1,4 Grad über dem Wert des Bezugszeitraums und um 0,8 Grad über dem Durchschnittswert der Periode 1981-2010. Nur der Juli wies gegenüber der Referenzperiode 1961-90 eine unterdurchschnittliche Mitteltemperatur auf, während alle anderen Monate wärmer als in der Referenzperiode waren. Insgesamt wurde das Jahr 2011 das 4. wärmste Jahr seit Beginn der Gebietsmittelzeitreihe im Jahr 1881 (hinter 2000, 2007 und 1994).

Im Bezug auf die **Niederschlagshöhe** hatte das Jahr 7 Monate mit unterdurchschnittlicher und 5 Monate mit überdurchschnittlicher Niederschlagshöhe. Somit wurde das Jahr recht trocken. Das Gebietsmittel der Niederschlagshöhe für das Jahr 2011 ergab sich zu 722,0 mm. Das sind 66,9 mm oder 8,5 % weniger als in der Referenzperiode 1961-90 und 96,3 mm oder 11,8 % weniger als im Mittel der letzten 30 Jahre. Das Jahr 2011 war damit das 37. trockenste seit 1881.

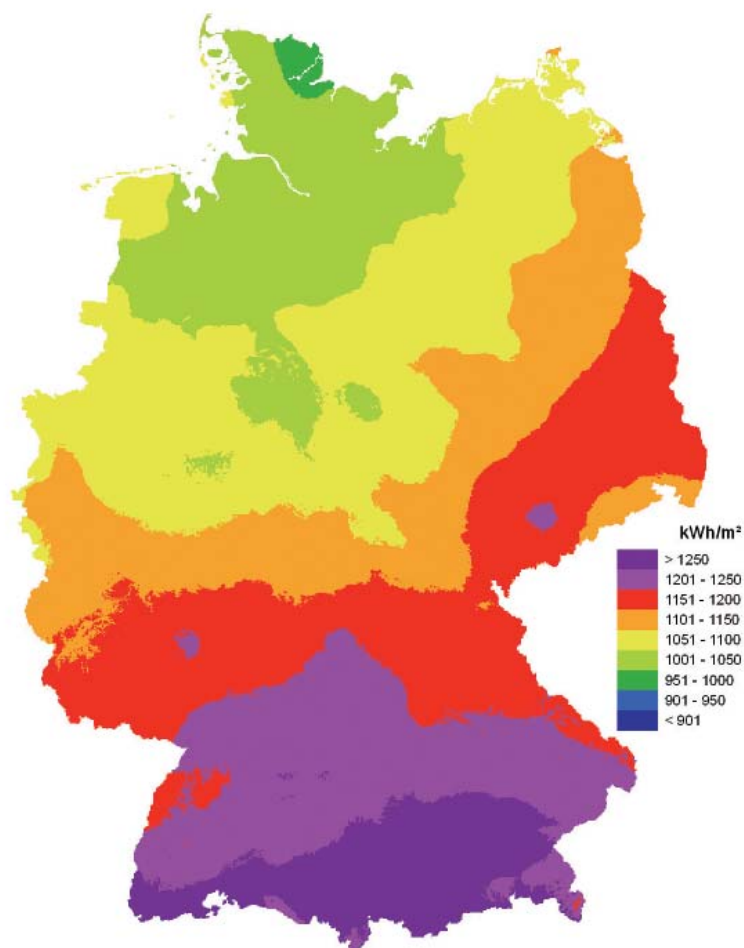
Hinsichtlich der **Sonnenscheindauer** ergaben sich 8 überdurchschnittlich sonnenscheinreiche Monate und nur 4 Monate mit Sonnenscheidefiziten. Daher wurde das Jahr insgesamt extrem sonnenscheinreich. Als Gebietsmittel für Deutschland ergab sich eine Sonnenscheindauer von 1847,3 Std.. Das sind 319,0 Std. oder 20,8 % mehr als in der Referenzperiode 1961-90 und 259,1 Std. oder 16,4 % mehr als im Mittel der letzten 30 Jahre. Damit wurde das Jahr 2011 das 3. sonnigste seit 1951 (nur übertroffen von 2003 und 1959).



Das Flächenmittel der **Globalstrahlung** weist nun schon im achten Jahr hintereinander über Deutschland eine positive Abweichung zum langjährigen Mittel 1981 – 2000 auf. Die mittlere Jahressumme 2011 betrug 1070 kWh/m² und lag damit 3,2 % über dem langjährigen Mittel von 1037 kWh/m². Die Jahressummen umfassten über Deutschland einen Wertebereich von 982 kWh/m² bis 1191 kWh/m². Dies entspricht einer mittleren Zunahme von 1,5 % zum 20jährigen Mittel.

Die höchsten jährlichen Globalstrahlungssummen wurden wieder in der Südhälfte Deutschlands beobachtet mit über 1180 kWh/m² im Oberrheingraben südlich von Freiburg. Doch auch der Nordwesten entlang der Nordsee und der Osten entlang dem Oderverlauf zeigten sekundäre Maxima. Die größten positiven Abweichungen von über 5 % bis gut 10 % waren großräumig im Westen und Nordwesten sowie im Südosten Deutschlands festzustellen. Über dem südlichen Bayern gab es dagegen Einbußen, meist zwischen – 2 und – 5 %.

Im Jahresgang blieben die Monate Januar und Februar meist knapp unter den langjährigen Monatssummen 1981 – 2000. Die folgenden beiden Monate zeigten dann verbreitet deutlich positive Abweichungen. Doch der Mai wartete mit vergleichsweise geringen Einstrahlwerten auf und machte den bis zum April aufgelaufenen Vorsprung vielerorts wieder zunichte. Juni und Juli lagen erneut über den monatlichen Erwartungswerten (Ausnahme Juni südliches Bayern), bevor dann der August wieder in ganz Deutschland darunter blieb. Die Septembersummen entsprachen etwa den Mittelwerten, die Oktoberwerte überschritten sie in der Regel. Der November blieb mit geringen Ausnahmen in Süddeutschland nochmals hinter den Erwartungen zurück, und im Dezember lagen die Globalstrahlungssummen um den Durchschnittswert.



Der Verlauf der Witterung

Der Witterungsverlauf des Jahres lässt sich folgendermaßen beschreiben:

Der **Januar** begann kalt, aber nach einer Woche setzte Tauwetter ein. Zusammen mit kräftigen Niederschlägen führte dies verbreitet zu Hochwasser, bevor sich zum Monatsende wieder kältere Witterung durchsetzte. Insgesamt ergab sich ein milder und hinsichtlich Niederschlag und Sonnenschein durchschnittlicher Monat.

Im **Februar** setzte sich die wechselhafte Witterung fort, und der Monat wurde etwas milder, trockener und sonnenscheinreicher als im Mittel der internationalen klimatologischen Referenzperiode 1961-90.

Da der Dezember des Vorjahrs extrem kalt war, ergab sich wie in den beiden Vorjahren wieder ein recht kalter **Winter**, während Niederschlagsmenge und Sonnenscheindauer weitgehend den Normalwerten entsprachen.

Der **März** war anfangs teilweise noch winterlich kalt, dann aber mild. Dabei blieb es meist recht trocken und es gab sehr viel Sonnenschein. Im Gebietsmittel von Deutschland wurde es der trockenste März seit 18 Jahren und der sonnigste seit 58 Jahren in der Zeitreihe seit 1951, nur noch überboten vom März 1953.

Der **April** war wie in den Vorjahren wieder extrem sonnenscheinreich, trocken und warm. Es war der zweitwärmste April in Deutschland seit 1881 (hinter 2009 und vor 2007) und er verdrängte auch den April 2010 als dritten in der Reihe relativ sonnenscheinreicher Aprilmonate seit 1951 (hinter 2007 und 2009).

Im **Mai** setzte sich die insgesamt warme und trockene Witterung fort. Die Sonnenscheindauer erreichte im Gebietsmittel den dritthöchsten Wert seit Beginn der Messreihe im Jahr 1951 (hinter 1989 und 1990). Es gab aber auch schon verschiedentlich kräftige sommerliche Gewitter mit Hagel und Starkregen, die lokal beträchtliche Schäden verursachten.

Jahr

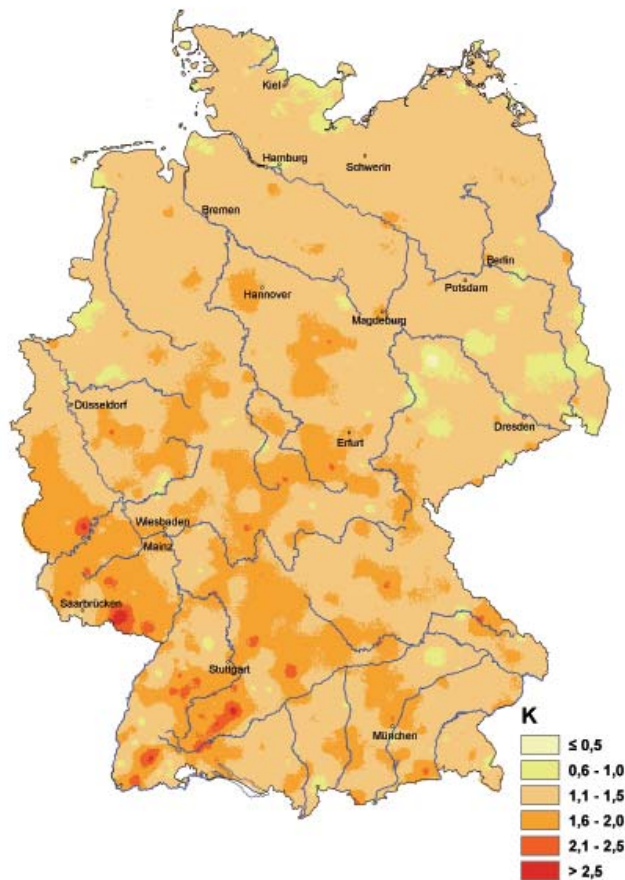
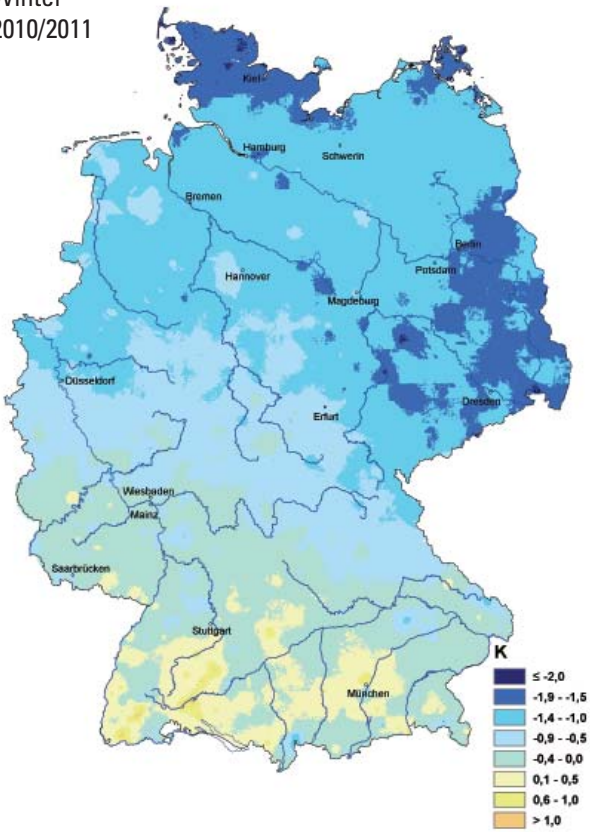
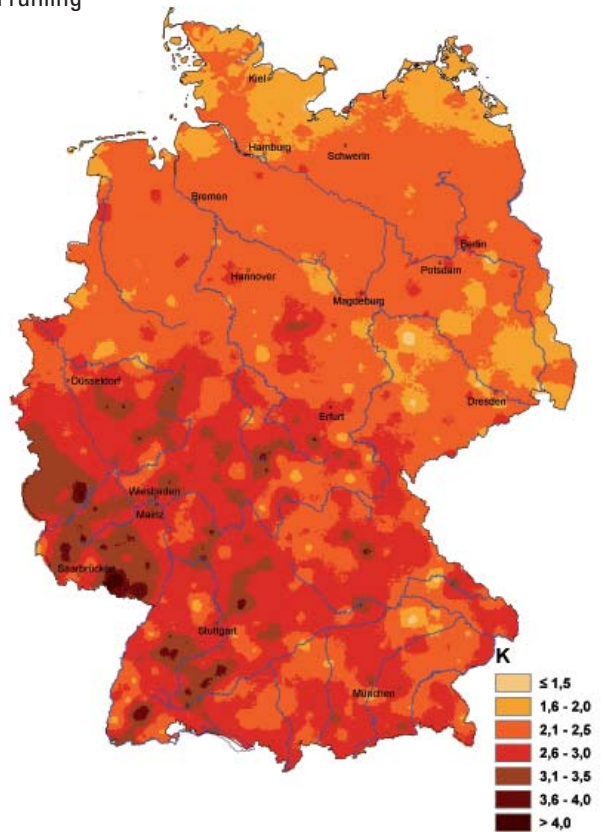


Abb. 1: Temperaturabweichung 2011 vom vieljährigen Mittel 1961 - 1990

Winter
2010/2011



Frühling



Sommer



Herbst

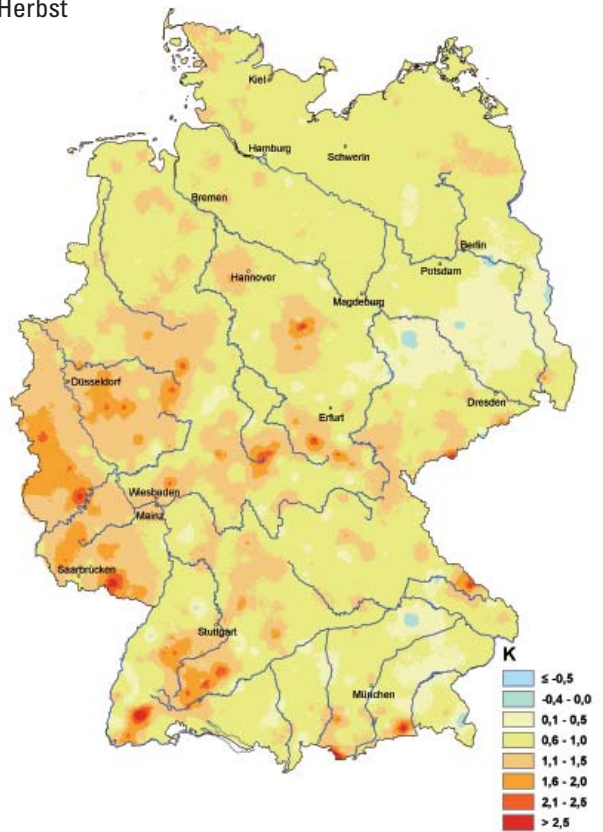


Abb. 1a - 1d: Temperaturabweichung der Jahreszeiten vom vieljährigen Mittel 1961 - 1990

Da alle Frühlingsmonate warm, trocken und sonnig waren, wurde der **Frühling** extrem in allen drei Parametern. Er wurde der zweitwärmste (hinter 2007) und der zweittrockenste (hinter 1893) seit 1881 und der sonnenscheinreichste seit 1951.

Auch der **Juni** war insgesamt warm und sonnenscheinreich, aber nicht mehr so extrem wie die Vormonate. Dabei ergab sich zum ersten Mal seit Januar wieder ein leichter Niederschlagsüberschuss im Gebietsmittel von Deutschland. Dabei kam es auch wieder vermehrt zu schweren Gewittern mit Starkregen, Hagel und Sturm und entsprechenden Schäden. Vereinzelt wurden auch Tornados beobachtet (am 21. in Seiffen (Erzgebirge) und am 22. in Altenlotheim bei Frankenberg (Hessen)).

Der **Juli** war der einzige etwas zu kühle Monat des Jahres. Er war auch sehr nass und sonnenscheinarm mit zahlreichen weiteren teilweise unwetterartigen Gewitterpassagen.

Der **August** hatte trotz überdurchschnittlicher Temperaturen keine sommerliche Prägung, denn der Durchzug von Tiefdruckgebieten brachte viel Niederschlag und wenig Sonne. In der zweiten Monatshälfte gab es nochmals eine sehr warme Periode, die an vielen Stationen erst die höchsten Temperaturen des Jahres erbrachte.

Der **Sommer** war insgesamt zwar wärmer als im Referenzzeitraum 1961-90, aber zugleich der kühlfste seit 2005. Es gab recht wenig Sonnenschein und im Gebietsmittel beim Niederschlag erhebliche Überschüsse gegenüber der Bezugsperiode. Dabei traten aber große regionale Unterschiede auf. Während es im Nordosten meist der nasseste Sommer seit Beginn der Messungen war, blieb die Regenmenge im Süden und Westen teilweise unterdurchschnittlich.

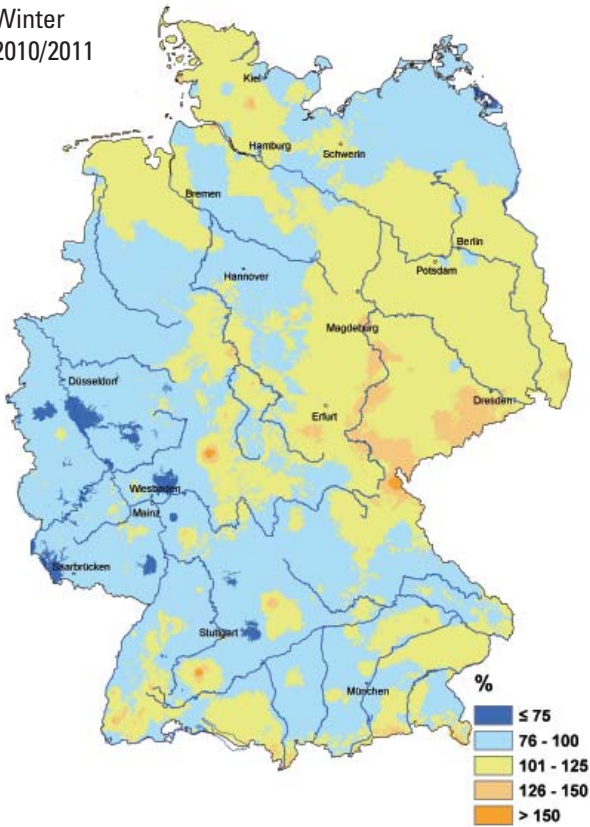
Der **September** war anfangs noch sommerlich geprägt, so dass er insgesamt sehr warm und sonnenscheinreich wurde. Die hochsommerliche Periode wurde mit einer sehr markanten Kaltfrontpassage beendet, wobei bei Peißen auch wieder ein Tornado beobachtet wurde der große Schäden verursachte. Insgesamt blieben die Niederschläge aber meist etwas unter den Normalwerten.

Der **Oktober** war sehr sonnenscheinreich: Es gab schon kurze Phasen mit Schnee bis in die Mittelgebirge, aber insgesamt war der Monat etwas milder trockener als im Referenzzeitraum.



Abb. 2: Sonnenscheinabweichung 2011 in Prozent des vieljährigen Mittel 1961 - 1990

Winter
2010/2011



Frühling



Sommer



Herbst

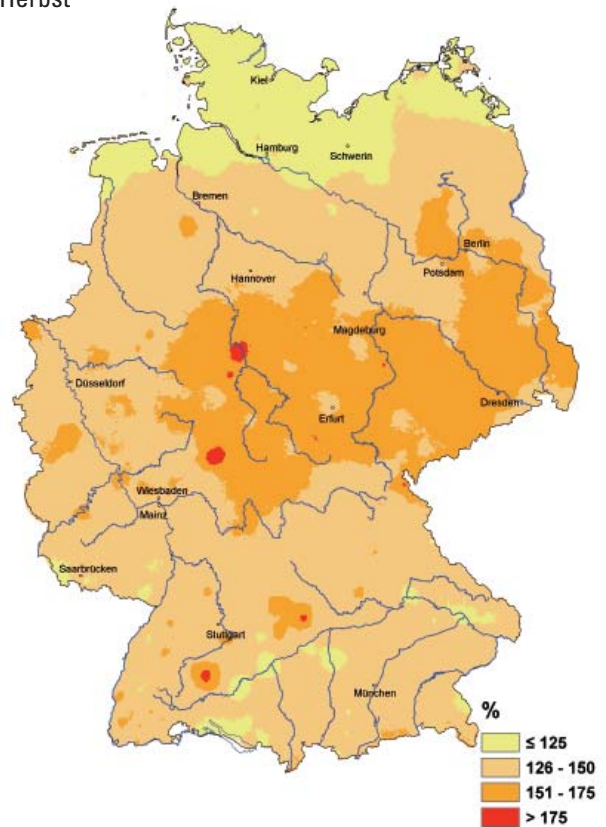
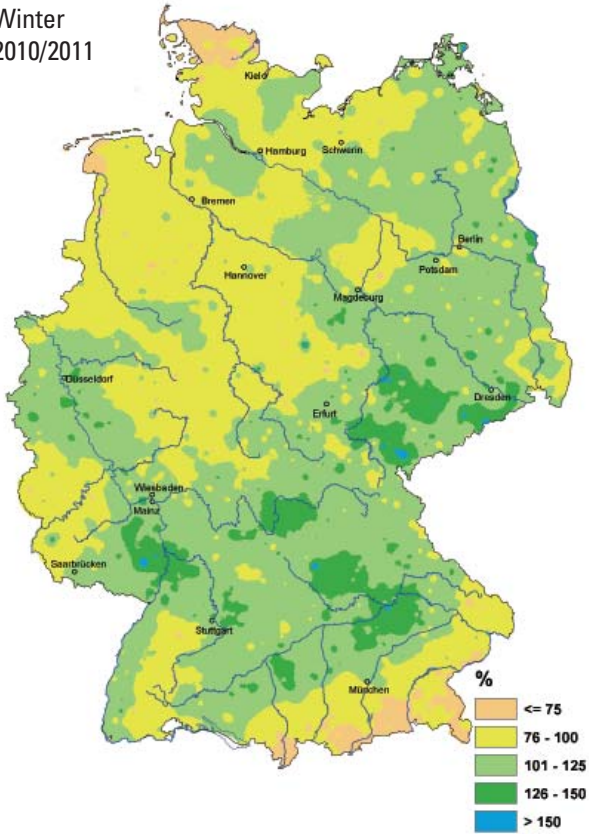
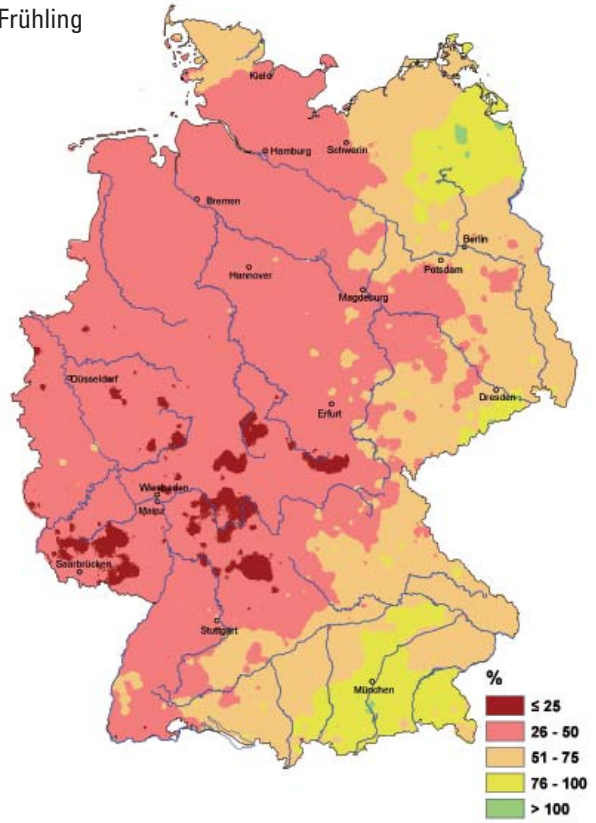


Abb. 2a - 2d: Sonnenscheinabweichung der Jahreszeiten in Prozent des vieljährigen Mittel 1961 - 1990

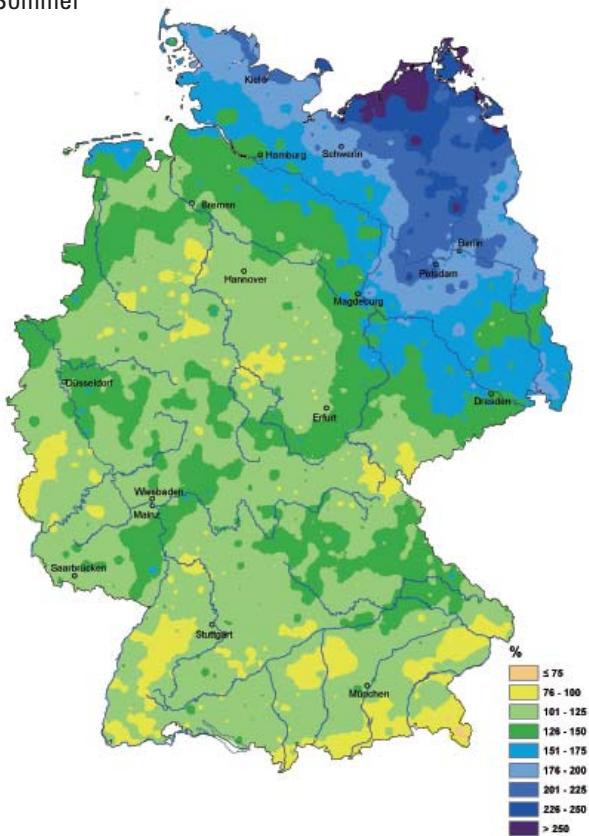
Winter
2010/2011



Frühling



Sommer



Herbst

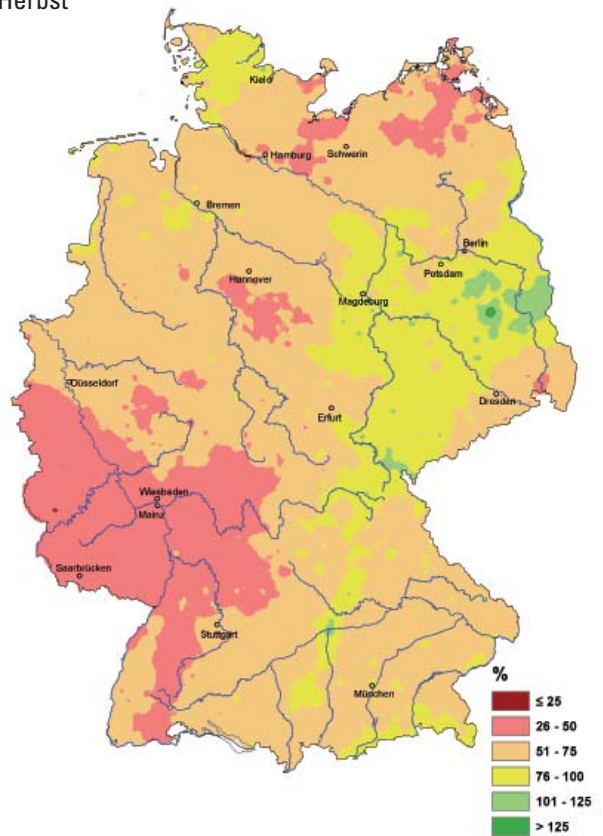


Abb. 3a - 3d: Niederschlagsabweichung der Jahreszeiten in Prozent des vieljährigen Mittel 1961 - 1990

Jahr

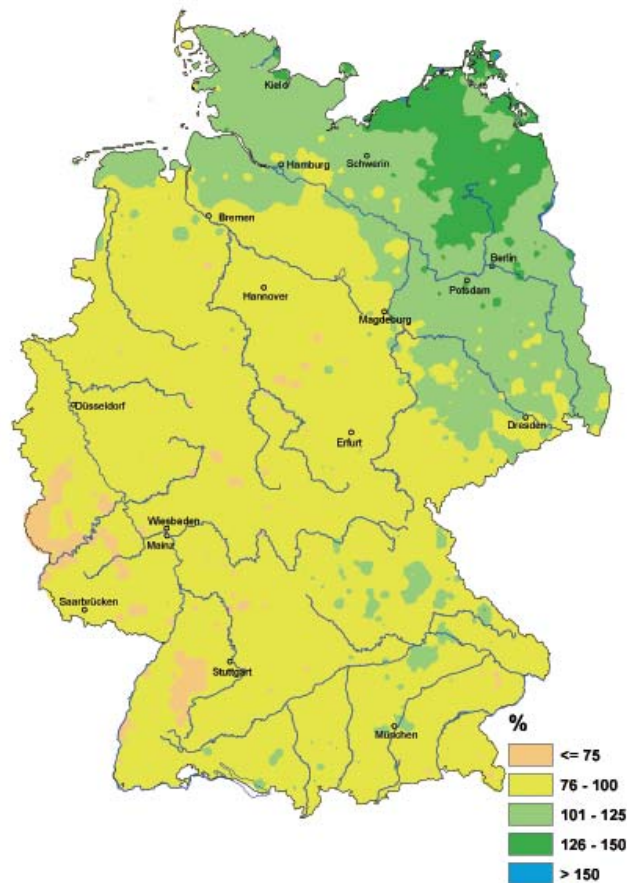


Abb. 3: Niederschlagsabweichung 2011 in Prozent des vieljährigen Mittel 1961 - 1990

Der **November** war extrem trocken. Es war im Gebietsmittel von Deutschland nicht nur der trockenste November seit 1881, sondern der trockenste Monat überhaupt, der je beobachtet wurde. In Bezug auf Sonnenschein war er der zweite in der Reihe relativ sonniger Novembermonate seit 1951, nur übertroffen vom November 1989. Die Mitteltemperatur wich insgesamt nur wenig vom langjährigen Mittel ab. Auf den Bergen war der Monat wegen der lang anhaltenden Inversionswetterlagen extrem mild. Teilweise war die Monatsmitteltemperatur auf den Bergen höher als in den umgebenden Niederungen.

Da alle drei Herbstmonate relativ warm, sonnig und trocken waren, wurde auch die gesamte Jahreszeit mild, sehr trocken und extrem sonnenscheinreich. Im Gebietsmittel von Deutschland war der **Herbst** 2011 der zweite in der Reihe relativ sonnenscheinreicher Herbste seit 1951 nur übertroffen vom Herbst 1989. Für Bergstationen war es oft auch der wärmste Herbst seit Beginn der Messreihen.

Auch der **Dezember** war sehr mild. Im Gegensatz zum Vormonat war er aber sehr niederschlagsreich und sonnenscheinarm.

In den Tabellen 1 - 4 sind die Gebietsmittelwerte der Temperatur, der Niederschlagshöhe, der Sonnenscheindauer sowie der Anzahl der Tage, an denen bestimmte klimatische Bedingungen herrschten, für die deutschen Bundesländer in den einzelnen Monaten sowie in den meteorologischen Jahreszeiten und im gesamten Jahr zusammengestellt. Dabei ist jeweils der aktuelle Wert zusammen mit der Abweichung von Wert der internationalen klimatologischen Referenzperiode 1961-90 angegeben.

Bei den Tagen mit klimatischen Besonderheiten spiegeln sich einige Charakteristika des Jahres wieder. So ist aufgrund der Wärme des Jahres die Zahl der Frosttage (Temperaturminimum unter 0 °C) in ganz Deutschland und die Zahl der Eistage (Temperaturmaximum unter 0 °C) in den meisten Bundesländern geringer als in der Bezugsperiode 1961-90, während die Anzahl der Sommertage (Temperaturmaximum mindestens 25 °C) überall stark erhöht ist. Da der Sommer aber relativ viele wolkenreiche Tage hatte und extreme Hitzeperioden fehlten, lag die Zahl der heißen Tage (Temperaturmaximum mindestens 30 °C) nur wenig über dem langjährigen Mittel.

Die Anzahl der Tage mit starkem Niederschlag (mindestens 10 mm) entsprach wie die gesamte Niederschlagshöhe weitgehend dem langjährigen Mittel. Gleiches gilt im Gebietsmittel von Deutschland auch für die sommerlichen Hagelereignisse. Hier gab es jedoch große regionale Unterschiede. In Baden-Württemberg sowie in den Stadtstaaten Hamburg und Berlin gab es erheblich mehr Hagelfälle, während in Rheinland-Pfalz und im Saarland, in Schleswig-Holstein sowie in Thüringen und Sachsen Hagel deutlich seltener als im Bezugszeitraum war.

Land	Mitteltemperatur (Grad C)																																	
	Januar		Februar		März		April		Mai		Juni		Juli		August		September		Oktober		November		Dezember		Frühling		Sommer		Herbst		Winter		Jahr	
	Abw. von 2011	Abw. von 1961-90	Abw. von 2011	Abw. von 1961-90	Abw. von 2011	Abw. von 1961-90	Abw. von 2011	Abw. von 1961-90	Abw. von 2011	Abw. von 1961-90	Abw. von 2011	Abw. von 1961-90	Abw. von 2011	Abw. von 1961-90	Abw. von 2011	Abw. von 1961-90	Abw. von 2011	Abw. von 1961-90	Abw. von 2011	Abw. von 1961-90	Abw. von 2011	Abw. von 1961-90	Abw. von 2011	Abw. von 1961-90	Abw. von 2011	Abw. von 1961-90	Abw. von 2011	Abw. von 1961-90	Abw. von 2011	Abw. von 1961-90	Abw. von 2011	Abw. von 1961-90		
Hamburg	2,0	1,4	1,3	0,1	4,5	0,6	11,8	4,3	13,7	1,3	16,6	0,9	16,7	-0,2	17,2	0,3	15,2	1,5	10,2	0,4	5,4	0,2	4,8	2,8	10,0	2,0	16,8	0,3	10,3	0,7	-0,1	-1,3	9,9	1,1
Bremen	2,2	1,3	2,0	0,6	4,7	0,7	12,1	4,5	13,8	1,4	16,5	1,0	16,4	-0,4	17,2	0,5	15,4	1,7	10,4	0,6	5,7	0,4	5,1	2,8	10,2	2,2	16,7	0,4	10,5	0,9	0,3	-1,2	10,1	1,2
Schleswig-Holstein	1,5	2,0	-0,1	-0,7	5,1	1,1	12,9	4,5	15,2	1,5	18,6	1,5	17,8	-0,5	18,7	0,8	15,9	1,8	10,1	0,5	4,6	-0,1	4,7	3,5	11,1	2,4	18,4	0,6	10,2	0,7	-1,0	-1,4	10,4	1,3
Berlin	1,2	0,9	0,8	0,1	3,8	0,6	10,7	4,1	12,7	1,2	15,9	0,9	16,3	0,1	16,6	0,5	14,7	1,5	10,0	0,5	5,7	0,7	4,5	2,7	9,1	2,0	16,3	0,5	10,1	0,9	-0,6	-1,5	9,4	1,1
Niedersachsen	2,0	1,5	1,8	0,7	4,7	0,8	12,0	4,5	13,8	1,5	16,5	1,1	16,2	-0,5	17,3	0,8	15,3	1,8	10,1	0,5	5,3	0,3	4,9	3,0	10,1	2,3	16,7	0,5	10,2	0,9	0,1	-1,1	10,0	1,3
Nordrhein-Westfalen	2,3	1,1	3,1	1,3	5,8	1,3	12,5	4,6	14,2	1,8	16,4	1,0	15,8	-1,1	17,4	0,8	15,6	2,0	10,3	0,5	6,4	1,3	4,9	2,6	10,8	2,6	16,5	0,2	10,8	1,3	0,8	-0,9	10,4	1,4
Rheinland-Pfalz	1,7	1,4	2,5	1,3	6,4	2,2	12,5	4,7	14,6	2,3	16,5	1,2	15,7	-1,4	17,6	1,1	15,6	2,2	9,8	0,6	5,3	1,2	4,2	2,9	11,1	3,1	16,6	0,3	10,2	1,3	0,5	-0,4	10,2	1,6
Saarland	1,9	1,4	2,7	1,1	6,8	2,2	12,9	4,7	14,8	2,3	16,7	1,1	15,8	-1,7	17,8	0,9	15,8	2,0	9,9	0,4	6,0	1,6	4,4	2,9	11,5	3,1	16,8	0,1	10,5	1,4	0,8	-0,4	10,4	1,6
Baden-Württemberg	0,5	1,2	1,8	1,3	5,6	2,0	11,4	4,0	14,2	2,3	16,3	1,2	15,7	-1,4	18,2	1,8	15,4	2,1	8,8	0,1	4,3	0,7	3,5	3,1	10,4	2,8	16,7	0,5	9,5	1,0	0,0	0,0	9,6	1,6
Hessen	1,2	1,6	1,4	0,8	5,5	1,8	12,0	4,5	14,0	1,9	16,3	1,1	15,7	-1,1	17,5	1,1	15,2	1,9	9,2	0,3	4,5	0,6	3,7	2,9	10,5	2,7	16,5	0,4	9,6	1,0	-0,3	-0,6	9,7	1,5
Bayern	-0,5	1,4	0,0	0,6	4,8	1,9	10,9	3,9	13,6	1,9	16,1	1,2	15,5	-1,1	18,0	1,9	14,8	2,0	8,2	0,1	3,1	0,3	2,5	3,2	9,7	2,6	16,5	0,7	8,7	0,8	-1,4	-0,4	8,9	1,4
Mecklenburg-Vorpommern	1,0	1,6	-0,1	-0,1	3,6	0,8	10,9	4,2	13,3	1,5	16,6	1,2	16,9	0,1	17,3	0,7	15,0	1,6	9,9	0,7	4,7	0,2	4,2	3,1	9,3	2,1	16,9	0,7	9,8	0,8	-1,1	-1,4	9,4	1,3
Brandenburg	1,1	1,9	-0,4	-0,5	4,5	0,9	12,1	4,3	14,5	1,4	17,9	1,4	17,4	-0,5	18,3	0,9	15,4	1,6	9,8	0,4	4,1	-0,3	4,4	3,5	10,4	2,2	17,9	0,6	9,8	0,6	-1,3	-1,4	9,9	1,3
Sachsen-Anhalt	1,5	1,8	0,4	0,0	4,8	1,0	12,0	4,3	14,3	1,5	17,5	1,4	16,9	-0,6	18,2	1,1	15,7	1,9	9,8	0,4	4,2	-0,3	4,5	3,4	10,4	2,3	17,6	0,6	9,9	0,7	-0,8	-1,3	10,0	1,3
Sachsen	0,4	1,6	-0,9	-0,6	4,5	1,3	11,1	3,8	13,7	1,4	17,0	1,4	16,3	-0,9	18,1	1,3	15,3	1,9	9,3	0,3	4,2	0,4	3,5	3,2	9,8	2,2	17,1	0,6	9,6	0,8	-1,8	-1,4	9,4	1,2
Thüringen	0,4	1,7	-0,1	0,3	4,4	1,6	11,1	4,3	13,4	1,7	16,2	1,3	15,7	-0,8	17,5	1,5	14,9	2,1	8,8	0,4	3,8	0,5	3,3	3,2	9,6	2,5	16,5	0,7	9,2	1,0	-1,5	-0,9	9,1	1,5
Deutschland	1,0	1,4	0,9	0,5	4,9	1,4	11,6	4,2	13,9	1,7	16,5	1,2	16,1	-0,8	17,7	1,2	15,2	1,9	9,4	0,4	4,5	0,5	3,9	3,1	10,1	2,5	16,8	0,5	9,7	0,9	-0,6	-0,8	9,6	1,4

Tab. 1: Gebietsmittel der Durchschnittstemperatur

Land	Januar		Februar		März		April		Mai		Juni		Juli		August		September		Oktober		November		Dezember		Frühling		Sommer		Herbst		Winter		Jahr	
	2011 von (mm) 1961-90	Proz. von 2011 von 1961-90	2011 von (mm) 1961-90	Proz. von 2011 von 1961-90	2011 von (mm) 1961-90	Proz. von 2011 von 1961-90	2011 von (mm) 1961-90	Proz. von 2011 von 1961-90	2011 von (mm) 1961-90	Proz. von 2011 von 1961-90	2011 von (mm) 1961-90	Proz. von 2011 von 1961-90	2011 von (mm) 1961-90	Proz. von 2011 von 1961-90	2011 von (mm) 1961-90	Proz. von 2011 von 1961-90	2011 von (mm) 1961-90	Proz. von 2011 von 1961-90	2011 von (mm) 1961-90	Proz. von 2011 von 1961-90	2011 von (mm) 1961-90	Proz. von 2011 von 1961-90	2011 von (mm) 1961-90	Proz. von 2011 von 1961-90	2011 von (mm) 1961-90	Proz. von 2011 von 1961-90	2011 von (mm) 1961-90	Proz. von 2011 von 1961-90	2011 von (mm) 1961-90	Proz. von 2011 von 1961-90	2011 von (mm) 1961-90	Proz. von 2011 von 1961-90		
Hamburg	50,2	81,9	74,7	179,2	14,3	25,9	12,3	24,7	33,6	57,6	82,7	117,7	101,4	131,4	141,0	199,7	48,4	71,1	47,9	80,0	6,1	9,1	158,1	224,8	60,1	36,9	325,0	149,1	102,4	52,4	174,2	99,9	770,6	102,8
Bremen	45,6	76,8	48,6	121,1	8,3	16,4	15,2	31,7	34,8	58,2	76,0	103,9	60,5	80,5	138,0	195,2	56,6	92,2	71,8	123,1	2,9	4,4	155,9	243,8	58,3	36,8	274,5	125,3	131,4	70,8	145,8	88,6	714,3	98,3
Berlin	40,2	95,0	26,3	74,8	16,9	46,0	32,7	81,1	24,3	44,7	66,3	94,8	209,2	392,7	74,6	126,4	58,0	127,3	37,0	105,9	0,2	0,5	75,8	142,1	73,9	56,2	350,1	192,1	95,3	74,2	135,8	104,0	661,6	115,5
Schleswig-Holstein	48,1	74,9	62,8	151,1	17,8	33,8	7,8	15,9	43,5	81,4	93,4	135,4	117,7	147,0	177,8	243,1	86,8	115,2	62,1	84,8	11,3	13,5	140,0	191,1	69,0	44,5	388,8	175,0	160,2	69,0	159,1	88,4	869,1	110,2
Niedersachsen	58,2	93,9	40,8	92,2	10,8	19,7	23,1	44,5	31,4	51,3	90,3	118,2	67,5	92,8	119,1	169,3	53,3	88,8	59,4	106,9	3,1	4,6	134,0	191,5	65,4	38,9	276,9	126,2	115,8	63,7	161,1	90,9	691,1	92,7
Nordrhein-Westfalen	95,9	124,8	45,6	79,3	13,4	18,9	18,8	32,8	28,5	40,6	87,2	114,4	64,5	89,7	97,9	140,2	47,6	70,9	63,0	101,1	3,5	4,5	146,6	166,2	69,4	33,9	282,2	117,8	114,1	55,0	223,5	100,3	753,8	86,2
Rheinland-Pfalz	72,4	108,6	31,9	55,7	14,1	22,3	17,8	28,0	25,3	32,1	87,0	108,2	72,9	101,0	106,3	145,4	43,9	63,2	36,2	47,2	2,9	3,8	155,1	203,9	61,4	32,2	249,6	114,5	72,9	36,7	210,8	105,6	643,3	79,7
Saarland	92,4	107,5	28,9	40,3	16,4	20,7	17,8	28,0	25,3	32,1	87,0	108,2	72,9	101,0	106,3	145,4	43,9	63,2	36,2	47,2	6,6	6,9	212,4	215,8	59,5	26,8	266,2	118,0	86,6	35,9	248,2	97,3	746,0	79,0
Baden-Württemberg	76,2	101,8	21,2	31,2	27,2	38,8	27,3	35,2	49,6	51,9	91,1	85,2	138,7	153,0	84,2	89,2	53,9	77,2	61,1	90,3	1,4	1,7	180,0	218,9	104,2	42,8	314,0	107,6	116,4	53,0	237,1	105,8	812,0	82,9
Hessen	67,7	107,2	31,7	60,9	12,2	19,8	24,5	41,6	21,8	31,0	96,5	120,8	68,0	93,5	103,5	148,8	47,3	82,4	47,8	81,1	1,4	1,9	132,8	171,9	58,5	30,6	268,0	120,6	96,5	51,4	188,8	97,9	655,2	82,6
Bayern	73,1	110,0	24,8	42,8	33,9	54,2	27,2	38,8	81,7	90,5	112,5	100,6	144,5	142,7	89,0	87,9	73,5	101,7	66,7	108,5	0,9	1,2	132,7	175,8	142,8	64,1	345,9	110,1	141,0	69,3	205,3	102,7	860,3	91,5
Mecklenburg-Vorpommern	37,1	82,0	34,0	108,1	21,4	52,3	23,2	55,4	45,5	88,6	86,5	138,2	222,8	339,8	100,6	171,4	39,1	76,8	35,7	85,0	4,4	8,5	84,6	162,5	90,1	67,1	409,9	219,3	79,2	54,7	132,5	101,8	734,9	123,6
Brandenburg	37,8	93,8	24,9	76,6	20,8	57,3	26,3	64,4	33,7	62,7	60,6	94,1	202,7	377,2	64,7	110,2	67,3	150,6	37,0	100,5	1,3	2,8	71,3	143,1	80,9	61,7	328,0	185,5	105,5	83,4	133,6	108,6	648,4	116,4
Sachsen-Anhalt	41,2	106,4	14,9	44,9	13,1	33,0	22,5	52,1	26,5	51,0	68,5	109,1	115,1	220,5	72,4	122,8	59,1	142,1	35,9	100,8	0,9	2,2	61,1	131,1	62,1	46,1	256,0	147,1	95,9	80,1	123,5	103,6	531,3	97,1
Sachsen	61,8	126,5	17,1	40,1	23,1	49,5	36,3	63,2	46,0	68,9	62,3	81,6	193,0	280,3	67,5	87,5	69,6	126,2	43,8	92,9	0,2	0,5	75,4	125,4	105,4	61,7	322,8	145,2	113,6	73,5	179,0	117,8	696,2	99,6
Thüringen	59,2	116,0	19,2	43,4	16,1	30,9	25,9	44,4	29,0	44,1	96,8	123,4	86,0	137,5	71,5	103,2	59,4	116,6	50,4	105,6	1,0	1,8	96,6	152,2	71,0	40,3	254,3	120,9	110,8	71,5	171,0	107,3	611,0	87,3
Deutschland	63,8	105,0	30,5	61,8	20,4	36,1	25,0	42,9	44,1	62,0	89,9	106,3	124,0	159,8	97,0	125,6	58,6	95,9	53,1	95,1	2,3	3,5	124,1	176,8	89,5	48,2	310,9	129,9	114,1	62,2	183,4	101,5	732,9	92,9

