

# Klimastatusbericht 2008



**Stadtklima**

**Aktuelle Ergebnisse des Klimamonitorings**

**Erfassung und Prüfung historischer Klimadaten**

Herausgeber und Verlag  
Deutscher Wetterdienst  
Frankfurter Str. 135  
63067 Offenbach

Postfach 10 04 65  
63004 Offenbach

**Redaktion:**

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

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

**Der Klimastatusbericht im Internet:**

[www.ksb.dwd.de](http://www.ksb.dwd.de)

**ISSN 1437 - 7691**

**ISSN 1616 - 5063 (Internet)**

**ISBN 978-3-88148-441-1**

**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**

Skyline von Frankfurt als Beispiel einer dicht bebauten Innenstadt.

## Vorwort



Sehr geehrte Damen und Herren,

ich freue mich Ihnen in diesem Jahr wieder einen Klimastatusbericht in alter Form mit einem besonderen Schwerpunkt vorlegen zu können. In sechs speziellen Beiträgen wird das Thema „Klimawandel und urbaner Raum“ behandelt und die Änderungen und Anpassungsoptionen für unseren Lebensraum aufgezeigt, denen wir uns in der Zukunft möglicherweise stellen müssen.

Klimatologisch ist das Jahr 2008 sicher vielen von Ihnen im Gegensatz zu den Vorjahren als eher unspektakulär in Erinnerung geblieben; trotzdem steht 2008 in Deutschland an 9. Stelle der wärmsten Jahre seit Beginn der regelmäßigen flächen-deckenden Wetteraufzeichnungen 1901. Dazu haben besonders der Winter 2007/2008 und das nachfolgende Frühjahr beigetragen.

Neben den Standardbeiträgen der „Gelben Seiten“ und dem genannten Spezialthe-ma werden außerdem in einzelnen Artikeln die Entwicklung klimarelevanter Spurengase, das Projekt KLIDADIGI zur Sicherung und Digitalisierung klimatischer Archiv-daten, die Qualitätskontrolle historischer Klimadaten, sowie das Gradtagzahlensystem des Deutschen Wetterdienstes beschrieben.

Ich wünsche Ihnen viel Vergnügen bei der Durchsicht des diesjährigen Bandes und möchte Sie, liebe Leserinnen und Leser, wieder ermuntern uns mitzuteilen, welche Themen für Sie von besonderem Interesse sind, damit wir diese und Ihre weiteren Anregungen bei zukünftigen Ausgaben berücksichtigen können.

Ihr

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'K.-J. Schreiber', written in a cursive style.

Klaus-Jürgen Schreiber

Leiter der Abteilung Klimaüberwachung

---

**Inhaltsverzeichnis**

Zum Klima im urbanen Raum W. Kuttler	6
Verwendung von Klimaprojektionsdaten für die Stadtklimasimulation T. Deutschländer, M. Koßmann, T. Steigerwald, J. Namyslo	13
Zukünftige Wärmebelastung in Ballungsräumen – Stadtklimasimulationen B. Früh, M. Roos und U. Sievers	18
Stadtplanung und Klimawandel - Eine Kooperation mit der Stadtentwicklungs- verwaltung von Berlin U. Behrens, A. Grätz	24
Niederschläge im urbanen Raum G. Malitz , B. Rudolf	33
Klimatologische Größen zur technischen Planung am Beispiel der TRY (Testreferenzjahre) U. Wienert	39
Extremwertkarte	48
Die Witterung in Deutschland 2008 G. Müller-Westermeier, W. Riecke	49
Das Klima in den deutschen Küstengebieten 2008 C. Lefebvre	67
Ergebnisse aus Messungen in der freien Atmosphäre K. Zimmermann, H. Nitsche	72
Die agrarmeteorologische Situation im Jahr 2008 W. Trampf, H. Hassemer - Schwarz, F. - J. Löpmeier	78
Entwicklung der Ozonschicht H. Claude, W. Steinbrecht, U. Köhler	90
Zeitlich-räumliche Verteilung der Gebietsniederschläge in Europa T. Fuchs	91
Weltweite Besonderheiten der Witterung P. Hechler	99

---

Rettung historischer Klimadaten in Deutschland: das KLIDADIGI-Projekt des DWD H. Mächel, A. Kapala, J. Behrendt und C. Simmer	103
Qualitätskontrolle historischer Klimadaten J. Behrendt, K. Zimmermann	119
Entwicklung klimarelevanter Spurengase C. Plass-Dülmer, S. Gilge, H. Claude, W. Fricke, U. Köhler, W. Steinbrecht	126
Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen	136
Autorenverzeichnis	138
Index	142

## Zum Klima im urbanen Raum

W. Kuttler

### 1. Einleitung

Die Stadtklimatologie hat insbesondere als angewandte Wissenschaft erheblich an Bedeutung gewonnen. Das liegt daran, dass die Verantwortlichen für die Stadt- und Umweltplanung fachbezogene Antworten auf die klimatischen und lufthygienischen Änderungen im urbanen Bereich auch unter dem Aspekt des globalen Klimawandels erwarten.

Urbane Räume werden weltweit durch klimatische und lufthygienische Verhältnisse geprägt, die im Wesentlichen durch die Art der Bebauungsstruktur und Oberflächenversiegelung sowie durch die Freisetzung von Abwärme und Luftverunreinigungen verursacht werden. Da das Klima der Siedlungsräume jedoch in das jeweils vorherrschende Großklima eingebettet ist, pausen sich – allerdings in weit geringerem Maße als die genannten lokalen Faktoren - auch makroskalige Einflüsse auf das Stadtklima durch. Diese führen in Abhängigkeit von der geographischen und topographischen Lage der Stadtgebiete zu verschiedenen Stadtklimatypen (WIENERT, KUTTLER 2005), auf die unter Verweis auf die genannte Literatur nicht weiter eingegangen wird. Vielmehr orientiert sich der nachfolgende stadtklimatologische Überblick an Beispielen aus mitteleuropäischen Großstädten. Ergänzt wird dieser durch die Beschreibung human-biometeorologischer Bewertungsmöglichkeiten, mit deren Hilfe die Stärke photoaktinischer, thermischer und lufthygienischer Belastungen für die Stadtbevölkerung angegeben werden kann. Ein abschließendes Kapitel widmet sich dem Problem der Auswirkungen des globalen Klimawandels auf urbane Räume und nennt Maßnahmen, die auf lokaler Ebene gegen den Temperaturanstieg ergriffen werden können.

### 2. Stadtklimatologische Charakteristika

Die genannten Faktoren beeinflussen die qualitative Zusammensetzung der Stadtatmosphäre, den Strahlungs-, Feuchte- und Wärmehaushalt der Oberflächen und der städtischen Grenzschicht, den Luftaustausch zwischen Stadt und Umland sowie die Niederschlagsverhältnisse. Gemeinsam lassen sie das Erscheinungsbild des jeweiligen Stadtklimatyps entstehen. Auf ausgewählte Charakteristika wird nachfolgend eingegangen.

Zum bekanntesten Faktum des Stadtklimas zählt die **städtische Wärmeinsel** (engl. *Urban Heat Island*, UHI), die als positive horizontale Temperaturdifferenz ( $\Delta T_{S-U} > 0 \text{ K}$ ) zwischen Stadt und Umland von verschiedenen Einflussgrößen abhängig ist (Tab. 1).

Je nach Betrachtungsweise und Berücksichtigung der Oberflächen- bzw. Lufttemperatur lassen sich verschiedene **UHI-Typen** unterscheiden. So sind Wärmeinseln der Oberflächen von denen der Stadtatmosphäre (meist 2 m Höhe oder höher) zu unterscheiden.

**Tab.1** Meteorologische und strukturelle Einflussfaktoren (EF) auf die städtische Wärmeinsel (UHI)

Einflussfaktoren	Vorzeichen der Korrelationskoeffizienten zwischen UHI und EF
Wolkenbedeckungsgrad	-
Windgeschwindigkeit	-
Anthropogene Wärmeemission	+
Atmosphärische Gegenstrahlung („Dunstglocke“)	+
Bowen-Verhältnis <sup>1</sup>	+
Einwohnerzahl	+
Himmelssichtfaktor (engl. Sky View Factor, SVF <sup>2</sup> )	-
Verhältnis Höhe Straßenrandbebauung/Straßenbreite	+
Oberflächenversiegelung	+
Grün- und Wasserflächenanteil/Gesamtfläche	-
<sup>1</sup> $Bo = Q_H/Q_E$ (mit $Q_H$ : fühlbarer Wärmestrom; $Q_E$ : latenter Wärmestrom)	
<sup>2</sup> SVF: Verhältnis von unbeeinflusster zu der am Standort vorherrschenden Himmelssicht	

Maximale UHI-Werte der Stadtatmosphäre von bis zu 10 K können durchaus in mitteleuropäischen Großstädten, überwiegend in der ersten Nachthälfte während austauscharmer sommerlicher Strahlungswetterlagen, beobachtet werden.

Eng gekoppelt an die überwiegend nächtlich auftretende städtische Überwärmung kann sich bei niedriger übergeordneter Windgeschwindigkeit oder fehlendem Wind über entsprechende Luftleitbahnen eine stadteinwärts gerichtete konvergente bodennahe Luftströmung entwickeln (Flurwind, auch **UHI-Zirkulation** genannt; HIDALGO et al. 2008). Ein derartiges Windsystem ist hinsichtlich seiner Persistenz zwar fragil, kann aber durchaus planungsrelevant sein, wenn es z. B. durch den Transport von kalter Umlandluft dazu beiträgt, die klimatisch-lufthygienische Situation in den Innenstädten durch Abkühlung und Erhöhung der Luftqualität zu verbessern.

Voraussetzung für die **Belüftungseffektivität** sind allerdings neben einer gut ausgebildeten Wärmeinsel raugkeitsarme Ventilationsbahnen, die die Kaltluftquellgebiete des Umlandes mit dem städtischen Wirkgebiet auf möglichst kurzem Wege verbinden (DÜTEMEYER, 2000).

Die **Luftfeuchtigkeit** (Dampfdruck) weist in Städten in der Regel niedrigere Jahresmittelwerte als das jeweilige Umland auf. Allerdings können sich diese Verhältnisse insbesondere während austauscharmer Wetterlagen im Sommer umkehren, da in der Umlandgrenzschicht wegen der stärkeren Abkühlung die Taupunkttemperatur abends früher und nächtlich häufiger unterschritten wird. Man spricht dann von einem Urban Moisture Excess (UME;  $\Delta e_{S,U} > 0$  hPa), der sich durchaus während eines Drittels der Jahresstunden einstellen kann (KUTTLER et al. 2007).

Die urbane **Luftqualität** wird im Wesentlichen durch Emissionen aus niedrig gelegenen Quellen (Kfz-Verkehr, Hausbrand) beeinflusst. Neben typischen gasförmigen Luftverunreinigungen NO, CO, NO<sub>2</sub>, VOC sowie O<sub>3</sub> spielen bei der Beurteilung der Luftgüte insbesondere Feinstäube ( $\leq$  PM<sub>10</sub>; PM<sub>10</sub>: Feinstaub mit Partikeldurchmesser  $\leq$  10  $\mu$ m) in der aktuellen Forschung eine besondere Rolle. Die Feinstaubkonzentrationen sind nicht nur von der Flächennutzung (WEBER 2008; COSTABILE et al. 2008), sondern auch von meteorologischen Austauschparametern (WEBER et al. 2006) abhängig. Langzeittrendanalysen der vergangenen zwei Jahrzehnte verschiedener gasförmiger Luftqualitätsindikatoren zeigen zum Beispiel für nordrhein-westfälische Messstationen eine deutliche Abnahme der NO- und CO-Konzentrationen, jedoch stagnierende bzw. leicht ansteigende Werte für O<sub>3</sub> und NO<sub>2</sub> (MELKONYAN, KUTTLER 2009). Als Grund wird beispielsweise die Primäremission von NO<sub>2</sub> durch Oxidationskatalysatoren von Dieselfahrzeugen angesehen. Die ansteigenden Zulassungszahlen dieses Fahrzeugtyps während der vergangenen Jahre verschärfen dieses Problem. Da NO<sub>2</sub> ein wichtiges Vorläufergas für die Entstehung von O<sub>3</sub> ist, dürften sich auch dessen Konzentrationen weiter erhöhen.

Nach wie vor fehlen für die Städte in Deutschland belastbare Daten, um CO<sub>2</sub>-Bilanzen erstellen zu können. Grundlagen hierfür stellen neben der Berechnung von CO<sub>2</sub>-Emissionen aus entsprechenden Quellen die möglichst präzise Ermittlung der horizontalen, aber auch vertikalen Verteilung von CO<sub>2</sub> in Stadtgebieten sowie die direkte Messung von CO<sub>2</sub>-Flüssen über verschiedenen urbanen Oberflächen dar (KORDOWSKI, KUTTLER 2008). Untersuchungen zur horizontalen Verteilung von CO<sub>2</sub> in urbanen Räumen wurden mit Hilfe mobiler und stationärer Messungen zum Beispiel in der Stadt Essen durchgeführt und zeigen signifikante flächennutzungsabhängige Konzentrationsunterschiede während austauscharmer Wetterlagen (HENNIGER, KUTTLER, 2007).

Auch wirken sich Relief und Topographie von Städten in Tallagen über Kaltluftflüsse deutlich auf die Verteilung von CO<sub>2</sub> in der bodennahen städtischen Grenzschicht aus (PTAK 2009).

Günstige Auswirkungen auf die klimatischen und lufthygienischen Verhältnisse in Städten weisen innerstädtische Wasser- und Grünflächen (ROPERTZ 2008) auf. Letztere sind nicht nur als ebenerdig angelegte Parks – selbst bei geringer Flächengröße (< 10 ha) – klima- und luftqualitätsverbessernd wirksam (BONGARDT 2007), sondern können auch als Dach- und Fassadenbegrünung (KÖHLER 2008) sowie Straßenbegleitgrün einen klimaoptimierenden und Staub reduzierenden Einfluss ausüben. Für die Staubfilterung spielen dabei Art und Dichte der Vegetation eine maßgebliche Rolle (LITSCHKE, KUTTLER 2008).

Beispiele zur Verbesserung der Luft- und Klimaqualität in Städten nennt BARLAG (1997). MAYER et al. (1994) zeigen Möglichkeiten auf, die thermischen Wirkungsfaktoren durch stadtplanerische Maßnahmen zu verbessern.

### 3. Stadtklimatische Bewertungs- und Darstellungsverfahren

Um die Ergebnisse stadtklimatischer Messungen ihrer Bedeutung für die Stadtbewohner nach möglichst objektiv einschätzen zu können, müssen diese Daten bewertet werden. Das geschieht für die human-biometeorologischen Wirkungskomplexe durch die Verwendung entsprechender Indizes. So zum Beispiel für

- den photoaktinischen Wirkungskomplex durch den UV-Index (STAIGER et al. 1997),
- den thermischen Wirkungskomplex durch Angaben des PMV (*Predicted Mean Vote*; JENDRITZKY et al. 1990), der PET (*Physiologically Equivalent Temperature*; MAYER 2006), der pt (*perceived temperature*;) oder den UTCI (*Universal Thermal Climate Index*; JENDRITZKY et al. 2007) sowie
- den lufthygienischen Wirkungskomplex durch die Kurzzeit- und Langzeitindizes für Luftqualität DAQx (*Daily Air Quality Index*) respektive LAQx (*Long-time Air Quality Index*) (MAYER et al. 2008)

Anwendungsbezogene Hinweise zur Berücksichtigung von Klima und Lufthygiene sowie deren Bewertung für stadtplanerische Belange sowie die Darstellung stadtklimatischer Sachverhalte sind zum Beispiel in verschiedenen VDI-Richtlinien zur Umweltmeteorologie enthalten (zum Beispiel VDI RL 3787, Blätter 1, 2, 5, 9).

Bei der Verwendung von Mess- und Bewertungsdaten für die Praxis hat sich das Konzept der „Synthetischen Klimafunktionskarte“ bewährt (VDI 3785, Blatt 1; 2008). Hierbei handelt es sich um kartographisch aufbereitete flächenbezogene Darstellungen klimatischer und lufthygienischer Sachverhalte, die vielfach die Basis für Planungshinweiskarten bilden, in denen Maßnahmenempfehlungen für den Anwender enthalten sind (KUTTLER, BARLAG 2002).

### 4. Stadtklima und globaler Klimawandel

Die Auswirkungen des für Mitteleuropa prognostizierten Klimawandels zeigen sich nicht nur in einer Veränderung der thermischen, hygrischen und lufthygienischen Verhältnisse (IPCC 2007), sondern beeinflussen auch das Spektrum der Großwetterlagen. Dabei kann nach verschiedenen numerischen Modellsimulationen davon ausgegangen werden, dass es zu einem häufigeren Auftreten austauscharmer Wetterlagen mit mächtigeren Inversionen als bisher kommen wird (GROSS, 1996; JACOB, WINNER, 2009). Hieraus dürfte für die Städte nicht nur eine Zunahme von UHI-Ereignissen resultieren, sondern bei sonnenscheinreicher, warmer Witterung auch ein Anstieg der Ozonkonzentrationen in der Außenluft erfolgen (LIN et al. 2001; KUTTLER, STRAßBURGER 1999).

Ein prognostizierter Temperaturanstieg im Ruhrgebiet von 3 K bis zum Jahre 2100 dürfte zum Beispiel zu einer deutlich höheren Wärmebelastung der Stadtbewohner führen. Denn die Anzahl an Sommertagen ( $T_{\max} \geq 25 \text{ °C}$ ) von derzeit 22 wird sich auf 76 verdreifachen (KUTTLER, WEBER 2009). Eine höhere Wärmebelastung führt nicht nur zu einem Anstieg der Morbiditäts-, sondern auch der Mortalitätsrate (SOUCH, GRIMMOND 2004). Die besonders in Deutschland und Frankreich im Som-

mer 2003 herrschende Hitzewelle hat das deutlich vor Augen geführt (JENDRITZKY 2007). Ein vermehrter Einsatz von Klimaanlage zur Gebäudekühlung reduziert zwar die Innenraumüberwärmung, führt jedoch zu einem erheblichen Anstieg des Energieverbrauchs (KUTTLER 2009) mit entsprechender Freisetzung von CO<sub>2</sub> (GENCHU et al. 2003) und darüber hinaus zu einer Erhöhung der Außenlufttemperaturen, wodurch der Wärmeinseleffekt verstärkt wird.

### *5. Urbane Maßnahmen gegen den globalen Klimawandel*

Da Städte wesentliche Netto-CO<sub>2</sub>-Quellen sind (GRIMMOND et al. 2004; VOGT et al. 2006), sollten in erster Linie hier Maßnahmen gegen den Klimawandel ansetzen. Neben dem Einsparen von Energie und der damit einhergehenden Vermeidung von CO<sub>2</sub>-Emissionen als unmittelbar bestehende Möglichkeit sind mittel- und langfristige Gegenmaßnahmen auf Stadtquartiers- und Objektebene einzuleiten.

Klimagerecht geplante urbane Räume der Zukunft sollten deshalb

- eine kompakte, dennoch aber belüftungswirksame Bebauungsstruktur aufweisen,
- helle Straßen- und Dachflächen zur Erhöhung der Oberflächenalbedo besitzen,
- über eine gute Wärmedämmung der Gebäude sowie über ausreichende Verschattungsmöglichkeiten verfügen,
- durch optimale Anbindung an den Personennahverkehr den Gebrauch privater Kraftfahrzeuge weitgehend überflüssig machen,
- keine ausufernde randstädtische Bebauung zulassen („urban sprawl“), wodurch Kaltluftregenerationsgebiete im Umland gesichert werden,
- durch Schrumpfungsprozesse freiwerdende Flächen zur Entsigelung und großzügigen Neubepflanzung nutzen (OSWALT, RIENIETS 2006),
- die „blau/grüne“ Infrastruktur verbessern, indem in begrüntes Straßenbegleitgrün, Fassaden- und Dachbegrünung sowie in die Schaffung von Wasserflächen investiert wird,
- über eine Vegetation verfügen, die möglichst immergrün ist sowie ein hohes Staubsammelpotential bei gleichzeitig geringer Emission biogener Kohlenwasserstoffe aufweist (BENJAMIN, WINERT 1998; NARUMI et al. 2009) sowie
- eine effiziente Nutzung regenerativer Energien zur Substitution des Verbrauchs fossiler Energien anstreben (KUTTLER, WEBER 2009).

### *6. Ausblick*

Die Stadtklimatologie wird bei der Lösung immissionsklimatischer Probleme, die durch den globalen Klimawandel hervorgerufen werden, eine immer größere Rolle spielen. Dabei gilt es, klimatische und lufthygienische Belastungsräume zu lokalisieren und zu typisieren sowie Gegenmaßnahmen für unterschiedliche Klimaszenarien vorzuschlagen. Derzeit werden beispielsweise Handbücher zur Stadtklimatologie von administrativen Institutionen der kommunalen, Landes- und Bundesebene erstellt, die diesem bedeutenden Aspekt des Klimas urbaner Räume gewidmet sind.

## Literatur

- Barlag, A.-B. (1997): Möglichkeiten der Einflussnahme auf das Stadtklima. VDI-Berichte 1330, S. 127-146.
- Benjamin, M.T., Winer, A.M. (1998): Estimating the ozone-forming potential of urban trees and shrubs. - *Atmos. Environ.* 32, p. 53-68.
- Bongardt, B. (2006): Stadtklimatische Bedeutung kleiner Parkanlagen- dargestellt am Beispiel des Dortmunder Westparks. - *Essener Ökologische Schriften*, Band 24, Westarp-Wissenschaften, 227 S.
- Costabile, F., Birmili, W., Klose, S., Tuch, T., Wehner, B., Wiedensohler, A., Franck, U., König, K., Sonntag, A. (2008): Spatio-temporal variability and principal components of the particle number size distribution in an urban atmosphere. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*, 8(5): p. 18155-18217.
- Dütemeyer, D. (2000): Urban-Orographische Bodenwindssysteme in der städtischen Peripherie Kölns. *Essener Ökologische Schriften* Band 12, Hohenwarsleben: Westarp-Wissenschaften.
- Genchu, Y., Kikigawa, Y., Kondo, H., Yoshikado, H. (2003): Development of a numerical simulation system toward comprehensive assessments of urban warming countermeasures including their impacts upon the urban buildings' energy-demands. *Appl. - Energy* 76, p. 449-466.
- Grimmond, C.S.B., Salmond, J., Oke, T.R., Offerle, B., B.A. Lemonsu (2004): Flux and turbulence measurements at a densely built-up site in Marseille: Heat, mass (water and carbon dioxide), and momentum. - *J Geophys Research*, 109(D24101 doi:10.1029/2004JD004936).
- Gross, G., 1996: Stadtklima und Globale Erwärmung. - *Geowissenschaften* 14(6), S. 245-248.
- Henninger, S., Kuttler, W. (2007): Methodology for mobile measurements of carbon dioxide within the urban canopy layer. - *ClimateResearch*, Vol.34, p.161-167.
- Hidalgo, J., Pigeon, G., Masson, V. (2008): Urban breeze circulation during the CAPITOUL experiment: observational data analysis approach. - *Meteorol Atmos Phys* 102, p. 223-241.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (2007): *Climate Change 2007: The physical Science Basis. Summary for Policymakers. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Paris. www.jpcc.ch.
- Jacob, D.J., D.A., Winner (2009): Effect of climate change on air quality. - *Atmos. Environ.* 43, 51-63.
- Jendritzky, G., Menz, G., Schirmer, H., Schmidt-Kessen, W. (1990): Methodik der räumlichen Bewertung der thermischen Komponente im Bioklima des Menschen (Fortgeschriebenes Klima-Michel-Modell). - *Beitr. d. Akad. f. Raumforschung u. Landesplanung* 114, S. 7-69.
- Jendritzky, G. (2007): Folgen des Klimawandels für die Gesundheit. - In: Endlicher, W., Gerstengarbe, F.-W. (Hrsg): *Der Klimawandel. Einblicke, Rückblicke und Ausblicke.* Berlin, Potsdam, S. 108-118.
- Jendritzky, G., Havenith, G., Weihs, P., Batchvarova, E., DeDear, R. (2007): The Universal Thermal Climate Index UTCI. Goal and state of COST Action 730. I.B. Mekjavic, S.N. Kounalakis, N.A.S. Taylor, eds. *Proceedings of the 12th International Conference on Environmental Ergonomics.* August 19-24, 2007, Piran Slovenia. Ljubljana, Biomed., p. 509-512.
- Köhler, M. (2008): Green facades—a view back and some visions. - *Urban Ecosystems.* DOI 10.1007/s11252-008-0063-x.
- Kordowski, K., Kuttler, W. (2008): Quantifying the flux of carbon dioxide over an urban park area by means of eddy-covariance measurements 18th Conference on Atmospheric BioGeosciences Orlando, Florida, 28.04.-02.05.08.
- Kuttler, W. (2009): *Klimatologie.* UTB 3099. Schöningh Paderborn. 260 S.
- Kuttler, W., Weber, S. (2009): Urban Climate and Global Climate Change – a case study of the 'Ruhr area', Germany. - In: H. Mayer, A. Matzarakis (eds.): *5th Japanese-German Meeting on Urban Climatology*, Ber. Meteor. Inst. Univ. Freiburg Nr. 18, 73-78, 313-319.
- Kuttler, W., Weber, S., Schonfeld, J., Hesselschwerdt, A. (2007): Urban/rural atmospheric water vapour pressure differences and urban moisture excess in Krefeld, Germany. - In: *International Journal of Climatology*, 27 (14), pp. 2005-2015.
- Kuttler, W., Barlag, A.-B. (2002): Mehr als städtische Wärmeinseln. = *Essener Unikate - Berichte aus Forschung und Lehre*, 19, Vitalität einer Region I, S. 84-97.
- Kuttler, W., Straßburger, A. (1999): Air pollution measurements in urban parks. - In: *Atmospheric Environment*, Vol. 33, Nos. 24-25; p. 4101-4108.
- Lin, C.Y.C., Jacob, D.J., Fiore, A.M. (2001): Trends in exceedances of the ozone air quality standard in the continental United States, 1980-1998. *Atmos. - Environ.* 35, p. 3217-3228.
- Litschke, T., Kuttler, W. (2008): On the reduction of urban particle concentration by vegetation - a review. - *Meteorologische Zeitschrift*, Vol. 17, No. 3, p. 229-240.
- Mayer, H. (2006): Indizes zur human-biometeorologischen Bewertung der thermischen und lufthygienischen Komponente des Klimas. - *Gefahrstoffe-Reinh. Luft* 66, 4, S. 165-174.
- Mayer, H., Beckröge, W., Matzarakis, A. (1994): Bestimmung von stadtklimarelevanten Luftleitbahnen. - *UVP-Report*, 5, S. 265-268.
- Mayer, H., Holst, J., Schindler, D., Ahrens, D. (2008): Evolution of the air pollution in SW Germany evaluated by the long-term air quality index LAQx. - *Atmospheric Environment*, Vol. 42, Issue 20, p. 5071-5078.
- Melkonyan, A., Kuttler, W. (2009): Analysis of predominantly non-meteorological influences on air pollution in North Rhine-Westphalia, Germany. In: H. Mayer, A. Matzarakis (eds.): *5th Japanese-German Meeting on Urban Climatology*, Ber. Meteor. Inst. Univ. Freiburg Nr. 18, 73-78.
- Narumi, D., Kondo, A., Shimoda, Y. (2009): The effect of increase in urban temperature on the the concentration of photochemical oxidants. - In: *Atmospheric Environment.* DOI: 10.1016/j.atmosenv.2009.01.028
- Oswalt, P., Rieniets, T. (2006): *Atlas of Shrinking Cities.* Hatje Cantz Verlag, Ostfildern.
- Ptak, D. (2009): *Bodennahe CO<sub>2</sub>-Konzentrationen in zwei Städten unterschiedlicher Topographie.* Dissertation am Fachbereich Biologie und Geographie, Univ. Duisburg-Essen.
- Ropertz, A. (2008): Transport atmosphärischer Spurenstoffe in eine innerstädtische Grünfläche - Eine Analyse mittels optischer Fernmessverfahren. - *Essener Ökologische Schriften*, Bd. 26, Westarp-Wissenschaften, 235 S.
- Souch, C., Grimmond, S. (2004): Applied Climatology: heat waves. *Phys. Geography* 28, p. 599-606.
- Staiger, H., Schubert, U., Vogel, G. (1997): Solarer UV-Index. - *Ann. Meteorol.* 33, S. 126-132.
- United Nations (2008): Department of Economic and Social Affairs. Population Division. www.unpopulation.org.
- VDI (1997): *Richtlinie 3787, Bl. 1: Umweltmeteorologie – Klima- und Lufthygiene für Städte und Regionen.* Berlin: Beuth Verlag.

- VDI (1998): Richtlinie 3787, Bl. 2: Umweltmeteorologie. Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung von Klima und Lufthygiene für die Stadt- und Regionalplanung. Teil I: Klima. Berlin: Beuth Verlag.
- VDI (2002): Richtlinie 3787, Bl. 9: Umweltmeteorologie. Berücksichtigung von Klima und Lufthygiene in räumlichen Planungen. Berlin: Beuth Verlag.
- VDI (2003): Richtlinie 3787, Bl. 5: Umweltmeteorologie – Lokale Kaltluft. Berlin: Beuth Verlag.
- VDI 3785, P.1 (2008): Environmental meteorology. Methods and presentation of investigations relevant for planning urban climate. December 2008.
- Weber, S., Kuttler, W., Weber, K. (2006): Meteorologische Beeinflussung von Partikelzahl- und Massenkonzentrationen (PM10, PM2,5, PM1) in einer Straßenschlucht. - Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft, 66, (11/12), S. 489-494.
- Weber, S., Weber, K. (2008): Coupling of Urban Street Canyon and Backyard Particle Mass and Number Concentrations. - Meteorologische Zeitschrift, Vol. 17, No. 3, p. 251-261.
- Wienert, U., Kuttler, W. (2005): The dependence of the urban heat island intensity on latitude - A statistical approach. - Meteorologische Zeitschrift, Vol. 14, No. 5, p. 677-686.

