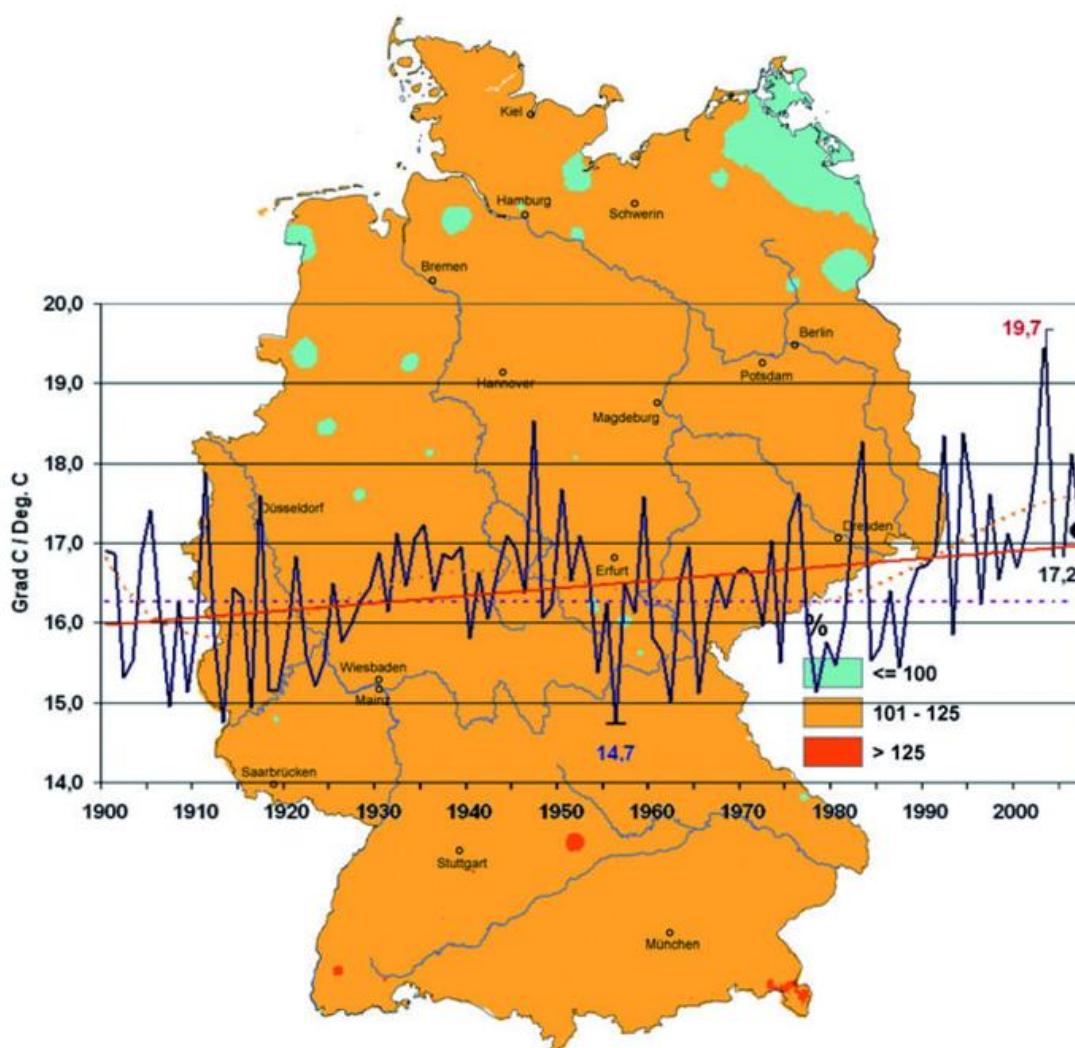


Klimastatusbericht 2007



Aktuelle Ergebnisse des Klimamonitorings

Herausgeber und Verlag
Deutscher Wetterdienst
Kaiserleistr. 29/35
63067 Offenbach

Postfach 10 04 65
63004 Offenbach

Redaktion:

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

Patricia Willing
e-mail:patricia.willing@dwd.de

Der Klimastatusbericht im Internet:

www.ksb.dwd.de

ISSN 1437 - 7691
ISSN 1616 - 5063 (Internet)
ISBN 978-3-88148-430-5

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 ausdrückliche Genehmigung ist untersagt.

Zum Titelbild

Karte und Zeitreihe der Jahresmitteltemperatur 2007

Vorwort

Sehr geehrte Damen und Herren,

nach einer Reihe sehr ausführlicher Klimastatusberichte mit ausgewählten Schwerpunktthemen in den Jahren 1997 bis 2005 und einem nur aus den regelmäßigen jährlichen Beiträgen (Gelbe Seiten) bestehenden Bericht im letzten Jahr enthält der vorliegende Klimastatusbericht 2007 über die „Gelben Seiten“ hinaus ergänzende Aufsätze zum Langzeitverhalten von in ihrer Wirkung besonders interessanten überregionalen Phänomenen. Thematisiert werden der Gletscherrückgang, das bodennahe Ozon und der Anstieg des Meeresspiegels. Weiter sind enthalten Übersichten über weltweite Witterungsbesonderheiten sowie über extreme Sturmfluten seit 1826 an den deutschen Küsten und über die Niedrigwassersituation des Jahres 2006 in den deutschen Stromgebieten. Auch wenn dieser letztgenannte Beitrag sich nicht auf das Berichtsjahr bezieht, fügt er sich doch in die Reihe der Betrachtungen besonderer Ereignisse ein, die in diesem Klimastatusbericht ein besonderes Gewicht erhalten. Neu hinzugekommen sind Aufsätze über die Winterstürme, über das Bioklima und über die Gradtagzahlen im Berichtsjahr.

Ich wünsche Ihnen viel Vergnügen beim Lesen des diesjährigen Klimastatusberichtes. Bitte teilen Sie uns mit, welche Themen für Sie von besonderem Interesse sind, damit wir sie in den zukünftigen Ausgaben berücksichtigen können

Ihr

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'U. Otte'.

Ulrich Otte
Leiter der Abteilung Klimaüberwachung

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	3
Gebirgsgletscher im Klimawandel – Auswirkungen auf die Wasserversorgung H. Escher-Vetter	7
Trend des bodennahen Ozons S. Gilge	17
Meeresspiegelanstieg und Klimawandel P. Hechler	23
Die Witterung in Deutschland G. Müller-Westermeier, C. Lefebvre, H. Nitsche, W. Riecke, K. Zimmermann	25
Die agrarmeteorologische Situation im Jahr 2007 F. - J. Löpmeier, W. Trampf	50
Entwicklung der Ozonschicht H. Claude, W. Steinbrecht und U. Köhler	61
Zeitlich-räumliche Verteilung der Gebietsniederschläge in Europa T. Fuchs	64
Weltweite Besonderheiten der Witterung P. Hechler	71
Die Winterstürme im Jahr 2007 R. Franke, C. Lefebvre, G. Rosenhagen	75
Extreme Sturmfluten an den deutschen Küsten G. Rosenhagen	80
Klimatologische Routenberatung: Begutachtung und Optimierung von Transportrouten für die Seeschifffahrt ozeanweit C. Baugirdis	84
Die Gradtagzahlen des Jahres 2007 und ihre Abweichungen zum Zeitraum 1981-2000 P.-H. Voß	90

Die Niedrigwassersituation des Jahres 2006 in den deutschen Stromgebieten	95
J. U. Belz, P. Bissolli, A. Klämt, S. Rademacher, K. Richter, B. Rudolf, H.-J. Theis	
Das Bioklima in Deutschland im Jahr 2007	102
A. Grätz	
Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen	105
Autorenverzeichnis	106
Index	108

Gebirggletscher im Klimawandel – Auswirkungen auf die Wasserversorgung

H. Escher-Vetter

Einleitung

Wir leben in einer Eiszeit! Noch vor fünfzig Jahren hätte dieser Satz keine große Verwunderung ausgelöst, da – zumindest in Europa – die Menschen jedes Jahr im Winter deutliche Kälteperioden mit ergiebigen Schneefällen erlebten und im Sommer, soweit sie Alpenanrainer waren, über mehr oder weniger ausgedehnte Firn- und Eisfelder bis hin zu Gletschern ihre Bergtouren planten. Tatsächlich waren die deutschen Zeitungen in den 60er Jahren voll mit Meldungen über eine neue Eiszeit, und das Wort ‚Schneekanone‘ hätte man eher in Verbindung mit einem hervorragenden Schifahrer gebracht als mit künstlicher Erzeugung von festem Niederschlag.

Haben sich seither die Gletscher und das Klima grundlegend verändert? Die aktuellen Schlagzeilen sprechen ja überwiegend von Hitzewellen und dem Sterben der Gletscher! Hierzu muss man zunächst überlegen, welche Zeitskalen im Zusammenhang zwischen Klima und Gletschern betrachtet werden müssen und wie die tatsächlichen physikalischen Zusammenhänge zwischen Klima, Witterung, Wetter einerseits sowie Gletscherveränderung und Schmelzwasserentwicklung andererseits beschaffen sind (Abb.1). Man muss also analysieren, was bisher gemessen wurde und was man daraus als Prognose für die Zukunft wagen kann.

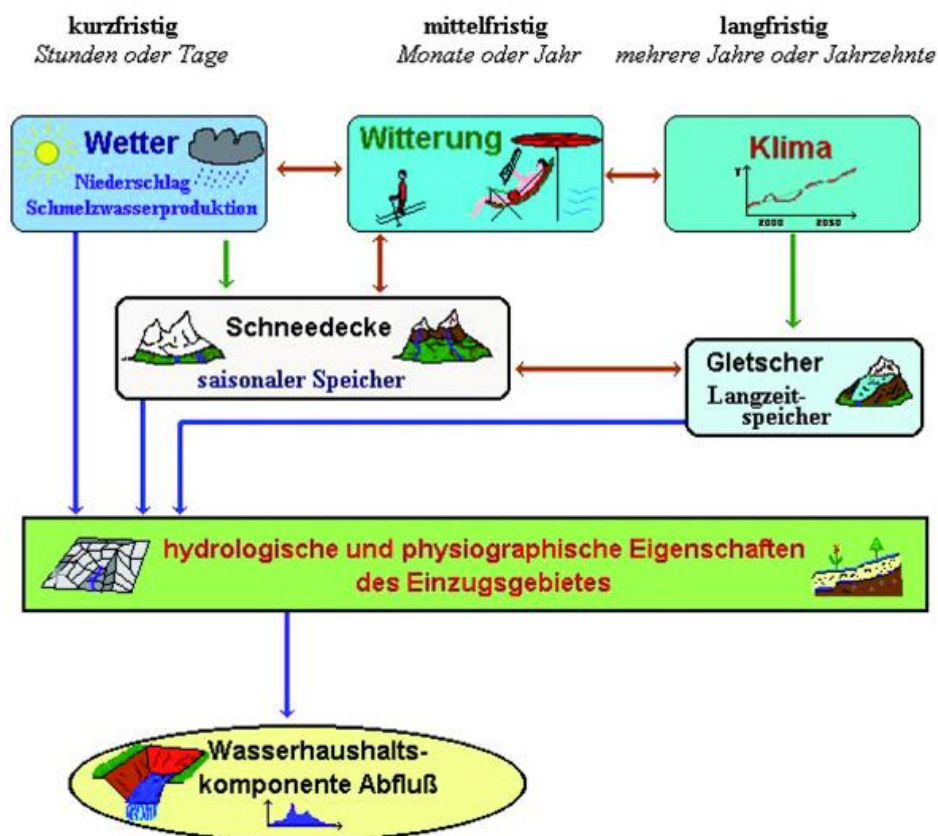


Abb.1: Grafische Veranschaulichung der Klima-Gletscher-Abfluss-Beziehung

In diesem Beitrag wird zunächst auf die globale Verteilung der Gebirgsgletscher eingegangen, die bereits erste Hinweise auf ihre Bedeutung im Wasserhaushalt der jeweiligen Regionen erlaubt. Es werden die Methoden skizziert, mit denen die Veränderungen gemessen werden, und vor allem am Beispiel des Vernagtferners als dem ‚Hauptarbeitsgletscher‘ der Kommission für Glaziologie der Bayerischen Akademie der Wissenschaften die seit dem Ende des 19. Jahrhunderts erzielten Resultate diskutiert. Diese Ergebnisse liefern die Grundlage für die Abschätzung der weiteren Entwicklung und insbesondere für die Beantwortung der Frage, inwieweit der Mensch an diesen Prozessen ursächlich beteiligt ist.

Globale Verbreitung von Gebirgsgletschern

Von dem in Form von Schnee und Eis gebundenen Süßwasservorrat liegen mehr als 99% (Volumen) in den Polargebieten, nur 0.1% des Volumens entfällt auf die außerpolaren Gebirgsgletscher in Nord- und Südamerika (Abb. 2), Zentralasien, Island, Skandinavien, in den Alpen und Neuseeland. In der unten angeführten Tabelle sind Länge und Fläche einiger ausgewählter Gebirgsgletscher zusammengestellt (Escher-Vetter, 2005). Die ausgedehntesten Eismassen befinden sich in Alaska und Zentralasien, mit Flächen von mehr als 1000 km² übertreffen sie den größten Alpengletscher (Grosser Aletschgletscher, Schweiz, Fläche 2000: 82 km²) um mehr als eine Größenordnung. In den Alpen liegen derzeit ca. 5000 Gletscher, von denen die Hälfte kleiner als 1 km² ist. Trotzdem spielen auch diese kleinen Gletscher eine wichtige Rolle in der Wasserversorgung der Alpenanrainerstaaten, wenn sie auch bei weitem nicht so bedeutend sind wie die Gletscher in Zentralasien. Dort ist das Wasser der Gletscher zum Teil die wichtigste Quelle für Landwirtschaft, Industrie, Stromerzeugung und vor allem Trinkwasser. So stellen die Abflüsse der Gletscher im chinesischen Teil des Tianshan-Gebirges die praktisch einzige Trinkwasserquelle für eine Millionenstadt wie Urumchi in der autonomen Republik Xinjiang dar, die großen Flüsse des Himalaya wie z.B. Brahmaputra oder Ganges würden im Sommer deutlich weniger Wasser führen, und die Baumwollproduktion in den früheren GUS-Staaten wäre nicht möglich ohne die Schmelzwasserspende der Gletscher.

Länge und Fläche ausgewählter Gebirgsgletscher, Stand : 1996

Gletscher	Länge km	Fläche km ²
Hubbard-G. (Alaska, US)	122	3400
Fedtschenko-G. (Pamir, Tadschikistan)	77	992
Columbia-G. (Alaska, US)	61	1100
Baltoro-G. (Karakorum, Pakistan)	57	754
Skeidararjökul (Island)	50	1300
Perito-Moreno-G. (Patagonien, Argentinien)	30	257
Grosser Aletsch-G. (Wallis, Schweiz)	25	87
Khumbu-G. (Himalaya, Nepal)	18	34
Mer de Glace (Montblancgruppe, Frankreich)	12	33
Franz Josef-G. (Neuseeland)	10	33
Nigardsbreen (Norwegen)	10	48
Abramov-G. (Kirgisistan)	9	26
Pasterze (Hohe Tauern, Österreich)	9	20
Vernagtferner (Ötztaler Alpen, Österreich)	3	9



Abb. 2: Perito-Moreno-Gletscher, Argentinien (Photo P. Escher-Vetter, 29.2.2004)

Veränderungen der Gletscher: Methodik und Ergebnisse

Für die großen außeralpinen Gletscher ist es auf Grund ihrer Lage und Ausdehnung äußerst schwierig, zeitlich gut aufgelöste und trotzdem langfristige Daten über ihre Massen- und Volumenänderungen zu erfassen. Deshalb werden die Ergebnisse der Gletscherveränderungen während der letzten Jahrzehnte vor allem, aber nicht ausschließlich am Beispiel von Alpengletschern geschildert.

Methodik

Während man historische Gletscherveränderungen durch die Kartierung von Moränenständen dokumentiert, kann das Vorstoß- oder Rückzugsverhalten bei derzeit existierenden Gletschern im wesentlichen mit drei Methoden analysiert werden. Diese sind (Escher-Vetter, 2002)

- die geodätische Methode, die auf der mittleren Höhenänderung der Gletscheroberfläche basiert, abgeleitet aus dem Vergleich von Kartierungen des Gletschers in mehrjährigem Abstand,
- die direkte glaziologische Methode, bei der die Jahresbeträge von Akkumulation, d.h. Massengewinn vor allem durch Niederschlag, und Ablation, also Massenverlust in erster Linie durch Schmelzung erfasst werden, und

- die hydrologisch-meteorologische Methode, welche die Eisvorratsänderung aus der hydrologischen Bilanz von Niederschlag und Abfluss ermittelt und vor allem eine detaillierte, zeitlich hoch aufgelöste Analyse der Schmelzwasserproduktions- und Abflussprozesse beinhaltet.

Es gibt nur wenige Gletscher, bei denen alle drei Methoden angewendet werden können. Einer davon ist der Vernagtferner, das Hauptarbeitsgebiet der Kommission für Glaziologie der Bayerischen Akademie der Wissenschaften. Er liegt im südlichsten Teil des Ötztals in Österreich und bildet einen Teil der Vergletscherung des sog. Weißkammes, einer der am stärksten vergletscherten Regionen der Ostalpen (Abb.3). Die Massenänderungen dieses Gletschers werden seit 1889 geodätisch, seit 1964 glaziologisch (getrennt nach Winter und Sommer (Escher-Vetter, 2007)) und seit 1974 hydrologisch-meteorologisch untersucht. Die geodätische Methode resultiert in einer Flächenabnahme von rund 40% (13,8 km² im Jahr 1845 bis 8,5 km² 2003), und einem Volumenverlust von mehr als 50% im gleichen Zeitraum.

Eine wesentliche Grundlage der hydrologisch-meteorologischen Methode bildet die kontinuierliche Registrierung des Gesamtabflusses dieses Gletschers an der Pegelstation Vernagtbach, der mit 2640 m NN höchstgelegenen ganzjährig betriebenen Wasserstandsmessstelle der Ostalpen. Dieser Parameter kann nur bei wenigen Gletschern lückenlos und vollständig erfasst werden, da das Schmelzwasser eines Gletschers in der Regel nicht an einer Stelle zusammenfließt, sondern sich auf viele Einzelbäche verteilt. Die hier gewonnenen Werte geben das Bild eines typisch glazialen Abflussregimes wieder, bei dem etwa 75% des Jahresabflusses in den Sommermonaten Juni bis September anfallen, mit von Jahr zu Jahr steigenden Tagesamplituden im Verlauf des Sommers.

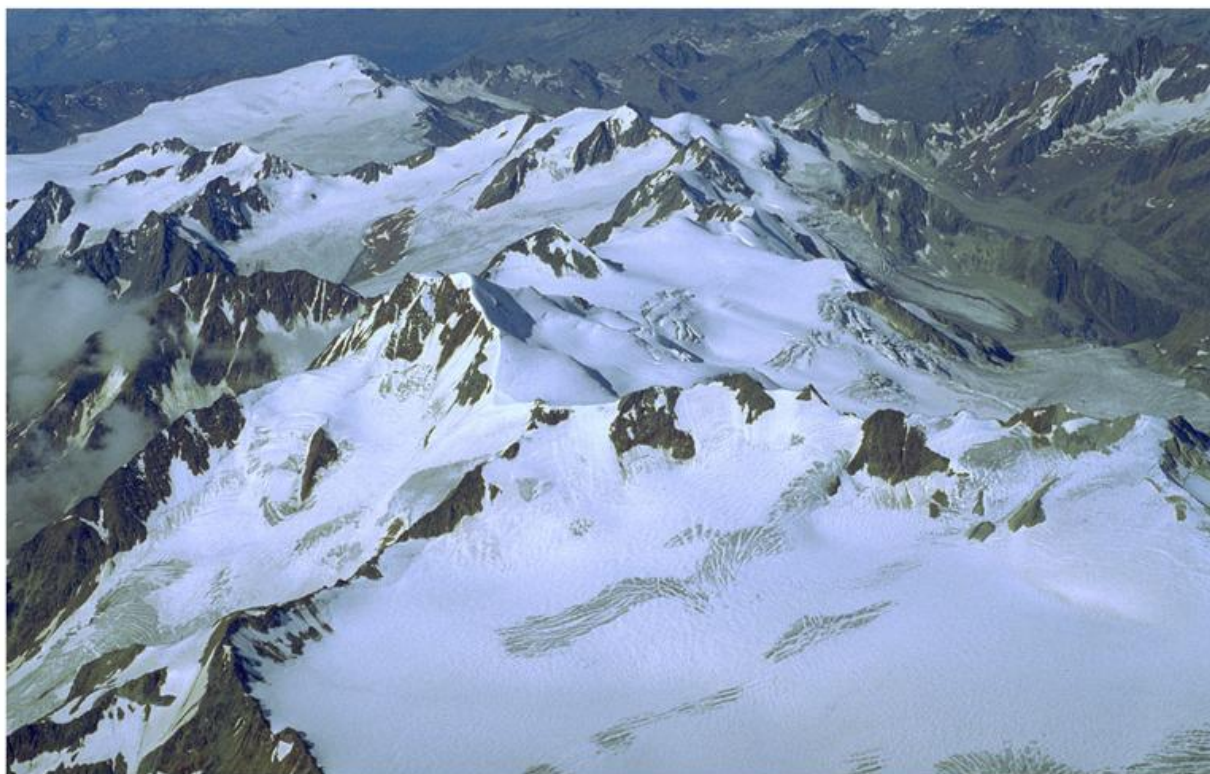


Abb. 3: Blick von Osten nach Westen über Gletscher in der Wildspitzregion: Mittelberg-, Rofenkar-, Taschach-, Vernagt- und Gepatschferner. Im Hintergrund die Weissseespitze. (Photo M. Weber, 9.9.1999)

Ergebnisse

Glaziologische Methode

An Hand der Resultate der glaziologischen Methode werden die Veränderungen von vier Gletschern im Alpenraum und zwei weiteren in Zentralasien während der letzten etwa 50 Jahre diskutiert (Abb.4). Die längste hier betrachtete Messreihe eines Gesamtgletschers weist der Glacier de Sarnnes in Frankreich auf, bei dem bereits im Jahr 1947 mit der Bestimmung des Winterniederschlags und der Schmelze getrennt für jedes Jahr begonnen wurde (Vincent et al., 2004). Die kumulativen Werte, d.h. die von Jahr zu Jahr aufaddierten Einzelwerte zeigen ein deutliches Bild: trotz einiger weniger Jahre wie z.B. 1955 oder Mitte der 1960er und der 1970er Jahre, in denen der Gletscher an Masse gewonnen hat, verlor er insgesamt rund 47000 mm Wasseräquivalent (w.e.), d.h. eine Wassersäule von 47 m Höhe. Aus den etwa zehn Jahre später begonnenen Messungen der drei weiteren Alpengletscher (Silvretta in der Schweiz, Careser in Italien und Vernagtferner in Österreich) ergibt sich ein ähnliches Bild, und sogar die im Pamir-Alai (Abramov) und im Tianshan (Glacier No.1) gelegenen zentralasiatischen Gletscher weichen nicht prinzipiell von diesem zeitlichen Verlauf ab.

Der Massenverlust am Glacier de Sarnnes entspricht einer Eisdicke von fast 52 m bzw. einem Wasservolumen von 0,24 km³. Vergleicht man die Abschmelzung von 47 m w.e. mit den ebenfalls auf die Fläche bezogenen Verlusten von 19 m Wasseräquivalent am Abramovgletscher in Kirgistan, so könnte man den letzteren Wert für

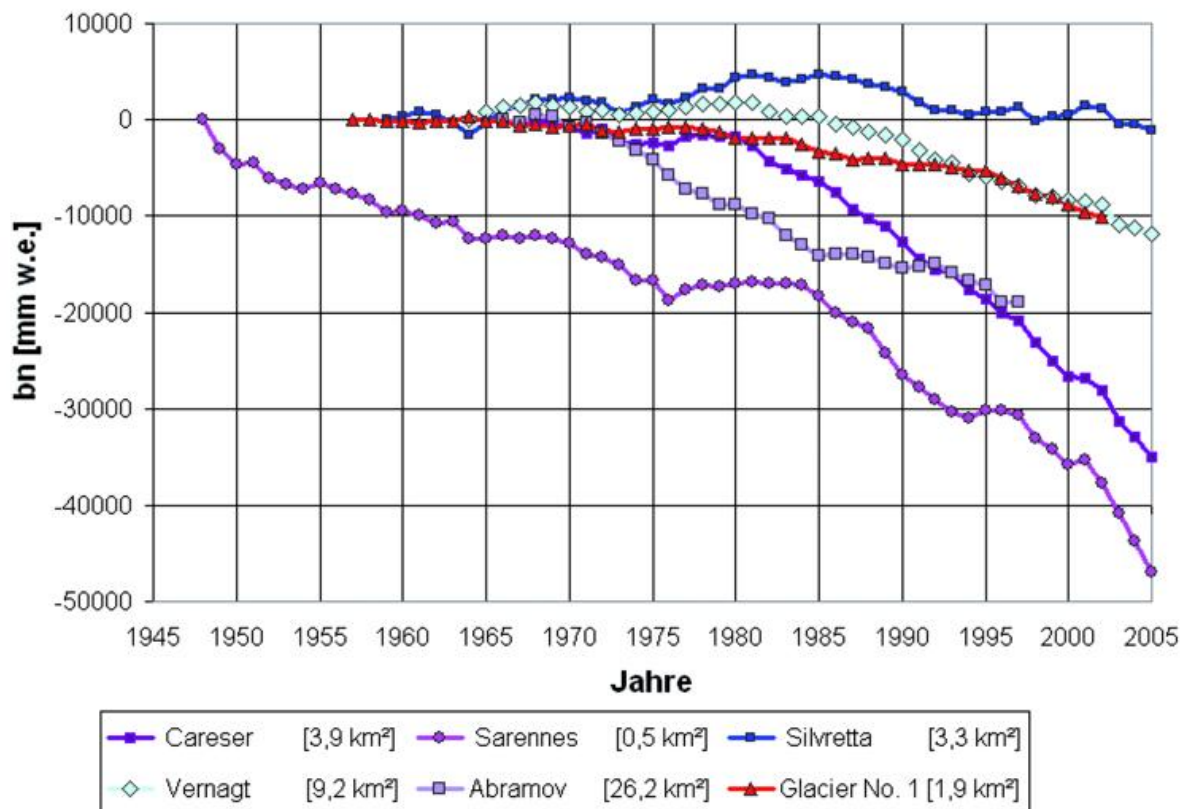


Abb. 4: Kumulative Massenänderungen von vier Alpengletschern und zwei zentralasiatischen Gletschern für den Zeitraum 1947 bis 2005

nicht ganz so dramatisch halten, entspräche er nicht – wegen der 50mal so großen Fläche - einem Wasservolumen von 4,6 km³ in einem deutlich kürzeren Zeitraum, nämlich von 1966 bis 1997! Zum Vergleich: ein Bürger der Stadt Augsburg verbraucht pro Tag ca. 140 l Wasser. Mit der genannten Schmelzwasserspense des Abramovgletschers könnten alle Einwohner rund 340 Jahre lang mit Wasser versorgt werden, und sogar am Glacier de Sarennes würde die in den letzten 55 Jahren angefallene Schmelzwassermenge den Trinkwasserverbrauch von Augsburg für etwa 13 Jahre gewährleisten.

Eine Bemerkung am Rande: Die Messreihe des Abramovgletschers endet im Jahre 1998. Am 21. August 1999 wurde die Gletscherstation von einer Gruppe bewaffneter Männer in Brand gesetzt und vollständig zerstört, wodurch die extrem wertvolle Langzeitmessung an diesem Gletscher beendet wurde.

Meteorologisch-hydrologische Methode

Während bei der glaziologischen Methode die Gewinne oder Verluste der Gletscher auf Jahresbasis analysiert werden, bietet die hydrologisch-meteorologische Methode die beste Möglichkeit, den Zusammenhang zwischen Gletscher und Klima zu untersuchen. Obwohl Klima ja als Mittelwert der meteorologischen Bedingungen an einem Ort über einen Zeitraum von dreißig Jahren definiert ist, können nur die in der Zeitskala von Stunden bis Tagen ablaufenden Wetterereignisse Aufschluss geben über die Wirkungsmechanismen, die das Gletscherverhalten steuern. Deshalb sollen diese Zusammenhänge hier kurz erläutert werden.

Bei den allermeisten Gletschern stellt die Absorption der Sonnenstrahlung die größte Energiequelle für die Abschmelzung dar. Im Mittel werden 70% bis 80% der gesamten Schmelzwasserproduktion durch die Strahlung und nur 20% bis 30% durch die turbulenten Wärmeströme bewirkt. Die maßgebliche Rolle der Lufttemperatur für die Gletscherschmelze äußert sich aber vor allem an einer anderen Stelle, nämlich bei der Art des Niederschlags. Je kälter die Atmosphäre ist, desto häufiger fällt der Niederschlag als Schnee, bedeckt damit die typischerweise deutlich dunklere Eisfläche der Gletscher mit einer hellen Schicht und verhindert die Absorption der Sonnenstrahlung. So reflektiert Neuschnee zwischen 80% und 90% der Globalstrahlung, dunkles Gletschereis aber nur 20% bis 30%. Je häufiger nun im Sommer Neuschneefälle auftreten, desto weniger wird vom Schnee und Eis des Gletschers geschmolzen, die Massenbilanz wird weniger negativ, ja zum Teil sogar positiv.

Positive Massenbilanzen bewirken wiederum, dass die Gletscher ihre Funktion als wichtige Süßwasserreservoir der Gebirge erfüllen, da sie den Niederschlag in Form von Schnee und Eis über Monate bis hin zu Jahren und Jahrzehnten speichern. Aus der Schmelze dieses Vorrats im Sommer, also während Schönwetterperioden mit hoher Einstrahlung und geringen Niederschlagsmengen, ergibt sich der sog. Kompensationseffekt des Gletscherabflusses auf die Wasserführung von Flüssen in vergletscherten Einzugsgebieten (Braun und Weber, 2002). Dies wird deutlich, wenn man die mittlere Wasserführung des Rheins getrennt für den Oberlauf und den Unterlauf betrachtet (Abb.5).

Der Abfluss am Pegel Rheinfelden, d.h. nach der Einmündung der aus dem Berner Oberland kommenden Aare (9,5% Vergletscherungsanteil am Pegel Thun) und anderer Flüsse mit Gletschern im Einzugsgebiet zeigt ein deutliches Maximum in den Sommermonaten, das zumindest teilweise durch die Schmelze von Schnee und Eis zwischen Mai und August erzeugt wird. Die Addition dieser Wassermengen zu denen des Unterlaufs ergibt den mit „Mündung“ gekennzeichneten Jahresgang an der deutsch-holländischen Grenze. Ohne die Bezuschussung durch Schmelzwässer würden die Abflüsse im Sommer deutlich niedriger ausfallen!

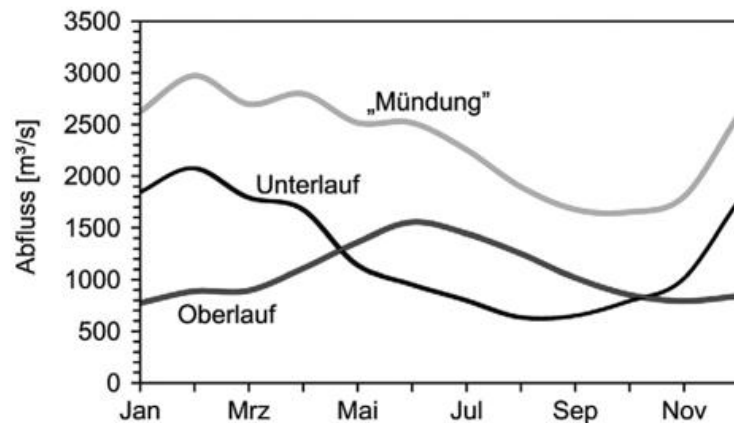


Abb. 5: Mittlere Wasserführung des Rheins (1961-1990), dargestellt für den Oberlauf (Pegel Rheinfelden), den Unterlauf und die deutsch-holländische Grenze (Pegel Lobith, „Mündung“) (nach Viviroli, 2001, verändert)

Wie hat sich nun der Gletscherabfluss in den letzten Jahrzehnten entwickelt? An der Pegelstation Vernagtbach (2640 m NN) wird seit 1974 der Gesamtabfluss des Vernagtferner kontinuierlich registriert, zusammen mit den Klimaparametern Strahlung (kurz- und langwellig), Lufttemperatur, -feuchte, -druck, Wind und Niederschlag. Während in den ersten Jahren, etwa bis 1980, die Abflusssummen in der Größenordnung von 1000 bis 1500 mm pro Jahr lagen (Abb.6), sind sie in der Zwischenzeit auf Werte von 2000 mm und mehr angestiegen, mit dem Spitzenjahr 2003, das eine Schmelzwasserspense von 3400 mm lieferte. Die Trendlinie zeigt, dass sich der Abfluss in diesen 33 Jahren mehr als verdoppelt hat, maßgeblich gesteuert durch die Gletscherspense (mit negativem Vorzeichen im unteren Teil der Abbildung aufgetragen, da sie einen Verlust für den Gletscher darstellt) und nicht durch den nahezu gleich gebliebenen Gebietsniederschlag in dieser Periode. Diese Entwicklung führte auch zu dem immer weiter fortschreitenden Verlust der Firnbedeckung des Gletschers. Während noch in den siebziger Jahren etwa zwei Drittel des Gletschers am Ende des Haushaltsjahres, also Ende September, mit Firn und Altschnee bedeckt waren, sind diese Flächenanteile im 21. Jahrhundert auf ca. 10 % bis 20% geschrumpft und geben damit immer größere dunkle Eisflächen frei, die wiederum die Schmelzwasserproduktion erhöhen. Insgesamt ist es aber vor allem die Verlängerung der Zeiten mit hoher Schmelzwasserproduktion, die zu den massiven Massenverlusten der Gletscher insgesamt führen.

Eine weitere Randbemerkung: Der größere Anstieg der Lufttemperatur in den Alpen seit 1900 (1,5 °C gegenüber 0,8 °C im globalen Mittel) ist ursächlich mit den Flächenverlusten der Gletscher verbunden, da Fels und Erdboden sich wesentlich stärker erwärmen als Schnee- und Eisoberflächen, deren maximale Oberflächentemperatur bei 0°C liegt.

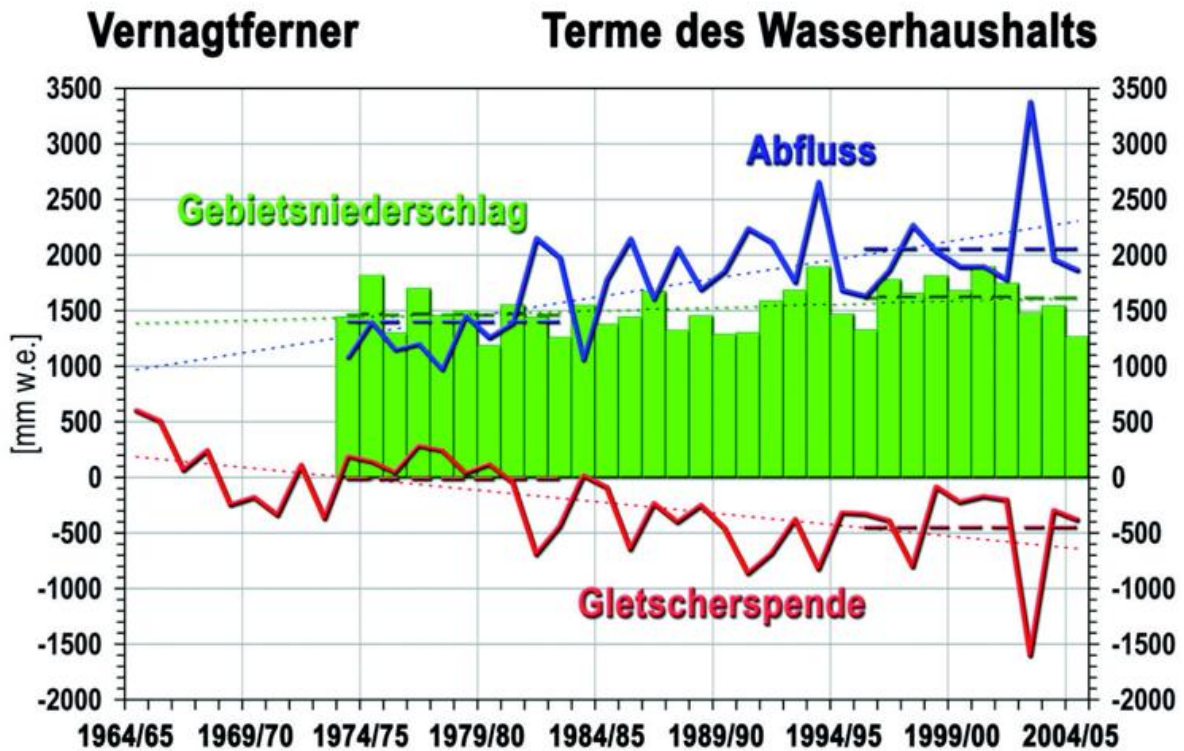


Abb. 6: Einzugsgebiet Pegelstation Vernagtbach, Ötztaler Alpen, Österreich (2638 m – 3633 m NN, 11,44 km², etwa 80% vergletschert): Jahreswerte von Gebietsniederschlag und Abfluss (1974 - 2005), Gletscherspende, d.h. Massenbilanz (1964 – 2005) (nach Escher -Vetter et al., 2005, ergänzt).

Zukünftige Entwicklung der Gletscher und des Abflusses aus vergletscherten Einzugsgebieten

in den nächsten Jahrzehnten

Über die nächsten Jahrzehnte wird die hohe Abschmelzung von Gletschern die Gefahr von Hochwassern erheblich verstärken (Braun und Weber, 2002). Schon die Jahre 1987 und 1998 zeigten sehr deutlich, dass vor allem die Überlagerung von hoher Schmelzwasserproduktion durch Starkniederschläge zu Katastrophenereignissen führen kann. So traten infolge des Durchzugs eines großräumigen Niederschlagsgebietes am 24./25. August 1987 in den zentralalpiner Teile der Schweiz, Österreichs und Italiens Hochwässer auf, die viele inneralpine Täler betrafen. Besonders verheerend waren die Auswirkungen im Ötztal, denn es waren neben großen Sachschäden an Gebäuden, Straßen und Wasserwegen sogar Menschenleben zu beklagen. Dagegen war das Hochwasserereignis vom 4. August 1998 auf das hintere Ötztal begrenzt, führte aber auch dort zu größeren Schäden wie z.B. der Beschädigung der dort seit 1967 betriebenen Pegelmessstelle in Vent.

Eine Verlagerung der sommerlichen Schneefallgrenze in immer größere Höhen infolge des Klimawandels wird diesen Prozess noch verstärken, da damit der Selbstschutzmechanismus der Gletscher verringert wird. Mit steigender Meereshöhe der Schneefallgrenze steigt auch die Summe aus Schmelzwasserabfluss und Regenabfluss, die bei einem derartigen Ereignis anfällt und damit zu immer größeren Wassermengen im Unterlauf der Gebirgsflüsse und der durch sie gespeisten Alpenflüsse führt.

Nur kurz sollen hier weitere Gefahren des Gletscherrückgangs angesprochen werden wie z.B. Felsstürze infolge des Zurückgehens von Permafrost im Hochgebirge oder Gletscherstürze, die zu Hochwasserwellen in und aus Gebirgsseen (sowohl natürlich entstandenen als auch durch den Menschen angelegten wie z.B. für Speicherkraftwerke) führen.

zum Ende des 21. Jahrhunderts

Langfristig ist jedoch durch den Verlust der Schnee- und Eismassen in den Gebirgen mit einer Verringerung der Abflüsse zu rechnen. Das Jahr 2003 lieferte bereits erste Beispiele, welche Konsequenzen sich daraus ergeben können, obwohl hier ja noch eine deutliche Bezuschussung der Wasserführung durch die Schmelzwässer erfolgte. So musste die Schifffahrt auf Rhein oder Donau zeitweise eingestellt werden, und thermische und nukleare Kraftwerke konnten auf Grund der geringen Wasserführung des Rheins nicht mehr gekühlt werden. Mit der geringeren Wassermenge ist i.d.R. auch ein Anstieg der Wassertemperaturen verbunden, der sich nicht nur auf die Energiewirtschaft, sondern auch auf die im und am Fluss lebende Fauna und Flora auswirkt.

Ausblick

Seit dem Ende der kleinen Eiszeit zu Mitte des 19. Jahrhunderts ist für die Gletscher der Alpen – wie für die meisten Gletscher weltweit – ein deutlicher Rückgang zu verzeichnen. Die Ursache hierfür ist primär in einer erhöhten Abschmelzung im Sommer zu sehen und führte zu einer deutlichen Erhöhung der Abflüsse aus stark vergletscherten Einzugsgebieten. Diese Wasser wurden bisher – mit Ausnahme von Katastrophenereignissen wie Hochwässern – als willkommener Beitrag zur hydrologischen Bilanz angesehen und ermöglichten vor allem in ariden Regionen eine Intensivierung der Landwirtschaft, eine Erweiterung von Siedlungsräumen und eine Erhöhung der Energieproduktion. Mit der Verkleinerung und dem Verschwinden der Gletscher werden diese Wassermengen nicht mehr die sommerliche Wasserführung der Flüsse bereichern, und die Hochgebirgslandschaften der Erde verlieren nicht nur den schönen Schmuck, sondern auch ihre wichtigsten Wasserspeicher.

Danksagung

Dieser Artikel basiert überwiegend auf einem Vortrag, gehalten am 4. August 2007 im Rahmen der Tagung ‚Wasser und Frieden‘, veranstaltet vom PAX-Büro der Stadt Augsburg. Bei der Zusammenstellung des Artikels durfte ich auf – teilweise nicht veröffentlichte – Texte und Abbildungen meiner Kollegen Heribert Moser, Oskar Reinwarth, Markus Weber und Ludwig Braun (um nur die wichtigsten zu nennen) zurückgreifen, wofür ich mich herzlich bedanke. Die Arbeiten der Kommission für Glaziologie werden im Rahmen des Akademienprogrammes von der Bundesrepublik Deutschland und vom Freistaat Bayern gefördert.

Literatur

- Braun, L., M. Weber (2002): Droht im nächsten Sommer Hochwasser vom Gletscher? In: Hochwasser oder Chance? Hochwasser und Ökologie. Rundgespräche der Komm. f. Ökologie, Bd. 24, S. 47-66. Verlag Dr. F. Pfeil, München.
- Escher-Vetter, H. (2002): Zum Gletscherverhalten in den Alpen im zwanzigsten Jahrhundert. In: Klimastatusbericht 2001. Herausgeber: Deutscher Wetterdienst, Offenbach, S. 51-57.
- Escher-Vetter, H. (2005): Gebirgsgletscher und die Wasserversorgung. In: Warnsignal Klima: Genug Wasser für alle? Genügend Wasser für alle – ein universelles Menschenrecht. Herausgeber: J. L. Lozán, H. Graßl, P. Hupfer, L. Menzel, Chr.-D. Schönwiese. Wissenschaftliche Auswertungen, S. 57-61, Hamburg.
- Escher-Vetter, H. (2007): Climate Change Information as derived from long-term measurements of winter and summer mass balances. 29th Proceedings of the Int. Conf. of Alpine Meteorology, Chambéry, France. Extended Abstracts. Poster Sessions – Volume 2. Edited by Météo-France. S. 465 – 468.
- Escher-Vetter, H., L. N. Braun, M. Siebers, M. Weber (2005): Water balance of the Vernagtferner high alpine basin based on longterm measurements and modelling. Proceedings of the Int. Conf. o. Hydr. on Mountain Environments, Berchtesgaden, Federal Republic of Germany. 48, Landschaftsökologie und Umweltforschung. Ed. A. Herrmann and O. Richter, S. 19-32.
- Vincent, C., G. Kappenberger, F. Valla, A. Bauder, M. Funk and E. Le Meur (2004): Ice ablation as evidence of climate change in the Alps over the 20th century. J. Geophys. Res., 109, D10104, doi:10.1029/2003JD003857.
- Viviroli, D. (2001): Zur hydrologischen Bedeutung der Gebirge. Geogr. Inst. d. Univ. Bern, Gr. f. Hydrologie, Publ. Gewässerkunde Nr. 265.

Trend des bodennahen Ozons

S. Gilge

Am Meteorologischen Observatorium Hohenpeißenberg wird neben der Gesamtsäule und den Höhenprofilen des Ozons auch das bodennahe Ozon schon seit langem beobachtet; die Messreihe reicht bis 1971 zurück; seit 1995 laufen die Messungen innerhalb des GAW-Programms. Bodennahes Ozon ist ein so genannter sekundärer Spurenstoff, d.h. er wird nicht direkt in die Atmosphäre emittiert, sondern durch photochemische Prozesse aus Vorläufern (Kohlenwasserstoffen und Stickoxiden) gebildet. Troposphärisches O₃ entsteht also vor allem bei ausreichender Strahlung (im Sommer) in anthropogen belasteten Luftmassen. Somit ist bodennahes O₃ eine ideale Leitsubstanz für diese Luftmassen.

Eine langfristige Beobachtung bodennaher Ozonmischungsverhältnisse ist nötig, um schleichende Veränderungen der Spurengaszusammensetzung der Atmosphäre zu erkennen, die wiederum Auswirkungen auf das Klima haben können. Aufgrund seiner stark oxidativen Eigenschaften ist Ozon in höheren Konzentrationen sowohl phytotoxisch (pflanzenschädigend) als auch gesundheitsschädlich.

Abbildung 1 zeigt die Ozonzeitreihen in Form des gleitenden 12-Monatsmittelwertes (blau) und des gleitenden 12-Monatsmittelwertes der monatlichen 1–Stundenmaxima (violett). Zur Visualisierung der Trends sind zusätzlich die linearen Regressionen für den gesamten Messzeitraum und für die letzten 20 bzw. 10 Jahre eingezeichnet.