Niederschlagshöhe

Tab. 2: Gebietsmittel der Niederschlagshöhe

Land	Sonnenscheindauer												Jahr																					
	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember		Frühling	Sommer	Herbst	Winter																	
	Proz. von 2011 von (Std.) 1961-90	Proz. von 2011 von (Std.) 1961-90	Proz. von 2011 von (Std.) 1961-90	Proz. von 2011 von (Std.) 1961-90	Proz. von 2011 von (Std.) 1961-90	Proz. von 2011 von (Std.) 1961-90	Proz. von 2011 von (Std.) 1961-90	Proz. von 2011 von (Std.) 1961-90	Proz. von 2011 von (Std.) 1961-90	Proz. von 2011 von (Std.) 1961-90	Proz. von 2011 von (Std.) 1961-90	Proz. von 2011 von (Std.) 1961-90		Proz. von 2011 von (Std.) 1961-90	Proz. von 2011 von (Std.) 1961-90	Proz. von 2011 von (Std.) 1961-90	Proz. von 2011 von (Std.) 1961-90																	
Hamburg	36,2	93,3	63,2	98,7	157,6	156,5	249,8	159,7	242,4	113,7	233,0	115,2	149,4	74,2	134,8	67,1	153,7	110,7	141,4	146,4	51,6	104,9	23,4	74,7	649,8	138,1	517,2	83,7	346,7	121,9	134,5	100,6	1636,4	108,6
Bremen	44,6	113,8	60,7	89,8	162,6	160,2	244,4	157,9	249,3	121,4	210,1	109,3	130,2	67,8	135,8	70,3	163,0	120,3	149,0	152,8	69,8	137,7	24,8	74,3	656,2	142,1	476,1	80,8	381,7	134,6	144,0	103,0	1644,2	111,5
Berlin	44,4	104,4	95,2	135,2	193,7	160,8	218,3	135,5	286,7	127,4	262,4	122,8	169,8	75,5	182,4	85,1	192,9	123,6	158,6	145,2	124,9	249,2	22,2	63,6	698,7	137,8	613,6	92,4	476,4	151,1	153,9	104,5	1950,5	119,3
Schleswig-Holstein	43,8	111,4	57,6	89,0	146,9	140,6	256,7	156,1	247,2	110,9	244,4	116,2	153,8	73,4	138,8	66,0	147,4	103,0	141,0	143,9	44,9	89,1	27,3	78,9	650,7	132,3	537,1	83,2	333,4	114,4	141,7	102,5	1649,9	105,3
Niedersachsen	41,5	108,5	65,2	98,9	168,5	164,9	240,9	159,2	251,2	124,6	215,2	112,9	131,2	68,6	145,8	76,1	164,0	121,6	146,9	149,1	75,9	155,9	23,6	75,2	660,6	145,2	492,2	84,4	386,9	137,1	133,7	98,8	1670,0	114,7
Nordrhein-Westfalen	47,0	113,0	64,2	88,7	191,2	185,3	239,1	161,8	263,6	138,8	192,8	107,2	127,2	67,9	162,6	89,0	165,0	122,2	147,9	138,5	115,0	218,8	22,4	60,6	693,9	157,4	482,7	87,2	427,9	145,3	132,7	88,0	1738,1	120,7
Rheinland-Pfalz	49,5	122,2	57,9	79,3	203,3	184,2	244,0	161,4	293,4	153,3	180,7	95,5	154,5	73,7	190,7	98,6	189,2	125,5	144,0	137,5	88,2	167,5	26,5	69,5	740,7	163,5	525,9	88,4	421,4	136,7	127,3	83,9	1821,9	120,9
Saarland	54,2	137,4	52,2	68,8	203,7	179,1	252,1	162,7	307,6	154,8	181,1	90,3	163,8	72,5	197,3	97,8	195,0	123,5	133,1	125,3	73,7	138,1	21,8	55,1	763,4	163,3	542,1	85,9	401,7	126,6	125,4	81,0	1835,6	116,8
Baden-Württemberg	54,6	112,0	77,4	101,6	196,2	167,7	261,9	173,7	284,3	150,3	178,7	90,6	189,3	82,8	235,8	114,5	208,4	125,4	160,0	137,0	105,6	171,8	30,9	69,6	742,4	162,5	603,8	94,9	474,0	137,7	162,1	95,7	1983,2	123,4
Hessen	44,1	123,4	66,5	96,3	202,2	189,5	239,9	158,2	288,9	149,2	186,4	99,7	144,4	70,7	176,5	93,0	180,3	126,7	145,8	146,6	102,2	236,4	17,8	56,0	731,0	161,7	507,3	86,6	428,3	150,3	126,8	93,0	1795,0	123,0
Bayern	52,6	106,1	86,5	111,2	194,8	163,7	246,6	160,6	280,0	144,7	174,6	90,5	175,3	79,3	232,3	114,9	195,5	121,9	159,0	134,9	103,1	181,4	27,7	63,4	721,4	154,8	582,2	93,5	457,7	136,5	169,6	99,2	1928,1	120,9
Mecklenburg-Vorpommern	39,1	95,5	73,6	109,4	171,9	151,4	257,9	154,2	272,7	115,8	267,6	121,8	166,7	74,7	184,4	86,6	195,1	125,4	156,2	142,7	116,3	230,5	27,8	76,7	705,6	139,2	608,7	92,0	467,6	148,2	162,7	108,6	1952,1	119,5
Brandenburg	48,6	111,2	93,8	133,5	192,9	160,9	226,9	139,5	285,8	127,4	257,6	125,0	154,9	74,9	169,7	85,6	192,6	133,9	160,0	153,4	101,0	200,1	30,9	86,8	699,8	149,7	569,9	93,4	453,6	151,9	166,6	114,6	1897,6	124,7
Sachsen-Anhalt	51,7	121,7	91,8	135,7	193,6	177,0	228,9	150,6	277,3	134,5	245,3	125,0	177,2	84,5	193,4	97,3	203,6	137,7	161,8	137,3	136,2	254,1	35,0	85,3	691,4	150,3	598,0	98,2	501,6	157,1	196,2	122,1	1987,4	128,3
Sachsen	58,3	117,8	103,1	146,7	197,7	180,2	207,8	139,0	285,9	142,3	227,3	119,5	177,2	84,5	193,4	97,3	203,6	137,7	161,8	137,3	136,2	254,1	35,0	85,3	691,4	150,3	598,0	98,2	501,6	157,1	196,2	122,1	1987,4	128,3
Thüringen	51,2	120,1	90,2	130,8	198,0	187,6	229,2	155,5	278,3	142,5	206,3	112,8	159,6	77,8	174,4	90,7	192,1	134,2	157,1	146,8	120,0	246,8	23,3	64,5	705,5	157,4	540,3	91,3	469,2	157,0	167,8	113,5	1879,8	126,5
Deutschland	48,7	111,7	77,4	106,7	188,5	170,5	241,8	158,8	275,1	140,6	207,8	108,4	158,0	75,7	187,2	95,1	184,8	123,7	152,6	140,7	99,0	185,1	26,4	68,6	705,4	153,8	553,0	91,6	436,4	140,2	152,4	98,7	1847,3	120,9

Tab. 3: Gebietsmittel der Sonnenscheindauer

Gebietsmittelwerte der Anzahl der Tage mit besonderen klimatischen Ereignissen																		
Land	Eistage (Maximum unter 0 °C)		Frosttage (Minimum unter 0 °C)		Sommertage (Maximum mind. 25 °C)		Heiße Tage (Maximum mind. 30 °C)		Tage mit mind. 10 mm Niederschlag		Tage mit mind. 20 mm Niederschlag		Tage mit mind. 30 mm Niederschlag		Tage mit Hagel (Mai-September)		Tage mit einer Schneedecke	
	2011 (Tage)	Proz. von 1961-90	2011 (Tage)	Proz. von 1961-90	2011 (Tage)	Proz. von 1961-90	2011 (Tage)	Proz. von 1961-90	2011 (Tage)	Proz. von 1961-90	2011 (Tage)	Proz. von 1961-90	2011 (Tage)	Proz. von 1961-90	2011 (Tage)	Proz. von 1961-90	2011 (Tage)	Proz. von 1961-90
Hamburg	11,1	54,5	68,6	97,3	26,1	122,8	1,3	42,6	22,7	124,1	5,0	161,6	1,6	239,8	0,5	84,1	13,4	43,6
Bremen	7,4	41,2	59,1	85,6	24,4	119,4	1,8	62,9	18,5	111,2	3,6	124,7	1,0	142,5	0,2	31,1	6,6	24,5
Berlin	12,0	49,6	72,2	89,2	45,0	125,3	6,0	85,5	19,1	162,0	5,4	227,3	1,7	258,5	0,4	37,0	10,3	27,5
Schleswig-Holstein	12,5	59,3	67,5	88,8	15,3	101,6	0,4	23,9	26,4	128,3	6,8	186,2	2,2	290,6	0,5	88,6	17,4	51,8
Niedersachsen	9,8	47,8	67,1	89,2	30,5	136,6	2,5	75,7	18,1	100,2	3,9	117,6	0,9	119,3	0,4	59,0	11,4	35,5
Nordrhein-Westfalen	6,4	37,5	61,2	86,9	34,5	138,1	3,0	74,0	21,2	89,0	3,9	77,1	0,7	54,8	0,6	72,9	12,4	40,1
Rheinland-Pfalz	10,0	46,0	69,9	82,8	41,6	143,8	5,0	100,5	17,2	77,2	4,1	84,8	1,0	72,2	0,4	58,2	19,9	53,1
Saarland	7,1	37,3	63,8	79,5	40,0	133,9	4,9	101,9	20,7	72,1	5,3	76,7	1,6	78,8	0,3	40,7	16,9	56,3
Baden-Württemberg	16,1	60,0	91,0	89,6	48,1	154,8	7,6	160,6	25,8	85,7	6,9	85,0	2,1	78,8	1,1	98,7	29,5	50,3
Hessen	12,5	48,6	83,5	93,0	42,4	152,9	4,0	91,3	16,3	76,4	3,8	83,0	1,1	85,9	0,7	86,3	19,3	43,8
Bayern	21,6	62,7	107,3	94,3	43,0	145,8	5,6	144,5	25,9	91,6	7,8	102,8	3,0	118,0	0,9	85,7	38,9	54,7
Mecklenburg-Vorpommern	15,2	57,8	74,0	90,1	23,4	118,6	1,4	55,1	19,4	152,8	6,0	260,3	2,9	502,8	0,5	69,2	12,6	31,3
Brandenburg	13,2	50,9	82,9	95,3	43,4	125,5	5,5	85,9	17,6	150,2	5,5	237,7	2,3	358,7	0,4	47,9	11,6	29,8
Sachsen-Anhalt	13,3	53,7	82,7	97,9	46,0	144,5	4,6	80,2	13,3	111,2	4,0	160,6	1,1	153,8	0,6	95,5	12,2	32,2
Sachsen	19,3	60,7	93,0	98,3	41,9	134,3	4,0	72,8	17,4	100,8	5,2	132,5	1,9	156,6	0,5	58,0	32,8	59,5
Thüringen	19,3	56,9	95,7	93,9	39,3	153,5	3,6	93,5	15,7	87,2	3,5	93,7	1,0	94,7	0,8	96,5	30,2	52,3
Deutschland	14,5	55,2	83,3	91,9	38,4	140,4	4,3	101,0	20,6	97,2	5,5	111,9	1,8	125,8	0,7	77,2	22,1	46,8

Tab. 4: Gebietsmittel der Anzahl der Tage mit klimatischen Besonderheiten

Klimatische Bedingungen der Küstengewässer

Aufgrund der eisigen Witterung im Dezember lag zu Jahresbeginn in den meisten Küstenzonen Nordfrieslands und der Ostsee noch 15 bis 50 cm dickes Eis. An der südlichen Nordsee war das Eis mit nur 5 bis 15 cm weniger dick, wobei Tauwetter dafür sorgte, dass das ostfriesische Wattenmeer schon ab dem 5. Januar wieder überwiegend eisfrei war. Auch in den übrigen Küstengebieten führte die milde Witterungsphase zu einem allmählichen Abschmelzen. Vom 24. Januar an war der gesamte Nordseeküstenbereich dann weitgehend eisfrei, während an der Ostsee noch Eisdicken bis 20 cm beobachtet wurden.

Gegen Ende des ersten Februartrittels war dann auch die westliche Ostseeküste überwiegend eisfrei und im Osten der südlichen Ostsee traten nur noch dünnes Eis oder Eisreste auf. Dauerfrost führte dann ab Mitte Februar zunächst im Osten, später auch im Westen zu erneuter Eisbildung. Während sich in einigen Häfen und geschützten Bereichen entlang der Küste Schleswig-Holsteins nur vorübergehend dünnes Eis bildete, wuchsen die Eisdicken in den Häfen an der Ostseeküste auf bis zu 10 cm an. Im Osten waren nicht nur die Häfen, sondern auch die Küstenzonen vereist, wobei die Eisdicken bis auf 30 cm anwuchsen. Selbst östlich von Rügen bildete sich auf dem Meer eine große Eisfläche.

Der Temperaturanstieg im März ließ zunächst das Eis an der westlichen Ostseeküste abschmelzen und am 14. war dann auch die restliche deutsche Ostseeküste größtenteils eisfrei.

Wie an der Ostsee so blieben auch an der Nordsee die Wasseroberflächentemperaturen im Januar um rund 2 K unter den vieljährigen Mittelwerten.

Im Februar und März waren sie dann noch um rund 1 K zu tief, bevor die sonnige und strahlungsreiche Witterung nach Frühlingsanfang auch eine rasche Erwärmung der Gewässer bewirkte.

Im April lagen die Wassertemperaturen um 1 bis 2 K über dem Durchschnitt.

Im Mai erreichten die Monatsmittelwerte rund 12 °C an der westlichen Ostsee, 10,5 °C auf Helgoland und 13 bis 14 °C an der Nordseeküste. Sie lagen um rund 1 K über dem Durchschnitt.

Auch im Juni waren die flacheren Küstengewässer mit meist 16 bis 17 °C und die tieferen Gewässerzonen bei Helgoland mit 14 °C noch um rund 1 K zu warm.

Danach führte die strahlungsarme Witterung im Juli und August zu einer nur geringen weiteren Erwärmung, so dass die Wassertemperaturen um 1 bis 2 K unter dem Durchschnitt blieben.

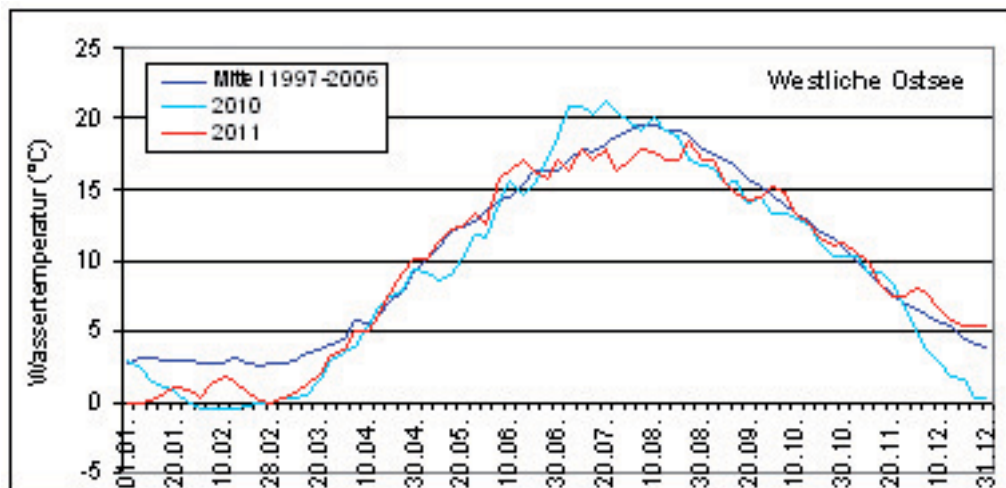


Abb. 4: Jahrgang der Wasseroberflächentemperatur

Nach zwei sehr windschwachen Vorjahren nahm das Windaufkommen 2011 wieder zu. Wie Abb. 4 zeigt, war das Jahresmittel des geostrophischen Windes* über der Deutschen Bucht mit 11,1 m/s (40 km/h) so hoch wie zuletzt im Jahr 2005, verfehlte aber noch geringfügig das 120-jährige Mittel von 1880 bis 2009. Dabei war auch der Anteil stärkerer Winde höher. In 2 % der Tage lag die Windgeschwindigkeit über 27,4 m/s (99 km/h) und blieb damit noch um 1 m/s unter dem Mittelwert der 98 % Perzentile.

*Geostrophischer Wind: Der geostrophische Wind ist dem horizontalen Gradienten des auf Meeresniveau reduzierten Luftdrucks proportional und damit - wie der reale Wind - ein Maß für die atmosphärische Bewegung.

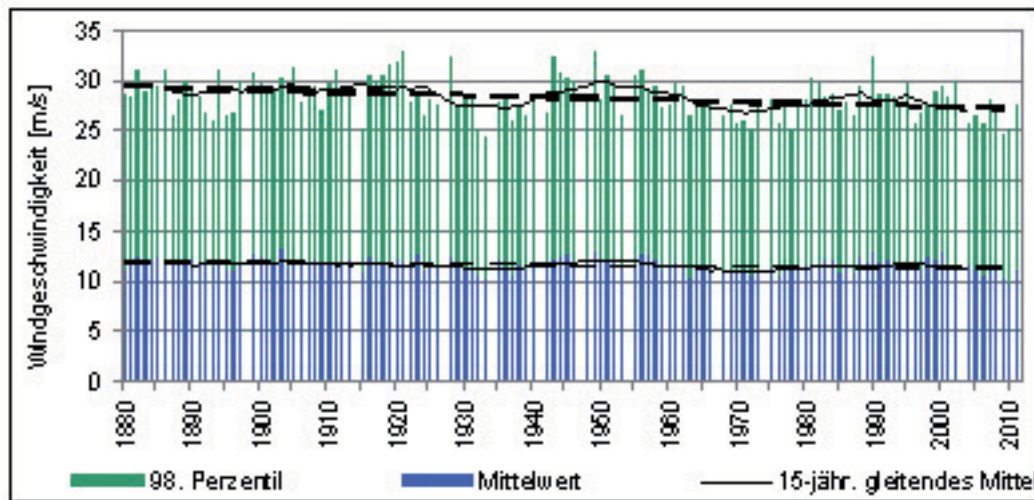


Abb. 5: Jahresmittel und 98 % Perzentile des geostrophischen Windes über der Deutschen Bucht

Das Jahr begann vor allem an der Ostsee stürmisch. Am Neujahrstag traten die stärksten Windböen mit einer Stärke bis Bft 10 zwischen dem Darß und Rügen auf. Nachfolgend war der Wind trotz der vorherrschend westlichen Richtungen nur selten kräftig. Das änderte sich in den ersten Februartagen.

Die Ausläufer einer Folge rasch ostwärts ziehender Sturm- und Orkantiefs lösten vom 4. bis 8. Februar über dem deutschen Küstenraum Böen bis Bft 10 bzw. 11 aus. Dabei war der 7. Februar der windigste Tag des Jahres. Kurz vor Monatsmitte stellte sich dann die Wetterlage um. Der Wind drehte auf östliche Richtungen und schwächte sich ab. Winde aus Nordost bis Südost wehten im Monatsverlauf zu 50 bis 60 % der Zeit und damit um 20 bis 30 % häufiger als gewöhnlich.

Im März und April wichen die Windverteilungen nicht besonders markant von den mittleren Verteilungen ab. An einzelnen Tagen traten immer wieder einmal stärkere Winde mit Sturmböen auf, die Stärken von Bft 8 oder 9 erreichten.

Im Mai waren Winde aus nördlichen Richtungen (Nordwest bis Nordost), die gewöhnlich zu gut 40 % der Zeit auftreten, deutlich seltener, womit dann auch die für Mai typischen Kaltlufteinbrüche wie zu den Eisheiligen ausblieben. Höhere Windgeschwindigkeiten gab es im Wesentlichen nur in der 4. Maiwoche. Am 26. löste der Durchzug einer Kaltfront sogar starke Sturmböen bis Bft 10 aus.

Im Juli und August verursachten Kaltfronten und Gewitter an einigen Tagen Sturmböen, die maximal der Stärke Bft 8 oder 9, am 26. August bis Bft 11 entsprachen. Aufgrund der stürmischen Böen kam es auf der Reede vor Helgoland am 26. August bei bis zu Bft 10 zu einer Kollision von zwei Ausflugschiffen, bei der aber niemand verletzt wurde. Der Anteil südlicher Winde lag im August um rund 10 % höher als gewöhnlich und erreichte damit an der Ostsee einen Anteil von 50 bis 60 %. Winde aus nördlichen Richtungen waren dagegen seltener und wehten nur zu rund 10 bis 20 % der Zeit.

Noch ausgeprägter war diese Verlagerung der Hauptwindrichtungen im September. Winde aus südlichen Richtungen, die in diesem Monat gewöhnlich zu 40 bis 50 % der Zeit wehen, kamen zu 65 bis 75 % der Zeit vor. Kräftiger Wind mit stürmischen Böen trat vorwiegend in der ersten Septemberhälfte auf. Stürmisch ging es vor allem am 6. und 7. und in der Zeit von 12. bis 15. September zu. Für das letztgenannte Sturmereignis war der zu einer außertropischen Zyklone umgewandelte ehemalige Hurrikan KATIA verantwortlich, der in diesem Zeitraum von den Britischen Inseln Richtung Finnland zog.

Im Oktober kamen die ohnehin schon vorherrschenden südlichen Winde noch häufiger vor und erreichten einen Anteil von rund 60 bis 70 %. Windreich war vor allem die erste Monatshälfte, wobei die stärksten Windböen an der Nordsee vorkamen. Der ehemalige Hurrikan OPHELIA, der sich in der Zeit vom 6. bis 8. Oktober von der Norwegischen See nach Nordskandinavien verlagerte, löste Sturmböen bis Bft 10 aus, an exponierten Standorten sogar bis Bft 11. Im ungewöhnlich trockenen November zeigte die Windverteilung markante Abweichungen. Wie Abb. 6 zu entnehmen ist, war das Auftreten von Winden aus östlichen Richtungen mit einem Anteil von 50 bis 60 % doppelt bis dreifach so hoch wie gewöhnlich. Winde aus West bis Nord kamen dagegen nicht einmal zu 10 % der Zeit vor. Dabei war das Windaufkommen bis in die 4. Novemberwoche hinein unter Hochdruckeinfluss gering.

Nach Umstellung der Großwetterlage brachten vom 25. November an Sturmtiefs, die vom Ostatlantik nach Skandinavien zogen, Sturmböen bis Bft 10, in exponierten Lagen sogar bis Orkanstärke. Diese Westwetterlage setzte sich im Dezember fort und prägte eindrucksvoll die Windverteilung. Wie Abb. 6 zeigt, wehte der Wind zu 60 bis 70 % der Zeit aus westlichen Richtungen (Südwest bis Nordwest) und anders als im November kamen östliche Winde so gut wie nicht mehr vor. Dabei erreichten die westlichen Winde zu einem Drittel der Zeit eine Windstärke von mindestens Bft 6 im 10-Minuten-Mittel. Sturmböen entsprachen Windstärken bis Bft 10. Vereinzelt wurden an der Nordfriesischen Küste auch orkanartige Böen (Bft 11) registriert.

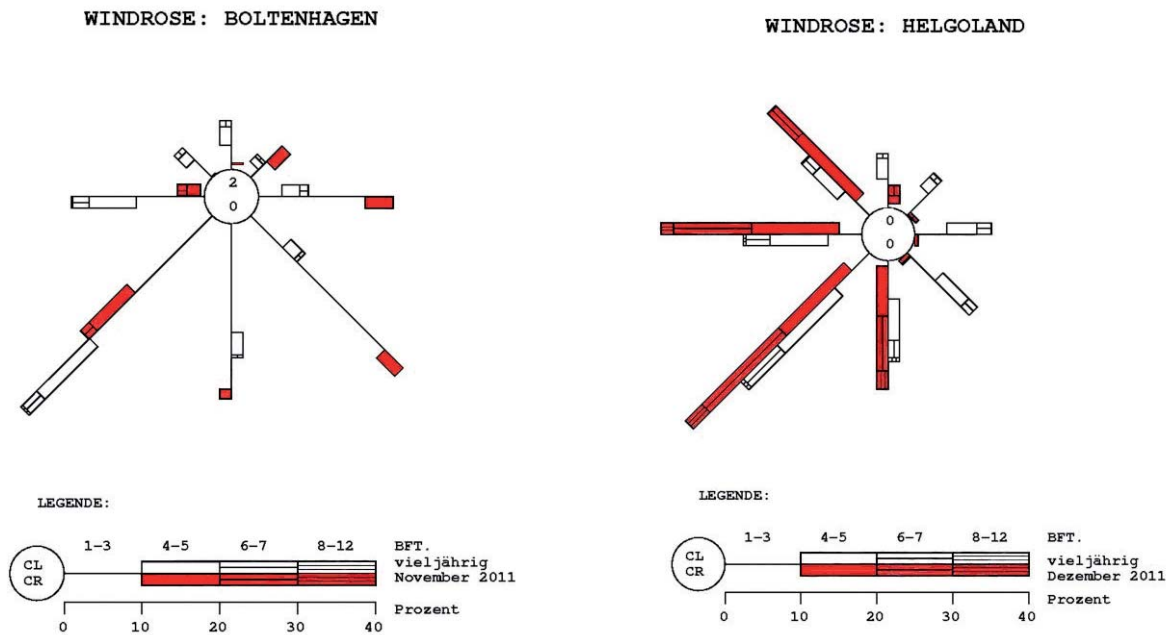


Abb. 6: Windverteilungen an der Station Boltenhagen im November und auf Helgoland im Dezember 2011 (rot) wie auch im Monatsmittel (CL/CR: Prozentualer Anteil der Windstillen vieljährig und 2011)

Die Verteilung der Wetterlagen

Im Folgenden wird die Häufigkeit der 2011 aufgetretenen Wetterlagen beschrieben:

Die objektive Wetterlagenklassifikation des DWD beruht auf numerischen Kriterien, die auf jede meteorologische Situation über Mitteleuropa angewendet werden können. Die Klassifizierung wird einmal täglich um 12 UTC durchgeführt und das Ergebnis als die Wetterlage betrachtet, die für den ganzen Tag gültig ist. Das räumliche Klassifizierungsgebiet überdeckt Deutschland und benachbarte Regionen. Die Datengrundlage liefert das operationelle Wetteranalyse- und Vorhersagesystem des DWD. Bis 21.11.1999 wurde das Europa-Modell (EM) des DWD zugrunde gelegt, seit 22.11.1999 das neue operationelle erweiterte Globalmodell (GME), das über eine vergleichbare räumliche Auflösung wie das EM verfügt; die Modellgitterpunkte sind lediglich anders strukturiert. Ein merklicher Datensprung aufgrund des Modellwechsels wurde bisher nicht festgestellt.

Kriterien für die Einteilung der Wetterlagenklassen sind die Zirkulationsformen der Atmosphäre (Zyklonalität) in 950 und 500 hPa, die großräumige Anströmrichtung in 700 hPa und der Feuchtegehalt der Troposphäre. Dadurch ergeben sich 40 verschiedene Wetterlagenklassen. Die Methode ist jederzeit nachvollziehbar mit dem gleichen Ergebnis. Es gibt keine unbestimmten Fälle. Aus diesen Gründen wird der Anspruch auf die Bezeichnung „**Objektive** Wetterlagenklassifikation“ abgeleitet. Das Verfahren wird seit dem 01.07.1979 angewendet, so dass inzwischen eine über 25jährige Zeitreihe täglicher Wetterlagenklassen vorliegt.

Die Klasseneinteilung erfolgt nach folgendem Schema:

Jede Wetterlagenklasse wird mit einer fünfstelligen Buchstabenkennung abgekürzt, und zwar in folgender Anordnung:

aa z₉₅₀ z₅₀₀ f mit:

aa =: Anströmrichtung: XX = keine vorherrschende Richtung,
NO = Nordost, SO = Südost,
SW = Südwest, NW = Nordwest;

**z₉₅₀ z₅₀₀ =: Zyklonalität in
950 bzw. 500 hPa:** Z = zyklonal, A = antizyklonal;

f =: Feuchte F = feucht, T = trocken.

Beispiel:

NOAZT = Nordost, antizyklonal in 950 hPa, zyklonal in 500 hPa, trocken.

Häufigkeit der Wetterlagenklassen 2011

Folgende Wetterlagen sind im Jahr 2011 aufgetreten (in der Reihenfolge ihrer Häufigkeit):

Rang	Wetterlage	Anzahl	in %	Rang	Wetterlage	Anzahl
1	XXAAT	39	10,68	18	SWZAT	5
2	NWAAT	35	9,59	19	SWZZT	5
3	NWAAF	34	9,32	20	SOZZF	5
4	SWAAF	30	8,22	21	XXAZF	4
5	SWZAF	30	8,22	22	NWAZF	4
6	NWAZT	29	7,95	23	SOZAF	4
7	SWAAT	26	7,12	24	XXZZT	4
8	NOAAT	15	4,11	25	XXZAF	3
9	SWAZT	15	4,11	26	NWZAF	3
10	SWAZF	13	3,56	27	NWZZT	3
11	SWZZF	13	3,56	28	SOZZT	2
12	SOZAT	9	2,47	29	SOAAT	1
13	XXZAT	7	1,92	30	SOAAF	1
14	XXZZF	7	1,92	31	SOAZT	1
15	XXAAF	6	1,64	32	NWZAT	1
16	XXAZT	5	1,37	33	NOZZT	1
17	NOAZT	5	1,37			

Die Wetterlagenklassen NOAAF, NOAZF, SOAZF, NOZAT, NOZAF, NOZZF und NWZZF sind im Jahr 2011 nicht vorgekommen. Besonders häufig traten in diesem Jahr die hochreichend antizyklonalen, trockenen Wetterlagen ohne eindeutig vorherrschende Strömungsrichtung XXAAT auf. Auch die hochreichend antizyklonalen Nordwestlagen NWAAT und NWAAF sowie die Südwestlagen SWAAF und SWZAF waren häufig vertreten. Ihre Häufigkeit entsprach aber insgesamt nur dem langjährigen Mittel. Deutlich häufiger als im langjährigen Mittel war die hochreichend antizyklonale Südwestlage SWAAT. Demgegenüber wurde die hochreichend zyklonale, feuchte Südwestlage SWZZF deutlich weniger häufig beobachtet als im Mittel. Die 7 Lagen NWAAT, NWAAF, SWAAF, SWZAF, NWAZT, SWAAT und XXAAT stellten zusammen 61 % aller Lagen dar.

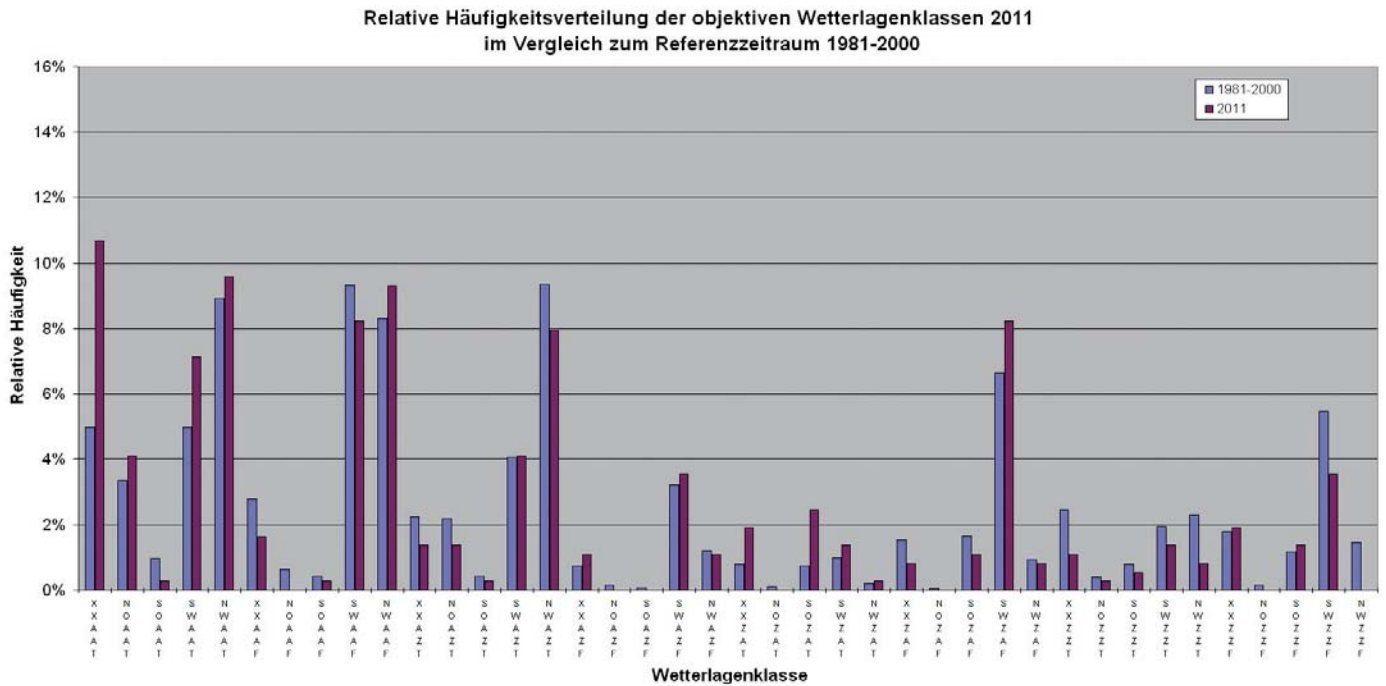


Abb. 1: Relative Häufigkeitsverteilung der objektiven Wetterlagenklassen 2011 im Vergleich zum 20jährigen Zeitraum 1981-2000.

Häufigkeit von Wetterlagengruppen 2011

Bei den Häufigkeiten der Wetterlagengruppen (Abb. 2 und 3) ist festzustellen, dass die Lagen ohne eindeutig vorherrschende Windrichtung etwas stärker vertreten waren als im Referenzzeitraum 1981-2000. Ansonsten entsprach die Windrichtungsverteilung weitgehend den Bedingungen in der Bezugsperiode.

In Bodennähe und in der freien Atmosphäre ergaben sich noch mehr antizyklonale Lagen als im Bezugszeitraum. Die feuchten Lagen traten wieder etwas seltener auf als in der Referenzperiode.

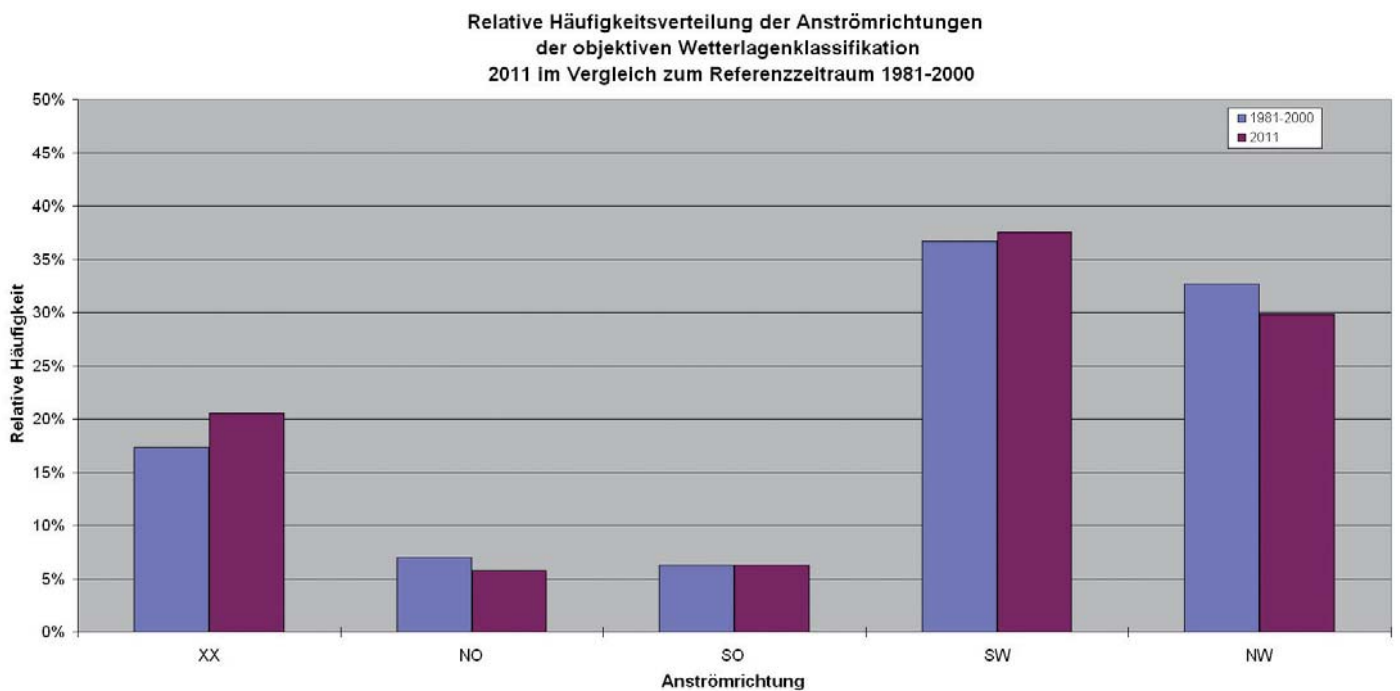


Abb. 2: Relative Häufigkeitsverteilung der Anströmrichtungen der objektiven Wetterlagenklassifikation 2011 im Vergleich zum 20jährigen Zeitraum 1981-2000.

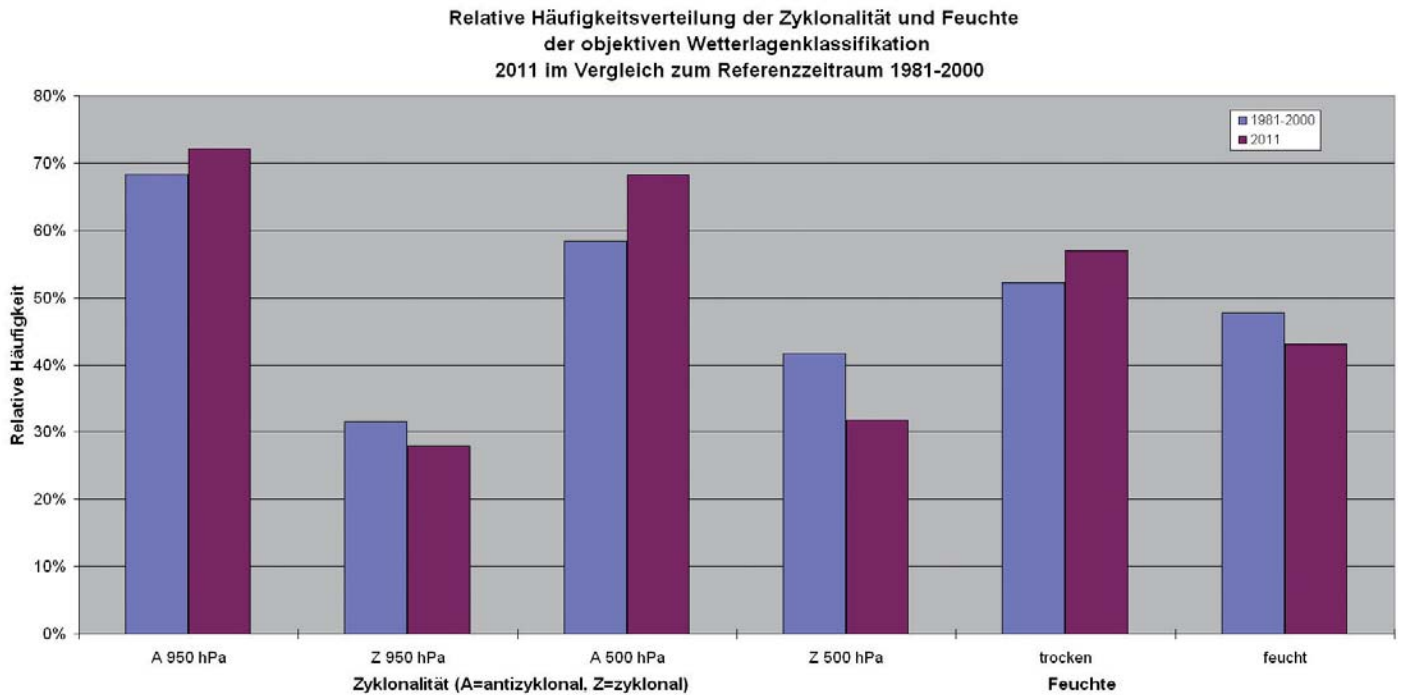


Abb. 3: Relative Häufigkeitsverteilung der Zyklonalitäts- und Feuchteklassen der objektiven Wetterlagenklassifikation 2011 im Vergleich zum 20jährigen Zeitraum 1981-2000

Jahresverlauf der Wetterlagen und Zusammenhang mit Temperatur/Niederschlag

WLK/Monat	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
XX	5	9	8	9	4	4	10	4	5	7	10	0	75
NO	4	2	6	5	1	1	0	0	0	1	1	0	21
SO	1	1	4	5	1	3	0	0	9	2	6	0	23
SW	10	5	6	2	15	15	14	22	17	9	9	13	137
NW	11	11	7	9	10	7	7	5	8	12	4	18	109
A 950 hPa	23	19	22	18	25	22	22	20	27	27	15	23	263
Z 950 hPa	8	9	9	12	6	8	9	11	3	4	15	8	102
A 500 hPa	22	22	25	22	25	18	10	17	25	25	27	11	249
Z 500 hPa	9	6	6	8	6	12	21	14	5	6	3	20	116
trocken	21	17	23	16	19	14	14	11	15	22	19	17	208
feucht	10	11	8	14	12	16	17	20	15	9	11	14	157
Temperatur	1.5	0.5	1.4	4.2	1.7	1.2	-0,8	1.3	1.9	0.4	0.5	3.1	1.4
Niederschlag	95	55	32	49	61	114	144	122	85	83	3	169	88

Tab. 5: Monatliche Häufigkeiten (in Tagen) für die Anströmrichtungen (XX, NO, SO, SW, NW), die Zyklonalität (A=antizyklonal, Z=zyklonal) in 950 und 500 hPa und die Feuchteklassen (feucht und trocken) im Jahr 2011. Zum Vergleich die Deutschlandflächenmittel-Anomalien der Monatsmitteltemperatur (positive Zahlen: warm, negative: kalt) und die monatlichen Niederschlagssumme (in %) als Prozentsatz des Klimamittels 1961-1990.