## Verwendung von Klimaprojektionsdaten für die Stadtklimasimulation

T. Deutschländer, M. Koßmann, T. Steigerwald, J. Namyslo

### *Das Projekt ZWEK*

Im Rahmen des Projektes ZWEK (**Z**usammenstellung von **W**irkmodell-**E**ingangsdatsätzen für die **K**limafolgenabschätzung) nutzt der Deutsche Wetterdienst seit ca. zwei Jahren die Projektionsdaten verschiedener regionaler Klimamodelle für Deutschland<sup>1</sup> zur Ergänzung seiner traditionellen Produkte und Beratungsleistungen im Bereich Klima und Umwelt. Neben der Diagnose des aktuellen Klimas und seiner Folgen ist hierdurch nun auch eine Einschätzung zukünftiger Verhältnisse möglich. Dabei erlaubt die Erzeugung einer Bandbreite von Ergebnissen durch die Betrachtung mehrerer Modellsimulationen selbst eine vorsichtige Bewertung der Zuverlässigkeit der erzielten Resultate. Damit werden Politik und Wirtschaft objektive Entscheidungen zur Anpassung an den Klimawandel erleichtert.

Zu den wichtigsten Werkzeugen bei der Produkterstellung zählen die kleinskaligen Wirkmodelle des Deutschen Wetterdienstes, mit deren Hilfe die klimatischen Auswirkungen auf feinere Skalenbereiche bis hin zur lokalen Ebene herunter berechnet werden können. Für die Abschätzung zukünftig zu erwartender Bedingungen werden sie mit den Projektionsdaten der regionalen Klimamodelle angetrieben. Derzeitiger Forschungsschwerpunkt ist dabei – neben den Bereichen Agrar- und Medizinmeteorologie – die Stadtklimatologie. Hier untersucht der Deutsche Wetterdienst in Kooperation mit den Städten Frankfurt am Main (FRÜH et al. 2009) und Berlin (BEHRENS und GRÄTZ 2009) räumlich detailliert die Auswirkungen des anthropogenen Klimawandels auf urbane Regionen.

### *Die Stadtklimamodelle des Deutschen Wetterdienstes*

Zur Simulation des städtischen Klimas stehen dem Deutschen Wetterdienst die sich im Verfahrensansatz voneinander unterscheidenden Modelle MUKLIMO\_3 (SIEVERS 1995) und UBIKLIM (z.B. FRIEDRICH et al. 2001) zur Verfügung. Das mikroskalige urbane Klimamodell MUKLIMO\_3 ist ein thermodynamisches Simulationsmodell zur numerischen Berechnung der räumlichen Verteilung von Lufttemperatur, relativer Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit sowie verschiedener Strahlungsflüsse. Beim UBIKLIM handelt es sich um ein Stadtbioklimamodell, welches die unterschiedlichen meteorologischen Bedingungen zwischen einzelnen städtischen Strukturen mittels physikalisch-empirischer Beziehungsgleichungen bestimmt. Die Analysegrößen entsprechen dabei im Wesentlichen denen des MUKLIMO\_3. Durch die anschließende Auswertung mit dem Klima-Michel-Modell lassen sich mit dem UBIKLIM hochauflösende Bioklimakarten mit einer Rasterweite von ca. 10 m bis 25 m erstellen (vgl. hierzu auch BEHRENS und GRÄTZ 2009).

---

<sup>1</sup> Das ZWEK-Ensemble umfasst derzeit Simulationsergebnisse der beiden numerischen Modelle REMO (Jacob und Podzun, 1997) und CLM (Böhm et al., 2006) sowie der beiden statistischen Verfahren WETTREG (Enke et al., 2005) und STAR (Orlowsky et al., 2007)

Per se lassen sich mit beiden Modellen lediglich die lokalklimatischen Verhältnisse an einem windschwachen, wolkenarmen Strahlungstag, d.h. für so genannte autochthone Wetterlagen bestimmen. Die Einschränkung auf diese ganz besonderen Witterungssituationen hat zur Folge, dass sich aus den unmittelbaren Modellergebnissen keine absoluten Aussagen ableiten lassen. Ist daher z.B. die (mittlere) Anzahl der Tage mit Wärmebelastung in einem Jahr von Interesse, so ist eine Koppelung mit dem großräumigen Regionalklima notwendig. Das Modell MUKLIMO\_3 benötigt zudem das vertikale Profil der Prognosevariablen über einer im Wesentlichen strömungsneutralen Freifläche als Anfangszustand für die dreidimensionalen Simulationsrechnungen. Für den Einsatz beider Modelle werden daher praktisch immer die von Landnutzung und lokalen orographischen Gegebenheiten möglichst gering beeinflussten Verhältnisse in einem für die Gesamtregion repräsentativen Referenzgebiet als Hintergrundinformation benötigt.

Die tatsächliche Vorgehensweise bei der Verknüpfung von Lokal- und Regionalklima unterscheidet sich dabei trotz grundsätzlich ähnlicher Voraussetzungen leicht voneinander: Bei UBIKLIM werden die kleinräumigen Unterschiede im Bioklima mittels einer statistischen Beziehung zu dem auch als Hintergrundbelastung bezeichneten regionalen Bioklima in Relation gesetzt. Aus der Kenntnis der Hintergrundinformation lassen sich die interessierenden Absolutwerte dann leicht bestimmen. Für den gegenwärtigen Klimazustand, dem so genannten Ist-Klima, liegen diese Informationen deutschlandweit bereits in hoher räumlicher Auflösung vor (JENDRITZKY et al., 2003).

Der bei der Anwendung von MUKLIMO\_3 verfolgte Ansatz ist dagegen etwas direkter. Hier werden die Absolutzahlen über die Häufigkeit der relevanten Strahlungswetterlagen ermittelt. Dabei gilt es natürlich, sämtliche Tage mit einem innerstädtischen Wärmebelastungspotenzial zu berücksichtigen. Dieses kann auch Tage umfassen, an denen es im Umland noch zu keiner Überschreitung der kritischen Schwellen kommt – im Stadtgebiet jedoch schon.

#### *Auswahl der Referenzdaten aus den regionalen Klimamodellen*

Bei der Auswahl geeigneter Referenzdaten für die Simulation des zukünftig zu erwartenden Stadtklimas auf der Basis regionaler Klimaprojektionen gilt es, die von der Funktionsweise der Modelle MUKLIMO\_3 und UBIKLIM herrührenden Anforderungen an deren Umgebungsbedingungen (s.o.) so weit wie möglich zu erfüllen. Je nach Klimamodelltyp müssen daher Gitterzellen (numerische Modelle) oder Stationsstandorte (statistische Modelle) mit einer geringen Rauigkeit sowie einem geringem Versiegelungsgrad als Antrieb verwendet werden. Auch der lokale orographische Einfluss im Datenursprungsgebiet sollte möglichst gering sein.

Die notwendige Datenaggregation bei der Auswertung von Klimaprojektionsdaten erschwert die Selektion zusätzlich<sup>2</sup>. Dadurch müssen stets mehrere Gitterzellen und Stationsstandorte mit den entsprechenden Eigenschaften in der Umgebung des untersuchten Stadtgebietes gefunden werden.

---

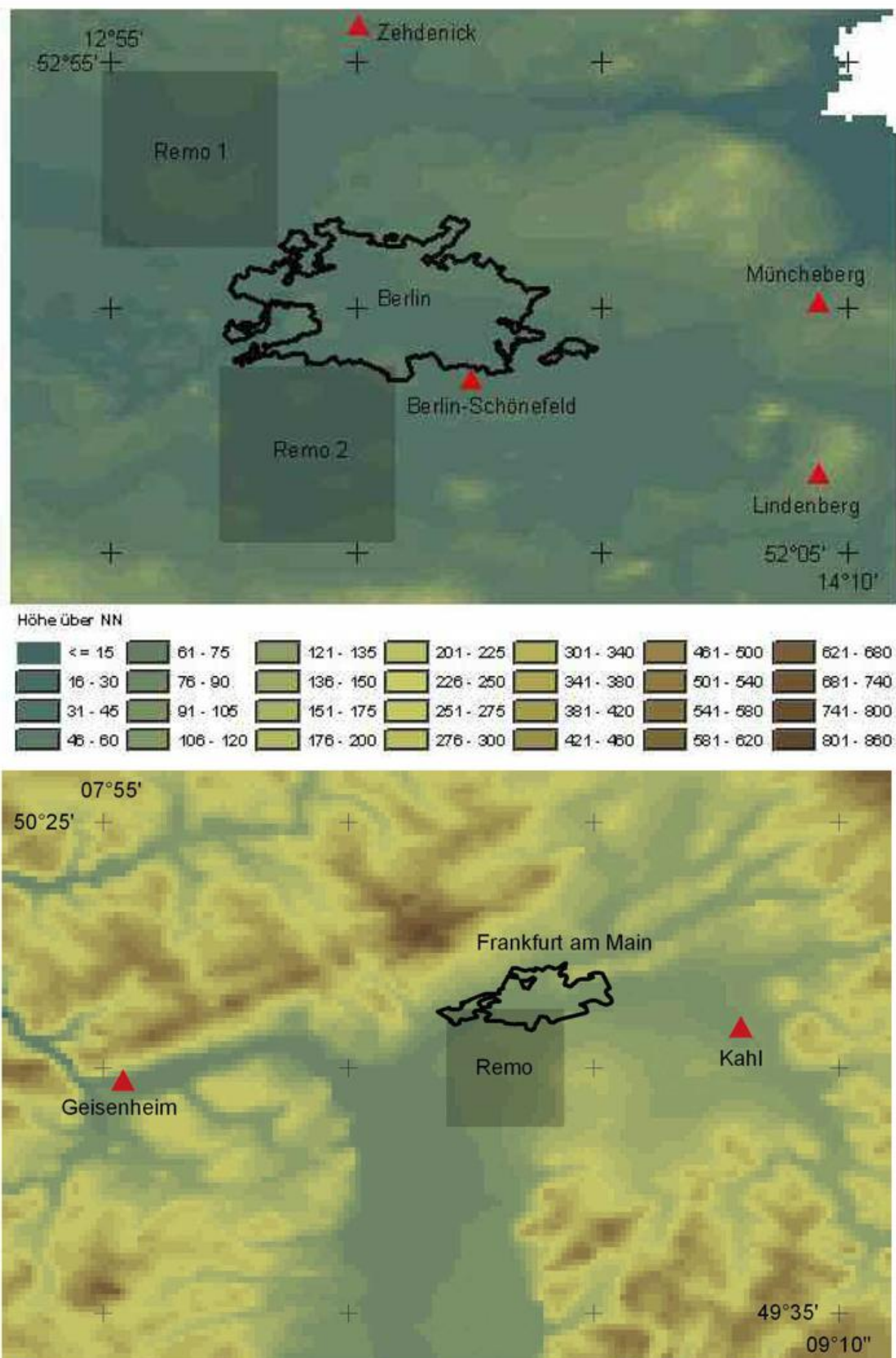
<sup>2</sup> Von den Betreibern regionaler Klimamodelle wird im Allgemeinen empfohlen, Klimaprojektionsergebnisse nicht auf der Grundlage einer einzelnen Gitterzelle oder Station auszuwerten. Bei Gitterpunkten sollte stattdessen mindestens ein 3x3-Filter verwendet werden, welcher einer räumlichen Glättung der Originaldaten entspricht. Stationswerte sollten für mehrere, bezüglich ihrer klimatologischen Eigenschaften ähnliche Standorte gemeinsam analysiert werden. Prinzipiell sollten Auswertungen von Klimaprojektionen also regionsbezogen vorgenommen werden.

Die Analyse erfolgt dann zunächst individuell auf Basis der einzelnen Gitterpunkts- oder Stationsdaten. Die tatsächliche Aggregation wird erst mit den Ergebnissen der Simulationsrechnungen der Stadtklimamodelle, also ganz am Ende der Arbeitsprozesskette, durchgeführt.

Abbildung 1 zeigt die Auswahl der Gitterpunkte und Stationsstandorte, wie sie für die beiden Städte Frankfurt am Main (unten) und Berlin (oben) im Rahmen der aktuellen Projektkooperationen des Deutschen Wetterdienstes getroffen wurde. Dargestellt sind jeweils die Gebiete, aus denen die verwendeten REMO-Daten (JACOB 2005) stammen (transparente schwarze Flächen) sowie die Selektion der in den beiden statistischen Modellen berücksichtigten Stationsstandorte (rote Dreiecke). Zu Zwecken der Vergleichbarkeit soll allgemein nur mit Standorten gearbeitet werden, für die Simulationsergebnisse von beiden statistischen Modellen vorliegen. Die Ursprungsgebiete der CLM-Daten sind in der Abbildung 1 noch nicht verzeichnet, da die Stadtklimasimulationen auf der Grundlage dieses Klimamodells bislang nicht erfolgreich abgeschlossen werden konnten. Dieses gilt z.T. auch für die Simulationen auf der Basis der statistischen Modelle. In allen drei Fällen sind noch einzelne Detailprobleme zu lösen.

Die Wahl geeigneter Referenzdaten gestaltete sich für die Stadt Frankfurt am Main auf Grund des relativ stark strukturierten Geländes in der Region schwieriger als für die Stadt Berlin mit ihrem orographisch vergleichsweise gering gegliederten Umland. Während im Großraum Berlin nur Höhenunterschiede von etwa 100 m vorkommen, überragen die höchsten Erhebungen des Taunusrückens im Nordwesten von Frankfurt das Stadtgebiet um deutlich mehr als 700 m. Aber auch der sich im Südosten der Region anschließende Odenwald weist Höhen von über 600 m auf. Somit ist ausschließlich das Rhein-Main-Tiefland, insbesondere die sich südlich des Mains von Mainz-Kastel bis Aschaffenburg erstreckende Untermainebene, als repräsentativ für das Stadtgebiet anzusehen. Als Referenzstandort wäre daher allen voran die Station Frankfurt-Flughafen zu verwenden gewesen. Da diese Station jedoch in beiden statistischen Verfahren nicht berücksichtigt ist, wurden stattdessen Kahl am Main und Geisenheim ausgewählt. Das gewählte REMO-Gebiet befindet sich dagegen genau im angestrebten Bereich südlich der Stadtgrenze. Hinsichtlich der Modellhöhe stimmen die Eigenschaften dieser vier Gitterzellen sehr gut mit denen der nördlich davon gelegenen Gitterzellen – also dem Stadtgebiet – überein. Bezüglich der Modellrauigkeit liegen die Werte hingegen deutlich unter denen der Gitterzellen im Stadtbereich. Die oben genannten Anforderungen an die grundsätzlichen Eigenschaften der Regionalmodellgitterzellen sind demnach im Wesentlichen gut erfüllt.

Die Rauigkeiten des Modells REMO in der Region um Berlin variieren im Vergleich zum Großraum Rhein-Main (bedingt durch die in diesen Modellparameter mit eingehende Orographie) räumlich nur wenig. Entsprechend war es hier möglich, zwei Gebiete mit jeweils sogar 3x3 Gitterzellen auszuwählen (das für Frankfurt am Main ausgewählte Gebiet umfasst dagegen nur 2x2 REMO-Gitterzellen). Dies ermöglicht es, die Ergebnisse der zunächst unabhängig voneinander durchgeführten Simulationen auf Basis der beiden individuellen Gebiete im Nord- und Südwesten der Stadt zu Qualitätskontrollzwecken miteinander zu vergleichen. Ebenso erlaubt die Anzahl der für die Region als repräsentativ anzusehenden Stationsstandorte – neben der erforderlichen Datenaggregation – eine nachträgliche Abschätzung der Robustheit der er-



**Abb. 1:** Auswahl der Gitterpunkte (transparente schwarze Flächen) und Stationsstandorte (rote Dreiecke) der numerischen (hier nur REMO) bzw. statistischen regionalen Klimamodelle, deren Projektionszeitreihen als Referenzdaten für die im Rahmen des DWD-Projektes ZWEK durchgeführten Stadtklimasimulationen verwendet werden. Zusätzlich sind die regionalen orographischen Verhältnisse im Bereich der derzeit untersuchten Städte Berlin (oben) sowie Frankfurt am Main (unten) dargestellt.

zielten Resultate. Dabei spiegelt die Station Berlin-Schönefeld am Südostrand von Berlin die (weitgehend unbeeinflussten) regionalen Verhältnisse der Stadtumgebung als „Hintergrundklimatologie“ a priori sicher am besten wider.

Erste Simulationsergebnisse auf Basis der ausgewählten Klimaprojektionsdaten des Modells REMO werden in FRÜH ET AL. 2009 (für Frankfurt am Main) und BEHRENS und GRÄTZ 2009 (für Berlin) vorgestellt.

#### **Literatur**

- BEHRENS, U. und GRÄTZ, A., 2009: Stadtplanung und Klimawandel – Eine Kooperation mit der Senatsverwaltung von Berlin. Gleicher Band.
- BÖHM, U., M. KÜCKEN, W. AHRENS, A. BLOCK, D. HAUFFE, K. KEULER, B. ROCKEL, and A. WILL, 2006: CLM – the climate version of LM: Brief description and long-term applications. COSMO Newsletter, 6.
- ENKE, W., T. DEUTSCHLÄNDER, F. SCHNEIDER, and W. KÜCHLER, 2005: Results of five regional climate studies applying a weather pattern based downscaling method to ECHAM4 climate simulations. Meteorol. Zeitschrift, 14, 247-257.
- FRIEDRICH, M., A. GRÄTZ und G. JENDRITZKY, 2001: Further development of the urban bioclimate model UBIKLIM, taking local wind systems into account. Meteorol. Zeitschrift, 10, 267-272.
- FRÜH, B., M. ROOS und U. SIEVERS, 2009: Zukünftige Wärmebelastung in Ballungsräumen – Stadtklimasimulationen. Gleicher Band.
- JACOB, D. und R. PODZUN, 1997: Sensitivity Studies with the Regional Climate Model REMO. Meteorol. Atmos. Phys., 63, 119 - 129.
- JACOB, D., 2005: REMO Climate of the 20th century run No. 006210, 1950-2000 und A1B scenario run No. 006211, 2001-2100. UBA Project, 0.088 degree resolution, 1h Data. CERA-Datenbank: <http://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/BrowseExperiments.jsp?proj=REMO-UBA> (Februar 2009).
- JENDRITZKY, G., A. GRÄTZ, G. LASCHEWSKI und G. SCHEID, 2003: Das Bioklima in Deutschland. Bioklimakarte mit Begleittext und Informationen zur Wohnortwahl. 3. vollständig überarbeitete Auflage. Flöttmann Verlag, Gütersloh, 21 S.
- ORLOWSKY, B., F.-W. GERSTENGARBE und P.C. WERNER, 2007: A resampling scheme for regional climate simulations and its performance compares to a dynamical RCM. Theor. Appl. Climatol. online published, DOI: 10.1007/s00704-007-0352-y.
- SIEVERS, U., 1995: Verallgemeinerung der Stromfunktionsmethode auf 3 Dimensionen. Meteorol. Zeitschrift, N.F. 3, 3 - 15.

## Zukünftige Wärmebelastung in Ballungsräumen – Stadtklimasimulationen

**B. Früh, M. Roos und U. Sievers**

### *Städte im Klimawandel*

Das Klima einer Stadt unterscheidet sich deutlich vom Klima des Umlandes (KUTTLER 2009). Zudem lassen regionale Klimamodelle für die nächsten Jahrzehnten Klimaänderungen erwarten, die sich in den städtischen Ballungsräumen deutlich belastender auswirken als im Umland. Dies ist für die Menschen von elementarem Interesse, da bereits heute mehr als die Hälfte der Weltbevölkerung in Städten lebt. Um die Städte als Orte hoher Lebensqualität zu erhalten, muss daher auch für die Zukunft ein verträgliches Stadtklima geschaffen werden beziehungsweise erhalten bleiben.

Für deutsche Städte sind infolge des Klimawandels vor allem zunehmende Wärmebelastungen zu erwarten. Deren Auswirkungen auf das Leben in der Stadt beschäftigen Stadtplaner und Umweltbehörden schon heute (siehe auch BEHRENS und GRÄTZ 2009). Allerdings können nachhaltige planerische Entscheidungen nur dann getroffen werden, wenn die zu erwartenden Klimaänderungen für die unterschiedlichen Stadtstrukturen bekannt sind.

Am Beispiel der Stadt Frankfurt am Main seien einige Zahlen genannt, die den Trend des Temperaturanstiegs in der Vergangenheit verdeutlichen: In den letzten 30 Jahren (1979 – 2008) wurde in Frankfurt (Flughafen) ein Jahresmittelwert der Lufttemperatur von 10,5 °C registriert. Dieser Wert liegt bereits um 0,8 K über dem vieljährigen Temperaturmittel der Klimaperiode 1961 bis 1990. Damit verbunden ist ein deutlicher Anstieg der mittleren jährlichen Anzahl der Sommertage von 41,8 auf 50,7. Dabei sind Sommertage die Tage, an denen die Lufttemperatur mindestens 25 °C erreicht. Auch die heißen Tage - mit einem Temperaturmaximum von mindestens 30 °C - sind im jüngeren Vergleichszeitraum um 43 % auf insgesamt 12,7 Tage pro Jahr angestiegen.

Um sich frühzeitig auf den erwarteten Klimawandel einzustellen, haben das Umweltamt der Stadt Frankfurt am Main und der Deutsche Wetterdienst (DWD) vereinbart, auf der Grundlage regionaler Klimaszenarien gemeinsam Planungsunterlagen für das Stadtgebiet zu erarbeiten. Basis für die Untersuchungen bildet das Stadtklimamodell MUKLIMO\_3 des DWD, das die vergangenen und die zukünftigen klimatischen Bedingungen in der Stadt simulieren kann.

### *Das Modell MUKLIMO\_3*

Zur Beurteilung der Wärmebelastung in städtischen Regionen wird beim Deutschen Wetterdienst neben dem urbanen Bioklimamodell UBIKLIM (BEHRENS und GRÄTZ 2009) auch das mikroskalige Stadtklimamodell MUKLIMO\_3 (mikroskaliges urbanes Klimamodell, 3-dimensionale Version) der Abteilung Klima- und Umweltberatung angewendet. Die Grundlagen dieses Modells sind sehr ausführlich in SIEVERS und

ZDUNKOWSKI (1986) und SIEVERS (1995) beschrieben. Eine wesentliche Eigenschaft von MUKLIMO\_3 ist die Möglichkeit, Siedlungen als unaufgelöste Bebauung zu behandeln. Dabei werden unterschiedliche Bebauungsstrukturen durch charakteristische Parameter beschrieben, wie den Flächenanteil der Gebäude im Vergleich zur Gesamtfläche der Gitterzelle, die Wandfläche der Gebäude im Verhältnis zur Gebäudegrundfläche und die mittlere Gebäudehöhe. Als Konsequenz für die Modellgleichungen ergeben sich eine Volumenreduktion des atmosphärischen Anteils der Gitterzellen, der Austausch von Wärme und Impuls an den Wänden und Dächern, eine Druckstörung durch die Gebäude sowie Änderungen des turbulenten Austauschs durch gebäudeinduzierte Störungen des Geschwindigkeitsfeldes.

Da MUKLIMO\_3 idealisierte atmosphärische Tagesgänge für einen räumlich eng begrenzten Ausschnitt der Atmosphäre simuliert, benötigt das Modell Anfangs- und Randbedingungen. Dazu wird aus vorgegebenen Werten der Lufttemperatur, der relativen Feuchte sowie der Windrichtung und -geschwindigkeit mit Hilfe eines eindimensionalen Vorschaltmodells ein atmosphärisches Profil berechnet, welches zu Beginn der dreidimensionalen Simulation auf das gesamte Modellgebiet aufgeprägt wird. Im weiteren Simulationsverlauf dienen die eindimensionalen Profile dem dreidimensionalen Modell lediglich als Randwerte. Das anfängliche Profil kann sowohl an die Werte einer gemessenen als auch einer simulierten Zeitreihe angepasst werden. Erstere Möglichkeit dient der Modellevaluierung. Die zweite kann zur Abschätzung der Auswirkung zukünftiger Klimaänderungen herangezogen werden.

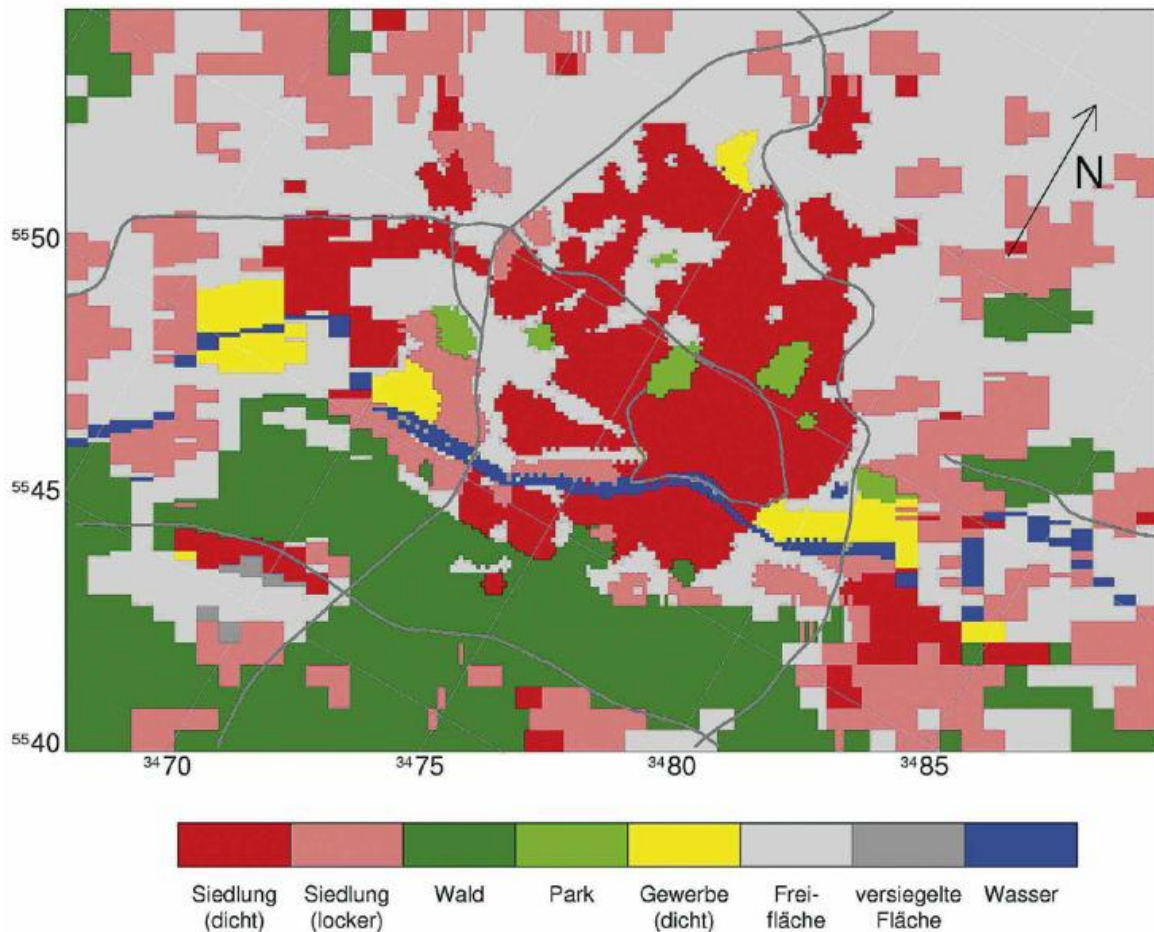
#### *Das Pilotprojekt Frankfurt am Main*

Zur Überprüfung und Anwendung dieses Verfahrens wurde ein Pilotprojekt für die Region um die Stadt Frankfurt am Main initiiert. Die ersten Ergebnisse dieses Pilotprojektes liegen inzwischen vor. Diese beruhen auf einer vorläufigen Landnutzung mit unaufgelöster Bebauung, wie sie in Abbildung 1 dargestellt ist. Die noch geringe Qualität der Landnutzungsdaten wird insbesondere in dem durchbrochenen Flussverlauf des Mains deutlich. Simulationen mit einer detailgetreuen Digitalisierung dieser Region werden die vorliegenden Ergebnisse verbessern.

Auf Grund der vorherrschenden Orographie bietet sich an, das Modellgebiet für die Simulation um 30° gegen Nord zu drehen. Die horizontale Auflösung des Modellgebietes beträgt 100 m im Innenstadtbereich und vergrößert sich zum Rand auf 500 m. Die Ausdehnung in x-Richtung beläuft sich auf 25 km und in y-Richtung auf 17 km. Dazu werden in x-Richtung 136 und in y-Richtung 120 Gitterzellen benötigt. Zur Berechnung eines typischen Tagesganges im Sommer simuliert das Modell die 24 Stunden vom 16. Juli 09 MESZ bis 17. Juli 09 MESZ.

#### *Evaluierung*

Zur Evaluierung der MUKLIMO\_3 Simulationen hinsichtlich der Häufigkeit von Sommertagen werden Beobachtungen der Lufttemperatur, der Luftfeuchte sowie der Windrichtung und -geschwindigkeit der Flugwetterwarte Frankfurt am Main für den Zeitraum 1971 – 2000 als Antrieb für MUKLIMO\_3 verwendet. Aus den resultieren-



**Abb. 1:** Karte der vorläufigen Landnutzung für das Pilotprojekt Frankfurt am Main

den MUKLIMO\_3 Feldern des Tagesmaximums der Lufttemperatur ( $T_{\max}$ ) und der Lufttemperatur um 20 MESZ ( $T_{20 \text{ MESZ}}$ ) wird das Überschreiten bestimmter Schwellenwerte ausgezählt. Dadurch lässt sich die Anzahl der Sommertage ( $T_{\max} \geq 25 \text{ °C}$ ), der Heißen Tage ( $T_{\max} \geq 30 \text{ °C}$ ) und der Biergartentage ( $T_{20 \text{ MESZ}} \geq 20 \text{ °C}$ ) bestimmen. Zusätzlich werden die Temperaturindizes auch direkt aus der gemessenen Tagesmaximumtemperatur bzw. 20 MESZ Temperatur bestimmt. Der Vergleich der Beobachtungen mit den Simulationsergebnissen der Gitterzelle, in welcher die Station liegt, ist in Tabelle 1 dargestellt.