Eine Zunahme in den Mittelwerten ist über den gesamten Zeitraum eindeutig beobachtbar. Allerdings schwächt sich diese Zunahme in den letzten 20 und erst recht in den letzten 10 Jahren etwas ab. Der Trend ist jetzt aber immer noch positiv. Bei den Maximalwerten zeigt sich ein leicht anderes Bild: Über den gesamten Zeitraum steigen ebenfalls die Konzentrationen, allerdings weniger ausgeprägt als bei den Mittel-

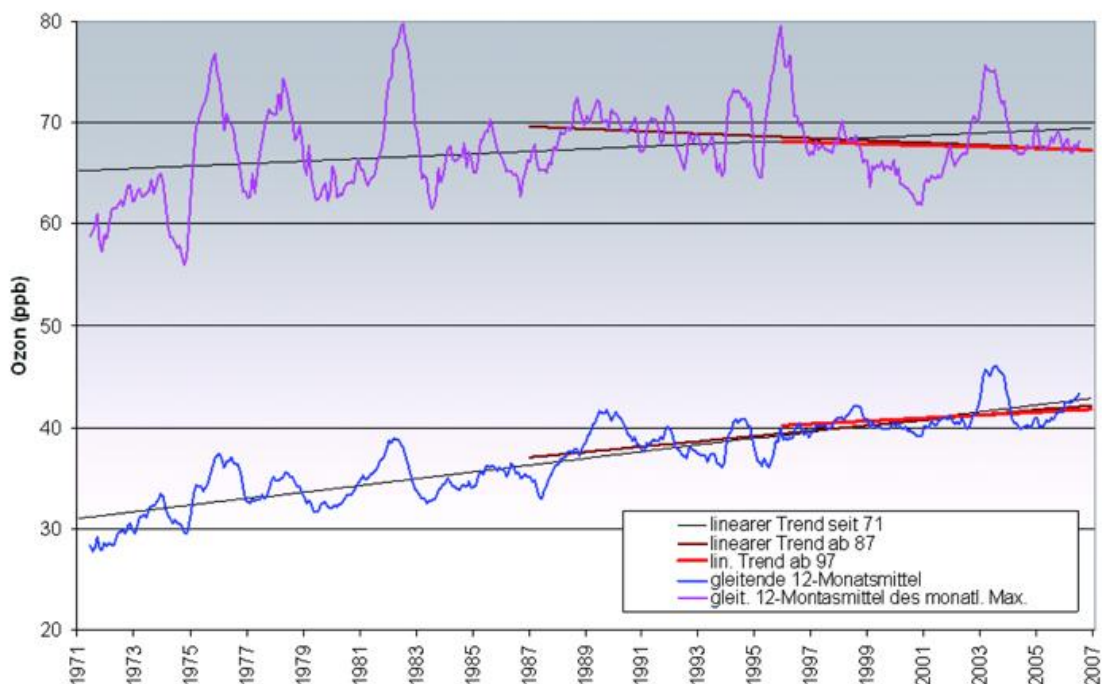


Abb. 1: Zeitreihen der gleitenden 12-Monatsmittelwerte (blau) und des gleitenden 12-Monatsmittels der maximalen Stundenwerte (violett) des bodennahen Ozons mit linearen Regressionen ab 1971, 1987 und 1997.

werten. Der lineare Trend sowohl für die letzten 20 als auch für die letzten 10 Jahre zeigt abnehmende Spitzenkonzentrationen für Ozon.

Entsprechend sind Änderungen in der Häufigkeitsverteilung zu erkennen. In Abbildung 2 sind die Häufigkeitsverteilungen für neun verschiedene Konzentrationsklassen des bodennahen Ozons am Hohenpeißenberg für sechs aufeinander folgende Zeitintervalle von jeweils sechs Jahren dargestellt.

Insgesamt ist eine Verschiebung der Verteilung zu höheren Konzentrationen zu beobachten: Insbesondere die geringen Konzentrationen sind in der zweiten Hälfte des Beobachtungszeitraums deutlich weniger vorhanden, die Klassen mit der höchsten relativen Häufigkeit sind von 20-40 ppb zu Beginn der Messungen auf 30-50 ppb gestiegen und die Häufigkeitsverteilung ist etwas schmalbandiger geworden. Die Häufigkeitsverteilung zeigt in den letzten 18 Jahren bei den maximalen Ozonmischungsverhältnissen keine oder eine nur geringe Zunahme. Sie bleiben gegenüber den 70er und 80er Jahren auf erhöhtem Niveau. Die schwach abnehmenden Monatsmaxima aus Abb. 1 sind bezüglich einer Tendaussage schwer einzustufen, da sie auf Einzelereignissen beruhen. Deshalb spiegeln sie sich in dieser Häufigkeitsverteilung auch nicht wider.

Die Zunahme der mittleren Ozonkonzentrationen und der sog. Ozonhintergrundwerte (Berechnung und Trend s. Lit.: 4) führt auch zum Anstieg der AOT40 Werte für Ozon am Hohenpeißenberg. Abbildung 3 zeigt die Zeitreihe. AOT40 ist ein in der EU-Richtlinie zum Schutz der Vegetation festgelegter Grenzwert, da Ozon bei Konzentrationen über 40 ppb im Verdacht steht, pflanzenschädigend zu wirken. Zur Berechnung werden alle Konzentrationen über 40 ppb (Stundenmittelwerte) von April bis September zwischen 8 und 20 Uhr aufsummiert.

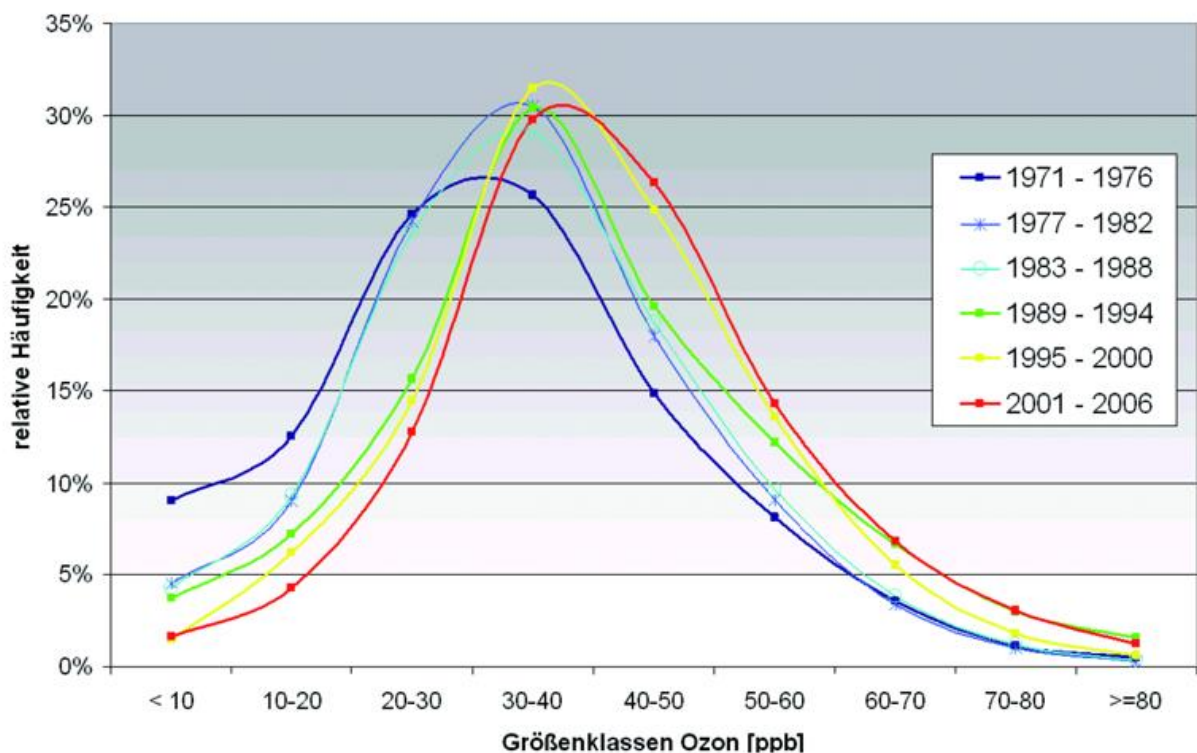


Abb. 2: Häufigkeitsverteilung für neun verschiedene Konzentrationsklassen des bodennahen Ozons am Hohenpeißenberg für 6 unterschiedliche Zeiträume.

Dabei sollte der Wert von 10000 [ppb·h] nicht überschritten werden. Die Grenzwertempfehlung der EU wurde bereits zu Beginn der Messreihe vor 36 Jahren überschritten, steigt seitdem stetig weiter an und liegt derzeit beim 2.5fachen des empfohlenen Grenzwertes. Eine Entwicklung, die hinsichtlich Pflanzenschädigungen und finanziellen Einbußen in der Land- und Forstwirtschaft im Auge behalten werden muss.

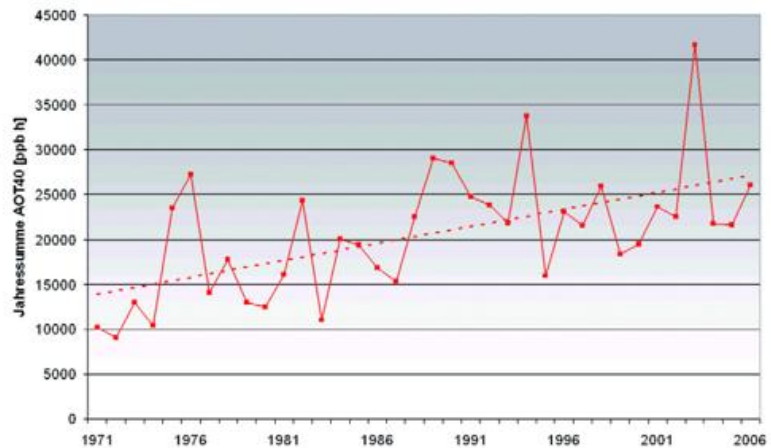


Abb. 3: AOT40-Jahressummen für Ozon am MOHp und lineare Regression.

Steigende Ozonmischungsverhältnisse können mehrere Gründe haben:

- Mehr oder stärkere Quellen für Ozon: und zwar auf lokaler, regionaler oder globaler Ebene: Die Ozonvorläufer (Stickoxide und Kohlenwasserstoffe) werden am MOHp ebenfalls gemessen. Die Stickoxide zeigen keinen Trend, die anthropogenen Kohlenwasserstoffe nehmen bis zu 10% pro Jahr ab. Somit können stärkere Quellen auf lokaler Ebene ausgeschlossen werden. Das am MOHp beobachtete Ozon wird aber nur zu einem Bruchteil direkt vor Ort gebildet. Die Emissionsstatistiken (Lit.: 5) zeigen allerdings deutschlandweit (und damit wahrscheinlich auch europaweit) einen starken Rückgang, so dass regional ansteigende Vorläuferkonzentrationen ebenfalls nicht die ansteigenden Ozonmittelwerte erklären können. Vielmehr könnte so die Abschwächung des Ozonanstiegs in Abb. 4 erklärt werden. Allerdings haben global gesehen die Ozonvorläufer zugenommen, insbesondere in den Wachstumsgebieten in Asien.

Monat	Ø Zunahme (ppb/a)
Jan	0.47
Feb	0.54
Mar	0.47
Apr	0.32
Mai	0.30
Jun	0.37
Jul	0.31
Aug	0.29
Sep	0.17
Okt	0.20
Nov.	0.24
Dez.	0.30

Tab. 1: Durchschnittliche O₃-Zunahme (ppb/a) aufgeschlüsselt nach Monaten. Zeitreihe von 1971 bis 2006.

- Wenigere oder schwächere Senken: Senken für troposphärisches O₃ sind Reaktionen mit oxidierbaren Spurenstoffen, Photolyse und Depositionsprozesse an Oberflächen. Da durch Oxidation von z.B. Kohlenwasserstoffen mittels Ozon in Gegenwart von Sonnenlicht meist in der Folge mehr Ozon entsteht als verbraucht wird, ist diese Entwicklung als Senke nur für die Wintermonate denkbar. Deshalb wurde die Ozonzeitreihe für jeden Monat getrennt analysiert. Tabelle 1 gibt die durchschnittlichen Zuwächse in ppb/Jahr an. Zwar zeigen die Wintermonate die stärkste Zunahme, aber alle Monate zeigen einen positiven Trend. Somit ist eine Abschwächung der Senken (winterliche Titrationseffekte) sicherlich nicht der Hauptgrund für die beobachtete Zunahme. Vielmehr scheint ein jahreszeitlich unabhängiger Effekt überlagert zu sein.

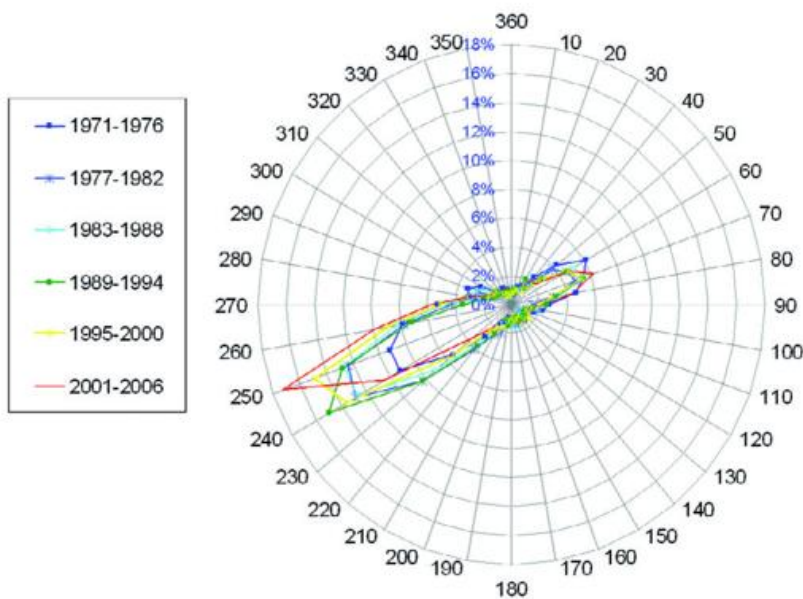


Abb. 4: Windrichtungshäufigkeitsverteilung am MOHp von 1971 bis 2006 für 6 verschiedene Zeiträume (analog zu Abb. 5).

Zunehmende Konzentrationen aufgrund verminderter Deposition sind an einer Messstation nur dann erklärbar, wenn die Durchmischung stärker wird (höhere Windgeschwindigkeiten und dadurch höhere Turbulenz mit entsprechend größeren Luftpaketen oder weniger Inversionsepisoden, bei denen die Messstation unter der Inversionsschicht liegt). Die Messreihen geben darauf aber keinen Hinweis.

- Änderung von Transportrichtungen: Die Zunahme von Ozon könnte auch dadurch verursacht sein, dass öfter Luftmassen in denen aufgrund erhöhter Vorläuferkonzentrationen verstärkt O_3 produziert wird, zum Messort transportiert werden. Das ist am MOHp bei Wind aus NE der Fall, während Luftmassen aus dem Hauptwindrichtungssektor WSW für zentraleuropäische Verhältnisse sehr gering belastet sind. Abb. 4 zeigt aber, dass sich die Windrichtungshäufigkeitsverteilung nicht zugunsten der NE-Richtung verändert hat. Vielmehr tritt die WSW-Richtung in den letzten Jahren etwas häufiger auf.

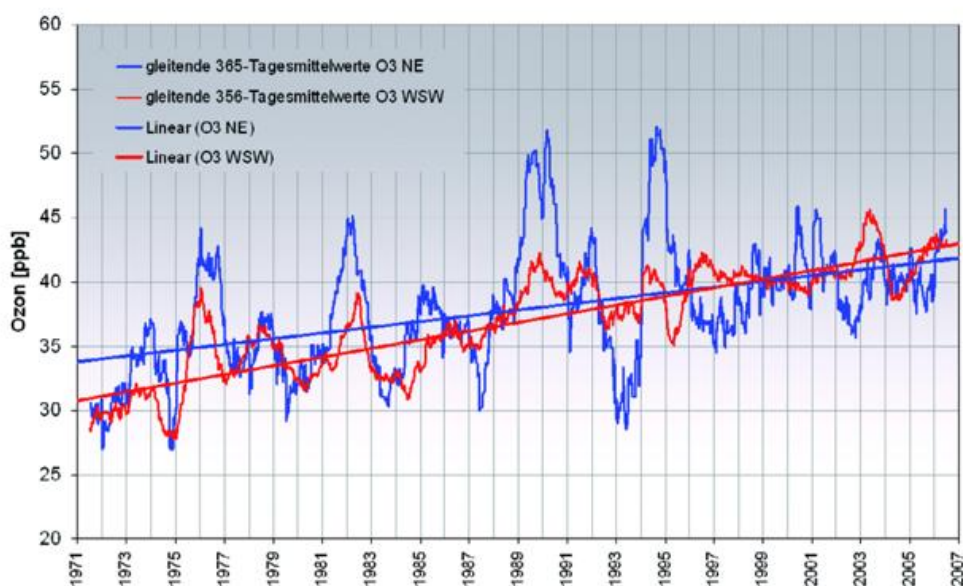


Abb. 5: O_3 – Zeitreihen: gleitende 365-Tagesmittelwerte und linearer Trend für die Windrichtung NE (blau) und WSW (rot) am MOHp.

- Verstärkter Transport von O₃ zur Messstation: Die Mischungsverhältnisse an einer Messstation nehmen ebenfalls zu, wenn sich zwar Quellen und Senken im näheren Umfeld nicht ändern, aber eine stärkere photochemische Produktion von Ozon durch verstärkte Emission der Vorläuferkonzentrationen in weiter entfernten Regionen mit anschließendem Transport zur Messstation stattfindet.

Am Hohenpeißenberg kann das durch Vergleich der beiden Hauptwindrichtungen untersucht werden: Wie oben schon erwähnt, sind Luftmassen, die aus WSW (225°-264°) antransportiert werden für mitteleuropäische Verhältnisse recht sauber. Ozon zeigt keinen Tagesgang. Aus NE (35°-74°) werden moderat verschmutzte Luftmassen aus München und Umgebung antransportiert. Steigen nun großräumig die O₃-Mischungsverhältnisse, nehmen die Konzentrationen nicht nur aus den Quellgebieten der Vorläufer (hier NE), sondern auch aus der „Hintergrundwindrichtung“ (hier: WSW) zu. In Abb. 5 ist zu erkennen, dass die mittleren Ozonmischungsverhältnisse über den gesamten Beobachtungszeitraum aus beiden Windrichtungen zunehmen, sogar etwas stärker bei Luftmassen aus WSW.

Dementsprechend kann vermutet werden, dass nicht lokale und regionale, sondern eher eine überregionale, hemisphärische oder sogar globale Zunahme des troposphärischen Ozons den Trend am MOHP bestimmt.

Damit sollte ein positiver Trend vor allen bei den Stationen bemerkbar sein, die von regionalen Effekten weitestgehend unbeeinflusst sind. Solche Stationen sind in Europa die alpinen Stationen und global gesehen solch abgelegene Stationen wie Mauna Loa auf Hawaii oder die GAW-Globalstation am Südpol. In Abbildung 6 sind die Zeitreihen des troposphärischen Ozons an diesen Stationen aufgetragen.

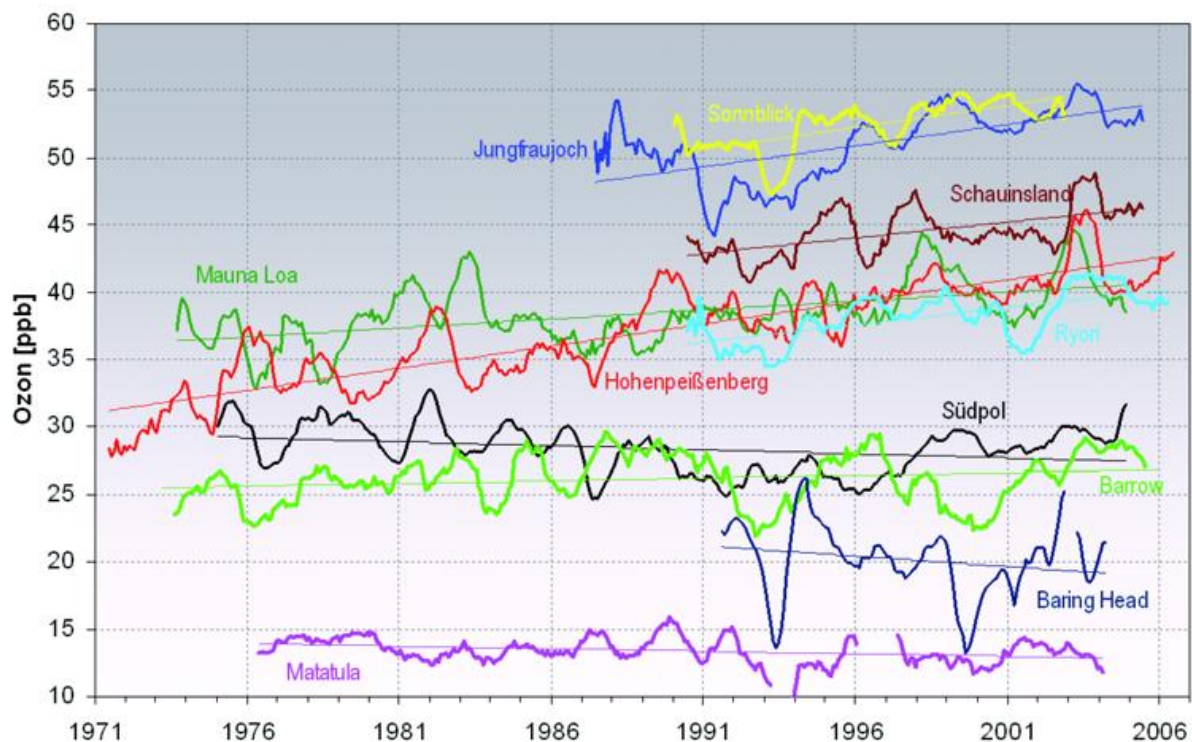


Abb. 6: Zeitreihen (gleitende 12-Monatsmittel) und lineare Trends des troposphärischen Ozons an verschiedenen GAW-Stationen.

Die Zeitreihen der Stationen auf der Nordhemisphäre zeigen alle zunehmende Mischungsverhältnisse. Der Trend an der Station Barrow (Alaska) ist nur sehr schwach, der von *Mauna Loa* (Hawaii) stärker, aber nicht so ausgeprägt wie der am MOHp. Die im Schwarzwald auf ca. 1200m gelegene Station *Schauinsland* zeigt in der O₃-Reihe eine ähnliche Steigung wie das MOHp, ebenso die auch in gemäßigten Breiten liegende Station *Ryori* (Japan). Auch die hochalpinen Stationen *Jungfraujoch* und *Sonnblick* haben, neben dem höhenbedingt anderen Konzentrationsniveau, nahezu die gleichen Steigungen.

Erwartungsgemäß ist der Verlauf an der Südpolstation unabhängig vom Trend in der Nordhemisphäre: Bei einem insgesamt noch abfallenden Trend steigen die Messwerte seit den neunziger Jahren dort leicht an. Die auf 14° Süd im Pazifik gelegene Station *Matatula* zeigt neben einem sehr geringen Konzentrationsniveau ebenfalls einen schwachen Rückgang. Auch das in gemäßigten Breiten der Südhemisphäre liegende *Baring Head* (Neuseeland) zeigt abfallende Mischungsverhältnisse. Leider ist das Datenmaterial für die SH sehr begrenzt und die vorhandenen Reihen sind oft mehrfach unterbrochen. Insgesamt kann beobachtet werden, dass die Stationen in den gemäßigten Breiten der Nordhemisphäre einen positiven Trend aufweisen, die in der Südhemisphäre und in sehr hohen Breiten jedoch nicht.

Auffällig sind auch ähnliche Strukturen einiger Zeitreihen in den letzten Jahren. Dies unterstreicht den großräumigen (hemisphärischen) Trend und weist auf global in ähnlicher Weise wirksame Antriebe für kürzerfristige Schwankungen hin.

Insgesamt kann gefolgert werden, dass Emissionen von Ozonvorläufersubstanzen im „Spekgürtel“ der Erde auch am Meteorologischen Observatorium Hohenpeißenberg zu einem Anstieg der mittleren Ozonkonzentrationen führen.

Literatur

- Gilge S., H. Claude, Langfristige Zunahme des bodennahen Ozons – ein globaler Trend?, Ozonbulletin des DWD, Nr. 116, 2007
- Messdaten anderer GAW-Stationen: Word Data Centre for Greenhouse and Related Gases (WDCGG) des GAW-Programms <http://gaw.kishou.go.jp/wdceg.html>
- Gilge, S., H. Claude, W. Fricke, Trend des bodennahen Ozons, GAW Brief des DWD, Nr. 38, Januar 2007.
- Kaminski U., S. Gilge, Zum Trend der Hintergrundkonzentration von Ozon, Ozonbulletin des Deutschen Wetterdienstes, Nr. 75, Juni 2000.
- Nationale Trendtabellen für die deutsche Berichterstattung atmosphärischer Emissionen 1990 – 2005; Umweltbundesamt Editor: Patrick Gniffke, Dessau, April 2007 (<http://www.umweltbundesamt.de/emissionen/publikationen.htm>).

Meeresspiegelanstieg und Klimawandel

P. Hechler

Der Anstieg des globalen mittleren Meeresspiegels hat sich in den Jahren 2006 und 2007 fortgesetzt. Genauen Satellitenmessungen seit 1993 zufolge steigt der Meeresspiegel mit einer Rate von ca. 3 mm pro Jahr. Dieser Anstieg ist deutlich höher als der mittlere Anstieg für das gesamte 20. Jahrhundert, der – abgeleitet aus Pegelständen - bei 1,7 mm pro Jahr liegt. Die zugrunde liegenden Pegelmessungen an Küsten zeigen, dass der globale mittlere Meeresspiegel in den Jahren 2006/2007 ca. 20 cm höher lag als im Jahre 1870 und dass sich die Anstiegsrate seit 1870 deutlich verstärkt hat. Sowohl die Satellitenmessungen als auch die Pegelmessungen zeigen interannuelle Schwankungen.

Die deutliche Zunahme des Meeresspiegelanstiegs in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts und im frühen 20. Jahrhundert wird sowohl durch die weltweit wenigen über Jahrhunderte durchgeführten direkten Meeresspiegelmessungen sowie durch Sedimentanalysen bestätigt. Zudem stimmen sie mit Schätzungen des Meeresspiegelniveaus aus Markierungen in tasmanischen Felshöhlen aus dem Jahr 1840 oder der Bauweise antiker römischer Fischbecken überein. Alle diese Ergebnisse lassen darauf schließen, dass es zwischen dem 1. und 19. Jahrhundert nur geringe Änderungen des Meeresspiegels gab und dass sich die Anstiegsrate im 20. Jahrhundert davon deutlich unterscheidet.

Die Hauptfaktoren für den Meeresspiegelanstieg im 20. und 21. Jahrhundert sind:

- die thermische Ausdehnung der Ozeane (Wasser dehnt sich aus, wenn es sich erwärmt)
- Schmelzwassereintrag von Gletschern und Eiskappen aus Regionen wie dem Himalaja, Alaska, Patagonien etc.
- der Eintrag schmelzender Kontinentaleismassen des antarktischen Kontinents und Grönlands
- Wechselwirkungen mit terrestrischen Wasserreservoirs wie Grundwasser, grundwasserführende Schichten, Talsperren oder Seen.

Den größten Beitrag zum Meeresspiegelanstieg seit 1960 liefern die thermische Ausdehnung der Ozeane sowie das Abschmelzen von Gletschern und Eiskappen. Die Oberflächenschmelze des grönländischen Eisschildes gewinnt zunehmend an Einfluss. Alle diese Faktoren stehen im direkten Zusammenhang mit dem gegenwärtigen Klimawandel.

Im Laufe der letzten 10 Jahre gibt es auch Anzeichen für einen wachsenden Beitrag durch die Dynamik der Gletscher sowohl des grönländischen als auch des westantarktischen Eisschildes. Es wäre sehr besorgniserregend, wenn dies Anzeichen für eine beschleunigte Reaktion auf die globale Klimaerwärmung sind: In diesen Kontinentaleismassen sind Wassermengen enthalten, die den Meeresspiegel um 7 m (grönländischer Eisschild) bzw. 6 m (westantarktischer Eisschild) anheben könnten. Solche dynamischen Rückkopplungen könnten den Meeresspiegel schneller ansteigen lassen als dies allein durch Abschmelzen an der Oberfläche möglich ist.

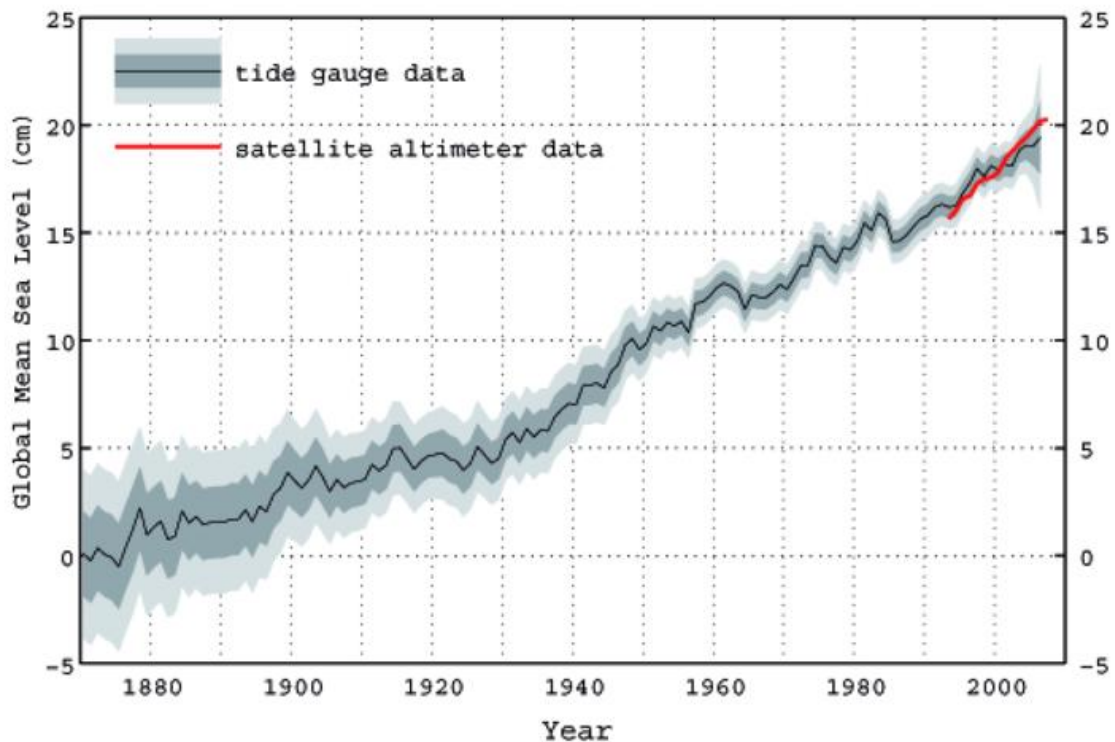


Abb.1: Global gemittelte Meeresspiegelhöhe aus Pegelmessungen (1870-2006; schwarze Linie mit Fehlerabschätzung: einfache und doppelte Standardabweichung) und aus Satellitendaten (1993-2007; rote Linie) [Quelle: CSIRO Marine and Atmospheric Research, Australien, basierend auf Pegelmessdaten vom Permanent Service for Mean Sea Level (PSMSL) und Satellitendaten von NASA, USA, and CNES, Frankreich]

Der Meeresspiegelanstieg wird sowohl durch das Anheben des mittleren Meeresspiegels als auch durch eine Zunahme extremer Wasserstände (bspw. Sturmfluten) spürbar. Zu den Auswirkungen zählen häufigere und schwerere Flutereignisse (sowohl bzgl. Stärke als auch bzgl. Anzahl) in tiefliegenden Regionen, die Erosion von Stränden und Schäden an Bauwerken sowie auch an der Umwelt (u. a. Auenlandschaften, Gezeitenzonen und Mangrovenwälder) mit nachhaltigen Auswirkungen auf die Biodiversität und Ökosystemfunktionen. Millionen von Menschen tiefliegender Regionen wie Bangladesch, dem Mekongdelta und anderen Mündungsgebieten sowie pazifischer Inseln wie Tuvalu müssen sich mit den Folgen des Meeresspiegelanstiegs im 21. Jahrhundert und darüber hinaus auseinandersetzen.

Verbesserte Simulationen des zukünftigen Meeresspiegelanstiegs unterstützen die Entwicklung effektiver Küstenschutzmaßnahmen. Entsprechende Anpassungsstrategien umfassen u. a. weiterentwickelte Bauvorschriften, Baueinschränkungen in Gefährdungsgebieten und eine verbesserte Infrastruktur zur Bewältigung von Flutereignissen.

Die Witterung in Deutschland

G. Müller-Westermeier, C. Lefebvre, H. Nitsche, W. Riecke, K. Zimmermann

Insgesamt war das Jahr 2007 in Deutschland sehr warm sowie insgesamt niederschlags- und sonnenscheinreich. Insbesondere das erste Drittel des Jahres brachte zahlreiche neue Temperaturrekorde.

Die **Mitteltemperatur** für Deutschland berechnet aus einem interpolierten 1-km-Raster betrug 9,9 °C. Das sind 1,6 K mehr als im internationalen klimatologischen Referenzzeitraum 1961-1990. Damit war das Jahr 2007 das zweitwärmste seit 1901 nur knapp hinter dem Spitzenreiter 2000. Nur von September bis November ergaben sich leicht unterdurchschnittliche Temperaturen, während die übrigen Monate zu warm waren. Dabei waren der Januar und der gesamte Winter 2006/07 sowie der April und das gesamte Frühjahr jeweils die wärmsten seit Beginn des 20. Jahrhunderts.

Mit dem Zeitraum September 2006 bis August 2007 trat zum ersten Mal seit 1901 ein 12monatiger Zeitraum auf, in dem alle Monatsmitteltemperaturen über den Werten des Referenzzeitraums lagen. Als Gebietsmittel von Deutschland ergab sich für diese 12-Monatsperiode 10,7 °C. Der Wert lag damit um 2,5 Grad über dem langjährigen Jahresdurchschnitt und charakterisierte eine Witterung, wie sie erst gegen Ende des 21. Jahrhunderts normal sein sollte.

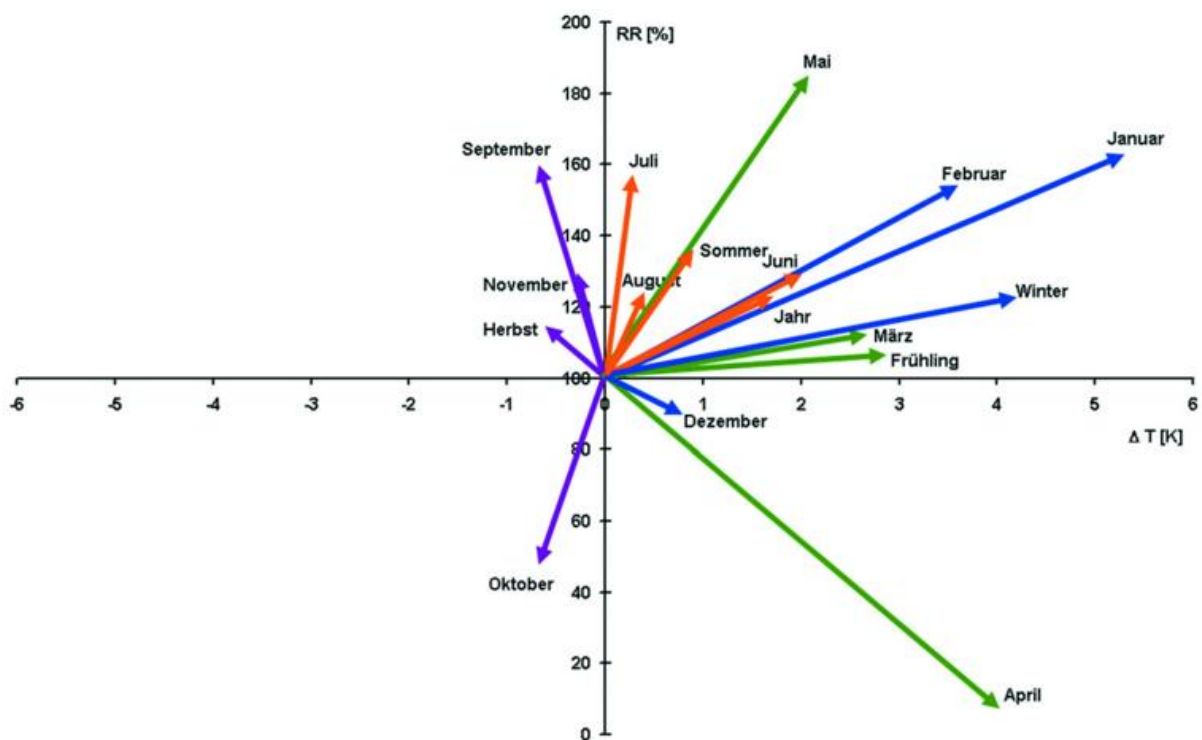


Abb. 1: Thermopluviogramm für Deutschland 2007 (Bezugszeitraum 1961 - 1990)

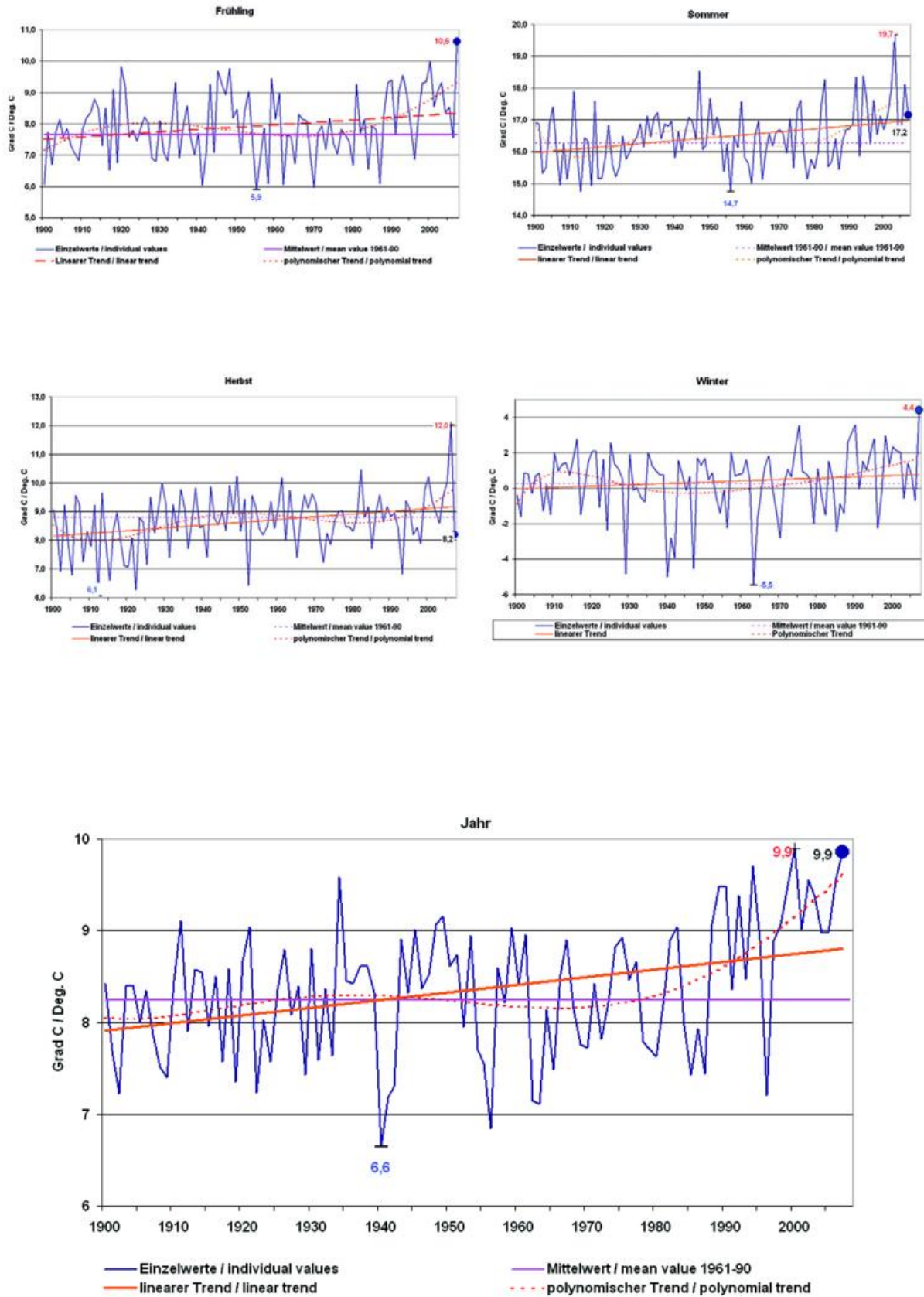


Abb. 2-6: Mittlere Tagesmitteltemperatur Deutschland 1901 - 2007

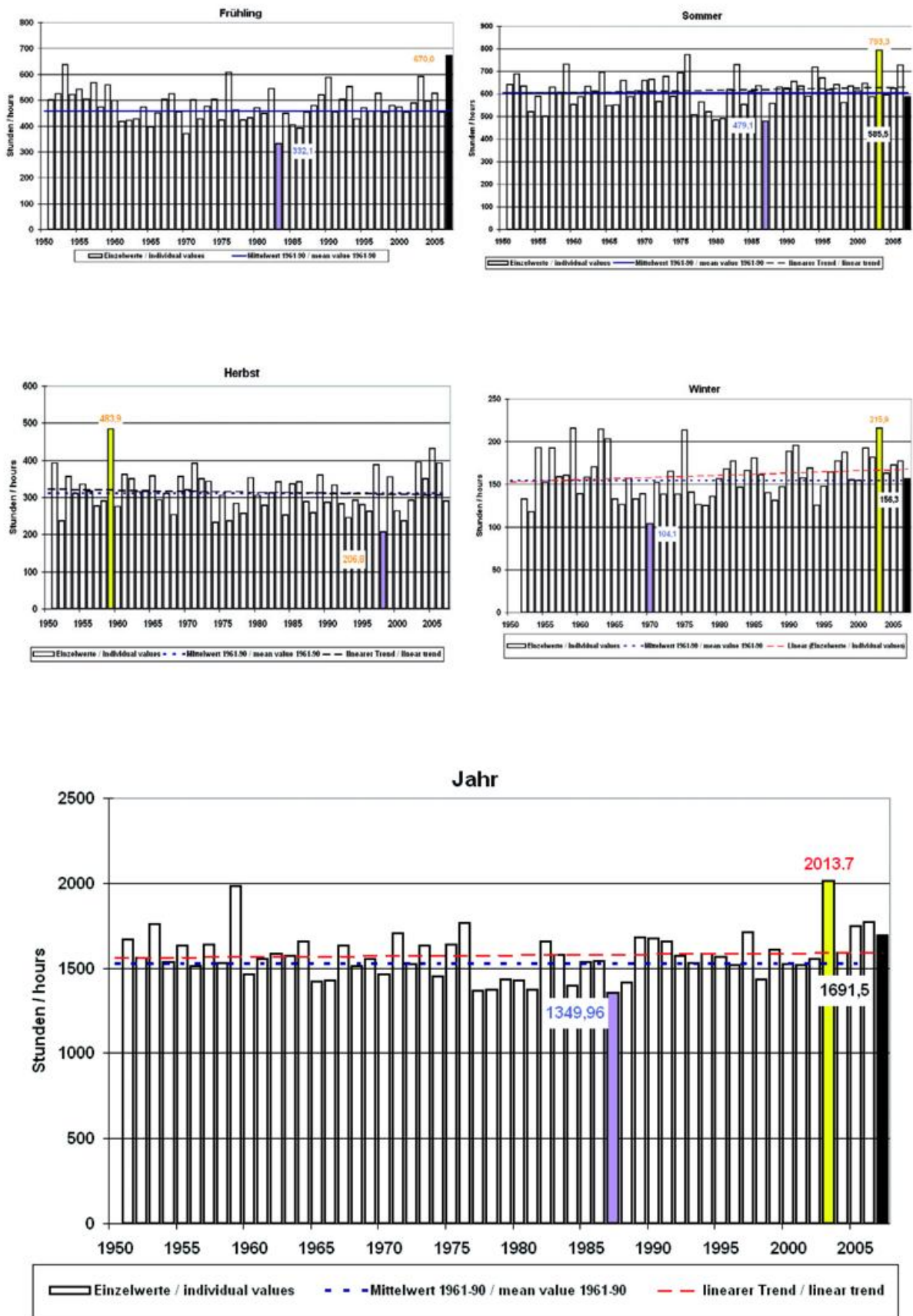


Abb. 7-11: Mittlere Sonnenscheindauer Deutschland 1901 - 2007

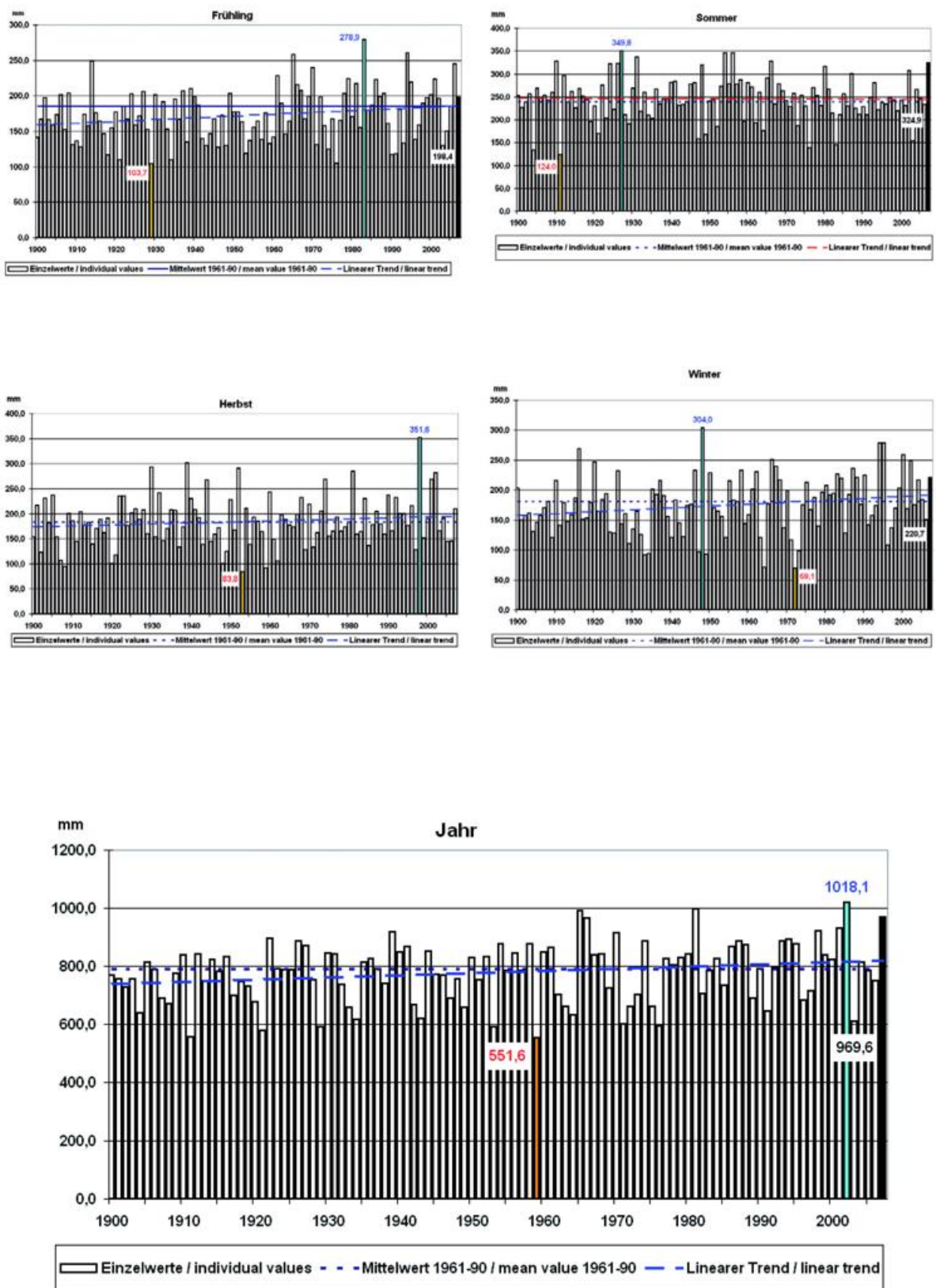


Abb.12-16: Mittlere Niederschlagshöhe Deutschland 1901 - 2007

Im Bezug auf die **Niederschlagshöhe** hatte das Jahr extrem unterschiedliche Monate. Auf den trockensten April seit 1901 folgte direkt der nasseste Mai seit Beginn des 20. Jahrhunderts. Insgesamt hatte das Jahr 2007 aber nur 3 Monate mit unterdurchschnittlicher Niederschlagshöhe und 9 Monate, die mehr Niederschlag als in der Referenzperiode brachten, so dass das Jahr 2007 insgesamt sehr feucht ausfiel. Das Gebietsmittel der Niederschlagshöhe für das Jahr 2007 ergab sich zu 969,6 mm. Das sind 180,6 mm oder 22,9 % mehr als in der Referenzperiode. Das Jahr 2007 war damit das 4.nasseste seit Beginn des 20. Jahrhunderts.