• Anströmrichtung

Südwestlagen traten von Mai bis September besonders häufig auf, während sie von Januar bis April sowie im Oktober und November relativ selten waren. Nordwestlagen waren im Januar und Februar sowie im Oktober und besonders im Dezember relativ häufig, während sie im März, von Juni bis September und im November recht selten auftraten. Die Häufigkeit der Lagen mit Ostkomponente war im März und April verhältnismäßig hoch, während sie im Juli und August sowie im Dezember gar nicht auftraten. Lagen mit einheitlicher Anströmrichtung waren von Februar bis April, im Juli sowie im Oktober und November sehr häufig.

• Zyklonalität

In 950 hPa waren antizyklonale Lagen in 11 Monaten häufiger als die zyklonalen Lagen. Besonders deutlich dominierten sie im September und Oktober. Nur im November lagen die zyklonalen Lagen gleichauf. In 500 hPa waren die antizyklonalen Lagen in 10 der 12 Monate vorherrschend. Zyklonale Lagen dominierten nur im Juli und im Dezember.

• Feuchte

Nur von Juni bis August herrschten feuchte Wetterlagen vor. Von Januar bis Mai und von Oktober bis Dezember dominierten trockene Lagen.

Ein klarer Zusammenhang zwischen der Witterung und den vorherrschenden Wetterlagen lässt sich kaum feststellen, da Zyklonalität, Anströmrichtung und Feuchte oft gegensätzliche Tendenzen hervorbringen.

Langzeittrends 1980-2011

Bei der Anströmrichtung (Abb. 4) wurden die Trends zu einer Abnahme der Nordwest- und Nordostlagen bestätigt.

Bei den Feuchteklassen (Abb. 5) ist die langfristige Zunahme der feuchten Lagen weiterhin vorhanden, wurde aber erneut geschwächt.

Bei der Zyklonalität (Abb. 6 und 7) ist nun in 950 hPa eine Tendenz zu einer Zunahme der antizyklonalen Lagen erkennbar. In 500 hPa sind weiterhin keine langfristigen Tendenzen feststellbar.

Weitere Details zur objektiven Wetterlagenklassifikation können dem Internet entnommen werden:

<http://www.dwd.de/de/FundE/Klima/KLIS/prod/monitoring/wlk/wlk.htm>

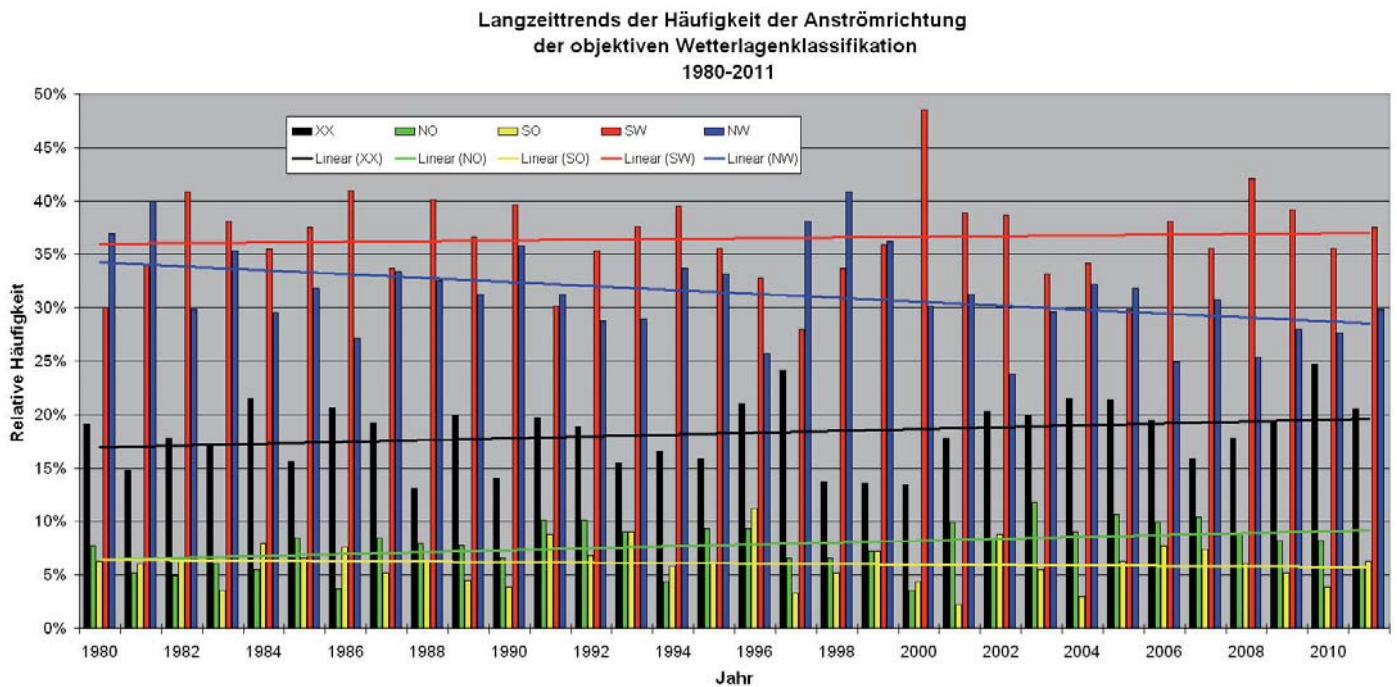


Abb. 4: Langzeittrends der Häufigkeit der Anströmrichtungen der objektiven Wetterlagenklassifikation 1980-2011.

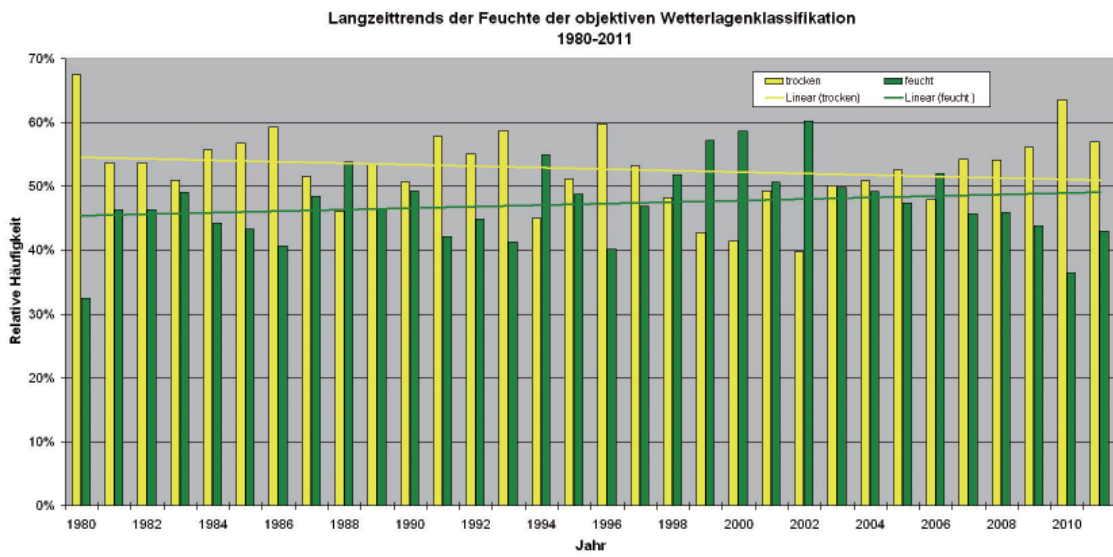


Abb. 5: Langzeitrends der Häufigkeit der Feuchteklassen der objektiven Wetterlagenklassifikation 1980-2011.

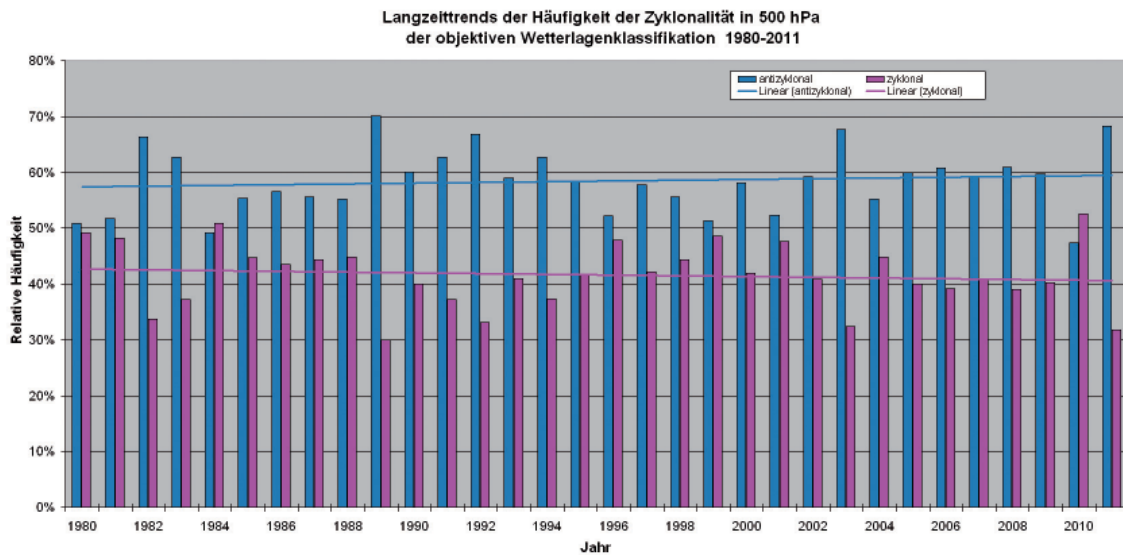


Abb. 6: Langzeitrends der Häufigkeit der Zyklonalität in 500 hPa der objektiven Wetterlagenklassifikation 1980-2011.

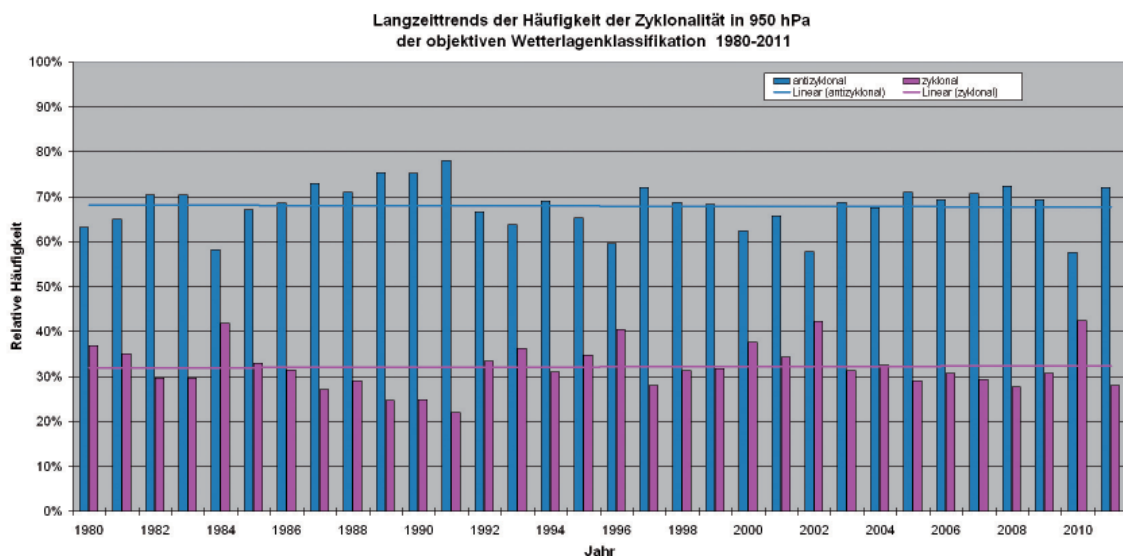


Abb. 7: Langzeitrends der Häufigkeit der Zyklonalität in 950 hPa der objektiven Wetterlagenklassifikation 1980-2011.

Die Agrarmeteorologische Entwicklung

Tauwetter, Überschwemmungen und anschließende Wechselfröste ließen zu Jahresbeginn kaum Feldarbeiten zu. Darauf folgte ein warmer, sonniger, extrem trockener Frühling, der die Landwirtschaft in ihre Grenzen wies. Der nasse, sonnenscheinarme Sommer erschwerte vielerorts die Getreideernte und wirkte sich negativ auf die Erträge aus. Wiederum außergewöhnlich trocken zeigte sich der Herbst. Die Witterung schaffte gute Bedingungen für Feldarbeiten wie die Zuckerrübenenernte. Spät gedrilltes Wintergetreide hingegen hatte Probleme aufzulaufen. Das Jahr endete niederschlagsreich und mild.

Während Anfang **Januar** noch Frost in Deutschland herrschte, folgte ab dem 06. 01. eine deutliche Milderung. Die Schneedecken auf den bereits wassergesättigten Böden schmolzen rasch ab, was zu verstärkter Sickerung und Staunässe führte. Gebietsweise kam es, besonders auf unbewachsenen Schlägen, zu erheblicher Bodenerosion, und entlang von Flüssen traten Hochwasser und Überschwemmungen auf. Durch die Wassersättigung und den fehlenden Frost im Boden waren die Böden nicht befahrbar. Die milde Witterung sorgte um die Monatsmitte herum für erste blühende Schneeglöckchen und Haselsträucher, die bezeichnend für den Beginn des phänologischen Vorfrühlings sind. Um den 20. Januar herum gingen die Temperaturen wieder zurück und brachten erneut Bodenfrost mit sich, der örtlich bis in eine Tiefe von 20cm vordringen konnte. Trotz einer Sperrfristverschiebung bis zum 15. 01. war die Gülleausbringung unter diesen Bedingungen nur regional möglich. Die nun wieder befahrbaren Böden erlaubten die Ernte der auf manchen Feldern verbliebenen Körnermaisbestände und eine weitgehend schonende Holzwerbung im Wald.

Im **Februar** sorgten milde Tage zu Anfang des Monats für Vegetationsregungen. Es wurden Haselblüten, Schneeglöckchenblüten und in wärmeren Regionen die ersten Erlenblüten gesichtet. Ein Kaltluftvorstoß zur Mitte des Monats stoppte das Pflanzenwachstum allerdings wieder. Erneut konnten Kahlfröste regional bis zu 40cm tief in den Boden eindringen. Trotz der dadurch verbesserten Bodenbefahrbarkeit konnten bis auf die zeitweise mögliche Gülleausbringung kaum landwirtschaftliche Arbeiten getätigt werden. Zum Monatsende sorgten Wechselfröste für eine gute Krümelstruktur des Bodens (Frostgare).

Im **März** brachten das frühe Einsetzen und der kalte Verlauf des vorangegangenen Winters bereits Auswinterungsschäden bei den Kulturen mit sich. Dazu kamen die Wechselfröste, die die Entwicklung der Winterkulturen behinderten. Zunehmend austrocknende obere Bodenschichten erschwerten das Auflaufen der Frühjahrssaaten und verhinderten, dass die Wurzeln Düngemittel aufnehmen konnten. Gebietsweise wurden die ersten Zuckerrüben gedrillt, Kartoffeln gelegt und in vielen Regionen begann das Grünlandwachstum. Starke Trockenheit ließ zum Ende des Monats die Waldbrandgefahr steigen.

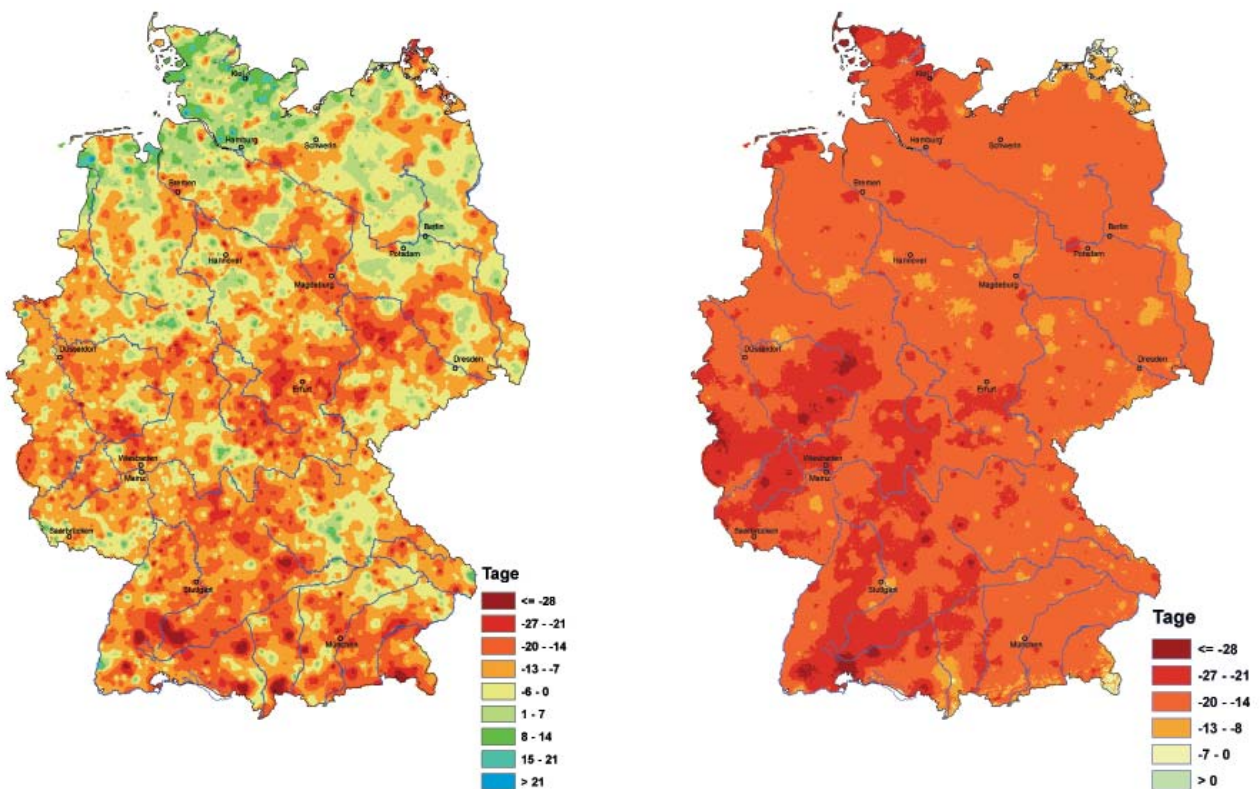


Abb. 1: Abweichung der Schneeglöckchen- (links) und Apfelblüte (rechts) vom vieljährigen Mittel

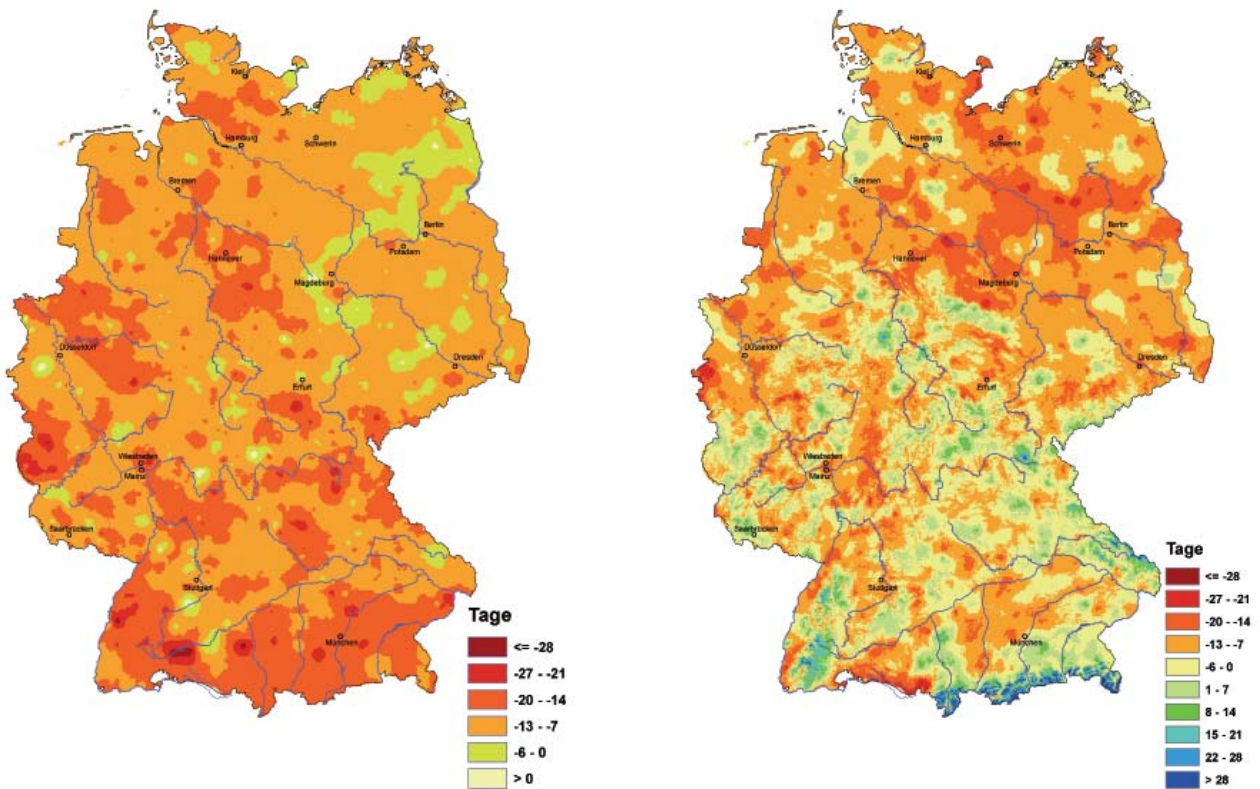


Abb. 2: Abweichung der Eintrittsdaten für das Ährenschieben vom Winterroggen (links) und der Fruchtreife der Rosskastanie (rechts) vom vieljährigen Mittel

Aufgrund der sonnigen, warmen und sehr trockenen Witterung im **April** waren in vielen Bundesländern Wald- und Graslandbrände zu beklagen. Gebietweise kam es zu Bodenerosion, die gepaart mit starkem Wind in Mecklenburg-Vorpommern Anfang des Monats zu starken Sandstürmen führte. Die Vegetation entwickelte sich rasch. Allerdings wirkte sich die anhaltende Trockenheit im Monatsverlauf negativ auf die Entwicklung des Winter- und Sommergetreides sowie auf den Raps aus.

Auch im **Mai** wurde durch den Wassermangel die Entwicklung von Natur und Kulturen gebremst, die hohen Temperaturen verhalfen aber der phänologischen Entwicklung zu einem Vorsprung. Der Blühbeginn des Schwarzen Holunders, der für den Beginn des Frühlommers steht, wurde in diesem Jahr schon am 16. April gemeldet. Das mittlere Eintrittsdatum 26. Mai (1992-2011) wurde hier um fast 10 Tage unterschritten. Verfrühte Eiseilige mit nächtlichem Bodenfrost sorgten zu Beginn des Monats für starke Schäden im Mais-, Kartoffel-, Wein- und Erdbeeranbau, sowie in Obstplantagen. Die Bodenfeuchten sanken dramatisch weiter, so dass es vor allem auf leichten Böden zu starken Welkeerscheinungen sowie Ausdünnungen der Kulturen kam und mit teils massiven Ertragsverlusten gerechnet werden musste. In Abb. 3 ist zu erkennen, dass Ende des Monats die Bodenfeuchte in den oberen Zentimetern fast flächendeckend katastrophale Werte von < 10 % nutzbare Feldkapazität angenommen hatte. Wer die Möglichkeit hatte, berechnete seine Kulturen fast ununterbrochen. Regional wurde bereits mit der Heuwerbung begonnen. Teilweise starke Niederschläge am letzten Maitag konnten die angespannte Lage kaum mildern.

Bodenfeuchte von 0–10 cm am 30.05.2011 23 UTC

Bodenfeuchte von 0–30 cm am 30.05.2011 23 UTC

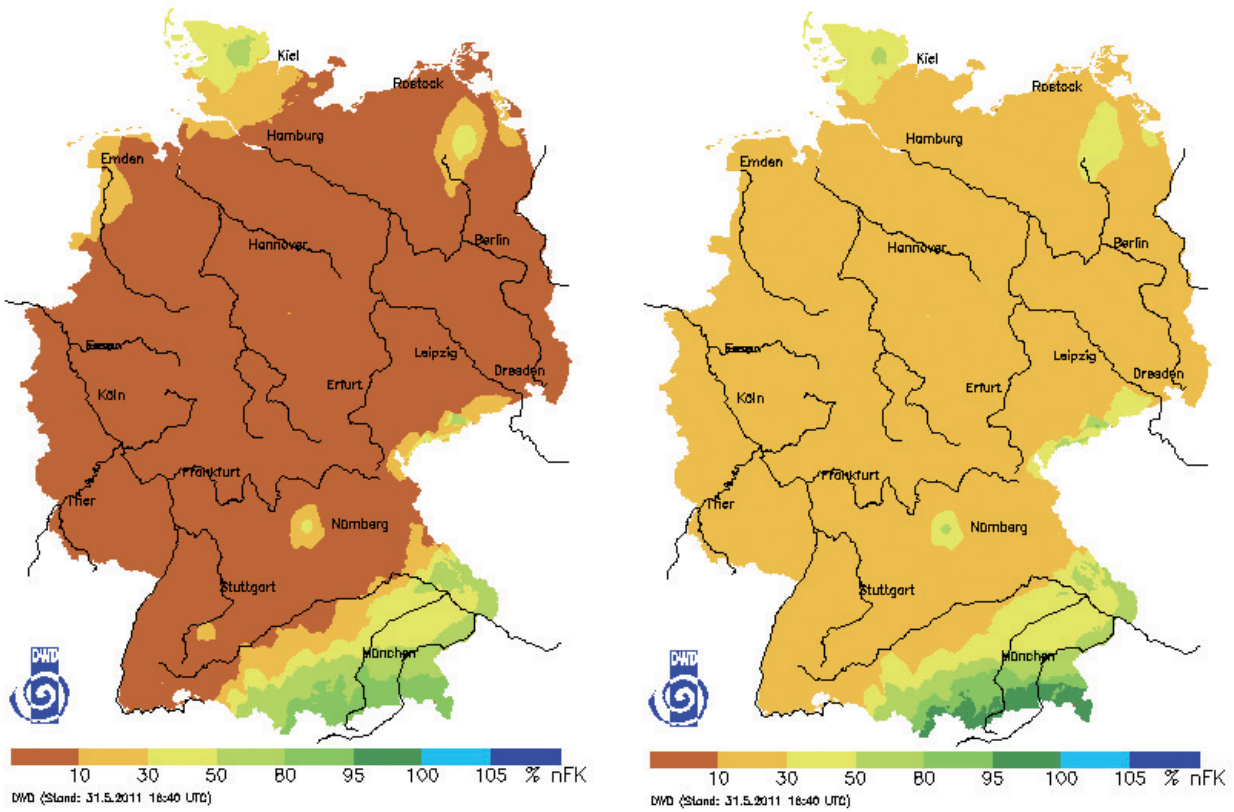
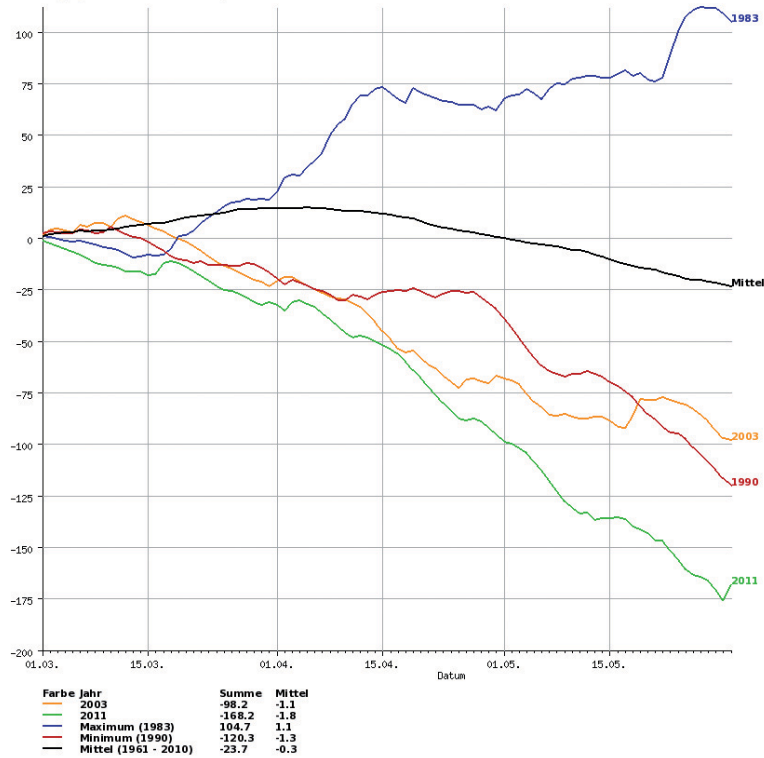


Abb. 3: Bodenfeuchte (unter Gras) in 0-10 und 0-30 cm Tiefe am 30.05.2011

Kumulative Klimatische Wasserbilanz (mm) im Mittel für Deutschland
Frühling (01.03. bis 31.05.) 1961 - 2011



Erstellt 30.06.2011 12:19 UTC



Abb. 4: Kumulative Klimatische Wasserbilanz in Deutschland im Frühling 1961 bis 2011

Abb. 4 verdeutlicht, dass die Klimatische Wasserbilanz der Frühlingsmonate 2011 im Vergleich zu den Jahren 1961-2010 die mit Abstand niedrigsten Werte aufwies.

Die Trockenheit des Frühjahrs fand im **Juni** endlich ein Ende, und das langjährige Niederschlagsmittel wurde wieder erreicht. Für frühe Getreidearten kamen die Niederschläge allerdings meist zu spät und Ertragseinbußen waren zu beklagen. Späte Weizenarten, Zuckerrüben und Mais hingegen konnten trotz der vorangegangenen Trockenperiode gut gedeihen. Die Niederschläge begünstigten allerdings auch den pilzlichen Infektionsdruck. Insgesamt blieb ein Vegetationsvorsprung von rund zwei Wochen erhalten.

Der **Juli** brachte starke Niederschläge gebietsweise in Form von Stark- und Dauerregen, teilweise in Verbindung mit heftigen Gewittern. Das unbeständige Wetter bot kaum Möglichkeiten zur Heuwerbung. Durch regional eingeschränkte Bodenbefahrbarkeit und gebietsweise hohe Kornfeuchten kam es zu Ernteverzögerungen bei Winterraps und Wintergetreide. Außerdem wurde die Ausbreitung pilzlicher Schaderreger, wie Schwärzepilze im Getreide und *Cercospora* bei Zuckerrüben, begünstigt, sowie regional Auswuchs am Getreide beobachtet. Zum Monatsende zeigten sich bereits die ersten Früchte des schwarzen Holunders, welche in der Phänologie den Frühherbst markieren und im langjährigen Mittel erst am 23. August auftreten.

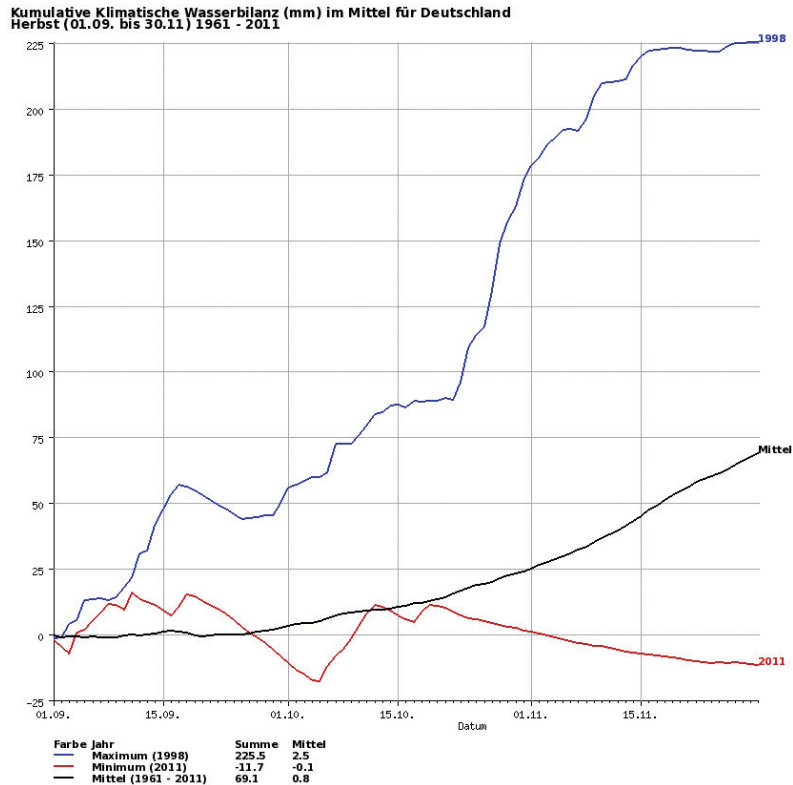
Auch im **August** wurde durch viele Niederschläge die Ernte weiterhin beeinträchtigt. Die wassergesättigten oder –übersättigten Böden mit nutzbaren Feldkapazitäten von teilweise > 100% vor allem im Norden und Süden Deutschlands waren schwer bis nicht befahrbar. Bei Weizen, Roggen und Triticale waren hohe Kornfeuchten bei gleichzeitig sinkenden Fallzahlen zu beklagen. Auswuchs war weiterhin ein Problem, und gebietsweise ging das Getreide ins Lager. Auch pilzliche Schaderreger wie *Phytophthora* bei Kartoffeln und *Cercospora* bei Zuckerrüben hatten weiterhin Bestand. Erntemaßnahmen und Saatbettbereitungen konnten nur während der kurzen von Hochdruck geprägten Abschnitte vonstatten gehen. Gegen Mitte des Monats begann die Winterrapsausaat. Mais, Zuckerrüben und Zwischenfrüchte konnten weiterhin von den Niederschlägen profitieren und vereinzelt fand schon die Ernte von Silomais statt. Auch mit der Weinlese wurde in diesem Jahr besonders früh begonnen.

In den wechselhaften ersten zwei Dekaden des **Septembers** gab es gebietsweise Probleme mit der Befahrbarkeit der Böden, die von den vorangegangenen nassen Sommermonaten noch wassergesättigt waren. Die Niederschläge kamen vor allem dem Wachstum von Mais und Zuckerrüben zugute. Im letzten Monatsdrittel bescherte dann Hochdruckeinfluss verbreitet trockenes Altweibersommerwetter. Die Ernte von Silomais und Kartoffeln konnte problemlos vonstatten gehen und bereits Mitte des Monats wurde mit der Weinlese begonnen, die einen besonders guten Jahrgangswein hervorbrachte.

Im **Oktober** konnte trotz starker Gegensätze im Wettergeschehen verbreitet mit den landwirtschaftlichen Arbeiten, wie Hackfruchternte und Bestellung der Wintersaaten fortgefahren werden. Die Zuckerrüben gediehen gut und versprachen Spitzenenerträge. Bereits zu Monatsbeginn wurde das Auflaufen von Winterweizen beobachtet. Der durchschnittliche Beginn dieser Phase (21.10.) wurde somit, beginnend im Nordosten des Landes, deutlich unterschritten. Die phänologische Entwicklung befand sich hingegen im Hinblick auf den herbstlichen Blattfall etwas im Rückstand.

Die sonnige und extrem trockene Witterung im **November** schuf optimale Bedingungen für Feldarbeiten. Die in diesem Jahr sehr ertragsreichen und qualitativ hochwertigen Zuckerrüben konnten problemlos geerntet werden. Spät gedrillter Winterweizen allerdings hatte bei ausgetrockneten Oberböden Probleme aufzulaufen. Die Wald- und Grasbrandgefahr stieg erneut an. Am Alpenrand wurde diese durch zeitweiligen Föhn verstärkt. Eine kalte Phase zur Monatsmitte sorgte für Vegetationsruhe, die im Zuge des milden Monatsausklangs wieder gelockert wurde. Zum Monatsende erreichten die Bodenfeuchten bis in 30cm Tiefe gebietsweise kritische Werte von < 30% nutzbare Feldkapazität.

Die Klimatische Wasserbilanz erreichte im Herbst ihren Tiefpunkt Anfang Oktober und sank nach darauffolgendem Ansteigen wieder kontinuierlich in den negativen Bereich (Abb. 5).



Erstellt: 08.12.2011 10:24 UTC



Abb. 5 : Kumulative Klimatische Wasserbilanz in Deutschland im Herbst 1961 bis 2011

Das Niederschlagsdefizit der Herbstmonate konnte im **Dezember** wieder ausgeglichen werden. Die Bodenwasservorräte füllten sich und die nutzbare Feldkapazität lag ab der Monatsmitte verbreitet über 100%. Die milde Witterung führte dazu, dass die Vegetationsruhe vielerorts unterbrochen wurde und sich das Wintergetreide langsam weiterentwickelte. Der für die Pflanzenentwicklung wichtige Kältereiz (Vernalisation) blieb aus. Durch unzureichende Phasen von Wechselfrost konnte der Ackerboden meist keine Frostgare ausbilden. Ende des Monats begann bereits die Hasel zu blühen, die den phänologischen Vorfrühling einleitet.

Bodenfeuchte und Mikroklima

Schlagzeile:

Das Jahr 2011 war geprägt durch eine große Frühjahrstrockenheit. Der deutlich zu warme und zu trockene April sorgte dafür, dass bis in den Juni hinein die Pflanzen unter Wasserstress zu leiden hatten. Im Sommer erfolgte vielerorts ein Ausgleich des Wasserdefizits.

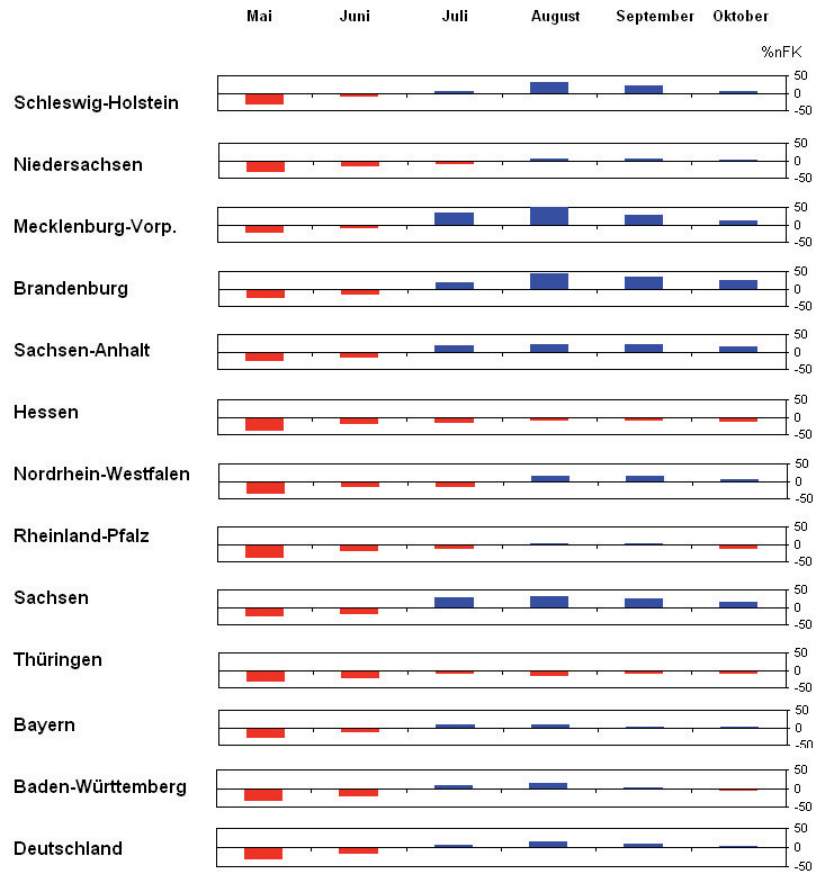


Abb. 1: Monatliche Abweichungen der Bodenfeuchte von Wintergetreide auf leichten Standorten (% nFK) im Jahr 2011 vom langjährigen Mittelwert 1962 – 2006 (rot = zu trocken, blau = zu feucht)

Abweichungen vom langjährigen Mittel für das Jahr 2011

	Januar		Februar		März			April			Mai			Juni						
	A	B	A	B	A	B	C	E	A	B	C	D	A	B	C	D				
Schleswig-Holstein	0.1	1.1	-0.4	0.9	0.4	0	111.5	-17.1	4.0	2.4	146.9	55.0	1.0	0.4	113.8	84.5	1.3	0.5	105.5	111.0
Niedersachsen	0.6	2.0	-0.1	1.5	0.7	-0.6	112.8	-17.1	4.0	2.3	140.8	62.5	1.2	0.0	118.5	67.8	1.0	0.4	105.0	113.5
Mecklenburg-Vorp.	0.5	1.8	-0.7	0.2	0.2	0	114.9	-12.9	3.6	2.8	132.1	63.2	1.1	0.2	115.2	74.5	1.7	0.7	108.8	108.2
Brandenburg	0.9	2.0	-1.1	0.0	0.6	-0.1	121.0	-15.1	3.8	3.2	132.7	66.0	1.3	0.1	119.0	67.8	2.0	1.1	110.9	89.3
Sachsen-Anhalt	1.1	2.3	-0.4	0.9	1.0	-0.4	123.9	-17.6	4.0	2.8	134.5	73.3	1.9	-0.1	123.7	63.3	1.9	0.8	115.5	96.5
Hessen	1.0	1.6	0.0	1.8	1.6	0.1	138.8	-19.3	4.1	2.3	142.3	53.7	2.1	-0.6	135.8	39.8	0.6	0.7	104.9	113.4
Nordrhein-Westfalen	0.7	1.0	0.9	2.1	1.5	-0.3	123.0	-14.1	4.4	2.6	139.3	57.1	1.9	0.0	128.3	42.7	0.8	0.4	103.0	118.4
Rheinland-Pfalz	1.3	1.4	0.9	1.7	2.1	1.1	149.3	-16.9	4.8	3.3	141.7	48.4	2.8	0.4	137.4	31.6	0.8	1.1	99.8	114.2
Sachsen	1.1	1.2	-0.6	-0.1	1.2	0.5	124.7	-14.9	3.8	2.7	129.5	63.5	1.9	-0.2	126.9	70.4	1.7	1.0	110.2	101.5
Thüringen	1.1	2.1	-0.6	1.2	1.1	0.4	126.4	-15.1	3.9	2.7	134.0	49.0	1.6	-0.2	125.4	57.4	1.2	0.8	113.0	101.2
Bayern	1.0	1.8	0.0	2.3	1.5	0.6	133.7	-16.2	3.7	1.7	141.3	57.6	1.7	-0.6	127.0	53.6	0.6	1.3	94.5	105.4
Baden-Württemberg	1.1	1.3	0.7	1.8	1.5	0.5	130.9	-12.5	4.1	1.7	137.5	58.1	2.4	-0.2	129.3	57.3	0.7	0.9	96.1	102.0
Gesamt BRD	0.9	1.6	0.0	1.4	1.2	0.2	126.1	-15.5	4.0	2.4	138.7	58.6	1.8	-0.1	124.8	59.3	1.1	0.8	103.2	107.0

	Juli		August			September			Oktober			November		Dezember						
	A	B	C	F	A	B	C	E	A	B	C	E	A	B	A	B				
Schleswig-Holstein	-0.7	0.1	83.4	1.3	-0.3	0.8	77.7	5.7	1.1	1.2	99.0	4.9	0.7	0.0	114.5	-3.8	1.0	0.9	2.0	3.3
Niedersachsen	-1.4	-0.4	83.3	-0.4	0.0	0.6	87.6	3.8	1.4	0.9	110.6	1.0	0.6	-0.4	114.8	-1.4	0.6	0.0	2.4	3.7
Mecklenburg-Vorp.	-0.9	0.4	75.8	4.1	-0.1	0.4	83.0	4.9	1.4	0.7	109.3	4.8	0.9	0.4	112.8	-3.7	0.7	0.0	2.1	3.2
Brandenburg	-1.4	0.1	77.2	2.4	0.3	1.0	88.5	2.8	1.7	1.1	107.7	14.0	0.8	0.1	108.2	3.0	0.2	-0.4	2.5	3.9
Sachsen-Anhalt	-1.3	0.2	83.7	1.3	0.6	1.4	94.0	3.0	2.0	1.3	114.2	10.0	0.6	-0.5	105.3	3.4	0.1	-0.9	2.5	4.2
Hessen	-1.8	-1.1	87.0	1.7	0.4	0.6	96.9	2.8	1.6	0.8	114.9	4.2	0.3	-1.1	121.9	-3.9	0.4	-0.6	2.1	3.2
Nordrhein-Westfalen	-1.8	-1.3	82.3	1.8	0.2	0.2	93.4	3.5	1.6	1.2	113.1	9	0.6	-0.1	111.8	-2.6	1.6	0.3	2.1	2.8
Rheinland-Pfalz	-1.7	-1.3	84.2	1.8	0.4	0.5	96.9	2.0	2.1	1.4	114.4	3.3	0.7	0.0	115.9	-7.8	1.4	0.9	2.3	2.8
Sachsen	-1.2	-0.5	86.6	0.6	0.9	1.2	95.8	1.6	2.3	1.4	115.5	8.9	0.9	-0.2	112.1	1.6	0.6	-0.3	1.9	3.8
Thüringen	-1.5	-0.5	92.3	-0.5	0.4	1.2	96.6	1.4	1.9	1.5	121.1	7.5	0.7	-0.4	120.7	0.4	0.3	-0.3	2.0	4.0
Bayern	-1.6	-1.0	85.9	2.2	1.2	0.9	106.7	-0.3	2.0	1.2	113.3	2.0	0.3	-0.7	119.5	-0.2	0.2	-0.2	1.9	4.4
Baden-Württemberg	-1.5	-1.8	87.8	2.5	1.1	0.5	106.3	-0.5	2.2	1.3	115.3	-1.1	0.3	-0.8	115.6	-1.4	0.7	0.3	2.2	3.4
Gesamt BRD	-1.4	-0.7	83.8	1.7	0.5	0.7	94.8	2.2	1.8	1.2	111.9	3.8	0.6	-0.4	114.9	-1.6	0.7	0.1	2.1	3.6

Legende:
 A = Bodentemperatur unbewachsener Boden 5 cm (rot = zu warm, blau = zu kalt)
 B = Minimumtemperatur in Bodennähe für unbewachsenen Boden (rot = zu warm, blau = zu kalt)
 C = Penman-Verdunstung, Abw. in % (rot = zu hohe Verdunstung, blau = zu geringe)
 D = Benetzungszeiten, Abw. in % (rot = rel. geringe Benetzungszeiten, blau = relativ hohe)
 E = Krümmenbodenfeuchte, %nFK (rot = relativ trocken, blau = relativ feucht)
 F = Kornfeuchte (%; 19 Uhr) (rot = relativ gering, blau = relativ hoch)

Tab. 1: Charakteristische agrarmeteorologische Kenngrößen für das Jahr 2011. Die Tabelle enthält die Abweichungen vom langjährigen Mittelwert (1962-2006) im Jahr 2011 für die Parameter Bodentemperatur, Minimumtemperatur in Bodennähe, Penman-Verdunstung und Benetzungszeit. Die rot markierten Werte stellen zu warme, bzw. Zeiten mit hoher Verdunstung und geringer Blattbenetzung, die blauen Werte zu niedrige Temperaturen, hohe Blattbenetzung und geringe Verdunstung dar.