**Tab. 1:** Evaluation verschiedener Temperaturindizes

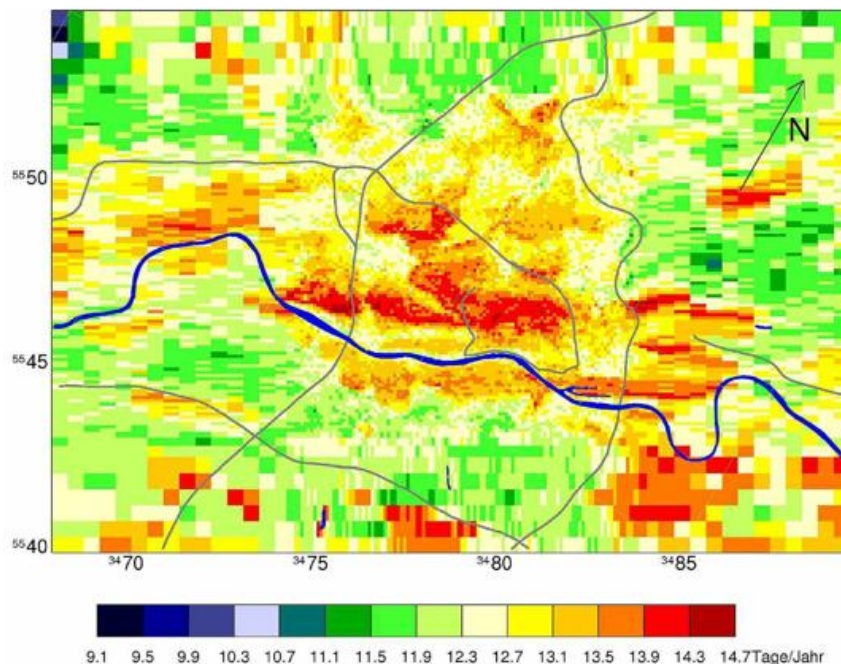
Jahresmittel 1971 – 2000	Anzahl Sommertage	Anzahl Heiße Tage	Anzahl Biergartentage
Beobachtungen	46,1	10,7	75,4
MUKLIMO_3 mit Stationsantrieb	42,2	10,0	82,2
Abweichung	-8,4%	-6,9%	+9,1%

Es zeigt sich, dass MUKLIMO\_3 mit Stationsantrieb die Anzahl der Sommer- und heißen Tage und somit  $T_{\max}$  im Vergleich zu den Beobachtungen leicht unterschätzt. Die Anzahl der Biergartentage und damit die Temperatur um 20 MESZ wird dagegen leicht überschätzt. Die Abweichungen liegen jedoch in einem akzeptablen Rahmen.

### Zukünftige Änderung

Zur Bestimmung der zukünftigen Änderung der Anzahl an Sommertagen wird nun anstatt der gemessenen Zeitreihe die REMO-UBA Klimaprojektion (JACOB 2005) als Antrieb für MUKLIMO\_3 verwendet. Ausführliche Informationen zur Auswahl der dazu verwendeten REMO-Gitterzellen sind in DEUTSCHLÄNDER et al. (2009) enthalten. Aus der Differenz zwischen der Anzahl der Sommertage in der Zukunft und der in der Vergangenheit lassen sich Rückschlüsse über die Auswirkung der zu erwartenden Klimaänderung in Frankfurt am Main ziehen. Wegen der großen Unsicherheit der Klimamodelle sind jedoch zur Ableitung belastbarer Aussagen zum Klimawandel die Resultate mehrerer Klimaprojektionen - eines sogenannten Ensembles von Projektionen - notwendig. Daher sind die hier gezeigten Ergebnisse einer einzigen Klimaprojektion lediglich als vorläufiges Ergebnis zu verstehen.

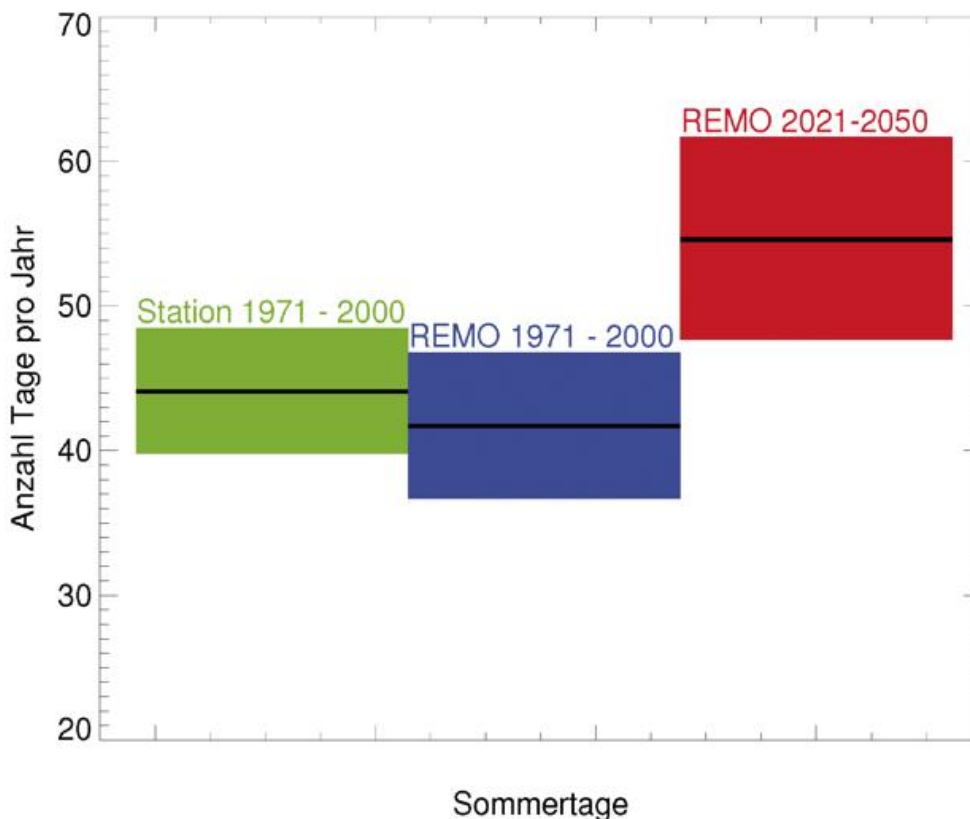
In Abbildung 2 ist die Differenz der mittleren Anzahl der Sommertage zwischen den Jahren 2021 – 2050 und 1971 – 2000 dargestellt. Die Simulationen ergeben für den Zeitraum 1971 - 2000 eine mittlere Anzahl von etwa 46 Sommertagen pro Jahr. Im Zeitraum 2021 - 2050 werden es REMO - UBA zu folge im Mittel 13 Tage mehr pro Jahr sein. Die geringste Zunahme mit 9 Tagen pro Jahr findet im Westen an den Ausläufern des Taunus statt, wo die höchsten Geländeerhebungen im Modellgebiet anzutreffen sind.



**Abb. 2:** Karte der Differenz der mittleren Anzahl der Sommertage zwischen den Jahren 2021 – 2050 und 1971 – 2000

Die größte Zunahme mit 14,6 Tagen pro Jahr ist im Innenstadtbereich zu verzeichnen. Ein Vergleich mit der Landnutzung (Abb. 1) zeigt, dass die Zunahme in den bebauten Gebieten besonders hoch ist. Dort liegt sie bei etwa 12 – 14 Tagen pro Jahr (gelbe und rote Farben in Abb. 2) wogegen das Plus im Umland mit 11 – 12 Tagen pro Jahr etwas geringer ausfällt. Demzufolge werden die bereits heute mit einer höheren Belastung behafteten Innenstädte in Zukunft noch stärker belastet.

Abbildung 3 zeigt die Anzahl der Sommertage für die MUKLIMO\_3 Simulationsergebnisse mit Stationsantrieb (grün) und mit REMO-Antrieb für die beiden Zeiträume 1971 – 2000 (blau) und 2021 – 2050 (rot). Die schwarzen Linien beziehen sich auf den Mittelwert über das Modellgebiet und den jeweiligen Zeitraum. Die Balken zeigen die dazugehörigen Konfidenzintervalle der Stichprobe für das 90 % Signifikanzniveau. Sie entsprechen dem Mittelwert der Konfidenzintervalle aller individuellen Gitterpunkte über das Modellgebiet. Die Konfidenzintervalle der Stichprobe decken 90 % der Grundgesamtheit der in den Zeiträumen aufgetretenen jährlichen Anzahl an Sommertagen ab. Somit lassen sich die Balken als den Wertebereich interpretieren, den die jährliche Anzahl an Sommertagen mit einer Wahrscheinlichkeit von 90 % einnimmt. Aus Abbildung 3 wird deutlich, dass das Konfidenzintervall der MUKLIMO\_3 Ergebnisse mit REMO-Antrieb für 1971 – 2000 (blauer Balken) mit den Ergebnissen mit



**Abb. 3:** Anzahl der Sommertage gemittelt über das Modellgebiet für die MUKLIMO\_3 Ergebnisse mit Stationsantrieb für 1971 – 2000 (grün), REMO-Antrieb für 1971 – 2000 (blau) und REMO-Antrieb für 2021 – 2050 (rot). Die schwarzen Linien beziehen sich auf den Mittelwert. Die Balken beschreiben die Konfidenzintervalle auf 90% Signifikanzniveau.

Stationsantrieb (grüner Balken) im Wesentlichen übereinstimmt. Daher kann der Schluss gezogen werden, dass zwischen den beiden Simulationsergebnissen kein signifikanter Unterschied besteht. Das heißt, die MUKLIMO\_3 Ergebnisse mit REMO-Antrieb bilden die Realität sehr gut ab.

Aus Abbildung 3 lässt sich ebenfalls ableiten, dass die mittlere Anzahl der Sommertage im Zeitraum 2021 – 2050 signifikant höher liegt als im Zeitraum 1971 – 2000, da sich die beiden Konfidenzintervalle nicht überschneiden.

### *Ausblick*

Neben der Vergrößerung des Ensembles der regionalen Klimaprojektionen (zusätzliche Analyse von STAR-, WETTREG- und CLM-Projektionen) sind weitere MUKLIMO\_3 Simulationen mit detaillierterer Modellierung der Landnutzung geplant. Diese neue Landnutzung differenziert unterschiedliche Bebauungsstrukturen innerhalb der Stadt in Anlehnung an den Bericht BMBau (1980). Zudem wird im Bereich der Innenstadt die horizontale Auflösung auf 50 m erhöht. Mit diesen Änderungen werden deutliche Verbesserungen der Simulationsergebnisse und ein höherer Grad an Detailgenauigkeit insbesondere im innerstädtischen Bereich erwartet.

### *Literatur*

- BMBau, 1980: Wechselwirkung zwischen der Siedlungsstruktur und Wärmeversorgungssystemen. Schriftenreihe „Raumordnung“, Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau (Hrsg.), Forschungsprojekt BMBau RS II 4 – 70 41 02 – 77. 10.
- Deuschländer, T., M. Koßmann, T. Steigerwald, J. Namyslo, 2009: Verwendung von Klimaprojektionsdaten für die Stadtklimasimulation Gleicher Band.
- Behrens, U. und Grätz, A. 2009: Stadtplanung und Klimawandel – Eine Kooperation mit der Senatsverwaltung von Berlin. Gleicher Band.
- Jacob, D., 2005: REMO climate of the 20th century run, UBA project, 0.088 degree resolution, run no. 006210, 1h data. World Data Center for Climate. CERA-DB "REMO\_UBA\_C20\_1\_R006210\_1H"; [http://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/Compact.jsp?acronym=REMO\\_UBA\\_C20\\_1\\_R006210\\_1H](http://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/Compact.jsp?acronym=REMO_UBA_C20_1_R006210_1H) (Stand Februar 2009)
- Kuttler, W., 2009: Zum Klima im urbanen Raum. Gleicher Band.
- Sievers, U., W. Zdankowski, 1986: A microscale urban climate model. Beitr. Phys. Atmosph., 59, 13 – 40.
- Sievers, U., 1995: Verallgemeinerung der Stromfunktionsmethode auf 3 Dimensionen. Meteorol. Zeitschrift, N.F. 3, 3 – 15.

## Stadtplanung und Klimawandel - Eine Kooperation mit der Stadtentwicklungsverwaltung von Berlin

U. Behrens, A. Grätz

Anfang 2008 wurde eine Kooperationsvereinbarung zwischen der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Abteilung ‚Geoinformation‘ und dem DWD, Abteilung ‚Klima- und Umweltberatung‘ unterzeichnet. Ziel ist es die räumliche Struktur und die Häufigkeit künftiger gesundheitlich relevanter Wärmebelastungen im Stadtgebiet von Berlin auf der Grundlage der Nutzungsdaten des Informationssystems Stadt und Umwelt der Senatsverwaltung zu bestimmen und kleinräumig auszuprägen. Es soll damit versucht werden, Klimawandeleffekte und den urbanen Wärmeinseleffekt miteinander in Beziehung zu setzen.

Die Betrachtung von Auswertungen klimatologischer Zeitreihen von Berliner Stadt- und Umlandstationen spiegeln thermische Veränderungen der letzten Jahrzehnte bis heute wider und liefern auch deutliche Hinweise für die positive Temperaturanomale der Stadt gegenüber dem Umland. Im Mittelpunkt der Kooperation steht daher, ein Verfahren aufzuzeigen, das für Zeiträume des Klimawandels stadtplanungsrelevante Hinweise bereitstellt - auch unter der Voraussetzung stadtplanerischer Veränderungen. Diese müssen eine Bewertung des Klimawandels für die verschiedensten Stadtstrukturen beinhalten.

Realisieren lässt sich das über ein Downscaling regionaler Klimaprojektionen unter Verwendung und Fortentwicklung des Stadtbioklimamodells UBIKLIM. Die Anwendung von Bioklimamodellen im Rahmen von Planungsfragen birgt dabei den großen Vorteil, dass die Ergebnisse immer eine Bewertung in Bezug auf das Wohlbefinden des Menschen beinhalten.

Für das Gebiet Berlin mit Umland werden die Möglichkeiten beispielhaft aufgezeigt.

### *Auswertung klimatologischer Zeitreihen*

Berlin ist mit 3,38 Millionen Einwohnern und rund 890 km<sup>2</sup> die bevölkerungsreichste und flächengrößte Stadt der Bundesrepublik Deutschlands. Wie sich diese Situation im Mittel übers Jahr bzw. bei extremen Wetterlagen auf die Wärmebelastung auswirkt, zeigen Auswertungen ausgewählter Parameter an verschiedenen Standorten mit unterschiedlichem Stadteinfluss.

Abbildung 1 zeigt die Lage der verwendeten Stationen. Berlin-Tegel und Berlin-Tempelhof, in beiden Fällen Stationen auf Flughafengelände inmitten Berlins gelegen, repräsentieren eine Stadtlage mit relativ offener Bebauung. Durch dichte Bebauung und einen in hohem Maße versiegelten Innenstadtbereich ist der Standort der Station Berlin-Alexanderplatz geprägt. Die weiteren Stationen zeichnen sich durch Merkmale einer Stadtrandlage aus.

Abbildung 2 zeigt den Verlauf der Jahresmittel der Lufttemperatur an der Station Berlin-Tempelhof 1949/2008. Deutlich erkennbar ist der positive Trend insbesondere der letzten 20 Jahre. Nach einem nochmal kalten Jahr 1996 lagen seither alle Jahresmittel der Lufttemperatur über dem langjährigen Jahresmittelwert von 9,6 °C. Das wärmste Jahr der gesamten Beobachtungsreihe war das Jahr 2000 mit 11,1 °C.

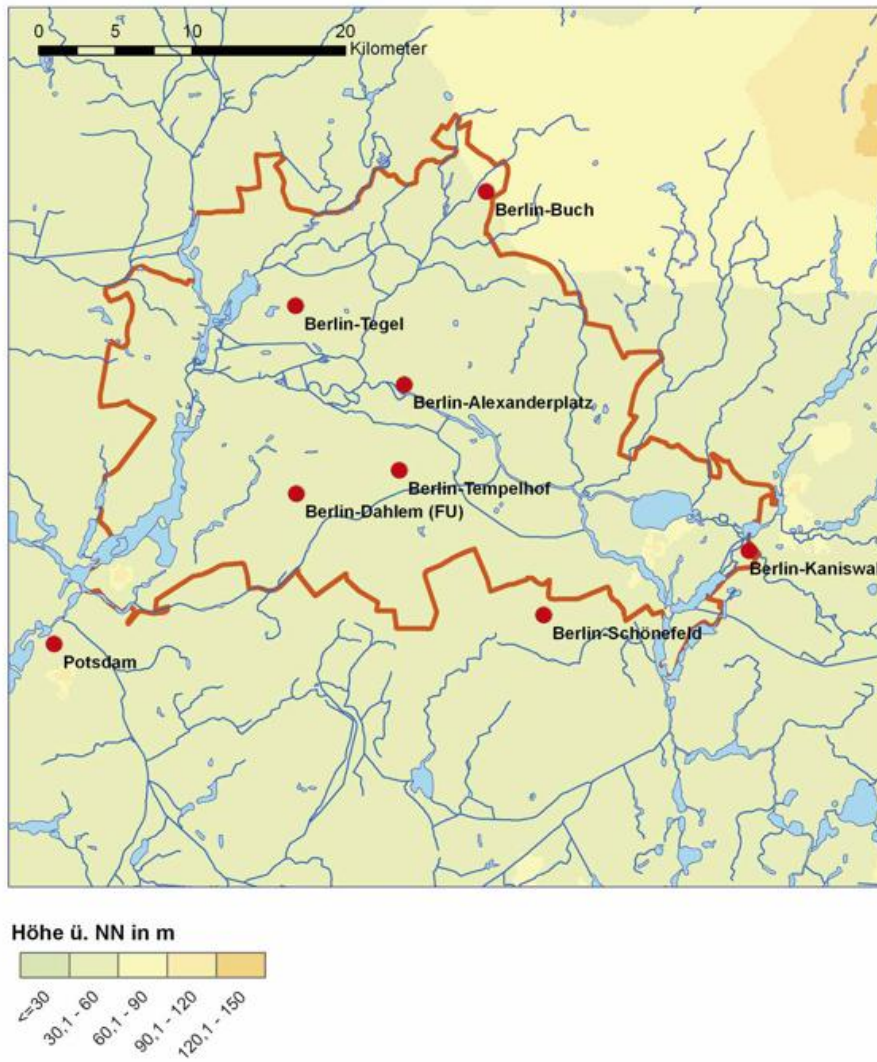


Abb. 1: Lage der verwendeten Stationen

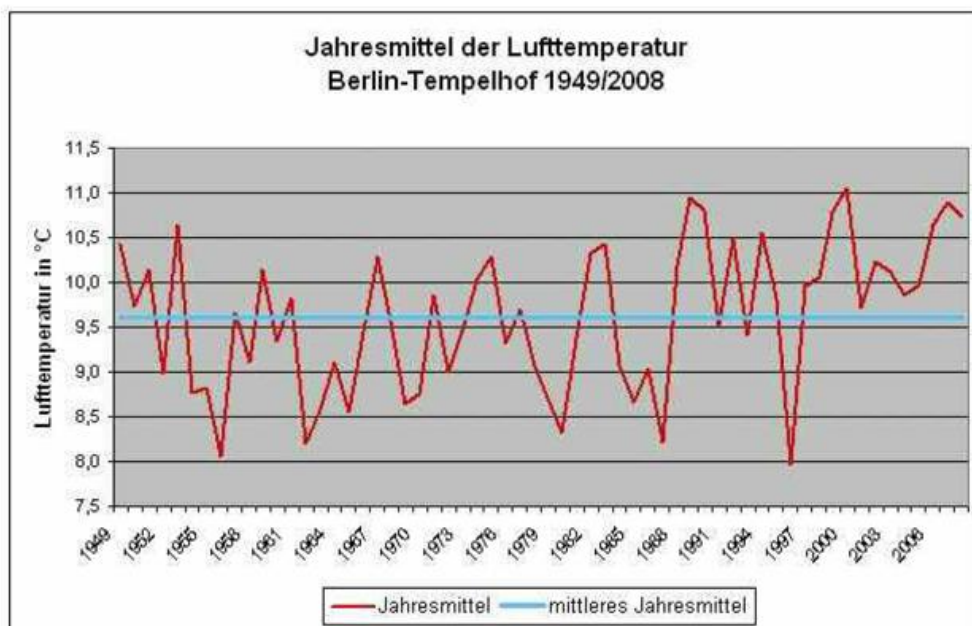


Abb. 2: Mittleres Jahresmittel der Lufttemperatur, Berlin-Tempelhof (1949/2008)

### Mittleres Tagesminimum der Lufttemperatur, Berlin 1999/2008

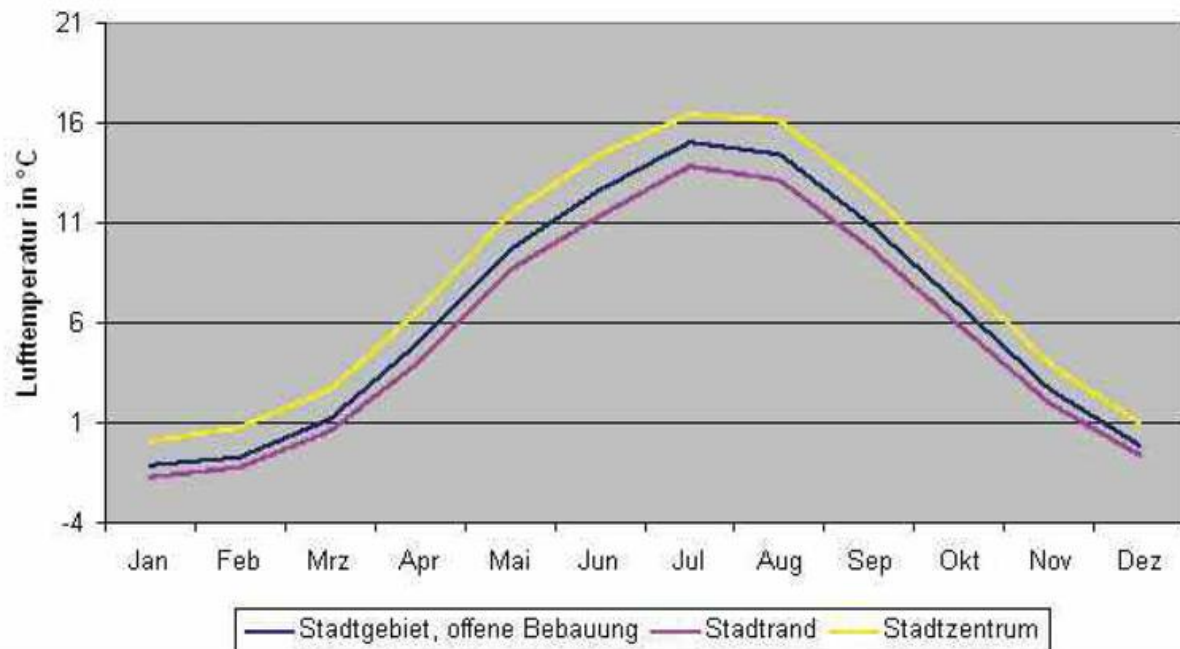


Abb. 3: Mittleres Tagesminimum der Lufttemperatur, Berlin (1999/2008)

Die zunehmende Erwärmung betrifft den gesamten Ballungsraum, jedoch ist die Wärmebelastung in den einzelnen Stadtteilen von Berlin sehr unterschiedlich.

Ein gutes Indiz für die Wärmebelastung liefern Tagesminima. Sie zeigen an, inwieweit sich insbesondere an heißen Sommertagen eine nächtliche Abkühlung einstellen kann (siehe Abbildung 3).

Im Mittel übers Jahr betrachtet, ist die Innenstadt generell durch höhere Minima charakterisiert. Was im Winter eher als angenehm empfunden wird, wird im Sommer zur Belastung. In den Monaten Juni bis August liegen die Minima im Citybereich im Mittel um 2,7 bis 3,1 Kelvin höher als in den Außenbereichen, in innerstädtischen offenen Gebieten beträgt die Differenz zum Stadtkern immerhin noch ca. 1,2 Kelvin im Mittel. Das Auftreten von Tropennächten ist in Deutschland ein relativ seltenes Ereignis.

Im Folgenden wird an der Anzahl der Tropennächte (Temperaturminimum  $\geq 20$  °C) die Zunahme des Wärmeinseleffektes mit Vordringen in den unmittelbaren Stadtkernbereich von Berlin deutlich. Die unterschiedlichen Zeiträume liefern darüber hinaus Angaben über die Zunahme der Wärmebelastung insbesondere in der überhitzten Innenstadt. Tabelle 1 zeigt im Zeitraum 1999/2008 gegenüber dem Zeitraum 1967/1990 eine mittlere Zunahme um 5 Tropennächte in der Innenstadt, in offen bebautem Stadtgebiet um 0,2 und am Stadtrand eine geringfügige Abnahme um 0,1.

**Tab. 1:** Mittlere Anzahl der Tropennächte

		Schönefeld	Tempelhof	Alexanderplatz
a	1967-1990	0,2	1,0	2,1
b	1981-2000	0,2	1,5	3,6
c	1993-2007	0,1	1,5	4,7
d	1999-2008	0,1	1,2	7,1
e	2003	-	3,0	10,0
	Differenz b- a	0,0	0,5	1,5
	Differenz c- a	0,0	0,5	2,6
	Differenz d- a	-0,1	0,2	5,0

Extreme Hitzeperioden – wie der Sommer 2003 – führen zu extremer Wärmebelastung in dicht bebauten Stadtgebieten. An der Station Alexanderplatz wurden 10 Tropennächte registriert, 3 in offen bebautem Stadtgebiet und im angrenzenden Umland trat dieses Ereignis gar nicht auf.

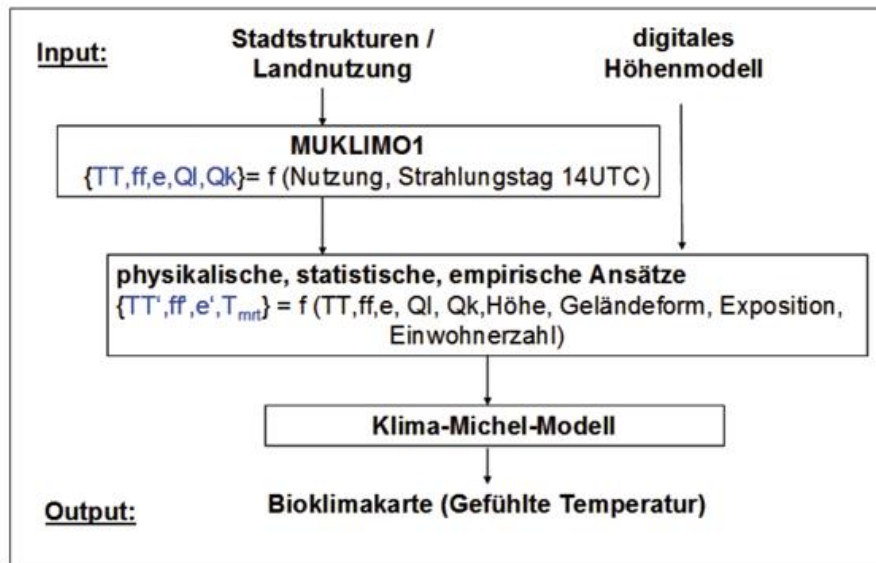
Die Station Berlin-Alexanderplatz charakterisiert die Lage in einer städtischen Wärmeinsel. Da aber die Stadtstrukturen räumlich nicht homogen sind, bilden sich auch in anderen Teilen der Stadt mit hoher Bebauungsdichte, großem Versiegelungsgrad oder mit sehr geringem Grünflächenanteil weitere Wärmeinseln aus. Andererseits werden in Gebieten mit großen Parkanlagen Temperaturen erreicht, die kaum von denen des Umlandes abweichen.

#### *Anwendung des Stadtbioklimamodells UBIKLIM*

Im Folgenden wird der Stand der Kooperation erläutert: Die Atmosphäre und damit das Klima sind ein Teil der Umwelt, mit der sich der menschliche Organismus dauernd auseinandersetzen muss, um das Gleichgewicht seiner Lebensfunktionen und damit seine Gesundheit zu erhalten. Die dabei geforderte Anpassungsleistung lässt sich über Wärmehaushaltsmodelle des Menschen berechnen, wodurch der Zusammenhang zwischen Mensch und Atmosphäre objektiv, qualitativ und quantitativ erfasst wird. Der DWD nutzt das Klima-Michel-Modell, das über die meteorologischen Größen Lufttemperatur, Feuchte, Windgeschwindigkeit und Strahlung als Eingangsvariablen die Gefühlte Temperatur in °C berechnet.

Da die Anpassungsmöglichkeiten unter warmen bzw. heißen Bedingungen eher begrenzt und damit unausweichlich sind, es außerdem in Städten gegenüber dem Umland zu einer Zunahme von Wärmebelastung kommt, besitzt die Wärmebelastung bei Stadtplanungsfragen eine besondere Bedeutung. Folgerichtig fokussiert UBIKLIM speziell darauf.

Das Stadtbioklimamodell UBIKLIM basiert auf der Idee der Klimatope. Klimatope sind Gebiete mit ähnlicher mikroklimatischer Ausprägung. In der Ebene sind sie durch die dominante Flächennutzungsart geprägt, während in kuppigem Gelände außerdem der Einfluss von Höhe, Orographie und Exposition zu berücksichtigen ist.