Hinsichtlich der **Sonnenscheindauer** gab es im Jahr 2007 6 überdurchschnittliche Monate und 6 Monate mit Sonnenscheidefiziten. Die Sonnenscheinüberschüsse waren aber meist erheblich höher als die Defizite, wobei der April 2007 als sonnenscheinreichster April seit 1951 besonders hervortrat. Daher wurde das Jahr insgesamt sehr sonnenscheinreich. Als Gebietsmittel für Deutschland ergab sich eine Sonnenscheindauer von 1691,5 Std.. Das sind 163,1 Std. oder 10,7 % mehr als in der Referenzperiode. Damit wurde das Jahr 2007 das 9.sonnigste seit 1951.

Die örtlichen Jahressummen der **Globalstrahlung** variierten 2007 über Deutschland zwischen 935 kWh/m² und 1308 kWh/m². Die höchsten Einstrahlwerte wiesen das südöstliche Baden-Württemberg und das südliche Bayern auf. Dort wurden zwischen Kempten und München großräumig bis zu 1300 kWh/m² erreicht. Für Süddeutschland ergibt sich das Minimum mit Tiefstwerten um 1050 kWh/m² im Bereich des Schwarzwaldes. Mittlere Einstrahlungsgegebenheiten schließen sich nordwärts von Saarbrücken/Trier über Wiesbaden/Frankfurt und Nordbayern nach Sachsen an.

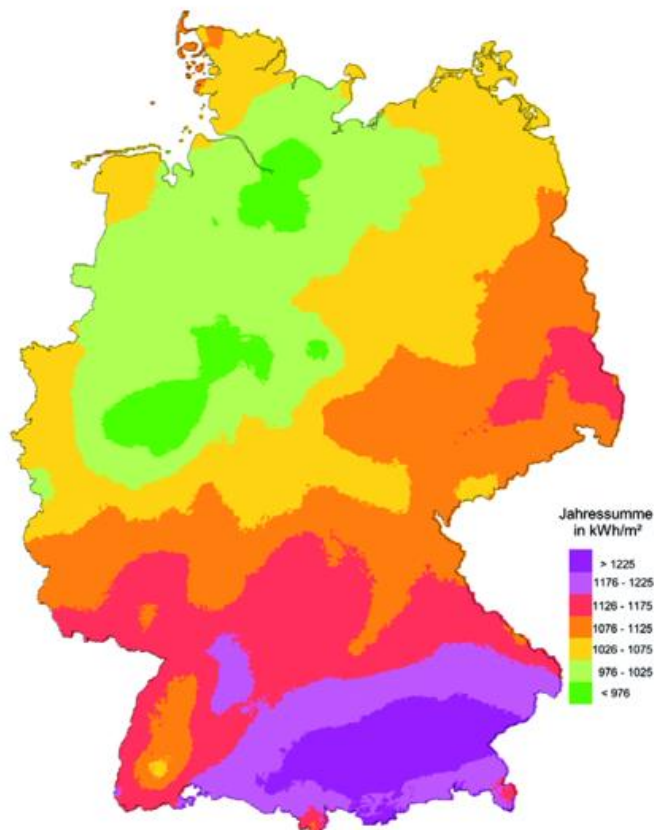


Abb. 17: Globalstrahlungskarte 2007

Die Zone geringer Strahlungswerte erstreckt sich vom Bergischen Land/Sauerland, wo das absolute Minimum angetroffen wird, bis in die Region Hamburgs. Zu den Küsten der Nord- und Ostsee steigt der Jahreswert der Globalstrahlung wieder an. Auf den nordfriesischen Inseln sind wieder Jahressummen wie im Bereich der Mosel oder im Raum Berlin gegeben.

Die regionalen Abweichungen des Jahres 2007 vom langjährigen Jahreswert der Globalstrahlung schwanken zwischen minus 5 % bis plus 12 %. Deutlichere negative Abweichungen ergaben sich über dem Schwarzwald. Vom südöstlichen Nordrhein-Westfalen nach Nordosten bis zur mecklenburgischen Ostseeküste entsprach die Einstrahlung 2007 etwa dem Normalwert. Verbreitet sind aber Zugewinne über Deutschland festzustellen: Ein Plus von mindestens 10 % zeigen der Landstrich Angeln zwischen der Flensburger Förde und der Schlei, die Regionen Cottbus/Görlitz, um München und östlich Bayreuths sowie Teile des Erzgebirges.

Seit 1998, also mit dem abgelaufenen Jahr 2007 seit nunmehr 10 Jahren, erstellt der Deutsche Wetterdienst auf der Basis Satelliten abgeleiteter Strahlungsdaten unter Berücksichtigung der Bodenmesswerte Globalstrahlungskarten für Deutschland. Ein Grund sich die vergangenen Jahre nochmals im Vergleich anzuschauen:

Abb. 18 stellt die jährlichen Flächenmittel der Globalstrahlung (kWh/m^2) für Deutschland und seine Abweichungen vom langjährigen Mittel (Bezugszeitraum 1981 – 2000) in Prozent dar. Richtig schlechte Strahlungsjahre sind in den letzten 10 Jahren nicht aufgetreten. Lediglich das erste Jahr dieser Kartendarstellungen zeigt mit einer Jahressumme von 992 kWh/m^2 und einer entsprechenden Abweichung vom Langzeitmittel von minus 4,3 % eine deutlichere negative Differenz.

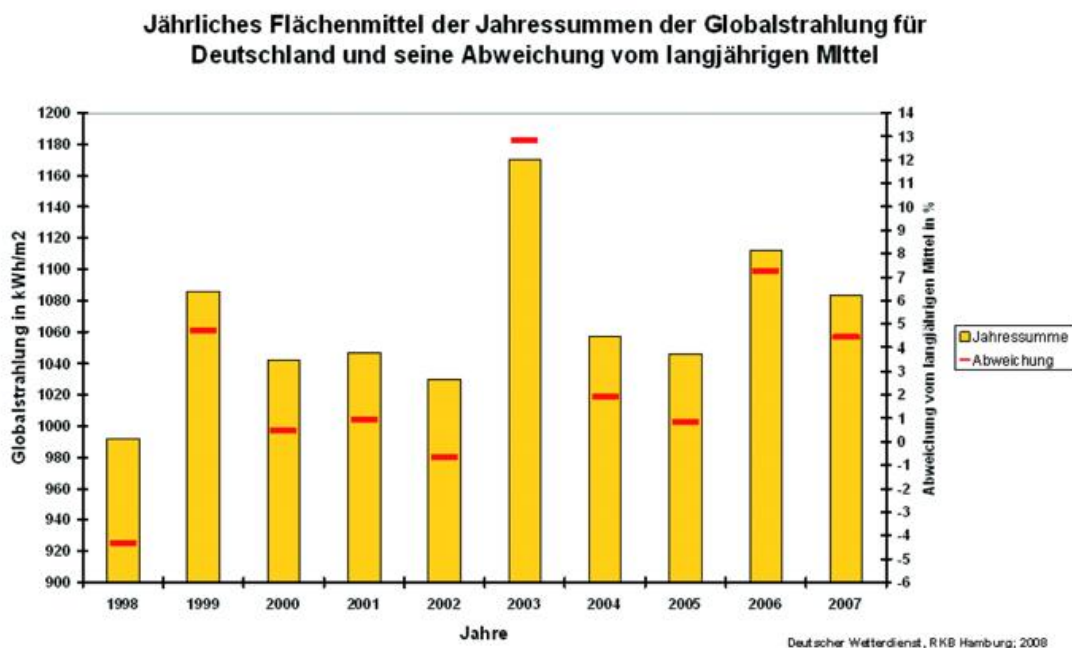


Abb. 18: Zeitreihe der Flächenmittel der Globalstrahlung

Auch das Jahr 2002 ist noch leicht im Minus (minus 0,7 %). Alle anderen Jahreswerte liegen gering (0,5 % 2000) bis deutlich (12,8 % 2003) über dem mittleren Erwartungswert. Der 10-Jahres-Mittelwert 1998/2007 liegt um 2,8 % über dem Durchschnittswert 1981/2000.

Das Jahr 2003 bleibt auch nach 2007 unangefochten der Spitzenreiter in dieser Übersicht. Mit einem Flächenmittel von 1083 kWh/m² gibt sich das Jahr 2007 wesentlich bescheidener als dieses Rekordjahr. Bei einer positiven Abweichung von 4,4 % zum langjährigen Mittelwert 1981 – 2000 reiht sich 2007 an die 4. Stelle der vergangenen 10 Jahre.

Der Verlauf der Witterung

Der **Witterungsverlauf** des Jahres lässt sich folgendermaßen beschreiben:

Das erste Drittel des Jahres war extrem warm. Im **Januar** war die schon in den Vormonaten vorherrschende sehr milde Witterung besonders ausgeprägt. In den Niederungen gab es teilweise nicht einen einzigen Eistag (Temperaturmaximum unter 0 °C). Auch Schneedecken traten in den Niederungen nur kurzzeitig und an einzelnen Stationen überhaupt nicht auf. Im Gebietsmittel von Deutschland war der Januar 2007 der wärmste seit Beginn des 20. Jahrhunderts.

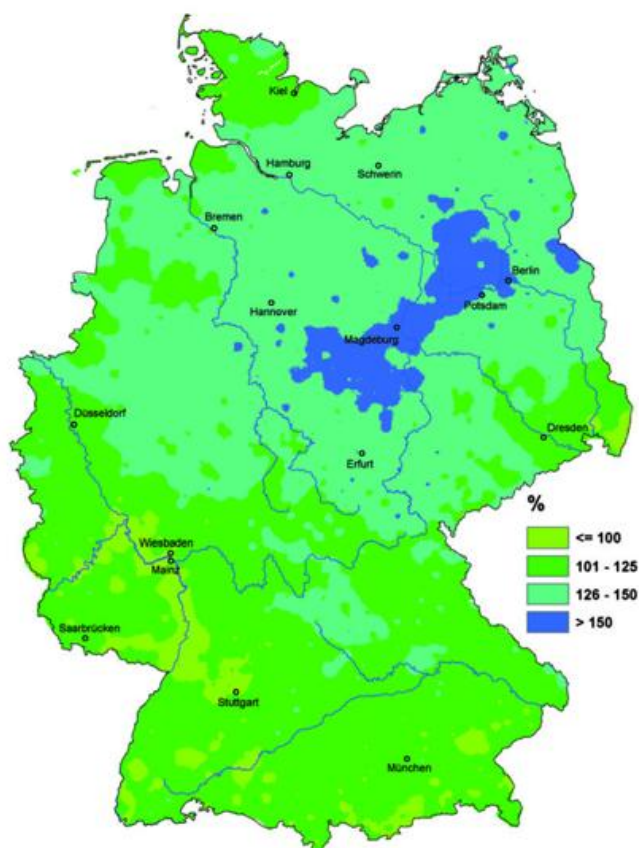


Abb. 19: Niederschlagshöhe 2007 in Prozent des vieljährigen Mittel 1961 - 1990

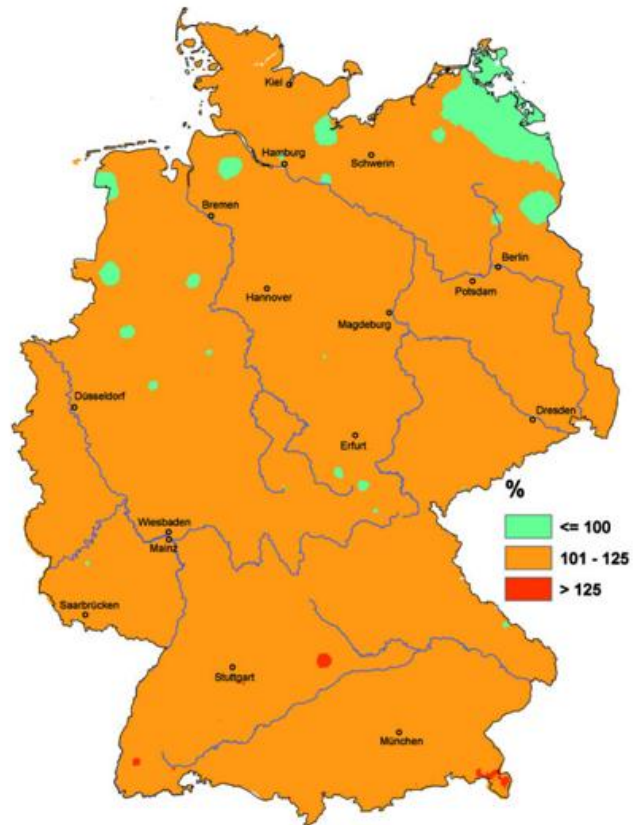


Abb. 20: Sonnenscheindauer 2007 in Prozent des vieljährigen Mittel 1961 - 1990

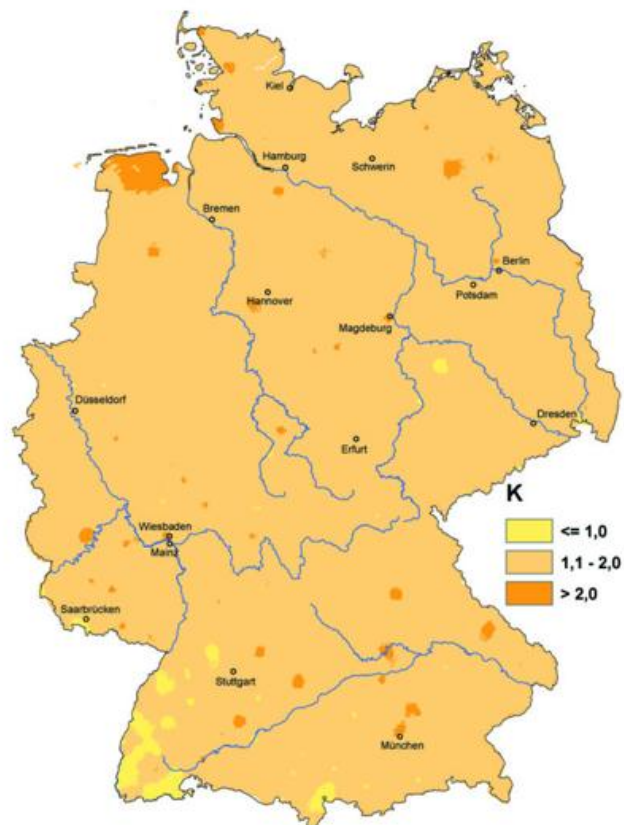


Abb. 21: Temperaturabweichung 2007 vom vieljährigen Mittel 1961 - 1990

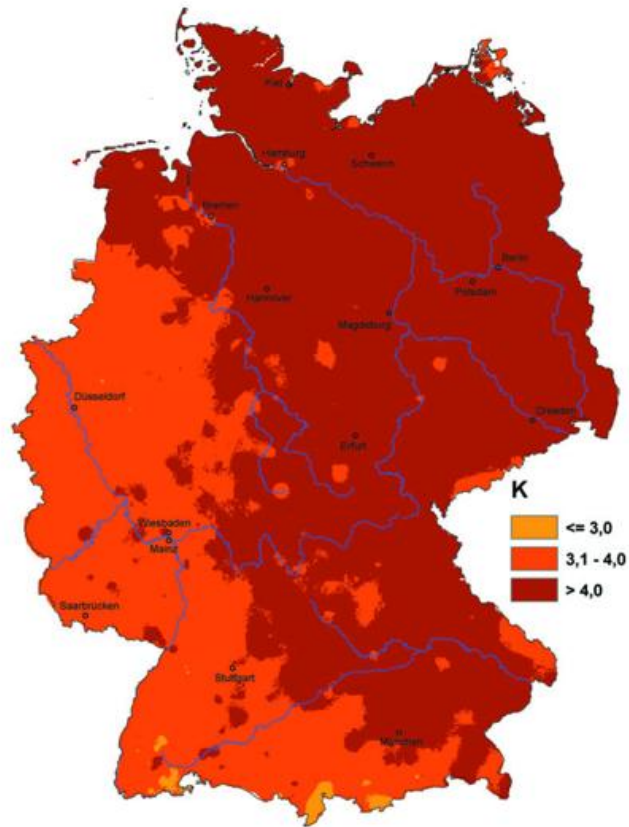


Abb. 22: Temperaturabweichung Winter 2007 vom vieljährigen Mittel 1961 - 1990

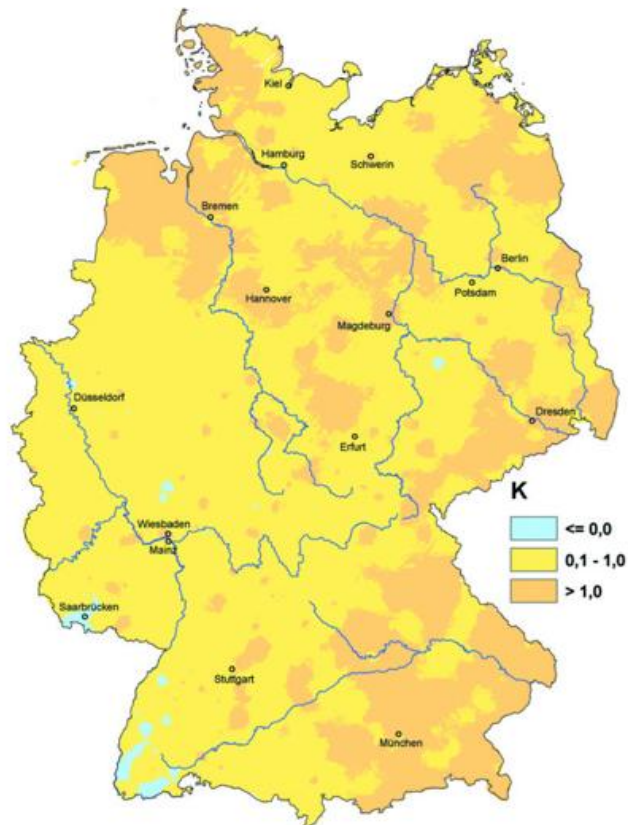


Abb. 23: Temperaturabweichung Sommer 2007 vom vieljährigen Mittel 1961 - 1990

Das milde Wetter brachte auch überdurchschnittliche Niederschläge und schwere Stürme, insbesondere den Orkan Kyrill, der am 18. und 19. Januar ganz Deutschland in Mitleidenschaft zog. Dabei kamen 13 Menschen ums Leben. Der Bahnverkehr kam zeitweise zum Erliegen, verschiedentlich wurde die Stromversorgung unterbrochen und es gab verbreitet Schäden an Gebäuden sowie großflächige Windbrüche in Waldgebieten.

Auch der **Februar** war sehr mild und niederschlagsreich, wenn auch nicht so extrem wie der Januar. Aber auch der gesamte klimatologische Winter (Dezember 2006 bis Februar 2007) war der wärmste seit 1901, wobei einzelne Stationen (u. a. Kiel, Düsseldorf und Geisenheim/Rheingau) nicht einen einzigen Eistag aufwiesen.

Der **März** war ebenfalls mild und sehr sonnenscheinreich. Es traten aber keine markanten Wärmeperioden auf, und die Höchstwerte des Monats lagen nur an wenigen Stationen knapp über 20 °C.

Der **April** war hingegen ein in vieler Hinsicht ungewöhnlicher Monat. Er war extrem warm und hatte in der zweiten Hälfte schon teilweise sommerlichen Charakter. So gab es in diesem Monat schon bis zu 14 Sommertage (Temperaturmaximum mindestens 25 °C). Im Gebietsmittel von Deutschlands war es der wärmste April der letzten 107 Jahre, wobei der bisherige Spitzenreiter, der April 1961, gleich um 0,9 Grad übertrumpft wurde. Dabei war der Monat extrem trocken. Im Gebietsmittel wurden nur 7 % der normalen Niederschlagsmenge registriert. An einzelnen Stationen gab es überhaupt keinen messbaren Niederschlag. Insgesamt war es der trockenste April seit 1893 und gleichzeitig der sonnenscheinreichste seit Mitte des 20. Jahrhunderts. Durch die Kombination großer Wärme und Trockenheit traten verschiedentlich Probleme in der Landwirtschaft auf.

Auf den trockenen April folgte jedoch der regenreichste **Mai** seit Beginn des 20. Jahrhunderts, so dass insgesamt keine allzu großen Schäden in der Landwirtschaft auftraten. An vielen Stationen, insbesondere in Norddeutschland, wurde mehr als das Doppelte der normalen Regenmenge registriert. Die Niederschläge fielen oft als sehr intensive konvektive Schauer und Gewitter, wobei es teilweise zu Überflutungen kam, insbesondere in Sachsen und Bayern in der Periode vom 25. bis 28. Mai. Bei weiteren Gewittern am 13. Mai traten bei Benburg-Hau (Kreis Kleve) und Kall-Sistig (Eifel) zwei relativ langlebige Tornados mit Schadspuren von 5 und 12 km auf.

Der Monat war mit einem Plus von 2 Grad auch wieder sehr warm, brachte aber weniger Sommertage als der April.

Da alle drei Frühlingsmonate erheblich zu warm waren wurde der Frühling insgesamt der wärmste seit 1901 und lag deutlich vor dem bisher wärmsten Frühjahr 2000. Damit brachte nun schon die dritte Jahreszeit in Folge neue Rekorde der Durchschnittstemperatur im Gebietsmittel von Deutschland.

Wegen der extrem hohen Werte für die Sonnenscheindauer in den Vormonaten wurde der Frühling auch der sonnenscheinreichste seit Beginn der Gebietsmittelzeitreihe im Jahr 1951 (vor 1953).

Auch im Juni lag das Gebietsmittel der Durchschnittstemperatur wieder 2 Grad über dem Wert der Referenzreihe 1961-90. In diesem Monat war auch die Anzahl der Sommertage wieder größer als im langjährigen Mittel. Dabei fiel auch erneut mehr Niederschlag als im Bezugszeitraum.

Es gab einige weitere starke konvektive Perioden mit schweren Gewittern, die Schäden durch Sturm, Blitzschlag und Starkregen verursachten. Dabei traten erneut 3 Tornados auf (am 15. bei Westertimke nahe Bremen und in Wasserburg am Inn sowie am 23. in einem Vorort von Frankfurt a. M.). Am 26. und 27. Juni trat auch nochmals ein großräumiges Sturmtief (Uriah) auf, das insbesondere in Norddeutschland zu Sachschäden und Verkehrsstörungen führte.

Der Juli war im Gebietsmittel von Deutschland sehr regenreich, und die Mitteltemperatur lag nur noch wenig über dem Wert der internationalen klimatologischen Referenzperiode 1961-90. Um den 16. Juni gab es jedoch eine markante Hitzewelle, wobei die Temperaturen an einzelnen Stationen in Ostdeutschland über 39 °C stiegen (Holzdorf (südlich von Berlin) 39,2 °C) und für einige Stationen neue Rekordtemperaturen für ihre gesamten Messreihen resultierten. Am 21. und 22. Juli traten erneut schwere Gewitter auf, die in Bayern und Thüringen zu Überflutungsschäden führten. Am 1. Juli wurde bei Wildeshausen (Niedersachsen) ein weiterer Tornado beobachtet.

Der **August** war im Gebietsmittel von Deutschland recht nass und durchschnittlich in Bezug auf Temperatur und Sonnenschein. In der Periode 6. – 12. August traten vor allem in Nordrhein-Westfalen Schäden durch Starkregen auf.

Der **September** war ganz im Gegensatz zum extrem warmen September des Vorjahrs im Gebietsmittel von Deutschland kühler, sonnenscheinärmer und erheblich regenreicher als im internationalen klimatologischen Referenzzeitraum 1961-90. Am 27. und 28. September traten in Nordrhein-Westfalen am Nordrand der Mittelgebirge erneut Starkregen mit Überflutungen auf. In den Folgetagen verlagerten sich die Regenfälle nach Nordosten und führten insbesondere im Harz und an den von dort kommenden Flüssen zu Überschwemmungen. Am 17. September wurde bei Asperg (nördlich von Stuttgart) erneut ein Tornado beobachtet.

Auch im **Oktober** lagen die Mitteltemperaturen meist etwas unter dem Durchschnitt der internationalen klimatologischen Referenzperiode 1961-90. Im Gegensatz zum Vormonat war der Oktober in Deutschland aber sehr trocken und recht sonnenscheinreich.

Im **November** war es ebenfalls etwas kühler als im Bezugszeitraum. Der Monat war jedoch wieder niederschlagsreich und relativ arm an Sonnenschein. Am 9. November gab es einen ersten großen Wintersturm (Orkan Tilo), der an der Nordsee zu einer starken Sturmflut führte. Abgesehen von Erosionsverlusten an Stränden und Dünen gab es aber keine größeren Schäden.

Im **Dezember** folgte auf einen milden Beginn eine zumindest in den Niederungen recht kalte zweite Monatshälfte. Insgesamt war es im größten Teil Deutschlands aber wieder etwas milder als im Mittel der internationalen klimatologischen Referenzperiode 1961-90. Nur im Südwesten und im Alpenraum blieben die Mitteltemperaturen teilweise etwas unter dem Durchschnitt des Bezugszeitraums.

Die Niederschläge lagen überwiegend unter dem langjährigen Mittel und die durchschnittliche Sonnenscheindauer wurde in den meisten Gebieten überschritten.

Klimatische Besonderheiten der deutschen Küstengebiete

Wie im Gebietsmittel von ganz Deutschland war das Jahr 2007 auch im deutschen Küstenbereich verbreitet das wärmste seit Beginn der regelmäßigen Aufzeichnungen.

Infolge der ungewöhnlich milden Witterung lagen auch die **Wassertemperaturen von Nord- und Ostsee** deutlich über dem vieljährigen Mittel. Im Januar waren die küstennahen Gewässerzonen mit 6 - 7 °C im Monatsmittel um 3 - 4 K zu warm. Nach Analysen des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie betrug die mittlere Wassertemperatur der gesamten Nordsee 8,3 °C. Sie lag damit um 1,7 K über dem Mittelwert und war die höchste seit Beginn der Zeitreihe im Jahr 1971. Das weit überdurchschnittliche Temperaturniveau hielt sich bis zum Juni. Die flacheren Küstenzonen waren durchweg um bis zu 2 K, im April um bis 3 K zu warm. Eis bildete sich in den Wintermonaten nicht. Ende Juni sorgte das Sturmtief URIAH für einen Temperatursturz im Ostseeraum. Kräftige Winde aus nördlichen Richtungen und Lufttemperaturen unter 15 °C ließen hier die küstennahen Gewässerzonen rapide abkühlen, womit sich die Wassertemperaturen nun wieder im Bereich der Mittelwerte bewegten. Mitte Juli bewirkte dann eine kurze Phase hochsommerlicher Witterung eine deutliche Erwärmung, bevor sehr windige Witterung Ende Juli die Temperaturen wieder absinken ließen. In Küstennähe lagen die Monatsmittel der Wassertemperatur im Juli im Bereich der vieljährigen Mittel, im August und September um bis zu 1 K darunter. Danach glichen sie sich wieder den Mittelwerten an. Im Dezember blieben die Gewässer wiederum eisfrei und die Wassertemperaturen lagen um bis zu 1 K über dem Durchschnitt.

Die **Windverhältnisse** an den Küsten waren durch zahlreiche Stürme geprägt. Im Januar fegte in einer überwiegend südwestlichen bis westlichen Strömung ein Sturmtief nach dem nächsten mit seinen Ausläufern über Norddeutschland hinweg. In der Deutschen Bucht erreichte der Wind zu fast einem Viertel der Zeit Sturmstärke. Die größten Schäden hinterließ der Orkan KYRILL, der Deutschland am 18. Januar mit Spitzenböen um 130 km/h im Küstengebiet überquerte.

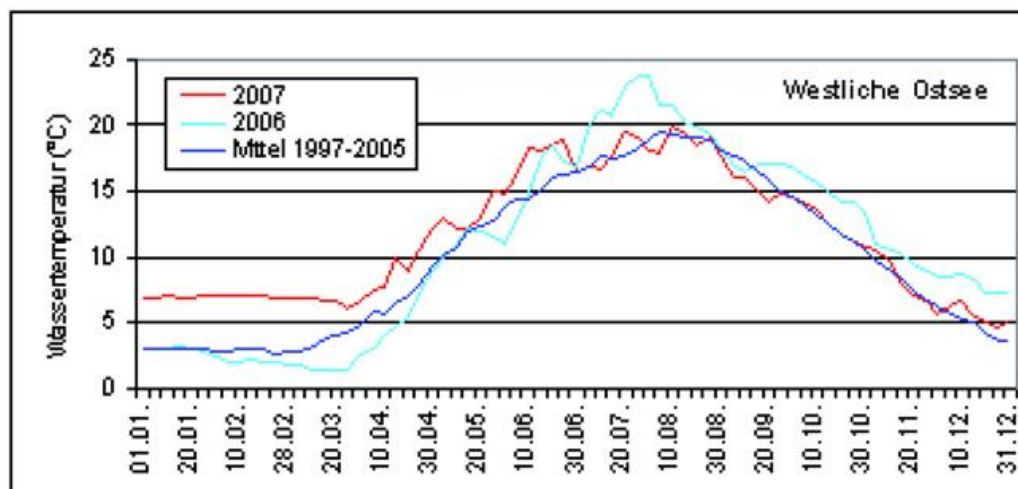


Abb. 24: Jahresgang der Wassertemperatur

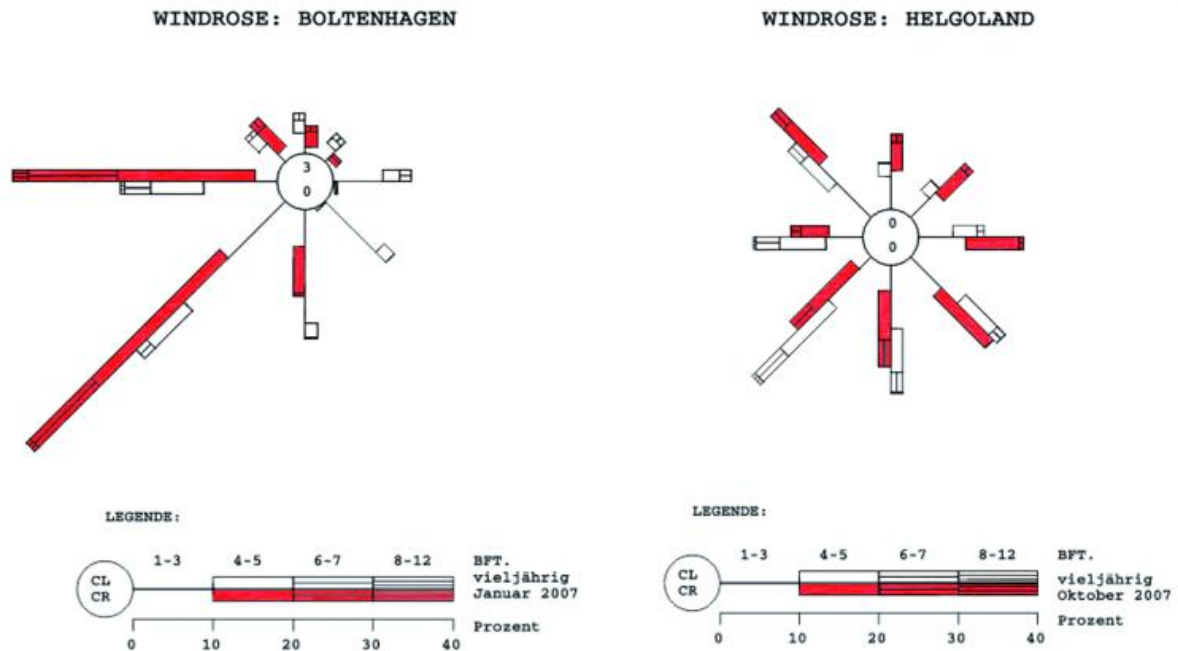


Abb. 25: Windverteilungen an der Station Boltenhagen im Januar und auf Helgoland im Oktober 2007 wie auch im Monatsmittel

Die winterliche Sturmsaison endete am 18. März mit dem Orkantief ORKUN, das sich nördlich von Schottland auf einen Kerndruck von 950 hPa vertiefte und Böen der Stärke 10, in exponierten Lagen auch 12 hervorrief. Eine gesonderte Beschreibung der Winterstürme ist dem Artikel ‚Die Winterstürme im Jahr 2007‘ zu entnehmen.

Im Frühling und Sommer erreichte der Wind in den Küstengebieten in Böen immer mal wieder Sturmstärke. Hervorzuheben ist das Sturmtief URIAH, das am 26. Juni vielfach schwere Sturmböen (entspricht Bft 10) am 27. auf Rügen sogar Böen bis Orkanstärke (entspricht Bft 12) hervorrief.

Nachdem der Oktober infolge einer lang anhaltenden Hochdruckperiode bei vorherrschend nördlichen bis östlichen Winden recht windschwach war, stellte sich im ersten Novemberdrittel die erste herbstliche Orkanlage ein. Sie war mit Tief TILO verbunden, das am 9. November für sehr hohen Wellengang in der Nordsee und eine schwere Sturmflut mit erheblichen Schäden und Sandabtragungen auf Helgoland und den Ostfriesischen Inseln sorgte. In der südlichen Nordsee erreichten die Wellen im Bereich der Forschungsplattform FINO 1 eine maximale Höhe von 17-18 m. Schon im Jahr zuvor, am 1. November 2006, waren dort – verursacht durch Orkantief BRITTA – Wellen von dieser Höhe aufgetreten und hatten, wie auch jetzt wieder, zu Schäden an der Forschungsplattform geführt.

Am 12. November traten an der Nordsee nochmals Böen bis Orkanstärke auf. Diese wurden durch Gewitter verursacht. Zu Beginn der 2. Dezemberdekade endete das sehr windige Wetter mit der Umstellung auf eine Hochdrucklage, mit der das Jahr überwiegend schwachwindig ausklang.

Die freie Atmosphäre

Den folgenden Ausführungen liegen die Radiosondenmessungen und Windpilotierungen an den Stationen des gemeinsamen Messnetzes des Deutschen Wetterdienstes und des Geoinformationsdienstes der Bundeswehr zugrunde. Es handelt sich um TEMP- bzw. PILOT-Meldungen, die über GTS empfangen wurden.

Zirkulation und Höhenwind

In den Abbildungen 26 und 27 sind für Schleswig und Stuttgart (als repräsentative Stationen für Nord- und Süddeutschland) die mittleren monatlichen Windvektoren dargestellt.

Im Januar und Februar 2007 wurde in den unteren Atmosphärenschichten eine schwache, insbesondere im Februar auch unbeständige, Westströmung beobachtet. Mit der Höhe drehte sie auf Nordwest, wurde kräftiger und beständig. März und April zeichneten sich durch recht unbeständige Strömungsverhältnisse aus. Die sommerliche Ostwindzirkulation in der Stratosphäre setzte im Mai ein, wurde aber erst im Juni beständig. Ab September drehte die Strömung in der Stratosphäre wieder auf West. In der Troposphäre herrschte bis Ende des Jahres eine nordwestliche Strömung vor, die aber eher unbeständig blieb.

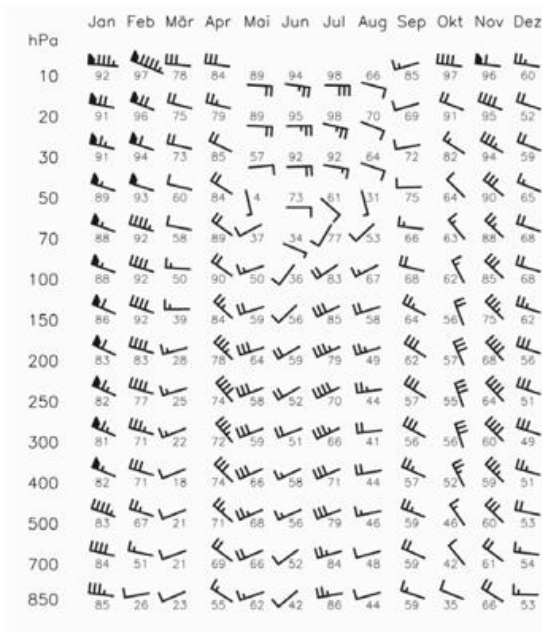


Abb. 26: Mittlere monatliche Windvektoren und Windbeständigkeit Schleswig 2007

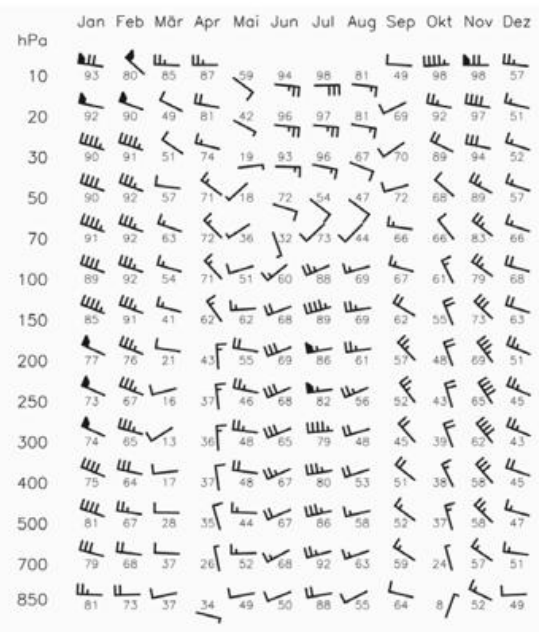


Abb. 27: Mittlere monatliche Windvektoren und Windbeständigkeit Stuttgart 2007

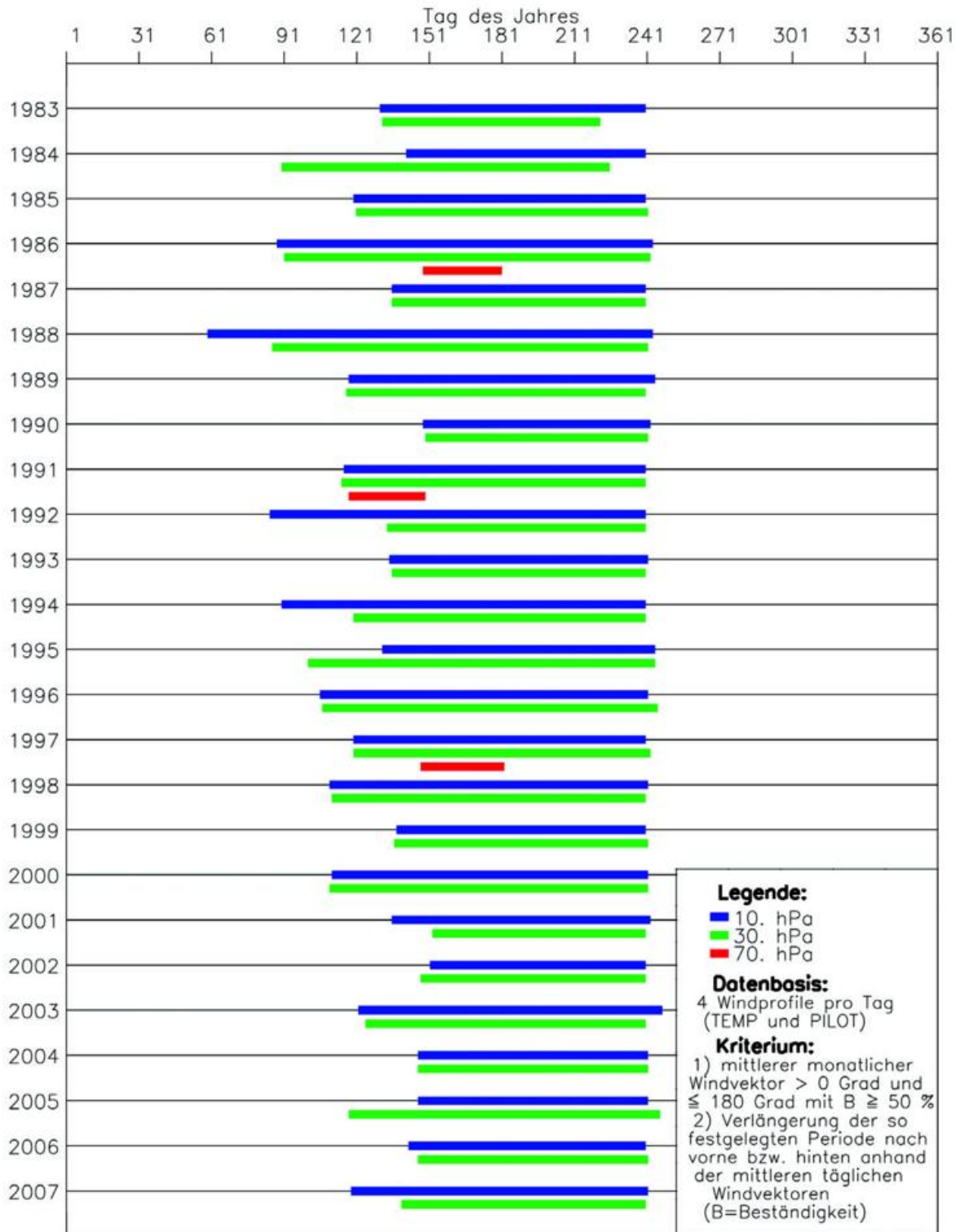


Abb. 28: Beginn und Ende der sommerlichen Ostwindzirkulation in der Stratosphäre, Stuttgart 1983-2007

Tab.1: Beginn und Ende der sommerlichen Ostwindzirkulation in der Stratosphäre an 11 Radiosondenstationen für das Jahr 2007 (Datenbasis: Monatsmittelwerte und Tagesmittelwerte aus 2 bis 4 Windprofilen pro Tag, manuell korrigierte Werte mit * gekennzeichnet.)

Station	Druckfläche (hPa)	Beginn (Tag)	Ende (Tag)	Dauer (Tage)
SCHLESWIG (WST)	20	119	243	125
	50	147	213	67
GREIFSWALD (WST)	20	120	243	124
	50	147	212	66
EMDEN (WST/AE)	20	119	243	125
	50	146	213	68
BERGEN (BW)	20	120	243	124
	50	149	224	76
LINDENBERG (OBS)	20	120	243	124
	50	146	223	78
ESSEN-BREDENEY (AWST)	20	119	243	125
	50	148	212	65
MEININGEN (WST)	20	120	243	124
	50	148	213	66
IDAR-OBERSTEIN (BW)	20	140	243	104
	50	141	224	84
STUTTGART(SCHNAR.AWST)	20	138	243	106
	50	146	227	82
KUEMMERSBRUCK (BW)	20	139	243	105
	50	146	224	79
OBERSCHLEISSHEIM	20	141	243	103
	50	141	223	83

Sommerliche Ostwindperioden

Abbildung 28 zeigt die Folge der sommerlichen Ostwindperioden für drei Druckflächen über Stuttgart von 1983 bis 2007. Die stratosphärische Ostwindzirkulation setzte 2007 in 30 hPa Ende Mai ein und blieb, wie auch 2006, bis Ende August recht beständig. In 10 hPa setzte die Ostwindzirkulation ein paar Tage früher ein, zeichnete sich aber erst im Juni durch Beständigkeit aus. Ähnlich kurze Perioden in 30 hPa gab es in den Jahren 2004, 2002 und 1990. Ein fast identisches Bild bzgl. der Ostwindperioden in 30 hPa und in 10 hPa zeigt sich im Jahr 2001.

In Tabelle 1 sind Anfang und Ende der sommerlichen Ostwindzirkulation in der Stratosphäre für die Druckflächen 20 hPa und 50 hPa für 11 Radiosondenstationen zusammengefasst. Der Beginn der stratosphärischen Ostwindzirkulation in 20 hPa wurde an den Stationen Idar-Oberstein, Stuttgart, Kümmersbruck und Oberschleißheim um den 18. Mai herum datiert. Damit setzte diese Zirkulation 2007 an diesen Stationen etwas, an den anderen Stationen (Beginn Ende April) deutlich früher ein als im Vorjahr. In 50 hPa setzt die sommerliche Ostwindzirkulation an allen Stationen in der zweiten Maihälfte ein. Alle Stationen weisen wie schon 2006 relativ kurze Perioden der sommerlichen Ostwindzirkulation auf. An keiner Station wurde in 50 hPa eine Zeitspanne von über 100 Tagen beobachtet. Ebenfalls wurde an keiner Station eine sommerliche Ostwindzirkulation in 70 hPa registriert.