Die Bodenfeuchtesituation während der Vegetationszeit 2011

Der wesentlich zu trockene April, verbunden mit extrem hohen Verdunstungsraten in diesem Monat, sorgte in der gesamten Bundesrepublik für negative Abweichungen bei der Bodenfeuchte von bis zu 40 % NFK vom langjährigen Mittelwert (Tab. 1). Das Bodenwasser wurde zwar im Juni etwas aufgefüllt, aber in nahezu allen Regionen Deutschlands wies der Juni noch ein Bodenfeuchtedefizit auf. Erst im Juli erfolgte der Ausgleich mit positiven Abweichungen u.a. in Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen, Brandenburg und Sachsen-Anhalt. Für den August wurden für alle Bundesländer, mit Ausnahme von Hessen und Thüringen, z. T. deutlich höhere Bodenfeuchten als im langjährigen Mittelwert berechnet. Ein relativ trockener Herbst sorgte dann für das dem langjährigen Mittelwert entsprechende Bodenwasser.

Mikroklima 2011

Mit Ausnahme des Monats Juli erwiesen sich bezüglich der Bodentemperaturen und der Minimumtemperaturen am Boden nahezu in allen Regionen alle Monate als zu warm. Herausragend war, wie schon 2010 und nahezu so extrem wie 2009, der April. Potenzielle Verdunstungsraten von 120 – 140 % in den Monaten April – Mai sorgten für extrem geringe Bodenfeuchten. Die deutlich zu hohen Kornfeuchten im Juli und August deuten z. T. auf massive Probleme beim Mähdrusch hin.

Besondere Situation 2011

Markant war 2011 die Bodenfeuchtesituation im Frühjahr. Die Abb. 2 zeigt die berechneten Bodenfeuchten, beispielhaft für einen leichten Boden mit Wintergetreide, Mitte Mai für den Zeitraum 1962 – 2011. Es wird deutlich, dass in den meisten Bundesländern der Mai 2011 zu den fünf trockensten Jahren bezüglich der Bodenfeuchte zu zählen ist.

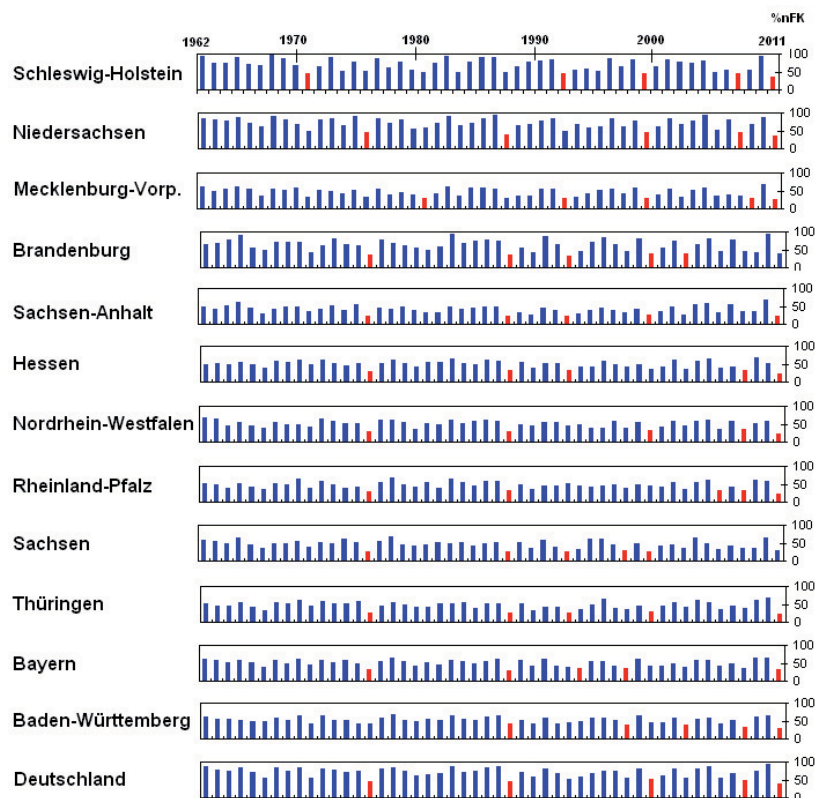


Abb. 2: Bodenfeuchtezustand (% nFK) jeweils Mitte Mai, 1962 – 2011, für leichte Böden, Wintergetreide
rot = die fünf geringsten Bodenfeuchten seit 1962

Das Weinjahr 2011 im Rheingau

Aus einem trockenen Frühjahr, verfrühten Eisheiligen, einem verregneten Sommer und letztendlich einem Bilderbuch-Altweibersommer resultierte ein außergewöhnlich guter Jahrgangsw Wein.

Jahresrückblick

Das Wetter im Jahr 2011 brachte allerlei Überraschungen - und letztendlich doch noch ein gutes Ende. Zumindest für die meisten Winzer dürfte dieses Fazit gelten. Für einige war das Jahr indessen schon sehr früh "gelaufen": Nach dem ungewöhnlich frühen Austrieb Mitte April reichte schon eine kalte Nacht in den ersten Maitagen, um in "Frostlöchern" für erhebliche Schäden zu sorgen. Auch wenn es im Rheingau - verglichen mit benachbarten Anbaugebieten - nur wenig Frostschäden gab, waren die Einbußen für die Betroffenen doch beträchtlich. Wieder einmal zeigte sich, dass ein allzu früher Start ins Jahr mit Risiken behaftet ist. Doch im Zeitalter der Klimawende werden wir uns wohl an solche Eskapaden gewöhnen müssen.

Der März wurde dann schon zu einem richtigen Frühlingsmonat, im April war es fast fröhsommerlich. Da war der frühe Austrieb nur die logische Konsequenz.

Ein sommerliches Frühjahr

Noch gravierender als die positive Temperaturabweichung war aber das Niederschlagsdefizit: Statt der in Geisenheim zu erwartenden Regenmenge von 119 mm fielen nur 44 mm. Das bedeutete schon ein Defizit von fast zwei Monaten! Sonne im Überfluss - auch hier wurde 2011 mit einem Überschuss von 250 Stunden (Gesamt 775 Stunden) nur von 1893 übertroffen. Die Entwicklung in der Pflanzenwelt überschlug sich fast - soweit nicht die Trockenheit die Entwicklung auf leichten Böden bremste. Am 26. Mai begann am Referenzweinberg des Weinbauamts Eltville schon die Blüte - in der im Jahr 1955 beginnenden Reihe war sie nur 2007 zwei Tage früher. Bis zu diesem Zeitpunkt hatte der Vorsprung in der Natur schon drei Wochen gegenüber einem "Normaljahr" erreicht.

Verregneter Sommer

Ende Mai setzte dann der Umschwung ein: Endlich gab es Regen - doch bald erwies sich dieser Segen auch wieder als Fluch. Denn einem nassen Juni folgte zwar ein unterdurchschnittlich nasser Juli, dann aber kam der August, der es mit 105 Liter Regen in Geisenheim unter die "Top Ten" bezüglich der Regenmenge schaffte. Obwohl es im Sommer 2011 auch bei der Sonne ein deutliches Defizit gab, wurde der Zeitraum von Juni bis August doch wärmer als der vieljährige Durchschnitt. Dank des großen Entwicklungsvorsprung zum Blütezeitpunkt und dieser feucht-warmen Bedingungen ging die Rebentwicklung so zügig weiter, dass am Eltviller Sonnenberg der früheste nachweisbare Reifebeginn registriert wurde: Am 30. Juli hatte der Riesling schon 25 Grad Oechsle erreicht.

Bilderbuch-Altweibersommer

In Verbindung mit dem vielen Regen wurde die frühe Entwicklung zusehends zum Problem: Denn die Reifephase fiel in eine feuchte, ab Mitte August bis weit in den September hinein auch noch in eine warme Periode. Wespen machten sich über die früh-süßen Trauben her, schädigten die Beerenhaut und öffneten damit die Pforte für Fäulnisbakterien. Zunächst nur bei kompakteren Traubenstrukturen, später auch bei lockerbeerigen Trauben breitete sich die Fäulnis stark aus.

Vor allem das Auftreten der Essigfäule machte eine Negativ-Vorlese, insbesondere als Vorbereitung zum Vollerntereinsatz, in vielen Fällen erforderlich. Mit dem Termin 14. September wurde eine neue Rekordmarke für den Lesebeginn gesetzt, der sich - hoffentlich - nicht so bald wiederholen wird.

Weine für kommende Generationen

Als sich fast schon wieder die 2006er-Panik breit machen wollte, nahm das Wetter eine positive Wende: Ein Altweibersommer wie aus dem Bilderbuch rettete den Herbst 2011. Ab dem 20. September blieb es trocken, Sonne und Wärme trockneten die verbliebenen Fäulnisnester aus. In den Beeren setzte ein Konzentrationsprozess ein, der letztendlich Spitzenqualitäten ermöglichte, von denen man Mitte September nicht einmal mehr zu träumen gewagt hätte. Bis in die letzten Oktobertage gab es tagtäglich neue Rekordmeldungen zu den Oechslegraden - ein famoser Abschluss eines verrückten Weinjahres! Und was das Beste ist: Nicht nur die Mostgewichte sind sensationell, auch die Säure passt. Der Jahrgang 2011 wird auch unseren Nachkommen noch in Jahrzehnten schmecken!

Den Verlauf des Jahres 2011 hinsichtlich der Mitteltemperaturen im Vergleich zu den letzten 30 Jahren, der Verteilung der Niederschläge und die Termine für Austrieb, Blüte, Reife und Lese zeigt die untenstehende Grafik (Abb. 1)!

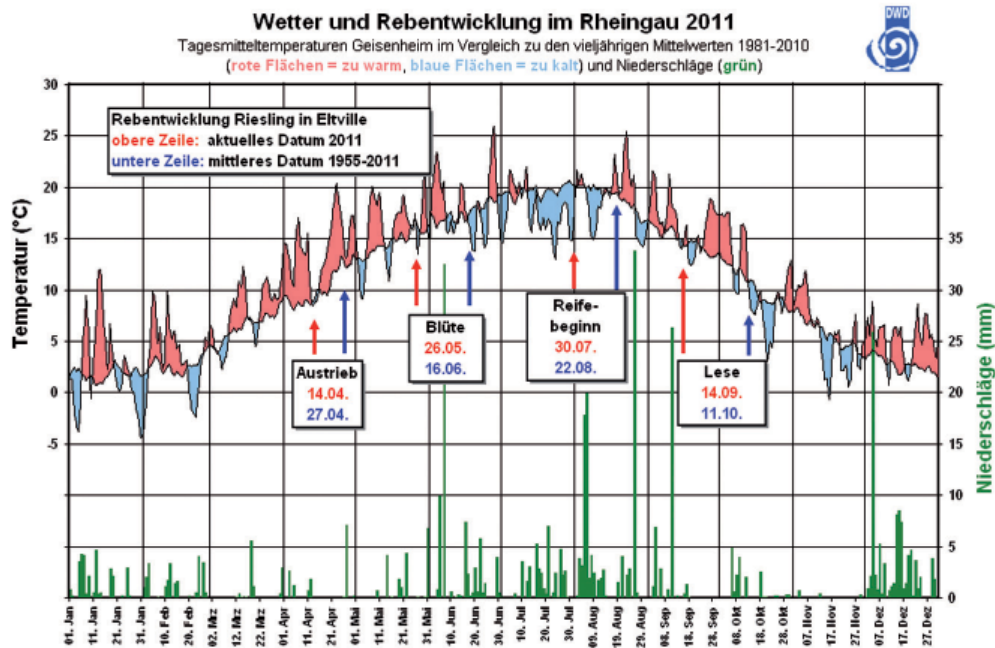


Abb.1: Wetter und Rebentwicklung im Rheingau 2011. (Quelle: Hans Helmut Schmitt, Außenstelle Geisenheim des Deutschen Wetterdienstes)

Ergebnisse von Messungen in der freien Atmosphäre

K. Zimmermann, H. Nitsche

Den folgenden Ausführungen liegen die Radiosondenmessungen (Luftdruck, Temperatur, Feuchte, Wind) und Windpilotierungen (Höhenwind) an den Stationen des gemeinsamen Messnetzes des Deutschen Wetterdienstes und des Geoinformationsdienstes der Bundeswehr zugrunde. Die Messwerte wurden über das Global Telecommunication System GTS empfangen.

Jährlicher Gang des Höhenwindes

In Abb. 1 sind für Schleswig und Stuttgart (als repräsentative Stationen für Nord- und Süddeutschland) die Strömungsverhältnisse für das Jahr 2011 dargestellt.

Die Strömungsmuster von Schleswig und Stuttgart weisen eine sehr große Ähnlichkeit auf. Im Januar und Februar wurden an beiden Stationen bodennah südliche Winde registriert, die mit der Höhe auf Nordwest drehten, so dass in der mittleren und oberen Troposphäre die für diese Monate typische Nordwestströmung vorherrschte. Während Schleswig im März in der Westdrift verblieb, war die Strömung über Stuttgart eher meridional geprägt. Über den Monat gemittelt war über Stuttgart eine schwache Nordströmung, die bis in die untere Stratosphäre reichte, wetterwirksam. Im April drehte auch über Stuttgart die Strömung wieder auf Nordwest. Hochdruckeinfluss im März und April führte insbesondere über Stuttgart zu einer Abschwächung der troposphärischen Strömung. Im Mai und Juni waren in ganz Deutschland vermehrt Wetterlagen mit Westkomponente in der Anströmrichtung wirksam. Im Juli wurde für Schleswig in der höheren Troposphäre eine markante Südkomponente ermittelt, die aus den in diesem Monat häufig aufgetretenen Südwest- und Südostlagen resultiert. Von August bis Oktober ergibt sich im Mittel für beide Stationen eine stabile westliche Strömung. Im November dominierten Wetterlagen mit südlicher Anströmung. Die gemittelten Windgeschwindigkeiten waren für November relativ niedrig, dies hängt mit der hochreichend antizyklonalen Zirkulation zusammen. Im Dezember befanden sich beide Stationen wieder in der für die Wintermonate typischen Westdrift.

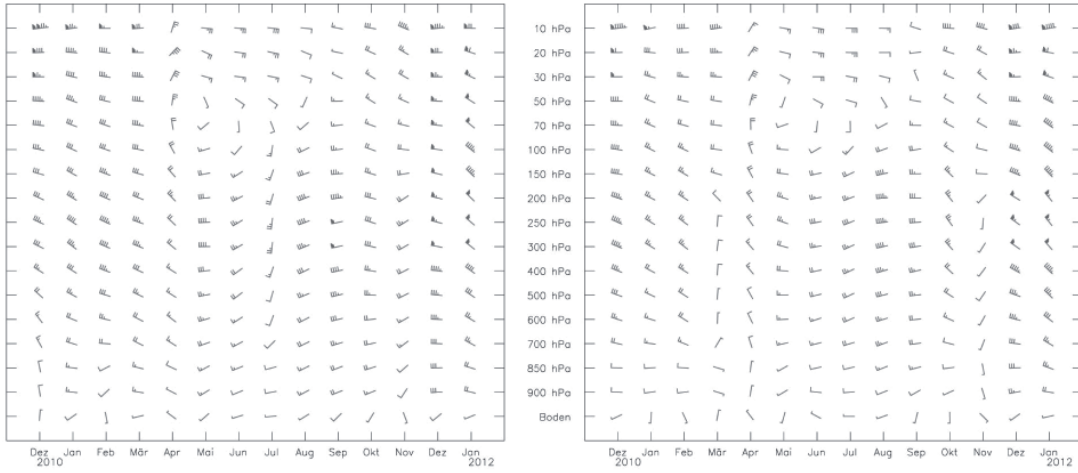
In der Stratosphäre dominierte über beiden Stationen von Januar bis März die Westwindzirkulation. Im April drehte die Strömung in den oberen Stratosphärenschichten auf östliche Richtungen. Die daraus resultierende Ostwindzirkulation blieb bis Ende August stabil. Ab September herrschte über ganz Deutschland wieder eine stratosphärische Westströmung vor.

Jährlicher Gang des Höhenwindes
nach monatlichen Mittelwerten 2011
00 und 12 Uhr UTC

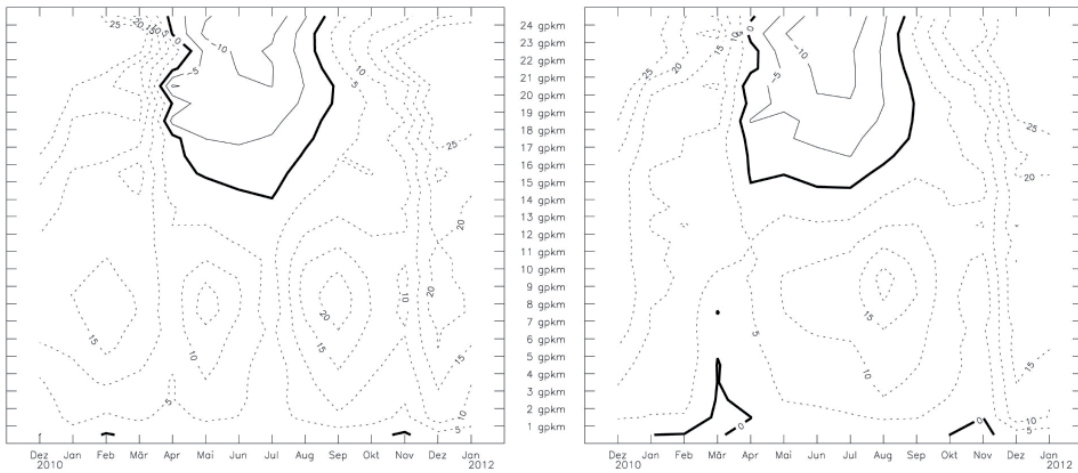
Schleswig

Stuttgart

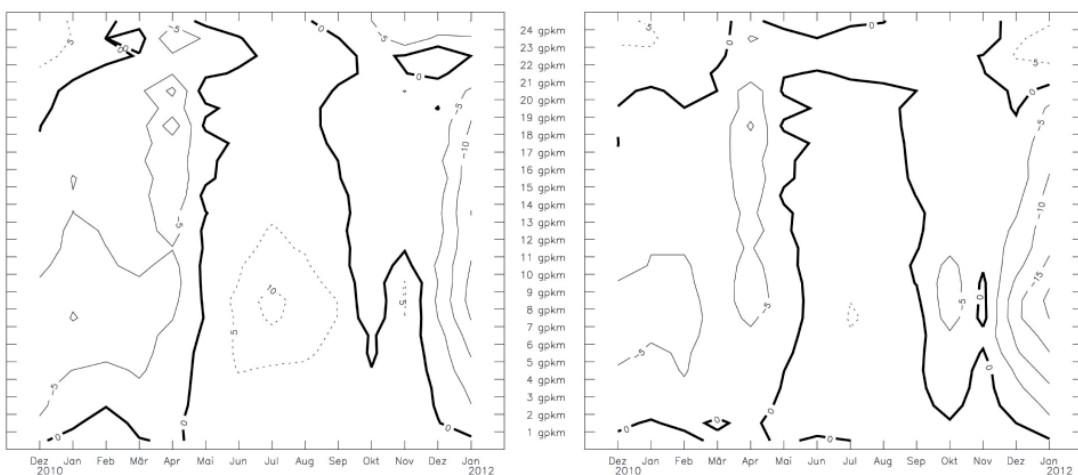
Mittlere Luftversetzung



Zonalkomponenten



Meridionalen Komponenten



Bei den Zonalkomponenten bedeuten positive Werte (gestrichelte Linien) Westkomponenten und negative Werte (durchgezogene Linien) Ostkomponenten.
Bei den Meridionalen Komponenten bedeuten positive Werte (gestrichelte Linien) Südkomponenten und negative Werte (durchgezogene Linien) Nordkomponenten.
Angaben der Zonal- und Meridionalen Komponenten in m/s; Angabe der Luftversetzung in Knoten. Ein ganzer Fiederstrich entspricht 5 Knoten (1kn=0,514 m/s).

Abb. 1: Jährlicher Gang des Höhenwindes, Schleswig und Stuttgart 2011

Station	Druckfläche (hPa)	Beginn (Tag)	Ende (Tag)	Dauer (Tage)
SCHLESWIG (WEWA)	20	100*	243	144*
	50	103*	212*	110*
GREIFSWALD (WEWA)	20	100*	243	144*
	50	103*	218*	116*
EMDEN (BW)	20	99*	243	143*
	50	103*	217*	115*
BERGEN (BW)	20	100*	243	144*
	50	103*	218*	116*
LINDENBERG (OBS)	20	100*	243	144*
	50	103*	218*	116*
ESSEN-BREDENEY (AWST)	20	100*	243	144*
	50	91	219*	129*
MEININGEN (WEWA)	20	98*	243	146*
	50	103*	218*	116*
IDAR-OBERSTEIN (BW)	20	98*	239*	142*
	50	103*	217*	115*
STUTT GART(SCHNAR.AWST)	20	96*	243	148*
	50	96*	219*	124*
KÜMMERSBRUCK (BW)	20	97*	243	147*
	50	104*	217*	114*
OBERSCHLEISSHEIM	20	95*	243	149*
	50	95*	217*	122*

Tab. 1: Beginn und Ende der sommerlichen Ostwindzirkulation in der Stratosphäre an 11 Radiosondenstationen für das Jahr 2011 (Datenbasis: Monatsmittelwerte und Tagesmittelwerte aus 2 bis 4 Windprofilen pro Tag, manuell korrigierte Werte sind mit * gekennzeichnet.)

Sommerliche Ostwindperioden

In Tab. 1 sind Anfang und Ende der sommerlichen Ostwindzirkulation in der Stratosphäre für die Druckflächen 20 hPa und 50 hPa für 11 Radiosondenstationen zusammengefasst. Ergänzend zeigt Abb. 2 die Folge der sommerlichen Ostwindperioden für drei Druckflächen über Stuttgart von 1987 bis 2011.

Die stratosphärische Ostwindzirkulation setzte in 20 hPa über allen Stationen in der ersten Aprilhälfte ein. Damit drehte die Strömung einen Monat früher als im Vorjahr auf Ost. Die Ostströmung blieb in der Höhe bis Ende August beständig.

In 30 hPa setzte die Ostzirkulation über Stuttgart, wie Abb. 2 zeigt, Anfang April ein und blieb ebenso wie in 20 hPa bis Ende August stabil. Damit gehört 2011 zu den Jahren mit längerer Ostwindperiode. Ähnlich lange Zeiträume wurden in den Jahren 2000 und 2003 beobachtet.

In 50 hPa wurde die sommerliche Zirkulation an allen Stationen in der ersten Aprilhälfte registriert. In Schleswig endete sie Ende Juli, an den anderen Stationen erst Anfang August.

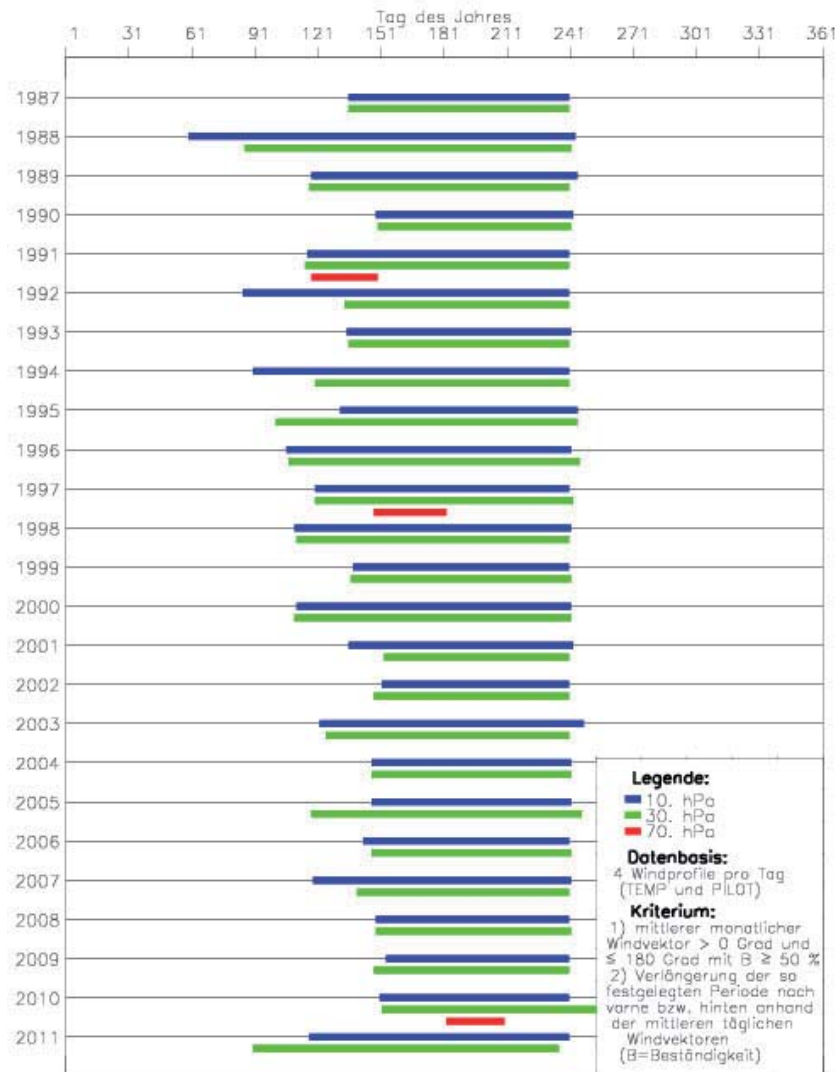


Abb. 2: Beginn und Ende der sommerlichen Ostwindzirkulation in der Stratosphäre, Stuttgart 1987-2011

Lufttemperatur

Monatsmittelwerte der Lufttemperatur

Abb. 3 zeigt die Abweichungen der mittleren Lufttemperatur bis 2011 gegenüber dem Referenzzeitraum 1961-1990 im Mittel über 7 Radiosondenstationen in 500 hPa und in 50 hPa seit 1971. Betrachtet werden die vier Jahreszeiten. Die Wettersituation im Jahr 2011 wird am besten von der Frühlings- und Herbstkurve widergespiegelt. Beide Jahreszeiten fielen besonders in der unteren und mittleren Troposphäre durch eine hohe positive Temperaturabweichung auf. Ursache hierfür waren länger andauernde, oft hochreichend trockene Hochdrucklagen. Dagegen war die Stratosphäre in beiden Jahreszeiten zu kühl.

Als Ergänzung zu diesen Betrachtungen zeigt Abb. 4 den Gang des vertikalen Temperaturgradienten 2011 für die Stationen Schleswig und Stuttgart. Neben der Drängungszone der Linien mit gleichem Temperaturgradienten im Bereich der Tropopause fällt im Zeitraum Oktober bis Dezember auch eine Drängungszone in der unteren Troposphäre auf. Diese hat ihre Ursache in den herbstlichen Inversionswetterlagen. Sehr deutlich wird dies bei der Betrachtung des gemittelten Profils der 00-UTC-Temperaturgradienten für Stuttgart. Im November ist zunächst ein positiver Temperaturgradient bis zur Inversionsschicht zu erkennen. Oberhalb der Drängungszone bzw. der Inversionsschicht verhält sich der Temperaturgradient wieder jahreszeitengemäß.

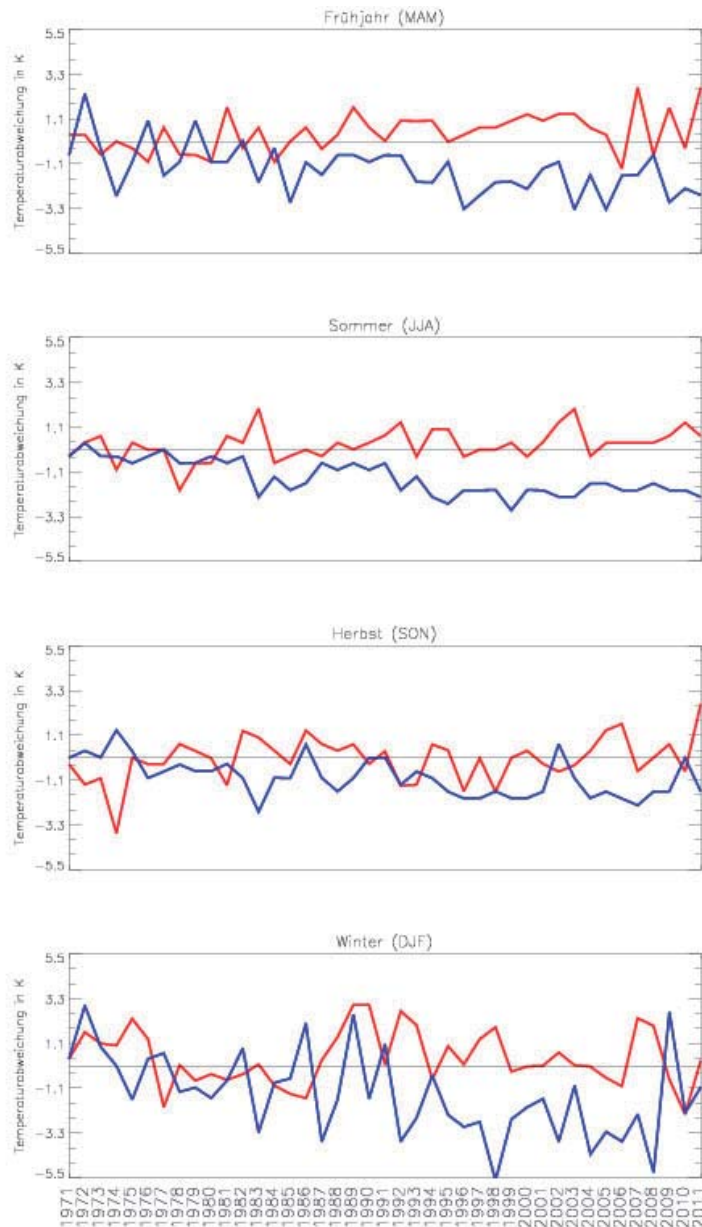
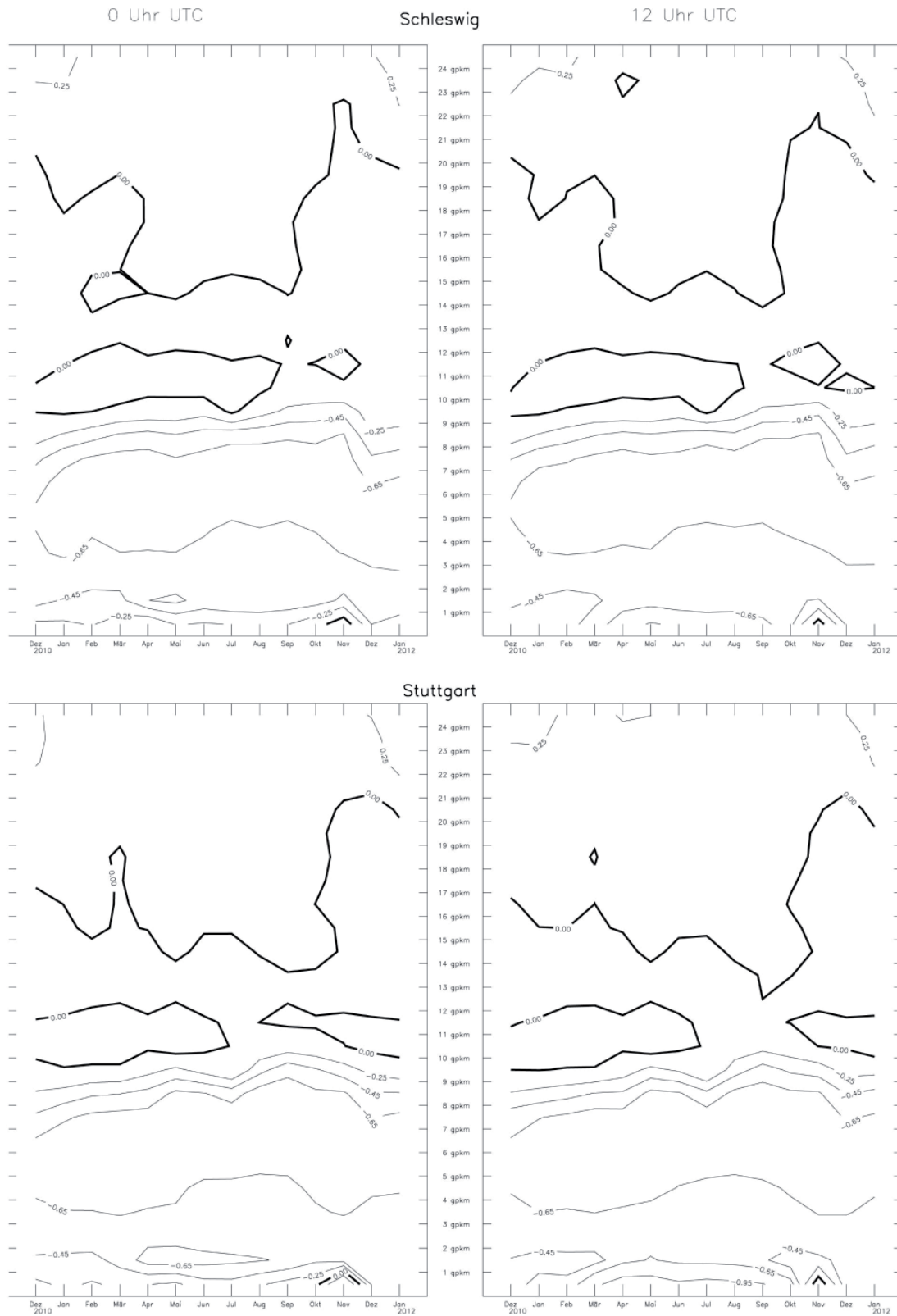


Abb. 3: Abweichungen der mittleren Lufttemperatur 2011 vom Referenzzeitraum 1961-1990 für die Jahreszeiten in 500 hPa (rot) und 50 hPa (blau) (Mittelwerte über 7 Stationen)

Jährlicher Gang des vertikalen Gradienten der Lufttemperatur
nach monatlichen Mittelwerten 2011



Negative Werte entsprechen einer Abnahme, positive Werte entsprechen einer Zunahme der Temperatur mit der Höhe (Angaben in K/100m).

Abb. 4: Jährlicher Gang des vertikalen Gradienten der Lufttemperatur, Schleswig und Stuttgart 2011

Temperaturminima in der Stratosphäre

Temperaturminima in der Stratosphäre von $-80,0\text{ °C}$ und darunter wurden in Tab. 2 eingetragen. Anfang des Jahres wies die Stratosphäre noch keine besonders extremen Temperaturminima auf. Lediglich in Schleswig und Emden wurden Minima von $-80,0\text{ °C}$ registriert. Im Februar wurden nur in der unteren Stratosphäre über Essen -80 °C gemessen. Ende März sank die Stratosphären-temperaturen über Schleswig nochmals auf -81 °C ab. Diese Abkühlung ging einher mit einer nicht unerheblichen Abnahme des stratosphärischen Ozons um 12% - 14%. (Mehr zum Thema Ozonschicht kann in diesem Klimastatusbericht im Artikel „Ozon in der Stratosphäre“ von U. Köhler, W. Steinbrecht und H. Claude und im Ozonbulletin des Deutschen Wetterdienstes Nr. 128 vom 16. Mai 2011 nachgelesen werden.) Erst Ende Dezember wurden wieder an allen Stationen in einer Höhe zwischen etwa 20 und 30 km Extremwerte bis $-85,0\text{ °C}$ (Schleswig) registriert. Für Emden konnte im Dezember kein stratosphärisches Temperaturminimum mehr gemessen werden, da dort der Radiosondenbetrieb am 31. August 2011 eingestellt wurde.

Station	Monat	Tag	Termin	Temperatur (°C)	Geopotential (gpm)
	Jan	5	12	-80	24856
	Mar	29	0	-80	21896
SCHLESWIG (WST)	Mar	29	12	-81	22204
	Dez	27	0	-82	28735
	Dez	27	12	-85	27710
	Mar	29	12	-80	21863
GREIFSWALD (WST)	Dez	28	0	-80	24530
	Dez	27	12	-84	27291
EMDEN-KOENIGSPOLDER (BW)	Jan	5	0	-80	22440
BERGEN (BW)	Dez	28	12	-82	25109
LINDENBERG (OBS)	Dez	29	0	-83	25969
	Dez	29	12	-84	25644
	Feb	6	12	-80	13531
ESSEN-BREDENEY (AWST)	Dez	23	0	-80	28200
	Dez	28	12	-82	25510
MEININGEN (WEWA)	Dez	29	0	-84	26164
	Dez	29	12	-83	25736
IDAR-OBERSTEIN (BW)	Dez	28	0	-80	25127
	Dez	29	12	-81	24300
STUTTGART (SCHNAR. AWST)	Dez	29	0	-80	26665
	Dez	29	12	-80	24900
OBERSCHLEISSHEIM (WEWA)	Dez	31	0	-82	23578
	Dez	29	12	-80	25000

Tab. 2: Extreme Temperaturminima in der Stratosphäre nach Radiosondenmessungen 2011

Ozon in der Stratosphäre

U. Köhler, W. Steinbrecht, H. Claude

Nach 2010 war auch das Jahr 2011 erneut für eine Überraschung gut, diesmal jedoch mit entgegengesetztem Vorzeichen. War die stratosphärische Ozonschicht im Jahr 2010 mit 339 DU so dick wie seit 25 Jahren nicht mehr, so erreichte der Jahresmittelwert 2011 mit 310 DU zusammen mit 1997 den 3.niedrigsten Wert seit Beginn der Messreihe. Nur die vom Ausbruch des Pinatubo-Vulkans beeinflussten Jahre 1992 und 1993 wiesen eine noch dünnere Ozonschicht auf (Abb. x1).

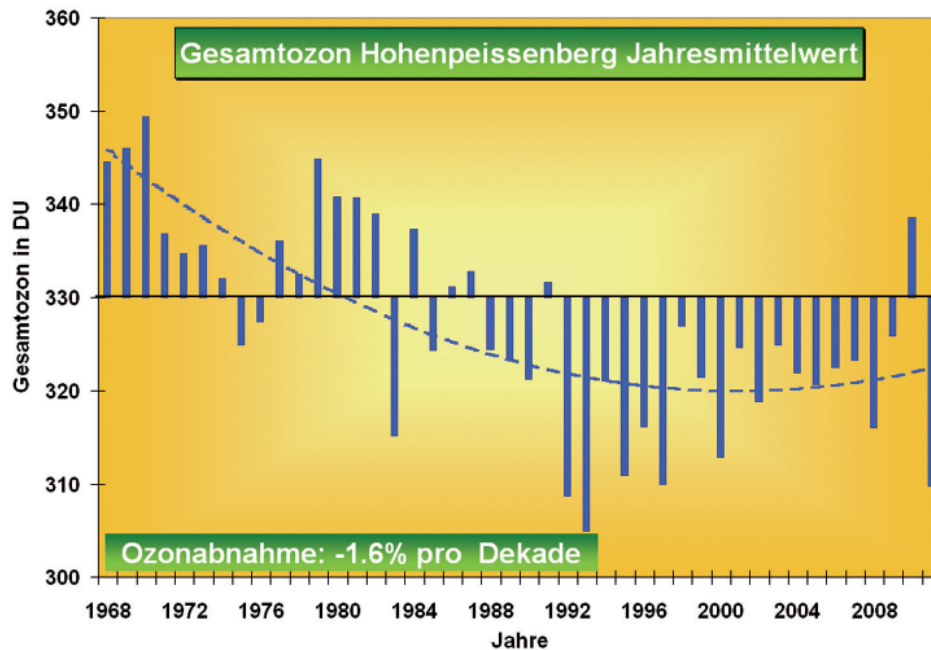


Abb. x1: Jahresmittel der Gesamtozonsäule aus den Spektromettermessungen am Hohenpeißenberg.

Abb. x2 zeigt den Verlauf der Ozonsäule am Hohenpeißenberg über das Jahr 2011. Bis auf den Januar und den Juli lagen alle Monatsmittel deutlich unterhalb des langjährigen Medians (50-Perzentil) und unterhalb des 33-Perzentils, sechs Monate (April, Juni, August, September, November und Dezember) sogar unterhalb des 10%-Perzentils. April und September markierten neue absolute Tiefststände. Diese Rekordminima wurden nicht nur am Hohenpeißenberg beobachtet, sondern auch an anderen Gesamtozonmessstationen in Mitteleuropa wie in Hradec Kralove (Tschechische Republik) und in Arosa (Schweiz).