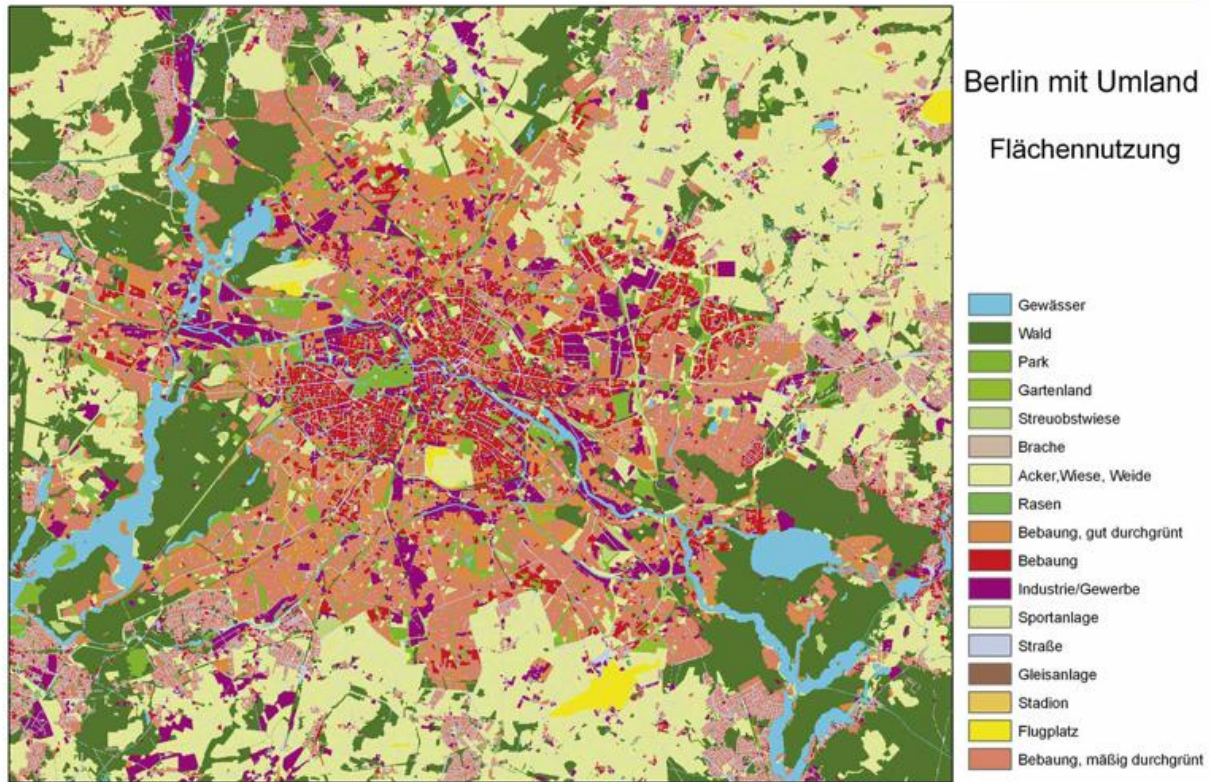


**Abb. 4:** Schematischer Aufbau des Stadtbioklimamodells UBIKLIM (TT: Lufttemperatur, ff: Windgeschwindigkeit, e: Feuchte, Ql: langwellige Strahlungsflüsse, Qk: kurzwellige Strahlungsflüsse,  $T_{mrt}$ : mittlere Strahlungstemperatur des Menschen - Werte für 1m über Grund - )

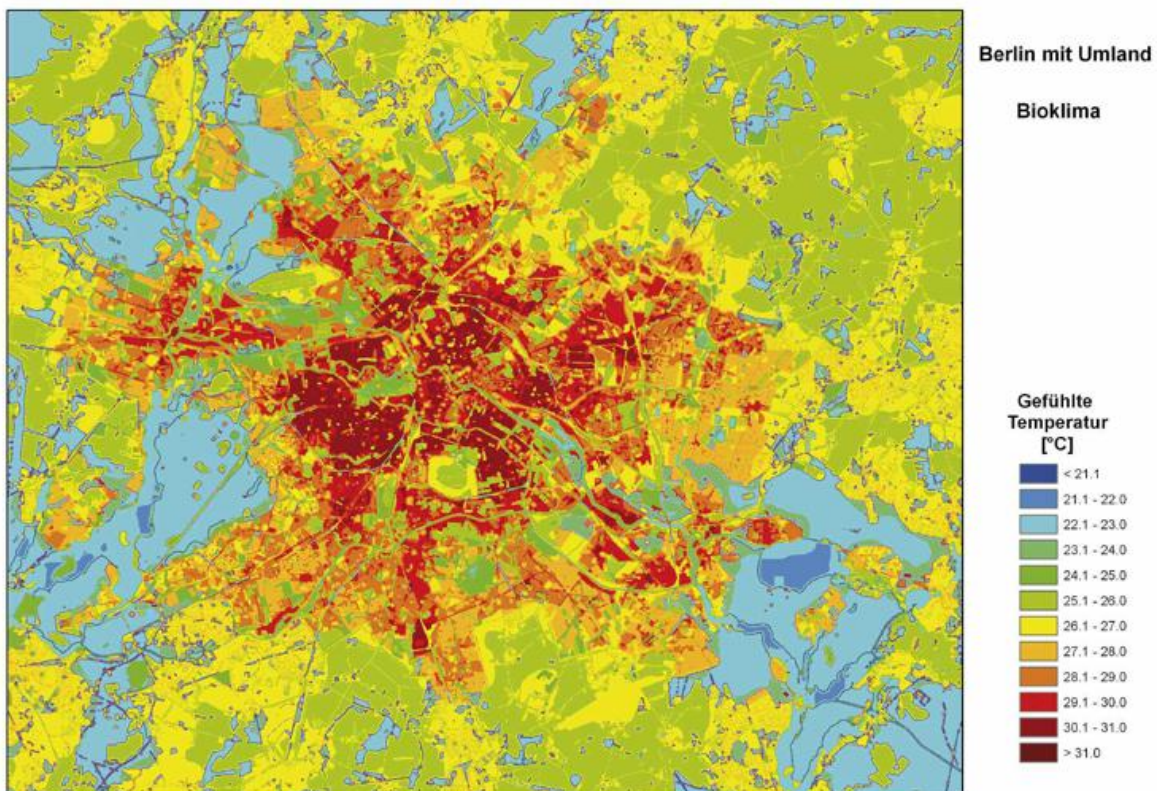
Als Eingangsgrößen benötigt UBIKLIM neben einem hoch aufgelösten Höhenmodell geeignete Flächennutzungsinformationen. Dazu wird das Untersuchungsgebiet in eine endliche Anzahl von Arealen mit gleicher oder ähnlicher Nutzung unterteilt. Bebautes Gebiet wird weiter unterteilt und durch Versiegelungsgrad, überbauten Flächenanteil, Gebäudehöhe, Zahl der Gebäude pro Fläche und Durchgrünung eindeutig charakterisiert. Anhand dieser Eingangsdaten berechnet UBIKLIM in mehreren Schritten – vorrangig durch Anwendung des 1-dimensionalen Stadtklimamodells MUKLIMO\_1 – für einen windschwachen, wolkenlosen Sommertag die meteorologischen Größen für das gesamte Untersuchungsgebiet und analysiert sie anschließend pixelweise mit dem Klima-Michel-Modell (Abb. 4 - Flussdiagramm). Die Auflösung der resultierenden Bioklimakarte beträgt 10 bis 25 Meter.

Karte 1 zeigt die Flächennutzung des Untersuchungsgebiets Berlin mit Umland. Die bebauten Gebiete wurden entsprechend ihrer Stadtstruktur im Sinne von UBIKLIM weiter unterteilt (der Übersichtlichkeit wegen hier aber nicht dargestellt). Die Daten dazu lagen digital vor, mussten aber noch UBIKLIM spezifisch aufbereitet werden. Ein Höhenmodell wurde nicht benötigt, da Berlin keine nennenswerten Höhenunterschiede aufweist.

Die resultierende Bioklimakarte ist in Karte 2 dargestellt. Zu sehen ist die Verteilung der Gefühlten Temperatur, wie sie sich typischerweise am frühen Nachmittag an einem windschwachen wolkenlosen Sommertag ausprägt. Deutlich bilden sich darin die Unterschiede zwischen unterschiedlichen Nutzungen und Stadtstrukturen ab. Markant ist die Zunahme der thermischen Belastung zur dicht bebauten Innenstadt hin. Ebenso auffällig tritt aber auch im Stadtzentrum die Parkanlage ‚Großer Tiergarten‘ hervor. Dort wird mit einer um etwa 5 K geringeren Gefühlten Temperatur das innerstädtische Belastungsgefüge aufgebrochen. Im Sommer, wenn in der angrenzenden Bebauung bereits Wärmebelastung herrscht, lässt sich hier oftmals noch in eine thermisch angenehmere Umgebung ausweichen.



**Karte 1** Flächennutzung Berlin mit Umland



**Karte 2** Gefühlte Temperatur in °C an einem windschwachen, wolkenlosen Sommertag um 14 UTC in Berlin und Umland

UBIKLIM ermöglicht die lokalen Unterschiede im Bioklima zu erfassen. Eine Beziehung zum regionalen Klima und damit absolute Aussagen liefern diese Ergebnisse allerdings nicht.

### *Erweiterung von UBIKLIM zum Kombinierten Bioklimamodell*

Bioklimakarten mit Bezug zum regionalen Bioklima und lokaler Differenzierung können erzeugt werden, indem die UBIKLIM-Ergebnisse mit von der Nutzung unabhängiger regionaler Bioklimainformation, die im Folgenden auch als Hintergrundbelastung bezeichnet wird, verknüpft werden. Dazu wird das Stadtbioklimamodell zum ‚Kombinierten Bioklimamodell‘ erweitert. Dieses besteht aus UBIKLIM, der bioklimatisch aufbereiteten Hintergrundinformation und einer statistischen Modellgleichung, mit der die Zusammenführung der unterschiedlichen Scales realisiert wird.

Da Wetterdaten an den synoptischen Stationen laut Vorgaben der WMO von der Landnutzung unbeeinflusst erhoben werden, eignen sie sich zur Gewinnung der gesuchten Hintergrundinformation. Somit können die 30-jährigen Mess- und Beobachtungsdaten der Synop-Stationen des DWD mit dem Klima-Michel-Modell analysiert und auf Wärmebelastungstage hin untersucht werden. Ein Tag mit Wärmebelastung wird dabei neu definiert als ein Tag, an dem tagsüber zwischen 9 und 15 UTC die Gefühlte Temperatur mindestens zu drei Stundenterminen 32°C erreicht hat. Der Jahresmittelwert aus den Wärmebelastungstagen ergibt schließlich die Hintergrundbelastung.

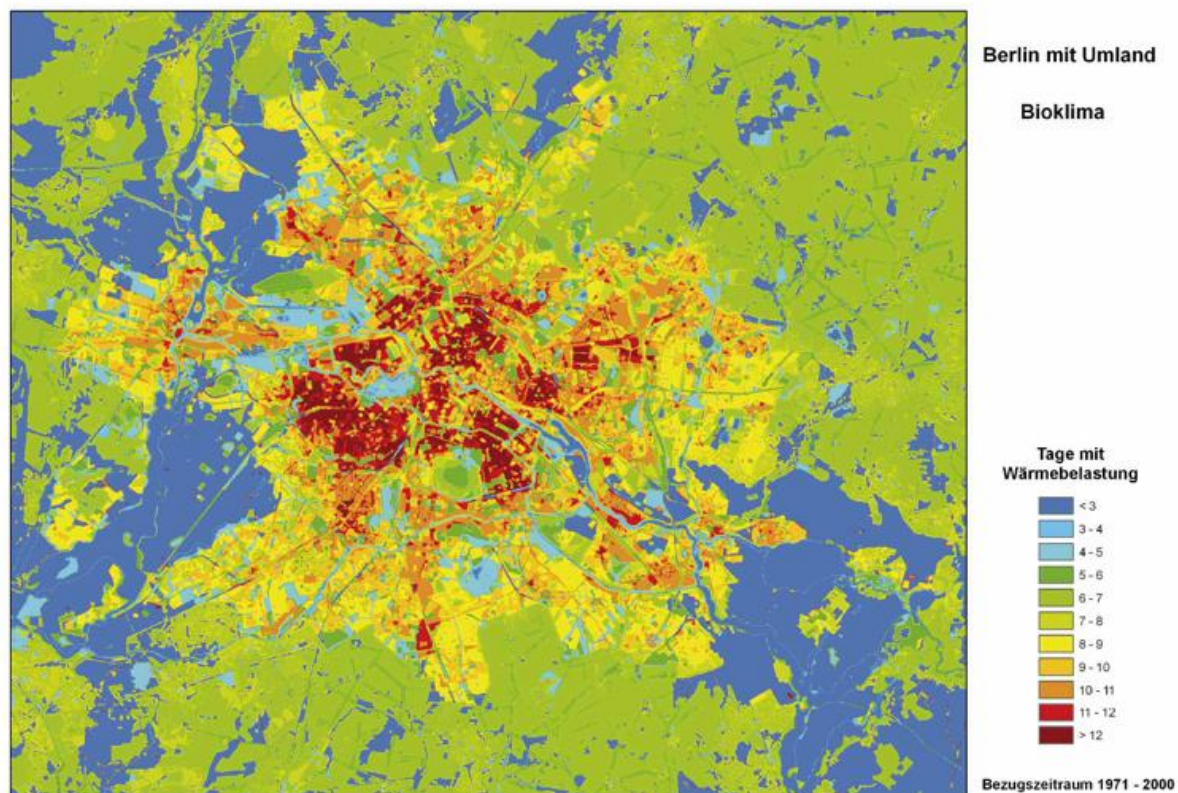
Die Koppelung der lokalen mit der regionalen Bioklimainformation wird durch folgenden Ansatz realisiert:

$$WB = (r_1 * WB_{frei} + r_2 * dGT + r_3 * WB_{frei} * dGT + r_{const}) * strant + WB_{frei} * (1 - strant)$$

mit WB: Tage mit Wärmebelastung an jedem beliebigen Ort der Stadt  
 WB<sub>frei</sub>: Hintergrundbelastung  
 dGT: Gefühlte Temperatur an jedem beliebigen Ort der Stadt minus Gefühlte Temperatur über der Freifläche (gemäß UBIKLIM)  
 r<sub>i</sub>: Regressionskoeffizienten  
 strant: Anteil von Strahlungstagen an den Wärmebelastungstagen

Da sich die UBIKLIM Ergebnisse auf Strahlungstage beziehen, müssen zur Kopplung mit dem regionalen Bioklima aber auch die Wärmebelastungstage bestimmt und berücksichtigt werden, die keine Strahlungstage sind. Damit besteht die resultierende Gleichung sowohl aus einer Regressionsbeziehung als auch aus einer Gewichtungsfunktion.

Karte 3 zeigt die Verteilung der Tage mit Wärmebelastung für den Bezugszeitraum 1971 – 2000. Die Hintergrundbelastung von Berlin mit dem Umland wurde aus den Daten der Wetterstation Berlin-Schönefeld bestimmt. Der Wert liegt bei 6 Wärmebelastungstagen pro Jahr. Der Strahlungstageanteil für Deutschland während des Zeitraums 1971 - 2000 liegt bei 50 %.



**Karte 3** Jahresmittel der Tage mit Wärmebelastung für den Bezugszeitraum 1971 – 2000 für Berlin und Umland

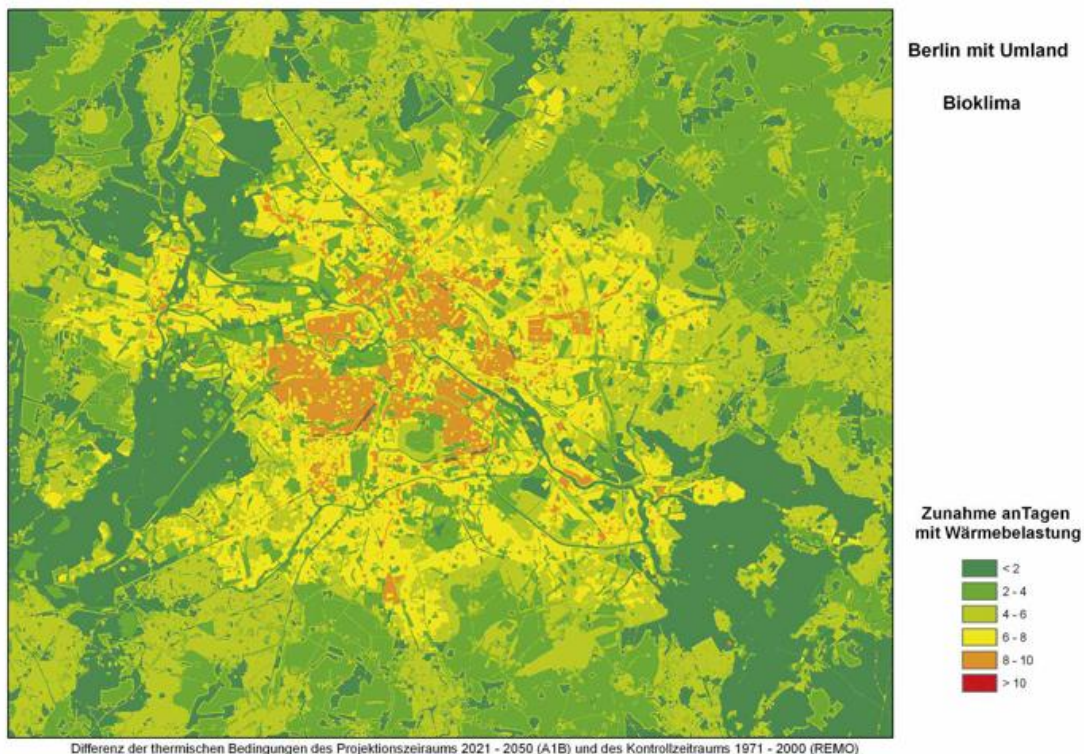
Der Inhalt von Karte 3 lässt sich nun mit anderen auf die gleiche Weise erstellten Karten, z. B. von anderen Städten oder auch einfach nur mit der Hintergrundbelastung beispielsweise des Rhein-Main-Gebietes vergleichen.

### *Downscaling der Klimaprojektionen*

An Klimaprojektionsdaten standen bislang REMO-Zeitreihen aller physiologisch relevanten meteorologischen Größen für ein 3 x 3 Gitterpunkte umfassendes, weitgehend von der Nutzung unbeeinflusstes Gebiet im Nordosten Berlins für den Kontrollzeitraum 1971 – 2000, sowie für die Klimaprojektion (A1B) 2001 – 2100 mit stündlichen Werten zur Verfügung (DEUTSCHLÄNDER et.al. 2009, JACOB 2005). Für die drei Zeiträume 1971 – 2000, 2021 – 2050, 2071 – 2100 wurden daraus – wie für das Kombinierte Bioklimamodell benötigt - jeweils die Jahresmittelwerte der Tage mit Wärmebelastung (Hintergrundbelastung) sowie der Strahlungstageanteil berechnet.

Die Hintergrundbelastung nimmt im Zeitraum 2021 – 2050 gegenüber dem Kontrolllauf um etwa 4,5 Tage, im Zeitraum 2071 – 2100 um 13,5 Tage zu; der Anteil an Strahlungstagen bezogen auf die Wärmebelastungstage liegt bei 70 %.

Mit diesen Daten wurde für alle drei Zeiträume das Kombinierte Bioklimamodell angewendet.



**Karte 4** Änderung der Zahl der Tage mit Wärmebelastung (Jahresmittel) des Projektionszeitraums 2021 – 2050 gegenüber dem Kontrolllauf 1971 – 2000 (REMO)

In Karte 4 ist beispielhaft die Änderung der thermischen Bedingungen des Projektionszeitraums 2021 – 2050 gegenüber dem Kontrolllauf 1971 – 2000 dargestellt. Es zeigt sich, dass sich die thermische Situation insbesondere in den schon aktuell am häufigsten belasteten Arealen weiter verschärft. Die Güte der dargestellten Ergebnisse ist in einem weiteren Schritt mit Hilfe statistischer Verfahren zu prüfen.

### Ausblick

Das in Karte 4 gezeigte Ergebnis ist der erste Schritt, um zu planungsrelevanten Aussagen für den Klimawandel in der Stadt zu gelangen. Die Auswertung weiterer Szenarien von Regionalen Klimamodellen wird folgen, damit die Endbeurteilung auf ein Ensemble gründen kann. Dabei werden als nächstes Zeitreihen des Modells WETTREG bearbeitet.

Ferner ist vorgesehen, nicht nur den reinen Klimawandel, sondern auch die bauliche Entwicklung von Berlin bei der Bewertung des künftigen Stadtklimas mit zu berücksichtigen.

Von Seiten der Senatsverwaltung wird angestrebt, die Ergebnisse der Kooperation in die Arbeiten zum geplanten „Stadtentwicklungsplan Klima“, der die Herausforderungen des klimatischen Wandels für die räumliche Planung auf gesamtstädtischer Ebene analytisch-strategisch bewältigen soll, einfließen zu lassen.

### Literatur

- Deuschländer, T., M. Koßmann, T. Steigerwald und J. Namyslo, 2009: Verwendung von Klimasimulationsdaten für die Stadtklimasimulation. Gleicher Band.
- Jacob, D., 2005: REMO Climate of the 20th century run 006210 and A1B scenario run No.006211, 2001 – 2100. UBA Project, 0.088 degree resolution, 1h Data. CERA Datenbank: <http://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/BrowseExperiments.jsp?proj=REMO-UBA> (Lit.angabe bitte abgleichen mit Bericht Früh und/oder Deuschländer.)

## Niederschläge im urbanen Raum

**G. Malitz , B. Rudolf**

Hervorragendes Merkmal urbaner Räume ist eine hohe, konzentrierte Bevölkerungsdichte. Daraus resultieren eine entsprechend dichte Bebauung und eine weit reichende Oberflächenversiegelung. Hinzu kommen die Emissionen von Industrie, Gewerbe und Heizung. Städte benötigen ein dichtes Kanalnetz zur Wasserversorgung und Abwasserentsorgung sowie zur Stadtentwässerung. Bäche und kleine Flüsse verlaufen in vielen Städten unterirdisch in Röhren und Kanälen. Hier wirkt sich der Niederschlag in der Regel positiv aus: Regenfälle reinigen die Kanalisation wie auch Luft, Dächer und Straßen.

Die deutlichste Auswirkung auf das lokale bis regionale Klima ist die im Mittel und in den Extremen erhöhte Lufttemperatur, die Stadt als „Wärmeinsel“. Sommerliche Hitzewellen sind in Ballungsräumen besonders problematisch. Sie fallen dort heftiger aus als in naturgeprägten Landschaften, insbesondere weil das vorhandene Wasser meist in geschlossenen Kanälen abfließt, wodurch nur wenig davon verdunstet und zu einer nur geringen Abkühlung der Luft führt (KUTTLER 2009).

Inwieweit urbane Strukturen auch das Niederschlagsgeschehen beeinflussen, ist bisher nicht allgemeingültig zu quantifizieren. Auswirkungen können beispielsweise der oben genannte Wärmeinseleffekt oder die hohe Oberflächenrauigkeit der Stadt haben. Andererseits ist die Verdunstung in urbanen Räumen eher geringer. Zudem konkurrieren die bereits genannten mit weiteren Faktoren, wie orographischen Effekten oder dem Temperaturunterschied zwischen Land- und Gewässeroberflächen.

Unter Starkniederschlag sind sowohl Niederschläge kurzer Dauer und hoher Intensität als auch mehrere Stunden oder Tage anhaltende Niederschläge mit großen Niederschlagshöhen zu verstehen. Starkniederschläge werden nach ihrer Andauer  $D$  und ihrer statistischen Wiederkehrzeit (Jährlichkeit)  $T$  bzw. Überschreitungswahrscheinlichkeit  $1/T$  eingestuft. Grundlage für die Berechnung extremwertstatistischer Starkniederschlagshöhen (laut „KOSTRA-DWD-2000“, DWD 2005) ist die im DWD verfügbare Vielzahl langer und zeitlich hoch aufgelöster Niederschlagsreihen im Zeitraum 1951-2000. Die Tabelle 1 zeigt die extremwertstatistischen Starkniederschlagshöhen für den urbanen Standort Berlin-Mitte.

Überschreiten die Starkniederschläge ein gewisses Maß, so führen sie zu lokalen Überschwemmungen, voll gelaufenen Kellern, Unterführungen und Mulden, zur Verschlammung von Grünanlagen und zur Erosion von Böden. Solche Ereignisse sind räumlich begrenzt, kommen aber in Deutschland etliche Male pro Jahr vor. Sie treten an unterschiedlichen Orten, mal hier mal dort auf. So gesehen sind, auf größere Räume bezogen, Starkniederschläge nicht selten. Die Wahrscheinlichkeit aber, dass ein zu Schäden führender Starkniederschlag an einem bestimmten Ort auftritt, ist dagegen vergleichsweise gering.

Intensive Starkniederschläge von kurzer Dauer, oft verbunden mit heftigen Gewittern, beschränken sich in Mitteleuropa hauptsächlich auf die warme Jahreszeit von April bis Oktober. Beispielsweise gab es am 07.07.2006 in Berlin an einigen Standorten gewittrige Schauer (örtlich mehr als 30 mm). An diesem Tag fiel in anderen Teilen des Berliner Stadtgebiets gar kein Niederschlag. Bei dem anhaltenden Niederschlag am 29.08.1969 (gebietsweise mehr als 50 mm) war hingegen mehr als das ganze Stadtgebiet betroffen. Mit Wiederkehrzeiten von weniger als 50 Jahren handelte es sich um typische Starkniederschlagsereignisse, auf die man im urbanen Raum eingestellt sein muss.

Beispiele für Starkniederschläge, mit deren Auftreten seltener als einmal in 100 Jahren zu rechnen ist, sind einerseits das im Bereich des Berliner Flughafens Tegel räumlich eng begrenzte Starkniederschlagsereignis am 25.08.2006 mit 127 mm innerhalb von zwei Stunden und andererseits der aus einer so genannten Vb-Lage resultierende großräumige Starkniederschlag am 08.08.1978 (Tageswert an der Station Berlin-Schmöckwitz: 177 mm), welcher sogar noch länger anhielt und auch weite Teile des Landes Brandenburg betraf.

**Tab. 1:** KOSTRA-DWD-2000: Starkniederschlagshöhe (hN) als Funktion der Dauer (D) und der Jährlichkeit (T), hier als Beispiel für Berlin-Mitte. Datenbasis 1951 bis 2000, Januar bis Dezember.

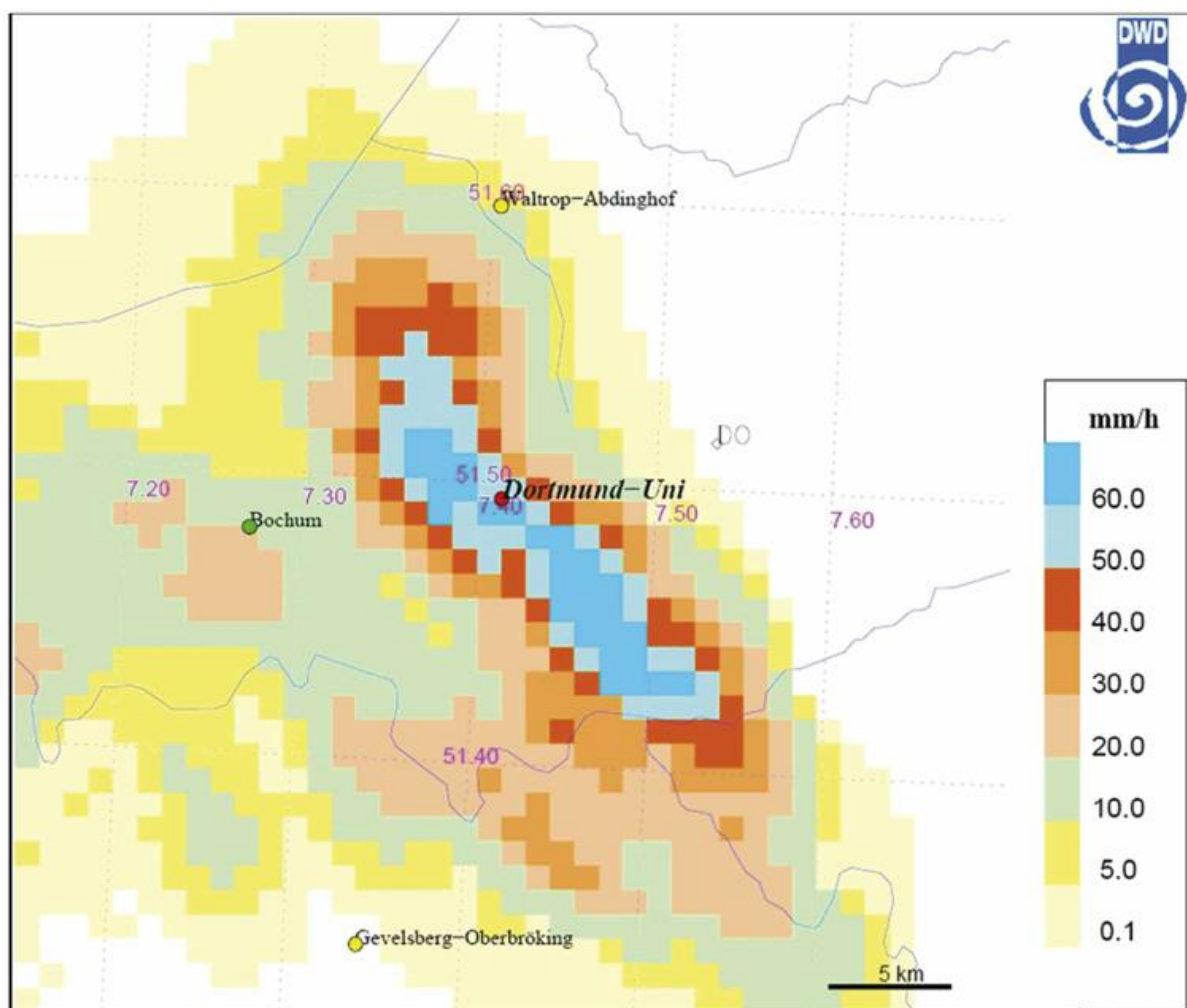
T	0,5	1	2	5	10	20	50	100
D	hN	hN	hN	hN	hN	hN	hN	hN
5 min	3,7	5,8	7,9	10,7	12,8	14,9	17,7	19,8
10 min	6,3	9,2	12,1	16,0	18,9	21,9	25,7	28,7
15 min	7,9	11,5	15,1	19,7	23,3	26,9	31,5	35,1
30 min	10,3	15,3	20,2	26,8	31,7	36,7	43,2	48,1
45 min	11,2	17,2	23,2	31,1	37,1	43,1	51,0	57,0
60 min	11,4	18,3	25,2	34,3	41,1	48,0	57,1	64,0
90 min	12,5	19,6	26,8	36,2	43,4	50,5	60,0	67,1
2 h	13,3	20,7	28,0	37,7	45,1	52,4	62,1	69,5
3 h	14,6	22,2	29,8	39,9	47,6	55,2	65,3	72,9
4 h	15,5	23,3	31,2	41,6	49,4	57,3	67,6	75,5
6 h	16,9	25,1	33,2	44,0	52,2	60,3	71,1	79,3
9 h	18,4	26,9	35,4	46,6	55,1	63,6	74,8	83,2
12 h	19,6	28,3	37,0	48,5	57,2	66,0	77,5	86,2
24 h	22,8	32,5	42,2	55,0	64,7	74,4	87,2	96,9
48 h	28,3	39,1	49,9	64,2	75,1	85,9	100,2	111,0
72 h	30,4	42,2	54,0	69,6	81,4	93,2	108,8	120,6

T = Wiederkehrzeit [a]: mittlere Zeitspanne, in der ein Ereignis einen Wert einmal erreicht oder überschreitet  
D = Niederschlagsdauer einschl. Unterbrechungen [min, h]  
hN = Niederschlagshöhe [mm]

Inwieweit Starkregen und die resultierenden Überschwemmungen Schaden anrichten können, hängt von verschiedenen Randbedingungen ab - von meteorologischen (Niederschlagshöhe, Dauer und räumliche Ausdehnung) und geographischen (Geländeform, Bodenart, Vegetation, Bebauung, Schutzvorrichtungen). Zudem wird die Schadenshöhe durch die betroffenen Werte bestimmt. Aufgrund der hohen Bevölke-

rungsdichte und der Konzentration von Werten sind Städte besonders verwundbar. Die Versiegelung der Oberfläche führt zu einem schnellen Abfluss des gefallenen Niederschlagswassers, und das Fassungsvermögen der Kanalisation ist begrenzt. Speziell in Städten können Starkniederschläge zu Problemen führen.