Lufttemperatur

Monatsmittelwerte der Lufttemperatur

In Abbildung 29 sind die Abweichungen der mittleren Lufttemperatur 2007 gegenüber dem Referenzzeitraum 1961-1990 im Mittel über 7 Radiosondenstationen in 500 hPa und in 50 hPa dargestellt. Betrachtet werden die vier Jahreszeiten seit 1968. Die höchsten positiven Temperaturabweichungen wurden in der Troposphäre für den Winter und den Frühling berechnet. Damit spiegeln die 500-hPa-Kurven sehr gut die Witterungsverhältnisse 2007 in den einzelnen Jahreszeiten wider. Auf einen milden Winter folgte ein warmes Frühjahr, dafür blieben Sommer und Herbst zu kalt. Die Stratosphäre war, wie auch schon in den Vorjahren, in allen Jahreszeiten zu kühl. Die negative Abweichung der Temperatur in 50 hPa war 2007 besonders auffällig im Winter.

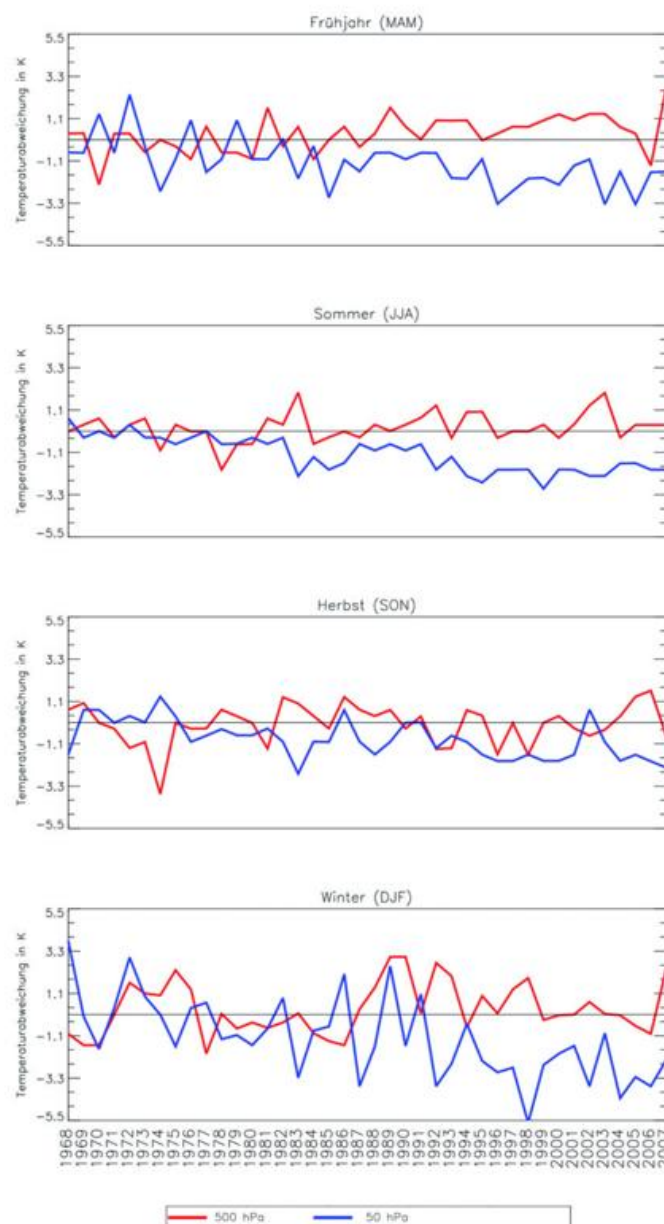


Abb. 29: Abweichungen der mittleren Lufttemperatur 2007 vom Referenzzeitraum 1961-1990 für Jahreszeiten in 500 hPa und 50 hPa (Mittelwerte über 7 Stationen)

Temperaturminima in der Stratosphäre

Anfang Januar wurden an fast allen Stationen stratosphärische Temperaturminima von -80°C bis -85°C in einer Höhe zwischen etwa 20 und 25 km gemessen (extreme Werte über Essen: -85°C , Greifswald: -84°C und Meiningen -85°C). Die Ausnahme bildete Oberschleißheim, wo im Winter 2007 bei keinem Radiosondenaufstieg Temperaturen von -80°C oder niedriger registriert wurden. Die Temperaturminima, die an einigen Stationen nochmals Ende Februar aufgezeichnet wurden, gingen einher mit einer Abnahme des stratosphärischen Ozons (s. Ozonbulletin des Deutschen Wetterdienstes, Nr. 116, 3. Mai 2007). Tabelle 2 gibt eine Zusammenfassung der extremen stratosphärischen Temperaturminima 2007.

Tab. 2: Extreme Temperaturminima in der Stratosphäre nach Radiosondenmessungen 2007

Station	Monat	Tag	Termin	Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)	Geopotential (gpm)
SCHLESWIG (WST)	Jan	2	0	-82	26509
	Jan	2	12	-82	28050
	Feb	23	12	-81	25712
	Nov	30	0	-82	23763
	Nov	29	12	-82	27396
	Dez	21	0	-82	25081
	Dez	20	12	-83	24657
GREIFSWALD (WST)	Jan	26	0	-83	22798
	Jan	1	12	-84	27286
	Feb	24	12	-81	24325
	Nov	30	0	-81	24480
	Nov	29	12	-81	25282
	Dez	21	0	-83	24601
	Dez	21	12	-83	24772
EMDEN-KOENIGSPOLDER (BW)	Jan	2	0	-81	25617
	Jan	2	12	-82	29410
	Nov	30	0	-80	23343
	Nov	28	12	-82	28121
	Dez	21	0	-82	23676
	Dez	20	12	-81	27994
BERGEN (BW)	Jan	2	12	-83	28916
	Feb	24	12	-81	25856
	Nov	29	0	-81	25740
	Nov	29	12	-82	25899
	Dez	20	0	-80	26726
	Dez	21	12	-80	25231
LINDENBERG (OBS)	Jan	3	0	-80	30210
	Jan	2	12	-83	27688
	Nov	29	12	-81	26537
	Dez	21	0	-81	24823
	Dez	21	12	-81	26084
ESSEN-BREDENEY (AWST)	Jan	2	0	-83	27761
	Jan	2	12	-85	29790
	Dez	1	12	-80	25181
MEININGEN (WEWA)	Jan	2	0	-85	31002
	Jan	1	12	-83	26499
	Nov	30	12	-80	24432
	Dez	1	12	-80	22884
IDAR-OBERSTEIN (BW)	Jan	2	0	-80	26002
	Jan	2	12	-82	30935
STUTTGART (SCHNAR. AWST)	Jan	2	12	-82	29186
KUEMMERSBRUCK	Jan	2	0	-81	27058
	Jan	2	12	-81	28273

Die Verteilung der Wetterlagen

Im Folgenden wird die Häufigkeit der 2007 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. Die Datengrundlage liefert das operationelle Wetteranalyse- und Vorhersagesystem des DWD. 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 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 2007

Folgende Wetterlagen sind im Jahr 2007 aufgetreten (in der Reihenfolge ihrer Häufigkeit):

Rang	Wetterlage	Anzahl	in %
1	NWAAT	43	11.78
2	SWAAF	39	10.68
3	NWAZT	31	8.49
4	SWZAF	27	7.40
5	NWAAF	23	6.30
6	NOAAT	20	5.48
7	XXAAT	18	4.93
8	SWZZF	18	4.93
9	SWAZF	14	3.84
10	SWAZT	13	3.56
11	SWAAT	12	3.29
12	NOAZT	11	3.01
13	XXAAF	9	2.47
14	XXZZT	8	2.19
15	NWZZT	7	1.92
16	XXAZT	6	1.64
17	XXZZF	6	1.64
18	SOZZF	6	1.64

Rang	Wetterlage	Anzahl	in %
19	SOAAT	5	1.37
20	SOZAF	5	1.37
21	SWZZT	5	1.37
22	XXAZF	4	1.10
23	NWAZF	4	1.10
24	XXZAT	4	1.10
25	SOZAT	4	1.10
26	SOZZT	4	1.10
27	NWZZF	4	1.10
28	XXZAF	3	0.82
29	NOZZT	3	0.82
30	NOAAF	2	0.55
31	SOAZT	2	0.55
32	SWZAT	2	0.55
33	NOAZF	1	0.27
34	SOAZF	1	0.27
35	NOZZF	1	0.27

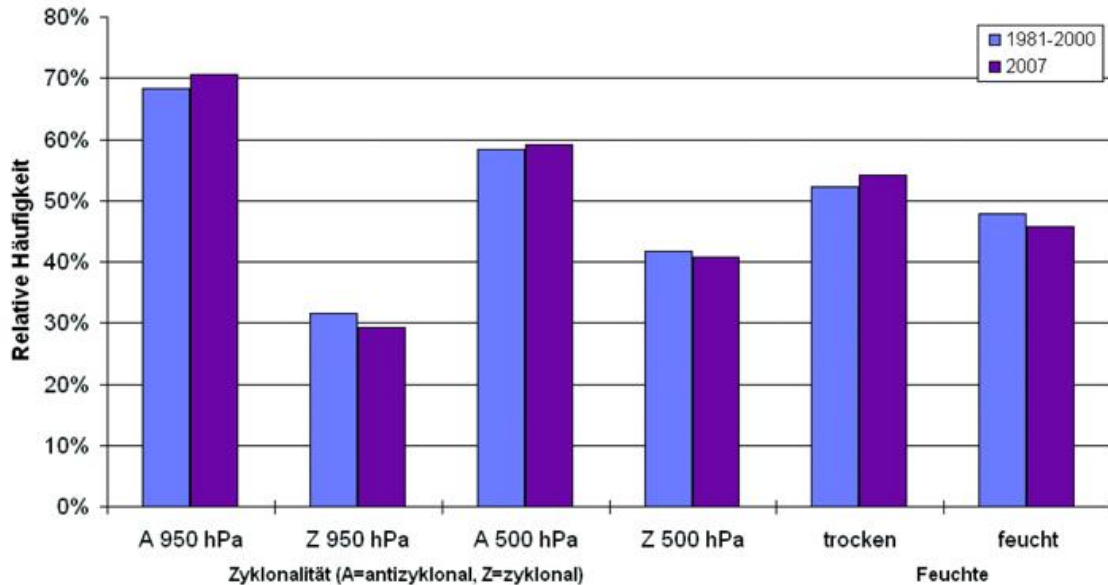


Abb. 32: Relative Häufigkeitsverteilung der Zyklonalitäts- und Feuchteklassen der objektiven Wetterlagenklassifikation 2007 im Vergleich zum 20jährigen Zeitraum 1981-2000.

Häufigkeit von Wetterlagengruppen 2007

Bei den Häufigkeiten der Wetterlagengruppen (Abb. 30 und 31) ist festzustellen, dass die Lagen mit Westkomponente zugunsten aller anderen Anströmrichtungen schwächer vertreten waren als im Referenzzeitraum 1981-2000. Insbesondere die Nordostlagen waren in diesem Jahr häufiger als im Bezugszeitraum. Den größten Anteil hatten aber dennoch wie üblich die Südwestlagen.

Die Zyklonalität der Lagen in 950 hPa und in 500 hPa entsprach weitgehend dem langjährigen Mittel. Die feuchten Lagen traten etwas seltener auf als im Bezugszeitraum.

Tab. 3: 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 2007. Zum Vergleich die Deutschlandflächenmittel-Anomalien der Monatsmitteltemperatur (positive Zahlen: warm, negative: kalt) und die monatliche Niederschlagssumme (in %) als Prozentsatz des Klimamittels 1961-1990.

WLK/Monat	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
XX	2	4	6	7	9	4	0	7	3	9	2	5	58
NO	2	2	4	4	1	2	0	0	3	8	5	7	38
SO	0	0	5	5	1	5	0	3	1	3	1	3	27
SW	11	15	6	0	15	18	23	11	9	7	6	9	130
NW	16	7	10	14	5	1	8	10	14	4	16	7	112
A 950 hPa	27	13	18	23	17	14	26	22	23	26	22	27	258
Z 950 hPa	4	15	13	7	14	16	5	9	7	5	8	4	107
A 500 hPa	22	16	14	27	19	16	15	15	17	20	19	16	216
Z 500 hPa	9	12	17	3	12	14	16	16	13	11	11	15	149
trocken	12	11	23	23	13	5	13	13	24	22	17	22	198
feucht	19	17	8	7	18	25	18	18	6	9	13	9	167
Temperatur	5.2	3.6	2.7	4.1	2.0	2.0	0.3	0.3	-0.7	-0.7	-0.4	0.8	1.6
Niederschlag	159	149	110	7	179	124	151	122	156	46	122	83	119

Jahresverlauf der Wetterlagen und Zusammenhang mit Temperatur/Niederschlag

- Anströmrichtung

Südwestlagen traten im Februar sowie von Mai bis Juli recht häufig auf, während sie im April völlig fehlten. Dagegen waren Nordwestlagen im Januar und April sowie im September und November relativ häufig und traten im Juni und Oktober besonders selten auf. Die Häufigkeit der Lagen mit Ostkomponente war im März und April sowie im Oktober und Dezember recht hoch. Das Auftreten von Lagen mit uneinheitlicher Anströmrichtung schwankte von Monat zu Monat recht stark, ohne dass sich jedoch ein deutlicher Jahresgang erkennen ließe.

- Zyklonalität

In 950 hPa waren im Februar und Juni zyklonale Lagen häufiger als antizyklonale. Sonst dominierten die antizyklonalen Lagen. Besonders groß war der Überschuss antizyklonaler Lagen im Januar und April sowie in der gesamten zweiten Jahreshälfte. In 500 hPa waren die antizyklonalen Lagen in 9 Monaten vorherrschend, wobei sich der extrem trockene und warme April besonders hervorhebt. Zyklonale Lagen dominierten im März und hatten auch im Juli und August eine knappe Mehrheit.

- Feuchte

Im März und April sowie ab September herrschten trockene Lagen vor, während im Januar und Februar sowie von Mai bis August überwiegend feuchte Lagen auftraten. Dies ist jedoch nur bedingt mit dem Niederschlag korreliert. Vielmehr spiegelt der Feuchtegehalt der Luftmasse oft nur die Temperaturverhältnisse wider, da kalte Luft einen niedrigeren Sättigungsdampfdruck besitzt als eine warme Luftmasse. So treten im feuchtkühlen September mehr trockene Luftmassen auf als im extrem trockenen und warmen April.

Ein klarer Zusammenhang zwischen diesen Witterungsanomalien und den vorherrschenden Wetterlagen lässt sich nur in Einzelfällen feststellen, da Zyklonalität, Anströmrichtung und Feuchte oft gegensätzliche Tendenzen hervorbringen.

Langzeittrends 1980-2007

Bei der Anströmrichtung (Abb. 33) wurden die Trends zu einer Abnahme der Nordwestlagen und zu einer langfristigen Zunahme der Nordostlagen gestärkt.

Bei den Feuchteklassen (Abb. 34) ist die langfristige Zunahme der feuchten Lagen weiterhin vorhanden, wurde aber nicht bestätigt.

Bei der Zyklonalität (Abb. 35 und 36) ist weiterhin nur in 500 hPa ein schwacher Trend zu einer Zunahme antizyklonaler Lagen erkennbar, während in 950 hPa keine langfristigen Tendenzen feststellbar sind.

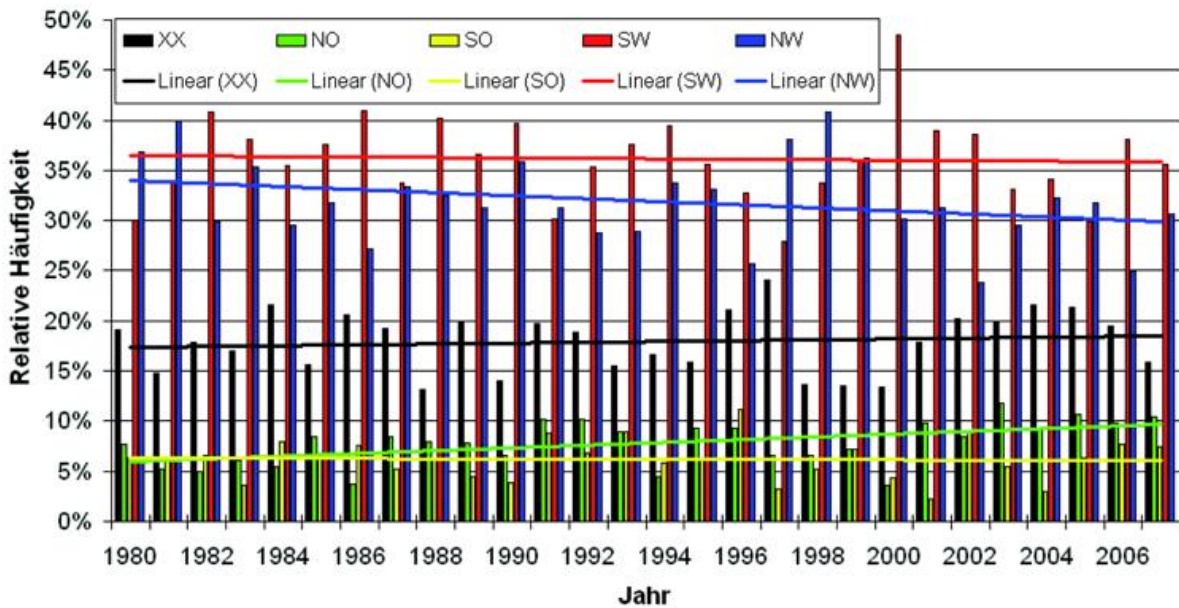


Abb. 33: Langzeittrends der Häufigkeit der Anströmrichtungen der objektiven Wetterlagenklassifikation 1980-2007.

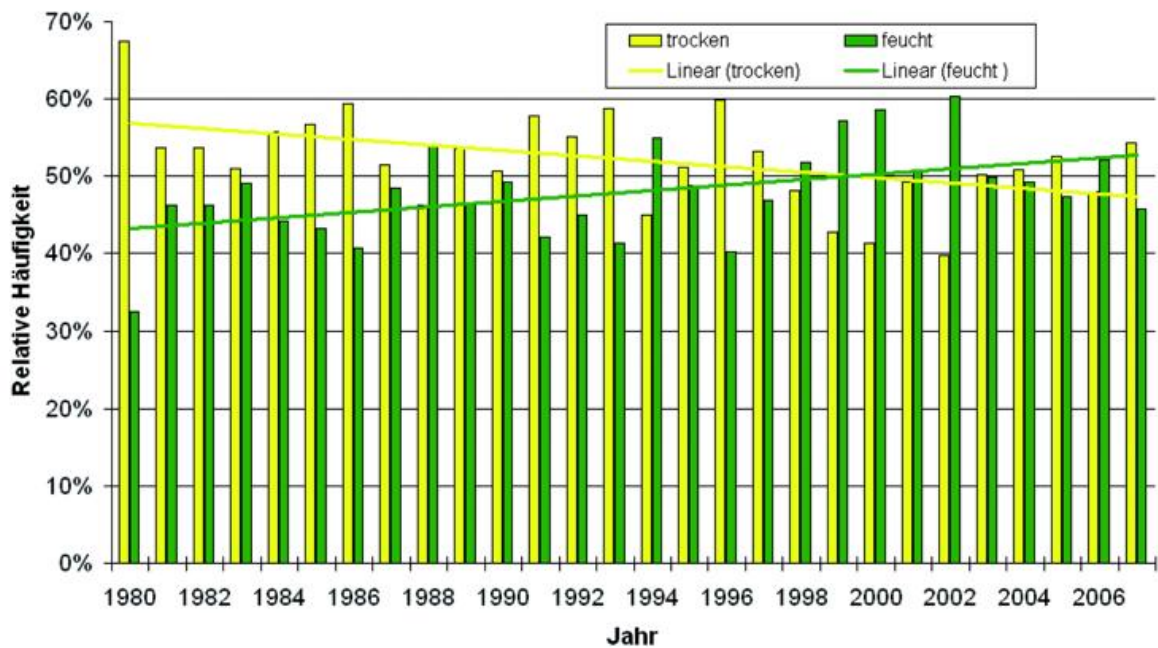


Abb. 34: Langzeittrends der Häufigkeit der Feuchteklassen der objektiven Wetterlagenklassifikation 1980-2007.

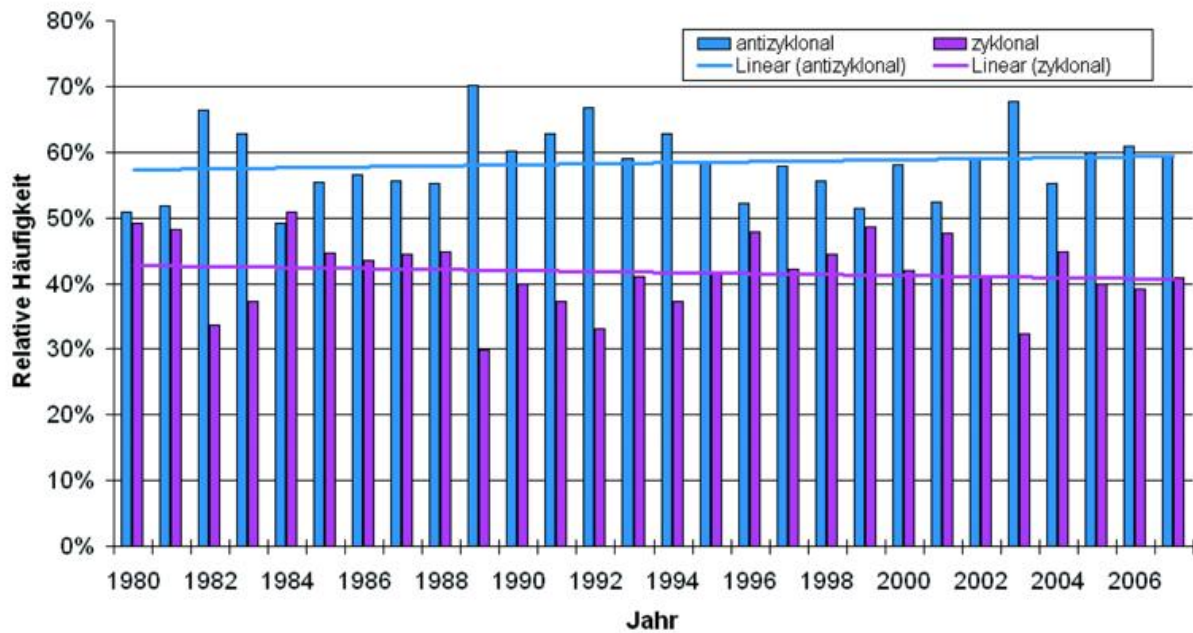


Abb. 35: Langzeittrends der Häufigkeit der Zyklonalität in 500 hPa der objektiven Wetterlagenklassifikation 1980-2007.

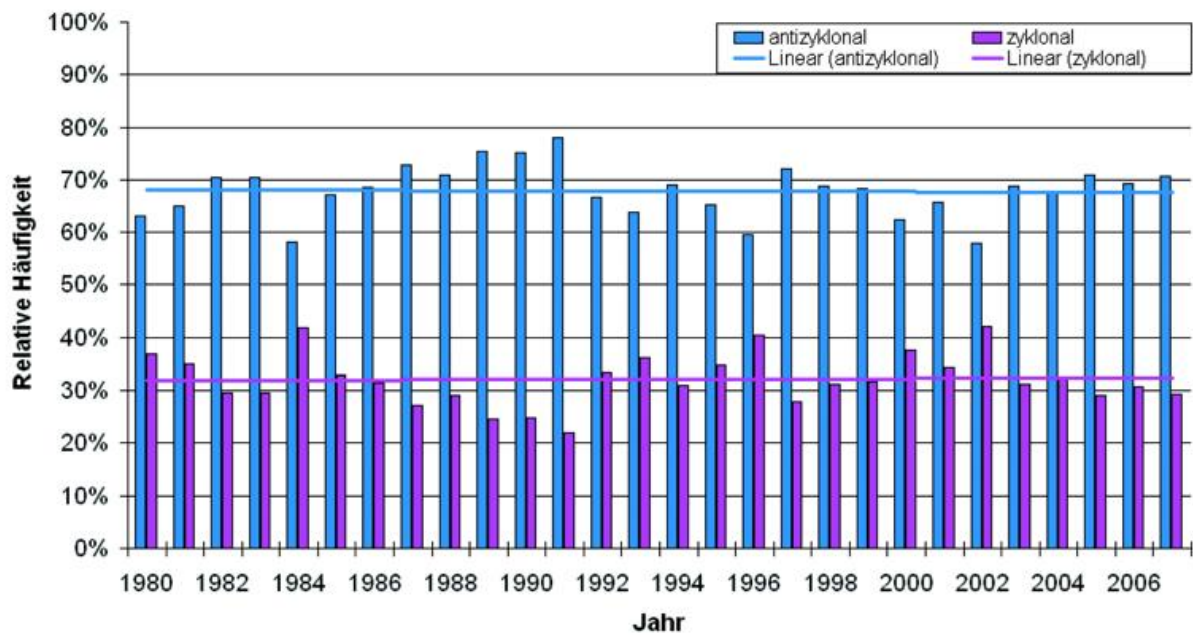
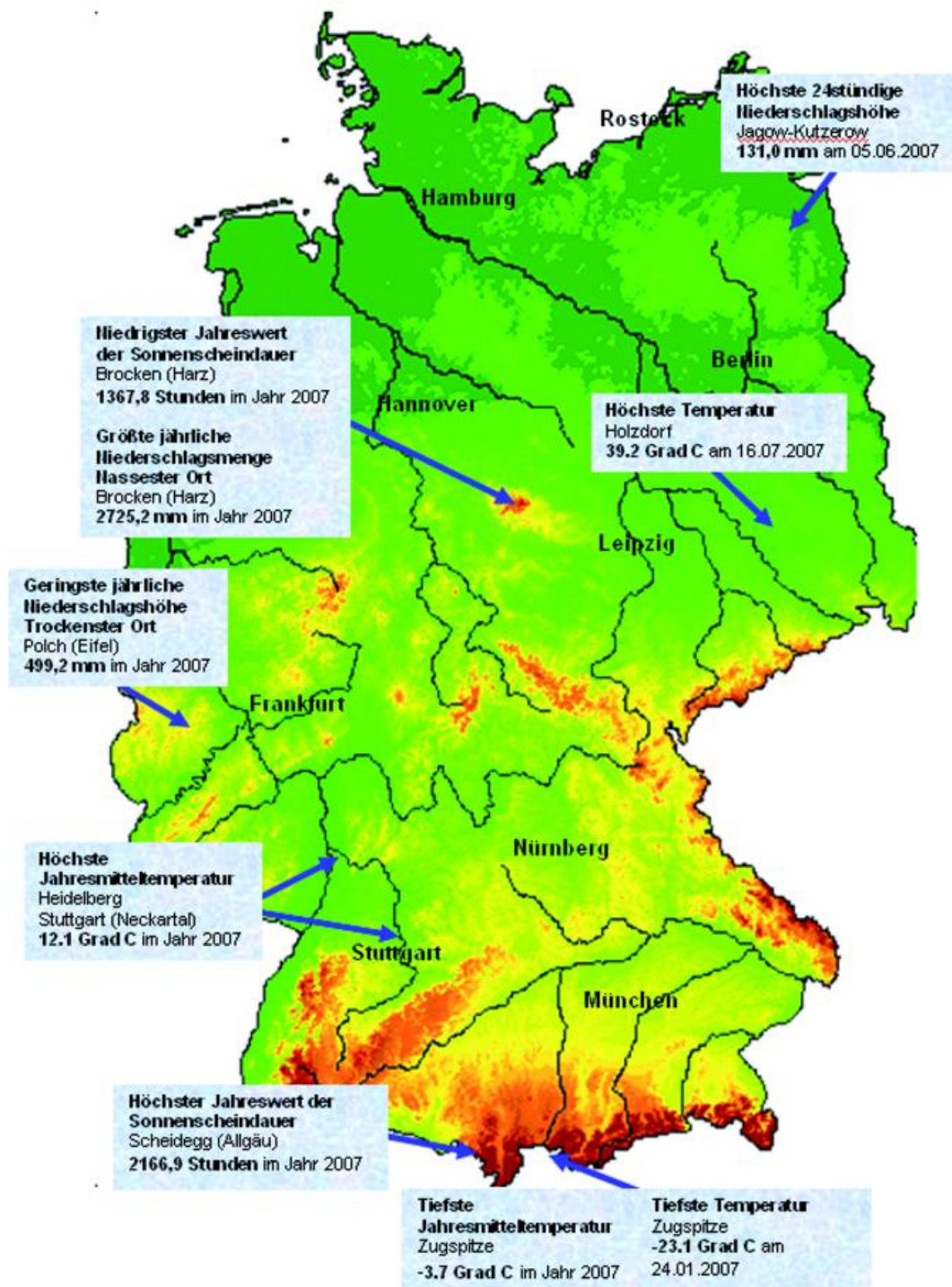


Abb. 36: Langzeittrends der Häufigkeit der Zyklonalität in 950 hPa der objektiven Wetterlagenklassifikation 1980-2007.

Extremwertkarte



Die eingetragenen Extremwerte beruhen auf den Messungen der Beobachtungsstationen des DWD. Im Einzelfall können noch stärkere Extreme aufgetreten sein, die von den Messstellen nicht erfasst wurden (s.a. "Die Witterung in Deutschland"). Die Angaben in der Extremwertkarte beruhen auf der Auswertung aller Daten der ca. 600 Klima- und 2000 Niederschlagsstationen des DWD.

Die agrarmeteorologische Situation im Jahr 2007

F. - J. Löpmeier, W. Trampf

Schlagzeile

Nach einem extrem milden Winter und extrem trockenen April folgte ein zu feuchter Sommer.

Das Vegetationsjahr 2007 wurde geprägt durch den extrem milden Winter 2006/2007 und die extreme Dürre im April. An vielen Standorten erwiesen sich ab September 2006 bis zu 15 Monate aufeinanderfolgend als zu warm. Die meteorologischen Bedingungen des Winters entsprachen etwa den Verhältnissen, wie sie nach den Klimaszenarien ca. 2050 und Folgezeit zu erwarten sind. Insofern können die Bedingungen als ein großes Freilandexperiment bezeichnet und die Auswirkungen auf die Landwirtschaft und Natur studiert werden. Hoher Virusbefall, starke Insektenpopulation, aber auch Mäuseplage sind die Stichworte. Der Mai und die Folgemonate sorgten jedoch überwiegend für einen Ausgleich der Bodenfeuchte. Beregnungen waren 2007 in der Regel nicht notwendig, allerdings waren auch die Heu- und Silageaufbereitung nicht ganz unproblematisch.

Schleswig-Holstein, Hamburg, Bremen, Niedersachsen und Mecklenburg

Mit einer Abweichung von über 4 K (Schleswig-Holstein +4.7 K, Mecklenburg-Vorpommern +5.0 K, Niedersachsen +4.6 K) im Januar und +2 bis +3 K im Februar setzte sich die Reihe deutlich zu warmer Monate in Norddeutschland fort. An Niederschlag fiel nahezu im ganzen Norden im Januar mehr als die doppelte Menge und im Februar ca. 150 % des langjährigen Solls. Damit bewegten sich die Temperaturen und Niederschläge in dem Bereich, der von den Klimamodellen für den Zeitraum 2050 bis 2100 prognostiziert wird.

Die Haselnussblüte wurde vielerorts schon im Dezember 2006 beobachtet. Viele Wintergerstenbestände wiesen gelbe Nester durch den Gelbverzwergungsvirus auf und mussten später umgebrochen werden, und auch Ende Februar gab es noch einen kleinen Prozentsatz lebender Blattläuse. Zwischenfrüchte standen 2007 noch lange in grünem Zustand.

Nach einem ebenfalls deutlich zu warmen März, der auch zahlreiche phänologische Extremwerte zu verzeichnen hatte, schlug dann der April alle Rekorde. Mit im Schnitt um +3 K zu warmen Bedingungen und nur ca. 10 % des Niederschlagssolls bei gleichzeitigen Verdunstungswerten, die 150 % des langjährigen Mittelwertes ausmachten, stellten sich Dürrebedingungen ein, die insbesondere bei Wintergetreide auf leichten Standorten zu Wasserstress führten und auch die Keimung der frisch gedrillten Kulturen nicht zuließ. Der Mais lag wochenlang ohne Reaktionen im Boden. Vielerorts kam Katastrophenstimmung auf, das Thema Klimaänderungen wurde von Tag zu Tag aktueller und die EU lockerte aufgrund der Witterungsbedingungen einige Auflagen. Die Obstblüte setzte 2-3 Wochen früher ein als normal. Auch noch zu warm, aber mit Niederschlägen zwischen 150 und 200 %, sorgte der Mai für eine

Entspannung bei der Bodenfeuchtesituation. Die Kraut- und Knollenfäule in Kartoffeln entwickelte sich Ende Mai jedoch früh und schnell, und auch im Juni waren die Bedingungen für die Ausbreitung der Krankheit günstig, und die Landwirte hatten zum Teil Probleme die wöchentlichen Anschlussspritzungen zwischen den Regenzeiten zu platzieren.

Mit einer Abweichung von etwa +1.5 K war der Juni im Norden der 10. und letzte Monat hintereinander mit einer deutlich positiven Temperaturabweichung und mit 200 % Niederschlag in Schleswig-Holstein und etwa 125 % in Niedersachsen waren nahezu alle Feldfrüchte gut mit Wasser versorgt.

Der Juli blieb in Norddeutschland nach langer Zeit mit seiner Mitteltemperatur erstmalig knapp unter dem langjährigen Durchschnitt. Die häufigen Niederschläge in der ersten Monatshälfte behinderten die Ernte von Silage, Heu, Getreide und Raps. Mit einigen Tagen Mähdruschwetter ab Mitte Juli entspannte sich die Lage etwas, zumal der Ausfall von Getreide und Rapskörnern allmählich kritisch zu werden drohte. In Kartoffeln setzte sich der Druck durch Krautfäule fort. Verbreitet wurde von Mindererträgen im Getreide (mit regionalen und/oder sortenbedingten Ausnahmen) berichtet, wobei über die Ursachen viel spekuliert wurde (zu milder Winter, Spätfröste, Trockenheit im April, Virusbefall etc). Im Alten Land begann die Ernte der frühen Apfelsorten Ende Juli so früh wie noch nie!

Auch im August ergaben sich durch die Niederschläge Behinderungen bei den Feldarbeiten, insbesondere bei der Silage- und Heubereitung. In Schleswig-Holstein waren zeitweise Äcker und Grünland nicht befahrbar und die Rapsbestellung fand oft verzögert statt. Zusatzberegnungen waren nicht nötig und es war eine schwierige Heusaison, die oft noch bis in den September verlängert werden musste.

Der Monat September schloss mit annähernd normalen Mitteltemperaturen ab. Die Aussaat von Wintergerste war regional durch Bodennässe zeitweise behindert. Die Saatbettbereitung von Winterraps lief meist problemlos ab und war nur auf schwereren Böden zeitweise eingeschränkt. Das Auflaufen war dann pünktlich, gefördert durch ausreichende Bodentemperaturen und die Feuchtigkeit. Es gab Ernteverzögerungen bei Kartoffeln durch die Bodennässe. Geringere Schalenfestigkeit und noch nicht physiologisch ausgereifte Knollen traten insbesondere in Mecklenburg-Vorpommern wegen der Nässe auf. Ein erhöhter Anteil grüner Knollen entstand durch abgeschwemmte Erde von den Dämmen.

Der Oktober war etwas zu kühl und relativ trocken. Trotzdem war die Befahrbarkeit der Böden nicht immer gegeben. Daraus resultierten vor allem Verzögerungen bei der Zuckerrüben-, Mais- und Kartoffelernte. Auch die Saatbettbereitung und Aussaat von Winterweizen wurde behindert. Wachstum und Entwicklung von Winterraps, Wintergerste und Roggen verlief meist ohne Probleme.

Der November gestaltete sich besonders in der zweiten Hälfte ansatzweise winterlich. Niederschläge sorgten weiter für Behinderungen bei Arbeiten auf schwereren Böden. Einige Schläge mit Silomais oder Zuckerrüben konnten immer noch nicht geerntet werden. Der gesamte meteorologische Herbst war durch ungewöhnlich hohe Sickerwasserraten geprägt, mit Ausnahme der Rübenbestände. Die gut aufgewachsenen Winterungen wurden temperaturbedingt in ihrer Entwicklung gebremst und konnten erste Kälteresistenz aufbauen. Stärkere Fröste blieben jedoch aus.

Nach der ersten Dezemberdekade setzte Vegetationsruhe ein und längere, aber leichte Fröste traten auf, ohne dass sich eine dauerhafte Schneedecke bildete. Regional drang der Frost bis unter 10 cm in den Boden ein. Die Sickerwasservorgänge im Unterboden gingen insbesondere bei schwereren Böden weiter. 2007 war durch

die sehr warmen ersten Monate insgesamt eines der wärmsten Jahre und ein in der Summe recht nasses Jahr.

Brandenburg, Berlin, Sachsen-Anhalt, Thüringen und Sachsen

Der Januar erwies sich als stürmisch und mild. In einigen Wäldern reiften an sonnigen Stellen Heidelbeeren. Die milde Witterung hatte aber auch zur Folge, dass stellenweise Wiesenknaulgras, Löwenzahn, Akelei, Lavendel, Mädchenauge, Gänseblümchen und diverse Gehölze wie Haselnuss und Forsythie blühten. Für Pilzsammler war die Saison überhaupt noch nicht zu Ende gegangen.

Der Februar begann mild und unbeständig. Zahlreiche Weizenschläge hatten einen beträchtlichen Unkrautbesatz. Die phänologische Verfrühung betrug Mitte Februar etwa 30 bis 40 Tage. Zu Beginn der dritten Februardekade wurden im Süden Sachsen-Anhalts, in Thüringen und in weiten Teilen Sachsens 12 bis 15 °C gemessen. Im März waren durch recht hohe Niederschlagsmengen viele Flächen nicht befahrbar. Zum Monatsende begannen die Winterrapsbestände zu blühen sowie erste Körnerleguminosen aufzulaufen.

Der April begann zunächst frostig. Am 14.04. wurden jedoch die ersten Sommertage mit einem Maximum über 25 °C erreicht. Die extrem warme, sonnenscheinreiche und niederschlagsarme Witterung prägte den gesamten April, so dass Ende des Monats die Bodenwasservorräte für diese Jahreszeit extrem geringe Werte aufwiesen. Mit z.T. kräftigen Niederschlägen im Mai wurde das Defizit jedoch weitgehend kompensiert. Tägliche Werte von mehr als 50 mm Niederschlag, begleitet teilweise von Hagel, wurden z.B. am 22. Mai registriert.

Der Juni war ebenfalls durch ergiebige Niederschläge und längere unbeständige Wetterlagen geprägt. In den Kartoffelbeständen gab es Probleme mit der Krautfäule. Im Juli gelang Hoch Andrea am 14. und 15. mit 29 bis 37 °C ein großer Wurf. Am 16.07. maß man in Magdeburg 38 °C und in Holzdorf knapp 39 °C. Frontensysteme sorgten am 21. und 22.07. für anhaltenden, schauerartig verstärkten und gewittrigen Regen. In Wiesenburg belief sich die Niederschlagshöhe auf 66 mm.

Im August herrschte eine zyklonale Großwetterlage. Sie begünstigte sehr kräftige Niederschlagsgebiete. Zyklonaler Einfluss prägte auch ab 20.08. mit Niederschlägen das Wettergeschehen. Sie erwiesen sich örtlich als sehr ergiebig. So fielen vom Morgen des 20.08. bis zum Morgen des 21.08. in der Schorfheide örtlich über 60 mm, in der Uckermark und im Havelland örtlich über 50 mm Regen. Die westlichen Teile Thüringens und Sachsen-Anhalts erhielten den massiven Niederschlag erst am 21.08. mit Spitzenwerten im Harz nahe 80 mm in 24 Stunden. Auch der 22.08. bescherte noch ergiebigen schauerartigen und gewittrigen Regen.

Aufgrund der schlechten Befahrbarkeit der Böden mussten die Feldarbeiten wie die Getreideernte vielerorts ruhen. Der August erwies sich an vielen Orten als zwölfter Monat in Folge mit übernormaler Wärme.

Der Oktober begann heiter bis sonnig mit 15 bis 21 °C. Mitte des Monats gab es Bodenfrost. Bei guter Befahrbarkeit der Böden konnten die Rübenrodung und die Maisernte ohne Probleme weitergeführt werden.

Häufiger Wechselfrost in der Krume hatte in der Zeit um Mitte November ein Auftauen tagsüber und nachts ein Gefrieren des Bodensubstrats und damit Bodenbewegungen (Dehnung, Hebung) zur Folge. Bei jungen Saaten dürfte dies zu Schädigungen am Wurzelsystem in Gestalt von Wurzelrissen geführt haben. Sofern es die Befahrbarkeitsverhältnisse zuließen, erfolgten bei zwischengelagerten Zuckerrüben am Feld-

rand der Abtransport zu den Betrieben der Verarbeitungsindustrie und das Ziehen der Winterfurche. Landwirtschaftliche und gärtnerische Transportmaßnahmen wurden teilweise durch Nebel und überfrierende Nässe, sowie durch Schnee- und Reifglätte beeinträchtigt. Stellenweise war die Ernte des Körnermais bis zum Jahresende noch nicht abgeschlossen.

Hessen, Saarland, Rheinland-Pfalz, Nordrhein-Westfalen

Das Jahr 2007 war in den o.g. Bundesländern recht sonnig, fast überall zu nass und um bis zu 1,5 K zu warm. Die Niederschläge verteilten sich nicht gleichmäßig auf das Jahr. Einzelne Monate erzielten einen erheblichen Regenüberschuss, während andere Monate (besonders der April und der Oktober) ein erhebliches Defizit aufbauten. Nur in wenigen Gebieten wies der Niederschlag ein Defizit auf, wobei es in Geisenheim mit 510 Litern pro Quadratmeter in dem vergangenen Jahr deutschlandweit mit am trockensten war. Der unterdurchschnittliche Wert resultiert hauptsächlich aus der großen Trockenheit im April und im Oktober, bei der jeweils ein Defizit von 35 bzw. 41 Litern pro Quadratmeter entstand.

Im ersten Halbjahr waren alle Monate um 1 bis 5 K zu warm. Im zweiten Halbjahr kehrten die Temperaturen auf ihr normales Niveau zurück. Gebietsweise war das zweite Halbjahr durchgehend zu kühl, die Abweichungen waren jedoch gering und konnten den Wärmeüberschuss aus dem ersten Halbjahr nicht ausgleichen.

Nach dem milden Herbst und bei außergewöhnlich warmem Winterwetter waren die Winterungen zum Jahresbeginn bereits weit entwickelt. Die Vegetationsruhe endete früh. Die Haselblüte begann verbreitet in der zweiten Januarwoche, womit sich der Eintrittstermin für den Vorfrühling um etwa 4 Wochen verfrühte. Da es bis zur Jahresmitte zu warm war, blieb bis zum Vegetationsende ein beachtlicher Vorsprung bei den Eintrittsterminen der phänologischen Phasen erhalten.

Im Folgenden wird schwerpunktmäßig auf die Trockenheit im April und die Entwicklung der Reben eingegangen. Nachdem die Böden ausreichend abgetrocknet waren, konnten die Äcker zügig bestellt werden. Das trockene und warme Frühsommerwetter im April beschleunigte zunächst das Pflanzenwachstum. Der Infektionsdruck, der sich in dem milden und nassen Winter aufgebaut hatte, wurde bei der Trockenheit deutlich reduziert.

Bei längerer Andauer der Trockenheit zeigte sich aber auch ihre Kehrseite, denn bei vielen Kulturen waren Trockenstress und Trockenschäden zu beobachten. Den Getreidepflanzen fehlte das Wasser, um genügend Ähren anlegen zu können, was letztendlich zu Mindererträgen führte. Mais und Kartoffeln konnten gebietsweise nicht auflaufen. Zuckerrüben und Sommergetreide konnten nach dem Auflaufen zunächst kaum weiterwachsen, da die Böden an der Oberfläche ausgetrocknet waren und den Wurzeln der Anschluss an die Bodenfeuchte fehlte. Besonders der Mais und die Zuckerrüben konnten allerdings vom weiteren Witterungsablauf profitieren, sodass hier die Ernte trotz der Anfangsschwierigkeiten zufriedenstellend ausfiel.

Den Trauben bot das Jahr 2007 einen idealen Witterungsverlauf für die Entwicklung und die Reifung. Nach dem milden Winter hatten die Reben bereits im Frühling einen erheblichen Vorsprung beim Austrieb. Nach dem warmen Frühjahr und dem „sommerlichen“ April begann die Reblüte im Mai und war damit – zumindest im Rheingau – so früh wie noch nie im Lauf der langjährigen Beobachtungen. Das Blühwetter war nicht optimal, da es kurz nach Blühbeginn kühler und regnerisch wurde und es daher teilweise zur Verrieselung kam.

Ab der zweiten Junihälfte normalisierten sich die Temperaturen und es regnete häufiger. Bei guter Wasser- und Nährstoffversorgung verlief die Entwicklung der Trauben trotzdem sehr günstig, zumal die Bestände von witterungsbedingten Krankheiten verschont blieben.

Anfang August wurde im Rheingau beim Riesling der Reifebeginn registriert und in der dritten Septemberdekade begann die Lese. Da es im Oktober lange Zeit sonnig und trocken war, konnten die Winzer den optimalen Lesezeitpunkt abwarten und die Lese bis zur dritten Dekade ausdehnen. Mit einer weiteren Zunahme an Mostgewicht und Aromastoffen wurde die Qualität dabei noch gesteigert.

Der Jahrgang 2007 brachte nicht nur qualitativ gute Trauben hervor, sondern auch relativ hohe Erträge. So wurden zum einen die fast leeren Fässer wieder gefüllt. Zum andern konnte ein Teil der Trauben für die Eisweinlese hängen bleiben. Die Risikobereitschaft wurde belohnt. Nach einem Kaltluftvorstoß Mitte Dezember wurde es von Tag zu Tag kälter. In einigen kalten Nächten und Dauerfrost ab dem 21. konnten die Trauben gut durchfrieren, und es konnte noch vor Weihnachten Eiswein gelesen werden. Damit entwickelte sich das Jahr 2007 für die Winzer vom Austrieb bis zum Eiswein zu einem Traumjahrgang.

Bayern, Baden-Württemberg

Der Wetterablauf des Jahres 2007 war in Bayern und Baden-Württemberg, wie auch in den anderen Teilen Deutschlands, von extremen Gegensätzen mit neuen Temperaturrekorden geprägt. Dem wärmsten Winter seit Beginn flächendeckender Aufzeichnungen folgte ein trockener April mit sommerlichen Temperaturen. Die dadurch ausgelöste Dürre wurde von einem nassen Mai beendet. Ab Juli waren alle Monate zu kühl.