Im Klimastatusbericht 2010 wurden die Ursachen für die hohen Werte im vergangenen Jahr ausführlich diskutiert. Dabei wurden als natürliche Haupt-Ursachen die Phasen der QBO und der sogenannten NAO (North Atlantic Oscillation) identifiziert. Ein Umschwung in beiden Faktoren hat 2011 zur völlig entgegengesetzten Entwicklung in der Ozonschicht und zu den niedrigen Ozonsäulen geführt. Dies zeigen z.B. die nordhemisphärischen Daten aus Satellitenmessungen in Abb. x3.

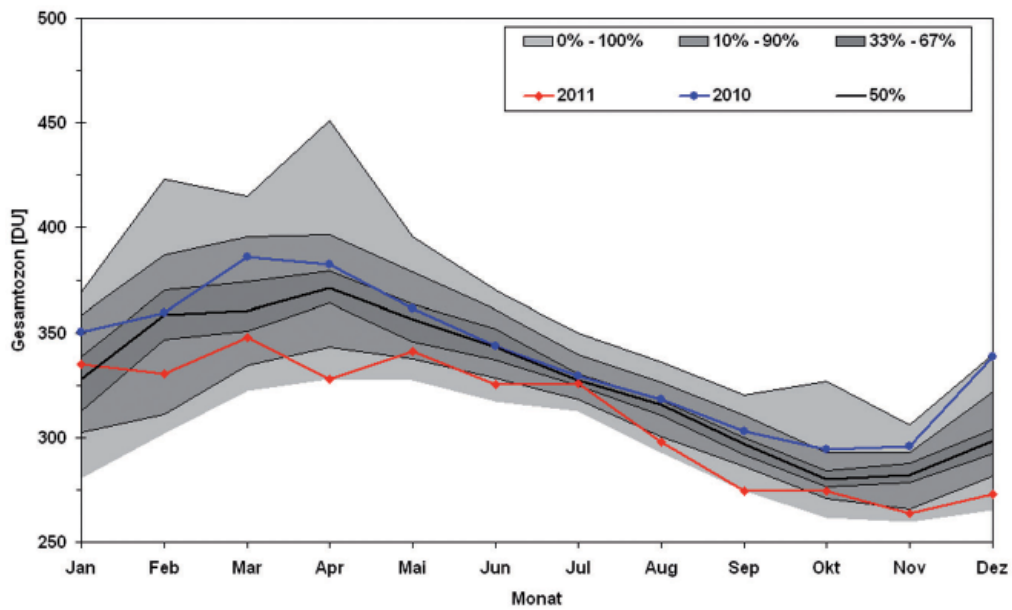


Abb. x2: Monatsmittel der Gesamt ozonsäule am Hohenpeißenberg für die Jahre 2010 und 2011. Der schattierte Bereich gibt die Perzentile der langjährigen Verteilung der Monatsmittel seit 1968 an.

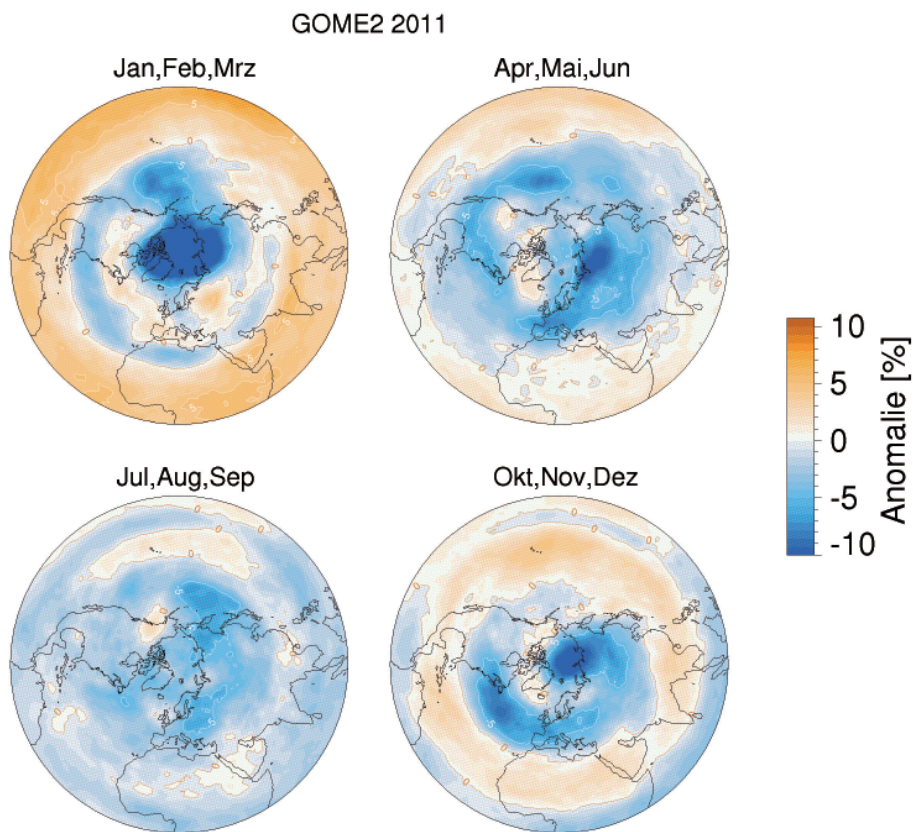


Abb. x3: Abweichungen des Ozon-Quartalsmittel 2011 vom langjährigen Mittel der Jahre 1979 bis 2011 anhand der GOME2 Daten.
 Datenquelle: www.temis.nl

Schon in den ersten Monaten fallen hier die relativ hohen Ozonwerte südlich von 30°N und die niedrigen Säulen nördlich davon auf (Abb. x3, links oben). Dieses Muster ist typisch für westliche QBO Windscherung in den vorangehenden Monaten über den Tropen. Im Gegensatz zu 2011 bremste diese QBO Phase den Meridionaltransport und die Brewer-Dobson Zirkulation. Die meteorologische Situation führte allein so schon zu hohen Ozonsäulen in den Tropen und zu niedrigen Säulen in nördlichen Breiten.

Zusammen mit der schwachen Brewer-Dobson Zirkulation konnte sich dann ein ungewöhnlich stabiler und kalter stratosphärischer Polarwirbel entwickeln, in der Troposphäre begleitet mit positiver Phase der Arctic- und Nord-Atlantik Oszillation (AO und NAO) ab Februar. In diesem kalten Polarwirbel entstanden im Frühjahr 2011 extrem ausgedehnte und stabile Polare Stratosphären Wolken (PSCs). Weil nach wie vor viel Chlor in der Stratosphäre vorhanden ist, waren alle Bedingungen geschaffen für das Auftreten eines arktischen Ozonlochs im Frühjahr 2011, wie es über dem Nordpol noch nie so intensiv beobachtet wurde (Abb. x3 links oben). Nach Auflösung des Polarwirbels verteilte sich ab April und im Frühsommer (Abb. x3 rechts oben, links unten) diese ozonarme Luft über weiten Teilen der Nordhemisphäre. Das führte u.a. im April zu Rekordminima in den langjährigen Datenreihen vieler Bodenstationen. Das oben erwähnte Umschlagen der AO (oder NAO) von fast durchgehend negativer Phase im Jahr 2010 auf überwiegend positive Phase ab dem Februar 2011 war bemerkenswert. Es führte zu ausgedehnten Hochdrucklagen speziell im Frühjahr und auch in der zweiten Jahreshälfte. Abb. x4 zeigt anhand der Tropopausenhöhen und der Ozonsäulen über dem Hohenpeißenberg deutlich diesen Umschwung von 2010 auf 2011. Sichtbar wird dabei auch die Antikorrelation zwischen den Anomalien (Abweichungen von den langjährigen jeweiligen Monatsmitteln) der Tropopausenhöhe und der Gesamtozondicke

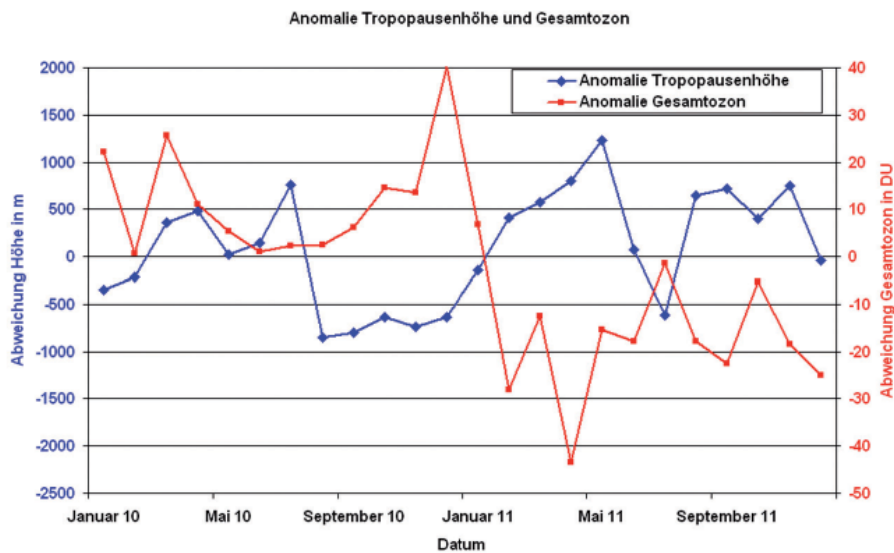


Abb. x4: Anomalien der Monatswerte von Tropopausenhöhe und Gesamtozonsäule am Hohenpeißenberg.

Für Deutschland (und Europa) war 2011 aufgrund der genannten meteorologischen Rahmenbedingungen ein Jahr mit sehr warmer Troposphäre (wärmstes Jahr am Hohenpeißenberg seit Beginn der Aufzeichnungen 1781), hoher Tropopause und mit sehr niedriger Ozonsäule. Die überwiegend positive Phase der AO/NAO führte von Oktober bis Dezember zu Hochdrucklagen und niedrigen Ozonsäulen (vgl. Abb x3 rechts unten: Niedrige Ozonsäulen über dem Atlantik, hohe Ozonsäulen über Grönland und Island). Im Frühjahr 2011 führte die positive AO/NAO Phase zusammen mit dem nach wie vor hohen Chlorgehalt der Stratosphäre auch zum extrem starken chemischen Ozonabbau über der Arktis - ein weiterer Beitrag zum 3.niedrigsten Jahresmittelwert der Ozonsäule.

Trotz der positiven Entwicklung bei den ozonzerstörenden Substanzen und der langsam beginnenden Erholung der Ozonschicht ist immer noch genug Potenzial für sehr niedrige Ozonschichtdicken vorhanden. Es wird sich zeigen, ob die fortschreitende Klimaänderung und die mögliche weitere Abkühlung der arktischen Polarwirbel auch in den nächsten Jahren zu massivem Ozonabbau über dem Nordpol führen und damit auch zu weiteren ozonarmen Frühjahren und Frühsommern in unseren Breiten beitragen können.

Jahreszeitlicher Rückblick auf das Klima in Europa (RA VI) 2011

A. Meyer-Christoffer, H. Nitsche

Der jahreszeitliche Rückblick auf das Klima in Europa behandelt die Jahreszeiten Winter 2010/2011, Frühjahr, Sommer und Herbst 2011. Der Dezember 2011 wird nur ausnahmsweise angesprochen, da er mit dem Winter 2011/2012 im Klimastatusbericht 2012 behandelt wird. Monatliche Rückblicke in englischer Sprache sind unter <http://www.dwd.de/rcc-cm> zu finden. Anomalien beziehen sich grundsätzlich auf die von der WMO definierte Normalperiode 1961-1990, sofern es nicht anders angegeben ist.

Lufttemperatur

Im Jahresmittel bemerkenswert ist, dass es in den polaren Gebieten im Mittel über die Nordhalbkugel z. T. erheblich wärmer als normal war.

Winter 2010/2011

Der Winter 2010/2011 war in West-, Mittel-, Nord- und Osteuropa sowie teilweise im westlichen Mittelmeergebiet kälter als normal. Die negativen Anomalien waren über Russland und Skandinavien am größten. Sie sind der westliche Ausläufer eines Sibirischen Kältegebietes, das räumlich relativ begrenzt negative Anomalien von mehr als 4 K aufwies. In Nord- und Ostdeutschland lagen sie aber immerhin noch im Bereich von -1 bis -2 K. Ähnliche negative Abweichungen gab es auch in Irland und Teilen Englands. Dies Ergebnis für den Winter ist hauptsächlich vom kalten Dezember 2010 geprägt, während Januar und Februar 2011 wärmer als normal waren. Bemerkenswert ist andererseits die positive Anomalie über Grönland, die mehr als 4 K beträgt. Die im gesamten arktischen Gebiet positive Temperaturanomalie war über Kanada und Westgrönland extrem ausgeprägt und erreichte Werte bis + 6.4 K (<http://data.giss.nasa.gov/gistemp/maps/>) Deutlich wärmer als normal war es auch im Nahen Osten und Südosteuropa.

Frühling 2011

Im Frühling 2011 waren die Verhältnisse nahezu umgekehrt. Es war nahezu in ganz Europa wärmer als normal. Lediglich der Nahe Osten sowie der westliche Nordatlantik mit Südgrönland. waren kälter als normal. Wiederum war die positive Anomalie am größten in der Arktis, diesmal im Nordosten. Über dem Norden Sibiriens und dem angrenzenden Arktischen Ozean wurden positive Anomalien bis +6.6 K analysiert. Das Gebiet der negativen Anomalien beschränkt sich auf die Region Schwarzes Meer - Türkei - Südrussland. und ist mit negativen Anomalien bis -2 K in der Türkei und dem Schwarzen Meer am stärksten.

Sommer 2011

Der Sommer 2011 war im Mittel im Westen Europas noch von einer negativen Temperaturanomalie über dem Atlantik beeinflusst, während es sonst überall wärmer als normal war.

Herbst 2011

Im Herbst 2011 war es ähnlich wie im Frühjahr in einem Gebiet mit dem Zentrum über dem Kaukasus kälter als normal. Die Abweichungen betragen auch in der Türkei bis zu -2 K. Auch über dem Atlantik und Südgrönland waren die Anomalien negativ. Sonst war es wiederum überall wärmer als normal, am stärksten über dem Nordosten des Gebietes, einschließlich Nordschweden, Nordnorwegen und Finnland.

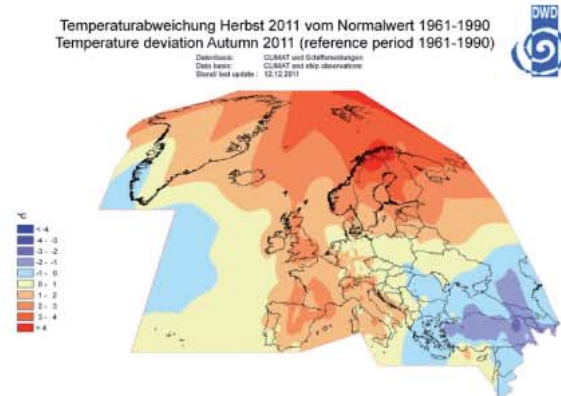
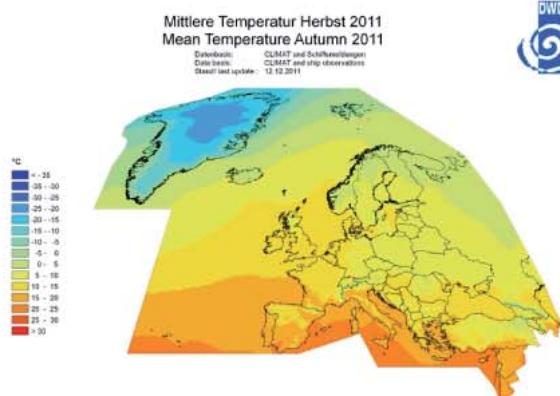
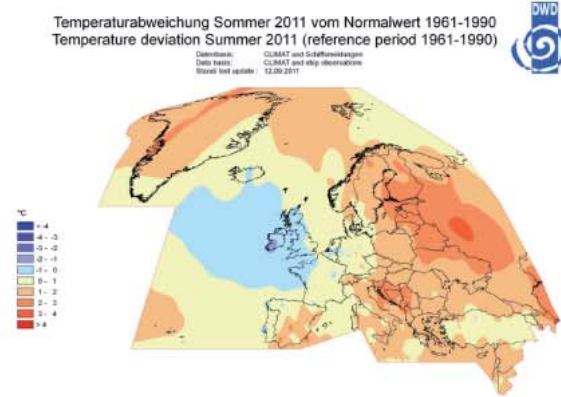
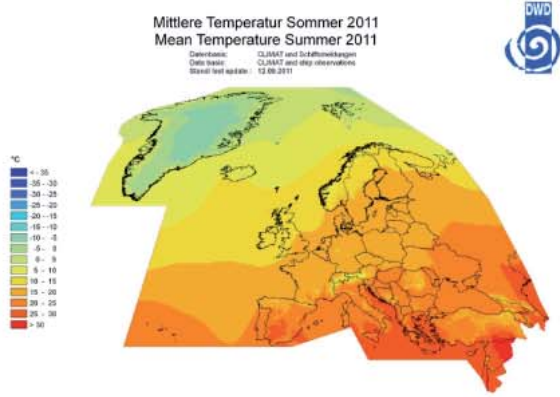
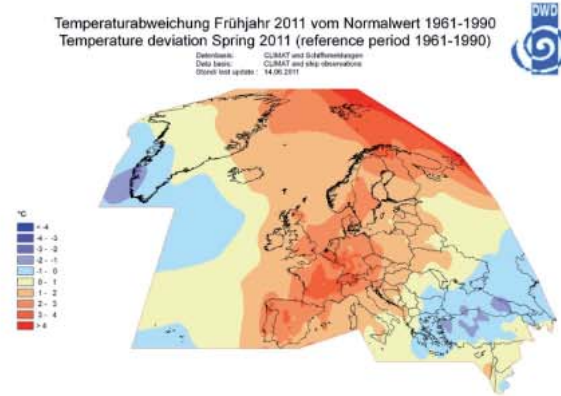
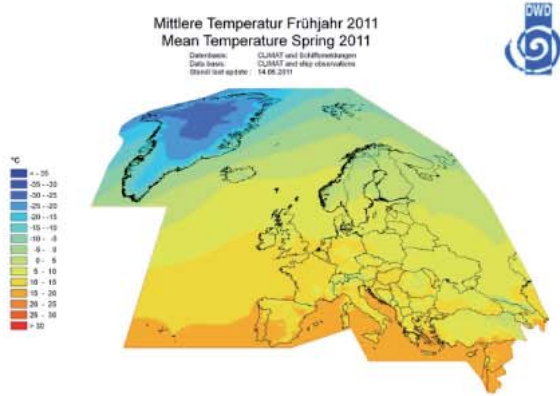
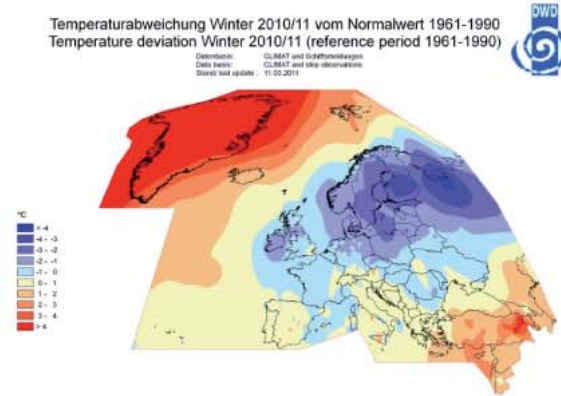
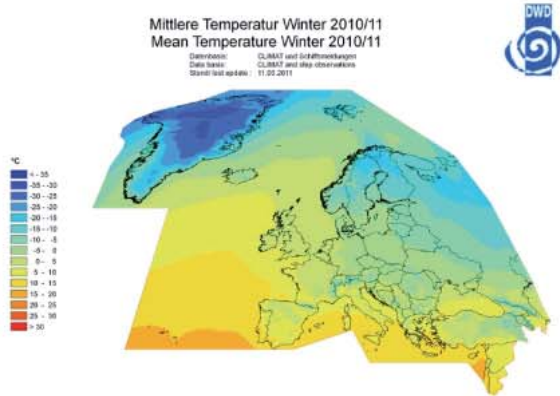


Abb. 1a: Mittlere Lufttemperatur (2m) in Grad C im Winter 2010/11, Frühjahr 2011, Sommer 2011, und Herbst 2011

Abb. 1b: Mittlere Anomalie der Lufttemperatur (2m) in K im Winter 2010/11, Frühjahr 2011, Sommer 2011 und Herbst 2011

Niederschlag

Die Analysen des Weltzentrums für Niederschlagsklimatologie (WZN) zeigen für das Jahr 2011 überwiegend geringe Abweichungen des Niederschlags von den vieljährigen Mittelwerten des Zeitraums 1951-2000, allerdings mit einer deutlichen zonalen Aufteilung in zu trockene und zu feuchte Gebiete.

In der Anomaliekarte (Abb. 1b) fällt vor allem ein großflächiges sich von Nordwestspanien, über England, Frankreich, bis nach Südosteuropa erstreckendes Niederschlagsdefizit auf. Dort fielen teilweise weniger als 60% des durchschnittlichen Niederschlags.

Vorwiegend in Norwegen, Schottland und Island sowie vereinzelt im Süden Europas (Sizilien, östlicher Teil der türkischen Schwarzmeerküste) war es zu feucht.

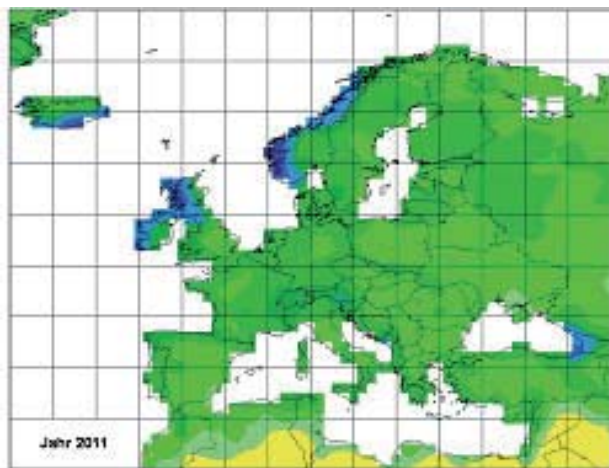


Abb. 2a: Niederschlagshöhe im Jahr 2011 in mm/Monat

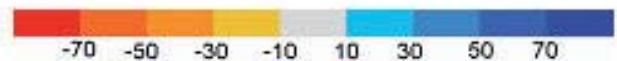
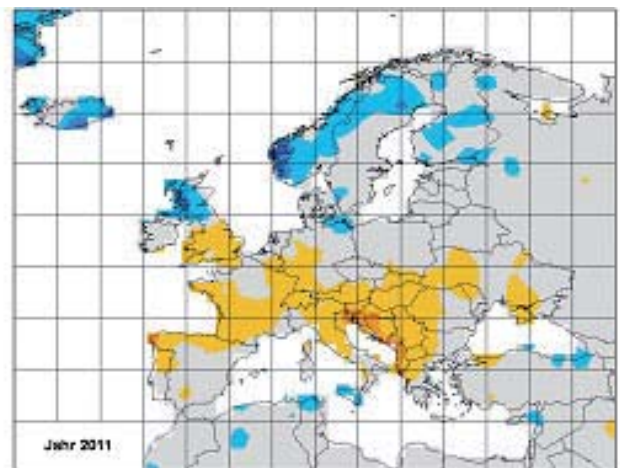


Abb. 2b: Niederschlagsanomalie im Jahr 2011 als Abweichung in mm/Monat vom Mittelwert des Zeitraums 1951-2000

Ein differenzierteres Bild zeigt sich bei den einzelnen Jahreszeiten (Abb. 2):

Im **Winter** gab es große Gebiete mit Trockenheit, vor allem in Großbritannien, Norwegen, Dänemark, Frankreich - hier vor allem im Süden und Norden -, Nordostspanien und rund um die Adria. In Südfrankreich fiel in allen Wintermonaten zu wenig Niederschlag. Im Februar wurden in Teilen Frankreichs (Nordosten, Languedoc und Alpen) nur Niederschlagsmengen von 20% des Normalwerts erreicht (Meteo France). Auch Großbritannien und Irland sowie Norwegen hatten insgesamt ein Niederschlagsdefizit, obwohl es in Irland, Nordengland und Schottland im Februar feuchter als üblich war.

Zu viel Niederschlag im Vergleich zum langjährigen Mittel fiel vor allem in Spanien und Portugal und von Ostestland, Lettland und dem Osten Weißrusslands bis weit nach Russland hinein.

Im **Frühjahr** waren weiterhin große Teile in Europa von England, Frankreich bis weit nach Russland hinein und im Süden bis Nordspanien zu trocken.

In allen 3 Frühlingsmonaten fiel zu wenig Niederschlag. In der Schweiz war es im April ähnlich trocken wie 1884 und 1921 (World weather news), die Flüsse führten sehr wenig Wasser. In England und Wales gab es den trockensten März seit einem Jahrhundert. Und auch im April fielen in England teilweise weniger als 20 % des normalen Niederschlags für 1961-90 (UK Met.Office). Über ganz England und Wales war es das zweittrockenste Frühjahr seit 1910 und das trockenste seit 1990. England und Wales hatten im Frühjahr nur etwa 45% des langjährigen Niederschlags, in East Anglia und in Teilen Südens war es das trockenste Frühjahr seit 101 Jahren (World weather news)

Auch in Frankreich fiel im ganzen Frühjahr extrem wenig Regen. In Südfrankreich, wo nach einem trockenen Winter im März etwas mehr Niederschlag gefallen war, regnete es im April und Mai am wenigsten.

In Island, Schottland und Norwegen sowie in Teilen Spaniens, in Südportugal, Süditalien und Griechenland fiel dagegen mehr Niederschlag als im langjährigen Mittel.

Im März führte ein Mittelmeertief zu Starkniederschlag in Süditalien und Schneefall in Nord- und Mittelitalien. Auch in Griechenland gab es Starkniederschläge mit Erdbeben.

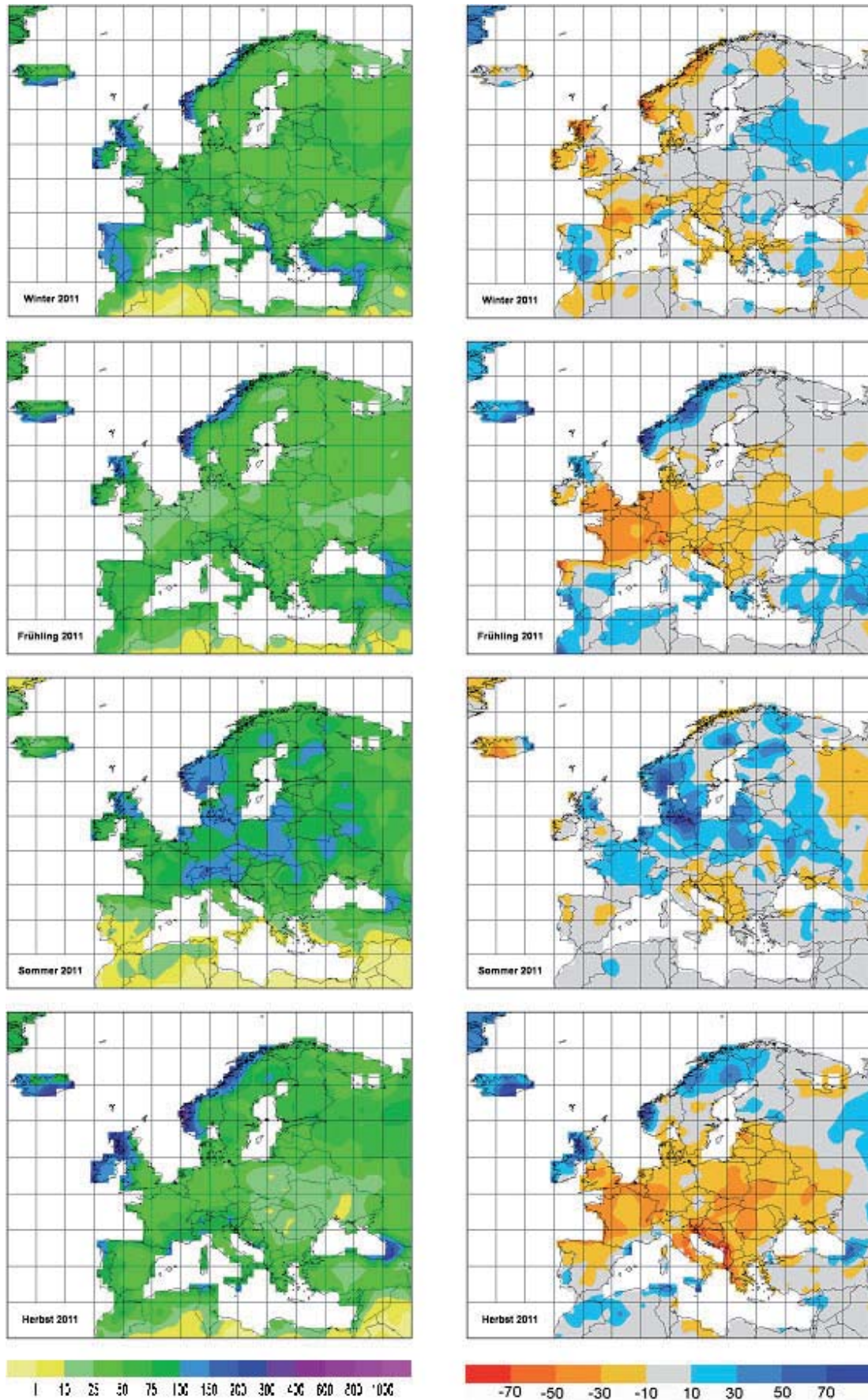


Abb. 3a: Niederschlagshöhe in mm/Monat

Abb. 3b: Niederschlagsanomalie in mm/Monat
(Bezugszeitraums 1951-2000)

Im **Sommer** kehrt sich das Bild größtenteils um. In Frankreich, Schottland, Deutschland, Polen, in weiten Teilen Skandinaviens und nach Osten bis weit nach Russland war es feuchter als üblich.

Rund um die Adria regnete es allerdings auch im Sommer insgesamt zu wenig, lediglich im Juli fielen etwas mehr Niederschläge, im August war es dagegen extrem trocken. Südengland hatte zwar im Juni einen kleinen Niederschlagsüberschuss, aber im Juli und August war es wieder zu trocken.

Ende Juni brachten Gewitterstürme, die über Deutschland, Österreich und nach Tschechien und Polen zogen, Niederschläge von 20-30 mm in wenigen Stunden und lokale Überflutungen (World weather news).

Am 2. Juli wurden in Kopenhagen durch heftigen Niederschlag von mehr als 150 mm hunderte von Häusern und zahlreiche Straßen überflutet (World weather news).

In Teilen Schottlands fiel am 10./11. August innerhalb von 2 Tagen so viel Regen, dass zahlreiche Flutwarnungen herausgegeben wurden. In Glasgow wurden die höchsten 24-Stundenwerte seit Aufzeichnung gemessen (World weather news).

Die drei Monate im **Herbst** waren alle in großen Teilen Europas zu trocken, wobei im Mittel über alle 3 Monate die Region rund um die Adria das größte Defizit aufwies.

Im **November** (s. Abb. 4) waren die Niederschlagswerte am niedrigsten, die Karte des Monatsniederschlags (Abb. 4a) zeigt große gelbe Flächen. In weiten Teilen Europas fielen weniger als 10 mm, teilweise sogar weniger als 1mm. Vor allem rund um die Adria und Ägäis fielen über 70 mm weniger als im Monatsdurchschnitt. Die Karte der relativen Anomalie (Abb. 4c) zeigt in einem großen zusammenhängenden Gebiet weniger als 20% des normalen Niederschlags.

In Deutschland fiel in diesem Monat im bundesweiten Mittel mit rund 3 mm die niedrigste Niederschlagsmenge seit Beginn der Aufzeichnungen (Witterungsreport Express 11/2011).

In anderen Gebieten fiel mehr Niederschlag als üblich, vor allem in Irland, Schottland, Norwegen, Nordschweden und Nordfinland.

Im **Oktober** führten einzelne Niederschlagsereignisse zu Überschwemmungen, teils auch in Gebieten, die insgesamt zu trocken waren. Am 20. Oktober führten heftige Regenfälle in Rom zu Überflutungen im morgendlichen Berufsverkehr, von 06-06 UTC am 19.-20. Oktober fielen mehr als 100 mm. Am 24./25. Oktober kam es infolge heftiger Niederschläge in Südwestengland, Nordirland und Wales zu Überschwemmungen; der nasseste Ort war Cardinham in Cornwall mit 68.4 mm (etwa die Hälfte des Monatssolls (World weather news)). Am 27. Oktober kam es in Norditalien, besonders in der Region Cinque Terre in Ligurien, zu heftigen Überschwemmungen. Dort waren einzelne Orte nur über das Meer erreichbar (World weather news, Dartmouth Flood Observatory).

Im **November**, der an der Mittelmeerküste Frankreichs einen Niederschlagsüberschuss hatte, fiel vom 1. – 6. November ein mehrfaches des üblichen Monatssolls (Valleraugue 936 mm (6-facher Monatswert) , Sablières 719 mm (2-facher Monatswert)). In Corte auf Korsika fielen am 5. November 210 mm, ein 24h Rekord, von denen 172 mm in 6 Stunden fielen (Das entspricht einem Monatssoll (World weather news)).

Die Niederschlagskarten dieses Beitrags beruhen auf dem „GPCP Monitoring Product“ (Schneider et al. 2011) des Weltzentrums für Niederschlagsklimatologie (WZN, engl. Global Precipitation Climatology Centre, GPCP) <http://gpcc.dwd.de>.

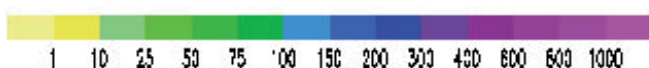
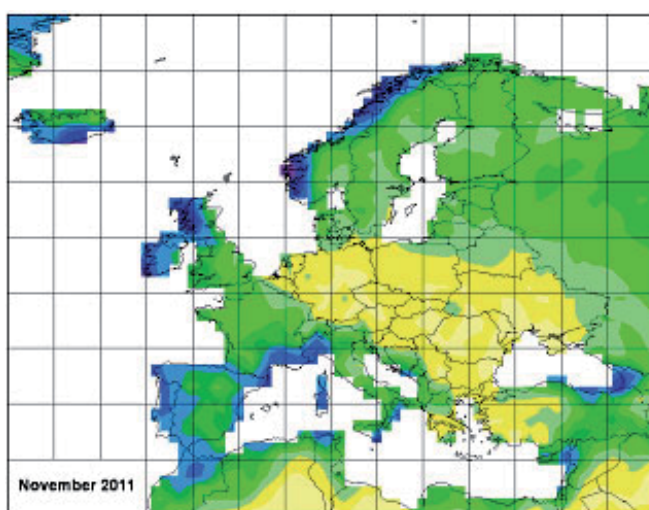


Abb. 4a: Monatliche Niederschlagshöhe in mm

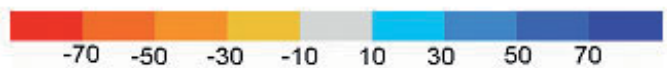
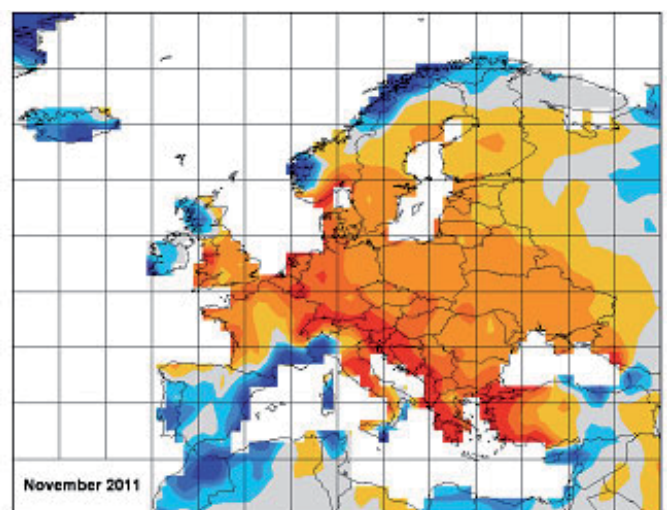


Abb. 4b: Monatliche Niederschlagsanomalie in mm (Bezugszeitraum 1951-2000)

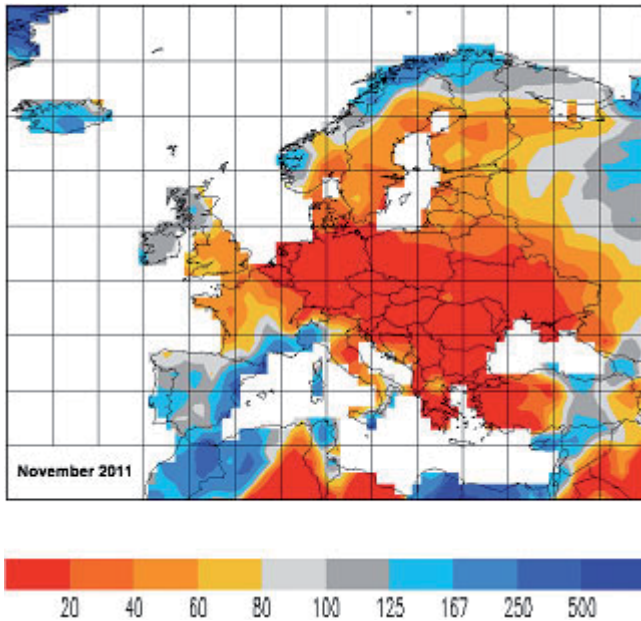


Abb. 4c: Relative monatliche Niederschlagsanomalie in Prozent (Bezugszeitraum 1951-2000)

Luftdruck

Der mittlere NAO-Index war im Winter 2010/2011 und im Sommer 2011 negativ und im Frühjahr und Herbst 2011 positiv (Tab. 1).

Winter 2010/2011

Im Winter 2010/2011 waren im Mittel die Luftdruckverhältnisse nahe den normalen Werten. Die Abweichungen betrugen maximal +/- 4 hPa mit eher positive Anomalien im Norden und negativen im Süden.

Frühjahr 2011

Im Frühjahr 2011 lag der größte Teil Europas unter höherem Druck als normal. Das Azorenhoch, das jedoch seinerseits schwächer als normal ausgeprägt war, war weit nach Osten Ausgedehnt.

Sommer 2011

Im Sommer 2011 war das Azorenhoch etwas stärker als normal und das Islandtief war schwach ausgeprägt. Über dem Europäischen Kontinent waren die Luftdruckgegensätze gering. Im Mittel war der Luftdruck außer im Norden und Nordosten geringer als normal.

Herbst 2011

Der Herbst war durch ein im Mittel kräftiges Islandtief und ein eher schwaches Azorenhoch, das jedoch wiederum weit nach Osten ausgedehnt war, gekennzeichnet. Über dem größten Teil des Europäischen Kontinents lag höherer Luftdruck als normal.

Jahreszeit	Mittlerer NAO-Index
Winter 2010/2011	- 1.04
Frühjahr 2011	0.90
Sommer 2011	- 1.44
Herbst 2011	0.97

Tab. 1: Jahreszeitenmittelwerte des NAO-Index

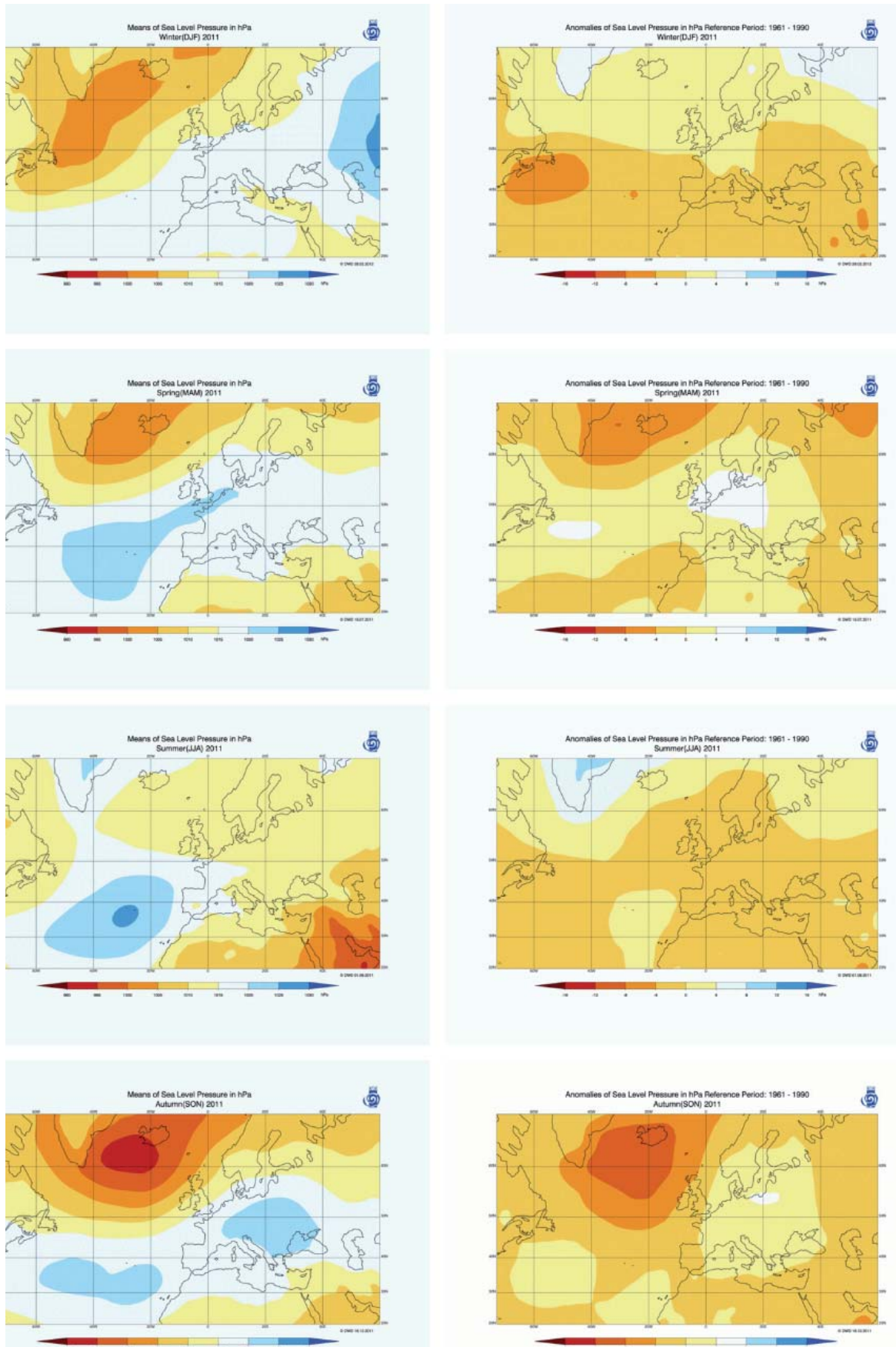


Abb. 5a: Jahreszeitenmittelwerte des Luftfrucks in hPa im Meeresniveau für Winter 2010/11, Frühjahr 2011, Sommer 2011 und Herbst 2011

Abb. 5b: Anomalien der Jahreszeitenmittelwerte des Luftfrucks in hPa im Meeresniveau für Winter 2010/11, Frühjahr 2011, Sommer 2011 und Herbst 2011

Sonnenscheindauer

Winter 2010/2011

Der Winter 2010/2011 war im Bereich des nördlichen Nordatlantik, der Nordsee und Ostsee, Baltikum und Skandinavien sowie dem östlichen Mitteleuropa und im Bereich des westlichen Mittelmeeres mit der Iberischen Halbinsel im Mittel sonnenscheinreicher als normal. Ebenfalls mehr Sonnenschein als normal erhielten die östliche Balkanhalbinsel, Teile der Türkei sowie Teile Russlands und der Ukraine.