Am 26. Juli 2008 hatten wir in Deutschland ein äußerst extremes Ereignis im Raum Dortmund zu verzeichnen. Bereits in der frühen Nacht (02:00 Uhr MESZ) verlief eine Konvergenzzone über dem betroffenen Gebiet. Infolge konvergenter Luftströmung und hoher Labilität der Schichtung blieb diese Konvergenzzone während des ganzen Tages bestehen, änderte ihre Lage kaum und führte zu einer stark konvektiven Wolkenentwicklung. Der DWD warnte frühzeitig um 10:00 Uhr MESZ vor schweren Gewittern (mit Starkniederschlag, Hagel und schweren Sturmböen) entlang der quasi-stationären Konvergenzlinie. An der Station Dortmund des privaten Wetterdienstes meteomedia wurden 200 mm Niederschlag innerhalb von 150 Minuten gemessen. Wie die an Stationsmessdaten des DWD geeichten Radarbeobachtungen RADOLAN des DWD (DWD, 2004) ergaben, überschritten im Stadtgebiet und der näheren Umgebung von Dortmund die innerhalb von drei Stunden gefallenen Niederschläge den Schwellenwert von 100 Liter pro m<sup>2</sup> über einer Fläche von ca. 30 km<sup>2</sup> (siehe Abb. 1).



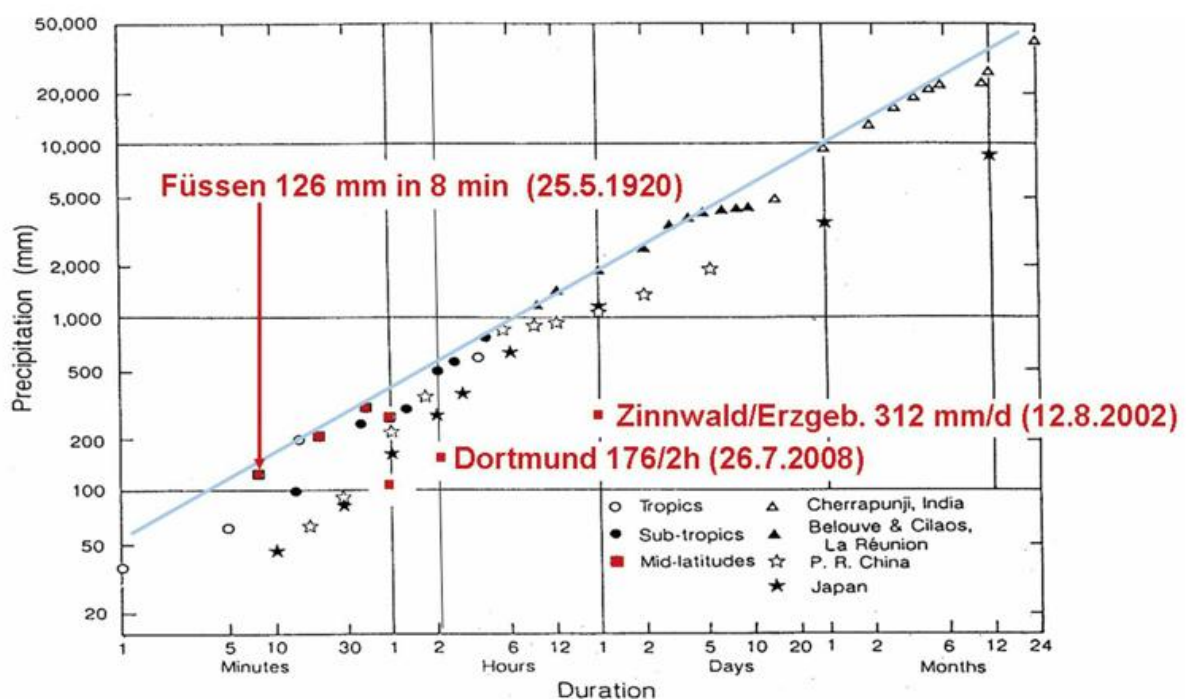
**Abb. 1:** Extremniederschlag in Dortmund am 26. Juli 2008 (Flächenwert RADOLAN: 129 mm in 2,5 Stunden). Die Wahrscheinlichkeit, einen solchen Extremwert an einer Wetterstation zu erfassen, liegt unter 10%.

Das Messnetz des DWD verfügt über rund 1000 automatische Niederschlagsmessstationen, deren Daten unmittelbar in die Zentrale übermittelt werden. Trotz dieser großen Netzdichte liegt die Wahrscheinlichkeit, einen solchen Extremniederschlag an einer Station zu erfassen, bei wenigen Prozent. Gerade der „Fall Dortmund“ hat wieder die Wichtigkeit der quantitativen Auswertung von Radarmessungen des DWD gezeigt. Obwohl die drei nächsten Stationen des DWD außerhalb oder am Rande der Zugbahn der ursächlichen Konvektionszellen liegen, hat RADOLAN seine Leistungsfähigkeit einmal mehr bewiesen und für dieses Ereignis einen sehr realistischen Gebietsniederschlag geliefert.

Die geringe Häufigkeit (sehr viel seltener als einmal in 100 Jahren) eines solch extremen Ereignisses wie im Fall Dortmund 2008 lässt sich statistisch nicht mehr fassen. Das Ereignis liegt dennoch nicht außerhalb des Bereichs der bisher beobachteten Rekordwerte, wie Abb. 2 zeigt.

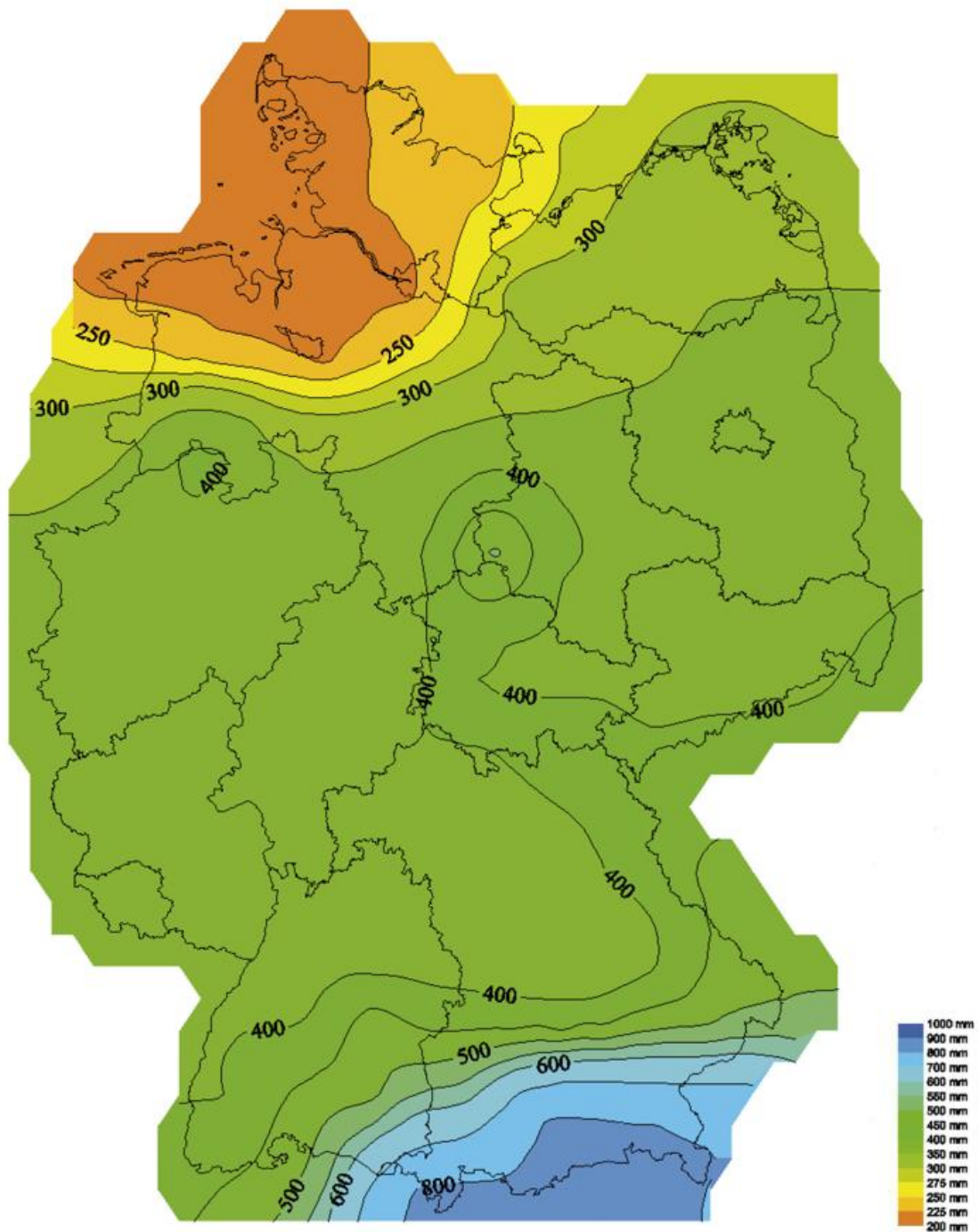
Die vom DWD physikalisch begründet abgeschätzten regionalisierten maximierten Gebietsniederschlagshöhen (MGN) beantworten die Frage, mit welchen vermutlich höchsten Niederschlägen in Deutschland zu rechnen ist. Die Antwort ist abhängig von Größe und Lage des Gebiets sowie von der Niederschlagsdauer. Wie aus der Abb. 3 hervor geht, sind im Raum Dortmund und im Raum Berlin Niederschläge von fast 400 l/m<sup>2</sup> innerhalb von 24 Stunden unter den derzeitigen Klimabedingungen möglich.

Je nachdem, wie sich das Klima in Deutschland entwickelt, ändert sich auch das Niederschlagsverhalten im urbanen Raum. Nach heutigem Kenntnisstand besteht eine Tendenz zu nasserem Wintern und trockeneren Sommern mit häufigeren Starkniederschlägen. In Deutschland gibt es mehrere Regionen mit positiven Trends



**Abb. 2:** Die höchsten in Deutschland je beobachteten Niederschläge und ihre Andauer

von Tageswerten der Niederschlagshöhe. Ob auch die Niederschläge von weniger als drei Stunden Dauer extremwertstatistisch gesehen zunehmen werden (z. B. in NRW), wird gegenwärtig untersucht. Möglicherweise ergeben sich Niederschlagszuwächse bei Wiederkehrzeiten von mehr als 30 Jahren, die sich in den punktuellen Starkniederschlagstabellen (siehe Tabelle 1) als größere Werte in den beiden rechten hN-Spalten (50 Jahre, 100 Jahre) widerspiegeln würden.



**Abb. 3:** Regionalisierte maximierte Gebietsniederschlagshöhe der Dauerstufe 24 h für Gebiete von höchstens 25 km<sup>2</sup> Größe

Damit die Konzepte zur Katastrophenvorsorge, Gefahrenabwehr und Anpassung an den Klimawandel entwickelt und umgesetzt werden können, verbessert der Deutsche Wetterdienst ständig sein Instrumentarium. Es besteht sowohl aus Echtzeit-Leistungen wie Wettervorhersagen und -warnungen sowie RADAR-Nowcasting als auch aus klimatologischen Leistungen wie Klimatrendaussagen (z. B. KLIWA, ZWEK, KLIWAS) und Extremwertanalysen (KOSTRA-DWD, MGN, REWANUS) einschließlich der für alle Leistungen erforderlichen wissenschaftlichen Entwicklungen. Unter anderem ist auch eine klimatologisch statistische Auswertung der stündlichen RADOLAN-Daten zur Analyse der räumlichen Verteilung des Auftretens von Starkniederschlägen geplant.

#### **Literatur**

- DWD (2004): Abschlussbericht zum Projekt RADOLAN: Routineverfahren zur Online-Aneicherung der Radarniederschlagsdaten mit Hilfe von automatischen Bodenniederschlagsstationen (Ombrometer). Autoren: Hella Bartels, Elmar Weigl, Dr. Thomas Reich, Peter Lang, Andreas Wagner, Otfried Kohler, Nicole Gerlach (verfügbar im Internet: [www.dwd.de/RADOLAN](http://www.dwd.de/RADOLAN))
- DWD (2005): KOSTRA-DWD-2000 – Starkniederschlagshöhen für Deutschland (1951-2000), Fortschreibungsbericht. Autoren: H. Bartels, B. Dietzer, G. Malitz, F. M. Albrecht, J. Guttenberger (verfügbar im Internet: [www.dwd.de/hydrometeorologie](http://www.dwd.de/hydrometeorologie))
- Kuttler, W., 2009: Zum Klima im urbanen Raum. Gleicher Band.

## Klimatologische Größen zur technischen Planung am Beispiel der TRY (Testreferenzjahre)

U. Wienert

### *Einleitung*

Funktion und Lebensdauer vieler technischer Systeme hängen mittelbar oder unmittelbar von den Witterungsverhältnissen ab, denen sie ausgesetzt sind. Darüber hinaus spielen häufig die klimatischen Einsatzbedingungen eine wichtige Rolle für die Sicherheit im Umgang mit technischen Systemen. Dies gilt im besonderen Maße für Transportmittel jeder Art (Automobile, Flugzeuge, Schiffe, Schienenfahrzeuge). Sie müssen so ausgelegt sein, dass auch extremere atmosphärische Einflüsse nicht zur Gefährdung von Menschenleben führen.

Des Weiteren werden die klimatischen Bedingungen durch entsprechende technische Einrichtungen genutzt, um Vorteile daraus zu ziehen. Exemplarisch dafür seien technische Systeme zur Energiegewinnung aus Wind, Wasser und Sonne genannt. Allerdings müssen derartige Anlagen ihrerseits wieder so ausgelegt sein, dass sie den Witterungsverhältnissen in ihrem Einsatzgebiet standhalten.

Eine Reihe anderer technischer Einrichtungen dient zum Schutz vor den Witterungsbedingungen selbst. Dazu gehören zum Beispiel Gebäude, die je nach den klimatischen Verhältnissen so konzipiert sind, dass sie ein möglichst angenehmes Innenraumklima schaffen. Technische Gebäudeausrüstungen, abgekürzt TGA, wie Klima- und Heizungsanlagen, unterstützen über die schützende Grundstruktur der Gebäude hinaus die Herstellung bzw. Aufrechterhaltung eines komfortablen Innenraumklimas. Dabei hängt die Auslegung der TGA, d.h. ihre Dimensionierung, wiederum von den gegebenen klimatischen Verhältnissen ab.

Bereits aus den wenigen genannten Beispielen wird deutlich, dass bei der Planung und Entwicklung technischer Systeme eine möglichst genaue Kenntnis der Klimabedingungen, in denen diese Systeme funktionieren sollen, vorhanden sein muss. Die in Frage kommenden Klimaparameter überdecken grundsätzlich das gesamte Spektrum der meteorologischen Elemente. Je nach Art der technischen Einrichtungen können schwerpunktmäßig aber unterschiedliche Klimaparameter von Bedeutung sein. So wird für ein Wasserkraftwerk vor allem das Niederschlagsdargebot interessieren, während für Klimatisierungs- und Heizungsanlagen im wesentlichen Lufttemperatur und -feuchte von Bedeutung sind. Bei der Gebäudeplanung wiederum sind zusätzlich Informationen über Wind, Sonneneinstrahlung, Schneelast u.a. notwendig.

Der Deutsche Wetterdienst (DWD) verfügt über jahrzehntelange Mess- und Beobachtungsreihen auf Basis seines derzeit 178 Wetterwarten (personell besetzte Standorte) und Wetterstationen (automatisch betriebene Standorte) umfassenden Messnetzes. Zusätzlich stehen noch die Daten eines von ehrenamtlich tätigen Bürgerinnen und Bürgern betreuten Messnetzes zur Verfügung, das aktuell aus 310 automatischen Wetterstationen und aus über 1800 Niederschlagsmessstellen besteht. Auf Grundlage dieser Mess- und Beobachtungsdaten lassen sich je nach Anforderung

die verschiedensten statistischen Auswertungen - angefangen von langjährigen Mittel- und Extremwerten über Häufigkeitsverteilungen bis hin zu Korrelationen und Andauerperioden - erstellen.

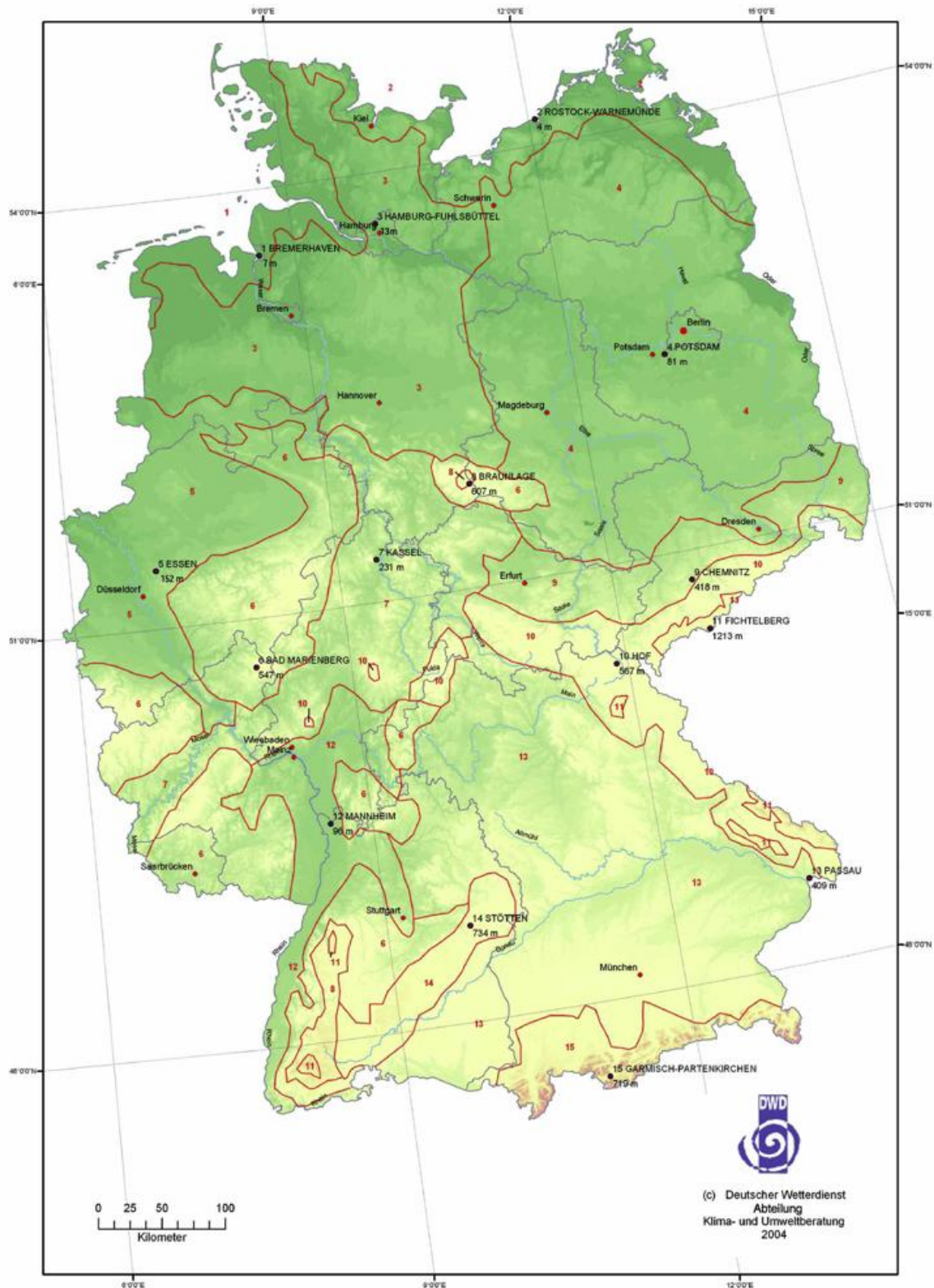
In diesem Beitrag soll exemplarisch dargestellt werden, welche besondere Aufbereitung Klimaparameter zur Anwendung in einem speziellen Fall der Projektion technischer Systeme, nämlich der Planung von Gebäuden und technischer Gebäudeausstattung (Lüftung, Klimatisierung, Heizung) in Form der sog. Testreferenzjahre erfahren.

### *Testreferenzjahre (TRY)*

Für die Planung energieeffizienter Gebäude sowie für die Auslegung von Lüftungs-, Klima- und Heizungsanlagen werden von den Ingenieuren adäquate Datensätze sowohl zu den mittleren als auch zu den extremen Klimaverhältnissen benötigt. Diese liefern die 2004 vom DWD herausgegebenen Testreferenzjahre (abgekürzt mit TRY für „Test Reference Year“) in CHRISTOFFER et al. (2004.) Mithilfe statistischer Methoden wie Faktoren- und Clusteranalyse wurde die Bundesrepublik Deutschland in 15 TRY-Regionen mit je einer Repräsentanzstation eingeteilt. Die TRY-Regionen mit ihren jeweiligen Repräsentanzstationen sind in Tabelle 1 zusammengefasst und in Abbildung 1 dargestellt.

**Tab. 1:** TRY-Regionen und zugehörige Repräsentanzstationen

<b>Region</b>	<b>Repräsentanzstation</b>	<b>Höhe NN [m]</b>
Nordseeküste	Bremerhaven	7
Ostseeküste	Rostock-Warnemünde	4
Nordwestdeutsches Tiefland	Hamburg-Fuhlsbüttel	13
Nordostdeutsches Tiefland	Potsdam	81
Niederrheinisch-westfälische Bucht und Emsland	Essen	152
Nördliche und westliche Mittelgebirge, Randgebiete	Bad Marienberg	547
Nördliche und westliche Mittelgebirge, zentrale Bereiche	Kassel	231
Oberharz und Schwarzwald (mittlere Lagen)	Braunlage	607
Thüringer Becken und Sächsisches Hügelland	Chemnitz	418
Südöstliche Mittelgebirge bis 1000 m	Hof	567
Erzgebirge, Böhmer- und Schwarzwald oberhalb 1000 m	Fichtelberg	1213
Oberheingraben und unteres Neckartal	Mannheim	96
Schwäbisch-fränkisches Stufenland und Alpenvorland	Passau	409
Schwäbische Alb und Baar	Stötten	734
Alpenrand und -täler	Garmisch-Partenkirchen	719



**Abb. 1:** TRY-Regionen für Deutschland. Die 15 Regionen mit ihren Repräsentanzstationen enthalten die Angaben: Nummer der Region, Stationsname und Stationshöhe in m über NN (aus CHRISTOFFER et al. 2004)

Die Auswahl der in den TRY verwendeten Klimaparameter orientiert sich an der Zielsetzung, insbesondere der Planung von Gebäuden und der technischen Gebäudeausrüstung (Lüftung, Klimatisierung, Heizung). Daher hat die Lufttemperatur sowohl bei der Auswahl der o.g. TRY-Regionen als auch bei der Auswahl der typischen Großwetterlagen zur Festlegung des mittleren Testreferenzjahres, wie weiter unten beschrieben, eine vorrangige Bedeutung. Beispielsweise wurde die Lufttemperatur bei der Festlegung der TRY-Regionen gegenüber den anderen Klimaparametern dreifach gewichtet.

Neben der Lufttemperatur spielt vor allem bei der Innenraumkühlung unter sommerlichen Witterungsbedingungen der Wasserdampfgehalt der Luft eine wichtige Rolle. Daher enthalten die Testreferenzjahre das Mischungsverhältnis und die relative Luftfeuchte. Darüber hinaus haben für das Innenraumklima von Gebäuden sowohl die solare als auch die atmosphärische und terrestrische Wärmestrahlung Bedeutung. Des Weiteren sind im TRY-Datensatz Windrichtung und -geschwindigkeit enthalten. Tab. 2 führt alle in den TRY verwendeten Klimaparameter auf.

**Tab. 2:** In den TRY-Datensätzen enthaltene Klimaparameter (stündliche Werte)

Parameter	Dimension
Bedeckungsgrad des Himmels mit Wolken	[Achtel]
Windrichtung in 10 m über Grund	[°]
Windgeschwindigkeit in 10 m über Grund	[m/s]
Lufttemperatur in 2 m über Grund	[°C]
Luftdruck in Stationshöhe	[hPa]
Wasserdampfgehalt, Mischungsverhältnis	[g/kg]
Relative Feuchte in 2 m über Grund	[%]
Wetterereignis der aktuellen Stunde	[1]
Direkte Sonnenbestrahlungsstärke (horiz. Ebene, abwärts positiv)	[W/m <sup>2</sup> ]
Diffuse Sonnenbestrahlungsstärke (horiz. Ebene, abwärts positiv)	[W/m <sup>2</sup> ]
Bestrahlungsstärke der atmosphärischen Wärmestrahlung (horiz. Ebene, abwärts positiv)	[W/m <sup>2</sup> ]
Bestrahlungsstärke der terrestrischen Wärmestrahlung (horiz. Ebene, aufwärts negativ)	[W/m <sup>2</sup> ]

In der Mitte und im Süden Deutschlands umfassen die TRY-Regionen (vergl. Tab. 1 und Abb. 1) orographisch deutlich gegliedertes Gelände mit größeren Höhenunterschieden. Dies bedeutet, dass die für die Höhenlage der jeweiligen Repräsentanzstation geltenden Klimaparameter gegebenenfalls mit höhenabhängigen Korrekturfaktoren zu versehen sind. Entsprechende Korrekturen erfolgen für die im TRY wichtigsten Parameter Lufttemperatur und Wasserdampfgehalt der Luft. Sowohl für die Monate als auch das Jahr sind die mittleren vertikalen Gradienten dieser beiden Parameter angegeben. Bei Höhenunterschieden von mehr als 100 m zur Repräsentanzstation sind entsprechende Zu- oder Abschläge vorzunehmen.

Auch der Luftdruck wird gemäß der barometrischen Höhenformel korrigiert. Andere Parameter außer Lufttemperatur, Luftfeuchte und Luftdruck erfahren in den Testreferenzjahren keine Höhenkorrektur, da hierfür in der Regel keine allgemein gültigen Korrekturansätze vorhanden sind.

Aus dem Zeitraum der Klimanormalperiode 1961 bis 1990 wurden mithilfe einer Großwetterlagenanalyse reale, für jede Region und für jede Repräsentanzstation identische Witterungsabschnitte ausgewählt. Diese Witterungsabschnitte wurden derart ausgesucht, dass die Jahreszeitenmittelwerte der einzelnen Klimaparameter (vor allem Lufttemperatur und Luftfeuchte) an den Repräsentanzstationen möglichst gut mit den 30-jährigen Mittelwerten übereinstimmen. Alle verwendeten Klimaparameter sind in den TRY in stündlicher Auflösung enthalten. Damit ergibt sich für jeden Klimaparameter ein Satz von 8760 Einzeldaten pro Jahr. Mit allen Klimaparametern enthält das TRY für eine Repräsentanzstation damit 105120 Stundenwerte pro Jahr.

Die zyklischen Datensätze der TRY liefern die klimatologischen Randbedingungen zur Simulation des thermischen Verhaltens von Gebäuden sowie von Anlagen zur Lüftung, Klimatisierung und Heizung von Gebäudeinnenräumen. Sie sind damit eine wichtige Grundlage zur Planung einer geeigneten Bauweise und zur Dimensionierung der technischen Gebäudeausrüstung. Neben den geschilderten Einsatzmöglichkeiten können die Testreferenzjahre für die Simulation anderer technischer Systeme verwendet werden, die in ähnlicher Weise von meteorologischen Bedingungen abhängen, wie zum Beispiel in Fragen der Solarenergieanwendung.

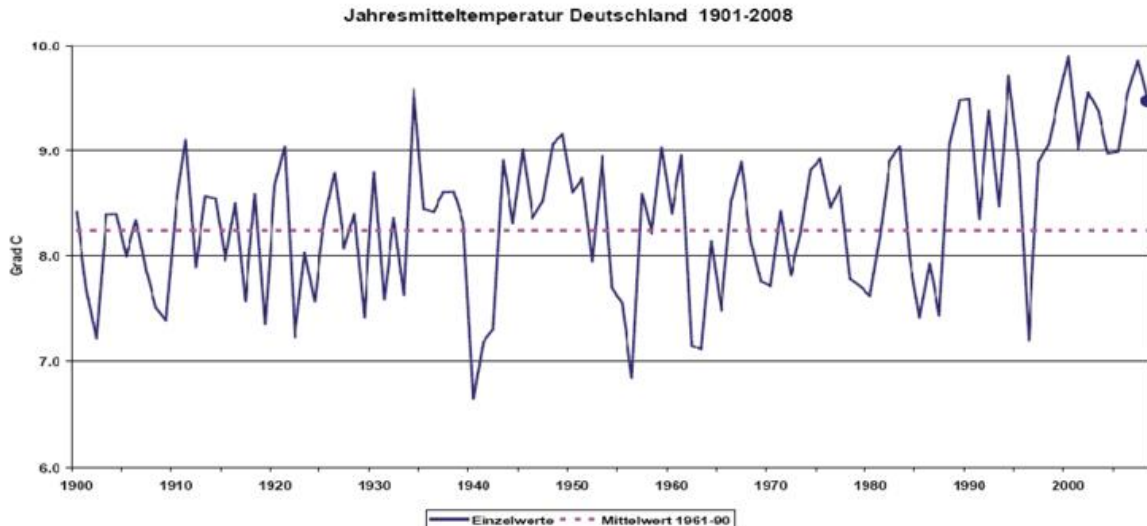
Bei der Auslegung von Heizungs- und Klimaanlage interessieren vor allem die extremen Witterungsbedingungen, unter denen noch die volle Funktionsfähigkeit gegeben sein muss. Aus Wirtschaftlichkeitserwägungen heraus ist damit aber nicht unbedingt die im Vergleichszeitraum absolut extremste Situation gemeint. Bezogen auf die Lufttemperatur wurde für den Zeitraum 1961 bis 1996 der an den meisten der Repräsentanzstationen drittwärmste Sommer (1983) bzw. drittkälteste Winter (1984/85) ausgewählt.

Die Begriffe Sommer und Winter beziehen sich dabei auf die meteorologischen Jahreszeiten Juni bis August bzw. Dezember bis Februar. Für das extreme Sommer- bzw. Winter-TRY sind die real aufgetretenen Originalsituationen vorhanden. Die verwendeten Klimaparameter entsprechen denen des sog. mittleren TRY.