Der Januar war um 5 Grad wärmer als im langjährigen Mittel (1961-90). Damit setzte sich an den meisten Stationen die Reihe überdurchschnittlich warmer Monate, die im September 2006 begonnen hatte, fort. Die Entwicklung und das Wachstum der Winterkulturen, aber auch vieler Wildpflanzen (einschließlich der Unkräuter und Gräser) wurden kaum gestoppt. Die Pilzkrankheiten konnten sich ebenfalls weiterentwickeln. Die Natur war der normalen Entwicklung insgesamt um 2 bis 3 Wochen voraus. Die Schneeglöckchen blühten sogar etwa sechs Wochen früher als normal. Die unbeständige Witterung führte vor allem nördlich der Donau zu überdurchschnittlichen Niederschlägen. Das Orkantief „Kyrill“ verursachte große Schäden in den Waldbeständen und brachte damit beste Voraussetzungen für einen späteren Borkenkäferbefall.

Der Februar war ebenfalls zu warm und mit Ausnahme des Alpenrandes zu feucht. Zwar konnten sich die Pflanzen über den Winter gut weiterentwickeln, die Böden lagerten aber aufgrund der fehlenden Frostgare dichter als in anderen Jahren. Dies beeinträchtigte vielerorts die Wasserführung der Böden. Auch die Mäuse konnten sich aufgrund der milden Witterung extrem stark vermehren. Sie verursachten in vielen Äckern große Kahlflächen.

Der ebenfalls zu warme März erlaubte bis zum 19. erste Feldarbeiten, wie die Aussaat von Sommerungen. Danach setzte wechselhaftes Wetter ein, das kurz vor Monatsende von Hochdruckwetter abgelöst wurde. Dieses ermöglichte die Aussaat von Zuckerrüben.

Dabei galt es die Bodenfeuchte zu nutzen, denn der April war der wärmste, trockenste und sonnenscheinreichste seit Beginn der Aufzeichnungen. An einigen Standor-

ten fielen kaum mehr als 1 mm Regen. Zu spät gesäte Zuckerrübenbestände konnten aufgrund zu geringer Bodenfeuchte nicht oder nur ungleichmäßig auflaufen. In Verbindung mit den zu hohen Temperaturen führte dies dazu, dass auf leichten, sandigen Böden Getreide und Grünland das Wachstum einstellten. Auf guten Standorten profitierte jedoch das Wintergetreide von den hohen Temperaturen. Denn dadurch wurde die Ausbreitung der in den Beständen massiv vorhandenen Pilzkrankheiten gestoppt und die zu üppig entwickelten Bestände auf ein normales Maß reduziert, die Lagergefahr also verringert. Die Waldbrandgefahr lag auf einem für den Monat April sehr hohen Niveau. Die Borkenkäfer breiteten sich regional stark aus. Feuerbrand, eine Bakteriose, konnte sich aufgrund der hohen Temperaturen während der gesamten Apfelblüte massiv ausbreiten. Vielerorts mussten ganze Kernobstplantagen, in Baden-Württemberg über 3000 Hektar, gerodet werden.

Der Mai war erneut ein zu warmer Monat. Die hohen Niederschläge glichen aber an den meisten Standorten das Niederschlagsdefizit des Aprils aus. In den Getreidebeständen breiteten sich die Krankheiten, mit Ausnahme von *Septoria tritici*, verhalten aus. Der Frühling war wie der Winter der wärmste seit Beginn der flächendeckenden Aufzeichnungen. Die Sonnenscheindauer lag im Mittel um 50 Prozent höher als normal, was vor allem den Zuckerrüben zugute kam. Die Niederschlagshöhe entsprach dem langjährigen Durchschnitt. Die hohen Temperaturen setzten sich fort. Die Wachstumsbedingungen gestalteten sich insgesamt sehr günstig. Wildpflanzen und landwirtschaftliche Kulturpflanzen hatten einen Entwicklungsfortschritt von 2 bis 3 Wochen.

Der Juni war der 10. zu warme Monat in Folge. Vor allem in der niederschlagsfreien Zeit der ersten Monatsdekade konnte die Heuwerbung durchgeführt werden. Schauerartige Niederschläge förderten die Entwicklung der Pilzkrankheiten, insbesondere der *Phytophthora* (Kraut- und Knollenfäule) und der *Sclerotinia* (Rapskrebs), die in den vergangenen Jahren eine geringe Rolle gespielt hatten. Zu Beginn der letzten Junidekade wurde bereits die Wintergerste gedroschen. Ende Juni begann die Raps-ernte.

Die Temperaturen des Folgemonats Juli waren meist durchschnittlich. Dagegen fielen im Flächenmittel um ein Viertel höhere Niederschläge als im langjährigen Mittel, wobei die Niederschlagssummen naturgemäß von Region zu Region stark schwankten. Durch die unbeständige Witterung, insbesondere in der ersten Hälfte des Monats, verzögerten sich die Erntearbeiten. Dennoch waren zum Ende der zweiten Julidekade über 90 Prozent der Getreideflächen abgeerntet. Die Getreideernte erfolgte damit um ca. drei Wochen früher als im Durchschnitt der Jahre. Da die Böden vielerorts durchnässt waren, ließen sich Spuren und damit Bodenverdichtungen bei der Erntearbeit nicht vermeiden. In den Zuckerrüben traten die Blattflecken der *Cercospora beticola* außerordentlich früh auf. Ihre Entwicklung und Ausbreitung wurde durch die hohen Temperaturen zwischen dem 14. und 21. Juli stark gefördert.

Der Monat August war etwas zu kühl und meist zu nass. Der leichte Hochdruckeinfluss Mitte des Monats ermöglichte eine termingerechte Aussaat des Rapses, der durch die ausreichende Bodenfeuchte rasch aufblief.

Im September lagen die Temperaturen um 1 bis 2 Grad unter dem langjährigen Mittel bei meist überdurchschnittlichen Niederschlägen. Durch die niedrigen Temperaturen hatte der Raps Mitte des Monats vielerorts erst das 3-Blattstadium erreicht, und entwickelte sich weiterhin verhalten. Die einigermaßen trockenen Bedingungen erlaubten eine schonende Kartoffel-, Silomais und Zuckerrüben-ernte. Letztere begann ab dem 20. September.

Im Oktober fielen nur 10 bis 40 Prozent der durchschnittlichen Niederschläge. Die Monatsmitteltemperatur war etwa um ein halbes Grad zu niedrig. Der goldene Oktober bot aber genügend Feldarbeitstage für die Mais- und Zuckerrübenenernte sowie für die Herbstsaat. Der Körnermais konnte bei sehr hohen Trockensubstanzgehalten geerntet werden, wodurch der Energiebedarf für die Nachtrocknung des Ernteguts gering blieb.

Der November war, wie seine beiden Vormonate, zu kalt und zu nass. Damit war der meteorologische Herbst um rund 1 Grad zu kühl. Demzufolge entwickelten sich die Herbstsaaten vergleichsweise verhalten. Zwar ging die meist früher als normal gesäte Wintergerste voll bestockt in den Winter, Winterweizen und Raps waren aber trotz z.T. hoher Stickstoffdüngung im Herbst vielerorts deutlich schlechter entwickelt als in früheren Jahren.

Die Witterung im Dezember war bis zum 13. mild und niederschlagsreich. Danach führte ein umfangreiches Hochdruckgebiet in den Niederungen zu neblig-trübem, kaltem und in den Bergen zu sonnigem Wetter. Aufgrund der fehlenden Schneedecke konnte der Frost meist bis in Krumentiefe eindringen. Dies reichte aber noch nicht aus, um die bei der Getreideernte entstandenen Bodenverdichtungen aufzureißen. Insgesamt können die Landwirte trotz extremer Witterungsgegensätze mit dem Jahr 2007 zufrieden sein. Die Feldarbeiten konnten mit Ausnahme der Getreideernte meist bodenschonend durchgeführt werden. Die Getreide-, Mais-, Kartoffel- und Zuckerrübenenernte fiel an den meisten Standorten Süddeutschlands überdurchschnittlich aus.

Die Bodenfeuchtesituation während der Vegetationszeit 2007

Die Bodenfeuchtesituation 2007 der Monate Mai bis Oktober ist in der Abb. 1 dargestellt. In dieser Abbildung wird die Vegetationszeit überwiegend als überdurchschnittlich feucht charakterisiert. Nur der Mai ist aufgrund der extrem geringen Niederschläge im April noch teilweise zu trocken. Der April selbst war jedoch ein besonderes Ereignis. Die Bedingungen werden in der Abbildung 5 weiter unten dargestellt. Abgesehen von einigen wenigen Beregnungen im Mai kamen in allen Regionen die Landwirte ohne Zusatzberegnung bei den Marktfrüchten aus.

Die Tabelle 1 charakterisiert den extrem milden Jahresbeginn. Die Temperaturen in Bodennähe lagen im Januar zum großen Teil mehr als 5 K über dem langjährigen Mittelwert. Alle Rekorde schlägt jedoch der April. Während die Verdunstung ca. 150 % des langjährigen Wertes erreichte, wurden nur 20 % der langjährigen Benetzungszeiten registriert. Der Juni war bei den Temperaturen zunächst noch zu warm, aber die Feuchte- und Verdunstungsgrößen deuten schon die feuchteren Bedingungen an, die auch in den Folgemonaten dominierten.

Die phänologische Entwicklung im Jahre 2007

Ein sehr milder Winter ließ die Schneeglöckchenblüte im größten Teil Deutschlands im Westen und Nordwesten um drei Wochen, im übrigen Deutschland um vier Wochen verfrüht beginnen. So wurde der Beginn des Vorfrühlings in den klimatisch begünstigten Gebieten des Westens und Südwestens in der zweiten Januarhälfte beobachtet. Bis zur zweiten Februardekade wurde diese Phase aus fast allen Gebieten gemeldet.

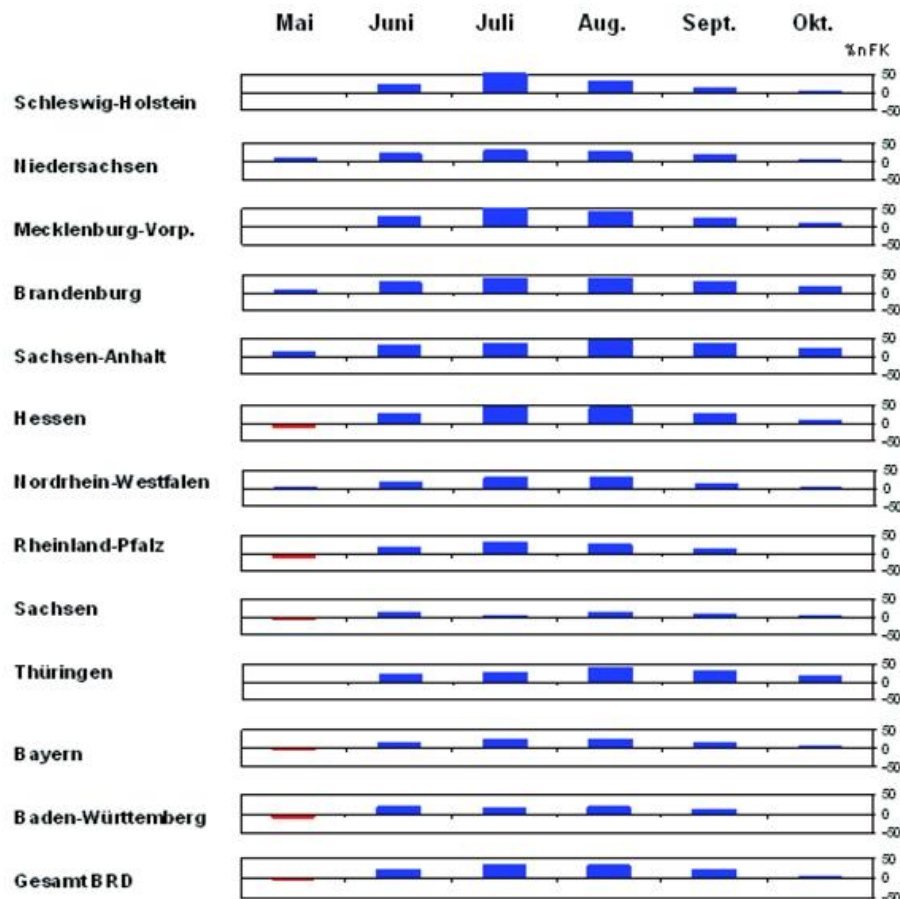


Abb. 1 Monatliche Abweichungen der Bodenfeuchte von Wintergetreide auf leichten Standorten (% nFK) im Jahr 2007 vom langjährigen Mittelwert 1962 - 2006 (rot = zu trocken, blau = zu feucht)

Da auch die folgenden Frühjahrsmonate zu warm ausfielen, konnte der Vollfrühling, der durch den Beginn der Apfelblüte beschrieben wird, in der zweiten und dritten Aprildekade einsetzen. Diese phänologische Jahreszeit begann um drei Wochen verfrüht.

Die Tendenz zur Verfrühung der Eintrittsphasen setzte sich durch den deutlich zu warmen April fort. So wurde der Beginn des phänologischen Frühsommers, der kurz nach dem Beginn des Ährenschiebens von Winterroggen einsetzt, örtlich in den letzten Apriltagen, meist aber im ersten Maidrittel beobachtet. Die Eintrittsdaten lagen weiterhin um drei Wochen verfrüht.

In den Sommermonaten lagen die Monatsmitteltemperaturen bei häufigen Niederschlägen nur geringfügig über den vieljährigen Durchschnittswerten. So wurden die ersten reifen Kastanien, die den Beginn des Frühherbstes zeigen, in den ersten beiden Septemberdekaden beobachtet. Im übrigen Deutschland begann der Frühherbst im zweiten und letzten Septemberdrittel. Die Eintrittsdaten waren im Norden und Osten um zwei Wochen, in den anderen Gebieten um eine Woche verfrüht. Im Bergland wurden die Kastanien um eine Woche verspätet reif.

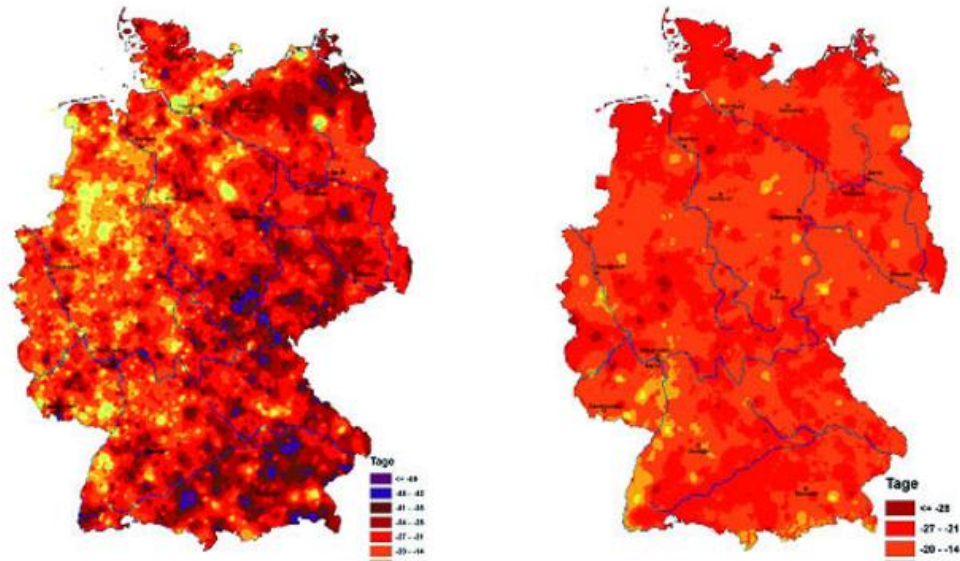


Abb. 2: Abweichung der (links) Schneeglöckchen- und (rechts) Apfelblüte vom vieljährigen Mittel

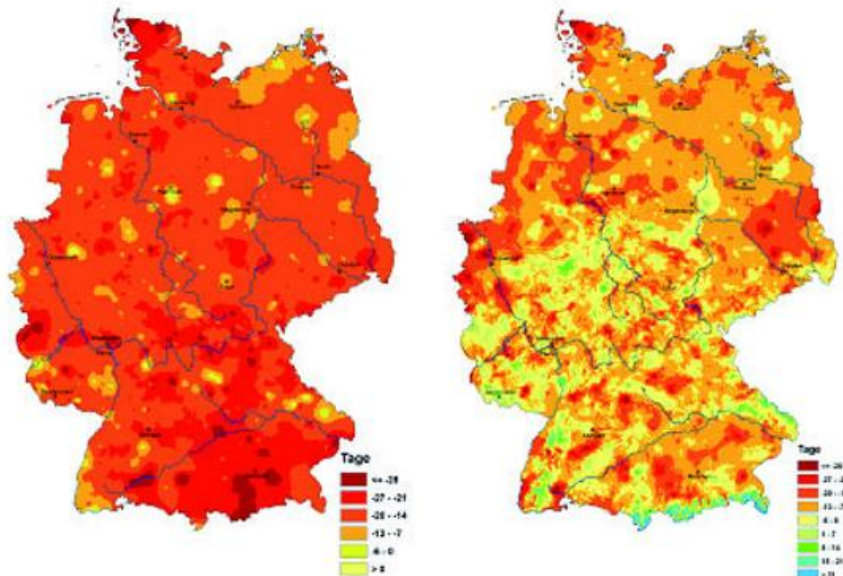


Abb. 3: Abweichung der Eintrittsdaten für das Ährenschieben vom Winterroggen (links) und der Fruchtreife der Rosskastanie (rechts) vom vieljährigen Mittel

Besondere Situation 2007

Der Winter 2006/2007 kann als großes Freilandexperiment für die Auswirkungen der zu erwartenden Klimaänderung auf Landwirtschaft und Natur bezeichnet werden. Die extrem milden Temperaturen werden in der Abb. 4 deutlich. Dargestellt sind die berechneten Bodentemperaturen, gemittelt über die Monate Oktober bis April des Folgejahres und als Mittelwert über die gesamte Bundesrepublik. Der Winter 2006/2007 übertrifft den bisherigen Rekord des Winters 2001/2002 noch einmal um mehr als 1 K. In Verbindung mit insbesondere im Januar überdurchschnittlichen Niederschlägen sorgten die Temperaturen für Verhältnisse, wie die Klimamodelle sie überwiegend für den Zeitraum ab 2050 prognostizieren. Nach dem milden Winter folgte der extrem trockene April. Die Abbildung 5 stellt die Bodenfeuchte für einen leichten Bo-

den für Wintergetreide in den verschiedenen Regionen Deutschlands dar. In der gesamten Bundesrepublik weist die Bodenfeuchte Ende April 2007 Werte unter 50 % nutzbarer Feldkapazität auf und stellt seit 1962 einen neuen negativen Rekord auf. Geringe Krumenbodenfeuchte verhindert vielerorts das Auflaufen des Sommergetreides und der Hackfrüchte. Der Mai und die Folgemonate sorgten dann jedoch für einen raschen Bodenfeuchteanstieg.

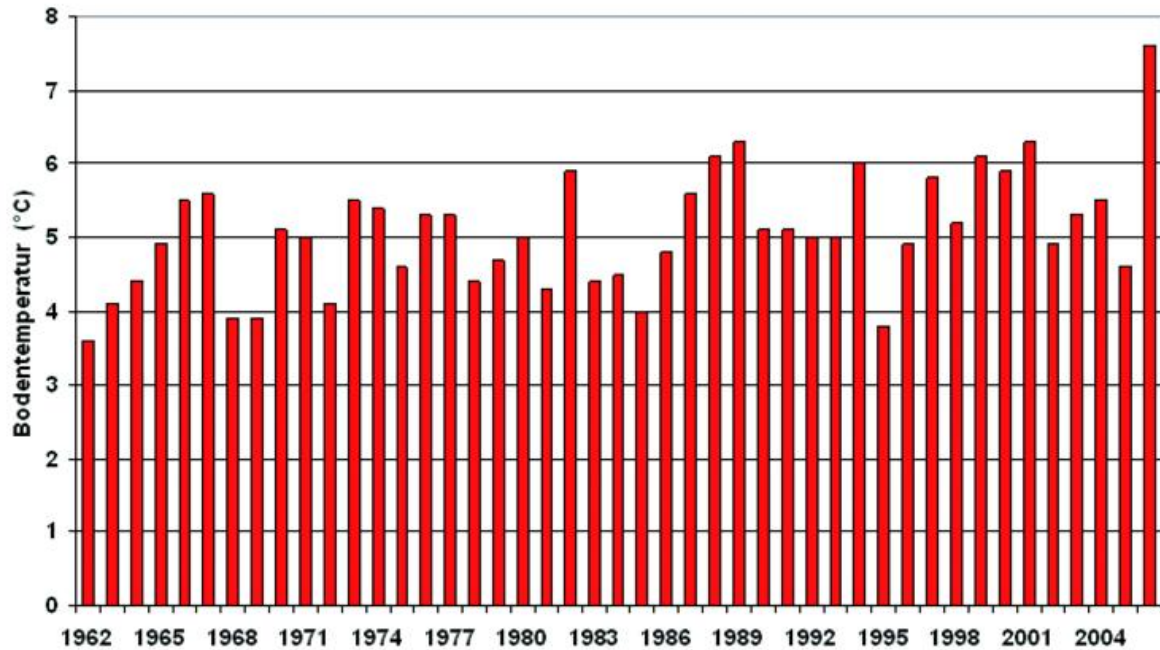


Abb. 4: Bodentemperatur eines unbewachten Bodens in 5 cm Tiefe – Mittelwerte Oktober bis April über alle Bundesländer 1962/63 – 2006/07

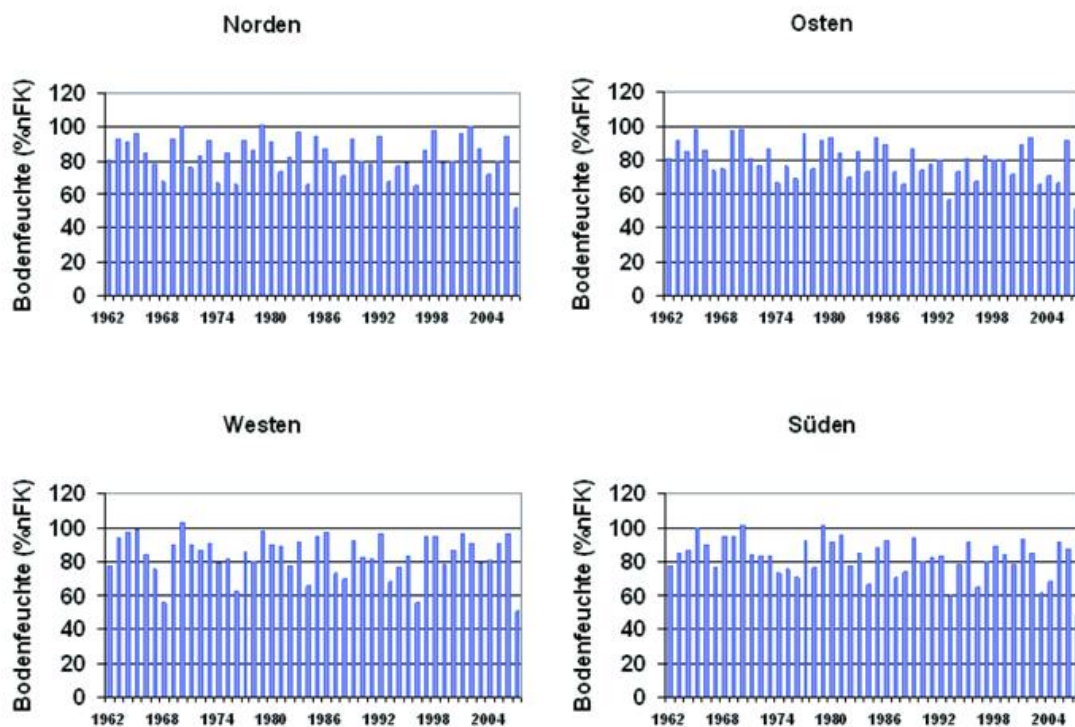


Abb. 5: Bodenfeuchte (% nFK) Ende April – leichter Boden, Wintergetreide 1962 – 2007

Entwicklung der Ozonschicht

H. Claude, W. Steinbrecht und U. Köhler

Wie in den Vorjahren, setzte sich auch 2007 die Erholungstendenz der Ozonschicht fort. Die Jahresmittel der Ozonsäule in den letzten fünf Jahren unterscheiden sich untereinander kaum. Mit Werten knapp über 320 Dobson Einheiten überschritten sie allesamt jedoch das Zehnjahresmittel der vorangegangenen neunziger Jahre von 316.5 Dobson Einheiten. Die Ozonschicht ist aber noch immer dünner als während der siebziger und achtziger Jahre des 20. Jahrhunderts, als der starke Ozonschwund in der Stratosphäre stattfand (Abb. 1).

Im Großen und Ganzen entspricht diese Entwicklung den Erwartungen, da sich die relevanten Einflussfaktoren, wie Chlorgehalt, Aerosolgehalt der unteren Stratosphäre, solarer Fluss, sowie Einflüsse seitens der atmosphärischen Zirkulation 2007 kaum geändert haben (Claude et al., 2007). Lässt man die aerosol-bedingten Minima der Jahre 1992 und 93 unberücksichtigt, als durch den Pinatuboausbruch zusätzlich Ozon zerstört wurde, so scheint seit 1997 beim Ozon eine Trendumkehr eingesetzt zu haben. Dies entspricht dem allmählich einsetzenden Chlor-Rückgang (vgl. Yang et al., 2006).

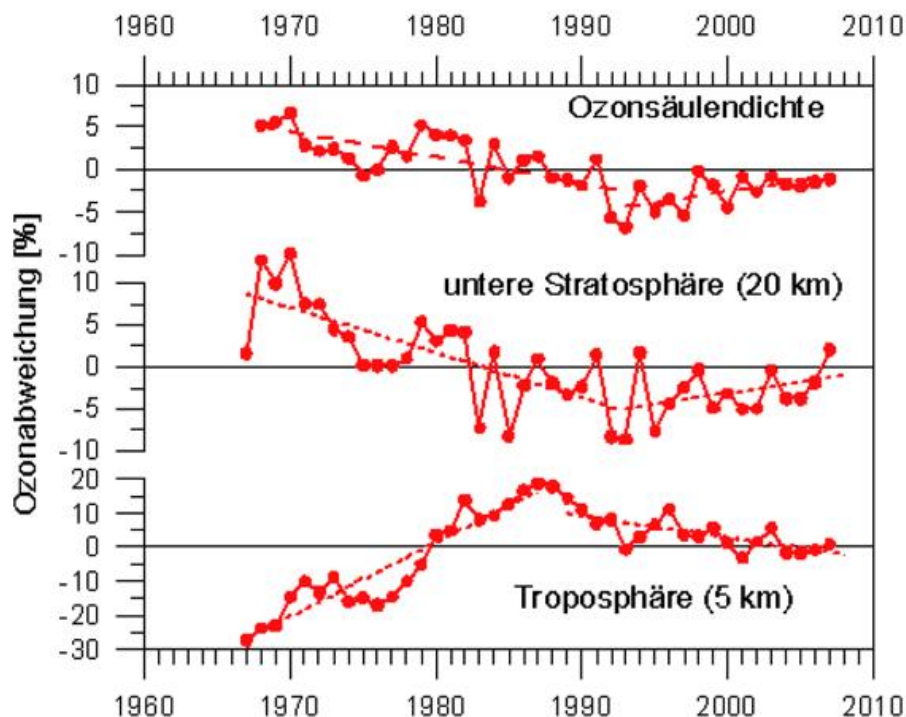


Abb. 1: Jährliche prozentuale Abweichung (Anomalie) der Ozonsäule (oben), des Ozonpartialdruckes der unteren Stratosphäre (Mitte) und des Ozonpartialdruckes der mittleren Troposphäre (unten), jeweils mit Ausgleichgeraden für wichtige Zeitabschnitte.

Der Hauptbeitrag zur Ozonsäule stammt aus der unteren Stratosphäre zwischen 15 und 30 km Höhe. Entsprechend zeigen die Ballonsondierungsdaten für 20km Höhe einen recht ähnlichen Verlauf wie die Ozon-Gesamtsäulen. Besonders niedrige Werte, wie 1983, 1985, 1992 oder 1993, kamen in den letzten Jahren gar nicht mehr vor.

2007 lag der Wert in 20 km zum ersten Mal wieder über dem langjährigen Mittel. Trotz Schwankungen scheint sich beim Gesamt Ozon und in der Höhe der maximalen Ozondichten eine Erholungstendenz durchzusetzen.

In der mittleren Troposphäre (5 km) waren die ersten zwanzig Jahre der Zeitreihe von einer enormen Zunahme des Ozongehaltes geprägt. Auch dieser Trend hat sich seit Ende der 1980er Jahre nicht mehr fortgesetzt. Der Rückgang des troposphärischen Ozons war anfangs stark, hat sich aber seit 1992 abgeschwächt. Kontinuierliche Messungen direkt an Bergstationen wie Zugspitze (2965m) und Hohenpeißenberg (988m) zeigen den Rückgang seit 1988 jedoch nicht, hier ist der Trend durchgehend leicht zunehmend (s. hierzu den gesonderten Beitrag zum bodennahen Ozon und Ozonbulletin des DWD, Nr. 116). Dieser Unterschied ist bisher kaum verstanden.

Die erfreulichen Ansätze zur Erholung der Ozonschicht in der Stratosphäre dürfen nicht darüber hinwegtäuschen, dass die schützende Ozonschicht immer noch dünner ist als vor 1980. Die natürlich bedingte große Schwankungsbreite kann zusätzlich jederzeit vorübergehend für eine dünne Ozonschicht und damit für ein erhebliches Sonnenbrandrisiko sorgen. Dies zeigt Abbildung 2 in Form des Jahresganges für den UV-Index. Die zugrunde liegenden UV-Spektren werden seit 1990 am Hohenpeißenberg gemessen und z.B. in den weit verbreiteten UV-Index umgerechnet (vgl. Ozonbulletin Nr. 117).

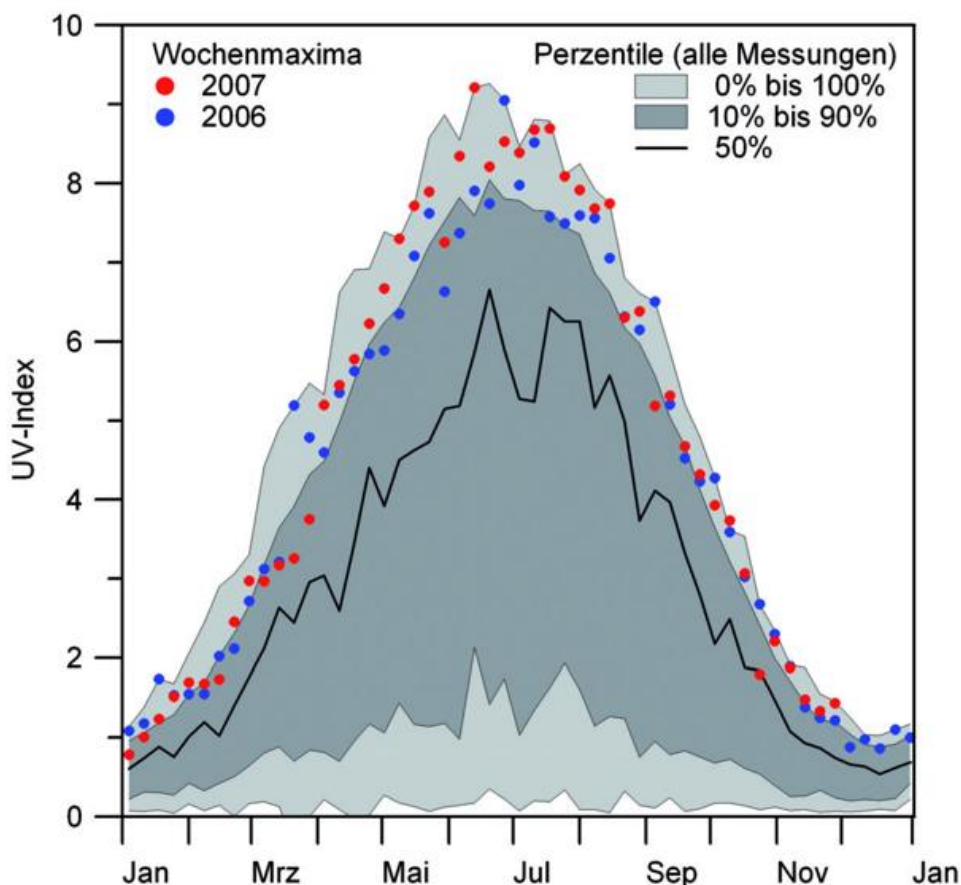


Abb. 2: Jahresgang der Wochenmaxima des UV-Index 2006 (blau) und 2007 (rot) aus UV-B-Messungen am Hohenpeißenberg. Zum Vergleich sind die Häufigkeits-Perzentile der 15-jährigen Klimatologie (1993 bis 2007) aller UV Messungen gezeigt (graue Schattierung).

Wie sich grundsätzlich die UV-Strahlung über das Jahr verteilt, das zeigen die Perzentile der mittäglichen UV-Index Klimatologie am Hohenpeißenberg. Bedingt durch den Sonnenstand treten hohe UV-Werte vor allem im Sommer auf. Bewölkung kann die UV-Werte stark reduzieren. Besonders intensiv ist die Strahlung bei klarem Himmel und geringer Ozonsäulendichte. Die blauen und roten Punkte geben die UV-Index Wochenmaxima für 2006 und 2007 wieder. In beiden Jahren sind immer wieder ausgesprochen hohe UV-Indexwerte aufgetreten. Zwischen Mai und August wurden Spitzen von 7 bis 9 erreicht, wodurch ein erhebliches Sonnenbrandrisiko gegeben war (s. auch Ozonbulletin des DWD, Nr. 117). Aktuelle UV-Warnungen bis auf Landkreisebene und Prognosen für andere Erdregionen werden tagesaktuell vom DWD berechnet und unter <http://www.dwd.de/de/WundK/Warnungen/UV/index.htm>; <http://www.uv-index.de> verbreitet.

Literatur

Ozonbulletin des DWD, Nr. 116, Nr. 117, 2007.

Claude, H.; Steinbrecht, W.; Köhler, U. Entwicklung der Ozonschicht. Klimastatusbericht des DWD 2006

Yang, E.-S., D.M. Cunnold, R.J. Salawitch, M.P. McCormick, J. Russell III, J.M. Zawodny, S. Oltmans, and M.J. Newchurch, Attribution of recovery in lower-stratospheric ozone, *J. Geophys. Res.*, 111, D17309, doi:10.1029/2005JD006371, 2006.

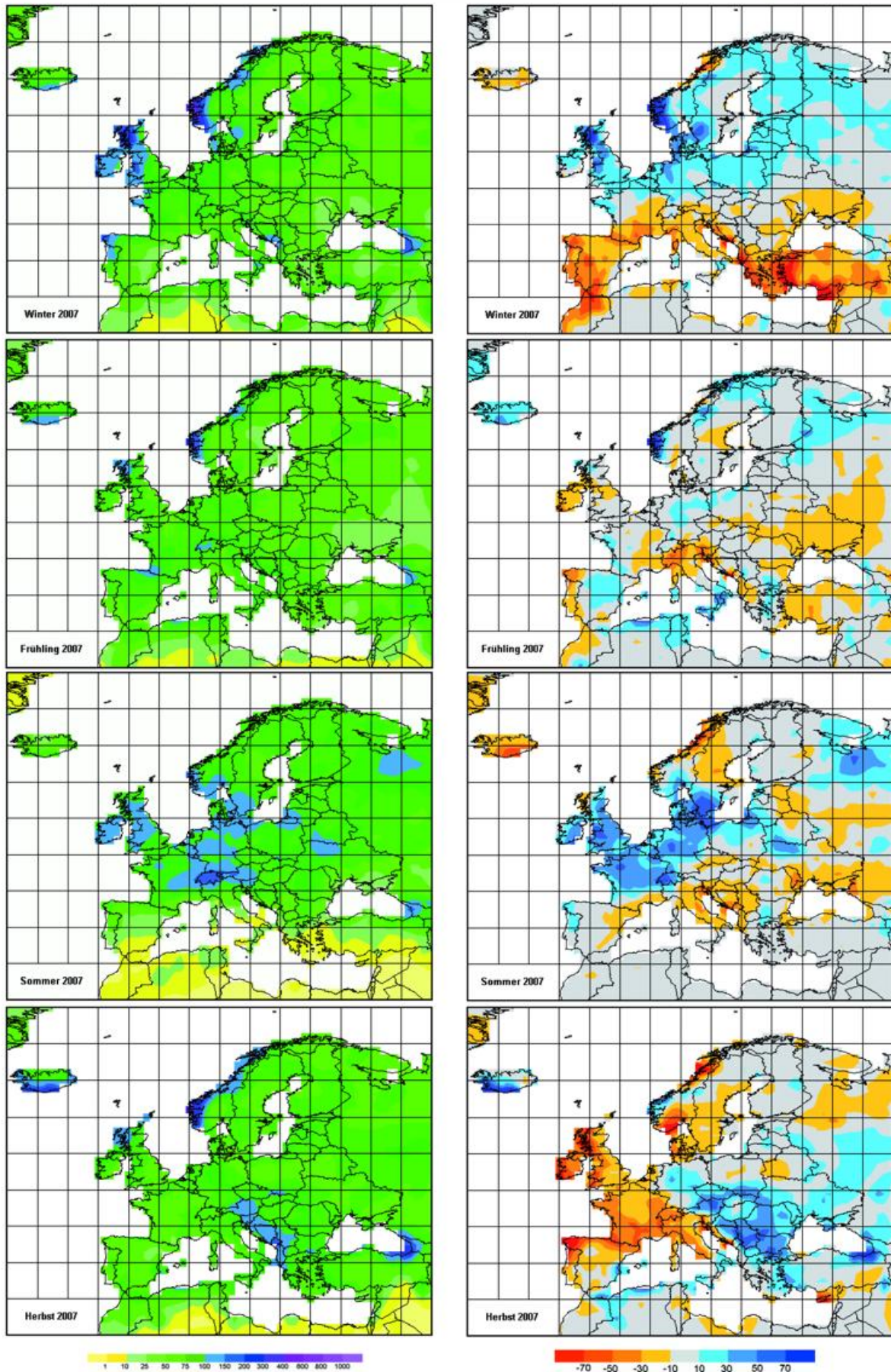


Abb. 2a: Niederschlagshöhe für die Jahreszeiten in mm/Monat

Abb. 2b: Niederschlagsanomalie für die Jahreszeiten in mm/Monat (Bezugszeitraum 1961–)

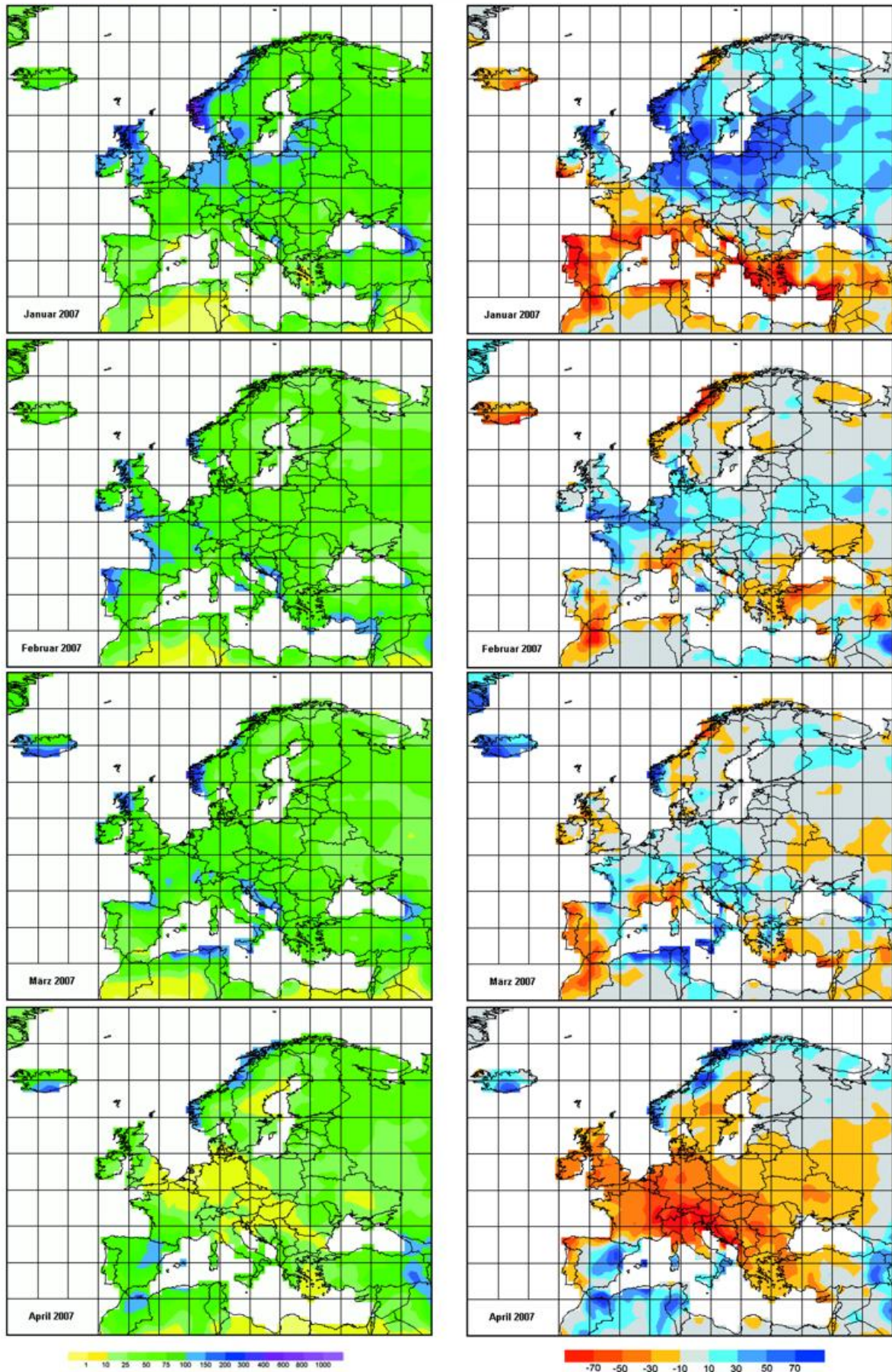


Abb.3a: Monatliche Niederschlagshöhe in mm

Abb.3b: Monatliche Niederschlagsanomalie in mm (Bezugszeitraum 1961–1990)

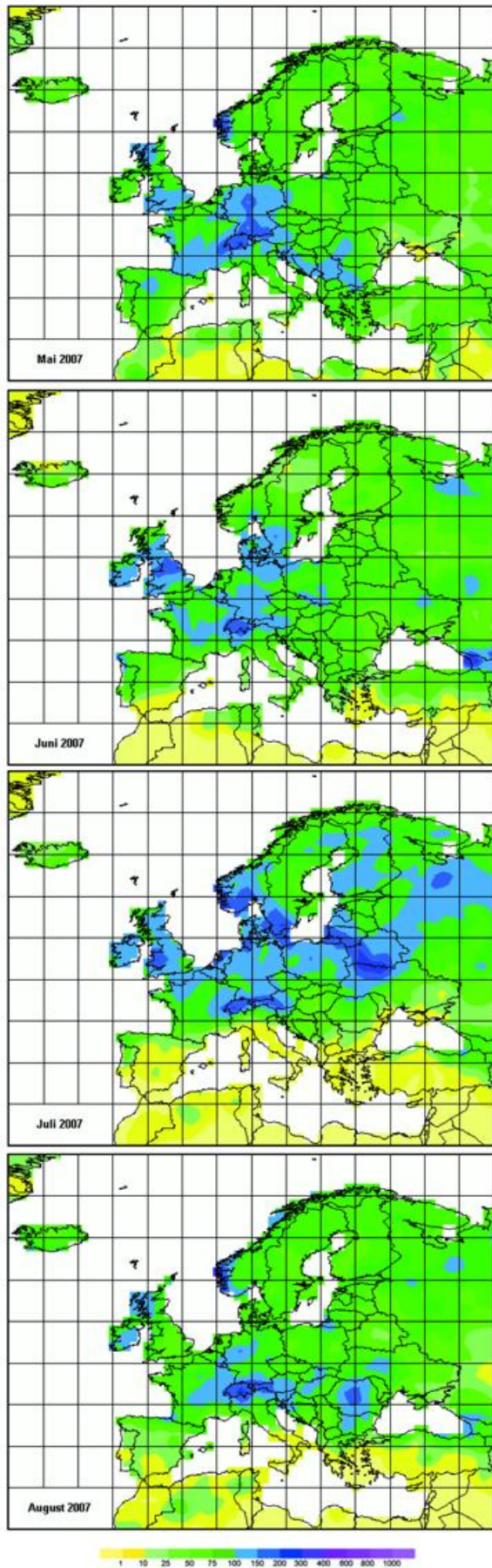


Abb.3a: (Fortsetzung) Monatliche Niederschlags-
höhe in mm

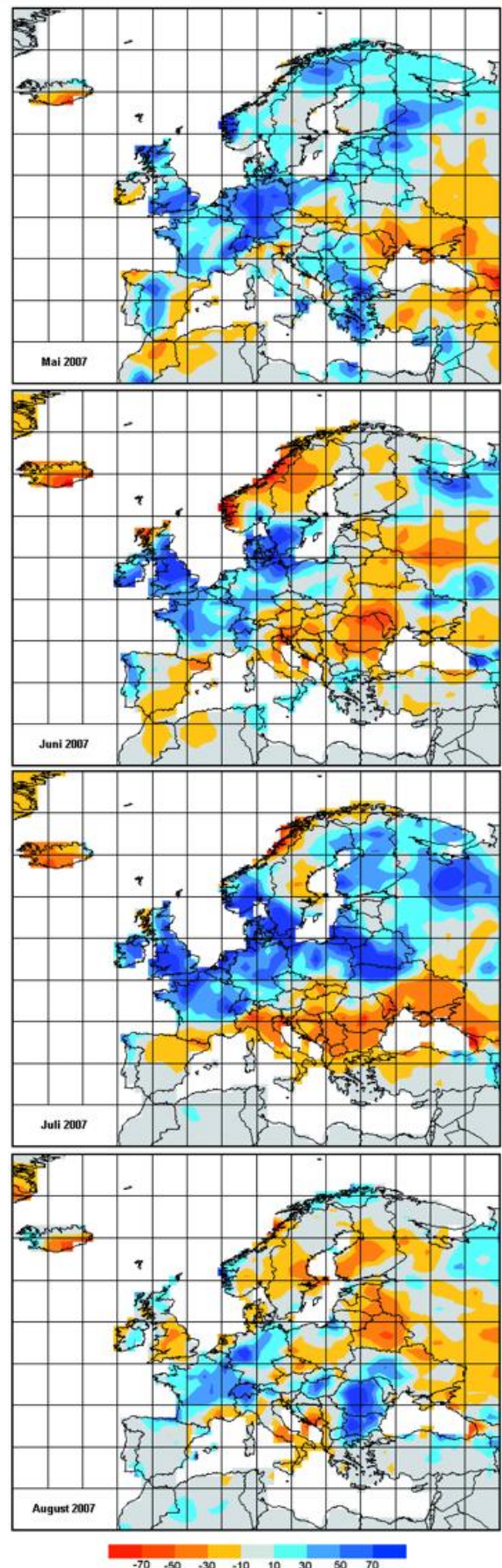


Abb.3b: (Fortsetzung) Monatliche Niederschlags-
anomalie in mm (Bezugszeitraum 1961–1990)

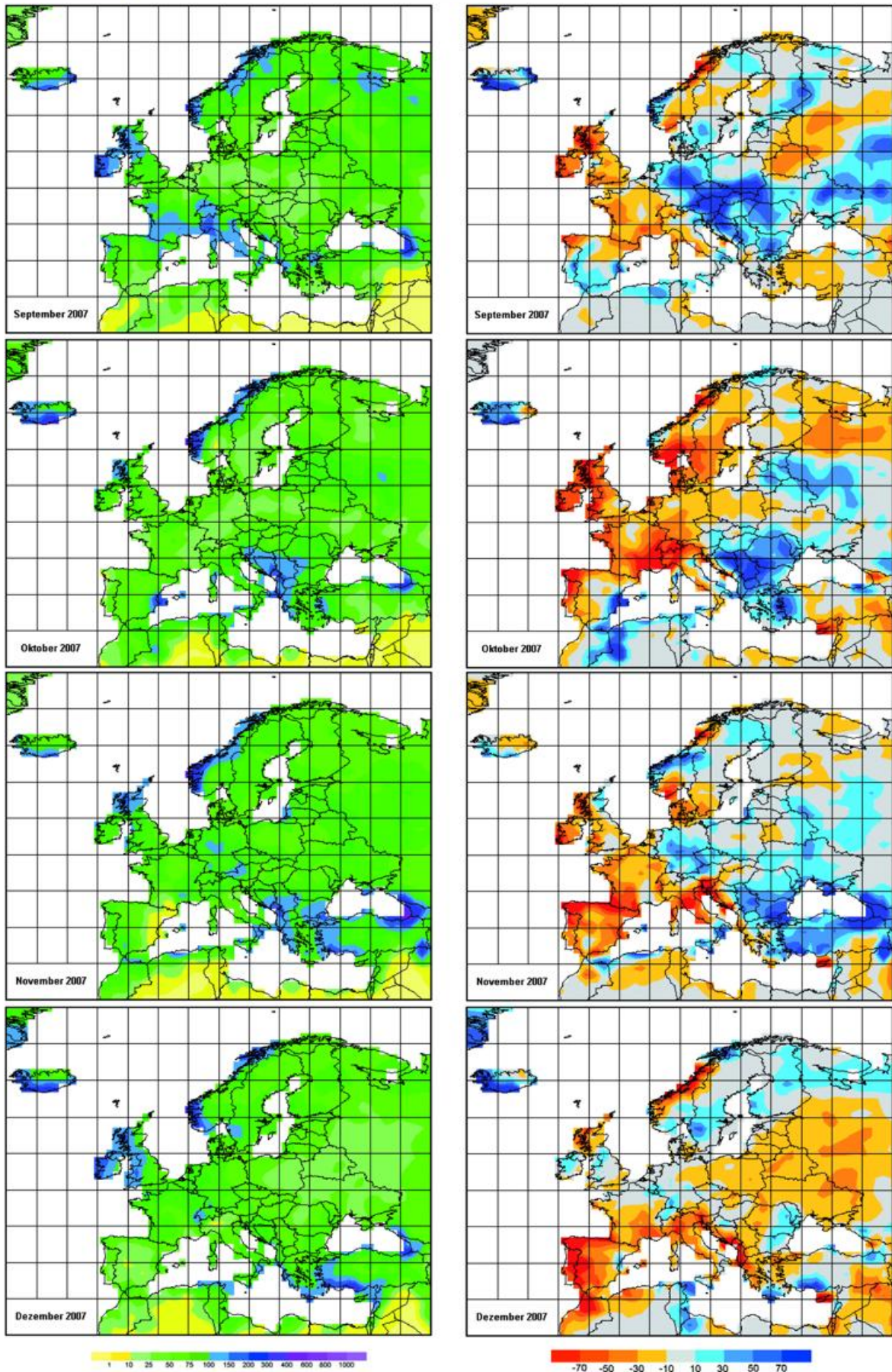


Abb.3a: (Fortsetzung) Monatliche Niederschlags-
höhe in mm

Abb.3b: (Fortsetzung) Monatliche Niederschlags-
anomalie in mm (Bezugszeitraum 1961–1990)

Die monatlichen Niederschläge und extremen Niederschlagsereignisse in Europa im Jahr 2007 von Januar bis Dezember:

Kurzzeitige Extremniederschläge oder über mehrere Tage anhaltende ergiebige Niederschläge erreichen z.T. das durchschnittliche „Monatssoll“ bzw. liegen sogar höher und sind damit auch in den Karten der monatlichen Niederschlagshöhen (Abb. 3a) bzw. Niederschlagsanomalien (Abb. 3b) sichtbar. Wesentliche zu lokalen oder regionalen Hochwasser- bzw. Dürreschäden in Europa führende monatliche Niederschlagsereignisse werden nachfolgend für jeden Monat des Jahres 2007 kurz beschrieben.