Frühjahr 2011

Das Frühjahr 2011 war fast überall sonnenscheinreicher als normal. Dabei wurden in Deutschland, Frankreich, Belgien, Österreich und Polen z.T. mehr als 150 % des Normalwerts erreicht.

Sommer 2011

Der Sommer 2011 steht dazu in einem deutlichen Kontrast, denn er war fast überall sonnenscheinärmer als normal. Am trübsten mit z.T. nur 50% des Solls war es rund um die Nordsee und im Bereich der westlichen Atlantikküste.

Herbst 2011

Der Herbst 2011 war dagegen wieder fast überall – außer im Norden, Osten und Südosten - sonnenscheinreicher als normal. Am größten war der Überschuss in Mitteleuropa mit in Deutschland teilweise und in Polen überwiegend mehr als 150 % des Solls.

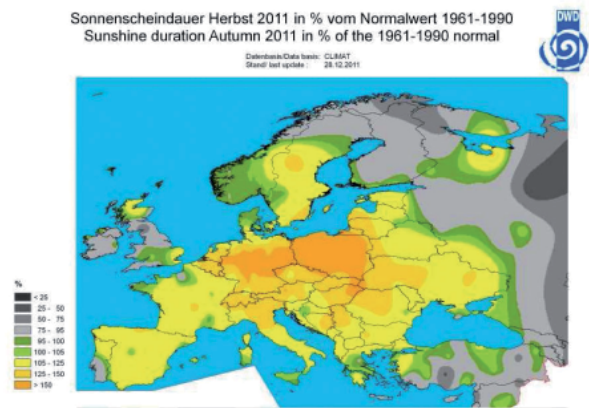
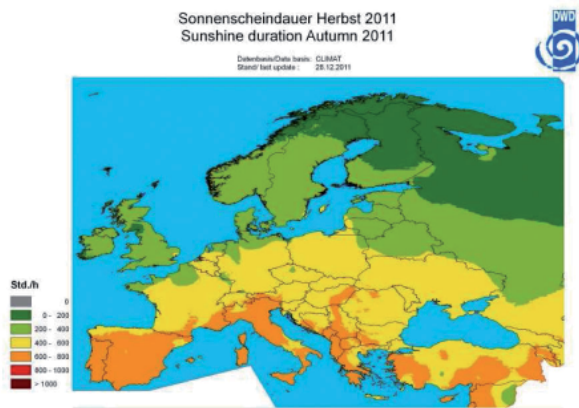
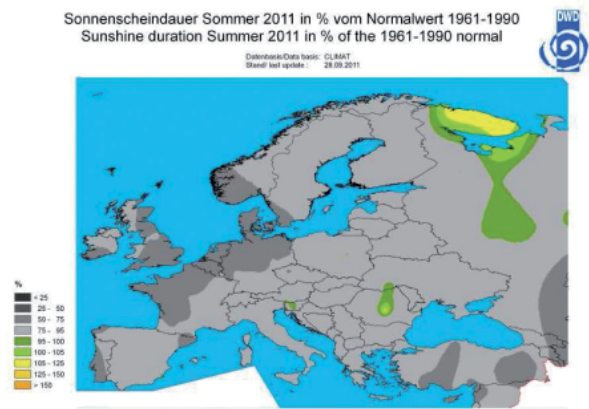
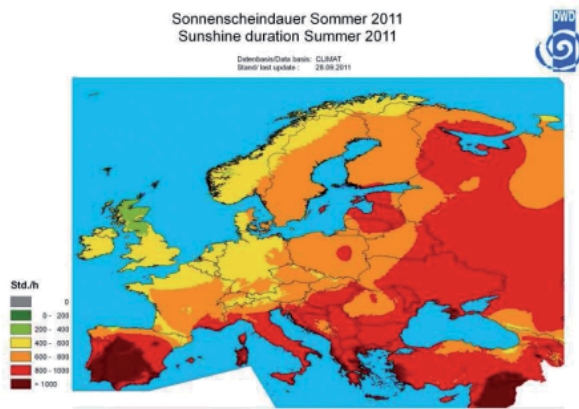
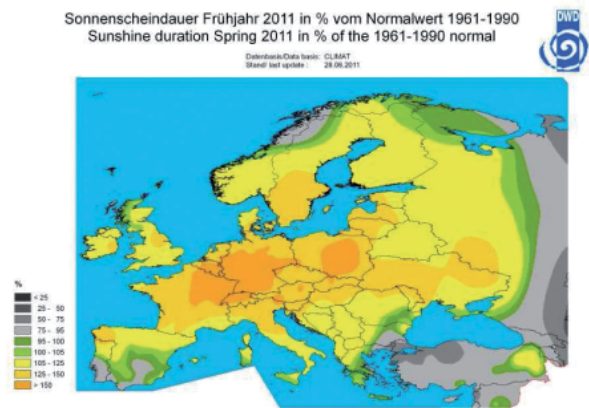
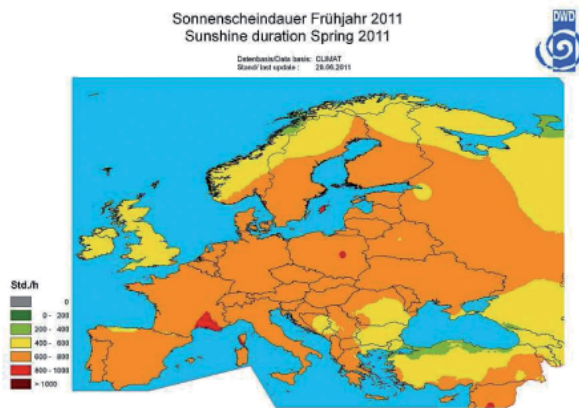
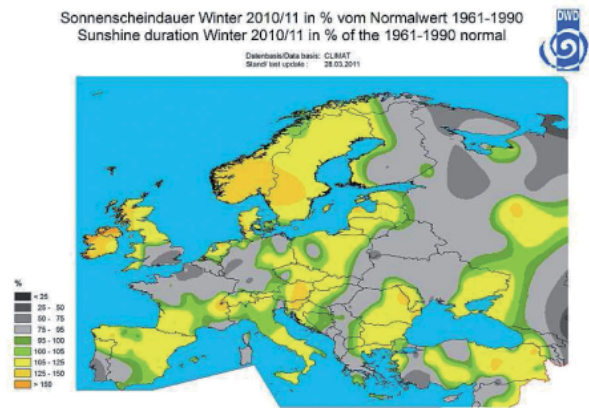
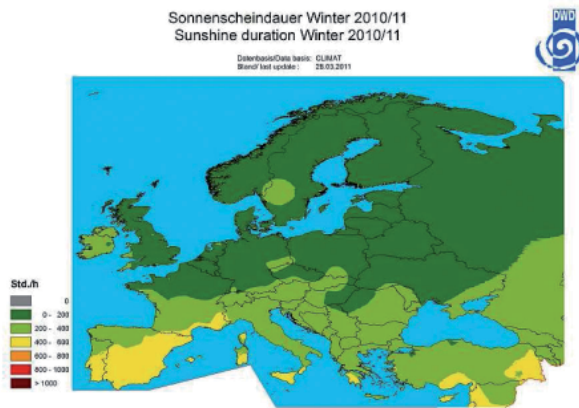


Abb. 6a: Mittlere Sonnenscheindauer für die Jahreszeiten Winter 2010/11, Frühjahr 2011, Sommer 2011 und Herbst 2011

Abb. 6b: Anomalien der Sonnenscheindauer für die Jahreszeiten Winter 2010/11, Frühjahr 2011, Sommer 2011 und Herbst 2011

Strahlungsbilanz am Erdboden

Die Abbildungen 7 und 8 zeigen die jahreszeitlichen Mittelwerte im Jahr 2011 sowie deren Anomalien bezogen auf den Referenzzeitraum 1983-2011 für die kurzweilige und die langweilige Strahlungsbilanz am Erdboden.

Die Datenbasis für diese Auswertung sind die vom CM-SAF (<http://www.cmsaf.eu>) aus METEOSAT (MSG-SEVIRI)-Messungen abgeleiteten Daten. Für den Referenzzeitraum wurden „SRB-Daten“ (SRB=Surface Radiation Budget, <http://gewex-srb.larc.nasa.gov>) der Jahre 1983-2007 und CM-SAF-Daten ab September 2005 herangezogen. Die Datengrundlage und das Verfahren zur Erstellung einer konsistenten Referenzklimatologie sind ausführlich in einem Bericht dokumentiert, der auf der Internet Seite des DWD (<http://www.dwd.de/satklm>) im Menü Dokumente zu finden ist („Erstellung einer Referenzklimatologie der Strahlungsbilanzkomponenten...“, Kothe/Ahrens 2009).

Die Anomalien bedeuten hier abweichend zum Vorgehen bei den anderen Klimaelementen das Unter- bzw. Überschreiten des jeweiligen neutralen Bereichs, der eine statistisch definierte „Breite“ besitzt. Diese resultiert aus der „Streuung“ des Referenzdatensatzes. Aufgrund der Nutzung von Satelliten-Daten kann nicht die gesamte Referenzperiode der WMO 1961-1990 abgedeckt werden. Andererseits ermöglicht die Referenzperiode 1983-2011 die Ermittlung von Anomalien bzgl. eines aktuelleren Klimazustands. Die positiven Anomalien bedeuten einen Überschuss an Strahlungsgenuss am Erdboden (d.h. eine größere Einstrahlung oder kleinere Ausstrahlung im Vergleich zum Referenzzeitraum), während die negativen Anomalien umgekehrt einen verminderten Strahlungsgenuss relativ zum Mittel des Referenzzeitraums darstellen.

Die kurzweilige Strahlungsbilanz setzt sich aus der einfallenden kurzwelligen Strahlung und der am Boden reflektierten Strahlung zusammen, während die langweilige Strahlungsbilanz sich aus der Ausstrahlung der Erdoberfläche und der von den Wolken und vom Wasserdampf zurückgestrahlten langwelligen Strahlung zusammensetzt. Die Interpretation stützt sich daher bei der kurzwelligen Strahlungsbilanz in erster Linie auf den Vergleich mit der Wolkenbedeckung bzw. auch der Sonnenscheindauer und bei der langwelligen Strahlungsbilanz hauptsächlich auf die Temperatur in Bodennähe (über Land: Lufttemperatur in 2 m über Grund und über dem Ozean die Ozeanoberflächentemperatur SST). Im Einzelnen sind die Zusammenhänge jedoch komplex und auch die unterschiedlichen Bezugszeiträume für die Anomalien erschweren den Vergleich.

Kurzweilige Strahlungsbilanz

Überwiegend waren die Anomalien der kurzwelligen Strahlungsbilanz in allen Jahreszeiten im neutralen Bereich.

Größere mehr oder weniger zusammenhängende Gebiete mit einer positiven kurzwelligen Strahlungsbilanz sind im **Winter 2010/2011** hauptsächlich im Nordosten, im **Frühling 2011** über Mitteleuropa sowie am südlichen Rand des Mittelmeeres und im Nahen Osten zu finden. In den letztgenannten Gebieten traten sie auch im **Sommer** und im **Herbst 2011** auf. Diese Gebiete findet man bei der Bewölkung als Gebiete mit relativ häufigen Heiteren Tagen bzw. seltenen Trüben Tagen wieder.

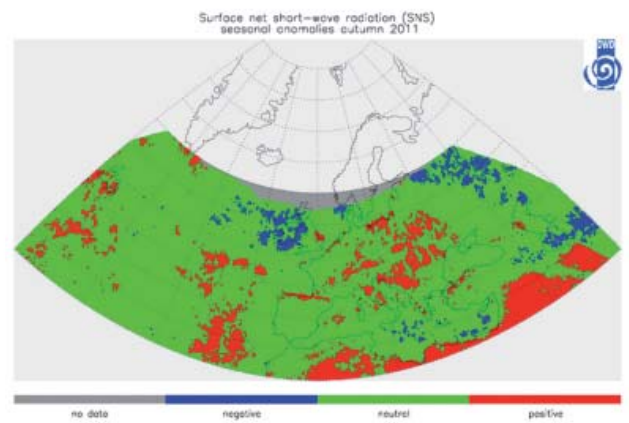
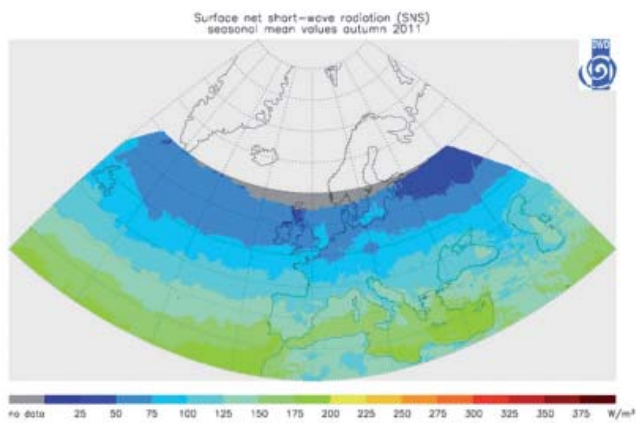
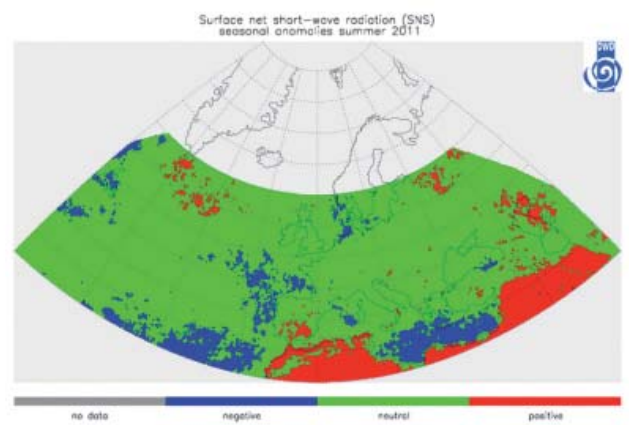
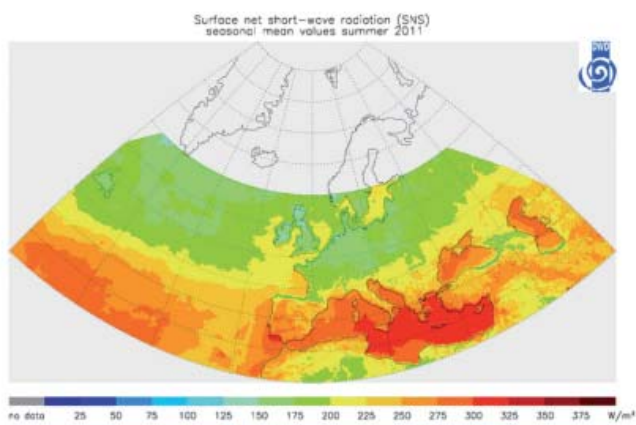
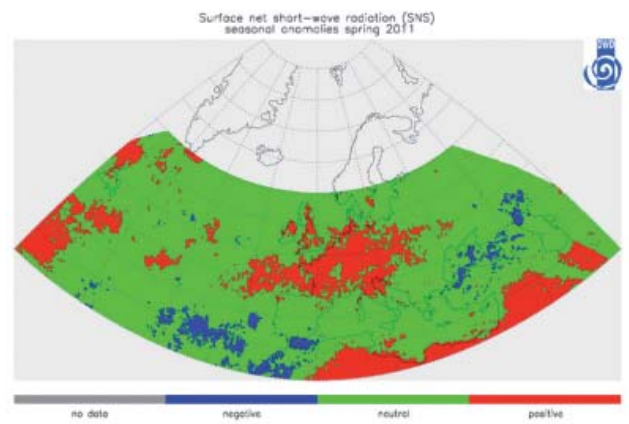
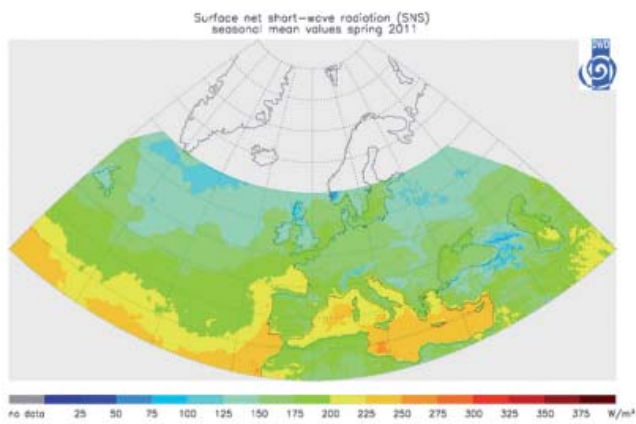
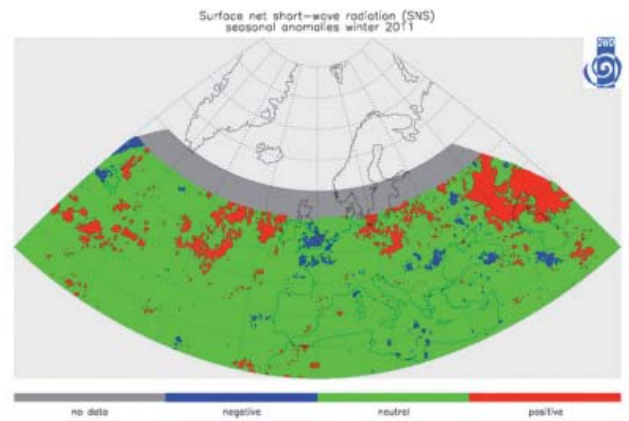
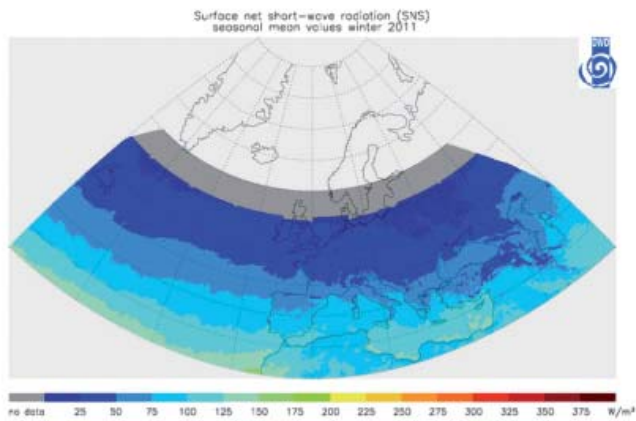


Abb. 7a: Mittlere kurzwellige Strahlungsbilanz am Erdboden nach Satellitenmessungen (CM-SAF) für Winter 2010/11, Frühjahr 2011, Sommer 2011 und Herbst 2011 (Bezugszeitraum 1983-2011)

Abb. 7b: Anomalien der mittleren kurzwelligen Strahlungsbilanz am Erdboden nach Satellitenmessungen (CM-SAF) für Winter 2010/11, Frühjahr 2011, Sommer 2011 und Herbst 2011 (Bezugszeitraum 1983-2011)

Langwellige Strahlungsbilanz

Überwiegend waren auch die Anomalien der langwelligen Strahlungsbilanz in allen Jahreszeiten im neutralen Bereich.

Winter 2010/2011

Gebiete mit negativer Anomalie der langwelligen Strahlungsbilanz am Erdboden zeigten sich vor allem auf dem Atlantik sowie ganz im Osten, entsprechend den Gebieten mit positiver Temperaturanomalie. Auf dem Atlantik wurde aber offenbar die langwellige Ausstrahlung durch Bewölkung eingeschränkt.

Frühjahr 2011

Im Frühjahr war über Mitteleuropa ein Gebiet negativer Anomalie der langwelligen Strahlungsbilanz gut ausgeprägt, das mit der positiven Temperaturanomalie und gleichzeitigen größeren Sonnenscheindauer gut korreliert.

Sommer 2011

Der trübe Sommer trug offenbar mit relativ zahlreichen Tagen, an denen der Himmel praktisch völlig bedeckt war, und selteneren Heiteren Tagen zu teilweise positiver langwelliger Strahlungsbilanz im Westen Mitteleuropas bei.

Herbst 2011

Im Herbst findet man wieder auf dem Nordatlantik, im Bereich des westlichen Mittelmeeres mit der Iberischen Halbinsel sowie auf der Balkanhalbinsel Gebiete mit negativer Anomalie der langwelligen Ausstrahlung. Im Westen passt dies gut mit der positiven Temperaturanomalie zusammen, während man im Osten eher die häufigen Heiteren und selteneren Trüben Tage zur Interpretation heranziehen muss.

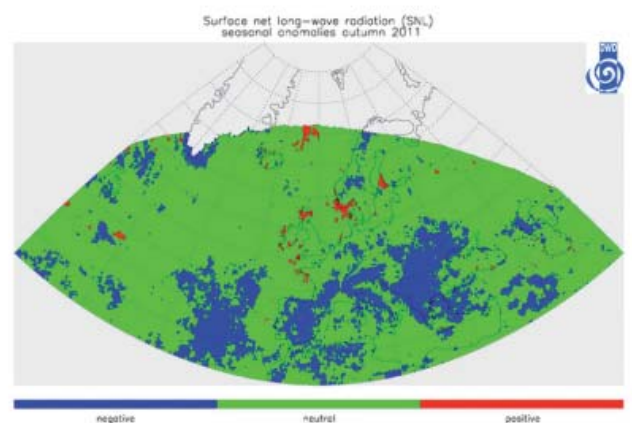
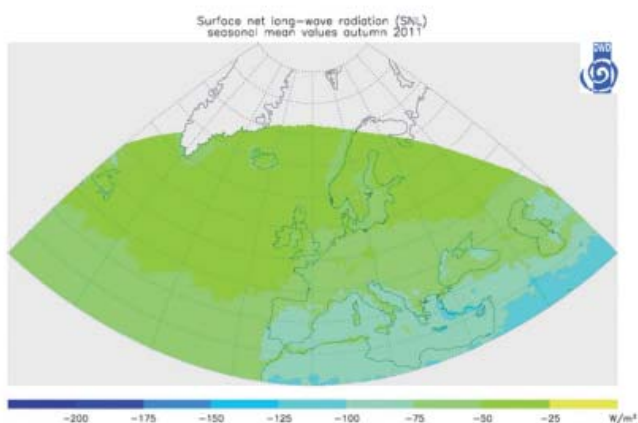
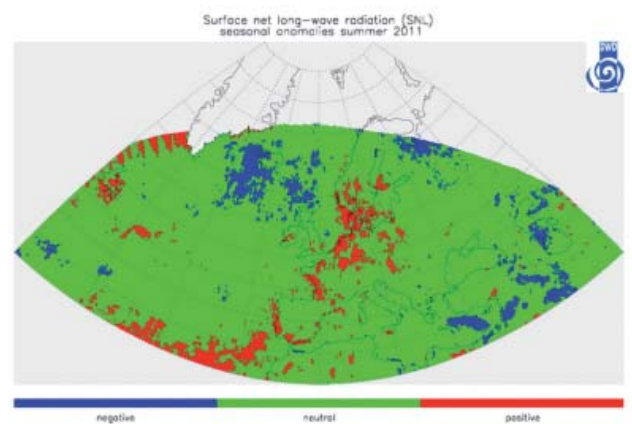
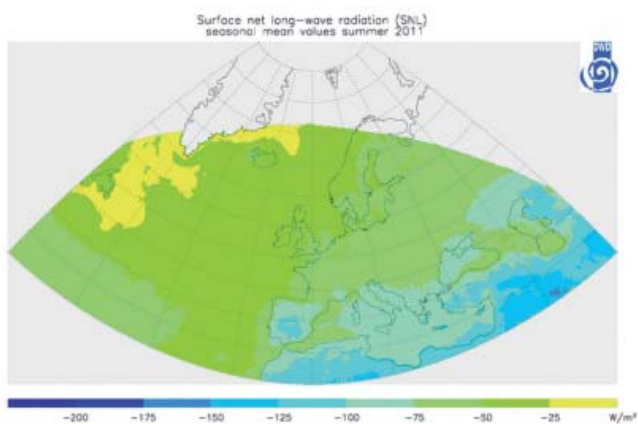
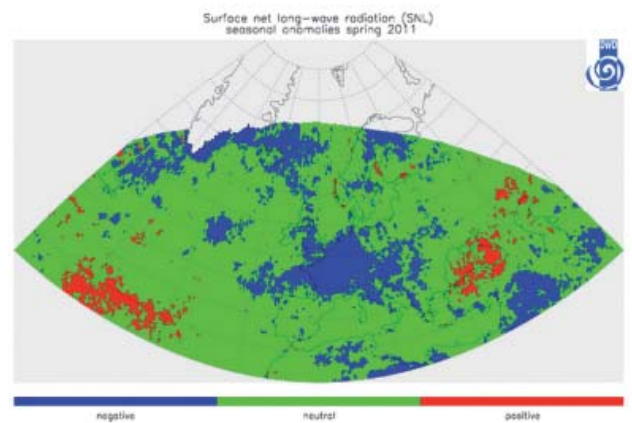
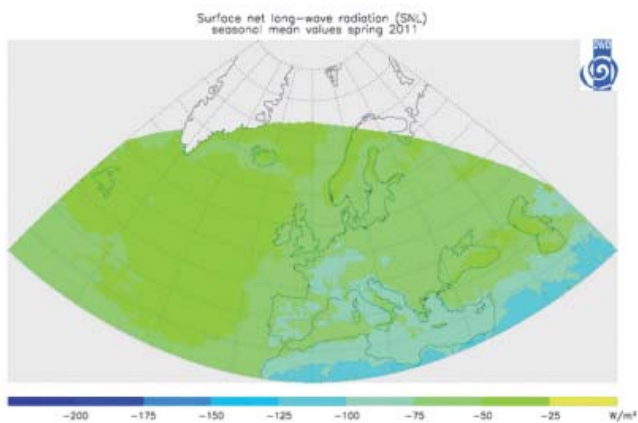
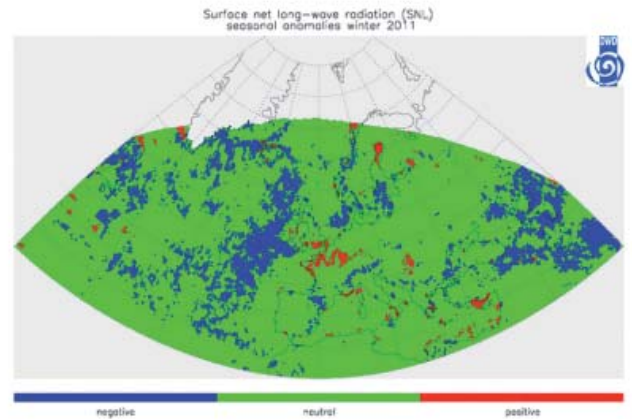
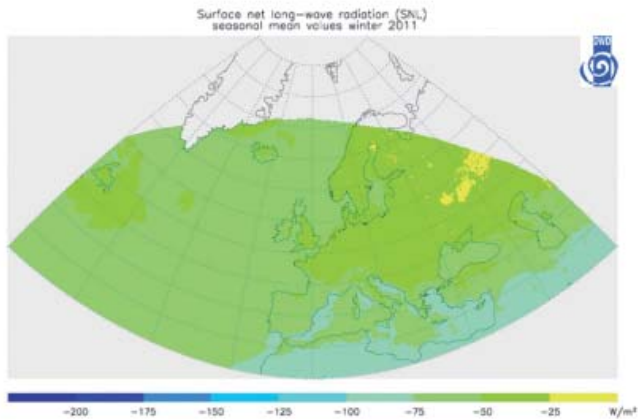


Abb. 8a: Mittlere langwellige Strahlungsbilanz am Erdboden nach Satellitenmessungen (CM-SAF) für Winter 2010/11, Frühjahr 2011, Sommer 2011 und Herbst 2011 (Bezugszeitraum 1983-2011)

Abb. 8b: Anomalien der mittleren langwelligen Strahlungsbilanz am Erdboden nach Satellitenmessungen (CM-SAF) für Winter 2010/11, Frühjahr 2011, Sommer 2011 und Herbst 2011 (Bezugszeitraum 1983-2011)

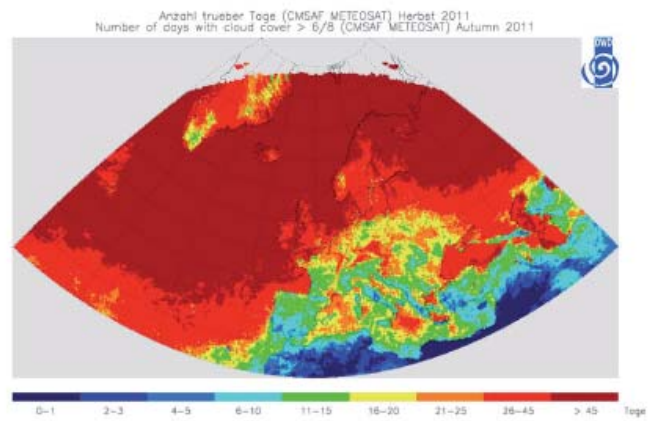
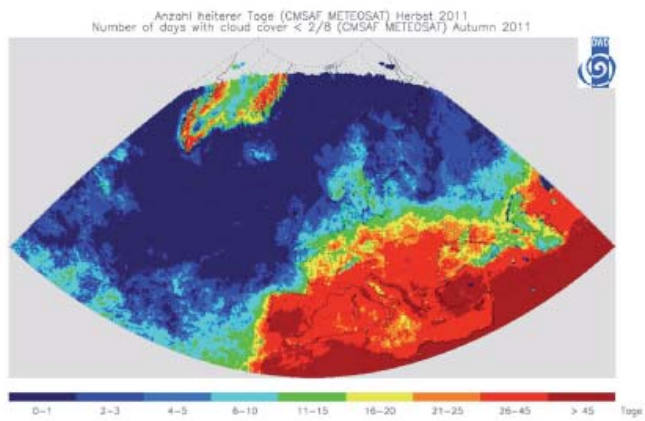
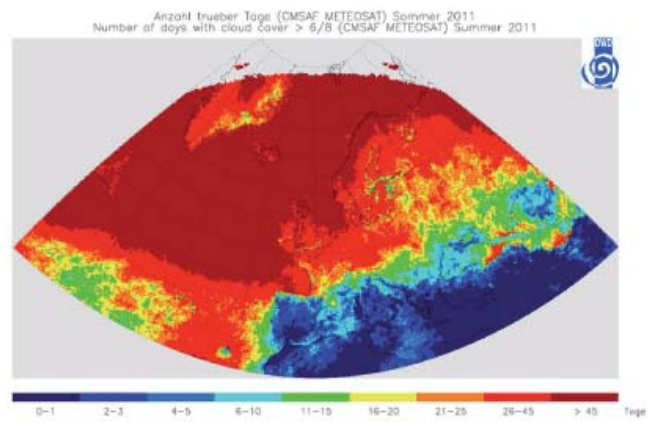
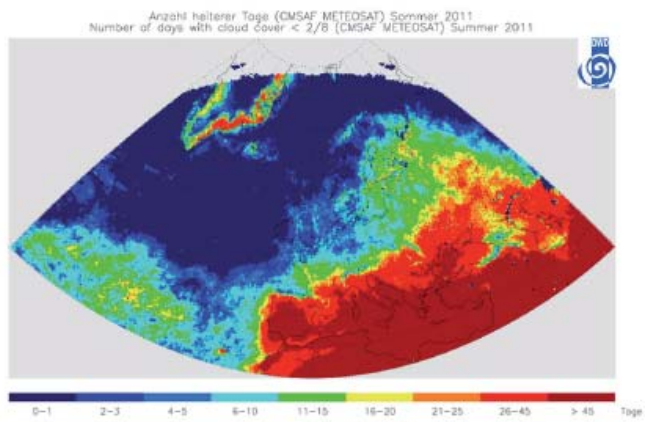
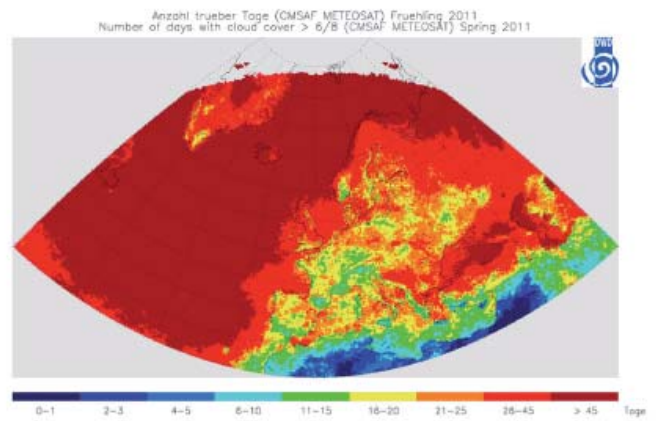
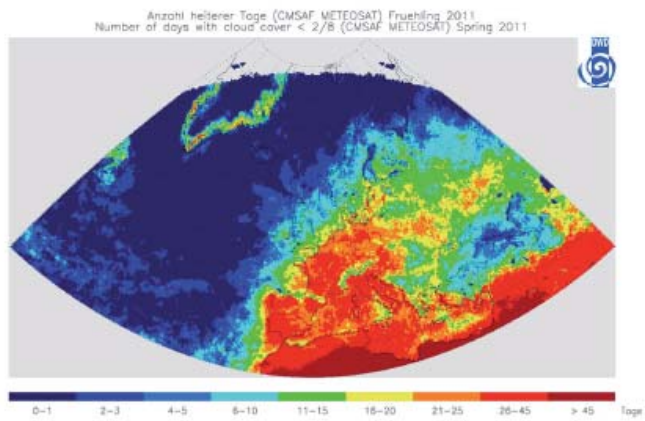
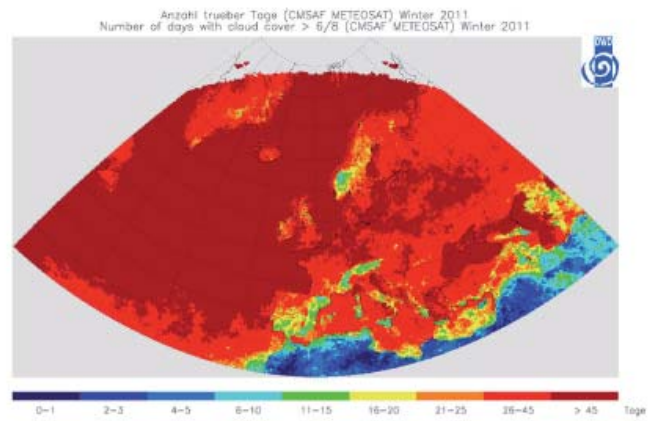
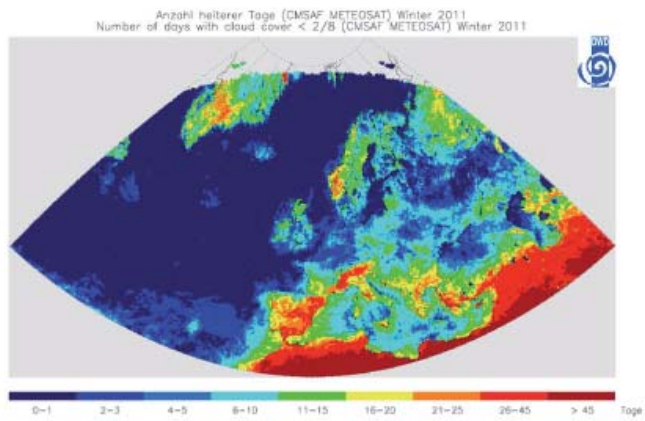


Abb. 9a: Anzahl der Heiteren Tage in den Jahreszeiten 2011

Abb. 9b: Anzahl der Trüben Tage in den Jahreszeiten 2011

Klimatologische Bewertung anhand ausgewählter Klimaindizes

Mit den in ECA&D monatlich, jahreszeitlich und jährlich ausgewerteten Anomalien der Extremwertindizes lassen sich auch die Jahreszeiten hinsichtlich ihrer Besonderheiten näher beschreiben.

Winter 2010/2011

Die Karte der Anomalien für die Anzahl der Eistage zeigt, dass diese im Winter 2010/2011 in weiten Teilen Europas außer im Südwesten und Süden größer als normal war. Auch die Anzahl der Tage mit Schnee war meist größer.

Frühjahr 2011

Schon im Frühling gab es verbreitet mehr Sommertage als normal und die Karte des 3-Monatswertes des standardisierten Dürre-Index zeigt eindrucksvoll die Verbreitung der Trockenheit in dieser Jahreszeit.

Sommer 2011

Im Sommer war die Anzahl der ‚warmen Tage‘ meist etwas größer als im Mittel über 1961-1990, im Bereich des Nordatlantik und der Nordsee allerdings war sie geringer.

Besonders in Norwegen und an der Nord- und Ostseeküste häuften sich ‚extrem feuchte Tage‘ mehr als gewöhnlich.

Herbst 2011

Im Herbst traten in Mittel- und Südeuropa verbreitet mehr Sommertage als normal auf. Auch der 3-Monatswert des standardisierten Dürre-Index zeigte vielfach größere Trockenheit als normal an. Ausnahmen davon gab es besonders im Norden in Skandinavien, in Schottland und Irland sowie an der Nord- und Ostseeküste.

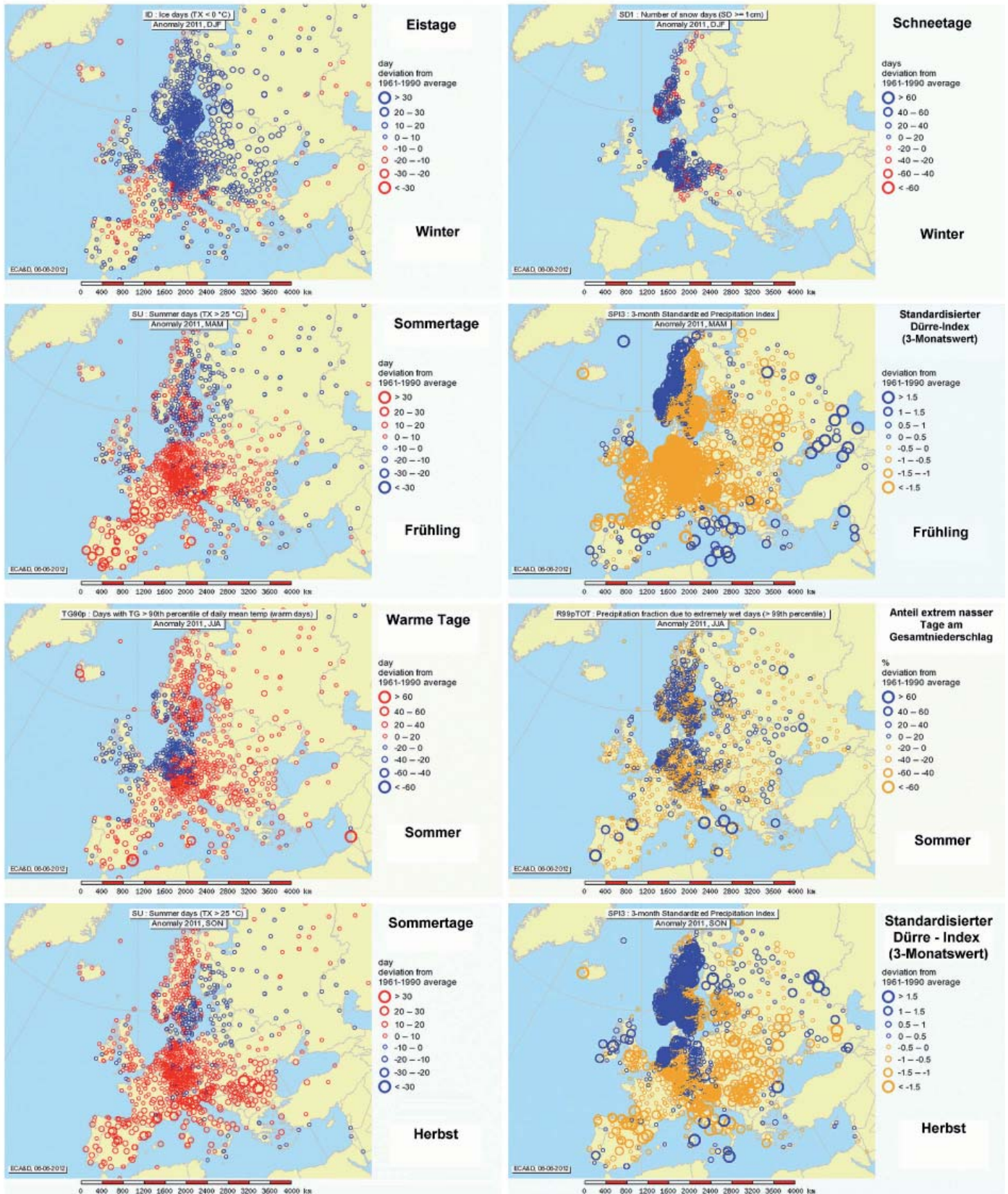


Abb. 10: Jahreszeitliche Anomalien ausgewählter Klimaindizes nach ECA&D:

Besondere Ereignisse

Die Tab. 2 zeigt für das Berichtsjahr 2011 die Auswahl der herausragendsten Ereignisse für jeden Monat. Einige Ereignisse sind im vorstehenden Text schon erwähnt worden. Für eine ausführlichere Liste der Einzelereignisse wird auf die monatlichen Berichte ‚Monthly Bulletin on the Climate in WMO Region VI‘ bzw. auf die monatlichen ‚Ereigniskalender‘ verwiesen, die unter <http://www.dwd.de/rcc-cm> im Internet zu finden sind. Ergänzend dazu zeigen die folgenden Abbildungen die Ergebnisse von Datenbankabfragen in der ‚European Severe Weather Database‘ (ESWD) für die einzelnen Jahreszeiten. Die im ‚Kalender‘ genannten Ereignisse wie z.B. die Stürme im Winter im Norden, wie auch das Ereignis an der Iberischen Westküste und die Sturmereignisse im Herbst, die Starkniederschläge und Hagelvorkommen, etc. lassen sich hier recht gut wiederfinden. Besonders im Sommer, aber auch noch im Herbst wurden häufiger auch Tornados gemeldet.