#### *Fragen und Anregungen der Nutzerseite bezüglich der bestehenden Testreferenzjahre (TRY)*

Gespräche zwischen der Anwenderseite und den Meteorologen und Meteorologinnen im DWD hat zwischenzeitlich ergeben, dass einige Fragen hinsichtlich des Einsatzes der TRY bestehen. Außerdem wurden Wünsche nach Erweiterung der Datensätze um zusätzliche Merkmale geäußert, wie z.B. die Berücksichtigung der städtischen Wärmeinsel oder der Ermittlung extremer Halbjahre anstatt nur extremer Jahreszeiten wie Winter und Sommer.

Speziell der Klimawandel hat die Diskussionen um die Einsetzbarkeit der TRY auf Basis der Klimanormalperiode angeregt. So wurde in Deutschland ab der zweiten Hälfte der 1980er Jahre ein deutlicher Anstieg der Lufttemperaturen (Abb. 2) beobachtet. Seit 1988 waren mit Ausnahme des Jahres 1996 alle Jahre im Vergleich zur Klimanormalperiode 1961 bis 1990 zu warm ausgefallen. Im Zuge der geplanten Neuausgabe einer VDI-Richtlinie 4710, Blatt 3 in Anlehnung an die bestehende



**Abb. 2:** Verlauf der Jahresmitteltemperatur in Deutschland basierend auf 1 km x 1 km Rasterwerten von 1901 bis 2008 (aus WITTERUNGSREPORT-EXPRESS 13/2009).

DIN 4710 (2003) wurden stündliche Korrelationen von Lufttemperatur und Mischungsverhältnis für den Zeitraum 1991 bis 2005 neu berechnet und mit den entsprechenden Werten aus der Klimanormalperiode 1961 bis 1990 verglichen.

Der Vergleich zeigt sowohl einen Anstieg der Lufttemperaturen als auch eine Zunahme des Wasserdampfgehaltes der Luft. Für die 15 Repräsentanzstationen der TRY-Regionen in Deutschland werden die Auslegungstemperaturen für Klimaanlage im Sommer um 17,2 Stunden im Zeitraum 1991 bis 2005 gegenüber nur 7,4 Stunden im Zeitraum 1961 bis 1990 überschritten. Das Auftreten höherer Mischungsverhältnisse von über 12 g Wasserdampf pro kg trockener Luft steigt in der Periode 1991 bis 2005 auf 161,3 h gegenüber 124,3 Stunden für die Zeitspanne 1961 bis 1990. Im Winter wird die Auslegungstemperatur für Heizungsanlagen dagegen weniger oft mit 6,8 Stunden (1991 bis 2005) gegenüber 17,5 Stunden (1961 bis 1990) unterschritten.

Die o.g. Änderungen in Lufttemperatur und Wasserdampfgehalt der Luft bringen derzeit nur eine vergleichsweise geringe Beeinflussung der Auslegungsdaten hinsichtlich Heiz- und Kühllast für Heizungs- und Klimaanlage. Das Risiko einer Überschreitung der bisherigen Auslegungswerte beträgt 0,1 % bis 0,2 % (MASUCH und HOLLENBACH 2008, persönliche Mitteilung).

Städte weisen aufgrund der Veränderung der Erdoberfläche durch Bebauung und Versiegelung, aber auch durch anthropogene Wärmeproduktion (Gebäudeheizung, Kraftfahrzeugverkehr, Industrie u.a.) eine höhere Lufttemperatur im Vergleich zum Umland auf. Diese als städtischer Wärmeinseleffekt bezeichnete Temperaturüberhöhung wird derzeit nicht in den Testreferenzjahren berücksichtigt. Gründe dafür sind u.a. die Abhängigkeit des Wärmeinseleffektes von den Witterungsbedingungen (am besten ausgeprägt in windschwachen wolkenarmen Wittersituationen, kaum vorhanden bei starker Bewölkung und höheren Windgeschwindigkeiten), von der Stadtstruktur (Bebauungsdichte, Bebauungsart, Versiegelungsgrad etc.) selbst oder auch von der topographischen Lage der Stadt (Küste, Ebene, Tal u.a.).

Für europäische Großstädte kann der Wärmeinseleffekt unter entsprechend günstigen Wetterbedingungen 6 K und mehr betragen (LANDSBERG 1981, KUTTLER, 1997). Da die tiefsten und höchsten Lufttemperaturen im Winter- bzw. im Sommerhalbjahr in der Regel ebenfalls in den den urbanen Wärmeinseleffekt begünstigenden windschwachen wolkenarmen Wetterlagen auftreten, ist zu erwarten, dass sich bei der Auslegung von Heizungs- und Klimaanlage Änderungen zwischen Stadt und Umland ergeben können. So wären die Anforderungen an die Gebäudeheizung in der Stadt aufgrund der dort höheren Lufttemperaturen geringer, wohingegen sich im Fall der Klimatisierung von Gebäudeinnenräumen im Sommer größere Anforderungen stellen.

Aufgrund der in den vorliegenden TRY fehlenden Möglichkeit, den städtischen Wärmeinseleffekt zu berücksichtigen, werden von den anwendenden Ingenieuren, wie aus Gesprächen bekannt wurde, fallweise pauschale Annahmen gemacht, beispielsweise derart, dass feste Temperaturzuschläge in den Simulationsrechnungen zum thermischen Verhalten von Gebäuden benutzt werden. Da hierbei weder die Abhängigkeiten des städtischen Wärmeinseleffektes von den Witterungsbedingungen noch von der Stadtgröße in Betracht gezogen werden, können die mit festen Temperaturzuschlägen durchgeführten Bewertungen zur Auslegung von technischen Gebäudeausstattungen (Lüftungs-, Heizungs-, Klimaanlage) nicht unerheblich von der Realität abweichen.

Wie bereits erwähnt, beziehen sich die extremen Testreferenzjahre auf die beiden meteorologischen Jahreszeiten Winter (Dezember bis Februar) und Sommer (Juni bis August). Speziell für das extreme Sommer-TRY wird von den anwendenden Ingenieuren die Betrachtung des gesamten Sommerhalbjahres (April bis September) gewünscht. Gerade in den Übergangsjahreszeiten kann durch eine tiefer stehende Sonne in Verbindung mit bereits höheren Lufttemperaturen ein größerer Wärmeeintrag in Gebäude erfolgen. Um ein komplettes extremes Testreferenzjahr für die Simulation des thermischen Verhaltens von Gebäuden sowie der Anforderungen an Klima- und Heizungsanlagen verfügbar zu haben, wird von der Anwenderseite auch die Erweiterung des extremen Winter-TRY auf das gesamte Winterhalbjahr (Oktober bis März) gewünscht.

#### *Geplante Erweiterungen der Testreferenzjahre (TRY)*

Um bestehende Zweifel bezüglich der Anwendbarkeit der auf der Klimanormalperiode 1961 bis 1990 basierenden Testreferenzjahre seitens der Nutzer auszuräumen, ist geplant, einen aktualisierten TRY-Datensatz zu erstellen. Dieser soll sich auf den 20-jährigen Zeitraum von 1988 bis 2007 beziehen und umfasst damit den Zeitraum des stärksten Temperaturanstiegs seit 1900 in Deutschland. Alle übrigen Merkmale der Testreferenzjahre wie Parameterumfang, TRY-Regionen und Repräsentanzstationen werden beibehalten. Bei den Repräsentanzstationen kann es im Einzelfall allerdings zu Veränderungen kommen. Wurden homogene Mess- und Beobachtungsreihen durch Stationsverlegungen oder -auflösungen unterbrochen, müssen gegebenenfalls neue Repräsentanzstationen definiert werden.

Die bestehenden extremen Testreferenzjahre für die meteorologischen Jahreszeiten Sommer und Winter sollen speziell für die Auslegung von Klima- und Heizungsanlagen nun auf das Sommer- (April bis September) und das Winterhalbjahr (Oktober bis März) erweitert werden. Der Zeitraum, aus dem die extremen Halbjahre ausgewählt werden, bezieht sich ebenfalls auf die Periode 1988 bis 2007.

Eine Ergänzung der TRY ist hinsichtlich der Berücksichtigung des städtischen Wärmeinseleffektes vorgesehen. Prinzipiell lassen sich hier zwei Lösungswege verfolgen. Ein Lösungsweg besteht in der Anwendung von Modellrechnungen. Der Vorteil hierbei ist, dass ein strukturiertes Abbild der Lufttemperaturverteilung im Stadtgebiet in Abhängigkeit von der Landnutzung (HAMDl & SCHAYES 2008) unter definierten Wetterbedingungen vorliegt. Allerdings müssen von der betreffenden Stadt die Landnutzungsdaten in möglichst hoher Auflösung vorhanden sein und für die Berechnungen digitalisiert werden. Insofern kann dieses Verfahren recht zeitaufwändig sein.

Als pragmatische Lösung bietet sich ein empirisches Verfahren an. Aus einer Vielzahl von Untersuchungen existieren mittlerweile Regressionsbeziehungen, die den städtischen Wärmeinseleffekt mit der Stadtgröße (Einwohnerzahl) sowie mit meteorologischen Einflussgrößen wie Windgeschwindigkeit, Wolkenbedeckungsgrad und topographischen Merkmalen in Verbindung bringen (LANDSBERG 1981, KUTTLER 1993, 1997, WIENERT 2002). Mithilfe dieser Regressionsbeziehungen lassen sich im Rahmen der Testreferenzjahre Zuschläge auf die stündliche Lufttemperatur bezüglich des Ausmaßes des Wärmeinseleffektes abschätzen.

Im Gegensatz zu Modellrechnungen erhält man mit dem empirischen Verfahren keine räumliche Verteilung der urbanen Überwärmung im Stadtgebiet, sondern eine Art „worst case“-Abschätzung des maximalen Wärmeinseleffektes in Abhängigkeit von den Witterungsbedingungen. Über einen längeren Zeitraum (Monate, Halbjahr, Jahr) betrachtet ist aber zu erwarten, dass das Ausmaß der städtischen Überwärmung mit diesem Verfahren deutlich realistischer erfasst wird, als mit festen Temperaturzuschlägen, wie sie in Ermangelung von Korrekturverfahren zur städtischen Überwärmung in den bestehenden TRY derzeit von Fall zu Fall angewandt werden.

Planungen von Gebäuden und technischer Gebäudeausstattung beziehen sich in der Regel auf mehrere Jahrzehnte in die Zukunft. In dieser Zeit müssen die technischen Systeme ihre zugeordneten Funktionen voll erfüllen. Daher besteht Bedarf, nicht nur die aktuellen, sondern auch die zukünftigen über die Lebensdauer der projektierten technischen Systeme zu erwartenden klimatischen Verhältnisse zu berücksichtigen.

Mittlerweile sind mehrere regionale Klimamodelle verfügbar, die es erlauben, Rückschlüsse auf die möglichen Auswirkungen des Klimawandels bis zum Ende dieses Jahrhunderts zu ziehen (BECKER et al. 2008). Hieraus ergibt sich auch die Möglichkeit, Aussagen bezüglich der Veränderung der klimatischen Einflussgrößen, vor allem der Lufttemperatur, die die Auslegung von Klima- und Heizungsanlagen mitbestimmt, zu erarbeiten. Eine entsprechende Bewertung auf Basis der Daten regionaler Klimamodelle ist zunächst für die extremen Winter- und Sommerhalbjahre aus den Testreferenzjahren für die Klimaperiode 2021 bis 2050 vorgesehen.

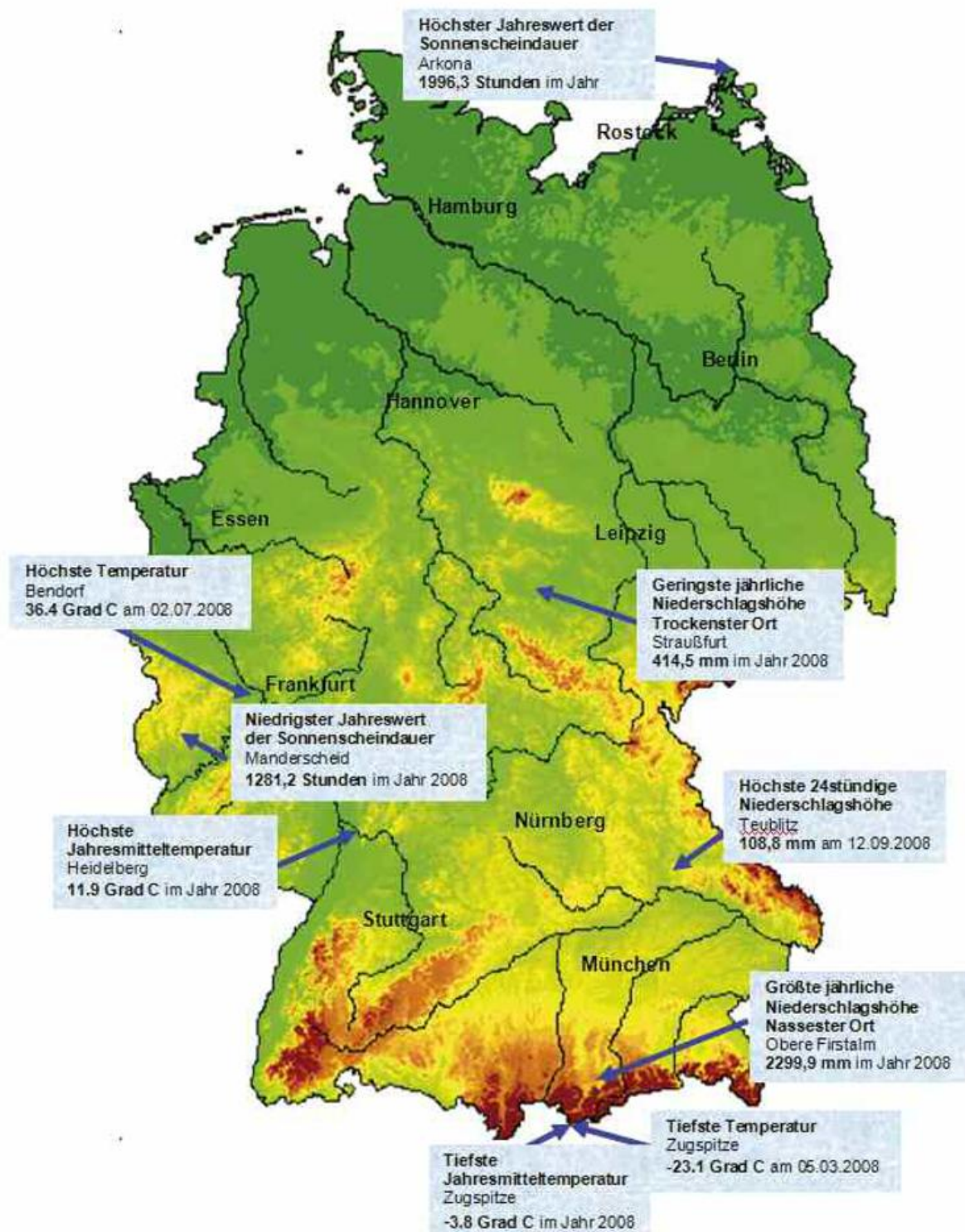
## Schlussbemerkung

Die obigen Ausführungen haben am Beispiel der Testreferenzjahre (TRY) gezeigt, dass repräsentative Klimadaten für die Planung und Entwicklung von den Klimabedingungen abhängiger technischer Systeme von wesentlicher Bedeutung sind. Daneben ist klar geworden, dass entsprechende Klimadatensätze wie die TRY gerade in Zeiten des Klimawandels nicht als statisch angesehen werden können. Die Änderung der Klimaverhältnisse muss sowohl in eine kontinuierliche Aktualisierung als auch in der Nutzung neuer Produkte, wie z.B. der Projektionszeitreihen regionaler Klimamodelle zur Bewertung der zukünftigen Auswirkungen des Klimawandels münden. Letztlich trägt die Entwicklung möglichst klimanaher technischer Systeme dazu bei, den Einsatz von Primärenergie und damit auch von CO<sub>2</sub> zu verringern. Aktuelle und dem Einsatzzweck angepasste Klimadatenätze dienen somit ihrerseits dem Klimaschutz.

## Literatur

- BECKER, P., DEUTSCHLÄNDER, T., KOSSMANN, M., NAMYSLO, J., KNIERIM, A. (2008): Klimaszenarien und Klimafolgen. In: Informationen zur Raumentwicklung, Räumliche Anpassung an den Klimawandel, Hrsg. Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, Heft 6/7, 341 – 351.
- CHRISTOFFER, J., DEUTSCHLÄNDER, T., WEBS, M. (2004): Testreferenzjahre von Deutschland für mittlere und extreme Witterungsverhältnisse TRY, Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes, Offenbach a. Main.
- DIN 4710 (2003): Statistiken meteorologischer Daten zur Berechnung des Energiebedarfs von heiz- und raumluftechnischen Anlagen in Deutschland, Beuth Verlag, Berlin.
- HAMDI, R. & SCHAYES, G. (2008): Sensitivity study of the urban heat island intensity to urban characteristics, Int. J. Climatol. 28, 973 – 982.
- KUTTLER, W. (1993): Stadtklima. In: Stadtökologie, Hrsg. Sukopp, H. und Wittig, R., Gustav Fischer, Stuttgart, 113 – 153.
- KUTTLER, W. (1997): Städtische Klimamodifikation, VDI-Berichte Nr. 1330, 87 – 108.
- LANDSBERG, H.E. (1981): The Urban Climate, Int. Geophys. Ser. Vol. 28, Academic Press, New York.
- MASUCH, J. & HOLLENBACH, K. (2008): Bedeutung der neuen t,x-Korrelationen zur Auslegung von Heizungs- und Klimaanlage mit genau definiertem Risiko, Vortrag zur CCI-VBI-VDI-Veranstaltung, Berlin (persönliche Mitteilung).
- WIENERT, U. (2002): Untersuchungen zur Breiten- und Klimazonenabhängigkeit der urbanen Wärmeinsel – eine statistische Analyse, Essener Ökologische Schriften, Westarp Wissenschaften, Hohenwarsleben.
- WITTERUNGSREPORT EXPRESS (2009): Jahreskurzübersicht 2008, Nr. 13, Jahrgang 10, elektronische Veröffentlichung des Deutschen Wetterdienstes, Offenbach

## 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 Witterung in Deutschland 2008

G. Müller-Westermeier, W. Riecke

### Übersicht

Insgesamt war das Jahr 2008 in Deutschland wieder sehr warm, aber nicht so extrem wie das Vorjahr. Es gab etwa soviel Niederschlag wie in der internationalen klimatologischen Referenzperiode 1961-90, aber mehr Sonnenschein als im langjährigen mittel.

Die **Mitteltemperatur** für Deutschland berechnet aus einem interpolierten 1-km-Raster betrug 9,5 °C. Das sind 1,2 K mehr als im Bezugszeitraum 1961-1990. Damit war das Jahr 2008 das neuntwärmste seit 1901. Nur im September ergaben sich unterdurchschnittliche Temperaturen, während alle übrigen Monate wärmer waren als in der Referenzperiode. Meist waren die Abweichungen jedoch recht gering. Nur im Januar und Februar sowie im Mai und Juni lag die Mitteltemperatur im obersten Quintil ihrer Häufigkeitsverteilung.

Im Bezug auf die **Niederschlagshöhe** hatte das Jahr sehr unterschiedliche Monate. Es gab je 6 Monate mit überdurchschnittlicher und mit unterdurchschnittlicher Niederschlagshöhe, die sich weitgehend ausglich. Das Gebietsmittel der Niederschlagshöhe für das Jahr 2008 ergab sich zu 778,3 mm. Das sind nur 10,7 mm oder 1,4 % weniger als in der Referenzperiode. Das Jahr 2008 war damit das 49.trockenste seit Beginn des 20. Jahrhunderts.

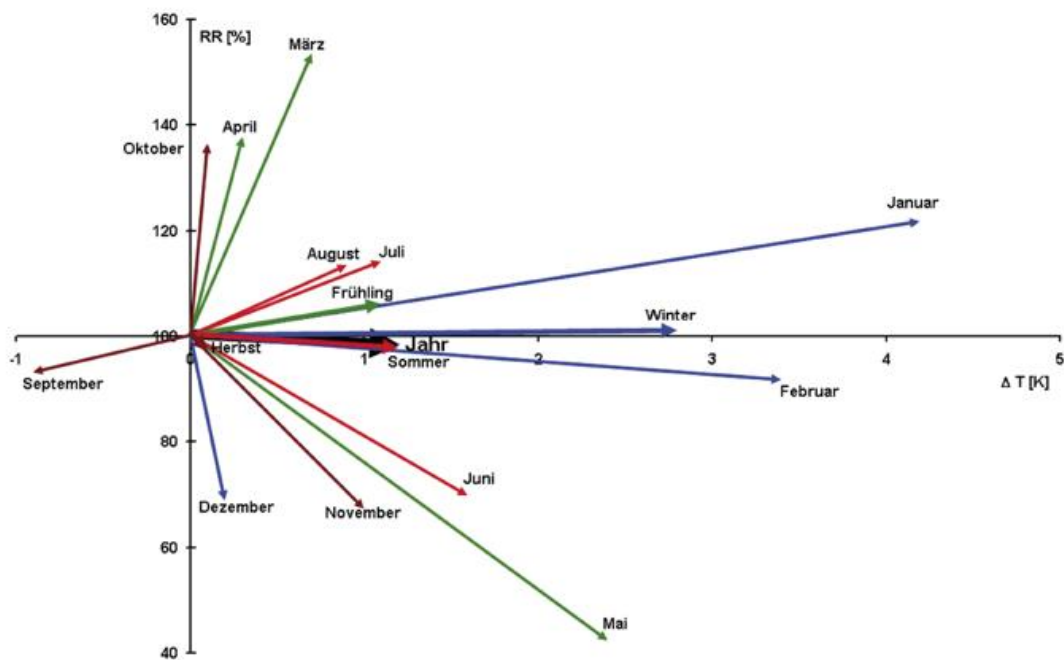


Abb. 1: Thermopluviogramm für Deutschland 2008 (Bezugszeitraum 1961 - 1990)

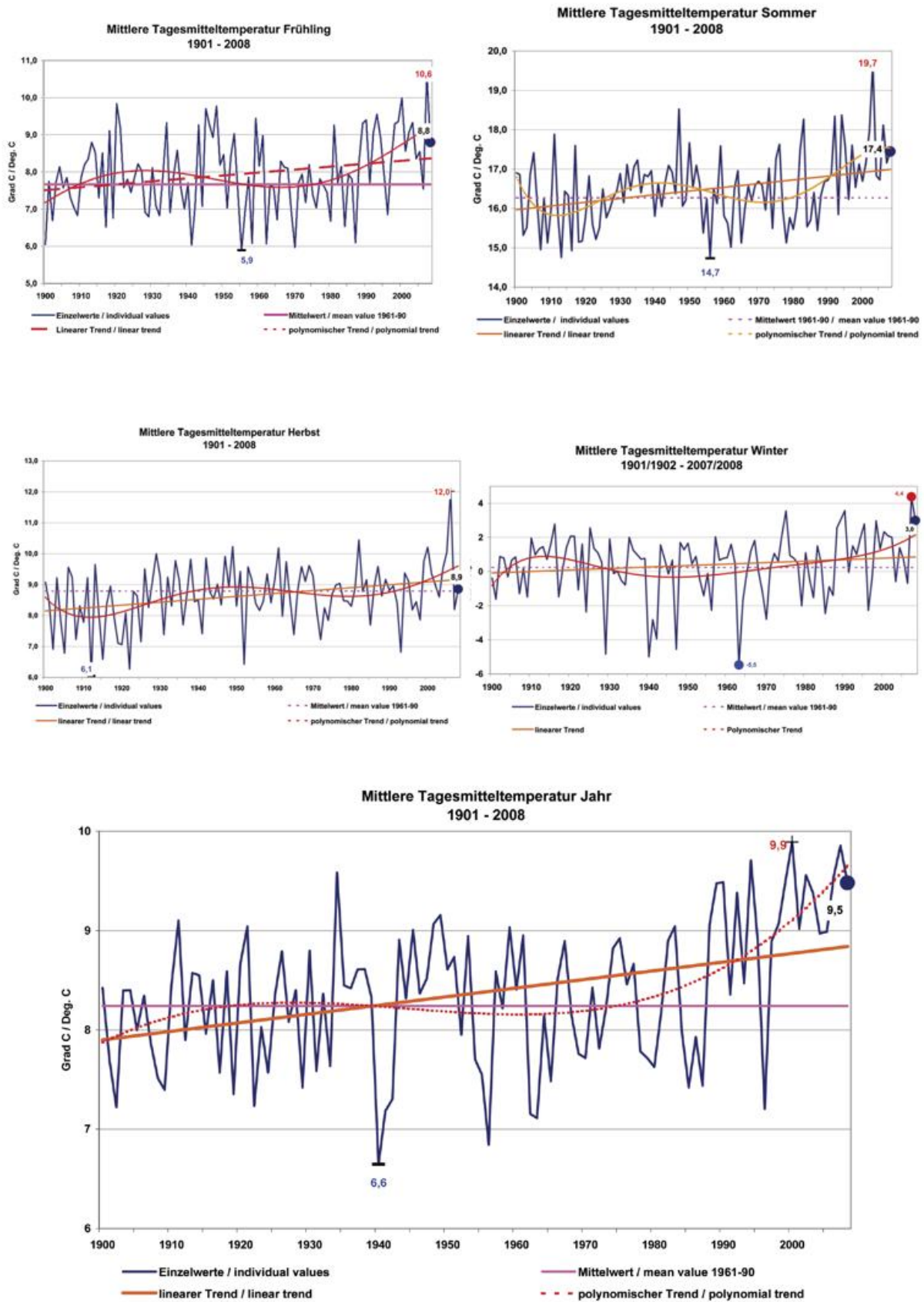


Abb. 2-6: Mittlere Tagestemperatur Deutschland 1901 - 2008

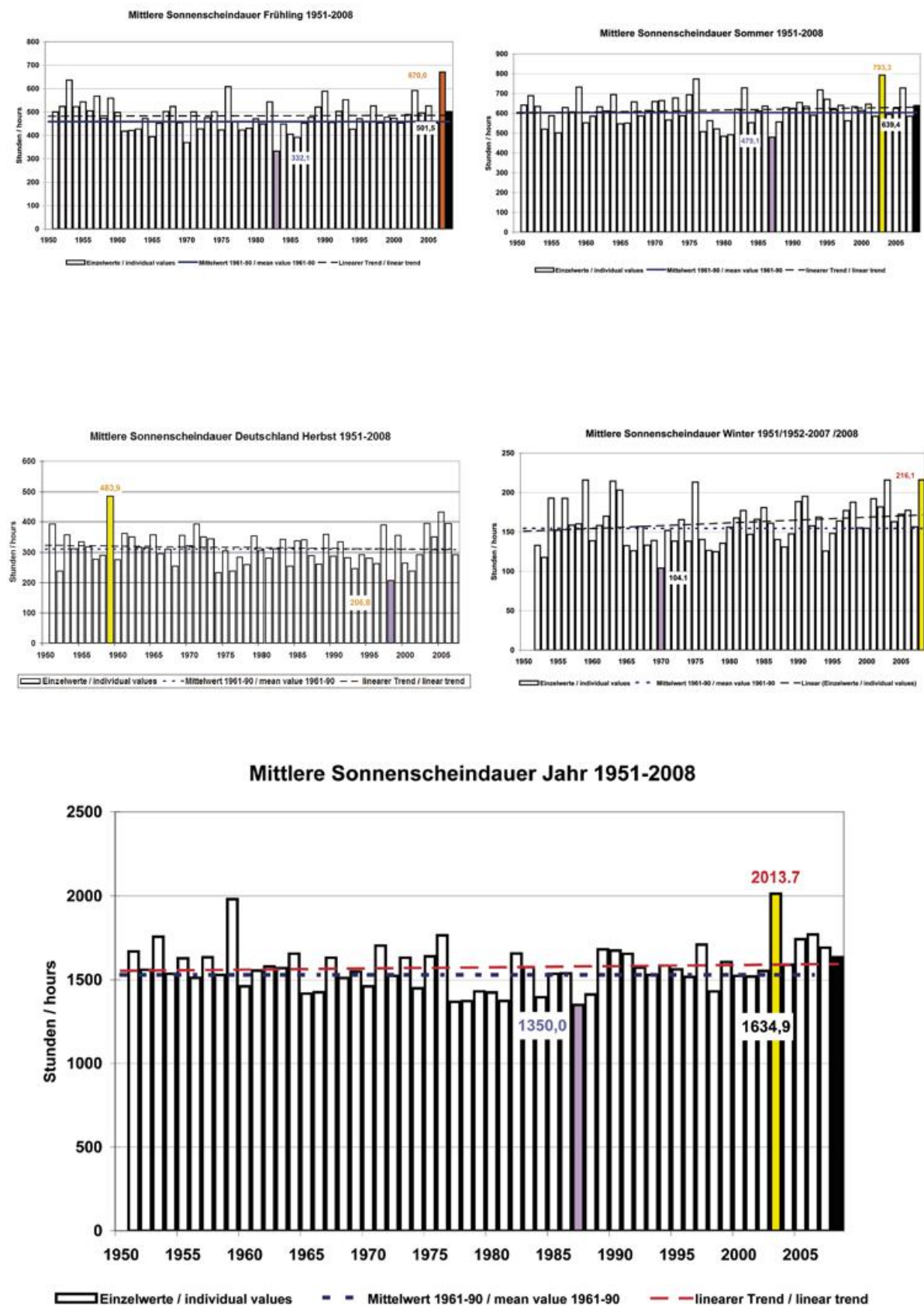


Abb.7-11: Mittlere Sonnenscheindauer Deutschland 1951 - 2008



Abb. 12-16: Mittlere Niederschlagshöhe Deutschland 1901 - 2008

Hinsichtlich der **Sonnenscheindauer** ergaben sich ebenfalls 6 überdurchschnittlich sonnenscheinreiche Monate und 6 Monate mit Sonnenscheidefiziten. Die Sonnenscheinüberschüsse waren aber meist höher als die Defizite. Daher wurde das Jahr insgesamt recht sonnenscheinreich. Als Gebietsmittel für Deutschland ergab sich eine Sonnenscheindauer von 1634,9 Std.. Das sind 106,5 Std. oder 7,0 % mehr als in der Referenzperiode. Damit wurde das Jahr 2008 das 17. sonnigste seit 1951.