Im *Winter* waren speziell im Januar großflächig anomal hohe Niederschläge zu verzeichnen. Mehrere Winterstürme („Franz“, „Hanno“, und „Kyrill“) zogen im Januar von der Nordsee bis weit nach Osteuropa und führten dabei auch z.T. heftigen Regen mit sich, der lokale Überschwemmungen in den betroffenen Gebieten zur Folge hatte. In den Alpen blieb auf Grund des aussergewöhnlich milden Winters Schnee weitgehend Mangelware.

Im *Frühjahr* führte heftiger Regen gekoppelt mit Schneeschmelze Ende März / Anfang April im Nordosten von Spanien zu Überschwemmungen. Hohe landwirtschaftliche Ernteauffälle in Höhe von etwa 40 Millionen Dollar waren die Folge. Im Großteil von Europa, insbesondere in Mitteleuropa, war der April durch außergewöhnliche Niederschlagsarmut bzw. völlig ausbleibenden Niederschlag gekennzeichnet. Die sich als Folge dieser Niederschlagsarmut abzeichnende Katastrophe in Form von massivem Ernteaufschlag und extremem Niedrigwasser blieb glücklicherweise aus, da ein überdurchschnittlich feuchter Mai die Wasserspeicher in Mitteleuropa wieder rasch auffüllte. Heftiger Starkregen verursachte in der zweiten Maihälfte in der Mitte und dem Süden von Spanien die großflächige Überflutung von Feldern, Weinbergen, und die Unterbrechung von Bahnlinien.

Im *Sommer* mussten die Einwohner der Ukraine die stärkste Dürre seit 100 Jahren überstehen. Nach einem sehr regenarmen Frühjahr folgte dort ein ebenso trockener Sommer und zerstörte die landwirtschaftliche Ernte. Erst im Laufe des Monats August setzte in dieser osteuropäischen Region wieder Regen ein. Im Gegensatz zur Ukraine waren die Monate Juni und Juli auf den Britischen Inseln außergewöhnlich feucht. Eine Mitte Juni beginnende Periode heftiger großflächiger Niederschläge führte zum feuchtesten Juni in Großbritannien seit 1873. Insgesamt war die Periode Mai bis Juli 2007 dort so feucht wie noch niemals zuvor seit Beginn der regelmäßigen Wetteraufzeichnungen. Die Folge der großen Regenmengen waren die schwersten Überschwemmungen seit 60 Jahren, die Süd- und Mittel-England großflächig unter Wasser setzten und dabei mehr als 340 000 Einwohner in mehr als 10 000 Häusern massiv beeinträchtigten. Im August verlagerte sich das Zentrum der Starkregenaktivität in andere Regionen Europas. In der ersten Augusthälfte waren in der Schweiz die stärksten Regenfälle seit mehr als 100 Jahren zu verzeichnen. Auch Teile von Rumänien und Bulgarien wurden im August von heftigen zu lokalen Überschwemmungen führenden Starkniederschlägen getroffen.

Der *Herbst* begann im September mit Starkniederschlägen in Mitteleuropa mit Schwerpunkt in Österreich, Ungarn, der Tschechischen Republik, Rumänien und Slowenien. Entlang der Donau und ihren Zuflüssen führte dies z.T. zu den stärksten Überschwemmungen der letzten 20 Jahre. Auch Süd-Spanien wurde im September von Gewittern mit Starkregen und nachfolgenden Sturzfluten getroffen. Dies setzte sich dort im Oktober fort. Dieses Mal trafen die Gewitterregenfälle und Sturzfluten speziell die Region um Alicante und Valencia, wo z.T. innerhalb von nur einer Stunde 100 mm Regen zu verzeichnen waren. In der zweiten Novemberhälfte wurde schließlich der Südosten Europas von kräftigen Regenfällen überzogen. In Serbien und in Montenegro wurden dabei mehr als 1000 Häuser überflutet. Auch in Griechenland mußten Ende November einige Dörfer evakuiert werden. In der Schweiz und Österreich brachte der früheste Wintereinbruch seit 30 Jahren schon in der ersten Novemberhälfte kräftigen Schneefall und daraus resultierend z.T. mehr als 1 m Schneehöhe in tiefen Lagen. Das Jahr endete mit einem bzgl. der Niederschlagsmengen in großen Teilen Europas durchschnittlichen Dezember.

Hinweise zur Datenbasis der Niederschlagskarten und Berechnung der Anomalien:

Die Niederschlagskarten dieses Beitrags beruhen auf Rasterdaten, die regelmäßig monatlich auf der Basis gemessener Niederschlagsdaten im Weltzentrum für Niederschlagsklimatologie (WZN, engl. Global Precipitation Climatology Centre, GPCC) berechnet werden (Rudolf et al., 1992, Rudolf und Schneider, 2005). Für das etwa zwei Monate nach Ablauf eines Analysemonats verfügbare „GPCC Monitoring Product“ (Fuchs et al., 2007) werden die in SYNOP- und CLIMAT-Meldungen über das globale Fernmeldesystem (Global Telecommunication System, GTS) empfangenen Daten von weltweit rund 7.500 Stationen nach einer gründlichen Qualitätskontrolle durch das WZN analysiert. Die Anomalien werden auf der Basis der Rasterdaten gebildet, die jeweils getrennt für die monatlichen Niederschlagsdaten des betrachteten Einzeljahres sowie für die Mittelwerte der Normalperiode 1961-1990 durch Interpolation berechnet wurden. Die Rastergröße der Analysen beträgt 1° mal 1° geographische Breite und Länge, die resultierenden Rasterwerte wurden zur Darstellung in den Karten (Abb. 1-3) geglättet. Die einheitliche Verwendung der Maßeinheit Millimeter pro Monat dient der Vergleichbarkeit der jährlichen (Abb. 1), jahreszeitlichen (Abb. 2) und monatlichen (Abb. 3) Niederschlagskarten.

Literatur

- Fuchs, T., U. Schneider und B. Rudolf (2007): Global Precipitation Analysis Products of the GPCC. Deutscher Wetterdienst, Offenbach a.M., Germany. 16 pp. Internetpublikation unter <http://gpcc.dwd.de>.
- Rudolf, B., und U. Schneider (2005): Calculation of Gridded Precipitation Data for the Global Land-Surface using in-situ 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.

Quellenangaben zu den aufgelisteten Extremereignissen

- EU-NatCatSERVICE der Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft, Deutschland
- Roger Brugge, University of Reading, UK, <http://www.met.rdg.ac.uk/~brugge/world.html>
- Dartmouth Flood Observatory, New Hampshire, USA, <http://www.dartmouth.edu/~floods>
- Meldungen der deutschen Tagespresse aus dem Pressespiegel des DWD.

Weltweite Besonderheiten der Witterung

P. Hechler

Die Analysen führender Klimazentren ordnen das Jahr 2007 unter den zehn wärmsten der seit 1850 existierenden Beobachtungsreihe ein. Nach den Berechnungen des Hadley Centre, Großbritannien lag die mittlere globale Lufttemperatur 0,4 K über der mittleren Jahrestemperatur des Referenzzeitraums 1961-1990 von 14°C; 2007 ist somit das siebt wärmste Jahr. Der Januar 2007 markierte den wärmsten Januar seit Beobachtungsbeginn; die global gemittelte Januartemperatur lag für 2007 bei 12,7°C (vieljähriges Mittel: 12,1°C).

Seit Beginn des 20. Jahrhunderts ist die globale Jahresmitteltemperatur um 0,74 K angestiegen. Dieser Anstieg erfolgte jedoch nicht gleichmäßig. Die linear gemittelte Erwärmungsrate der letzten 50 Jahre (0,13 K pro Dekade) ist nahezu doppelt so hoch wie die der letzten 100 Jahre.

Für die meisten Landflächen der Erde wurden positive Temperaturabweichungen beobachtet. Eine Ausnahme bildete Südamerika mit negativen Temperaturanomalien. Die größten positiven Temperaturabweichungen betrafen die höheren Breiten der Nordhemisphäre mit großen Teilen Nordamerikas, Europas und Asiens. Die Abweichungen der Jahresmitteltemperaturen lagen 2-4 K über dem mittleren Wert für den Zeitraum 1961-1990. So war das Jahr 2007 bspw. das wärmste Jahr seit Beginn der hydrometeorologischen Messungen in der Russischen Föderation vor 150 Jahren.

Das Jahr 2007 begann mit Höchstwerten der Temperatur. In Teilen Europas gehörten Winter und Frühling zu den mildesten seit Aufzeichnungsbeginn mit Abweichungen von über 4 K zum vieljährigen Mittel für die Monate Januar und April (s.a. Abb. 1). Außergewöhnlich hohe Temperaturen traten von Anfang Januar bis Anfang März im größten Teil Westaustraliens auf. Hier lagen die Februartemperaturen mehr als 5 K über dem vieljährigen Mittel.

Zwei ungewöhnliche Hitzewellen traten im Juni und Juli in Südosteuropa auf. Mit Tagesmaxima über 40°C wurden an einigen Orten neue Extremwerte aufgestellt, wie zum Beispiel mit bis zu 45°C in Bulgarien. Dutzende Menschen starben und Waldbrände verwüsteten tausende Hektar Land. Eine heftige Hitzewelle traf die USA im August mit mehreren neuen Rekordwerten und über 50 Hitzetoten. Die Monate August und September waren auch in Teilen Japans außergewöhnlich warm. Mit 40,9°C wurde am 16. August ein neuer japanischer Rekordwert für die Tageshöchsttemperatur verzeichnet.

In der westaustralischen Stadt Perth wurden am 26. Dezember 44,2°C gemessen, der heißeste Dezembertag seit Aufzeichnungsbeginn 1897. Der bisherige Höchstwert von 42,3°C vom 31. Dezember 1968 wurde um fast 2 K überschritten.

Im Gegensatz dazu verzeichnete Australien den kältesten Juni seit Aufzeichnungsbeginn mit Abweichungen von -1,5 K zum vieljährigen Mittel. Südamerika registrierte einen ungewöhnlich kalten Winter (Juni-August) mit starken Winden, heftigen Schneestürmen und seltenem Schneefall in mehreren Regionen. Die Temperaturen sanken Anfang Juli auf bis zu -22°C in Argentinien und -18°C in Chile.

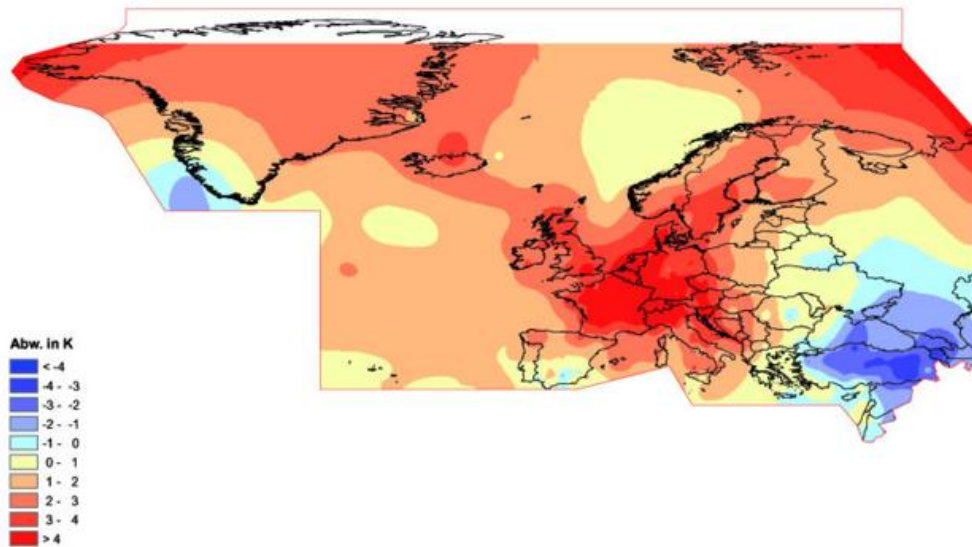


Abb. 1: Abweichung der Monatsmitteltemperatur vom Referenzwert 1961-1990 für Europa, April 2007

Ausgeprägte Dürren wurden in den USA, Australien und China registriert. Zusammen mit starken Santa-Ana-Winden führten diese u.a. im Oktober zu vernichtenden Bränden im südlichen Kalifornien, USA. Hunderttausende Menschen waren betroffen und mehr als 1500 Häuser fielen den Flammen zum Opfer. Vorläufigen Schätzungen zufolge brachte das Jahr 2007 die zweitheftigste ‚Waldbrandsaison‘ der USA mit über 85000 Busch- und Waldbränden, bei denen mehr als 37000 km² in Flammen standen. In Australien war die Dürre nicht ganz so heftig wie im Vorjahr; die Wasserressourcen blieben jedoch wegen anhaltender vieljähriger Dürrebedingungen sehr niedrig. Unterdurchschnittlicher Niederschlag in den dicht besiedelten und landwirtschaftlich genutzten Gebieten führte zu starken Ernteverlusten und Einbußen sowie zu fortgesetzten Einschränkungen in der Wasserversorgung der meisten Großstädte. Südchina registrierte schwere Dürrebedingungen von Ende September bis Mitte Dezember; Millionen von Menschen litten unter Einschränkungen der Wasserversorgung sowie unter Ernteverlusten.

Der globale Jahresniederschlag über Landflächen lag 2007 über dem vieljährigen Mittelwert 1961-1990. Regional betrachtet traten Niederschlagsdefizite im Südosten und Westen der USA, in Nordindien, an den weiter östlich gelegenen Küstenabschnitten Brasiliens, in südlichen und östlichen Teilen Australiens sowie in Teilen Ostasiens auf, während die zentralen Teile der USA und Teile Europas und Asiens überdurchschnittliche Niederschläge verzeichneten (s. Abb.2).

In vielen Ländern Afrikas traten im Jahr 2007 schwere Überflutungen auf. So wurde das Sambesi-Tal in Mozambique im Februar überflutet; 800 km² landwirtschaftlicher Anbauflächen standen unter Wasser. Der starke Südwestmonsun bescherte eine der niederschlagsreichsten Regenzeiten (Juli – September) mit ausgedehnten Überschwemmungen in West- und Zentralafrika sowie in Teilen des Horns von Afrika. Insgesamt waren ungefähr anderthalb Millionen Menschen betroffen und hunderttausende Wohnstätten wurden zerstört.

In Bolivien waren fast 200000 Menschen von Überflutungen im Januar/Februar betroffen; 700 km² landwirtschaftlicher Nutzflächen wurden überschwemmt. In Uruguay

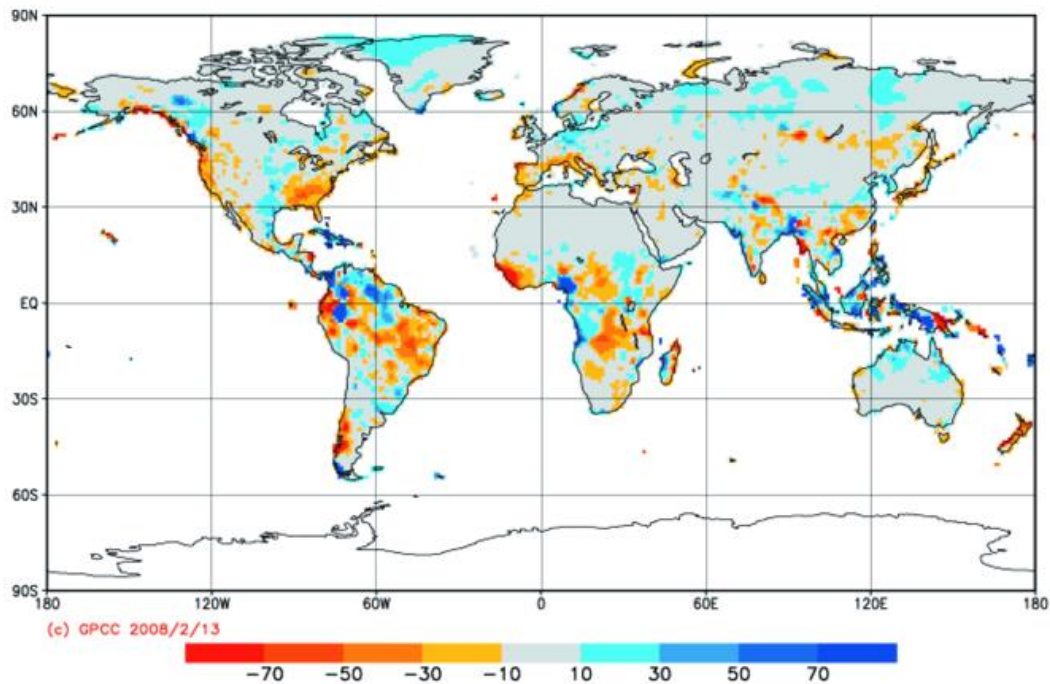


Abb. 2: Globale Verteilung der Niederschlagsabweichungen auf den Landflächen der Erde im Jahr 2007; Niederschlagsmesser-basierte Analysen im 1 Grad Raster als normierte Abweichungen in mm/Monat bezogen auf 1961-1990

(Quelle: Weltzentrum für Niederschlagsklimatologie (GPCC))

fürten heftige Regenfälle Anfang Mai zu den schwersten Überflutungen seit 1959; mehr als 110000 Menschen waren betroffen und landwirtschaftliche Flächen sowie Gebäude wurden schwer beschädigt.

Anhaltende Regenfälle verwüsteten das chinesische Huai He Flusstal Ende Juni und im Juli; mehr als 29 Millionen Menschen waren betroffen. Es wird davon ausgegangen, dass dies die heftigste Überflutung in dieser Region seit 1954 war. Der Monsun führte in Teilen Südasiens zu den schwersten Überschwemmungen seit Jahren. Ungefähr 25 Millionen Menschen waren in der Region betroffen, besonders in Indien, Pakistan, Bangladesch und Nepal. Tausende verloren ihr Leben.

In England und Wales wurde die nasseste Mai-Juli Periode seit Aufzeichnungsbeginn 1766 registriert. In diesem Zeitraum fielen 415 mm Niederschlag (bisheriger Rekord: 349 mm im Jahr 1789). Schwere Überschwemmungen in dieser Region töteten 9 Menschen und verursachten Schäden in Höhe von mehr als 6 Milliarden US Dollar.

Ein schwerer Sturm (Kyrill) zog am 17./18. Januar mit heftigen Regenfällen und Windspitzen bis 170 km/h über das nördliche Europa hinweg. Mindestens 47 Menschen fielen dem Sturm zum Opfer und Zehntausende waren ohne Strom.

Im Nordwestpazifik wurden 2007 vierzehn Taifune registriert. Millionen von Menschen in Südostasien waren von den tropischen Wirbelstürmen betroffen, wobei die Taifune Pabuk, Krosa und Lekima sowie der Tropensturm Peipah zu den heftigsten zählten. Während der atlantischen Hurrikansaison entwickelten sich 6 Hurrikane, was dem vieljährigen Mittel entspricht. Zum ersten Mal seit Aufzeichnungsbeginn 1886 erreichten innerhalb einer Saison zwei Hurrikane der Kategorie 5 das Land.

Im Februar brachte der tropische Zyklon Gamède einen neuen Niederschlags-Weltrekord: innerhalb von drei Tagen wurden auf der französischen Insel La Reunion 3929 mm Niederschlag registriert.

Am 15. November traf der tropische Wirbelsturm Sidr mit Windspitzen bis 240 km/h und Starkregen auf Bangladesch. Mehr als 8,7 Millionen Menschen waren von dem Zyklon der Kategorie 4 betroffen. Es gab 52000 Verletzte und mehr als 3000 Tote. Cirka 1,5 Millionen Behausungen wurden beschädigt oder zerstört.

Im Januar 2007 klang die kurze El Niño Phase des letzten Jahres rasch wieder ab und in der zweiten Jahreshälfte 2007 manifestierte sich eine La Niña Situation im zentralen und östlichen äquatorialen Pazifik. Die Entwicklung der La Niña Phase hat das Klima in vielen Regionen der Erde beeinflusst, sowohl im direkten Umfeld des äquatorialen Pazifiks als auch in weiter entfernten Bereichen des Indischen Ozeans, Afrikas, Asiens und Amerikas.

Den vollständigen deutschen Bericht können Sie im Internet unter

http://www.dwd.de/bvbw/appmanager/bvbw/dwdwwwDesktop/?_nfpb=true&_page-Label=_dwdwww_klima_umwelt_ueberwachung_global

nachlesen.

Bei der WMO unter:

http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/wcdmp/wcdmp_home_en.html

Die Winterstürme im Jahr 2007

R. Franke, C. Lefebvre, G. Rosenhagen

Der Winter 2006/07 war gekennzeichnet durch eine sehr kräftige atlantische Frontalzone, die mit Windgeschwindigkeiten von zum Teil 100 Knoten im 500 hPa-Niveau von der USA-Ostküste über die Britischen Inseln bis nach Osteuropa reichte. In ihr bildete sich zwischen dem Jahresende 2006 und dem Anfang der dritten Januardekade 2007 eine ganze Serie schwerer Sturmwirbel und Orkanzyklonen, die in West-, Mittel- und Osteuropa für große Schäden sorgten und auch zahlreiche Menschenleben forderten.

In der Nacht vom 30. zum 31. Dezember 2006 zog der Orkanwirbel KARLA über Südnorwegen hinweg ostwärts und erfasste dabei auch Norddeutschland, wobei im Binnenland orkanartige Böen und an der Nord- und Ostseeküste Orkanböen auftraten.

Am 11. und 12. Januar 2007 bestimmte das Orkantief FRANZ, das am 11.01. um 00 UTC dicht südlich von Island mit 950 hPa seinen tiefsten Kerndruck aufwies, das Wetter in ganz Deutschland, wobei im Küstenbereich und auch auf den Berggipfeln Orkanböen gemeldet wurden.

Am 13. und 14. Januar sorgte die Orkanzyklone HANNO, die nach Südschweden zog, mit Orkanböen in ganz Mitteleuropa für große Schäden.

Den Höhepunkt dieser Folge von Sturm- und Orkanwirbeln praktisch im 3-Tages-Takt, gab es jedoch mit dem Orkantief KYRILL. Am 16. Januar um 00 UTC bildete sich ein Wellentief von 1010 hPa an der USA-Ostküste zwischen New York und Boston. Zu dem Zeitraum war die nordamerikanische Frontalzone sehr stark ausgeprägt und wies extrem große Temperaturunterschiede im 500 hPa-Niveau auf. Während über Boston $-13\text{ }^{\circ}\text{C}$ beobachtet wurden, betrug die Temperatur über Labrador $-48\text{ }^{\circ}\text{C}$. So entwickelte es sich durch Einbeziehung der hochreichenden Kaltluft aus dem ostkanadischen Raum schon innerhalb von 24 Stunden zu einem respektablen Tief von unter 985 hPa dicht östlich von Neufundland, das den Namen KYRILL erhielt. Entwicklungsgünstig auf der Vorderseite eines markanten kurzwelligen Höhentroges mit diffluentem Ausgang gelegen, überquerte der Wirbel unter starker Intensivierung rasch den Nordatlantik und befand sich am 18.01. um 00 UTC als schweres Sturmtief von 965 hPa nordwestlich von Irland. Innerhalb der nächsten 12 Stunden wurde KYRILL dann zum Orkantief, das über Dänemark hinweg ostwärts zog und am 18.01. um 18 UTC mit einem tiefsten Kerndruck von 958 hPa Südschweden erreichte.

Schon in den Vormittagsstunden des 18. Januar gab es in England und Irland durch die starke Zunahme des Luftdruckgradienten an der Südseite von KYRILL Orkanböen, und in den Mittagsstunden erreichten die ersten Orkanböen die Niederlande. Mit der Annäherung der Warmfront des Tiefs wurden in der Deutschen Bucht mittags dreistündige Druckfalltendenzen von 13 hPa gemessen, ein ungewöhnlich hoher Wert, wie er nur bei schweren Sturm- und Orkanlagen vorkommt. Im Bereich des

breiten Warmsektors, der ab Mittag über Deutschland lag, wurden sehr feuchte Subtropikluftmassen herangeführt, in denen die Temperaturen bis 16 Grad C anstiegen. So meldete Mannheim ein Maximum von 16,4 Grad C. Im Nachmittagsverlauf zog dann die Kaltfront des Tiefs von der Nordsee heran und sorgte für schwere Unwetter. Da in der oberen Troposphäre sehr trockene Luft über die Kaltfront hinweg vordrang, kam es entlang der Front zu sehr starker Labilisierung, was zur Ausbildung einer Gewitterlinie führte. Bei derart extremen Verhältnissen entwickelten sich schwere Gewitter, die aufgrund ihres Blitzreichtums und ihrer hohen Niederschlagsmengen sommerliche Ausmaße annahmen. So wurden in Berlin-Dahlem innerhalb von 24 Stunden 40,6 Liter pro Quadratmeter gemessen. Das ist die höchste jemals in einem Wintermonat registrierte Tagesmenge (siehe F. Schenk, „Berliner Wetterkarte“ vom 19. Januar 2007). Der Kaltfront folgte ein sehr intensiver Trog nach, in dem in ganz Deutschland verbreitet Orkanböen auftraten.

Der Orkanwirbel KYRILL richtete in Deutschland gewaltige Schäden an und es gab insgesamt 13 Todesopfer. Ganze Waldgebiete wurden verwüstet und der Verkehr auf den Straßen wurde durch umgestürzte Bäume stark in Mitleidenschaft gezogen. Der Eisenbahnverkehr kam sogar völlig zum Erliegen, was bisher noch nie vorgekommen ist. Allein diese Tatsache zeigt die enormen Dimensionen und die Zerstörungskraft von KYRILL, der als ein Ausnahmetief anzusehen ist, wie es nur alle 10 bis 20 Jahre einmal zu erwarten ist (siehe Deutscher Wetterdienst, „Der Orkan Kyrill“ und Andreas Friedrich, Thomas Kratzsch, Deutscher Wetterdienst, „Orkan „Kyrill“ über Deutschland“).

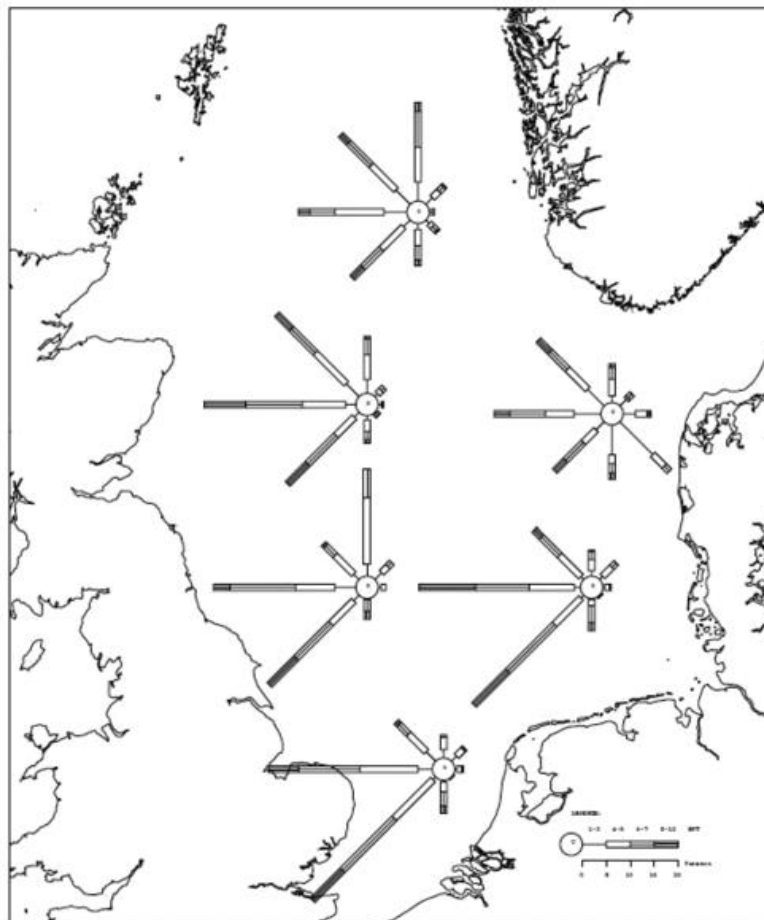


Abb. 1: Windverteilung über der Nordsee

Nach Abzug des Orkantiefs KYRILL endete die Serie von Sturm- und Orkantiefs am 22. Januar mit dem Sturmwirbel LANCELOT, der an der Küste von Nord- und Ostsee noch einmal orkanartige Böen brachte.

Das letzte Orkantief in diesem ereignisreichen Winterhalbjahr 2006/07 war ORKUN, das am 15. März in den subtropischen Gewässern der USA-Ostküste als Welle entstand und in der kräftigen Frontalzone rasch ostwärts zog. Am 18.03. um 00 UTC befand sich ORKUN als Orkanwirbel bei den Faröer-Inseln und vertiefte sich bei seiner langsamer werdenden Ostverlagerung noch weiter, so dass 6 Stunden später dicht östlich der Inselgruppe ein Kerndruck von 950 hPa festzustellen war. Am 18.03. um 12 UTC erreichte die Zyklone mit 950 hPa die Norwegenküste im Seegebiet Utsira-Nord, so dass das Orkanfeld an seiner Südseite vor allem die nördliche Nordsee traf mit Seegangshöhen von 10 bis 12 Metern. Deutschland geriet daher nur in den Randbereich dieses Orkantiefs und so wurden nur im Norden schwere Sturmböen und an der Nordseeküste einzelne Orkanböen verzeichnet. ORKUN bewegte sich dann in Richtung Mittelschweden, wo er sich bei geringer Nordverlagerung im Laufe des 20. März allmählich auffüllte.

Die Auswertung der Windbeobachtungen der freiwillig beobachtenden Schiffe (VOS) über der Nordsee zeigt in Abb. 1 das Vorherrschen der starken West- bis Südwestströmung von Januar 2007. In den südlicheren Seegebieten der Nordsee haben SW-Winde gewöhnlich einen Anteil um 20 %, im Januar 2007 lag dieser jedoch bei 45-50 % (vgl. Abb. 2).

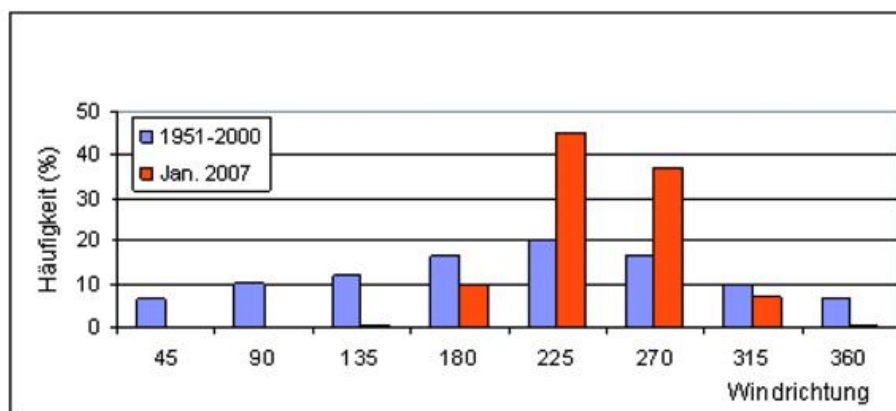


Abb. 2: Relative Häufigkeit der Windrichtung im Januar Seegebiet Dt. Bucht

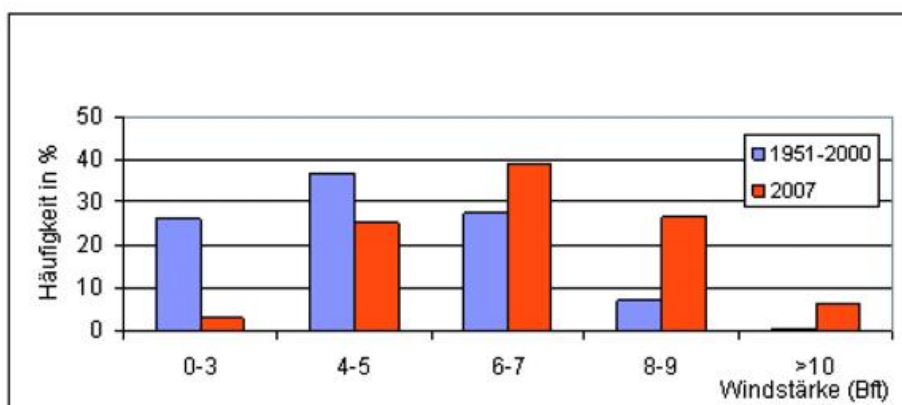


Abb. 3: Relative Häufigkeit der Windstärke im Januar Seegebiet Dt. Bucht

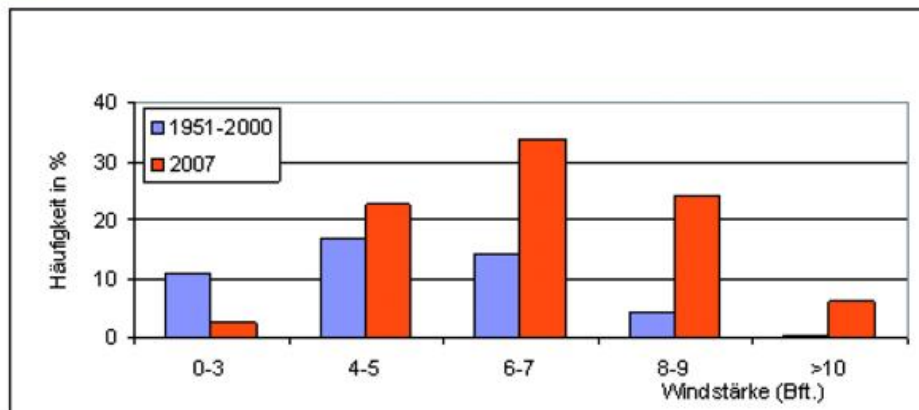


Abb. 4: Relative Häufigkeit von Winden aus SW-NW Seegebiet Dt. Bucht

Östliche Winde kamen in den ersten Wochen dieses Jahres so gut wie nicht vor. Abb. 3 ist das gehäufte Auftreten hoher Windstärken im Vergleich zum vieljährigen Mittel (Januar 1951-2000) zu entnehmen.

Der Anteil stürmischer SW- bis NW- Winde (ab Bft. 8) erreichte in der Dt. Bucht 30 % (Abb. 4), was eine Steigerung um das 6-fache im Vergleich zum Mittelwert von knapp 5 % bedeutet.

Eine Häufung sehr kräftiger Stürme bis Orkanstärke gab es auch schon 1990, von Ende Januar bis Ende März. Damals verursachten Winterstürme wie DARIA, OTTILIE, VIVIAN und WIEBKE, die mit vergleichbaren Windgeschwindigkeiten wie KYRILL über das Land zogen, nicht nur in Deutschland, sondern in weiten Teilen Europas hohe Schäden. Wie KYRILL gehören DARIA, VIVIAN und WIEBKE zu den 10 teuersten Stürmen Europas (Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft, Geo Risks Research, NatCatSERVICE April, 2007).

Aber nicht nur das Jahr 1990 war äußerst stürmisch, auch die Folgejahre waren sehr windreich und die Wissenschaft fragte sich damals, ob sich darin bereits der Klimawandel abzeichne. Zur Jahrtausendwende ging dann aber das Windaufkommen deutlich zurück. Nach einer Reihe windschwacher Jahre zeichnete sich nun der Winter 2006/2007 wieder durch ein hohes Sturmaufkommen aus. Gleichzeitig war der Zeitraum von Herbst 2006 bis Frühling 2007 vor allen in Mitteleuropa der wärmste seit Beginn regelmäßiger Aufzeichnungen vor mehr als 100 Jahren. Da 2007 der 4. Sachstandsbericht des IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) den Klimawandel auf vielfältige Art beleuchtete und bewertete, wurde die Diskussion angefangen, inwieweit in Deutschland die sich auch hier abzeichnende Erwärmung zu einer Erhöhung des Windaufkommens führt.

Da repräsentative Windmessungen für einen längeren Zeitraum nicht verfügbar sind, wird für Aussagen über die Veränderung des Windfeldes auf den geostrophischen Wind zurückgegriffen. In Abb. 5 sind die Wintermittel (Dezember bis Februar) des geostrophischen Windes über der Deutschen Bucht im Zeitraum 1879/80 bis 2006/07 dargestellt. Sie wurden aus den auf Meeresniveau reduzierten Luftdruckwerten (3 pro Tag) von Emden, Hamburg und Sylt bzw. Fanø berechnet. Es zeigt sich eine deutliche Variabilität von Jahr zu Jahr, jedoch kein nennenswerter Trend. Insbesondere

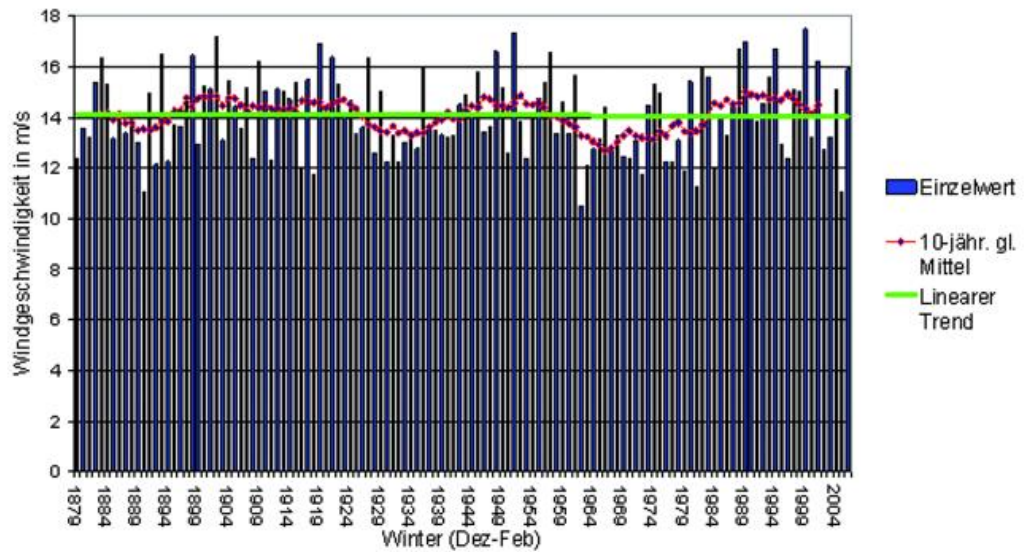


Abb. 5: Wintermittel des geostrophischen Windes für die Deutsche Bucht zwischen 1879/80 und 2006/07

(Einzelwerte und 10-jährig gleitendes Mittel und linearer Trend)

wird deutlich, dass zwischen 1880 und 1925 durchaus vergleichbar hohe mittlere Windgeschwindigkeiten herrschten wie in den windreichen 1990-er Jahren. Die Kurve des 10-jährigen gleitenden Mittels suggeriert eine etwa 40-jährige Schwingung. Diese ist jedoch weder erklärbar, noch statistisch belastbar.

Wird das Auftreten von Winterstürmen über der Nordsee mit der Anzahl von winterlichen (November bis einschließlich März) Tiefdruckgebieten mit einem niedrigen Kerndruck von 950 hPa und darunter über dem Nordatlantik verglichen (Abb. 6), so zeigt sich eine gute Übereinstimmung. In den windreichen 1990-er Jahren wie auch im Winter 2006/2007 war die Häufigkeit sehr kräftiger atlantischer Tiefs erhöht.

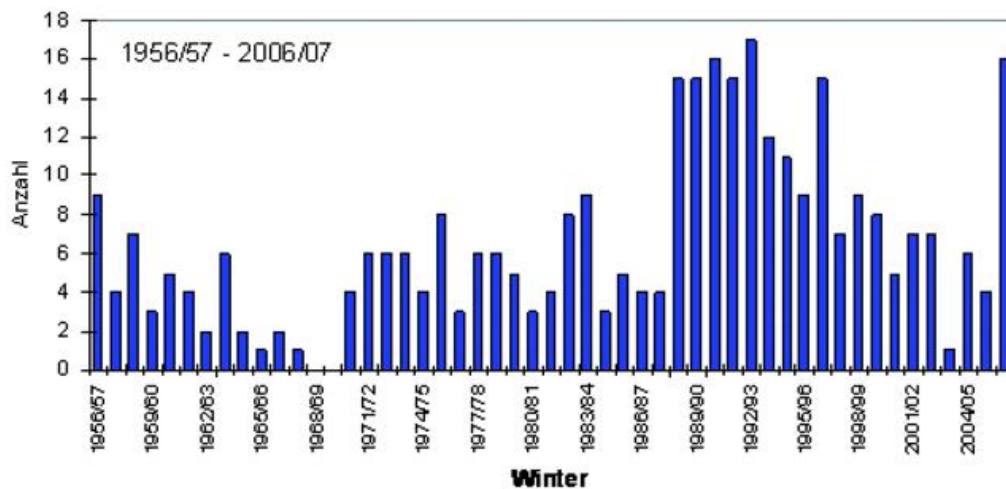


Abb. 6: Tiefdruckgebiete mit einem Kerndruck von 950 hPa und weniger über dem Nordatlantik

Extreme Sturmfluten an den deutschen Küsten

G. Rosenhagen

Zusammenfassung

Sturmfluten sind durch Sturm verstärkte Fluten. Sie stellen für die deutschen Küsten der Nord- und Ostsee seit je her eine bedrohliche Naturgefahr dar. Die Frage, ob die Sturmhäufigkeit in Zunahme begriffen ist, ist deshalb besonders für den Küstenschutz von größter Bedeutung. Eine Beantwortung mit dem vorliegenden Datenmaterial ist jedoch nicht ohne weiteres möglich. Statistisch gesicherte Aussagen lassen sich nur aus langen und homogenen Messreihen ableiten. Mit Instrumenten gemessene Winddaten liegen erst seit einigen Jahrzehnten vor. Und auch diese Messdaten sind durch verschiedenartige Einflüsse der Umgebung und der Instrumentierung beeinflusst. Ein Nachweis möglicher Änderungen des Windklimas ist deshalb nur mit indirekten Methoden möglich. Hierzu bieten sich Untersuchungen der Luftdruckverteilungen an. Diese belegen die ausgeprägte Variabilität des Sturmklimas auf Zeitskalen von wenigen Jahren bis einigen Jahrzehnten. Die statistische Analyse zeigt jedoch keinen deutlichen Trend bezüglich Häufigkeit und Stärke. Doch lässt sich nachweisen, dass auch das heutige Klima höhere Sturmfluten als bisher nicht ausschließt.