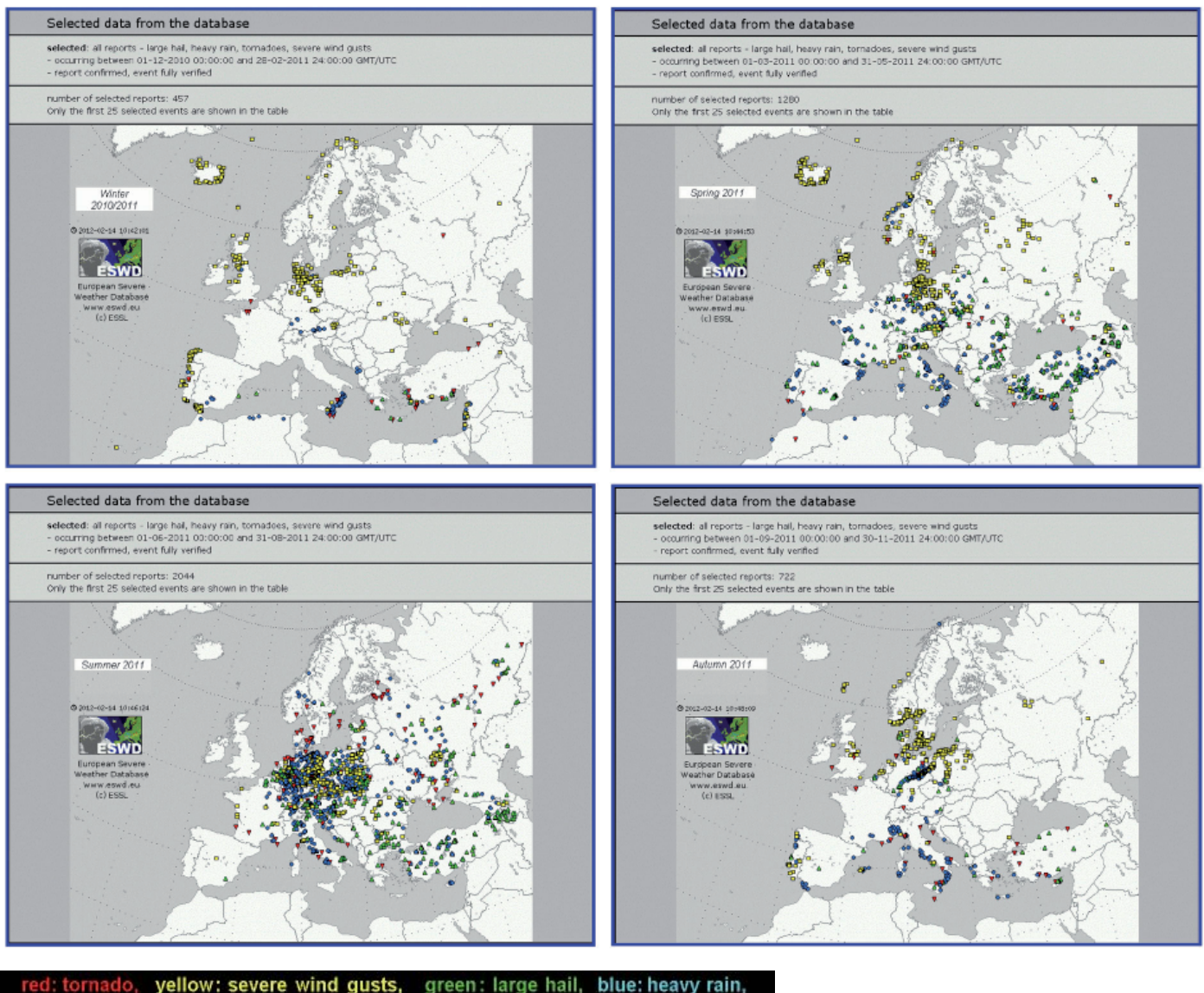


Abb. 11: Ergebnisse von Datenbankabfragen in der European Severe Weather Database (ESWD) für den Winter 2010/11, das Frühjahr 2011, den Sommer 2011 und den Herbst 2011 für die Ereignisklassen „Tornado“ (rot), „Schwere Windbö“ (gelb), „Schwerer Hagel“ (grün) und „Starkniederschlag“ (blau) und die Qualitätsstufen ‚Bericht bestätigt‘ bzw. ‚Ereignis verifiziert‘

Besondere Witterungsereignisse der einzelnen Monate nach Berichten der europäischen Wetterdienste

Januar 2011

Durch Schneeschmelze aufgrund der steigenden Temperaturen ab dem 6. Januar und zusätzliche Regenfälle in der Monatsmitte kam es in Mitteleuropa an viele Flüssen zu Hochwasser, so dass Straßen und Orte überschwemmt wurden. Besonders betroffen waren die Flüsse, Rhein, Mosel, Main, Donau, Weser, Elbe, Oder und Saale. Einige Tage lang musste die Schifffahrt eingestellt werden. Behinderungen dieser Art treten etwa alle 5 Jahre auf. Auf dem Rhein verunglückte ein Schiff nahe der Loreley. Dadurch war der Fluss hier wochenlang für die Schifffahrt gesperrt. Auch Österreich und die Tschechische Republik meldeten Behinderungen durch Hochwasser.

Februar 2011

Ein Sturmtief zog am 6./7. Februar über die Britischen Inseln, Norddeutschland, Dänemark und Südschweden. Es brachte neben hohen Windgeschwindigkeiten mit maximalen Böenstärken von über 30 m/s über dem Vereinigten Königreich, 36 m/s am Leuchtturm Kiel und 36.5 m/s im Dänischen Nissum Fjord (bei mittleren Windgeschwindigkeiten zwischen 25 und 30 m/s) auch lang anhaltende Regenfälle mit sich. In Nordirland und England kam es zu Überschwemmungen

Am 16. Februar verursachte ein Sturm mit Starkniederschlägen und Schneefall an der Westküste der Iberischen Halbinsel schwere Schäden an Hausdächern und Bäumen. Starker Wind mit hohen Wellen trat auch auf den Azoren auf.

März 2011

Mehrere Mittelmeertiefs verursachten im März schwere Schäden.

Anfang März brachte ein Mittelmeertief mit Zentrum in der Tyrrhenischen See Starkniederschlag in Süditalien, Bora in Norditalien, Slowenien und Kroatien (maximale Windbö in Triest 48.9 m/s) und Schneefall in Nord- und Mittelitalien. In Mili San Pietro traten zum zweiten Mal innerhalb weniger Monate Schlammflüsse auf. Neben Sachschäden verloren 6 Menschen ihr Leben und 150 wurden verletzt. Auch in Griechenland gab es Starkregen und Erdbeben, so dass die Bahnlinie zwischen Lianokladi und Domokos unterbrochen war.

Um den 10. März traten im Östlichen Mittelmeer und im Nahen Osten wiederum heftige Niederschläge, teils auch Schneefälle, verbunden mit Hagel auf. Griechenland, Syrien und Libanon waren betroffen. 3 Menschen kamen zu Tode.

Ein weiteres Mittelmeertief brachte Südfrankreich in der Zeit vom 12.-16. März extreme Niederschlagsmengen mit 5-Tagessummen um 400-500 mm.

April 2011

Im April führte große Trockenheit zu außergewöhnlichen Vorfällen wie z.B. einem schweren Autounfall mit 80 beteiligten Fahrzeugen, 8 Toten und 130 Verletzten bei Rostock infolge eines plötzlichen Staubsturms am 8 April.

Die Trockenheit begünstigte auch Wald- und Feldbrände, z.B. in Bulgarien, in den Niederlanden und Belgien, sogar in Schottland. Schneeschmelze und zusätzliche heftige Regenfälle führten dagegen in Kasachstan zu extremen Überschwemmungen (100-Jahresereignis), so dass 9000 Personen evakuiert werden mussten.

Mai 2011

Anfang Mai gab es in Mitteleuropa noch späte Nachtfröste, die erhebliche Schäden an Wein- und Obstkulturen verursachten.

Juni 2011

Schneeschmelze und extreme Niederschläge führten in der Zeit vom 8. bis 13. Juni in Mittelnorwegen zu schweren Überschwemmungen mit Erdbeben, wobei Häuser und Straßen weggerissen wurden.

Ebenfalls schwere Überschwemmungen mit Erdbeben nach heftigen Regenfällen gab es in der Zeit vom 18.-21. Juni in Georgien. Auch hier wurden Straßen und Gebäude weggerissen und mindestens 4 Menschen kamen dabei ums Leben.

Juli 2011

Der Juli 2011 brachte vielerorts schwere gewittrige Niederschläge. Das markanteste Ereignis ergab sich zu Beginn des Monats in Kopenhagen, wo an fast allen Stationen der Stadt Tagessummen von 100 mm und mehr registriert wurden. Eine Station meldete 157 mm innerhalb von 2 Stunden. Ähnliche Werte wurden in Südschweden beobachtet.

August 2011

Der August brachte in Mitteleuropa ähnlich schwere Gewitter wie der Juli mit schweren, intensiven Niederschlägen, Blitzschlag, Sturm und teils schwerem Hagel. Besonders tragisch war der Tod mehrerer Teilnehmer an einem Festival in Hasselt in Belgien am 18. August.

September 2011

Im September gab es in der ersten und zweiten Monatsdekade wiederum viele schwere Gewitter hauptsächlich in West-, Mittel-, und Nordeuropa mit extremen Starkniederschlägen, Sturmböen und Hagelschlag. Die Folge waren lokale Überschwemmungen, Erdbeben, umgestürzte Bäume und abgerissene Stromleitungen, Feuer durch Blitzschlag, Hagelschäden in Landwirtschaft und Obstbau sowie an Gebäuden. Am 18. September gab es einen frühen Wintereinbruch in den Alpen mit bis zu 45 cm Schnee im Oberengadin und in Graubünden. Gleichzeitig gab es in den tieferen Lagen in den Alpen und im Mittelmeerraum wieder extreme Starkniederschläge teils mit Rekordwerten für tägliche Niederschlagshöhen. Anfang der 3. Monatsdekade waren dann die Balkanhalbinsel und die Türkei von extremen Starkniederschlägen und Hagel betroffen.

Oktober 2011

Anfang Oktober wurden in Nord-, Mittel- und Südeuropa vielerorts Rekorde der Maximumtemperaturen erreicht oder gebrochen. Die ersten 5 Tage waren ausgesprochen sommerlich. Anschließend fiel die Temperatur erheblich und wiederum gab es teils extreme Starkniederschläge von über 50 mm in 24 Stunden und sehr hohe mehrtägige Niederschlagssummen besonders im Alpenraum, aber auch in Norwegen. In den höheren Lagen der Alpen fiel Schnee. In der Zeit vom 8 bis 17. Oktober waren dann das östliche Mittelmeer und das westliche Schwarzmeergebiet von extremen Starkniederschlägen, teils auch Sturmböen und Hagelschlag betroffen. In der Türkei kamen 4 Menschen zu Tode. Antalya hatte mit 300,4 mm in 24 Stunden die größte tägliche Niederschlagshöhe. Tägliche Niederschlagshöhen über 50 mm und teils über 100 mm wurden vielfach erreicht und die 2-tägigen Niederschlagshöhen lagen teils über 200 mm. Weitere extreme Starkniederschläge trafen um den 20. Oktober Slowenien, Kroatien und Italien. In der Region Latium wurden Niederschläge von 150 mm in 2 Stunden gemeldet. Eine weitere Phase extremer Niederschläge traf in der Zeit vom 23. bis 27. Oktober die Britischen Inseln, Nordwestspanien, West- und Südfrankreich, Norditalien und die westliche Adriaküste. Die schlimmsten Folgen traten in Italien an der Ligurischen Küste auf. Hier kamen mehrere Menschen zu Tode. Eine Niederschlagshöhe von 153 mm in einer Stunde und insgesamt 542 mm in 30 Stunden wurden für Brugnato in der Region La Spezia für den 25. und 26. Oktober gemeldet.

November 2011

Der November 2011 war in weiten Teilen Europas von der Nordsee bis zur Balkan Halbinsel ausgesprochen trocken. In Deutschland war es der trockenste November seit 1881, ebenso in den Niederlanden der trockenste November seit Beginn der Aufzeichnungen. Dies berichtet auch Moldavien, wo auf 75 % der Landesfläche nur 1-3 mm Niederschlag fielen, was 2-7 % der mittleren monatlichen Niederschlagshöhe entspricht. In den übrigen Ländern lag der November ebenfalls auf den vorderen Rangplätzen der trockenen Monate. Folgen der Trockenheit waren Wasserstandsprobleme in Flüssen, wenn auch keine allzu ernsthaften Behinderungen für die Schifffahrt auftraten, vermehrte Wald- und Buschbrände sowie Vegetationsschäden. So schätzte Bulgarien den Schaden in Wäldern auf 1.500000 Euro.

Das westliche Mittelmeer wurde im Zeitabschnitt vom 3. bis 8. November von dem Tief ROLF beeinflusst, das ausgesprochen tropischen Charakter aufwies. Hauptsächlich betroffen waren Frankreich, Italien und die Schweiz. An der Ligurischen Küste starben 7 Menschen durch Fluten und Erdbeben. Tagesniederschlagshöhen zwischen 100 und 232 mm sind an SYNOP-Stationen dokumentiert. Noch höhere Werte gab es an Stationen anderer Messnetze. So wurde ein 1-Stundenwert von 181 mm in Vicomorassa, nördlich von Genua gemeldet. Die Tagessumme erreichte dort 454 mm. Auch Spanien meldete 3-Tagessummen von mehr als 200 mm.

Am 22. November gab es noch einmal extreme Niederschläge im westlichen Mittelmeer. In Saponara bei Messina auf Sizilien starben 3 Menschen in einem Erdbeben. Kalabrien schätzte die Schäden in seinem Gebiet auf 150 Millionen Euro. Auch an der Ostküste

von Spanien wurden tägliche Niederschlagshöhen von 81.1 mm (Bilbao) bzw. 144.9 mm (Tortosa) gemeldet. An der Norwegischen Küste traten in der Zeit vom 23. bis 30. November stürmische Winde und dementsprechend hohe Wellen auf. Bei Wellenhöhen von 20 m starben 2 Menschen. Die arktische Station Slepner meldete am 27. November ein maximales 10 Minutenmittel von 31.3 m/s. Auch die Baltischen Staaten waren von dieser Sturmsituation betroffen. Böen von 30 m/s wurden in Südfinnland registriert und Lettland meldete umgestürzte Bäume, unterbrochene Stromleitungen sowie Schäden an Autos und an Hausdächern.

Dezember 2011

In Teilen von Mitteleuropa und in Osteuropa hielt die Dürre noch weiter an. Jetzt waren auch die Wasserstände der Flüsse sehr niedrig und insbesondere auf den großen Wasserstraßen Rhein und Donau kam der Schiffsverkehr zum Erliegen. In Bulgarien erreichte die Donau ihren tiefsten Stand seit 70 Jahren. Die Tschechische Republik hatte die schlimmste Trockenheit seit 1775.

Über Schottland und Schweden zog am 8. und 9. Dezember ein Sturmtief, das auch noch in Dänemark und Norddeutschland Auswirkungen hatte. In Schottland hatten rund 150 000 Haushalte, in Schweden 10 000 Haushalte zeitweise keinen Strom, und Straßen in Schottland und Dänemark waren wegen umgestürzter Bäumen unbrauchbar.

Vorwiegend die Alpenregion, aber auch Südfrankreich und Süddeutschland wurden von Sturmtief JOACHIM heimgesucht, und schließlich zog am 25. Dezember DAGMAR über Schweden und Norwegen. Wiederum hatten 264 500 Haushalte in Norwegen, Schweden und Finnland zeitweise keinen Strom, und in Schweden waren Bahnliesen und Straßen zeitweise unpassierbar.

Tab. 2: Auswahl besonderer Ereignisse im Jahre 2011

Quellen:

Ereignisberichte (zusätzlich zu den Quellenangaben in den Berichten ‚Monthly Bulletin on the Climate in WMO RA VI – Europe and Middle East‘ (<http://www.dwd.de/rcc-cm>):

*Dartmouth Flood Observatory, New Hampshire, USA, <http://floodobservatory.colorado.edu>
-UK MetOffice climate and weather statistics: <http://www.metoffice.gov.uk/climate/uk/>
WitterungsReport Express, DWD*

Allgemein:

- *Rudolf, B., und U. Schneider (2005): Calculation of Gridded Precipitation Data for the Global Land-Surface using insitu Gauge Observations, Proceedings of the 2nd Workshop of the International Precipitation Working Group IPWG, Monterey October 2004, EUMETSAT, ISBN 92-9110-070-6, ISSN 1727-432X, 231-247.*
- *Rudolf, B., H. Hauschild, M. Reiß und U. Schneider (1992): Beiträge zum Weltzentrum für Niederschlagsklimatologie - Contributions to the Global Precipitation Climatology Centre. Meteorologische Zeitschrift N. F. 1 Nr. 1, 7-84.*
- *U. Schneider, A. Becker, A. Meyer-Christoffer, M. Ziese und B. Rudolf (2011): Global Precipitation Analysis Products of the GPCC. Deutscher Wetterdienst, Offenbach a.M., Germany. 16 pp. Internetpublikation unter <http://gpcc.dwd.de>.*

Das Klima des Jahres 2011 im globalen Maßstab

C. Lefebvre, A. Becker

Globalwerte von Temperatur und Niederschlag

Das Klima des Jahres 2011 wurde durch zwei La-Niña-Phasen im äquatorialen Pazifik geprägt. Diese wirkten sich vor allem auf die Temperatur- und Niederschlagsverhältnisse wie auch auf das Aufkommen tropischer Wirbelstürme aus. Die Abschätzung der globalen Jahresmitteltemperatur aus den Analysen des UK Met Office Hadley Centre und der Climatic Research Unit der University of East Anglia (HadCRU), des U.S. National Climatic Data Center (NCDC) und des NASA Goddard Institute of Space Studies (GISS) ergab eine Abweichung von $+0,40 \pm 0,09$ K zum Mittelwert von $14,0$ °C des Referenzzeitraums 1961-1990. Damit nimmt das Jahr 2011 den 11. Rang unter den wärmsten Jahren ein. Von den Jahren, in denen eine starke La-Niña-Phase auftrat, ist 2011 das bisher wärmste.

Die globale Niederschlagshöhe für die Landflächen lag nach Berechnung des Global Precipitation Climatology Centre mit 803 mm um 16 mm über dem vieljährigen Mittel 1951-2000 und nahm Rang 8 in der 1901 beginnenden Zeitreihe ein. Eine weitere Analyse ergab für 2011 ein Niederschlagsplus von 46 mm zum Mittel 1961-1990 und damit Rang 2 hinter 2010. Ähnlich wie im Jahr 2010 wirkten sich die La-Niña-Phasen markant auf die regionale Niederschlagsverteilung aus.

La-Niña-Phasen

Die erste La-Niña-Phase, die Mitte 2010 begonnen hatte und im Mai 2011 endete, war eine der stärksten der letzten 60 Jahre. Ihre größte Ausprägung erreichte sie zu Jahresbeginn, als die Wasseroberflächentemperaturen im zentralen und östlichen Äquatorialpazifik um 1,5 bis 2 K unter dem Mittel lagen (im Niño3.4-Gebiet: -1,64 K im Januar). Dabei waren die Passatwinde über dem westlichen und zentralen Pazifik ungewöhnlich stark ausgeprägt. Der standardisierte Southern Oscillation Index (SOI) als Maß dafür lag von Dezember 2010 bis März 2011 zwischen 2,3 und 2,9 (<ftp://ftp.cpc.ncep.noaa.gov/wd52dg/data/indices/soi>).

Das zweite La-Niña-Ereignis, das im Oktober 2011 einsetzte, war schwächer. Die Abweichungen der Wasseroberflächentemperatur lagen im Niño3.4-Gebiet bei -1 K im November und Dezember, wobei die Passatwinde wiederum sehr stark ausgeprägt waren, wie der SOI von 2,5 im Dezember belegt.

Regionale Temperaturanomalien

Wie Abb. 1 zeigt, wurden die höchsten Abweichungen der Jahresmitteltemperaturen zum Mittel 1961-1990 im Nordwesten Russlands beobachtet. Sie betragen 4 bis 6 K. In der Russischen Föderation war 2011 das drittwärmste Jahr, in Frankreich, Spanien, Schweiz, Belgien und Luxemburg sogar das wärmste seit Aufzeichnungsbeginn.

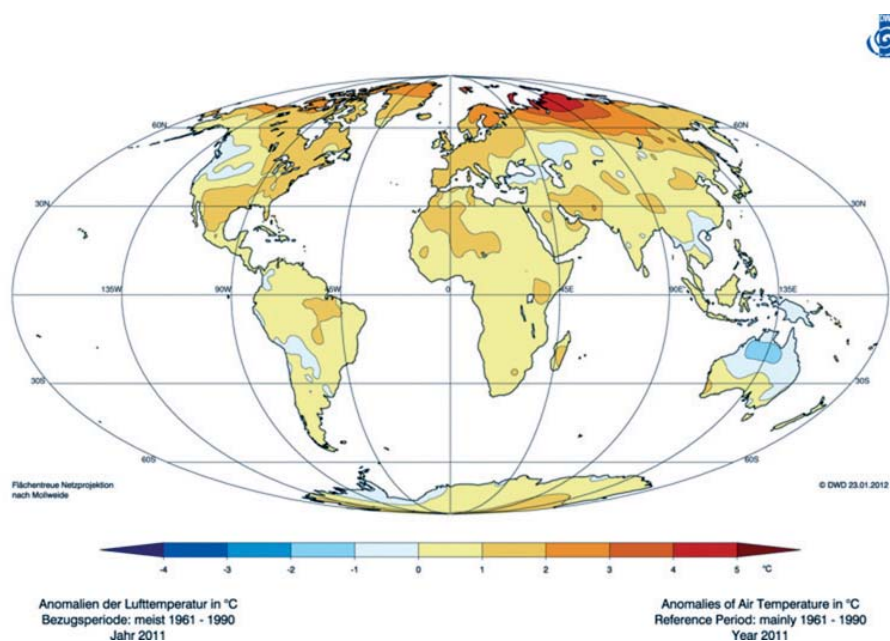


Abb. 1: Anomalien der Jahresmitteltemperatur 2011 in °C

In Norwegen wurde der bisherige Allzeitwärmerekord im Jahr 2011 wieder erreicht. Für Mittelamerika war 2011 das drittwärmste Jahr. Auch in Afrika war 2011 ein überdurchschnittlich warmes Jahr, die Region Sahara/Arabien verzeichnete das drittwärmste Jahr, wobei die drei höchsten Jahresmitteltemperaturen in den letzten drei Jahren auftraten. Dagegen erlebte die La-Niña sensitive Nordhälfte Australiens ein um bis zu 2 K zu kühles Jahr. Für den gesamten australischen Kontinent war es das kühlfste Jahr seit 2000.

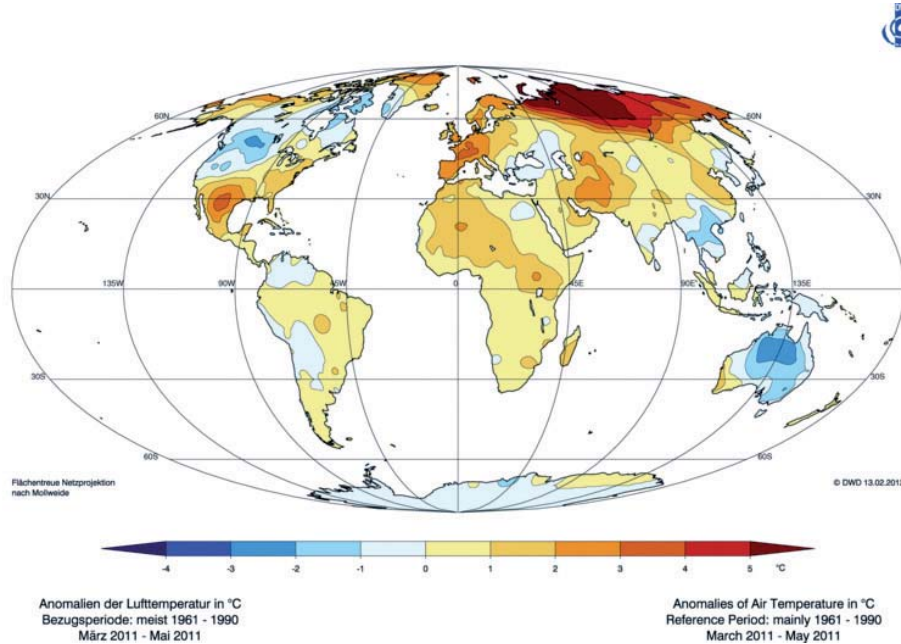


Abb. 2: Anomalien der Mitteltemperatur in °C vom Frühling (MAM) 2011

Im Jahresverlauf war der Frühling (März bis Mai) in Sibirien ungewöhnlich warm, in Westsibirien sogar um bis zu 8 K (vgl. Abb. 2). Aber auch in Westeuropa sowie im Süden der USA und im Norden Mexikos lagen die Temperaturen um bis zu 4 K über dem Durchschnitt. In West- und Mitteleuropa traten im April teilweise so früh wie nie zuvor Höchsttemperaturen von 25 °C und 30 °C auf. Dagegen war es in der Westhälfte der USA und im Westen Kanadas sowie um die Hudson Bay wie auch in Südostasien überwiegend zu kühl, teilweise um bis zu 2 K. Australien verzeichnete zeitgleich den kühlfsten Herbst mit einer Abweichung von 1,15 K vom Mittel 1961-1990 seit Aufzeichnungsbeginn im Jahr 1950. Auch im Westen Südamerikas wirkte sich die La-Niña-Phase durch unterdurchschnittliche Temperaturen aus.

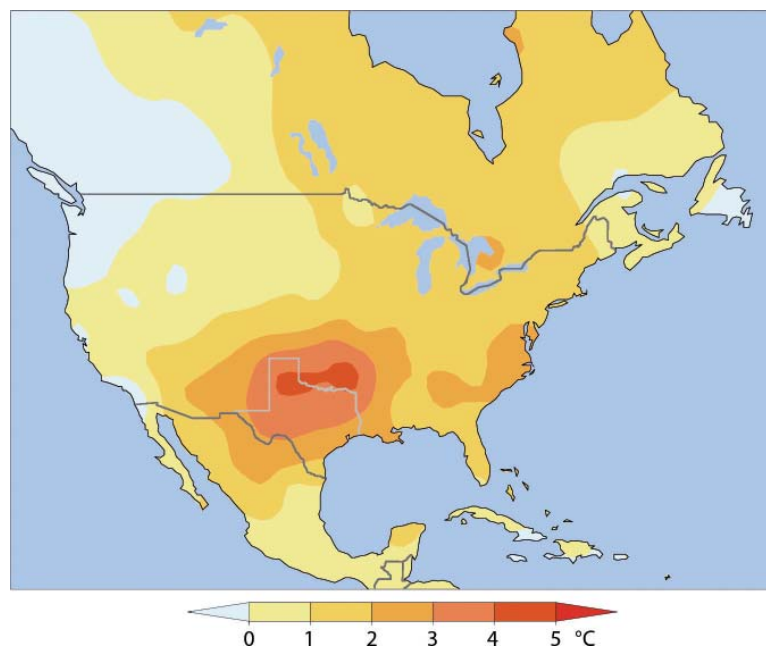


Abb. 3: Anomalien der Mitteltemperatur in °C vom Sommer (JJA) 2011 in den USA

Im Süden der USA setzte sich im Sommer (Juni bis August) die deutlich zu warme und auch trockene Witterung fort. Wie Abb. 3 zeigt, bewegten sich die Mitteltemperaturen für den Sommer um 3 bis 4 K, teilweise um 4 bis 5 K über dem Mittel. Texas erlebte mit einer Mitteltemperatur von 30,4 °C den wärmsten Sommer, der je in einem amerikanischen Bundesstaat verzeichnet wurde. Auch in Oklahoma war es der wärmste Sommer. Die Andauer sehr heißer Tage brach nicht selten die bisherigen Rekorde. So hatte z.B. Dallas an 40 aufeinander folgenden Tagen im Juli/August 100 °F (37,8 °C) und mehr. Auch die US-Staaten Louisiana, Oklahoma, New Mexico und der Norden Mexikos waren von der anhaltenden Hitze betroffen.

Temperaturanomalien von 2 bis 3 K traten verbreitet von Osteuropa bis Südwestasien wie auch von Mittelsibirien bis Nordostchina auf.

Im Nahen Osten wurden Ende Juli/Anfang August verschiedentlich Höchsttemperaturen über 50°C im Iran, Irak und Kuwait gemessen (z.B. 53,3 °C in Mitribah (Kuwait) am 3. August und 52,6 °C in Omidieh (Iran) am 27. Juli).

Auf der Südhalbkugel war dagegen der Winter in der Südhälfte Südamerikas, im Süden Afrikas und im Norden Australiens noch kälter als gewöhnlich.

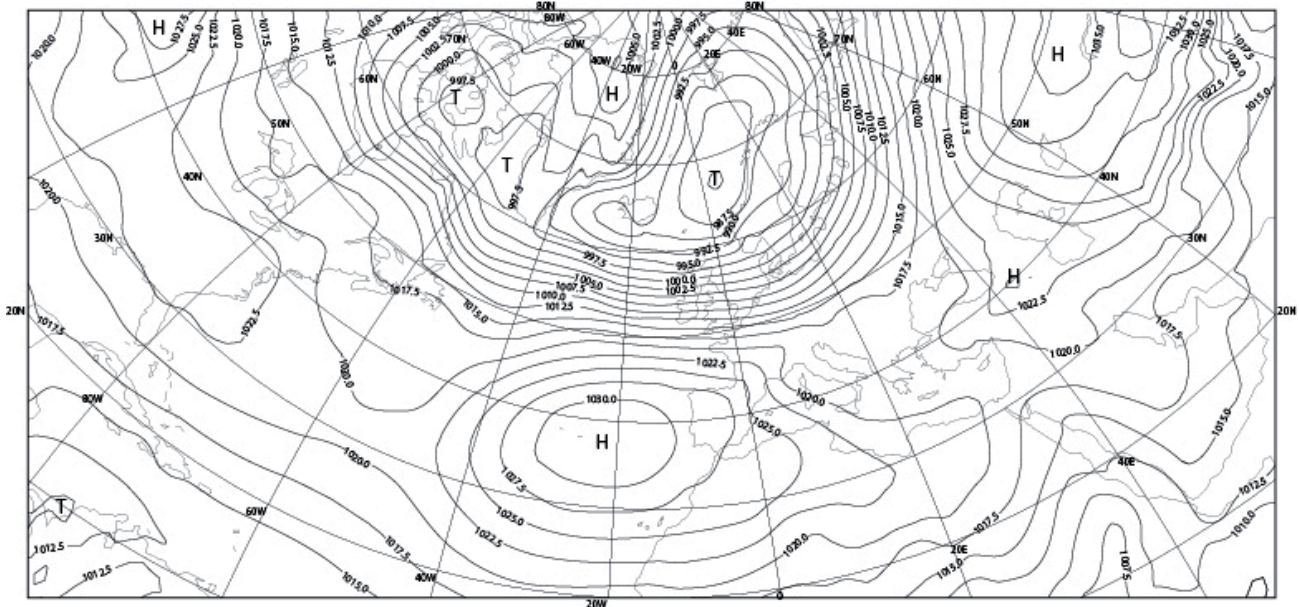
Im Herbst vollzog sich die jahreszeitliche Abkühlung in den nördlichen Breiten deutlich langsamer als gewöhnlich. Anomalien von 3 bis 4 K, teilweise bis 5 K wurden in Kanada westlich der Hudson Bay, in Nordeuropa und in Westsibirien verzeichnet. Norwegen und Finnland erlebten den wärmsten Herbst seit Aufzeichnungsbeginn.

Deutlich zu kalt war es dagegen im Raum um das Schwarze und Kaspische Meer wie auch im Nordwesten Australiens.

Ganz anders als im Jahr 2010 gestaltete sich der Dezember, der damals durch eine stark negative Phase der North Atlantic Oscillation (NAO) geprägt war und in Mittel- und Nordeuropa um teilweise mehr als 4 K zu kalt ausfiel.

Im Berichtsjahr war der Dezember mit einer stark positiven NAO-Phase verbunden, die den bisher höchsten positiven Wert von +2,25 annahm. Da die NAO-Phase im Jahresverlauf sogar dreimal ihr Vorzeichen wechselte ist das Jahr 2011 durch eine Rekordvariabilität der NAO charakterisiert. Kräftige Tiefdrucktätigkeit über dem nördlichen Nordatlantik und dem Nordpolarmeer, die weit nach Osten ausgriff, bei einem überdurchschnittlich kräftigen Azorenhoch (vgl. Abb. 4) bewirkte den Zustrom vergleichsweise milder Luftmassen, die in Finnland Temperaturanomalien bis zu 9 K und in Westsibirien sogar von 10 bis 16 K hervorriefen. Aber auch in Kanada war es um bis zu 8 K zu warm.

Monthly Means of Sea Level Pressure in hPa
December 2011



Regionale Niederschlagsanomalien

Einen Überblick über die globale Niederschlagsverteilung und ihre Abweichungen vom Mittel geben Abb. 5 und Abb. 6. Ähnlich wie im Jahr 2010 wirkten sich die La-Niña-Phasen auf das Niederschlagsaufkommen in Südasien und Nordaustralien aus. Im Norden Australiens setzten sich zu Jahresbeginn weit überdurchschnittliche Niederschläge fort, die weiträumig zu Überschwemmungen führten. Der tropische Zyklon YASI, der Anfang Februar 2011 mit Hurrikanstärke der Kategorie 4 auf den Nordosten Australiens übergriff, trug besonders dazu bei. Für Australien war 2011 mit 699 mm und damit 234 mm über dem vieljährigen Mittelwert das dritt-nasseste Jahr seit Beginn der Zeitreihe 1900.

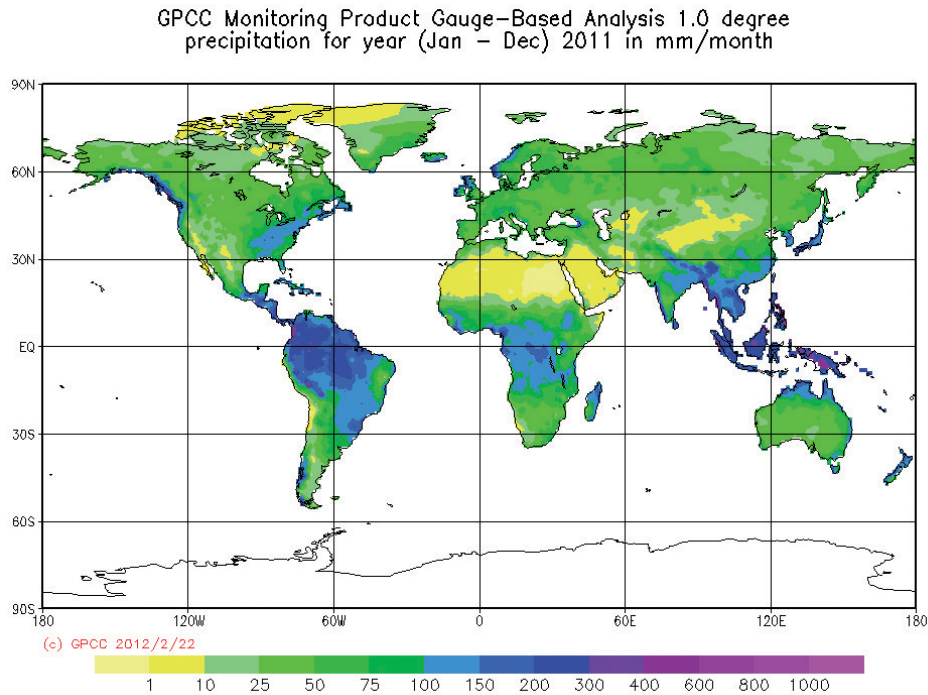


Abb. 5: Globale Verteilung des mittleren Niederschlages des Jahres 2011 in mm pro Monat

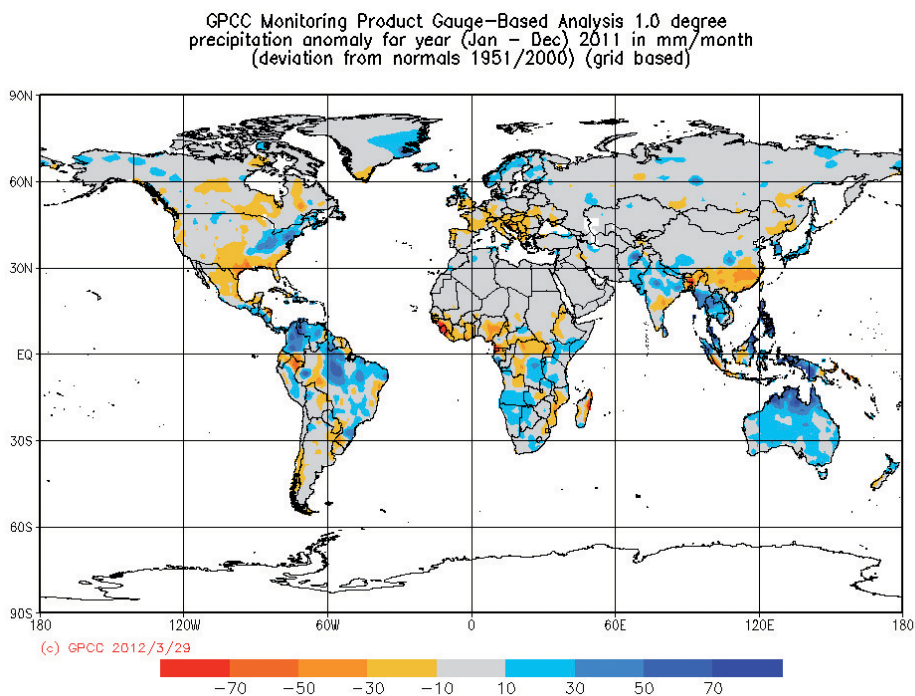


Abb. 6: Globale Verteilung der mittleren absoluten Niederschlagsanomalie des Jahres 2011 gegenüber der WZN Niederschlagsklimatologie 1951-2000

Zu feucht war es auch auf den Inseln des Westpazifiks (Japan, Philippinen und Indonesien), in Südafrika sowie in großen Teilen Brasiliens, Venezuelas und Kolumbiens, in Pakistan und Westindien, im Nordosten der USA und im Nordwesten Europas. Hier verzeichneten Norwegen und Schottland das niederschlagsreichste Jahr seit Aufzeichnungsbeginn. Weit überdurchschnittliche Niederschläge fielen in Südostasien, wobei für Thailand 2011 das nasseste Jahr seit Aufzeichnungsbeginn war.

Kräftiger Sommermonsun führte zu weiträumigen und lang anhaltenden Überschwemmungen vor allem in Laos, Kambodscha, Myanmar und besonders im nördlichen und mittleren Thailand, wo der Monsun frühzeitig Mitte Mai einsetzte und bis Mitte Oktober dauerte. Es fielen 20 bis 80 % mehr Niederschlag als gewöhnlich (vgl. Abb. 7). Ab Mitte Oktober waren auch Bangkok und sein Umland von den Überflutungen betroffen, was zu großen Ausfällen bei der industriellen Produktion führte. In Thailand, Kambodscha und Vietnam forderten die Überschwemmungen insgesamt mehr als 1000 Menschenleben.

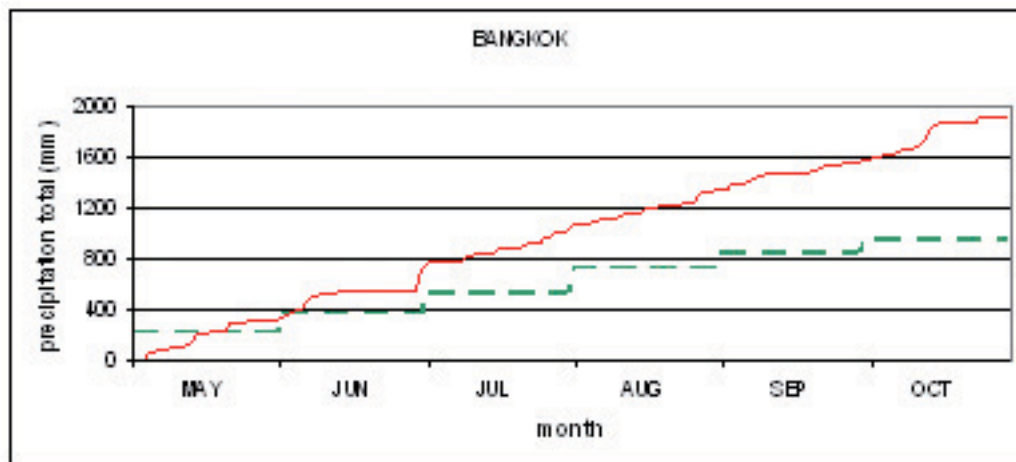


Abb. 7: Akkumulierte tägliche Niederschläge in Bangkok/Thailand von Mai bis Oktober 2011 (rot) sowie akkumulierte Monatsmittel des Bezugszeitraums 1961-1990 (grün).

Aber auch Pakistan war wieder von einem ausgeprägten Sommermonsun betroffen, allerdings nicht in dem Ausmaß wie 2010. Überschwemmungen betrafen vor allem den Süden. In der Provinz Sindh lag der Juli-September-Niederschlag um 248 % über dem Mittel.

Den nassesten Sommer meldeten die Republik von Korea mit 1048 mm (44% über dem 1973-2011-Mittel) und auch die Niederlande.

In Afrika verzeichneten viele Gebiete von Simbabwe, Botswana, Namibia, Angola und dem nördlichen Südafrika von Januar bis März das 2 bis 4-fache der Mittelwerte.

Im Nordosten der USA war der Zeitraum von Januar bis Oktober für mehrere Staaten der niederschlagsreichste seit Aufzeichnungsbeginn. Im Frühling führten starke Niederschläge und die Schneeschmelze in zentralen und östlichen Teilen des Nordens der USA und in Kanada zu Hochwasser auf vielen Flüssen. Die Gebiete am Mississippi erlebten die schlimmsten Überschwemmungen seit 1933.

Extremniederschläge von 200 mm und mehr in wenigen Stunden lösten am 11. und 12. Januar in der Gebirgsregion des Staates Rio de Janeiro gewaltige Berggrutsche und Überschwemmungen aus, in der über 900 Menschen den Tod fanden und knapp 350 vermisst blieben.

Starkniederschläge, die zu Überschwemmungen führten, wurden vor allem auch durch tropische Wirbelstürme verursacht. In Japan löste der Tropensturm TALAS in Kamikitayama, Präfektur Nara, in 3 Tagen 1652.5 mm Regen aus. In Mittelamerika fielen in Huizucar, El Salvador, 1513 mm Regen in der Zeit vom 10. bis 20. Oktober.

Im Mittelmeerraum traten im Oktober und November Unwetter mit Starkniederschlägen auf. In Ligurien im nordwestlichen Italien fielen am 25. Oktober in Borghetto di Vara in 6 Stunden 472 mm und in Vicomorasso bei Genua am 4. November 400 mm in 12 Stunden. Im Südosten Frankreichs fielen in 9 Tagen vom 1. bis 9. November mehr als 900 mm.

Eine extreme Dürre herrschte dagegen bis September 2011 in den semiariden Gebieten Ostafrikas, vor allem im Norden und Osten Kenias, im westlichen Somalia und im südlichen Grenzgebiet Äthiopiens. Sie war ähnlich ausgeprägt wie die schwersten der letzten 60 Jahre von 1983-1984 und 1999-2000. Das Niederschlagsaufkommen in den ariden bis semiariden Bereichen Kenias lagen in dem 12-monatigen Zeitraum vom Oktober 2010 bis September 2011 um 50 bis 80 % unter dem Mittel. Nach Schätzungen des UN Office for Coordination of Humanitarian Affairs (OCHA) benötigten 13 Mio. Menschen humanitäre Hilfe. Ab der 2. Oktoberwoche, mit Beginn der sogenannten kleinen Regenzeit, die bis Dezember reicht, fiel dann deutlich mehr Niederschlag als üblich, teilweise sogar mehr als im Jahresmittel.

Eine große Dürre erlebten auch der Süden der USA und der Norden Mexikos, was gut mit den Merkmalen einer La-Niña-Phase übereinstimmt. Besonders betroffen war Texas, wo im September mehr als 80 % der Fläche in die höchste Dürrestufe fielen. Wassermangel und Schäden in der Landwirtschaft waren die Folge, ebenso viele Busch- und Waldbrände. Das schlimmste Feuer vernichtete im September in der Nähe von Austin, Texas, 13.000 Hektar Land und mehr als 1.600 Häuser. Texas verzeichnete mit Defiziten von 47 % das trockenste Jahr seit Messbeginn.

In Teilen Ostchinas, vor allem im südlichen Jangtse-Becken, fiel von Januar bis Mai mit 202 mm Niederschlag nur 47 % des langjährigen Mittels und damit der geringste Niederschlag seit Aufzeichnungsbeginn. Ab Juni brachte der Sommermonsun hier Regen, aber weiter im Süden blieb es zu trocken. Hongkong meldete das trockenste Jahr seit 1963 mit einem Jahresniederschlag von 1477 mm. Das ist ein Defizit von 38 %.

In Europa war der Frühling vor allem im Westen und in der Mitte des Kontinents ungewöhnlich trocken. Frankreich und die Niederlande meldeten den trockensten Frühling seit Aufzeichnungsbeginn. In Großbritannien und Frankreich fielen von März bis Mai teilweise weniger als 20 mm.

Nach einem niederschlagsreichen Sommer in der Nordhälfte Europas fiel der Herbst vielfach sehr trocken aus. Der November war außer in Deutschland auch in Österreich, der Slowakei und Ungarn der bisher trockenste seit Beginn der Messungen (in Österreich seit dem Jahr 1858). Teilweise war er völlig niederschlagsfrei. Extrem niedrige Wasserstände von Donau, Elbe und Rhein, die zu Einschränkungen im Schiffsverkehr und den Schiffszuladungen führten, waren die Folge.

Auch in Kanada herrschte im Frühling verbreitet eine große Trockenheit. Mit Ausnahme des äußersten Südens und Westens fielen weniger als die Hälfte, verbreitet nicht einmal 20 % des üblichen Niederschlags. Ein großflächiger Waldbrand griff im Mai auf die Stadt Slave Lake im Staat Alberta über und zerstörte 40 % der Gebäude.