Das Deutschland weite Flächenmittel der **Globalstrahlung** betrug im Jahr 2008 1075 kWh/m<sup>2</sup> und lag damit 3,7 % über dem vieljährigen Mittel von 1981 – 2000. Damit gab es im sechsten Jahr hintereinander eine positive Abweichung vom vieljährigen Durchschnitt, der bei 1037 kWh/m<sup>2</sup> liegt.

Auch in 2008 entsprach die Globalstrahlungsverteilung über Deutschland mit ihrem Maximum über Süddeutschland und dem Minimum über dem nördlichen Mittelgebirgsraum den mittleren Verhältnissen. Einer minimalen Einstrahlungssumme von 901 kWh/m<sup>2</sup> im Bereich des östlichen Teutoburger Waldes stand ein süddeutscher Wert von 1200 bis 1220 kWh/m<sup>2</sup> zwischen München und Konstanz entgegen. Eher untypisch wies ebenfalls die Region Freiburg/Hochschwarzwald ein Einstrahlungsminimum auf, während das norddeutsche Küstengebiet ein sekundäres Maximum aufzeigte.

So ergaben sich für diese Gebiete auch die deutlichsten Abweichungen vom vieljährigen Mittel. In Freiburg betragen sie -12 %, in Flensburg +12 %. Während Januar und Februar in Freiburg noch eine positive Einstrahlungsbilanz aufwiesen, war diese bereits am Ende des Folgemonats aufgezehrt. Nachfolgend blieb sie stets unter dem Durchschnitt. Zu dem überdurchschnittlichen Jahresergebnis in Flensburg trugen insbesondere die Monate März bis Juni bei.

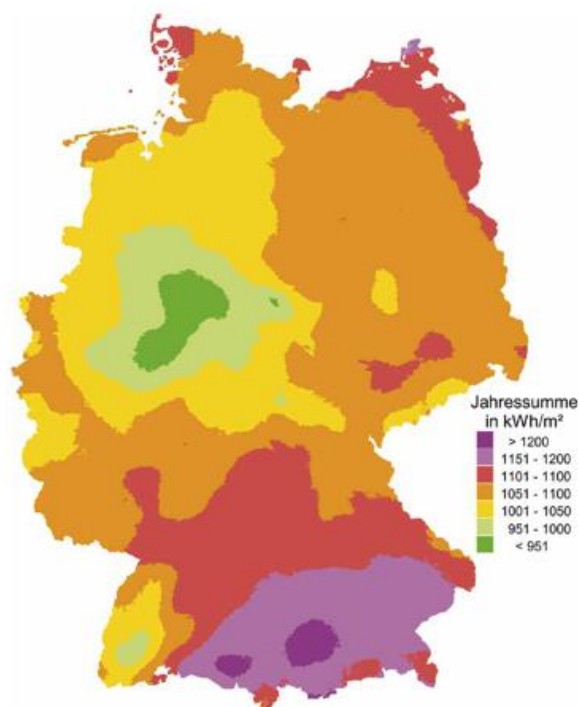


Abb. 17: Globalstrahlungskarte 2008

## Der Verlauf der Witterung

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

Der **Januar** war in ganz Deutschland sehr mild und überwiegend niederschlagsreich, wegen der hohen Temperaturen fiel jedoch kaum Schnee. In Norddeutschland wurde teilweise mehr als das doppelte der normalen Niederschlagsmenge registriert, während im Westen und Süden auch Niederschlagsdefizite auftraten. Die Sonnenscheindauer lag meist über den langjährigen Mittelwerten, insbesondere im Süden. Im Nordwesten gab es aber teilweise auch deutlich zu wenig Sonnenschein.

Auch der **Februar** war überall sehr mild und sonnenscheinreich. Im Gebietsmittel von Deutschland war es der drittsonnigste Februar seit 1951 (hinter 1975 und 2003). Die Niederschläge waren überwiegend gering. Im Osten und Süden fiel teilweise weniger als die Hälfte, örtlich nur ein Viertel der normalen Niederschlagsmenge. In Norddeutschland und in einem Streifen von Trier bis Nürnberg gab es aber auch erhebliche Niederschlagsüberschüsse.

Zusammen mit dem milden und relativ sonnenscheinreichen Dezember des Vorjahrs ergab sich insgesamt ein äußerst milder und extrem sonnenscheinreicher Winter. Im Gebietsmittel von Deutschland war es der sonnigste Winter seit 1951 (vor den Wintern 2002/03 und 1958/59) und 5. mildeste seit 1891. In Bezug auf die Niederschlagsmenge war der Winter 2007/08 durchschnittlich.

Jahr

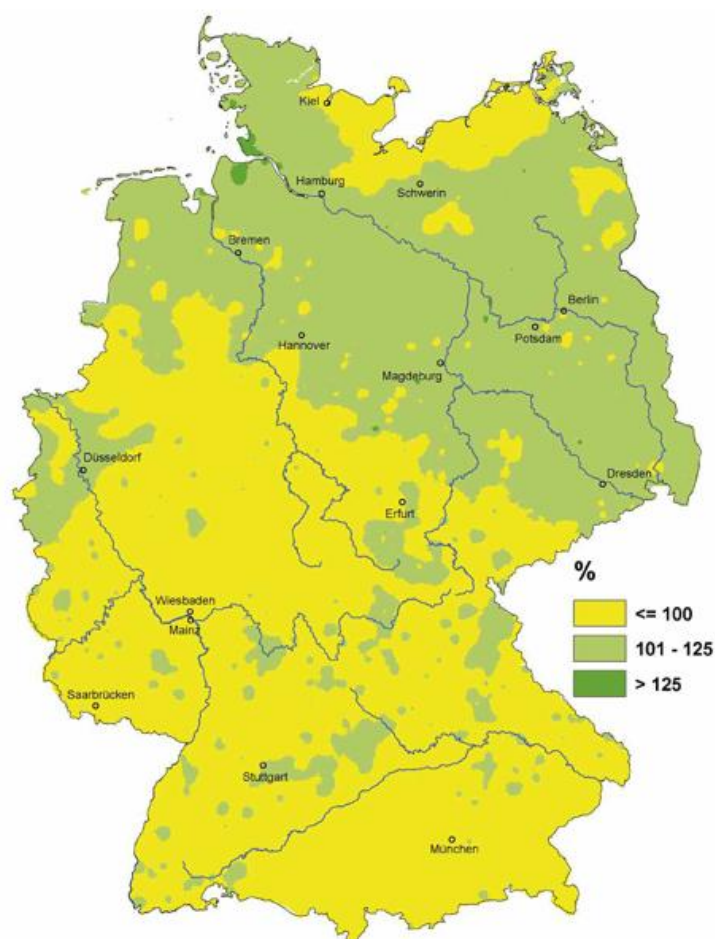
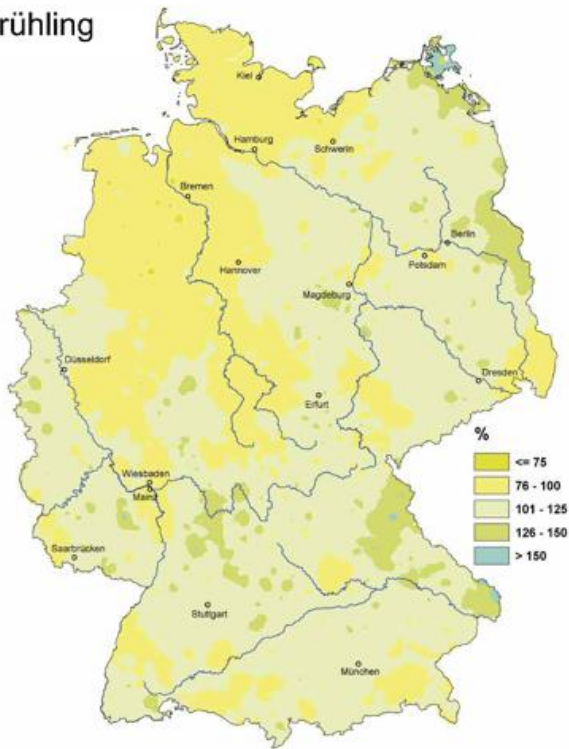
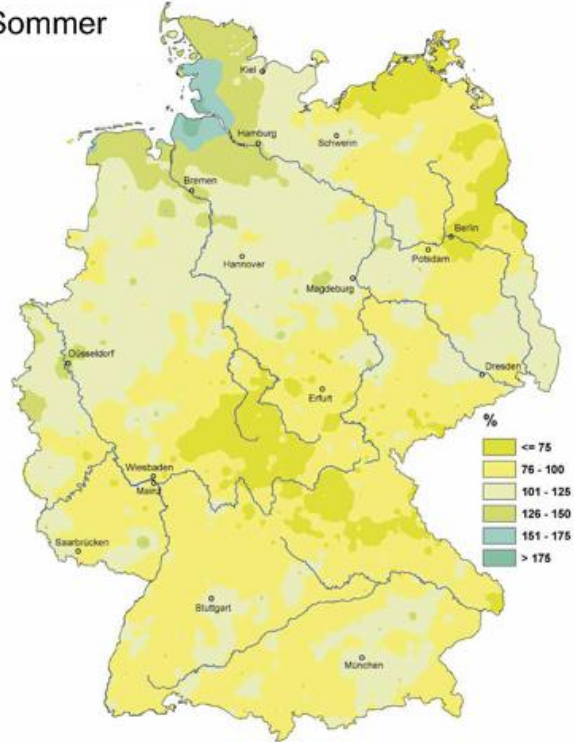


Abb. 18: Niederschlagshöhe 2008 in Prozent des vieljährigen Mittel 1961 - 1990

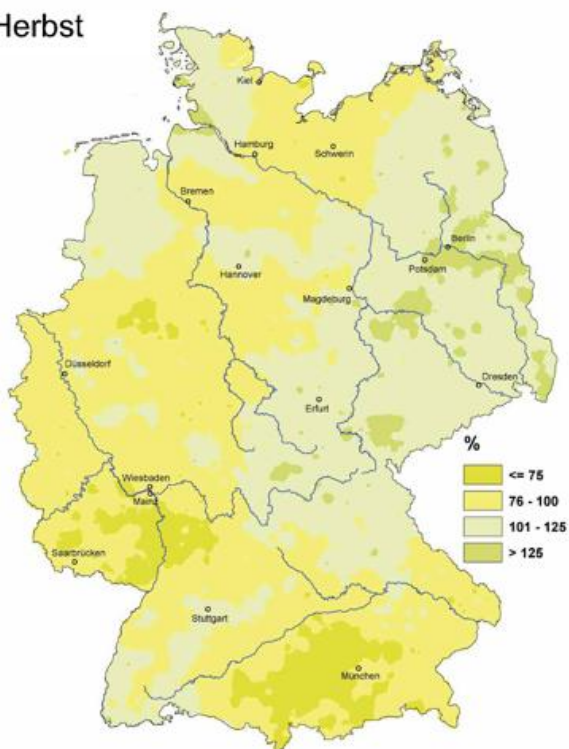
Frühling



Sommer



Herbst



Winter

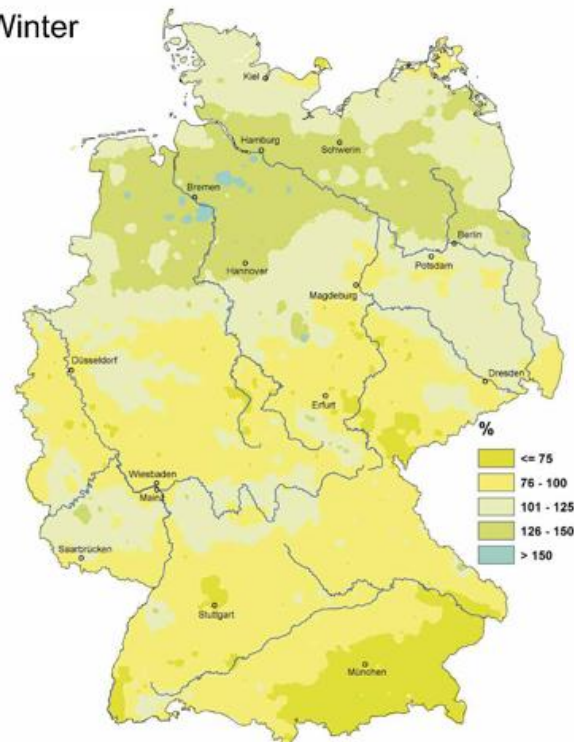


Abb. 18 a-d: Niederschlagshöhe der Jahreszeiten in Prozent des vieljährigen Mittel 1961 - 1990

Jahr

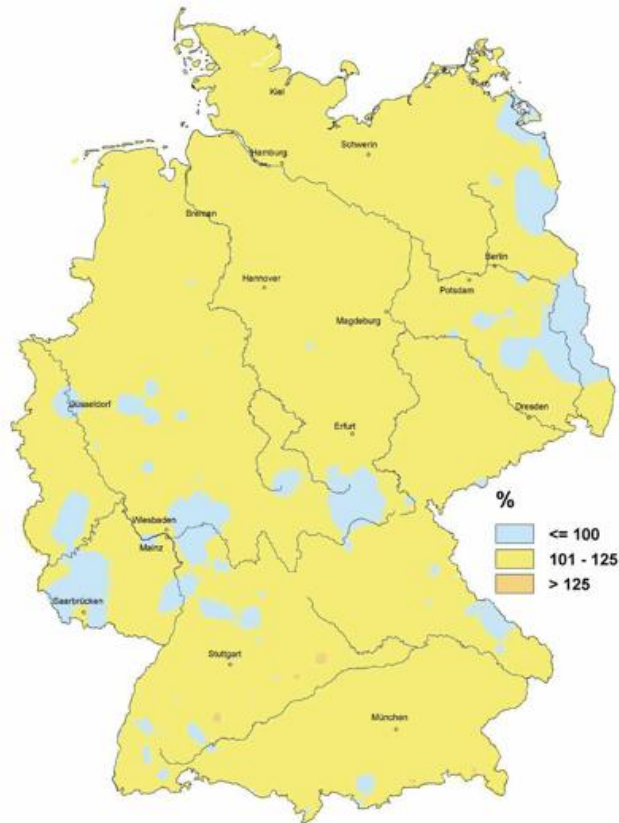
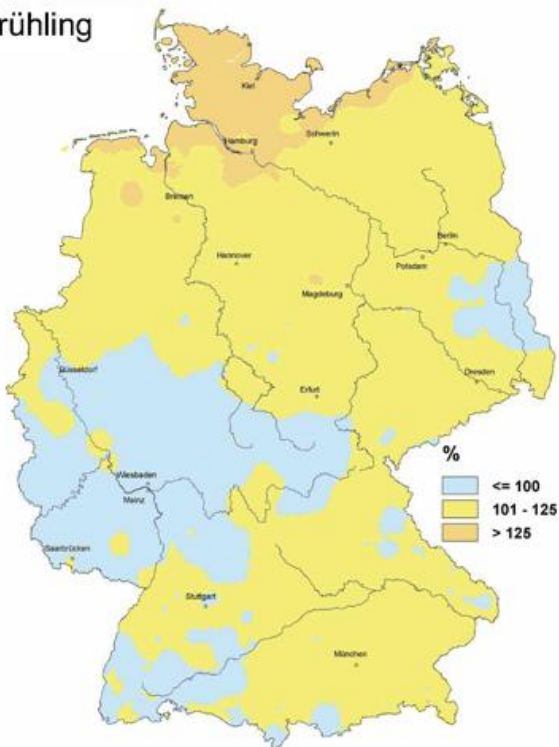


Abb. 19: Sonnenscheindauer 2008 in Prozent des vieljährigen Mittel 1961 - 1990

Frühling



Sommer

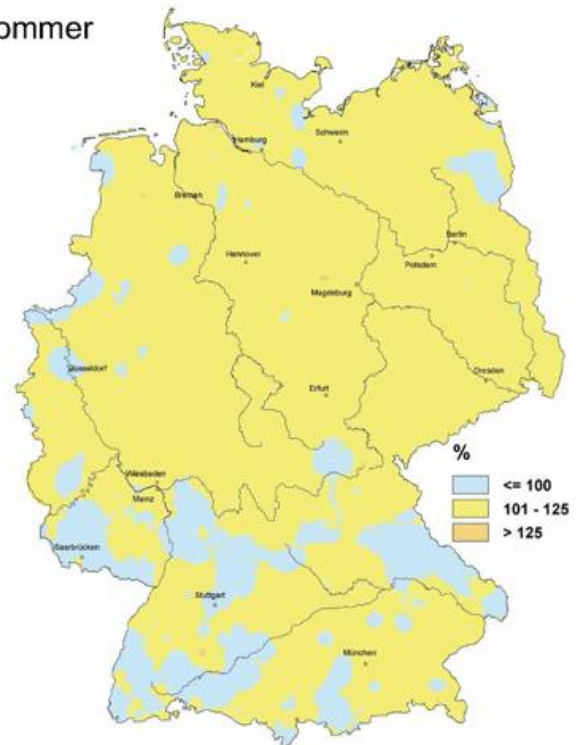
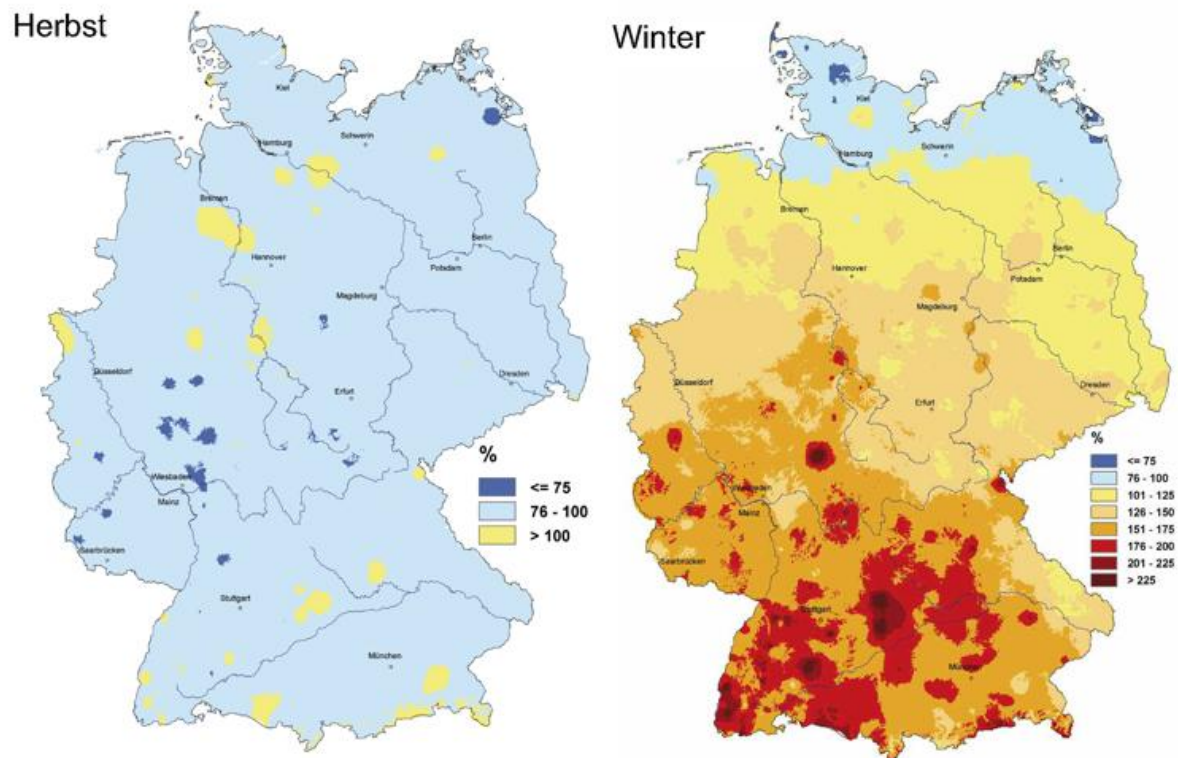


Abb. 19a-b: Sonnenscheindauer der Jahreszeiten in Prozent des vieljährigen Mittel 1961 - 1990



**Abb. 19c-d:** Sonnenscheindauer der Jahreszeiten in Prozent des vieljährigen Mittel 1961 - 1990

Während in den ersten beiden Monaten viele Hochdruckgebiete auftraten, dominierten im **März** die Tiefdruckgebiete. Die Mitteltemperatur lag außer an den Küsten nur noch wenig über dem langjährigen Mittel, es gab fast überall mehr Niederschlag als in der Referenzperiode 1961-90, und die Sonne ließ sich meist nur relativ selten blicken. Eine markante Kälteperiode gegen Monatsende brachte für zahlreiche Stationen die kältesten Osterfeiertage seit Beginn der Messungen.

Der **April** war ganz im Gegensatz zum Vorjahr außer im Nordwesten niederschlagsreich sowie sonnenscheinarm, und die Durchschnittstemperatur lag im Gebietsmittel nur wenig über dem Referenzwert.

Der **Mai** war sehr warm, trocken und sonnenscheinreich. Im Gebietsmittel von Deutschland war es der drittsonnigste Mai seit 1901 (hinter 1919 und 1992). Beim Niederschlag belegte der Monat Platz 4 unter den besonders trockenen Maimonaten und bei der Temperatur immerhin Platz 7.

Da alle drei Frühjahrsmonate wärmer als im langjährigen Mittel waren, wurde auch der Frühling insgesamt wieder zu warm. Die Abweichung war aber bei weitem nicht so extrem wie im Vorjahr. Bei Sonnenschein und Niederschlag glichen sich die unterschiedlichen Frühjahrsmonate weitgehend aus.

Auch der **Juni** war warm und abgesehen vom Südwesten sonnenscheinreich. Im größten Teil Deutschlands war der Monat recht trocken. Es gab aber auch schwere

Jahr

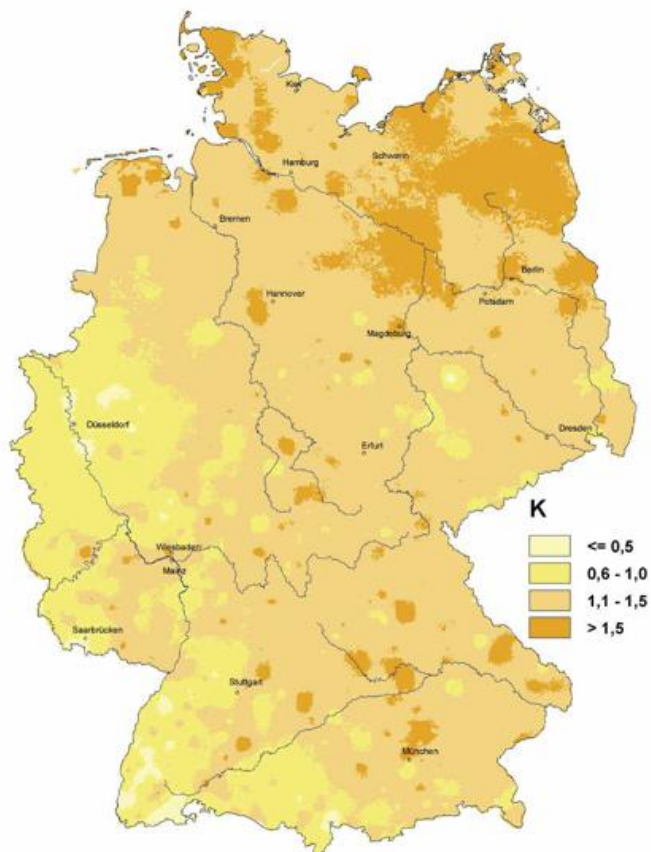
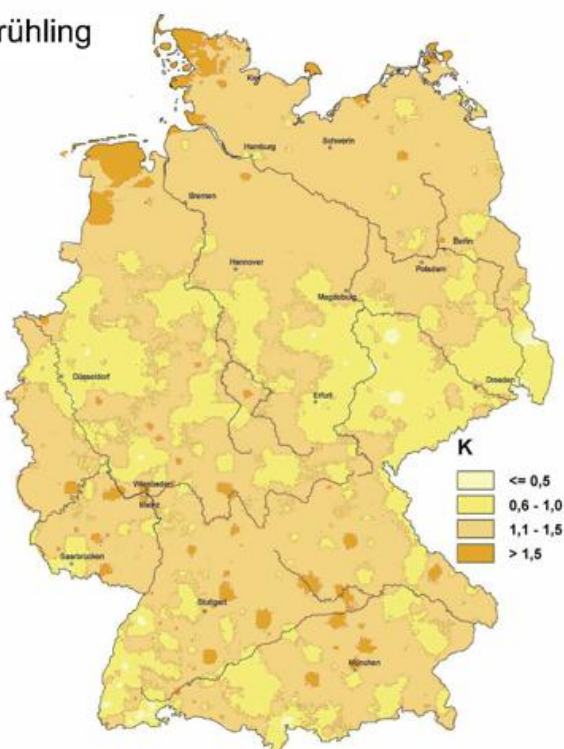


Abb. 20: Temperaturabweichung 2008 vom vieljährigen Mittel 1961 - 1990

Frühling



Sommer

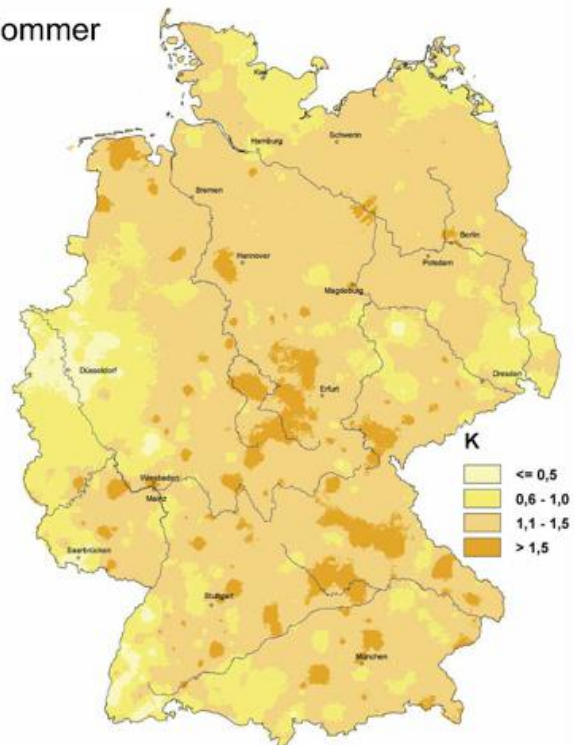
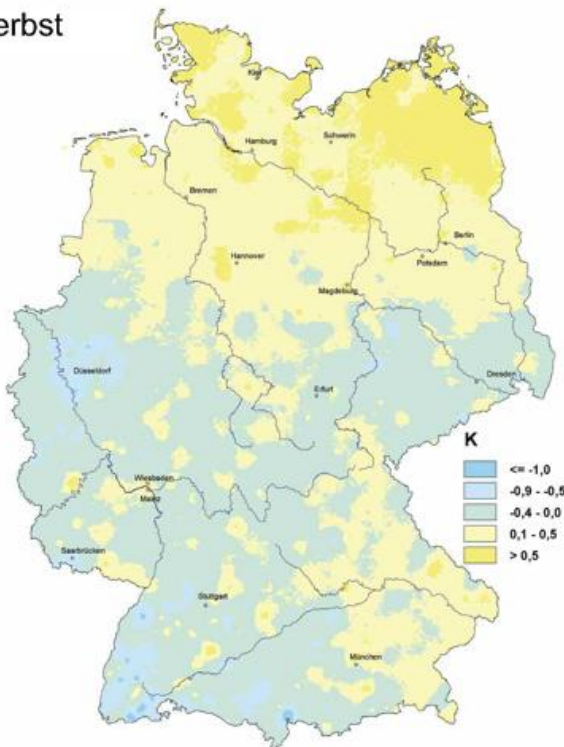


Abb. 20a-b: Temperaturabweichung der Jahreszeiten vom vieljährigen Mittel 1961 - 1990

Herbst



Winter

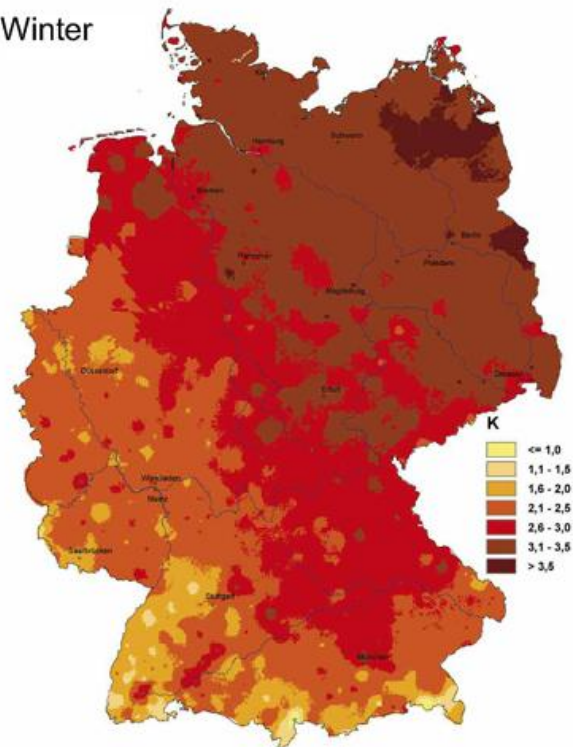


Abb. 20c-d: Temperaturabweichung der Jahreszeiten vom vieljährigen Mittel 1961 - 1990

Gewitter mit Starkregen. Dies führte lokal zu Überschwemmungen, die mehrere Todesopfer forderten und große Sachschäden verursachten.

Der **Juli** war ebenfalls wärmer als im langjährigen Mittel. Die Niederschläge lagen im Gebietsmittel etwas über den Bezugswerten. Dabei gab es aber große regionale Unterschiede. Während im Nordwesten und Westen bis über das Doppelte der normalen Regenmenge fiel, wurde an der Ostsee, in Rheinland-Pfalz, Hessen und Nordbayern teilweise nicht einmal die Hälfte des langjährigen Mittels registriert. Die Sonnenscheindauer lag im Norden etwas über dem Referenzwert, während im Westen und Süden sowie im südlichen Ostdeutschland die Normalwerte meist nicht ganz erreicht wurden.

Im **August** war der Witterungscharakter ähnlich wie im Vormonat mit leicht überdurchschnittlichen Werten bei Temperatur und Niederschlag. Erneut traten große Niederschlagsüberschüsse im Nordwesten auf, während es im Mittelgebirgsraum recht trocken war. Abgesehen von Süddeutschland gab es relativ wenig Sonnenschein.

Da auch in dieser Jahreszeit wieder alle Monate wärmer als im langjährigen Mittel waren, wurde der Sommer insgesamt ebenfalls warm, während sich bei der Niederschlagsmenge und der Sonnenscheindauer die monatlichen Überschüsse und Defizite weitgehend ausglich.