Stürme an den deutschen Küsten

Seit der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts werden Tag für Tag die beobachteten und gemessenen Wettererscheinungen und –daten in Wetterkarten eingetragen, analysiert und archiviert. Trotzdem ist ein Nachweis möglicher Änderungen des Windklimas nur indirekt möglich. Früher wurden die Windgeschwindigkeiten geschätzt. Erst seit einigen Jahrzehnten liegen mit Instrumenten gemessene Winddaten vor. Zudem sind die Windmessreihen nicht ausreichend homogen, da Änderungen der Umgebung (Bebauung, Bewuchs u. ä.) oder Wechsel bei den Mess- und Beobachtungsverfahren sowie der Instrumentierung erhebliche und oft nicht nachvollziehbare Einflüsse auf die Messwerte ausüben.

Hier bietet sich die Abschätzung der Windverhältnisse über das Luftdruckfeld an. Aus der Druckverteilung können Rückschlüsse auf den Wind, der als Luftbewegung zum Ausgleich von Luftdruckunterschieden entsteht, gezogen werden. Das Verfahren der Luftdruckmessung hat sich im Gegensatz zur Windmessung seit Beginn der regelmäßigen Aufzeichnungen nicht geändert. Auch haben Veränderungen der Umgebung der Messstation keine Auswirkung auf den Luftdruck. Es existieren deshalb von vielen Orten lange homogene Zeitreihen des Luftdrucks, die Aussagen zur Veränderung des Windklimas ermöglichen.

Ein Beispiel für die Abschätzung des Windes aus Luftdruckwerten ist die Auszählung der Sturmtiefs mit einem Kerndruck von 950 hPa und weniger über dem Nordatlantik die beim Deutschen Wetterdienst seit 1956 lückenlos aus den täglichen Wetteranalysen durchgeführt wird. Die jährliche Anzahl dieser intensiven Tiefdruckgebiete über dem Nordatlantik lässt Rückschlüsse auf das Vorkommen von Stürmen an den deutschen Küsten zu. Die Zeitreihe (Abb. 6, S.78) zeigt eine markante Häufung in den neunziger Jahren; in den letzten Jahren trat jedoch eine deutliche Abnahme ein. Insgesamt wird ein positiver Trend suggeriert.

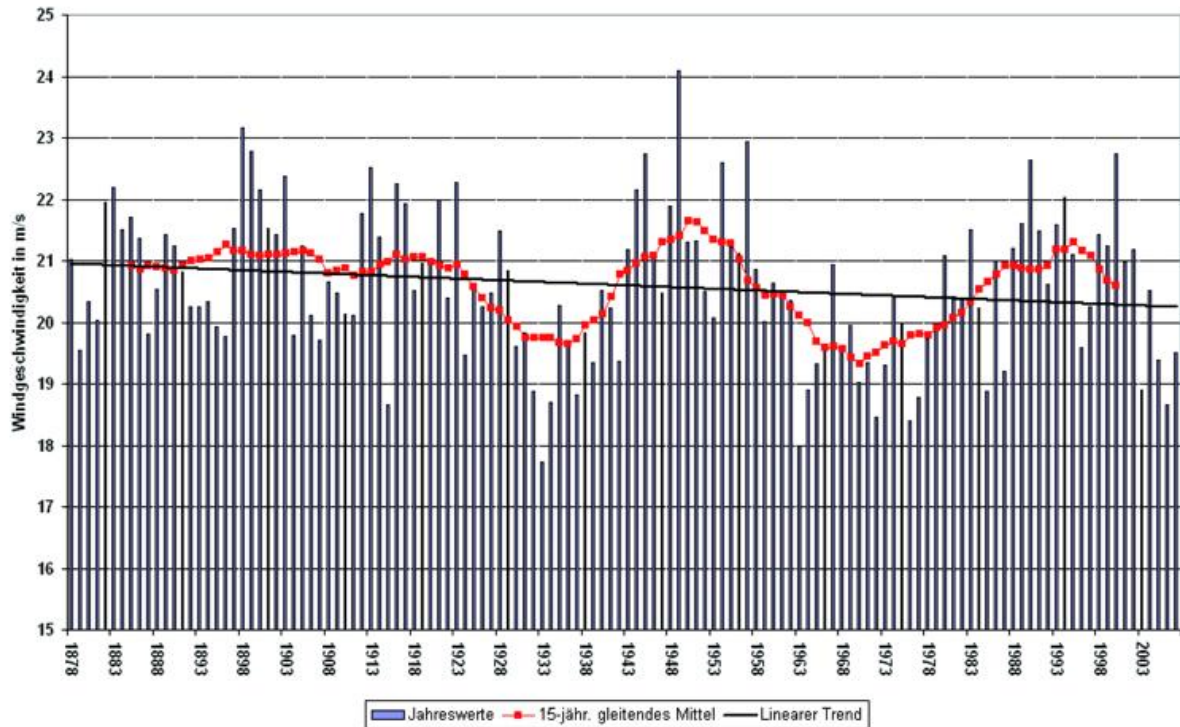


Abb. 1: Jahreswerte des 90%-Perzentils der Geschwindigkeit des geostrophischen Windes für die Deutsche Bucht zwischen 1879/80 und 2007/08

Dies stellt sich bei der Betrachtung längerer Reihen anders dar. Abbildung 1 zeigt das 90%-Perzentil der mehr als 120-jährigen Zeitserie des geostrophischen Windes für die Deutsche Bucht. Die Werte wurden aus den Luftdruckmessungen von drei Stationen berechnet die ein nahezu gleichseitiges Dreieck mit einer Seitenlänge von etwa 250 km, welches die Deutsche Bucht einschließt bilden. Der geostrophische Wind ist dem horizontalen Gradienten des Luftdrucks in Meereshöhe proportional und damit ebenso ein Maß für die atmosphärische Bewegung wie der reale Wind. Die Zeitreihe weist eine ausgeprägte Variabilität auf Zeitskalen von wenigen Jahren bis einigen Jahrzehnten. Dabei wechseln sich Zeiten erhöhter Aktivität mit ruhigeren ab. Auch hier sind die windreichen 90er Jahre deutlich erkennbar, reihen sich aber in die Maxima der Gesamtreihe unauffällig ein. Der lineare Trend weist leicht abnehmende Tendenz auf.

Auch andere Auswertungen, die sich speziell auf die hohen Windgeschwindigkeiten aus den für die Deutsche Bucht kritischen Windrichtungen West bis Nord konzentrieren, zeigen keinen signifikanten Trend bezüglich der Zunahme von Häufigkeit und Intensität der Stürme.

Sturmfluten an den deutschen Küsten

Nicht jeder Sturm verursacht eine Sturmflut. Wesentliche Voraussetzung für eine Sturmflut ist ein starker Windstau, der durch einen länger andauernden, kräftigen, auflandigen Wind verursacht wird. Der Wasserstand wird jedoch durch weitere Faktoren modifiziert. Diese haben an den deutschen Küsten von Nord- und Ostsee deutlich unterschiedliches Gewicht: Während an der Nordsee neben Fernwellen und Luftdruckeffekt vor allem die astronomische Tide die Höhe des Wasserstandes bestimmt,

dominieren an der Ostsee die Effekte von Vorfüllung und Seiche (der Schwapp- oder Badewanneneffekt).

An der Nordsee unterscheidet man je nach großräumiger Wetterlage zwei Sturmfluttypen: den Stautyp und den Zirkulartyp. Während beim Stautyp ausgedehnte Sturmflutiefs durch die lange Andauer des auflandigen Windes und die große Wirklänge (Fetch) über See vorrangig die Wasserstandserhöhung verursachen, wird dies im Fall des Zirkulartyps beim Durchzug rasch ziehender, kleinräumiger Tiefdruckwirbel durch die großen Windgeschwindigkeiten bewirkt.

So ist die bekannte Hamburg – Sturmflut am 16./17. Februar 1962 dem Stautyp zuzurechnen. In Hamburg lag die mittlere Windstärke der nordwestlichen Winde damals über 45 Stunden bei Stärke 6 Beaufort und mehr. Seit 1825 hatte es keine vergleichbare Sturmflut gegeben. Die Deiche hielten dem lange andauernden Druck nicht Stand. Sich anschließende massive Verbesserungen der Küstenschutzbauten bewirkten, dass die schwere Sturmflut vom Zirkulartyp, die mit dem Capella - Orkan am 3. Januar 1976 einherging, bei noch höheren Pegelständen kaum Schäden verursachte.

Auch an der Ostsee kam es in der Vergangenheit zu folgenschweren Sturmfluten. Dabei ereignete sich die bisher bekannte schwerste Sturmflut am 13. November 1872 (siehe Abb. 2).

Die Diskussion über die Auswirkung des Klimawandels auf die Sturmfluten ist in vollem Gange. Auch wenn, wie oben dargelegt, aus den Messungen kein zunehmender Trend bezüglich Häufigkeit und Stärke außertropischer Winterstürme erkennbar ist, wird von Klima-Modellierern neben einem Anstieg des Meeresspiegels für die zweite Hälfte dieses Jahrhunderts eine Zunahme extremer Sturmereignisse für wahrscheinlich gehalten.

Doch schon das heutige Klima hat noch Potential zu stärkeren Stürmen, wie im vom BMBF geförderte Projekt MUSE (Modellgestützte Untersuchungen zu Sturmfluten mit sehr geringen Eintrittswahrscheinlichkeiten), das von der Uni Siegen, dem BSH und dem DWD durchgeführt wurde, herausgefunden wurde. Hier wurden deterministische Simulationstechniken benutzt, um noch nicht eingetretene, aber physikalisch konsi-

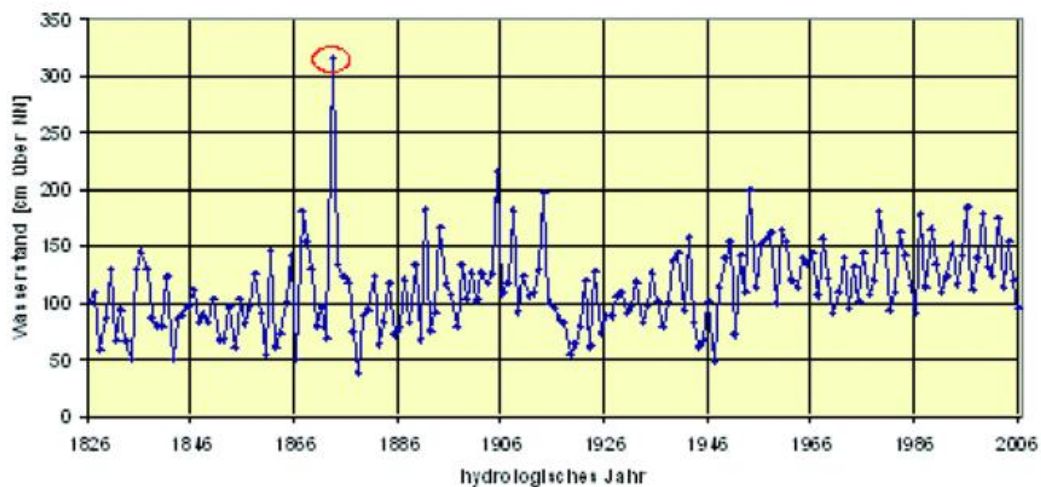


Abb. 2: Jährliche Höchststände des Pegels Travemünde zwischen 1826 und 2006 Quelle: Jensen, J.; Töppe, A.(1986) und Wasser und Schifffahrtsamt Lübeck

stente Sturmzyklonen und Sturmfluten über der Nordsee zu generieren. Es ergaben sich Sturmflutwasserstände, die die der Jahre 1962 und 1976 um etwa 1 bis 1,5 m übertrafen. Die Eintrittswahrscheinlichkeiten hierfür sind mit weniger als 1:10 000 allerdings gering.

Ein entsprechendes Forschungsprojekt für die deutsche Ostseeküste wird Ende 2008 beendet werden.

Literatur

- Luthard, H.; Hasse, L. (1983) The Relationship Between Pressure Field and Surface Wind in the German Bight Area at High Wind Speeds. North Sea Dynamics, Springer-Verlag, Berlin - Heidelberg
- Schmidt, H.; von Storch, H. (1993) German Bight Storms analysed. Nature, Vol. 365
- Von Storch H. et al. (1993) Changing Statistics of Storms in the North Atlantic? Max-Planck.-Institut für Meteorologie, Report N. 116
- Jensen, J.; Mundersbach, C.; Koziar, C. (2004) Simulation von extremen Sturmflutwetterlagen in der Nordsee und deren statistische Analyse. Proceedings Workshop Klimaänderung und Küstenschutz, Hamburg, S. 159-169
- Jensen, Jürgen et al. (2005) Abschlussbericht des KFKI Forschungsvorhabens MUSE Modellgestützte Untersuchungen zu Sturmfluten mit geringen Eintrittswahrscheinlichkeiten, KFKI Projekt Nr. 78
- Jensen, J.; Töppe, A. (1986): Zusammenstellung und Auswertungen von Originalaufzeichnungen des Pegels Travemünde/Ostsee ab 1826. DGM, Jahrgang 30, H. 4.

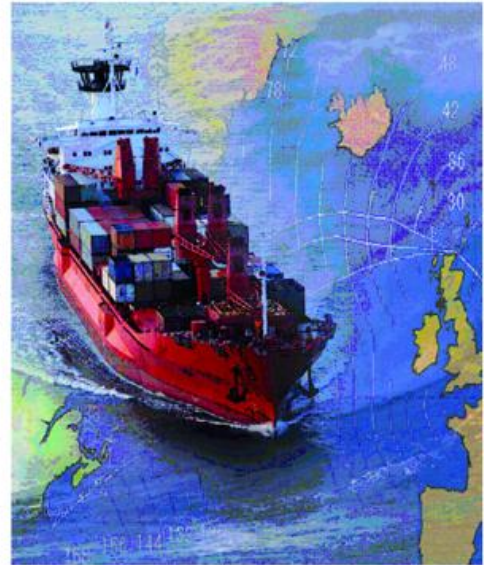
Klimatologische Routenberatung: Begutachtung und Optimierung von Transportrouten für die Seeschifffahrt ozeanweit

C. Baugirdis

Einleitung

Im Zeitalter der Globalisierung kommt dem weltweiten Frachtverkehr mehr und mehr Bedeutung zu. Dies gilt nicht nur für Transporte auf dem Luft- oder Landweg, sondern auch bei solchen über die Meere.

Um nur einige Beispiele zu nennen: Tankschiffe befördern Rohstoffe von den Gewinnungsgebieten zu den Standorten, an denen sie benötigt bzw. weiterverarbeitet werden. Von der Stecknadel bis zu Maschinenteilen: Alles, was in einen Container passt, wird darin auf speziellen Frachtschiffen über die Ozeane rund um die Welt befördert. Aber auch Dinge, die so dimensioniert sind, dass sie nicht in solch eine genormte Stahlkonstruktion passen – z.B. Containerbrücken – werden heutzutage in speziellen Schleppverbänden über die Ozeane verschifft. Der Erfolg solcher Unternehmungen ist naturgemäß stark von Wetter, Wind und Seegang auf der jeweiligen gewählten Fahrtroute abhängig.



Routing von Schiffen ozeanweit

Dem Deutschen Wetterdienst obliegt gemäß dem DWD-Gesetz vom 10.9.1998 auch die meteorologische Sicherung der Seefahrt. Um dieser Verpflichtung nachzukommen, werden am Standort Hamburg unter anderem auf Anforderung ozeanweite Routenberatungen für in See gehende Schiffe erstellt.

Ist die Route des Schiffes bereits festgelegt, bietet die „klassische Routenberatung“ für den Zeitrahmen von 1 bis 10 Tagen (Kurz- bis Mittelfristvorhersage) dem Kapitän die Möglichkeit, sich vorab und auch während der Reise über die zu erwartenden Verhältnisse von Wetter, Wind und Seegang auf der Route informieren zu lassen. Wenn nötig, werden ihm dann auch Ausweichvorschläge zur Umschiffung spezieller „Schlechtwettergebiete“ genannt.

In zunehmendem Maße treten Reedereien und Charterer aber auch schon während der Planungsphase spezieller Unternehmungen an den Deutschen Wetterdienst heran. Dann geht es darum, mögliche Transportrouten aus klimatologischer Sicht zu begutachten und auszuwählen bzw. sie zu optimieren.

Ziel einer solchen „klimatologischen Routenberatung“ ist meist in erster Linie die Maximierung der Wirtschaftlichkeit einer Unternehmung. Die dabei relevanten Größen wie möglichst geringer Treibstoffverbrauch und eine möglichst kurze Laufzeit des Transports müssen dabei gegen verschiedene andere Aspekte abgewogen werden:

- maximale Sicherheit: die Route sollte so gewählt werden, dass Schäden durch Wetter, Wind und Seegang an Schiff und Ladung möglichst ausgeschlossen werden können bzw. ihre Auftretenswahrscheinlichkeit minimiert ist.
- besondere Randbedingungen, die für den Transport gelten, müssen möglichst gut erfüllt werden.

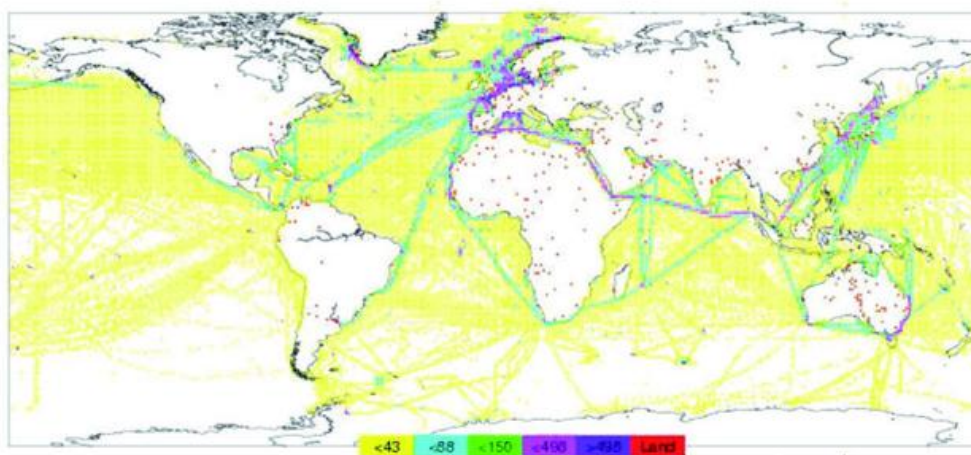
Der Deutsche Wetterdienst erstellt solche Planungsgutachten auf der Basis von maritim-klimatologischen Datenreihen.

Die Daten: Gewinnung, Archivierung und Verarbeitung

Zur Beurteilung geplanter Schifffahrtsrouten werden nur Daten benutzt, die auch auf den Weltmeeren gewonnen werden. Dies sind:

- Messwerte von driftenden oder verankerten Bojen
- Messwerte, gewonnen auf Forschungs- und Ölplattformen
- Messwerte von Feuerschiffen und Feuerschiff-Ersatzsystemen
- Wettermeldungen von VOS (Voluntary Observing Ships, fahrende Handelsschiffe)

Besondere Bedeutung kommen bei klimatologischen Routenbegutachtungen den VOS - Wettermeldungen zu. Sie werden von geschulten Beobachtern an Bord von fahrenden Handelsschiffen nach international verbindlichen Standards erhoben. Unmittelbar nach der Beobachtung werden Sie in das globale Datenübermittlungssystem eingesteuert und dann über das GCC (Global Collecting Centre for Observations from Ships), das eine international abgestimmte Qualitätsprüfung vornimmt, dem Globalen Zentrum für Schiffswettermeldungen des DWD am Standort Hamburg zugeführt, das die Daten weitergehend prüft und archiviert. Hier existiert mittlerweile ein Schiffsdatenarchiv, das ozeanweite Beobachtungen von ca. 1880 bis in die heutige Zeit hinein vorhält.



Area distribution

Abb.1: Verteilung der VOS - Wettermeldungen im Jahr 2005

In Abb. 1 ist die räumliche und quantitative Verteilung von VOS-Daten im Jahr 2005 dargestellt. Ähnliches gilt auch für frühere Jahre. Wie man gut erkennen kann, werden durch die von VOS-Schiffen gewonnenen Daten vor allem die Ozeane der Nordhalbkugel gut abgedeckt. Die Hauptschifffahrtsrouten sind dabei besonders gut belegt. Dies ist nicht verwunderlich, bedenkt man den Umstand, dass es sich bei Voluntary Observing Ships ja um Schiffe der internationalen Handelsflotte handelt. Naturgemäß gibt es in den Bereichen der „roaring forties“ der Südhalbkugel kaum Schiffsmeldungen. Lediglich die Routen, die bei der Versorgung der Forschungsstationen in der Antarktis befahren werden, werden von den Meldungen abgebildet.

Für klimatologische Zwecke werden Daten aus einem vieljährigen Zeitraum ausgewertet. So ist im Allgemeinen sichergestellt, dass selbst bei der Begutachtung von Schiffsrouten, die nicht auf den Hauptschiffahrtswegen liegen, eine genügend große Datenmenge vorhanden ist, um statistisch belastbare Aussagen treffen zu können.

Routinemäßig findet nach eingehender Qualitätsprüfung die Bestimmung verschiedener statistischer Kenngrößen wie Mittelwerte, Streuungen sowie mehrdimensionale Häufigkeitsverteilungen statt. Dies erfolgt in einem $5 \times 5^\circ$ - Feld-Raster ozeanweit für unterschiedliche Parameter wie z.B. Windrichtung und -geschwindigkeit, kennzeichnende Wellenhöhe des Seegangs u.a. . Die Auswertungen werden in der MARDAB – einer **Maritimen Datenbank**- vorgehalten und können zur Bearbeitung maritim-klimatologischer Planungsgutachten herangezogen werden.

Für bestimmte Seegebiete werden in größeren Zeitabständen Statistiken von schifffahrtsrelevanten Parametern erarbeitet und anschließend graphisch dargestellt. Diese Statistiken und Grafiken fließen in die Seehandbücher und Spezialkartenwerke (z.B. „Monatskarten für den Indischen Ozean“) ein, die vom Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie herausgegeben werden. Auch diese Veröffentlichungen bilden eine Arbeitsgrundlage für die klimatologische Routenbegutachtung.

Im Einzelfall werden diese Veröffentlichungen sowie die MARDAB-Eintragungen auch noch durch spezielle Auswertungen, z.B. für individuell festzulegende Seegebiete oder Streckenabschnitte, ergänzt.

Klimatologisches Routing: wichtige Parameter und Besonderheiten

Um eine Aussage über die Nutzbarkeit einer speziellen Schiffsroute für ein geplantes Unternehmen machen zu können, werden je nach individuellem Auftrag unterschiedliche meteorologische und ozeanographische Parameter in die Begutachtung einbezogen. Am häufigsten kommen dabei folgende Größen in Betracht:

- vorherrschende Windrichtung
- Häufigkeit von Schwachwind, Starkwind oder Sturm/Orkan
- Beeinflussung des Schifffahrtsweges durch tropische Wirbelstürme
- kennzeichnende Wellenhöhe und Periode des Seegangs
- Dünungslaufrichtung
- Gefahr des Auftretens signifikanter regionaler Seegangselemente
- Richtung und Stärke der Oberflächenströmung sowie deren Beständigkeit

Alle diese Parameter müssen natürlich immer in Abhängigkeit vom jeweiligen Kurs des Schiffes bewertet werden.

Jedes Wasserfahrzeug reagiert unterschiedlich auf die verschiedenen Zustände von Wind und Seegang, die im Verlauf einer Fahrt angetroffen werden. Bei Windstärken von 8 Beaufort und kennzeichnenden Wellenhöhen von ca. 6 bis 7 Metern wird ein Bulk-Carrier oder ein Containerschiff zwar auch schon zu kämpfen haben und sicherlich zumindest Einbußen in der Geschwindigkeit hinnehmen müssen, wirklich gefährdet wird es dadurch aber normalerweise nicht sein. Solche Bedingungen könnten aber für einen Schleppzug, der zum Beispiel eine Containerbrücke oder einen Schwimmkran über den freien Ozean befördert, eine existentielle Bedrohung darstellen.

In vielen Fällen sind deshalb bei der Auswertung zusätzlich noch gewisse Rahmenbedingungen zu berücksichtigen, die der Schiffseigner / Charterer vorgibt. Dies ist vor allem bei langsam fahrenden Schlepp-Verbänden erforderlich.

Solche Sicherheitsauflagen können z.B. eine Vorgabe über die maximal zulässige Krängung des Verbandes oder nicht zu überschreitende Wellenhöhen oder maximalen Winddruck auf die (vielleicht besonders hohen) Aufbauten des Schleppzuges sein.

Die Forderung nach Erreichbarkeit von Landschutz in einer vorgegebenen Entfernung im Fall von Schlechtwetter ist auch eine Bedingung, die von vornherein bereits zumindest Teilabschnitte einer Routenführung ausschließen kann.

Die Begutachtung von Wind, Seegang und Strömung, die auf der Route zu erwarten sind, muss deshalb für jeden Fall ganz individuell vorgenommen werden. Vor allem die weltweiten Windsysteme, die jahreszeitlich und regional sehr unterschiedlich ausgeprägt sein können, (Monsun, extrem starke Land–Seewind-Zirkulationen) müssen für jedes einzelne Gutachten speziell betrachtet werden. Dazu kann es in Ausnahmefällen auch erforderlich sein, für bestimmte Streckenabschnitte vom monatlichen Mittelungszeitraum, der „normalerweise“ benutzt wird, abzugehen und zusätzlich noch die Verhältnisse bei kürzeren Mittelungsintervallen zu betrachten.

Anwendungen: Beispiele von Klimaroutenberatungen aus letzter Zeit

Mittlerweile werden auch langsam fahrende, sehr seegangsempfindliche Schleppverbände auf Reisen geschickt, deren geplante Route nicht nur dicht unter Land, sondern über weite Strecken über den freien Ozean verläuft. Solche Reisen können über mehrere Monate gehen. In solchen Fällen ist gerade die Berücksichtigung der sich zum Teil stark verändernden Windsysteme und der damit gekoppelte Wechsel in den Dünungsbedingungen ein wesentlicher und meteorologisch sehr interessanter Aspekt der Arbeit. So einen Spezialfall stellte die Auswahl der günstigsten Route für die Verschiffung einer Containerbrücke von Jakarta/Indonesien nach Sydney/Australien (westlich oder östlich um Australien) in der Zeit von Mai bis Juli dar. (Abb. 2)

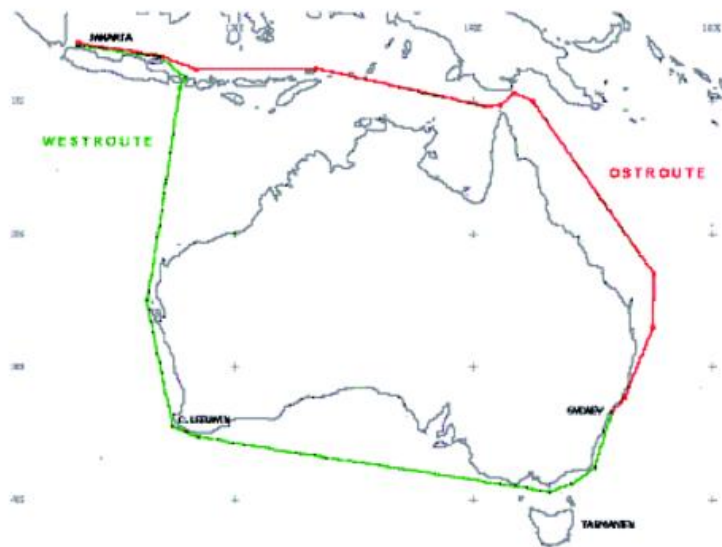


Abb. 2: Alternative Routenverläufe für die Reise Jakarta - Sydney

Bei transatlantischen Routen sind vor allem die Wintermonate für klimatologische Routenberatungen interessant, denn die Vermeidung bzw. Umgehung von Schlechtwetterphasen ist eines der wesentlichen Ziele solcher Begutachtungen. So wurde zum Beispiel für einen größeren Transportverband ein Gutachten über die klimatologischen Bedingungen im Januar und Februar auf der Strecke von Norfolk/Virginia – Gibraltar – Port Said – Bahrain /VAE erstellt.

In Zeiten knapper und teurer werdender Treibstoffe wird die Suche nach Alternativen immer interessanter. Vorschläge für solche Antriebe gab es bereits in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts. Hier ist es besonders der Einsatz des Windes als Schiffsantrieb, der wieder zunehmend ins Visier der Wirtschaft kommt. Dabei werden die verschiedensten Ansätze verfolgt: Vom Einsatz von Flettner-Rotoren über Drachenskonstruktionen (SkySails) bis hin zu aufwändigen, elektrisch betriebenen Segeln (DynaRigg). Gerade in diesem Bereich ist die Kenntnis der durchschnittlichen Windverhältnisse auf den verschiedenen Routen sehr wichtig. So wurden im Zuge von Planungen Betrachtungen über die durchschnittlichen Windverhältnisse auf drei Hauptschifffahrtrouten nach Nordamerika, Südamerika und Japan angestellt. Bei der Route Europa – Japan wurde besonderer Wert darauf gelegt, die jahreszeitlich und regional unterschiedlich ausgeprägten Windsysteme (Monsun) in den statistischen Auswertungen gebührend zu berücksichtigen. Dieses ist zwar keine klimatologische Routenberatung im klassischen Sinne, aber ein sehr interessanter Spezialfall, der die Bedeutung des Klimas für den internationalen Frachtverkehr verdeutlicht.

Nicht nur die Wirtschaft, sondern auch Privatpersonen nehmen die Dienste der klimatologischen Routenberatung in Anspruch, wenn es zum Beispiel darum geht, sich für die eine oder andere Route für die Urlaubsreise mit der eigenen Segelyacht zu entscheiden. So wurde u. a. ein Gutachten erstellt, in dem es um die Festlegung der seglerisch besten Route von Bergen/Norwegen nach La Coruña / Spanien im Juli ging. Besonders betrachtet wurde die Frage, ob der Seeweg durch den North Channel und die Irische und Keltische See dem Weg durch die Seegebiete westlich und südwestlich Irlands vorzuziehen sei.

Zusammenfassung

Im Zeitalter der Globalisierung nimmt der weltweite Frachtverkehr immer mehr zu. Dies gilt nicht nur für Transporte auf dem Luft- oder Landwege, sondern auch für solche über die Meere.

Der Deutsche Wetterdienst erhielt vom Gesetzgeber die Aufgabe, die meteorologische Sicherung der Seefahrt zu gewährleisten. Dies geschieht unter anderem durch die Erstellung von Routenberatungen für die Schifffahrt, sowohl auf der Grundlage aktueller Kurz- und Mittelfristvorhersagen (operationelles Routing) als auch auf der Basis von langen maritimen Datenreihen (klimatologische Routenberatung).

Ziel von klimatologischen Routenberatungen ist es, für einen Seetransport unter Berücksichtigung spezieller Rahmenbedingungen und besonderer Gefahren auf dem Seeweg die wirtschaftlichste Route zu finden. Eine solche Einschätzung ist immer auf den individuellen Einzelfall zugeschnitten und kann normalerweise nicht verallgemeinert werden.

In heutiger Zeit, in der Treibstoffe immer knapper und teurer werden, gewinnt diese Aufgabe auch aus volkswirtschaftlicher Sicht immer mehr an Bedeutung.

Hinweise auf ausführlichere Informationen:

http://metportal.dwd.de/bvbw/appmanager/bvbw/dwdwwwDesktop/?_nfpb=true&_pageLabel=_dwdwww_spezielle_nutzer_schifffahrt_service

http://metportal.dwd.de/bvbw/appmanager/bvbw/dwdwwwDesktop/?_nfpb=true&_pageLabel=_dwdwww_klima_umwelt_datenzentren_gcc

Die Gradtagzahlen des Jahres 2007 und ihre Abweichungen zum Zeitraum 1981-2000

P.-H. Voß

Gradtagzahlen bzw. Gradtage werden zur überschlägigen Berechnung des Heizenergieverbrauchs sowie zur Witterungsbereinigung im Rahmen der Energieeinsparverordnung herangezogen und stellen somit eine wichtige heiztechnische Kenngröße dar. In der Abteilung Klima- und Umweltberatung des Deutschen Wetterdienstes wurde deshalb ein statistisches Modell entwickelt, das die mittleren monatlichen Gradtagzahlen (nach VDI-Richtlinie 2067) bzw. Gradtage (VDI-Richtlinie 3807) in Abhängigkeit von verschiedenen Einflussfaktoren, wie z.B. der Höhe über dem Meeresspiegel, der geographischen Lage, der Bebauungsdichte (Wärmeinseleffekt) sowie der Nähe zum Meer berechnet. Mit Hilfe digitaler Geländeinformationen (Höhen- und Landnutzungswerte im 1-km-Raster) werden schließlich flächendeckende Karten monatlicher bzw. jährlicher Gradtagzahlen für Deutschland erstellt. Die Jahressummen der Gradtagzahlen (Jahresgradtage) werden durch Addition der Monatsgradtage berechnet. Die Karten werden monatlich und stets im A3-Format erstellt. Die Karten sind in diesem Bericht deutlich verkleinert abgebildet.

Berechnungsschema der monatlichen Gradtagzahlen (Monatsgradtage) für Deutschland:

- 1) Monatsgradtage als Summe über tägliche Gradtage:

$$GT_m = \sum GT$$

für $GT = (TR - TM)$ für $TM < TG$ (Heiztag) und $GT = 0$ für $TG < TM$

mit GT_m : mittlere / aktuelle Monatsgradtage [K·d]

GT : Gradtag [K·d]

$TR = 20^\circ \text{C}$ (Raumtemperatur)

$TG = 15^\circ \text{C}$

TM = Tagesmittel der Lufttemperatur

Heiztag: Tag mit Tagesmitteltemperatur unter 15 Grad

- 2) Statistisches Modell

Der Regressionsansatz zur Berechnung der monatlichen Gradtagzahlen (mittlere bzw. aktuelle Monatswerte) im 1-km-Raster wird in Abhängigkeit folgender Größen ermittelt:

Geländehöhe in Meter über NN

Geographische Breite in Grad

Geographische Länge in Grad

Bebauungsdichte in Prozent

Indikator für Meeresnähe

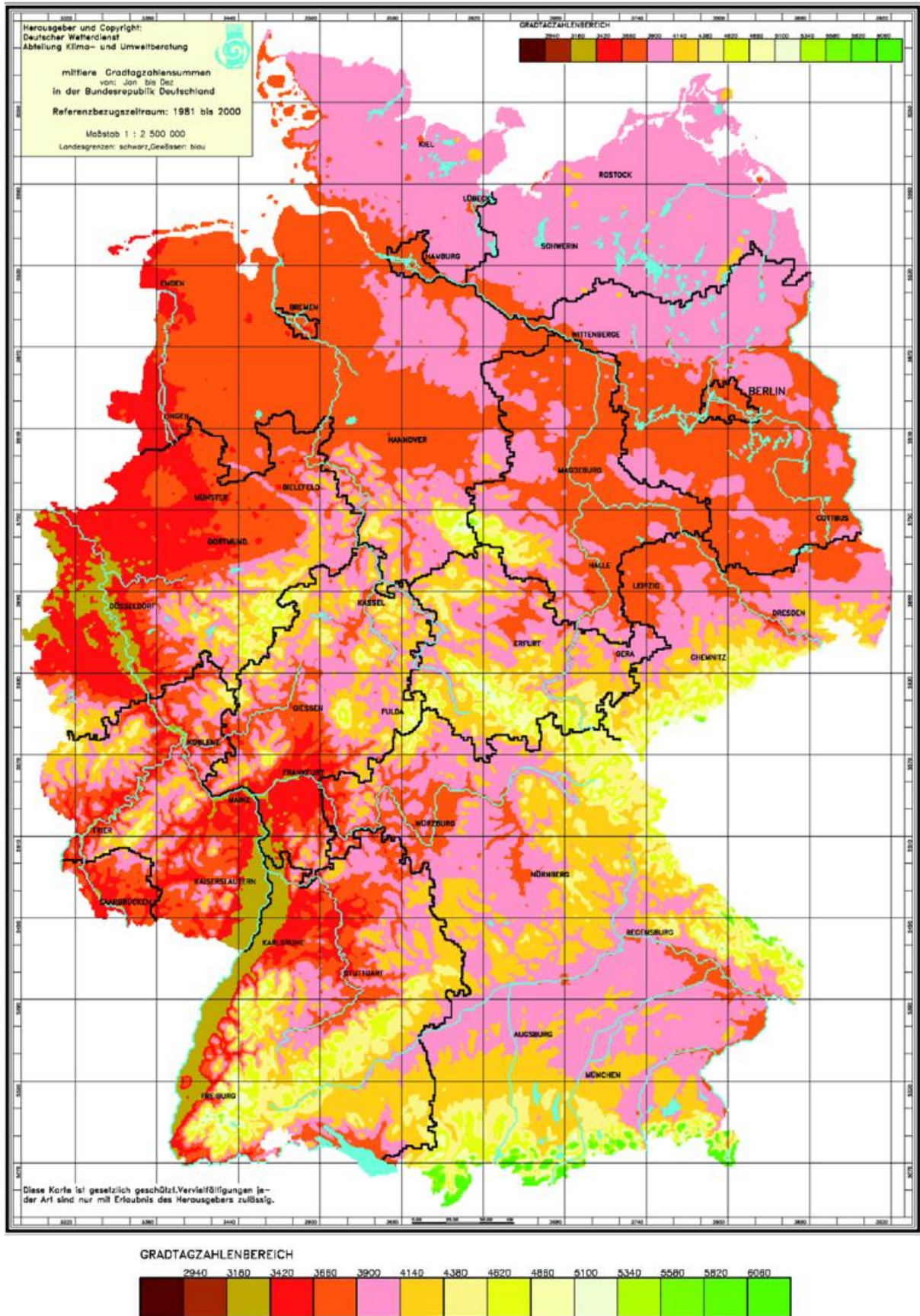


Abb.1: Mittlere Jahresgradtage in K·d (Referenzzeitraum 1981 - 2000)

Die Datengrundlage für die Deutschlandkarte der mittleren jährlichen Gradtagzahlen (Jahresgradtage) des 20-jährigen Referenzzeitraums 1981 - 2000 (Abb.1) sind die Tagesmittelwerte der Lufttemperatur von ca. 370 DWD-Messstationen. Je höher die Gradtagzahlen ausfallen, desto höher sind die mittleren Differenzen zwischen Raumtemperatur (20° C) und Tagesmitteltemperatur an Heiztagen (mit $TM < 15^\circ C$). Die Karte zeigt anschaulich, wo mehr geheizt werden muss und wo weniger: Rote bis braune Bereiche entsprechen einem geringen, gelbe bis grüne Bereiche einem hohen Heizbedarf.

So finden sich erwartungsgemäß hohe Gradtagzahlen im Bereich der Mittelgebirge und Alpen, niedrige Gradtagzahlen in Tallagen, insbesondere im Rheintal und seinen Seitentälern. Des Weiteren erstreckt sich ein breiter Streifen niedriger Gradtagzahlen vom Niederrhein nach Norden bis hin an die Ostfriesischen Inseln. Der orange Bereich, der sich noch in der unteren Hälfte der Gradtagzahlen-Skala befindet, setzt sich dann in Teilen in südöstlicher Richtung bis an die Grenze von Polen fort. Nach Norden hin wächst die Gradtagzahl um eine Klasse an.

Abb. 2 zeigt die Deutschlandkarte der Gradtage für das Jahr 2007 im 1-km-Raster. Sie basiert auf der Auswertung der Daten von ca. 400 Messstationen des DWD. Vergleicht man die Ergebnisse dieser Karte mit denen der Karte des Referenzzeitraums (Abb. 1), so erkennt man extrem niedrige Gradtage aber zugleich ähnliche Strukturen der Verteilung. Dies ergibt sich überwiegend durch die Abhängigkeit der Tagesmitteltemperaturen (an Heiztagen) und damit der Gradtagzahlen von den Höhenverläufen der Gebirge und Täler. Jedoch fällt ein grundlegender farblicher Unterschied zwischen den beiden Karten auf, denen die gleiche Skala zugrunde liegt: An der Farbverschiebung um zum Teil deutlich mehr als zwei Klassen, entsprechend einer Abnahme um 480 K·d zum Wärmeren hin, erkennt man deutschlandweit geringere Gradtagzahlen gegenüber dem Mittelwert des Referenzzeitraums. Diese niedrigen Werte lassen sich durch das extrem milde erste Halbjahr 2007 (siehe „Die Witterung in Deutschland 2007“, S. 24) begründen. Wobei in Norddeutschland in Meeresnähe die deutlich größeren und im Süden Deutschlands die ersichtlich geringeren Abnahmen zum Referenzzeitraum auftreten. Die niedrigen Gradtage für das Jahr 2007 entsprechen in ihrer Größenordnung eher Werten, wie sie - aufgrund des prognostizierten Klimawandels im Mittel - für die Mitte des laufenden Jahrhunderts zu erwarten wären.

Besser noch als im nur visuellen Vergleich der Karten 1 und 2 wird die landesweite Abnahme der Gradtagzahlen des Jahres 2007 gegenüber den Mittelwerten des Referenzzeitraums 1981 - 2000 in Abb. 3 verdeutlicht. Sie visualisiert die relativen Abweichungen des Jahres 2007 zum Referenzzeitraum in Promille.

Auch hier treten die größten relativen Abweichungen des Jahres 2007 vom Referenzzeitraum mit unter 16 % an der Nordseeküste Niedersachsens und Schleswig-Holsteins wie auch auf der Insel Fehmarn auf. Das übrige Schleswig-Holstein und Niedersachsen, die Altmark sowie das westliche Mecklenburg-Vorpommern und das Münsterland weisen großenteils Abweichungen zwischen 13 % und 14 % auf. Auch das östliche Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg, das nördliche Sachsen sowie das Rheintal südlich der Kölner Bucht über das Rhein-Main-Gebiet hinweg bis etwa nach Karlsruhe weisen noch große Abweichungen von 12 % bis 13 % auf. Von den

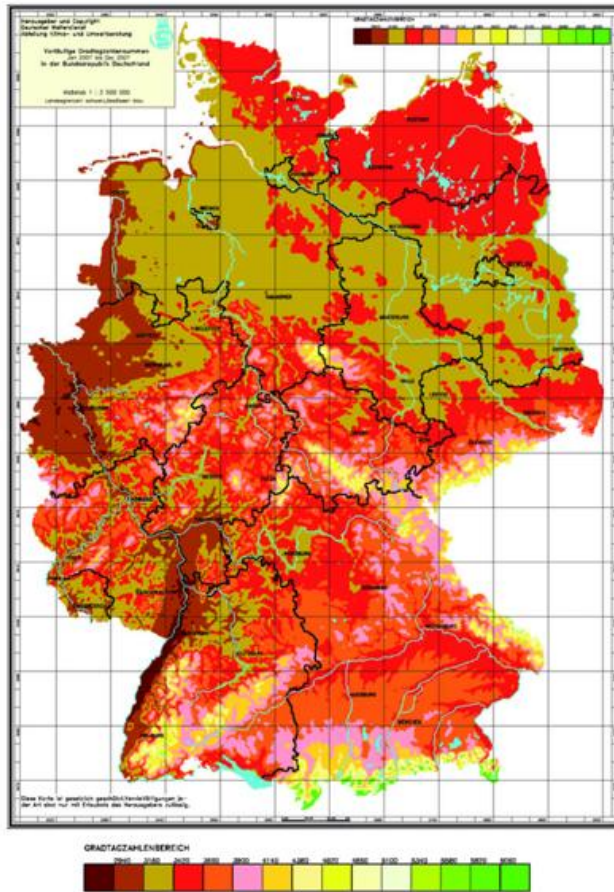


Abb.2: Jahresgradtage 2007 in K•d

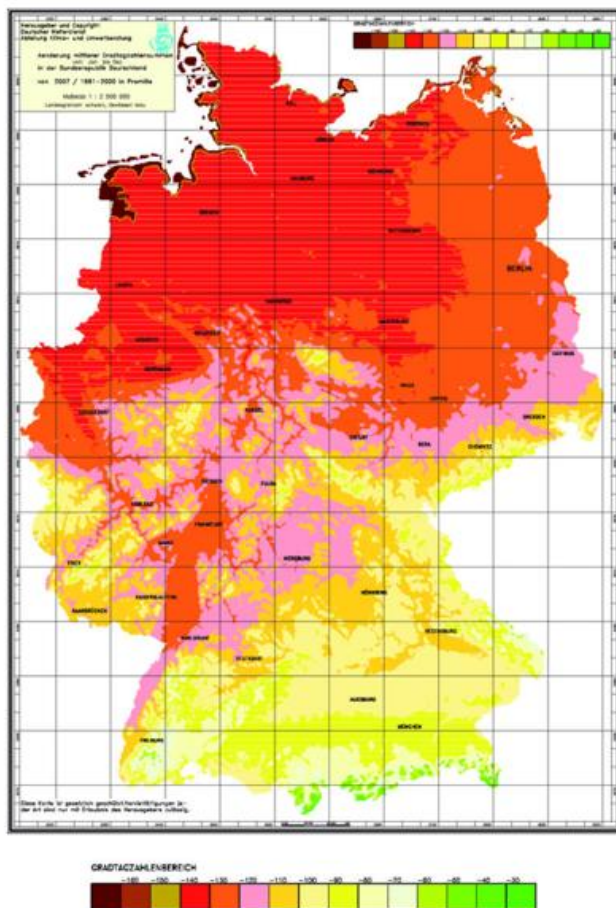


Abb.3: Relative Abweichung der Gradtagzahlen 2007 zum Referenzzeitraum 1981 - 2000 in %

nördlichen Mittelgebirgen mit Differenzen von etwa 9 % bis 12 % nehmen die Differenzen in Richtung Süden mit dem allmählichen Geländeanstieg zum Alpenrand hin auf etwa 6 % ab. In den Hochlagen der Alpen sinken die Abweichungen betragsmäßig bis unter 3 %.