Stürme

Tropische Wirbelstürme

Wie im Vorjahr, so war auch im Jahr 2011 die Aktivität und Stärke tropischer Wirbelstürme geringer als im Durchschnitt. Die Anzahl tropischer Zyklonen betrug 74 (einschließlich 2 subtropischen Stürmen), 2010 sogar nur 67, was die bisher geringste Zahl seit Beginn der Satellitenbeobachtungen war. Das Mittel des Zeitraums 1981-2010 beträgt hingegen 85. 38 erreichten Hurrikanstärke (im Mittel 47) und 22 (im Mittel 23) waren stärkere Hurrikane mit mindestens Kategorie 3 der Saffir-Simpson-Skala. Kein Hurrikan erreichte die Kategorie 5.

Das Wirbelsturmaufkommen wurde wie im Vorjahr stark durch die La-Niña-Bedingungen geprägt. Über dem Nordatlantik bewirkten diese im Vergleich zum vieljährigen Mittel normalerweise ein erhöhtes Aufkommen, über dem Nordost-Pazifik eine Reduktion. Über dem Nordatlantik entstanden, wie 2010, 19 tropische Zyklonen, im Mittel sind es 12. Davon entwickelten sich 7 zu Hurrikanen (4 zu stärkeren Hurrikanen), womit die Mittelwerte nur geringfügig überschritten wurden. Über dem Nordost-Pazifik entstanden 11 Tropenstürme (im Mittel 17), von denen jedoch 10 Hurrikanstärke erreichten. Unterdurchschnittlich war auch das Aufkommen über dem Nordwest-Pazifik, wo sich 21 Zyklonen bildeten (im Mittel 26).

Ein nahezu durchschnittliches Aufkommen verzeichneten die Region Australien mit 12 tropischen Zyklonen (im Mittel 11) und der Südwest-Pazifik mit 7 (im Mittel 10). Anders als 2011 ist hier die Wirbelsturmaktivität in La-Niña-Jahren normalerweise erhöht. Ungewöhnlich gering war das Wirbelsturmaufkommen im Indischen Ozean. Im nördlichen Indischen Ozean gab es 2 statt im Mittel 5 Tropenstürme. Im südwestlichen Indik bildeten sich nur 5 statt im Mittel 10 tropische Zyklonen. Die Saison 2010/2011 im östlichen Südindik verzeichnete 4 Tropenstürme, einschließlich einer subtropischen Zyklone, statt im Mittel 8.

Der beim Übertritt auf das Land stärkste Wirbelsturm war YASI, der Anfang Februar als Kategorie 4-Sturm im Osten Australiens über dem Mission Beach (zwischen Townsville und Cairns) westwärts zog. Er hinterließ zwar nur 1 Todesopfer, aber über eine Milliarde US Dollar Schaden.

Die größte Todesrate verursachte der Tropensturm WASHI, der nur Sturmstärke hatte, aber vom 16. bis 18. Dezember für extreme Überschwemmungen im Norden der Philippinen auf Mindanao sorgte. Über 1.000 Menschen starben, und 300.000 mussten evakuiert werden.

Den Auswirkungen der Zyklone THANE fielen an der Südküste Indiens am 30. Dezember über 50 Menschen zum Opfer.

Mittelamerika wurde im Oktober von drei Tropenstürmen beeinflusst. Starkniederschläge von bis zu 1513 mm in Huizucar, El Salvador vom 10. bis 20. Oktober verursachten vor allem in El Salvador, aber auch in Guatemala, Nicaragua, Honduras und Costa Rica weiträumige Überschwemmungen, die mindestens 105 Menschenleben forderten.

Große Schäden von über 7 Mrd. US Dollar verursachte auch der Hurrikan IRENE, der im Nordosten der USA zweimal über Land ging. Er brachte dem Nordosten der USA starke Überschwemmungen. Als er über New York hinweg zog, wo große Vorkehrungen wie Evakuierungen getroffen worden waren, hatte er sich aber bereits auf einen Kategorie-1-Hurrikan abgeschwächt.

Außertropische Stürme

Ein hohes Sturmaufkommen verursachte im Dezember Sturmfluten und Sturmschäden in Nord- und Mitteleuropa. Windböen von mehr als 150 km/h lösten Mitte Dezember das Sturmtief JOACHIM und DAGMAR an den Weihnachtsfeiertagen aus.

Tornados

In den USA traten 2011 mehr als 1700 Tornados auf. Das ist die dritthöchste Anzahl seit Aufzeichnungsbeginn 1950. Dabei war die Aktivität im Frühling mit 1150 außergewöhnlich hoch. Die jährliche Todesrate erreichte mit 553 Toten Rang 2 zusammen mit dem Jahr 1936 hinter 1925. Die höchste Anzahl an Tornados und an durch sie bedingten Todesopfern innerhalb von 24 Stunden wurde am 27. April durch 199 Tornados mit 316 Toten verzeichnet. Am 22. Mai hinterließ ein einziger Tornado in Joplin, Missouri mit Windgeschwindigkeiten von über 300 km/h 157 Tote und damit die höchste Todesrate, die je ein Tornado verursachte.

Meereis

Wie in den Vorjahren, taute auch 2011 das arktische Meereis wieder sehr stark ab. Seit Beginn der Satellitenbeobachtungen 1979 ging die Eisbedeckung in der Arktis auf den zweitniedrigsten Wert zurück. Nach Analyse des U.S. National Snow and Ice Data Center betrug die Eisbedeckung am 09. 09. 2011 nur noch 4,33 Mio. km². Damit lag sie 35 % unter dem Mittelwert von 1979-2000 und nur 0,16 Mio. km² über dem bisherigen Minimum im September 2007.

Ozon

Noch nie war das Ozonloch über der Arktis so ausgeprägt wie 2011. Aufgrund des kalten Winters 2010/2011 war der Ozonabbau in der Höhenschicht 18-20 km doppelt so stark wie in den bisher am stärksten betroffenen Jahren 1996 and 2005. Der Ozonverlust in der gesamten Säule lag bei 40 %.

Das Ozonloch über der Antarktis entsprach der Größe der letzten Dekade.

Quellen:

Haeseler, S.; Dürre in Texas 2010/2011, DWD, Okt. 2011; <http://www.dwd.de>

Haeseler, S.; Monsun in Thailand 2011, DWD, Nov. 2011; <http://www.dwd.de>

WMO Press Release No. 935; WMO, Genf, Nov. 2011

World weather news: <http://www.met.rdg.ac.uk/~brugge/world2011.html>

WMO Provisional Statement on the Status of the Global Climate

Bodentemperaturen im Klimawandel Auswertungen der Messreihe der Säkularstation Potsdam

M. Böhme, F. Böttcher

Einleitung

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit, die auf der Bachelorarbeit von BÖHME (2011) beruht, fand eine statistische Untersuchung der Langzeit-Trends der Bodentemperaturreihe bis in 12 m Tiefe und der Lufttemperaturreihe der Säkularstation Potsdam statt. Dabei sollte herausgefunden werden, inwieweit sich die Lufttemperatur in Potsdam über das letzte Jahrhundert verändert hat und ob sich der Klimawandel auch bereits im Boden in tieferen Schichten widerspiegelt. Die seit dem Ende des 19. Jahrhunderts existierenden Messreihen der Station, die kontinuierlich mit der gleichen Messtechnik und unter den gleichen historischen Messbedingungen erfasst wurden, bieten dafür ideale Voraussetzungen.

Messbedingungen an der Säkularstation Potsdam

Die Säkularstation befindet sich im Südwesten der Stadt Potsdam auf dem Telegrafenberg in 81 m Höhe. Das 1200 m² große Messfeld liegt dabei 600 m außerhalb der bebauten Zone am Rande eines ausgedehnten Waldgebietes (LEHMANN & KALB, 1993). Seit Beginn der regelmäßigen Beobachtung an der Station im Jahr 1893 wurden die meteorologischen Größen hier unter den gleichen historischen Beobachtungsbedingungen erfasst. Es fanden keine Veränderungen des Messfeldes und seiner Umgebung statt. Die Beobachtungsmethoden und -vorschriften sowie die Messgeräteaufstellung wurden zudem weitgehend konstant gehalten.

Eine Besonderheit der Station stellt das bis in eine Tiefe von 12 m reichende Erdbodenmessfeld dar. Die Bodentemperatur wird hier in 2, 5, 10, 20 und 50 cm, sowie in 1, 2, 4, 6 und 12 m Tiefe erfasst. Mit fast reinem, etwas kiesigem Sand aufgefüllt, bietet das Erdbodenmessfeld homogene Bodenverhältnisse in allen Messtiefen. Es umfasst eine 3 m x 6 m große rasenfreie Fläche, die im Winter ständig schneefrei gehalten wird (KÖRBER, 1993). Dies gewährleistet die Vergleichbarkeit der Messdaten verschiedener Jahre, da die Isolationswirkung einer Schneedecke unterbunden wird. Die Bodentemperatur wird im Rahmen der „Säkularen Klimareihe“ nach wie vor mit den konventionellen Messgeräten erfasst: Bis in 20 cm Tiefe werden Bodenwinkelthermometer verwendet. Die Messung der Bodentemperatur in 50 cm bis 12 m Tiefe findet mittels Bodentiefenthermometern statt. Dabei handelt es sich um Glasthermometer in Neusilberrohren, die am Ende von Holzstangen aus massiver Eiche befestigt sind.

Die Lufttemperatur wird seit Beginn der Beobachtung an der Säkularstation am 01.01.1893 erfasst. Dazu wird dreimal täglich ein trockenes, unbelüftetes Thermometer abgelesen, das sich in einer Freilandthermometerhütte (Englische Hütte) in 2 m Höhe über dem Boden auf dem Messfeld befindet. Die Messung der Bodentemperatur begann hingegen erst im Jahr 1894 zunächst in 1, 2, 4 und 6 m Tiefe. Ein Jahr später kamen die Bodentiefen 2, 5, 10, 20 und 50 cm hinzu. Nachdem im Jahr 1897 das Bodentiefenthermometer für 12 m Tiefe eingerichtet wurde, wird seit Montag, dem 03.01.1898, einmal wöchentlich auch in dieser Tiefe die Bodentemperatur erfasst. Die Messungen in 2 cm bis 6 m Tiefe finden dagegen täglich, teilweise auch mehrmals am Tag statt. Die Messtermine richten sich dabei nach der Mittleren Ortszeit (MOZ). Aufgrund ihrer nachgewiesenen Homogenität (http://saekular.pik-potsdam.de/2007_de/) und ihrer nahezu lückenfreien Länge stellt die Bodentemperaturreihe der Säkularstation Potsdam ein weltweit einzigartiges Datenmaterial dar.

Charakteristik der Bodentemperatur

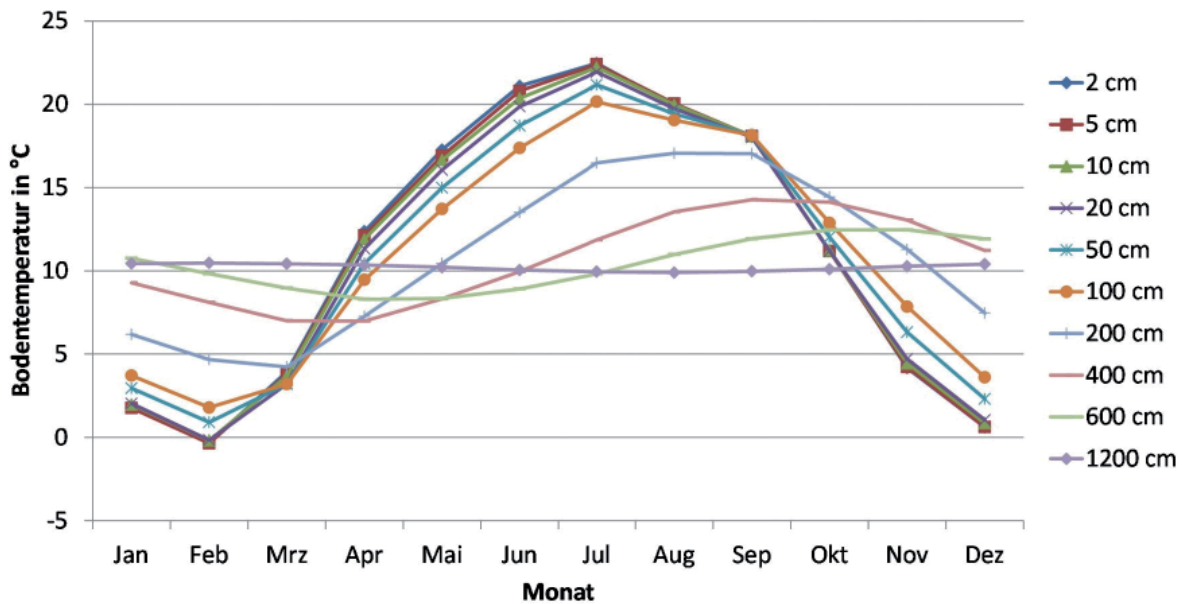


Abb. 1: Zeitliche Verlauf der Bodentemperatur in verschiedenen Tiefen im Jahr 2005 als Beispiel für den generellen Gang der Bodentemperaturen in verschiedenen Tiefen

Die Bodentemperatur und ihr Verlauf werden von einer Vielzahl von Faktoren beeinflusst, die wiederum ein komplexes Wirkungsgefüge darstellen. Den größten Einfluss hat dabei die Globalstrahlung. Bei vegetationsfreiem Boden findet der Energieumsatz direkt an der Erdoberfläche statt. Da die molekulare Wärmeleitung im Boden einen recht ineffizienten Wärmetransport darstellt (FOKEN, 2003), unterliegt der jährliche Bodentemperaturverlauf tiefenabhängigen Veränderungen (siehe Abb. 1). Nahe der Erdoberfläche in 2 cm Tiefe tritt im Verlauf eines Jahres ein Temperaturunterschied von etwa 23 K auf. Je größer die Bodentiefe ist, desto schwächer ist die Temperatur-amplitude im Jahresverlauf ausgeprägt. In 12 m Tiefe schwankt die Bodentemperatur nicht einmal mehr 1 K über das gesamte Jahr und nimmt einen fast konstanten Wert von 10 °C an. Zusätzlich zur Abschwächung der Temperaturamplitude findet eine Phasenverschiebung der Extremwerte mit zunehmender Tiefe statt. Die sommerliche Erwärmung, die nahe der Erdoberfläche im Juli ihr Maximum erreicht, kommt in den größeren Tiefen erst später an. Gleiches gilt für das Temperaturminimum, welches in den geringen Tiefen im Februar auftritt und sich mit zunehmender Tiefe zeitlich verzögert. In 12 m Tiefe beträgt der Zeitversatz sogar ein halbes Jahr, sodass hier die größten Temperaturen erst im Januar und Februar auftreten, während die tiefen Wintertemperaturen erst im August und September nachzuweisen sind.

Da die Bodentemperatur im Gegensatz zu den meteorologischen Größen über dem Erdboden relativ ungestört ist, kann sie wertvolle Informationen zum Klima liefern: Die Erde verhält sich als „Low-Pass-Filter“, der nur die Langzeit-Trends von Temperaturänderungen speichert (BELTRAMI & CHAPMAN, 1994). Dabei gilt allgemein, dass die Ergebnisse umso ungestörter und repräsentativer sind, je tiefer man die Bodentemperatur misst (THAUT, 2009). Aus diesem Grund wurde bei den Untersuchungen der Fokus auf die größeren Bodentiefen unterhalb von 1m gelegt, insbesondere auf die Bodentemperatur in 12 m.

Auch der jährliche Lufttemperaturverlauf ist stark an den Jahresgang der Globalstrahlung gekoppelt. Er ähnelt sehr dem Bodentemperaturverlauf in den geringen Tiefen, wobei hier durch das ungeschützte Auskühlen der Atmosphäre negative Monatsmittel im Winter möglich sind und die Temperaturamplitude aufgrund der fehlenden Wärmespeicherfunktion im Sommer gegenüber dem Boden etwas geringer ist.

Statistische Methoden zur Datenanalyse

Untersucht wurden die Langzeit-Trends der Lufttemperatur und der Bodentemperatur in den Tiefen 1, 2, 4, 6 und 12 m über den Zeitraum von 1898 bis Februar 2008. Die Grundlage der Trendanalyse bildeten dabei die zeitlichen Mittelwerte der Messdaten. Mit Hilfe des arithmetischen Mittels wurden zunächst Tagesmittel berechnet, aus denen dann Monats- und Jahresmittel ermittelt wurden. Weiterhin wurden Jahreszeitenmittel aus drei aufeinanderfolgenden Monatsmitteln der entsprechenden Jahreszeit bestimmt. Die im meteorologischen Sinne definierten Jahreszeiten setzen sich dabei folgendermaßen zusammen:

- Frühling: März, April, Mai
- Sommer: Juni, Juli, August
- Herbst: September, Oktober, November
- Winter: Dezember, Januar, Februar.

Die Tagesmittel der Lufttemperatur beruhen auf dem Kämtzschens Tagesmittel der Lufttemperatur (LEHMANN & KALB, 1993). Dabei handelt es sich um das arithmetische Mittel aus den drei Terminwerten pro Tag bei Verdopplung des Abendwertes:

$$\bar{a} = \frac{1}{4} (a_{07} + a_{14} + 2 \cdot a_{21})$$

Die Monats-, Jahres- und Jahreszeitenmittel wurden jeweils über 10-Jahresintervalle gemittelt, so dass sich dem Untersuchungszeitraum entsprechend jeweils 11 Dekadenmittel ergeben. Mit Hilfe der linearen Regressionsanalyse wurden die Trends der Dekaden-Monats-, Dekaden-Jahreszeiten- und Dekaden-Jahresmittel der Lufttemperatur und der Bodentemperatur in den jeweiligen Tiefen bestimmt. Die Signifikanz der Langzeit-Trends wurde mit der Methode des Trend-Rausch-Verhältnisses

$$TRV = \frac{|T|}{s}$$

überprüft. Dabei ist T der jeweilige absolute Trend über die 11 Dekaden und s die dazugehörige Standardabweichung der jeweiligen Dekadenmittel, die als Schätzer des Rauschens dient (SCHÖNWIESE, 2006).

Trend-Rausch-Verhältnis	Irrtumswahrscheinlichkeit	Bedeutung	Symbol
< 1	> 31.7 %	Nicht signifikant	n.s.
> 1	< 31.7 %	Schwach signifikant	(*)
> 1.282	< 20 %	Signifikant	*
> 1.645	< 10 %	Sehr signifikant	**
> 2.578	< 1 %	Hochsignifikant	***

Tab. 1: Signifikanzniveaus in Abhängigkeit von der Irrtumswahrscheinlichkeit
(nach: SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDWIRTSCHAFT, 2008).

Mit Hilfe der Standardnormalverteilung können den Werten des Trend-Rausch-Verhältnisses bestimmte Signifikanzbereiche mit dazugehöriger Irrtumswahrscheinlichkeit zugeordnet werden.

Ergebnisse der Zeitreihenanalyse

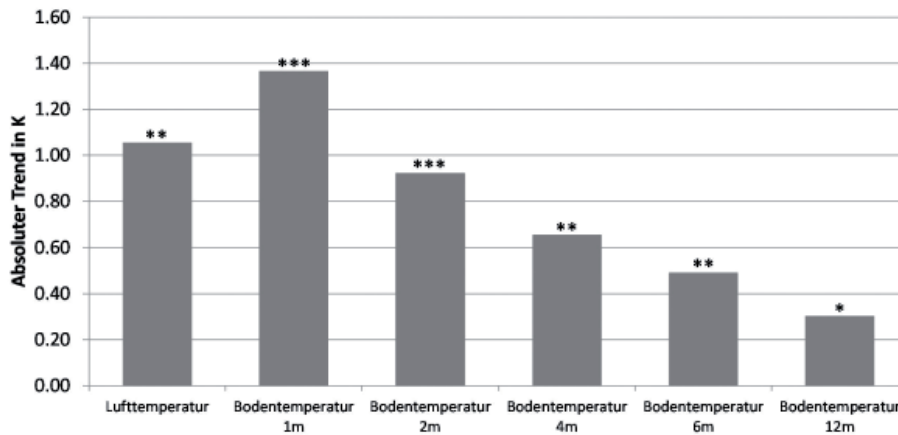


Abb. 2: Absolute Trends der Dekaden-Jahresmittel der Lufttemperatur und der Bodentemperatur in verschiedenen Tiefen von 1898 bis 2007 (*=signifikant; **=sehr signifikant; ***=hochsignifikant)

Einen guten Überblick über die Ergebnisse der Trendanalyse geben die in Abb. 2 dargestellten absoluten Trends der Dekaden-Jahresmittel. Sowohl der Trend der Lufttemperatur als auch die Bodentemperaturtrends in den untersuchten Tiefen sind signifikant, wobei die ermittelten Signifikanzen von signifikant bis hochsignifikant reichen. Trotz der großen Bodentiefe von 12 m konnte auch hier mit 0.3 K ein signifikanter Trend des Dekaden-Jahresmittels über die betrachteten 110 Jahre festgestellt werden. Die sichtbare Abnahme des Betrags des Bodentemperaturtrends mit zunehmender Tiefe lässt sich mit der Abschwächung der Temperaturamplitude mit zunehmender Tiefe erklären (vgl. Abb. 1). Je näher man der Erdoberfläche kommt, desto signifikanter sind die Trends der Dekaden-Jahresmittel der Bodentemperatur.

Auffällig ist die Tatsache, dass der Trend der Bodentemperatur in 1 m Tiefe stärker ausfällt als der Trend der Lufttemperatur. Die Ursachen dafür wurden nicht untersucht und bleiben einer weiteren Arbeit vorbehalten. Will man diesem Effekt auf den Grund gehen, müssten auch die Bodentemperaturen im Bereich zwischen der Bodenoberfläche und 1 m Tiefe sowie die Lufttemperatur unmittelbar an der Erdoberfläche und wahrscheinlich auch die Bodenfeuchte betrachtet werden. Inhomogenitäten in den Messreihen können aber aufgrund der geschilderten Messbedingungen ausgeschlossen werden.

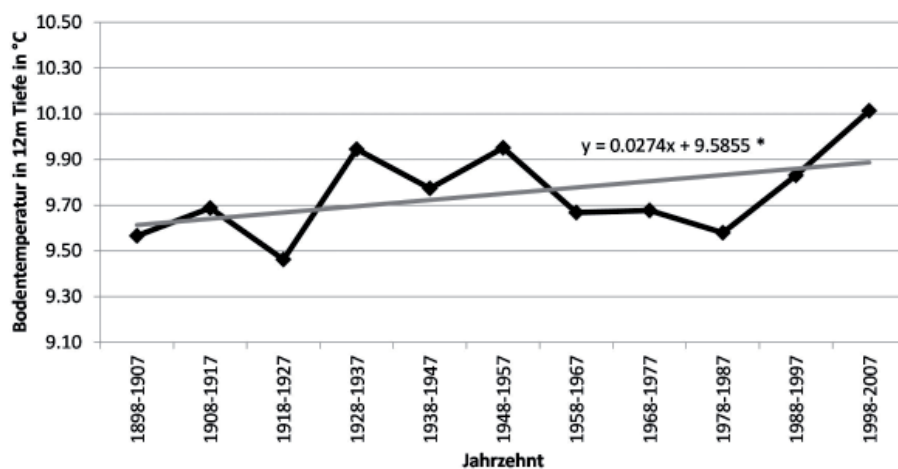


Abb. 3: Dekaden-Jahresmittel der Bodentemperatur in 12 m Tiefe mit dazugehöriger linearer Regressionsgerade von 1898 bis 2007 (*=signifikant)

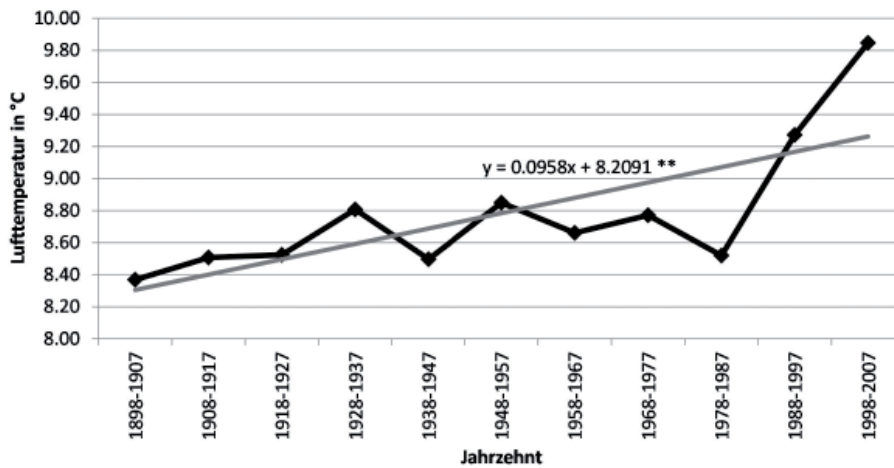


Abb. 4: Dekaden-Jahresmittel der Lufttemperatur mit dazugehöriger linearer Regressionsgerade von 1898 bis 2007 (**=sehr signifikant)

Abb. 3 und Abb. 4 zeigen den zeitlichen Verlauf des Dekaden-Jahresmittels der Bodentemperatur in 12 m Tiefe und der Lufttemperatur. Die Bodentemperatur schwankt aufgrund der dämpfenden Eigenschaft des Bodens nicht so stark wie die Lufttemperatur. Dies ist vor allem bei den letzten beiden Dekaden deutlich zu sehen: Während bei der Lufttemperatur eine starke Tendenz zu höheren Temperaturen auftritt, ist diese bei der Bodentemperatur schwächer ausgeprägt. Trotzdem lässt sich der Lufttemperaturtrend in 12 m Bodentiefe noch deutlich als signifikanter Trend nachweisen.

	Jan		Feb		Mrz		Apr		Mai		Jun	
Luft	0.48	n.s.	0.77	n.s.	1.06	**	1.57	**	0.97	**	0.79	(*)
Boden 1 m	-0.07	n.s.	0.49	(*)	0.83	*	2.04	***	2.86	***	2.29	***
Boden 2 m	0.40	*	0.52	**	0.49	(*)	0.75	**	1.35	**	1.10	**
Boden 4 m	0.42	**	0.34	*	0.34	*	0.38	*	0.62	**	0.79	**
Boden 6 m	0.27	(*)	0.14	n.s.	0.10	n.s.	0.16	n.s.	0.31	*	0.57	**
Boden 12 m	0.28	*	0.28	*	0.28	*	0.27	*	0.28	*	0.28	*

Tab. 2: Absolute Trends der Dekaden-Monatsmittel (Januar bis Juni) der Lufttemperatur und der Bodentemperatur in verschiedenen Tiefen in K mit dazugehörigen Signifikanzniveaus von 1898 bis 2007.

In Tab. 2 und Tab. 3 ist der absolute Trend der Dekaden-Monatsmittel der Luft- und Bodentemperatur sowie dessen Signifikanz in den einzelnen Monaten dargestellt. Die Trends sind überwiegend in den Sommer- und Herbstmonaten am deutlichsten ausgeprägt. Hier treten signifikante bis hochsignifikante Trends auf. Im Boden ist eine zeitliche Verschiebung der signifikantesten Trends mit zunehmender Tiefe aufgrund der bereits beschriebenen Phasenverschiebung zu erkennen. Die Lufttemperatur und die Bodentemperatur in 1 m Tiefe weisen im Winter nicht und schwach signifikante Trends auf, die durch die große Standardabweichung der Dekaden-Monatsmittel in diesen Monaten entstehen. In einer Tiefe von 12 m konnten in allen Monaten signifikante bis sehr signifikante Trends festgestellt werden. Dabei sind die Trends der Monate Juli, August und September in dieser Bodenschicht am signifikantesten. Dem jährlichen Bodentemperaturverlauf zufolge sind die Trends in 12 m Tiefe in den Monaten am signifikantesten, in denen dort die tiefsten Temperaturen vorherrschen. Betrachtet man nur die Trends der Bodentemperatur, so ist der September der Monat mit den signifikantesten Trends in allen Bodentiefen.

	Jul		Aug		Sep		Okt		Nov		Dez	
Luft	0.99	**	1.95	***	1.12	**	1.23	**	0.94	*	0.74	(*)
Boden 1 m	2.37	***	3.18	***	1.68	**	0.80	**	0.00	n.s.	-0.13	n.s.
Boden 2 m	1.14	**	1.55	***	1.31	***	1.11	***	0.76	***	0.53	**
Boden 4 m	0.84	**	0.92	**	1.01	***	0.89	**	0.75	**	0.57	**
Boden 6 m	0.73	**	0.81	**	0.87	***	0.82	***	0.68	**	0.47	**
Boden 12 m	0.31	**	0.33	**	0.32	**	0.32	*	0.32	*	0.32	*

Tab. 3: Absolute Trends der Dekaden-Monatsmittel (Juli bis Dezember) der Lufttemperatur und der Bodentemperatur in verschiedenen Tiefen in K mit dazugehörigen Signifikanzniveaus von 1898 bis 2007.

Analog zu den Dekaden-Monatsmitteln weisen die Dekaden-Sommer- und Dekaden-Herbstmittel der Bodentemperatur und der Lufttemperatur signifikante bis hochsignifikante Trends auf. Während der Trend des Dekaden-Wintermittels der Lufttemperatur und der Bodentemperatur in 1 m nicht signifikant ist, zeigen sich in den Bodenschichten darunter signifikante bis sehr signifikante Winter-trends. Die Trends der Dekaden-Frühlingsmittel sind überwiegend sehr signifikant, wobei jedoch der Trend in 6 m Bodentiefe nicht signifikant ist. Die Trends der Dekaden-Jahreszeitenmittel sind in 12 m Tiefe im Frühling, Herbst und Winter signifikant und im Sommer sehr signifikant.

Die Ergebnisse der Untersuchungen der Bodentemperatur- und Lufttemperaturreihe der Säkularstation Potsdam zeigen, dass eine signifikante Zunahme der Lufttemperatur über den Zeitraum 1898 bis Februar 2008 stattgefunden hat. Dieser Zunahme entsprechend lässt sich auch in den großen Bodentiefen bis 12 m noch eine signifikante Temperaturerhöhung nachweisen. Damit wurde gezeigt, dass der Klimawandel auch im Boden in tieferen Schichten angekommen ist.

Literaturverzeichnis:

- BELTRAMI, H., CHAPMAN, D. S. (1994): *Drilling for a past climate. New Scientist, 142, S. 36–40 (April 23).*
- BÖHME, M. (2011): *Statistische Aufarbeitung der Bodentemperaturreihe der Säkularstation Potsdam. Bachelorarbeit, Universität Leipzig.*
- FOKEN, T. (2003): *Angewandte Meteorologie. Mikrometeorologische Methoden. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.*
- KÖRBER, H.-G. (1993): *Die Geschichte des Meteorologischen Observatoriums Potsdam. Geschichte der Meteorologie in Deutschland. Bd. 2, Deutscher Wetterdienst, Offenbach am Main.*
- LEHMANN, A., KALB, M. (1993): *100 Jahre meteorologische Beobachtungen an der Säkularstation Potsdam 1893 - 1992. Deutscher Wetterdienst, Offenbach am Main.*
- SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDWIRTSCHAFT [Hrsg.] (2008): *Sachsen im Klimawandel. Eine Analyse. Dresden.*
- SÄKULARSTATION POTSDAM TELEGRAFENBERG: http://saekular.pik-potsdam.de/2007_de/ (Stand 11.09.2011)
- SCHÖNWIESE, C.-D. (2006): *Praktische Statistik für Meteorologen und Geowissenschaftler. 4.Aufl., Gebrüder Borntraeger, Berlin, Stuttgart.*
- THAUT, J. (2009): *Zusammenhang meteorologisch, klimatologischer Größen und Bodentemperatur. Bachelorarbeit, TU Bergakademie Freiberg.*

Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen

AMBER	Agrarmeteorologische Beratungssoftware
AMO	Atlantic Multidecadal Oscillation
AWST	Automatische Wetterstation
BBR	Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung
BBSR	Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung
BTU	Brandenburgische Technische Universität (Cottbus)
CCL	Commission on Climatology (der WMO)
CEC	Climate and Environment Consulting GmbH Potsdam
CLM	Climate Local Modell
CMSAF	Climate Monitoring Sattelite Application Facility
COSMO-LM	Consotium for Small Scale Modelling – Local Model
COST	Co-operation in Science and Technical Research
DU	Dobson Unit
DWD	Deutscher Wetterdienst
ECHAM	European Climate Model
ETP	Evatraspiration Potential
FCKW	Fluorchlorkohlenwasserstoffe
GAW	Global Atmosphere Watch
GPCC	Global Precipitation Climatology Centre
GT	Gefühlte Temperatur
GTS	Global Telecommunication System
HISTORn	Historische maritim-meteorologische Daten von Segelschiffen und Dampfern
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
INKLIM	Integriertes Klimaschutzprogramm
ISB	International Society on Biometeorology
ISO	International Standarisatation Onrganisation
KMM	Klima-michel Modell
KSB	Klimastatusbericht
MESZ	Mitteeuropäische Sommerzeit
MOHp	Meteorologisches Observatorium Hohenpeißenberg
MOZ	mittlere Ortszeit
MPI-M	Max-Planck-Institut für Meteorologie
MUKLIMO	Mikroskaliges Urbanes Klimamodell
NAO	nordatlantische Oszillation
NCEP	National Centers for Climate Prediction (USA)
nFK	nutzbare Feldkapazität
NMHS	National Meteorological and Hydrological Services
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
PET	Physiological Equivalent Temperature
PIK	Potsdam Institut für Klimafolgenforschung
PILOT	Höhenwindmessung von einer ortsfesten Landstation
PMV	Predicted Mean Vote
QBO	quasi-biennale Oszillation
RA	Regional Association (der WMO)
RCC	Regional Climate Centre (der WMO)
REMO	Regionales Klimamodell des MPI-M
RSMC	Regional Specialised Meteorological Centre
RTD	Research and Technology Development
SET	Standard Effective Temperature
SSW	Sudden Stratospheric Warming
STAR	sternförmige Projektion
SYNOP	Bodenwettermeldung von einer ortsfesten Landstation

TEMP	Radionsondenaufstieg
TGAn	technische Gebäudeausrüstung
TRYn	Testreferenzjahre
UBA	Umweltbundesamt
UBIKLIM	Urbanes Bioklimamodell
UHI	Urban Heat Island
UTC	Universal Time Coordinated
UTCI	Universal Thermal Climate Index
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VOCn	Volatile Organic Compounds
WEWA	Wetterwarte
WMO	World Meteorological Organization
WZN	Weltzentrum für Niederschlagsklimatologie
ZWEK	Zusammenstellung von Wirkmodell-Eingangsdatensätzen für die Klimafolgenabschätzung

Autorenverzeichnis

Becker, Andreas	Deutscher Wetterdienst Frankfurter Str. 135 63067 Offenbach	Andreas.Becker@dw.de
Böhme, M.	Universität Leipzig Leipziger Institut für Meteorologie	
Böttcher, Falk	Deutscher Wetterdienst Kärnerstr. 68 04288 Leipzig	Falk.Boettcher@dwd.de
Claude, Hans	Deutscher Wetterdienst Albin-Schwaiger-Weg 10 82383 Hohenpeißenberg	Hans.Claude@dwd.de
Köhler, Ulf	Deutscher Wetterdienst Albin-Schwaiger-Weg 10 82383 Hohenpeißenberg	Ulf.Koehler@dwd.de
Lefebvre, Christiana	Deutscher Wetterdienst Bernhard-Nocht-Str. 76 20359 Hamburg	Christiana.Lefebvre@dwd.de
Löpmeier, Franz-Josef	Deutscher Wetterdienst Bundesallee 50 38116 Braunschweig	Franz-Josef.Loepmeier@dwd.de
Meyer-Christoffer, Anja	Deutscher Wetterdienst Frankfurter Str. 135 63067 Offenbach	Anja.Meyer-Christoffer@dwd.de
Müller-Westermeier, Gerhard	Deutscher Wetterdienst Frankfurter Str. 135 63067 Offenbach	Gerhard.Mueller-Westermeier@dwd.de
Nitsche, Helga	Deutscher Wetterdienst Frankfurter Str. 135 63067 Offenbach	Helga.Nitsche@dwd.de
Pietzsch, Saskia	Deutscher Wetterdienst Frankfurter Str. 135 63067 Offenbach	Saskia.Pietzsch@dwd.de
Riecke, Wolfgang	Deutscher Wetterdienst Bernhard-Nocht-Str. 78 20359 Hamburg	Wolfgang.Riecke@dwd.de
Schmitt, Hans-Helmut	Deutscher Wetterdienst Kreuzweg 25 65366 Geisenheim	Hans-Helmut.Schmitt@dwd.de

Steinbrecht, Wolfgang	Deutscher Wetterdienst Albin-Schwaiger-Weg 10 82383 Hohenpeißenberg	Wolfgang.Steinbrecht@dwd.de
Walter, Andreas	Deutscher Wetterdienst Frankfurter Str. 135 63067 Offenbach	Andreas.Walter3@dwd.de
Wienert, Uwe	Deutscher Wetterdienst Frankfurter Str. 135 63067 Offenbach	Uwe.Wienert@dwd.de
Zimmermann, Kirsten	Deutscher Wetterdienst Frankfurter Str. 135 63067 Offenbach	Kirsten.Zimmermann@dwd.de

INDEX

A

Agrarmeteorologische Entwicklung	S. 38
Ährenschieben vom Winterroggen	S. 39
Anomalien	S. 62, 63, 64, 66, 67, 68, 69, 70, 72
Anomalie der Lufttemperatur	S. 59
Anpassungsmaßnahmen	S. 9, 11, 14, 15
Anströmrichtungen	S. 34, 35, 36
Außertropische Stürme	S. 84

B

Bautätigkeit	S. 7, 8, 9, 14
Baumaterialien	S. 7, 9, 10
Baurichtlinien	S. 14
Bauwirtschaft	S. 9
Befahrbarkeit der Böden	S. 41
Bewölkung	S. 67
Bodenerosion	S. 38, 39
Bodenfeuchte	S. 39, 40, 43, 45
Bodentemperatur	S. 44, 45, 85, 86, 87, 88, 89, 90
Bodenwasser	S. 42
Brewer-Dobson Zirkulation	S. 57

C

Chlorgehalt	S. 57
-------------------	-------

D

Dach- und Wandisolierung	S. 11
Dach- Und Fassadenbegrünung	S. 10, 11, 14
Dürre	S. 6, 77, 83
Dürre-Index	S. 72
Durchlüftung	S. 10

E

Eistage	S. 25, 29, 72
Emmisionsszenario	S. 13, 14
Energieverbrauch	S. 10
Extremwert	S. 17

F

Feuchte	S. 36, 48
Feuchteklassen	S. 37
Freie Atmosphäre	S. 48
Frischluftschneisen	S. 11, 14
Frostperioden	S. 14
Frostschäden	S. 46
Frosttage	S. 6, 25, 29
Fruchtreife der Rosskastanie	S. 39
Frühherbst	S. 41
Frühsommer	S. 39

G

Gebäudeausrüstung	S. 12
Gebäudesimulation	S. 12
Geostrophischer Wind	S. 31
Gesamtozonsäule	S. 56
Gewitter	S. 6, 76
Globalstrahlung	S. 19, 86

H

Hagel	S. 29, 74, 75, 76
Hagelereignisse	S. 25
Heiße Tage	S. 6, 9, 25
Heitere Tage	S. 71
Heizungen	S. 10
Hitzeperioden	S. 6, 7, 9, 14
Höchsttemperatur	S. 80
Hochwasser	S. 20, 75
Höhenwind	S. 48, 49
Hurrikan	S. 83

I

Innenraumklimatisierung	S. 14, 15
„Intelligente“ Lüftung	S. 11
Inversionswetterlagen	S. 25

J

Jahresmitteltemperatur	S. 5, 17, 79
Jährliche Sonnenscheindauer	S. 17

K

Klimaanlagen	S. 10
Klimaindizes	S. 72, 73
Klimaprojektionen	S. 5
Klimatische Wasserbilanz	S. 40, 42
Klimawandel	S. 85
Küstengewässer	S. 30

L

La-Niña	S. 79, 83
Luftdruck	S. 48, 63, 64, 80
Luftdruckgegensätze	S. 63
Lufttemperatur	S. 8, 9, 10, 11, 13, 52, 53, 58, 59, 86, 87, 88, 89, 90
Luftfeuchtigkeit	S. 7
Lüftungssysteme	S. 10

M

Meereis	S. 84
Mitteltemperatur	S. 18, 26, 47, 80

N

NAO-Index	S. 63
Niederschlag	S. 18, 60, 62, 75, 76, 81, 82
Niederschlagsabweichung	S. 24, 25
Niederschlagsanomalie	S. 61, 81
Niederschlagsdauer	S. 8
Niederschlagsdefizit	S. 60
Niederschlagshöhe	S. 8, 17, 18, 25, 27, 61, 76
Niederschlagsüberschuss	S. 62
Niederschlagsverteilung	S. 81
Nord-Atlantik Oszillation	S. 57, 80
Nutzbarkeit des Gebäudes	S. 6

O

Orkantief	S. 31
Ostwindperioden	S. 50
Ostwindzirkulation	S. 48, 50, 51
Ozon	S. 84
Ozon in der Stratosphäre	S. 55
Ozonloch	S. 57
Ozonsäulen	S. 55, 57
Ozonerstörende Substanzen	S. 57

P

Phänologische EntwicklungS. 39
 Phänologischer FrühlingS. 38

R

RadiosondenmessungenS. 48
 RebentwicklungS. 47
 ReferenzzeitraumS. 52
 ReflexionsvermögenS. 10
 Regionale KlimamodelleS. 13, 14
 RepräsentationsstationenS. 12, 13

S

Säkularstation PotsdamS. 85
 Schlag- und BruchfestigkeitS. 6, 10, 11
 SchlechtwettertageS. 7, 8, 9
 SchneedeckeS. 29
 SchneefallS. 75
 SchneeschmelzeS. 75
 SommermonsunS. 82
 SommertageS. 5, 13, 14, 25, 72
 SonneneinstrahlungS. 10
 SonnenscheinS. 18
 SonnenscheindauerS. 25, 28, 65, 66, 67, 69
 SonnenschutzS. 10, 11
 Städtische WärmeinselS. 5, 7, 10, 13
 StadtklimaS. 5, 7, 13
 StadtklimasimulationS. 13, 14
 StadtplanungS. 10, 11, 13
 StarkniederschlagS. 6, 74, 75, 76, 82
 StarkregenereignisseS. 7, 10, 14
 StarkregenS. 7
 StaunässeS. 38
 StrahlungsbilanzS. 67, 68, 70
 StrahlungsgenussS. 67
 StratosphäreS. 57
 StrömungsverhältnisseS. 48
 StürmeS. 6, 10, 14, 74, 75, 76, 83

T

TemperaturS. 25, 48, 67
 TemperaturabweichungS. 21
 TemperaturanomalieS. 58, 69, 80
 Temperaturminima in der StratosphäreS. 54
 TemperaturminimumS. 86
 TestreferenzjahreS. 12, 13
 ThermopluviogrammS. 18
 TornadosS. 22, 84

Trockenheit	S. 72, 75, 76
Tropische Wirbelstürme	S. 83
Troposphäre	S. 57
Trübe Tage	S. 71

U

Überflutungen	S. 62
Überschwemmungen	S. 62, 75, 82
Überwärmung	S. 7, 13

V

Versiegelung	S. 7
--------------------	------

W

Wärmeleitfähigkeit	S. 10
Wärmedämmung	S. 10
Wasserdampfgehalt	S. 12
Wasseroberflächentemperatur	S. 30
Weinjahr	S. 46
Welkeerscheinungen	S. 39
Westwindzirkulation	S. 48
Wetterlagen	S. 32, 33, 36
Wetterlagengruppen	S. 34
Wetterlagenklasse	S. 33, 34
Wetterlagenklassifikation	S. 35, 37
Wind	S. 48
Windfestigkeit	S. 6, 10, 11
Windrichtung	S. 12
Windgeschwindigkeit	S. 12, 31
Windstärke	S. 31
Windverteilung	S. 31, 32
Wohnkomfort	S. 6
Wolkenbedeckung	S. 67
Wolkenbedeckungsgrad	S. 12

Z

„Zukunfts-TRY“	S. 12
Zyklonalität	S. 36, 37