Damit ist 2007 nicht nur im Vergleich zum Referenzzeitraum sondern auch im Vergleich zu den Jahren 2001 bis 2006 das Jahr mit dem geringsten Bedarf an Heizenergie.

Die Niedrigwassersituation des Jahres 2006 in den deutschen Stromgebieten

J. U. Belz, P. Bissolli, A. Klämt, S. Rademacher,
K. Richter, B. Rudolf, H.-J. Theis

Vorbemerkung

Der Beitrag war ursprünglich zur Veröffentlichung im Klimastatusbericht 2006 vorgesehen, konnte aber wegen technischer Probleme dort nicht erscheinen. Wegen der Bedeutung des Themas ist er nun in den Klimastatusbericht 2007 aufgenommen worden, obwohl er sich nicht auf Ereignisse im Jahr 2007 bezieht.

Einleitung

Sehr gegensätzliche hydrologische und meteorologische Gegebenheiten führten zu einem bemerkenswerten Abflussjahr 2006. Zunächst sorgten kräftige winterliche Schneefälle für die Ausbildung einer hohen Schneedecke in mittleren und hohen Lagen, die bis Mitte März Bestand hatte. An die rasche Schneeschmelze mit z.T. extremem Frühjahrshochwasser im März und April schloss sich eine bis in den Herbst hinein andauernde Niedrigwasserperiode an. Dabei waren in den meisten Bundeswasserstraßen mittlere Wasserstände bzw. Abflüsse in der überwiegenden Zeit des Jahres unterschritten. Ausmaß und Ursachen dieser Niedrigwassersituation in den deutschen Stromgebieten wurden in einer Kooperation der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) mit dem Deutschen Wetterdienst (DWD) untersucht und hydroklimatologisch eingeordnet.

Meteorologische Ursachen

Die Jahresmitteltemperatur lag im Gebietsmittel von Deutschland mit 9,5 °C um ca. 1,3 Grad über dem Mittel der klimatologischen Referenzperiode 1961-90. Damit war 2006 in Deutschland das fünftwärmste Jahr seit Beginn der Temperaturmessreihen. Insgesamt fielen im Jahr 2006 rund 95 % des vieljährigen Niederschlagsdurchschnitts. Der Niederschlag war in der Jahressumme also nur leicht unterdurchschnittlich. Innerhalb des Jahres 2006 gab es aber längere Zeiträume, die deutlich zu trocken waren.

Bereits das hydrologische Winterhalbjahr 2006 (Nov. 2005 - April 2006) war in Deutschland mit Ausnahme von Dezember und März erheblich zu trocken. Die Winterniederschläge wurden verbreitet in einer hohen Schneedecke akkumuliert, die im letzten Märztriertel in Verbindung mit ergiebigen Regenfällen rasch abschmolz und abfloss. Hieraus resultierten regional bedeutende Hochwasserextreme, insbesondere im Elbegebiet. Ungeachtet dessen wurden in den westlichen Landesteilen Deutschlands im Winterhalbjahr 2006 bei Niederschlag und klimatischer Wasserbilanz (KWB) die größten Defizite gegenüber den Mittelwerten der Referenzperiode 1961/1990 verzeichnet. Dort waren dann die sonst im vieljährigen Mittel stets niederschlagsreichen Höhenlagen, speziell Allgäu, Hochschwarzwald und Westerswald, von der Trockenheit betroffen; das Niederschlagsdefizit des Winterhalbjahres lag dort örtlich über 300 Liter pro m².

Mit Beginn des hydrologischen Sommerhalbjahres (Mai - Oktober 2006) lagen zunächst im Mai die monatlichen Niederschläge im überwiegenden Teil Deutschlands über den Referenzwerten der Bezugsperiode 1961/1990, in einigen Regionen z.B. der Lausitz, dem Nördlichen Oberrheintiefland und in Bayern südlich der Donau war es jedoch schon im Mai mit weniger als 80 % des durchschnittlichen Niederschlages zu trocken. Pünktlich zu Beginn der Fußball-WM stellte sich dann warme und überwiegend trockene Witterung ein, die mit nur geringen Unterbrechungen bis Ende Juli anhielt. Die auslösende Wetterlage war ein Hochdruckkeil, der sich zu Beginn des Monats Juni über dem Atlantik gebildet hatte und sich dann allmählich nach West- und Mitteleuropa ausdehnte. Somit entstand über weiten Teilen Europas eine ausgedehnte Hochdrucklage, folglich auch sonniges Wetter, kaum Niederschläge und eine Erwärmung der Luftmasse mit Höchsttemperaturen bis zu 33°C. Bis zum Anfang des Monats August verstärkte sich deutschlandweit das Niederschlagsdefizit erheblich, regional wurden weniger als 25 % des Üblichen registriert.

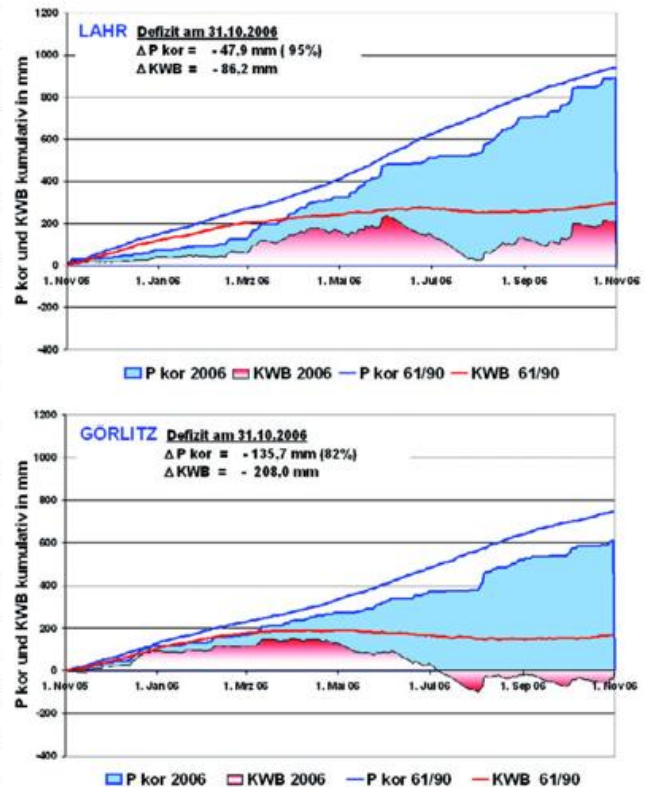


Abb. 1: Kumulativer Verlauf des Niederschlages (P kor) und der Klimatischen Wasserbilanz (KWB), Nov. 05 – Sept. 06, im Vergleich zu den Mittelwerten 1961/1990, Stationen Lahr und Görlitz

Abb. 1 verdeutlicht diese Entwicklung, die sich im Wasserkreislauf bis Ende Juli 2006 - gemessen am vieljährigen Durchschnitt - in Form wachsender Defizite der Niederschlagssummen und der KWB auswirkte. Am stärksten war die Trockenperiode im Süden und Südwesten Deutschlands (vgl. Abb. 1 / Beispielstation Lahr) ausgeprägt. Ein weiterer Schwerpunkt war im äußersten Osten in der Lausitz (vgl. Abb. 1 / Beispielstation Görlitz) zu verzeichnen, wo die KWB im Jahr 2006 ab Juli durchgehend bis November negative Werte aufweist.

Die wieder niederschlagsreichere, kühlere Witterung im August glich die bis dahin erreichten Defizite des Niederschlages und der KWB nur wenig aus; im überdurchschnittlich warmen, sonnenscheinreichen Herbst kam es zur erneuten Verstärkung der Defizite: Die Niederschlagssumme für den Herbst 2006 betrug weniger als 80% des vieljährigen Mittels, so dass auch hier die KWB unterdurchschnittlich ausfiel.

Abb. 2 zeigt eine Übersicht der nach der objektiven Wetterlagenklassifikation des DWD täglich erfassten Wetterlagen sowohl im Jahr 2006 als auch im vieljährigen Vergleich. Deutlich wird, dass in den besagten Monaten eine Wetterlagenklasse ganz besonders häufig auftrat, nämlich die Klasse SWAAF. Sie ist charakterisiert durch

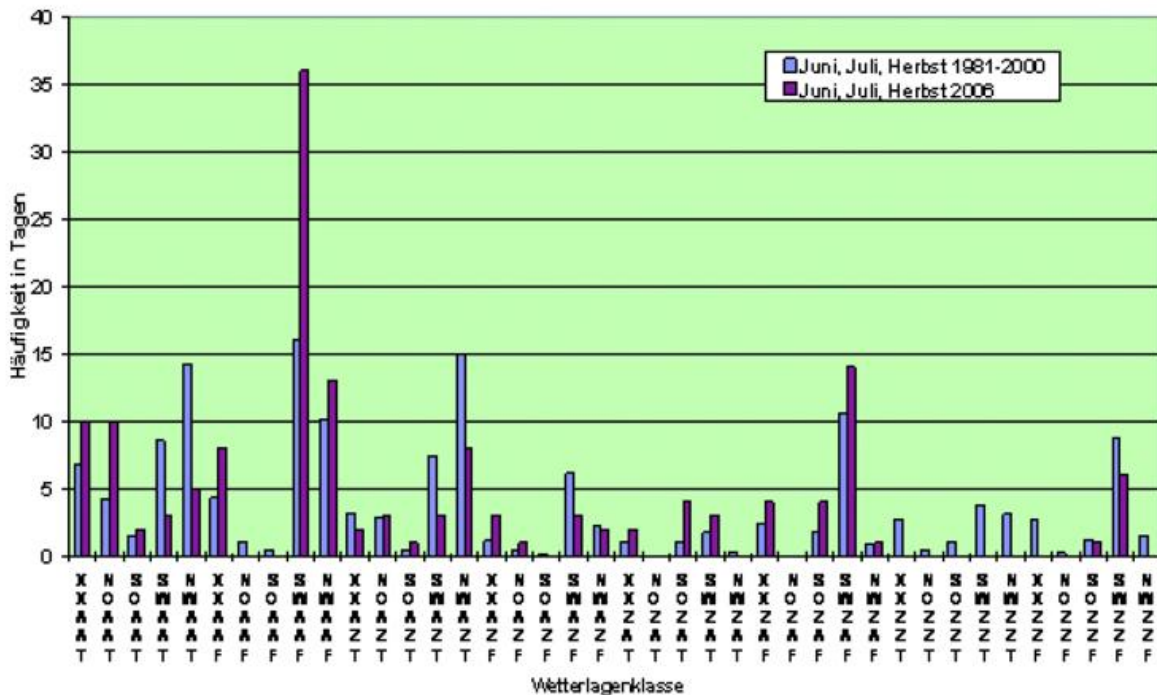


Abb. 2: Häufigkeitsverteilung der objektiven Wetterlagenklassen des Deutschen Wetterdienstes (DWD) als Summe über die Monate Juni, Juli, September, Oktober, November 2006 im Vergleich zum vieljährigen Mittel 1981-2000. (Bedeutung der Abkürzungen der Wetterlagenklassen: erste beide Buchstaben: Anströmrichtung (NO= Nordost, SO=Südost, SW=Südwest, NW=Nordwest, XX= keine einheitliche Richtung); dritter bzw. vierter Buchstabe: antizyklonal (A, Hochdruck) oder zyklonal (Z, Tiefdruck) im 500 hPa-Druckniveau (ca. 5,5 km Höhe) bzw. in Bodennähe ; fünfter Buchstabe: Wasserdampfgehalt in der Atmosphäre: T= trockener als im Mittel, F= feuchter als im Mittel).

eine hauptsächlich südwestliche Anströmrichtung über Deutschland, eine überwiegend antizyklonale Zirkulation (Hochdruck) sowohl in Bodennähe als auch in der höheren Atmosphäre und eine hohe absolute Luftfeuchte. Dies beschreibt eine warme und feuchte Luftmasse, die sich über Deutschland unter Absinken weiter erwärmt und durch Verdunstung noch weitere Feuchtigkeit aufnehmen kann, während eine Hebung der Luftmasse und damit Niederschläge unterbunden werden. Diese Wetterlage ist in vielen Fällen prädestiniert als Ursache einer Niedrigwassersituation.

Ursächlich für die im Jahr 2006 aufgetretenen niederschlags- und verdunstungsklimatischen Besonderheiten, die zur lang andauernden Niedrigwasserperiode führten, war somit das gehäufte Auftreten von Hochdrucklagen und Lagen mit südwestlicher Strömung ab dem Monat Juni (mit Ausnahme des August).

Die Niedrigwasser-Situation 2006 in den großen Fließgewässern

Die Defizite in den winterlichen Niederschlagssummen sowie die damit teilweise verbundene Tatsache, dass die ausgleichende Wirkung vorhandener Grundwasservorräte regional unterschiedlich in höchstens mäßigem Umfang zum Tragen kommen konnte, führten gleich zu Beginn des Jahres 2006 in den großen Fließgewässern zu Niedrigwasser. Anders als z.B. im Niedrigwasserjahr 2003 lagen die Abflüsse aller großer Flüsse im Winter und teilweise bis in den März hinein nur im Bereich des vieljährigen mittleren Niedrigwasserabflusses (MNQ), wie in Abb. 3 am Beispiel des Pe-

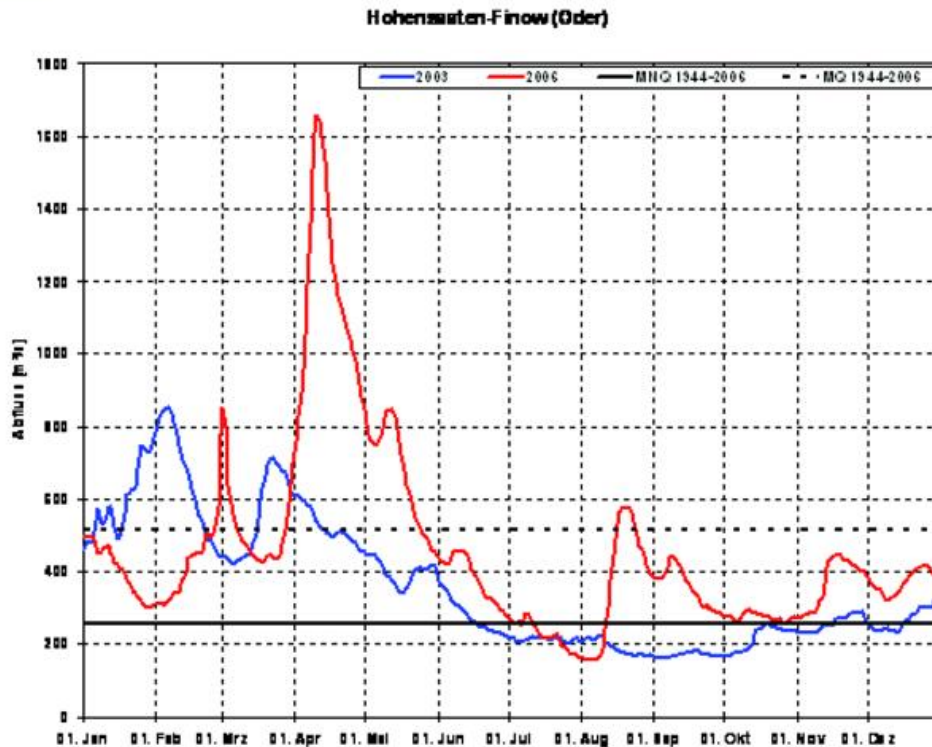


Abb.3: Tägliche Abflüsse 2006 am Pegel Hohensaaten-Finow (Oder) vor dem Hintergrund des Niedrigwasserjahres 2003 sowie der jeweiligen MQ und MNQ des Zeitraumes 1944-2006

gels Hohensaaten-Finow (Oder) gut zu erkennen ist. An Oder, Rhein und Donau wurden die mittleren Niedrigwasserabflüsse (mMNQ) der Monate Januar und Februar sogar deutlich unterschritten (Beispiel Hofkirchen und Köln, Abb. 4). Vorübergehende Entspannung brachte hier das eher nasse Frühjahr und die im März einsetzende Schneeschmelze, welche in fast allen großen Flussgebieten Deutschlands zu teils bedeutenden Hochwassern führte. Bis Ende Mai / Anfang Juni lagen die Abflüsse dadurch über dem vieljährigen Mittel (MQ) und weit über denen von 2003, die im Vergleichszeitraum bereits unter MNQ abgesunken waren.

Die oben angesichts geringer Sommerniederschläge und hoher Temperaturen beschriebenen Defizite in den Niederschlagssummen und in der KWB insbesondere in den Einzugsgebieten von Rhein, Donau und Oder spiegeln sich deutlich im Abflussverhalten der Flüsse wider: Es wurde im Juli ein extrem schnelles Absinken der Wasserstände deutschlandweit registriert.

Besonders auffällig ist in Abb. 4 der in Rhein und Donau im Jahr 2006 im Vergleich zum vieljährigen Durchschnitt um etwa einen Monat früher einsetzende Abflussrückgang. Verursacht durch das vorzeitige Abschmelzen des Schnees in den Alpen wurde hier bereits im Juli das niedrige Niveau erreicht, welches sich sonst erst in den für diese Flüsse typischen Niedrigwassermonaten Oktober und November einstellt. Zwar lagen diese Abflüsse immer noch über dem vieljährigen MNQ, was insofern noch nicht dramatisch erscheint; betrachtet man aber die mMNQ von Juni und Juli, wird die extreme Situation deutlich: Sowohl an der Donau (Pegel Hofkirchen) als auch am Rhein (Pegel Köln) wurden diese mMNQ im Jahre 2006 weit unterschritten.

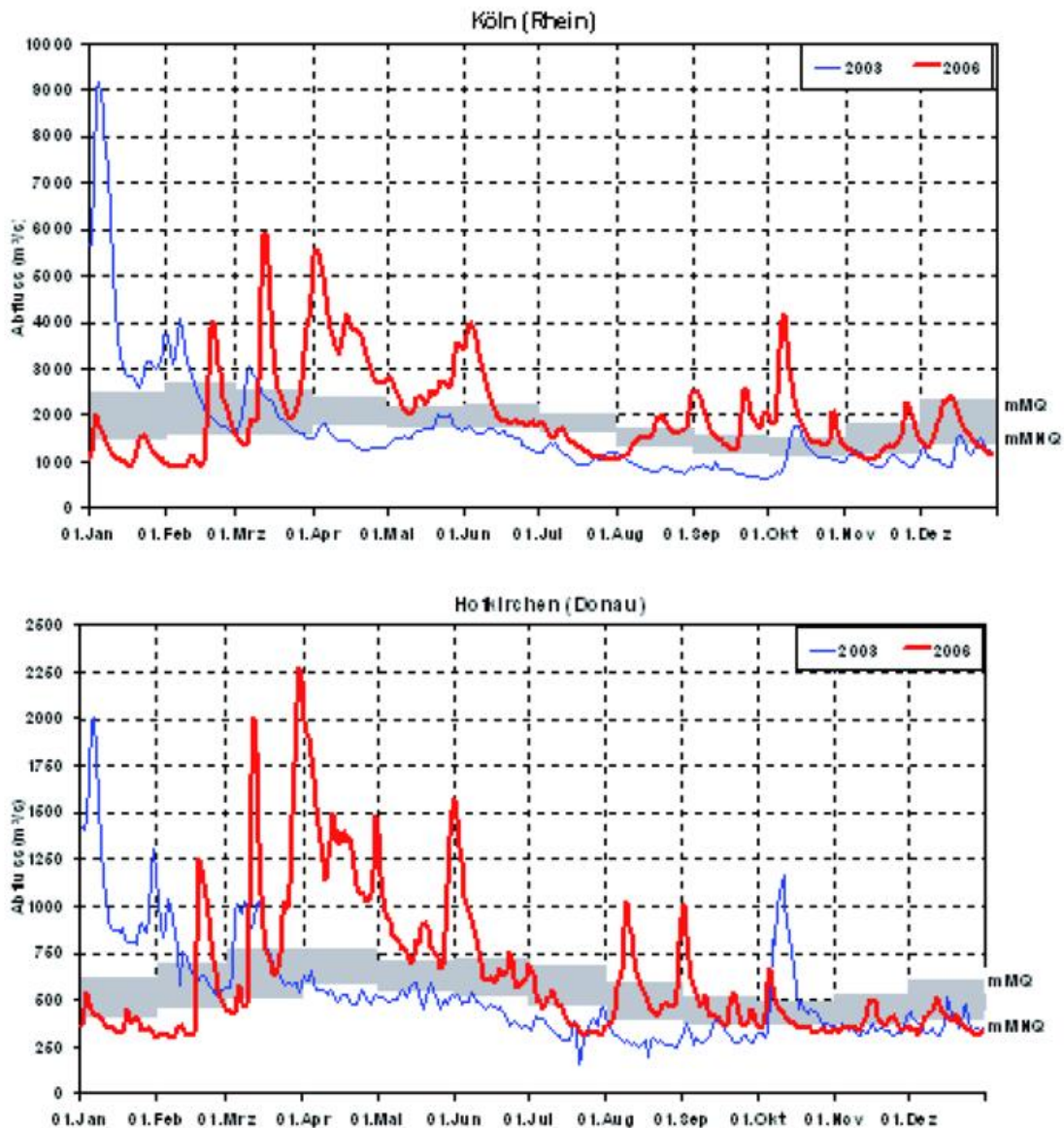


Abb. 4: Tägliche Abflüsse 2006 an den Pegeln Köln (Rhein) und Hofkirchen (Donau) vor dem Hintergrund des Niedrigwasserjahres 2003 sowie der jeweiligen einzelmonatsbezogenen mMQ (obere Grenze des grauten Bereichs) und mMNQ (untere Grenze des grauten Bereichs) des Zeitraumes 1944-2006

Anders als 2003 sorgte dann aber der in weiten Teilen Deutschlands zu kühle und recht niederschlagsreiche August für eine Entspannung der Abflusssituation vor allem in Rhein und Donau, aber auch in Elbe und Oder. So wurde durch den zeitweisen Anstieg der Abflüsse auf MQ und sogar darüber eine weitere Verschärfung der Niedrigwassersituation in den Folgemonaten verhindert. Zwar kam es durch den wärmsten Herbst in Deutschland seit Beginn des 20. Jahrhunderts, der zudem sehr trocken ausfiel und damit durch eine stark defizitäre klimatische Wasserbilanz geprägt war, erneut zu einem starken Abflussrückgang. Wasserstände und Abflüsse verharteten allerdings zumindest in Rhein und Donau noch auf einem Niveau, das nur knapp unter dem für diese Jahreszeit üblichen lag.

Zur Einordnung des Niedrigwassers im Jahr 2006

Die Einordnung von Extremereignissen erfolgt in der Regel anhand von Vergleichsdaten aus der Vergangenheit. Zuletzt war im Jahr 2003 in Deutschland eine Konstellation mit extrem niedrigen Wasserständen und Abflüssen aufgetreten. Eine zu statistischen Vergleichen notwendige einheitliche Datenbasis gemeinsam für repräsentative Pegel in allen deutschen Stromgebieten ist ab 1944 gegeben. Daher wurden die Abflussdaten des Jahres 2006 mit den Messdaten des Jahres 2003 verglichen sowie vor dem Hintergrund von Vergleichsdaten der Periode 1944-2006 hydrologisch bewertet.

Die Tabelle 1 zeigt einen Vergleich der niedrigwasserbezogenen Abflusssituation der Jahre 2003 und 2006 anhand der Kenngröße NM7Q^I. Es wird deutlich, dass die Niedrigwasserabflüsse 2006 im Allgemeinen von dem Niveau eines Extremjahres der Größenordnung des Jahres 2003 noch weit, z.T. sogar sehr weit entfernt waren, wenngleich sich die gemessenen Werte bereits deutlich unter dem vieljährigen Abflussmittel (MQ) befanden. Ersichtlich wird, dass die gemessenen NM7Q-Werte 2006 die vieljährig ermittelten MNQ an Elbe, Oder und Weser unterschritten haben, nicht jedoch an Donau, Rhein und Ems. In dieser Hinsicht bestand gewissermaßen ein West-Ost-Gefälle. Die Ergebnisse der Wahrscheinlichkeitsanalyse für NM7Q weisen mit Wiederkehrintervallen T^{II} von maximal 2-5 Jahren (in der Regel aber nur bis zu 2 Jahren) aus, dass es sich 2006 - mit Ausnahme der Oder - um keine außergewöhnlichen Niedrigwasser-Extreme handelte. Diese Niedrigwassersituationen treten trotz des gegebenen niedrigen Niveaus der Abflüsse statistisch gesehen in den Bundeswasserstraßen der deutschen Stromgebiete nicht sehr selten auf.

Einen Sonderfall stellte in 2006 allerdings die Oder dar, wo sogar ein ausnehmend seltenes Niedrigwasserextrem registriert wurde: Der beobachtete NM7Q-Wert von 157 m³/s am Pegel Hohensaaten-Finow wurde in der Untersuchungsperiode ab 1944 fast nie erreicht und unterschritten; er hat nur ein äußerst geringes Wiederkehrintervall von T=50 Jahren. Wie die Ganglinie in Abb. 3 zeigt, handelte es sich hier um ein verhältnismäßig kurzfristiges, in diesem Fall auf die erste Augustwoche beschränktes Einzelereignis. Der Vergleich der Ganglinie 2006 mit der extremen Niedrigwasser-Situationen in 2003 zeigt in der Grafik, dass der Abfluss im Vergleichsjahr 2003 deutlich länger auf sehr niedrigem Niveau unter MNQ lag, wenngleich die Ganglinie in 2003 nicht derartig tief absackte wie in der kurzen Zeitspanne Ende Juli/Anfang August 2006.

Die Resultate der Trendanalyse der NM7Q-Jahreswerte für die Periode 1944-2006 (vgl. Tab. 1) zeigen in der Tendenz fast immer einen Anstieg, d.h. in früheren Jahren traten extremere, abflussärmere Niedrigwassersituationen als in neuerer Zeit auf. Es ist in diesen Fällen bis zur Gegenwart eine Verringerung der Niedrigwassergefährdung zu belegen. Über ungesicherte Tendenzen hinaus zeigen die Pegel Dresden (Elbe) und Versen (Ems) für NM7Q signifikante Anstiegstrends.

^I der niedrigste mittlere Abfluss während sieben aufeinanderfolgender Tage in einem Bezugszeitraum – eine zuverlässige, gegenüber verzerrenden Singularitäten (z.B. kurzfristige Störeinflüsse oder Messfehler) unempfindliche Niedrigwasserkenngröße

^{II} Das *Wiederkehrintervall* gibt im Niedrigwasser-Fall an, alle wieviel Jahre ein Ereignis im Mittel erreicht oder unterschritten wird

Tab. 1: Die Niedrigwasserkenngröße NM7Q des Jahres 2006 an ausgewählten Pegeln an Bundeswasserstraßen im VergleichTrend: Trendsignifikanz jeweils parallel untersucht mit Mann-Kendall- und t-Test ($\alpha=0,05$).

- + statistisch ungesicherte Anstiegstendenz+s signifikanter ansteigender Trend
 - statistisch ungesichert fallende Tendenz -s signifikanter fallender Trend

Pegel	MQ 1944-2006 [m ³ /s]	MNQ 1944-2006 [m ³ /s]	2003 [m ³ /s]	NM7Q [m ³ /s]		Trend (Periode 1944- 2006)
				2006 [m ³ /s]	T (Bezug 1944-2006) ^{III}	
Hofkirchen (Donau)	641	315	259	326	2	+
Maxau (Rhein)	1260	618	415	676	1-2	+
Köln (Rhein)	2120	959	659	1070	1-2	+
Dresden (Elbe)	323	111	93,7	117	2	+s
Neu Darchau (Elbe)	703	283	174	239	2-5	+
Hohensaaten-Finow (Oder)	515	258	163	157	50	-
Intschede (Weser)	324	124	99,2	122	2	+
Versen (Ems)	80,4	16,5	19,7	19,6	2	+s

Insgesamt zeigt sich also die Niedrigwassersituation 2006 nur im Odergebiet als echtes Extremereignis. Ansonsten kam es aufgrund der abmildernden Wirkung des kühlfeuchten Monats August kaum zu außergewöhnlichen Abflusskonstellationen in den großen Flüssen. Größere Einschränkungen für die Binnenschifffahrt blieben daher weitgehend aus. Vielmehr erhöhte sich nach Angaben des Statistischen Bundesamtes die Güterbeförderungsmenge in der Binnenschifffahrt im Jahr 2006 auf 243,1 Mio. Tonnen. Das war die höchste Transportmenge seit 1991. Ohne für den Schiffsverkehr ausreichend hohe Wasserstände hätte dieses Faktum nicht zustande kommen können. Eine ausführliche Analyse des Niedrigwassers im Jahr 2006 liefern BELZ et al. (2007).

Die aktuellen Ergebnisse der Klimaforschung, bspw. im Rahmen des KLIWA-Projektes (vgl. im Internet: www.kliwa.de), prognostizieren als Folge des Klimawandels in Deutschland eine Erhöhung der Temperaturen (und damit auch der Verdunstung) und Veränderungen des Niederschlagsregimes (z.B. geringere Pufferung von Winterniederschlägen in Form von Schnee, Rückgang der Sommerniederschläge). Dieses könnte eine Zunahme der Anzahl und des Ausmaßes von Niedrigwassersituationen an den deutschen Stromgebieten zur Folge haben. Daher besteht weiterer dringender Forschungsbedarf in der Diagnose und Prognose des Klimawandels in Deutschland und seiner Auswirkungen auf die Schifffahrt und den Transport auf den Bundeswasserstraßen.

Literatur

Belz, J.U., Bissolli, P., Klämt, A., Rademacher, S., Richter, K., Rudolf, B. und Theis, H.-J. (2007): Die Niedrigwassersituation des Jahres 2006 der deutschen Bundeswasserstraßen. BfG-Bericht, Koblenz.

^{III}Methode logNormal3/Momente

Das Bioklima in Deutschland im Jahr 2007

A. Grätz

Unter Bioklima wird im Folgenden der Einfluss des Klimas auf den Menschen verstanden, der sich über seinen Wärmehaushalt sehr gut beschreiben lässt. Um weder zu stark auszukühlen noch aufzuheizen müssen sich Wärmegewinn und Wärmeabgabe die Waage halten. Die dabei zu erbringende Anpassungsleistung lässt sich mit Wärmehaushaltsmodellen, die sowohl die relevanten Umgebungsvariablen Lufttemperatur, Feuchte, Windgeschwindigkeit und Strahlung als auch die Personen bezogenen Daten Bekleidung, Aktivität oder auch Größe, Gewicht, Alter und Geschlecht berücksichtigen, berechnen.

Im Deutschen Wetterdienst ist das Klima-Michel-Modell gebräuchlich. Das berechnete thermische Empfinden wird mit Hilfe der Gefühlten Temperatur beschrieben.

Gefühlte Temperatur

Die Gefühlte Temperatur [°C] entspricht der Temperatur einer Normumgebung (schattig, windschwach), in der der Organismus den gleichen Aufwand betreiben muss, um seinen Wärmehaushalt zu regulieren, wie unter den tatsächlich vorgefundenen Bedingungen. Gefühlte Temperaturen zwischen 0 und 20°C bedeuten Behaglichkeit, Gefühlte Temperaturen kleiner als 0°C erzeugen ein Kalt- größer als 20°C ein Warmgefühl.

Um vergleichbare Ergebnisse zu erzielen, beziehen sich die Berechnungen auf eine Standardperson - den Klima-Michel: männlich, Alter 35 Jahre, Größe 1.75m, Gewicht 75kg. Er geht mit konstanter Geschwindigkeit in der Ebene (4km/h). Seine Bekleidung variiert er so, dass er nach Möglichkeit Behaglichkeit empfindet.

In Tabelle 1 sind Gefühlte Temperaturen, thermisches Empfinden und die dazugehörigen Belastungsstufen gegenüber gestellt.

Tab. 1: Beziehung zwischen Gefühlter Temperatur, Thermischem Empfinden und Belastungsstufen

Gefühlte Temperatur [°C]	Thermisches Empfinden	Belastungsstufe
unter -39	sehr kalt	extreme Belastung
-39 bis -26	kalt	starke Belastung
-26 bis -13	kühl	mäßige Belastung
-13 bis 0	leicht kühl	schwache Belastung
0 bis 20	behaglich	keine Belastung
20 bis 26	leicht warm	schwache Belastung
26 bis 32	warm	mäßige Belastung
32 bis 38	heiß	starke Belastung
über 38	sehr heiß	extreme Belastung

Da sich kalte Bedingungen durch geeignete Verhaltensweisen oftmals auf ein erträgliches Maß reduzieren lassen, bei Wärmebelastung aber die Anpassungsmöglichkeiten begrenzt sind und damit eher eine Befindensbeeinträchtigung oder gar Gefährdung eintreten kann, wurde für die inhaltliche Darstellung die warme Seite der thermischen Komponente des Bioklimas ausgewählt.

Grundlage für die Erfassung des Bioklimas 2007 waren die stündlichen Mess- und Beobachtungsdaten von 125 Wetterstationen, die mit dem Klima-Michel-Modell analysiert wurden. Anschließend wurden die Tage ausgezählt, an denen die Gefühlte Temperatur den Wert von 32 °C (starke Wärmebelastung) zwischen 5 und 17 UTC während mindestens drei Terminen erreicht oder überschritten hatte. Mit Hilfe eines statistischen Modells, das die geographischen Koordinaten, die Höhe über NN sowie die Entfernung zum Meer berücksichtigt, wurden die Ergebnisse in den Raum übertragen.

Abb. 1 zeigt im 1-km-Raster, wie häufig in Deutschland im Jahr 2007 starke Wärmebelastung auftrat. Es zeigt sich, dass in den Hochlagen der Mittelgebirge die Gefühlte Temperatur fast nie 32 °C überschritten hatte. Das belegen auch die Stationsauswertungen z. B. vom Kahlen Asten, Brocken oder auch von der Wasserkuppe, wo kein einziger Tag mit starker Wärmebelastung beobachtet worden war. Auch an der Nord- und Ostseeküste war starke Wärmebelastung kein Thema. Zum Landesinneren hin nahm mit zunehmender Entfernung vom Meer die Häufigkeit der stark wärmebelasteten Tage zu - im Osten deutlich rascher als im Westen. So traten im Berliner Raum mit etwa 25 mehr als doppelt so viele Tage auf wie in Osnabrück, trotz derselben geographischen Breite und der gleichen Höhenlage. Berlin sowie das südliche Brandenburg und die Elbniederung bildeten eine von drei großen wärmebelasteten Regionen Deutschlands. Dabei kommen insbesondere der Einfluss der Kontinentalität sowie die relativ niedrige Höhenlage zum Tragen. Die beiden anderen ausgeprägten Belastungsregionen lagen im Süden Deutschlands. Hier befanden sich auch die Stationen, an denen mit etwa 40 Tagen starke Wärmebelastung am häufigsten auftrat. Das war zum einen Karlsruhe, das in dem für seine Wärme bekannten Oberrheingraben liegt. Zum anderen waren es Regensburg und Mühldorf/Inn im Südosten Deutschlands, wo sich im Bereich der Donauniederung und ihren Seitentälern die dritte häufig stark wärmebelastete Region herausgebildet hatte.

Im Flächenmittel sah sich der Mensch 2007 in Deutschland an 15 Tagen starker Wärmebelastung ausgesetzt.

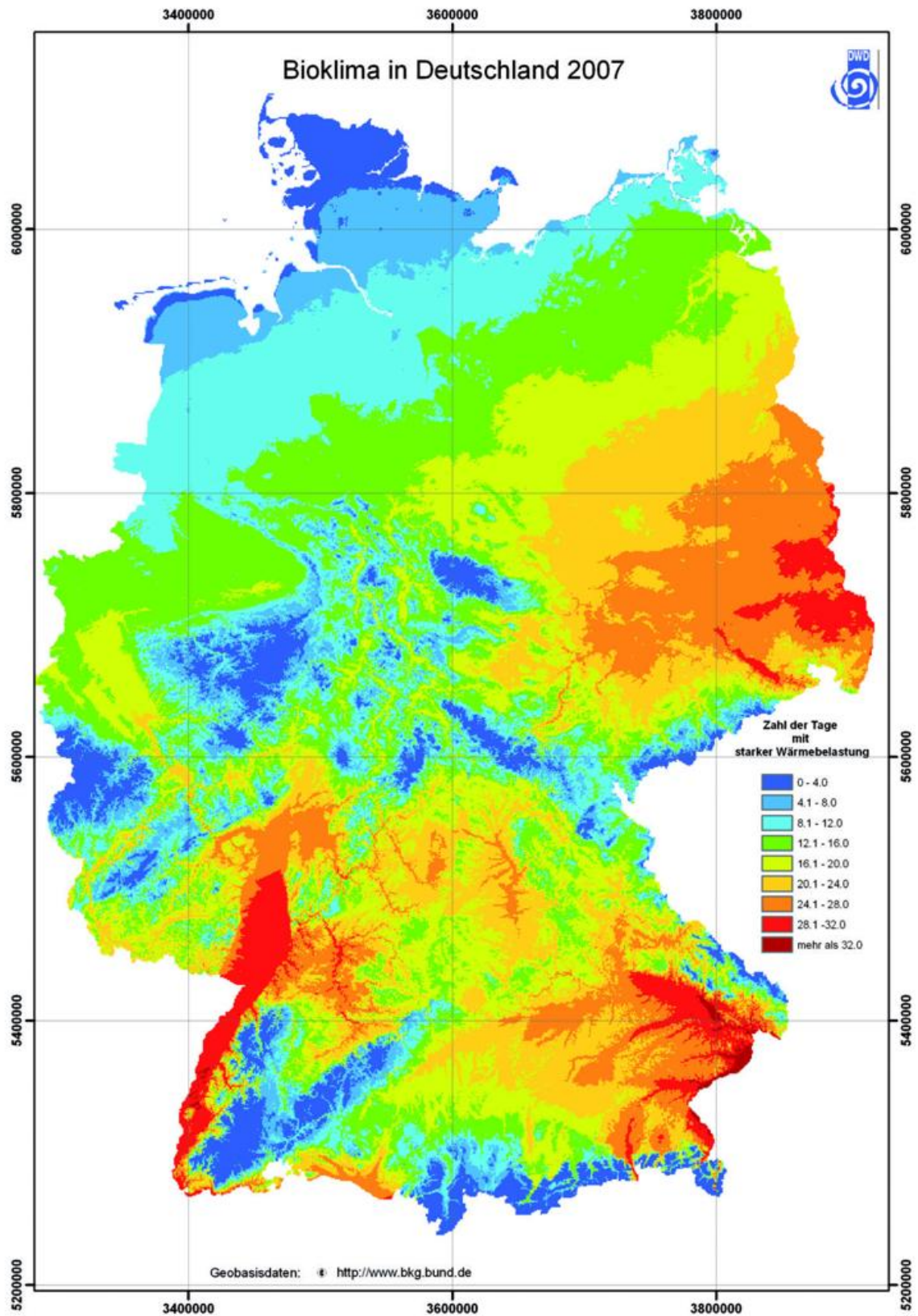


Abb.1: Zahl der Tage mit starker Wärmebelastung im Jahr 2007

Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen

AWST	automatische Wetterstation
AOT40	KenngroÙe für pflanzenschädigende Ozonkonzentration
BfG	Bundesanstalt für Gewässerkunde
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BSH	Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrologie
BW	Bundeswehr
CLIMAT	Meldung klimatologischer Monatswerte einer Landstation
DWD	Deutscher Wetterdienst
GAW	Global Atmosphere Watch (Messnetz z. Überwachung d. Chemie d. Atm.)
GCC	Global Collecting Centre
GPCC	Global Precipitation Climatology Centre
GTS	Global Telecommunication System
GUS	Gemeinschaft unabhängiger Staaten (der ehemaligen Sowjetunion)
KWB	Klimatische Wasserbilanz
MARDAD	Marine Datenbank
MNQ	mittlerer Niedrigwasserabfluss
MQ	AbflusskenngroÙe
MOHp	Meteorologisches Observatorium HohenpeiÙenberg
NAO	nordatlantische Oszillation
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NDACC	Network for the Detection of Atmospheric Composition Change
nFK	nutzbare Feldkapazität
NM7Q	Niedrigwasser-AbflusskenngroÙe
OBS	Observatorium
PILOT	Höhenwindmessung von einer ortsfesten Landstation
SYNOP	Bodenwettermeldung von einer ortsfesten Landstation
TEMP	Aerologische Meldung
UTC	Universal Time Coordinated (Weltzeit)
VAE	Vereinigte Arabische Emirate
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VOS	Wetterbeobachtungen meldendes Schiff (Voluntary Observing Ship)
w.e.	water equivalent (Wasseräquivalent)
WM	Weltmeisterschaft
WMO	World Meteorological Organisation
WST	Wetterstation
WZN	Weltzentrum für Niederschlagsklimatologie

Autorenverzeichnis

Name	Anschrift	E-Mail
Baugirdis, Cornelia	Deutscher Wetterdienst Bernhard-Nocht-Str. 76 20359 Hamburg	Cornelia.Baugirdis@dwd.de
Bissolli, Peter	Deutscher Wetterdienst Frankfurter Str. 135 63067 Offenbach	Peter.Bissolli@dwd.de
Claude, Hans	Deutscher Wetterdienst Albin-Schwaiger-Weg 10 82383 Hohenpeißenberg	Hans.Claude@dwd.de
Escher-Vetter, Heidi	Kommission für Glaziologie Bayerische Akademie der Wissenschaften Alfons-Goppel-Str. 11 80539 München	Heidi.Escher@kfg.badw.de
Fuchs, Tobias	Deutscher Wetterdienst Frankfurter Str. 135 63067 Offenbach	Tobias.Fuchs@dwd.de
Gilge, Stefan	Deutscher Wetterdienst Albin-Schwaiger-Weg 10 82383 Hohenpeißenberg	Stefan.Gilge@dwd.de
Grätz, Angelika	Deutscher Wetterdienst Stefan-Meier-Straße 4 79104 Freiburg	Angelika.Graetz@dwd.de
Hechler, Peer	Deutscher Wetterdienst Frankfurter Str. 135 63067 Offenbach	Peer.Hechler@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	<u>Franz-Josef.Loepmeier@dwd.de</u>
Müller-Westermeier, Gerhard	Deutscher Wetterdienst Frankfurter Str. 135 63067 Offenbach	<u>Gerhard.Mueller-Westermeier@dwd.de</u>
Nitsche, Helga	Deutscher Wetterdienst Frankfurter Str. 135 63067 Offenbach	<u>Helga.Nitsche@dwd.de</u>
Riecke, Wolfgang	Deutscher Wetterdienst Bernhard-Nocht-Str. 76 20359 Hamburg	<u>Wolfgang.Riecke@dwd.de</u>
Rudolf, Bruno	Deutscher Wetterdienst Frankfurter Str. 135 63067 Offenbach	<u>Bruno.Rudolf@dwd.de</u>
Rosenhagen, Gudrun	Deutscher Wetterdienst Bernhard-Nocht-Str. 76 20359 Hamburg	<u>Gudrun.Rosenhagen@dwd.de</u>
Steinbrecht, Wolfgang	Deutscher Wetterdienst Albin-Schwaiger-Weg 10 82383 Hohenpeißenberg	<u>Wolfgang.Steinbrecht@dwd.de</u>
Trampf, Walter	Deutscher Wetterdienst Frankfurter Str. 135 63067 Offenbach	<u>Walter.Trampf@dwd.de</u>
Voß, Peter-Hinrich	Deutscher Wetterdienst Frankfurter Str. 135 63067 Offenbach	<u>Peter-Hinrich.Voss@dwd.de</u>
Zimmerman, Kirsten	Deutscher Wetterdienst Frankfurter Str. 135 63067 Offenbach	<u>Kirsten.Zimmermann@dwd.de</u>

Index

A

Abfluss 8
Apfelblüte 53
Atmosphäre 36
freie 36

B

Behaglichkeit 100
Belastungsstufe 100
Benetzungszeit 55
Bioklima 100
Bodenfeuchte 48
Bodentemperatur 55

D

Dürre 48

E

Eistag 29
Extremniederschläge 67
Extremwerte 47

F

Feuchte 41
Feuchteklassen 45
Frontalzone 73
Frühjahr 67

G

Gewitter 74
Gletscher 5
Globalstrahlung 10, 27
Gradtage 88
Gradtagzahlen 88

H

Herbst 68
Hochwasser 67
Höhenwind 37

K

Klima-Michel 100
Kyrill 52

M

Meeresspiegel 21
Meeresspiegelanstieg 21
Mitteltemperatur 23
Monatsmitteltemperaturen 23

N

Niederschlag 93
Niederschlagsanomalien 67
Niederschlagshöhe 27
Niedrigwasser 95
Niedrigwassersituation 93

O

Orkantief 35
Ostwindzirkulation 37
Ozon 15
Ozonschicht 59

P

Pegel 96
Phasen 51
phänologische 51

R

Referenzzeitraum 39
Routenberatung 82
Routing 82

S

Schnee 11
Schneedecke 93
Schneefall 68
Schneeglöckchen 52
Schneehöhe 68
Seeschifffahrt 34
Sommer 67
Sommertage 32
Sonnenscheindauer 25, 27
Starkniederschläge 67
Stratosphäre 37
Stürme 32
Sturmflut 33, 80

T

Tagesmitteltemperatur 24
Temperatur 100
Gefühlte 100
Temperaturabweichung 31
Thermopluviogramm 23
Tornados 32
Trockenheit 49
Trockenschäden 51
Trockenstress 51
Troposphäre 39

U

Überschwemmungen 67
UV-Index 60

V

Vegetationsruhe 49, 51
Vegetationszeit 56
Verdunstung 55

W

Wärmehaushalt 100
Wasserbilanz 94
Wasserführung 11
Wasserstress 48
Wassertemperatur 34
Wetterlage 41
Wetterlagenklasse 41
Wetterlagenklassifikation 41
Wind 79
 geostrophisch 79
Windmaxima 38
Windverhältnisse 34
Winter 67
Wintersturm 33
Winterungen 51
Witterungsverlauf 29

Z

Zirkulation 37
Zyklonalität 41