Im **September** lag zum ersten Mal seit November 2007 die Durchschnittstemperatur im Gebietsmittel von Deutschland wieder unter dem Wert der Referenzperiode 1961-90. Nur an den Küsten wurden die Bezugswerte erneut überschritten. Die Niederschlagsmenge lag überwiegend unter den Referenzwerten. Dabei traten aber erneut große regionale Unterschiede auf. Während in Norddeutschland, in Südbayern und im Rhein-Neckar-Raum oft weniger als die Hälfte der normalen Regenmenge fiel, gab es in Ostdeutschland und Nordbayern teilweise beträchtliche Niederschlagsüberschüsse.

Im **Oktober** lag die Durchschnittstemperatur im Gebietsmittel schon wieder etwas über dem Wert der Referenzperiode 1961-90. Dabei gab es recht viel Niederschlag, wobei aber erneut große räumliche Unterschiede auftraten. Diesmal waren die Überschüsse an der Nordsee, im Osten und in den Niederungen Baden-Württembergs besonders groß. Dort fiel örtlich mehr als das Doppelte der normalen Regenmenge. Im nordwestlichen Binnenland, westlich des Rheins und in Südbayern wurden die Normalwerte hingegen teilweise nicht erreicht. Es gab meist weniger Sonnenschein als im langjährigen Mittel. Nur in Ost- und Süddeutschland zeigten sich auch leichte Sonnenscheinüberschüsse.

Auch der **November** war mild, aber trocken. In Baden-Württemberg, Rheinland-Pfalz, Südhessen und Nordbayern blieben die Relativwerte des Niederschlags teilweise unter 30 %. Dabei gab es recht wenig Sonnenschein. In der norddeutschen Tiefebene und in den nördlichen Mittelgebirgen wurde oft nicht einmal die Hälfte der normalen Sonnenscheindauer registriert. Nur im Erzgebirge und in Süddeutschland gab es Sonnenscheinüberschüsse.

Die Mitteltemperatur im klimatischen Herbst (September, Oktober, November) lag trotz des kühlen Septembers knapp über den Bezugswert der Periode 1961-90. Hinsichtlich Niederschlag und Sonnenschein blieb die Jahreszeit etwas unter dem langjährigen Mittel.

Im **Dezember** entsprach die Mitteltemperatur weitgehend dem Wert des Bezugszeitraums. Auch dieser Monat war wieder recht trocken, wobei sich vor allem im Nordwesten sehr große Niederschlagsdefizite ergaben. Für einzelne Stationen in dieser Region war es der trockenste Dezember seit Beginn der Messungen. Die Sonnenscheindauer lag meist über dem langjährigen Mittel. Nur im Norden und Osten sowie im Südwesten wurden die Bezugswerte teilweise nicht erreicht.

### *Die Verteilung der Wetterlagen*

Im Folgenden wird die Häufigkeit der 2008 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 Z<sub>950</sub> Z<sub>500</sub> f mit:**

<b>aa</b>	<b>=:</b>	<b>Anströmrichtung:</b>	<b>XX = keine vorherrschende Richtung, NO = Nordost, SO = Südost, SW = Südwest, NW = Nordwest;</b>
<b>Z<sub>950</sub> Z<sub>500</sub></b>	<b>=:</b>	<b>Zyklonalität in 950 bzw. 500 hPa:</b>	<b>Z = zyklonal, A = antizyklonal;</b>
<b>f</b>	<b>=:</b>	<b>Feuchte</b>	<b>F = feucht, T = trocken.</b>

**Beispiel:**

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

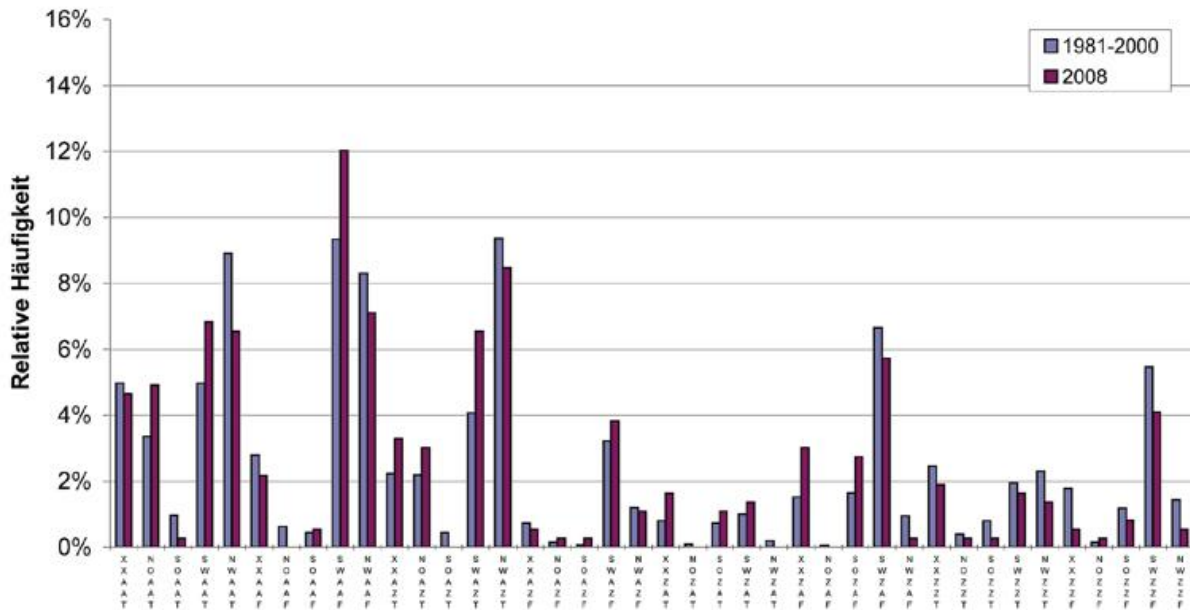
#### *Häufigkeit der Wetterlagenklassen 2008*

Folgende Wetterlagen sind im Jahr 2008 aufgetreten (in der Reihenfolge ihrer Häufigkeit):

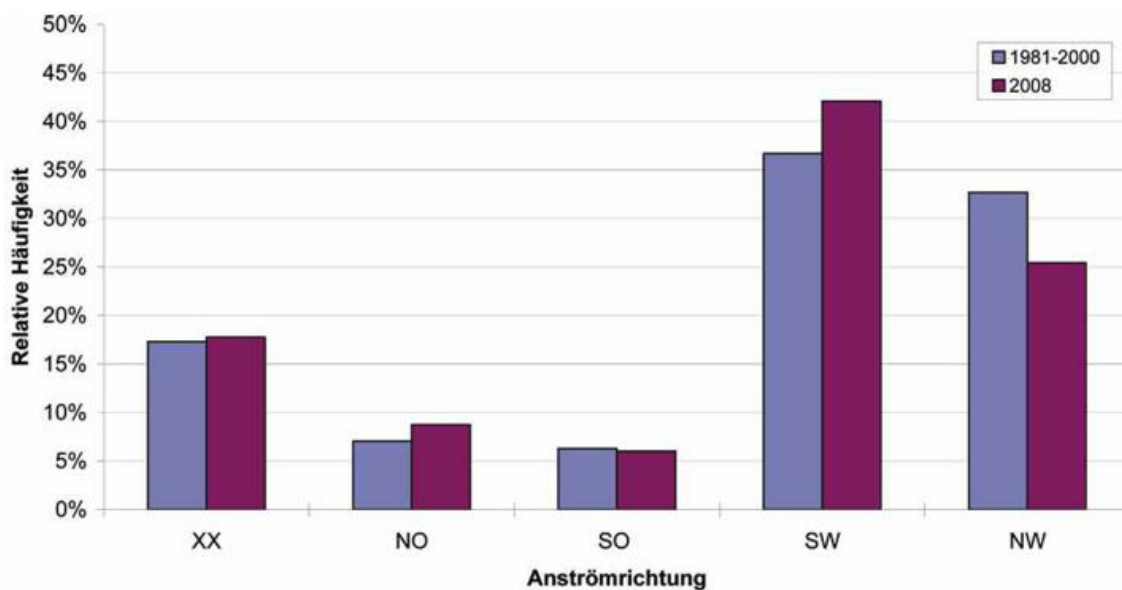
Rang	Wetterlage	Anzahl	in %	Rang	Wetterlage	Anzahl	in %
1	SWAAF	44	12.02	19	SWZZT	6	1.64
2	NWAZT	31	8.47	20	SWZAT	5	1.37
3	NWAAF	26	7.10	21	NWZZT	5	1.37
4	SWAAT	25	6.83	22	NWAZF	4	1.09
5	NWAAT	24	6.56	23	SOZAT	4	1.09
6	SWAZT	24	6.56	24	SOZZF	3	0.82
7	SWZAF	21	5.74	25	SOAAF	2	0.55
8	NOAAT	18	4.92	26	XXAZF	2	0.55
9	XXAAT	17	4.64	27	XXZZF	2	0.55
10	SWZZF	15	4.10	28	NWZZF	2	0.55
11	SWAZF	14	3.83	29	SOAAT	1	0.27
12	XXAZT	12	3.28	30	NOAZF	1	0.27
13	NOAZT	11	3.01	31	SOAZF	1	0.27
14	XXZAF	11	3.01	32	NWZAF	1	0.27
15	SOZAF	10	2.73	33	NOZZT	1	0.27
16	XXAAF	8	2.19	34	SOZZT	1	0.27
17	XXZZT	7	1.91	35	NOZZF	1	0.27
18	XXZAT	6	1.64				

Die Wetterlagenklassen SOAZT, NOZAT, NWZAT, NOZAF und NOAAF sind im Jahr 2008 nicht vorgekommen.

Besonders häufig trat in diesem Jahr die hochreichend antizyklonale, feuchte Südwestlage SWAAF auf. Auch die Südwestlage SWAZT und die antizyklonale Nordostlage NOAAT waren häufiger vertreten als im langjährigen Mittel. Demgegenüber wurde die hochreichend antizyklonale, trockene Nordwestlage NWAAT deutlich weniger häufig beobachtet als im Mittel. Die 7 Lagen, SWAAF, NWAAT, SWAZT, NWAAT, SWAAT, NWAAT, SWAZT und SWAZF stellten zusammen 53 % aller Lagen dar.



**Abb. 23:** Relative Häufigkeitsverteilung der objektiven Wetterlagenklassen 2008 im Vergleich zum 20jährigen Zeitraum 1981-2000.



**Abb. 24:** Relative Häufigkeitsverteilung der Anströmrichtungen der objektiven Wetterlagenklassifikation 2008 im Vergleich zum 20jährigen Zeitraum 1981-2000.

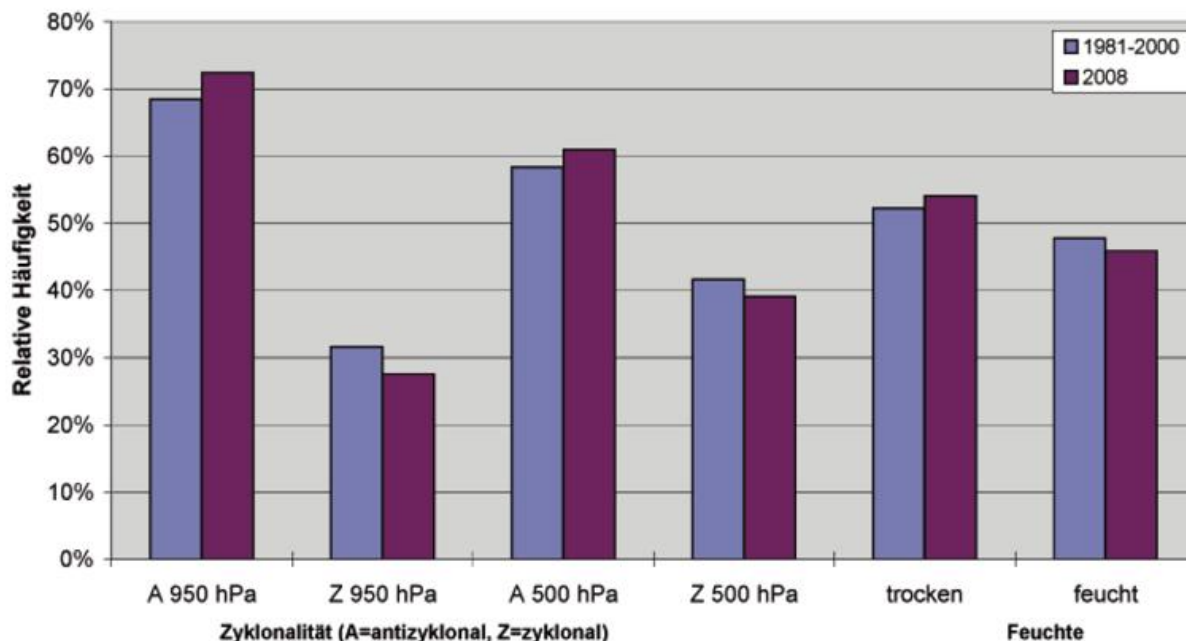


Abb. 25: Relative Häufigkeitsverteilung der Zyklonalitäts- und Feuchteklassen der objektiven Wetterlagenklassifikation 2008 im Vergleich zum 20jährigen Zeitraum 1981-2000.

### Häufigkeit von Wetterlagengruppen 2008

Bei den Häufigkeiten der Wetterlagengruppen (Abb. 23 und 24) ist festzustellen, dass die Nordwestlagen zugunsten der Südwestlagen schwächer vertreten waren als im Referenzzeitraum 1981-2000. Die Häufigkeit der Lagen mit Ostkomponente sowie der Lagen ohne eindeutig vorherrschende Windrichtung entsprach weitgehend dem langjährigen Mittel.

In 950 hPa und in 500 hPa waren die antizyklonalen Lagen etwas häufiger als im langjährigen Mittel. Die feuchten Lagen traten etwas seltener auf als im Bezugszeitraum.

Tab. 1: 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 2008. Zum Vergleich die Deutschlandflächenmittel-Anomalien der Monatsmitteltemperatur (positive Zahlen: warm, negative: kalt) und die monatlichen Niederschlagssummen (in %) als Prozentsatz des Klimamittels 1961-1990.

WLK/Monat	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
XX	1	3	4	11	14	4	4	4	6	2	5	7	65
NO	1	6	0	3	5	1	2	0	11	0	0	3	32
SO	0	0	0	1	3	5	3	0	0	0	3	7	22
SW	18	9	13	13	6	14	15	20	11	19	11	5	154
NW	11	11	14	2	3	6	7	7	2	10	11	9	93
A 950 hPa	22	25	25	18	18	23	22	27	28	24	17	16	265
Z 950 hPa	9	4	6	12	13	7	9	4	2	7	13	15	101
A 500 hPa	20	24	12	13	26	22	18	19	16	21	14	18	223
Z 500 hPa	11	5	19	17	5	8	13	12	14	10	16	13	143
trocken	10	17	17	19	19	13	13	11	20	20	15	24	198
feucht	21	12	14	11	12	17	18	20	10	11	15	7	168
Temperatur	4.1	3.3	0.7	0.3	2.4	1.6	1.1	0.9	-0.9	0.1	1.0	0.2	1.2
Niederschlag	119	90	148	133	40	70	111	113	92	135	63	66	96

## Jahresverlauf der Wetterlagen und Zusammenhang mit Temperatur/Niederschlag

### - Anströmrichtung

Südwestlagen traten im Januar, August und Oktober recht häufig auf, während sie im Mai und Dezember selten waren. Nordwestlagen waren von Januar bis März sowie wieder ab Oktober relativ häufig, während sie im Sommerhalbjahr, insbesondere im April, Mai und September nur wenig auftraten. Die Häufigkeit der Lagen mit Ostkomponente war im Mai, September und Dezember relativ hoch, während sie im März, August und Oktober gar nicht auftraten. Lagen mit uneinheitlicher Anströmrichtung waren im April und Mai ungewöhnlich häufig.

### - Zyklonalität

In 950 hPa waren antizyklonale Lagen in allen Monaten häufiger als die zyklonalen Lagen. Besonders deutlich dominierten sie im Februar und März sowie im August und September. In 500 hPa waren die antizyklonalen Lagen in 9 Monaten vorherrschend, insbesondere im Februar, im sehr trockenen und warmen Mai sowie im Juni. Zyklonale Lagen dominierten in den niederschlagsreichen Monaten März und April, hatten aber auch im trockenen November eine Mehrheit.

### - Feuchte

Von Februar bis Mai, im September und Oktober sowie im Dezember herrschten trockene Lagen vor, während im Januar sowie von Juni 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 hatten von den 7 Monaten mit überwiegend trockenen Luftmassen 3 Monate mehr Niederschlag als im langjährigen Mittel, und sie enthielten den einzigen Monat mit unterdurchschnittlicher Mitteltemperatur sowie die 4 Monate mit den geringsten positiven Temperaturabweichungen.

### - Temperatur und Niederschlag

Das Jahr 2008 war in Deutschland im Mittel 1,2 K wärmer als in der internationalen klimatologischen Referenzperiode 1961-90. Nur im September lag die Mitteltemperatur unter den Bezugswerten. Je 6 Monate waren niederschlagsreicher und 6 Monate trockener als in der Referenzperiode. Insgesamt wurde das Jahr geringfügig trockener als in der Referenzperiode.

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 1980-2008

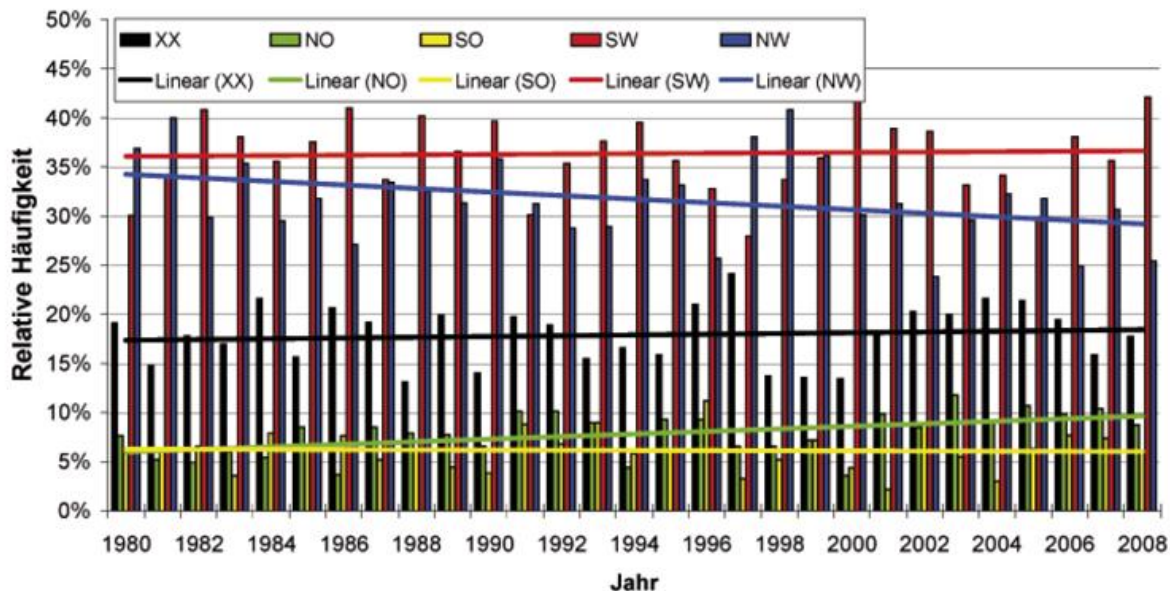
Bei der Anströmrichtung (Abb. 26) wurden die Trends zu einer Abnahme der Nordwestlagen und zu einer langfristigen Zunahme der Nordostlagen gestärkt.

Bei den Feuchteklassen (Abb. 27) ist die langfristige Zunahme der feuchten Lagen weiterhin vorhanden, wurde aber nicht bestätigt.

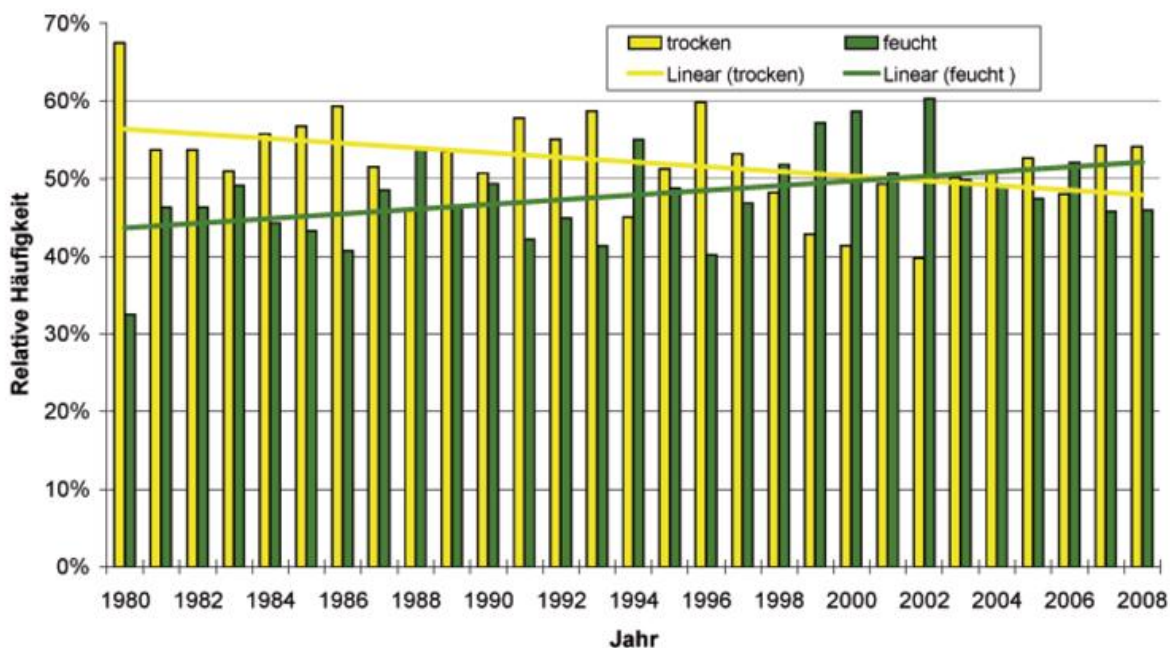
Bei der Zyklonalität (Abb. 28 und 29) ist weiterhin nur in 500 hPa ein schwacher Trend zu einer Zunahme antizyklonaler Lagen erkennbar, während in 950 hPa keine langfristigen Tendenzen feststellbar sind.

Weitere Details zur objektiven Wetterlagenklassifikation können dem Internet entnommen werden:

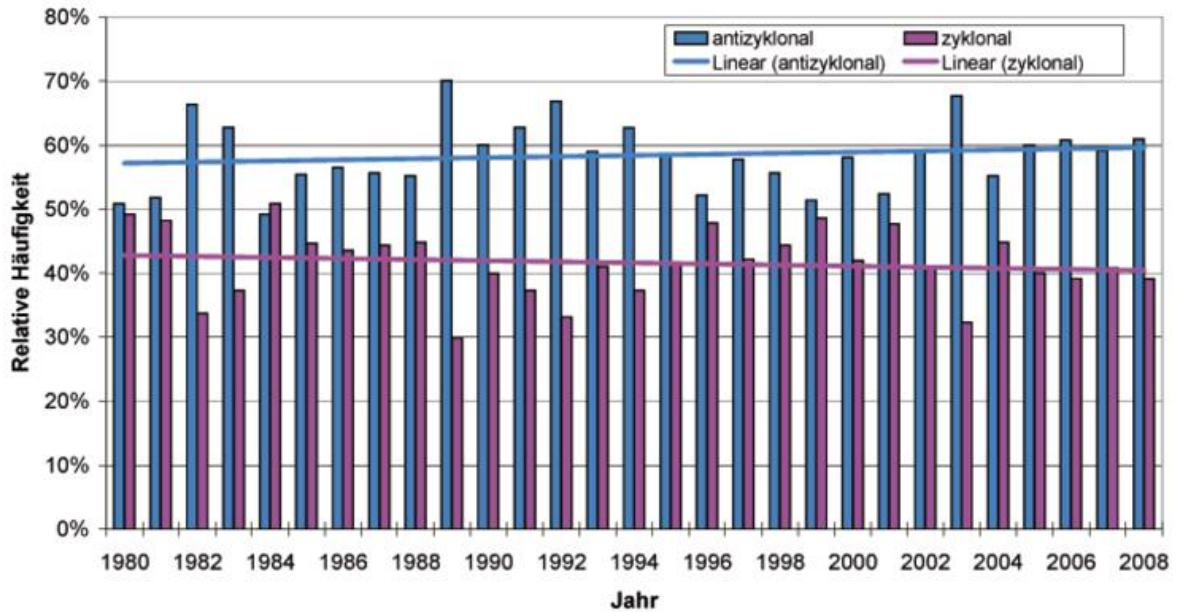
<http://www.dwd.de/de/FundE/Klima/KLIS/prod/monitoring/wlk/wlk.htm>



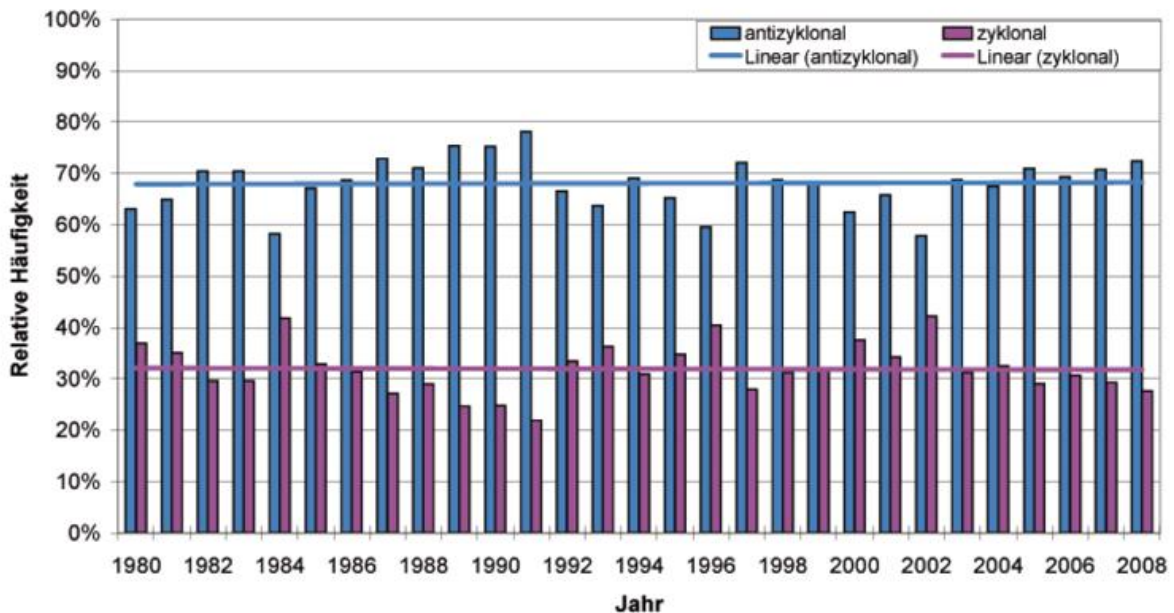
**Abb. 26:** Langzeittrends der Häufigkeit der Anströmrichtungen der objektiven Wetterlagenklassifikation 1980-2008.



**Abb. 27:** Langzeittrends der Häufigkeit der Feuchteklassen der objektiven Wetterlagenklassifikation 1980-2008.



**Abb. 28:** Langzeittrends der Häufigkeit der Zyklonalität in 500 hPa der objektiven Wetterlagenklassifikation 1980-2008.



**Abb. 29:** Langzeittrends der Häufigkeit der Zyklonalität in 950 hPa der objektiven Wetterlagenklassifikation 1980-2008.

## Das Klima in den deutschen Küstengebieten 2008

### C. Lefebvre

Im Küstenraum bewegten sich die Jahresmitteltemperaturen zwischen 9,5 °C und 10,6 °C. Sie lagen damit um rund 1,5 K über den Mittelwerten des Bezugszeitraums 1961-1990. Damit war das Jahr 2008 im deutschen Küstenraum so warm wie das Jahr 2006, während 2007 noch um 0,5 K wärmer war.

Wie in den Vorjahren begann das Jahr sehr mild und wenig winterlich. Die Monatsmitteltemperaturen von Januar und Februar lagen um 3-5 K über den Mittelwerten des Bezugszeitraums 1961-1990. Nur zwischen dem 3. und 5. Januar gab es Dauerfrost. Sonst lagen die Höchsttemperaturen in beiden Monaten meist zwischen 5 und 10 °C. Der März hatte zwei winterliche Phasen und brachte mehr Schnee als die beiden Wintermonate. Trotzdem fiel er um 3-4 K zu mild aus. In den folgenden Monaten lagen die Mitteltemperaturen überwiegend um 1-2 K über dem Durchschnitt. Im Mai geriet – etwa eine Woche nach den Eisheiligen – eingeflossene Polarluft unter Hochdruckeinfluss, so dass in den klaren und windschwachen Nächten selbst in Küsternähe noch regional Frost in Bodennähe auftrat. Im Juni machte sich dann vom 11. bis 16. die sog. Schafskälte bemerkbar, als nach sommerlicher Witterung mit nordwestlichen bis nördlichen Winden Kaltluft polaren Ursprungs in den Küstenraum geführt wurde. Im 2. Halbjahr bewegten sich die Monatsmitteltemperaturen dann meist nur noch im Bereich der Referenzwerte oder um bis zu 1 K darüber (vgl. Abb. 1). Das Jahr endete mit einer winterlichen Hochdrucklage und Dauerfrost.

Die zu milde Witterung in der kalten Jahreszeit schlug sich in einem deutlichen Unterschreiten der mittleren Anzahl der Frost- und Eistage nieder. Die geringste Anzahl an Frosttagen wurde mit 9 Tagen auf Helgoland verzeichnet. Im Mittel 1961-1990 waren es dagegen 36. An den übrigen Nordseeküsten und an der westlichen Ostsee wurden zwischen 17 und 34 Frosttage verzeichnet, östlich von Rügen bis zu 61 (Kleines Haff). Damit wurden die Mittelwerte an der Nordsee vielfach um 30-40, an der westlichen Ostsee um 40-50 Tage, östlich von Rügen um 20-30 Tage verfehlt. Eistage gab es nur im Januar und Ende Dezember. Ihre Anzahl verfehlte mit 2 bis 4 die Durchschnittswerte von 10-20 an der Nordsee und 20-30 an der Ostsee ebenfalls deutlich.

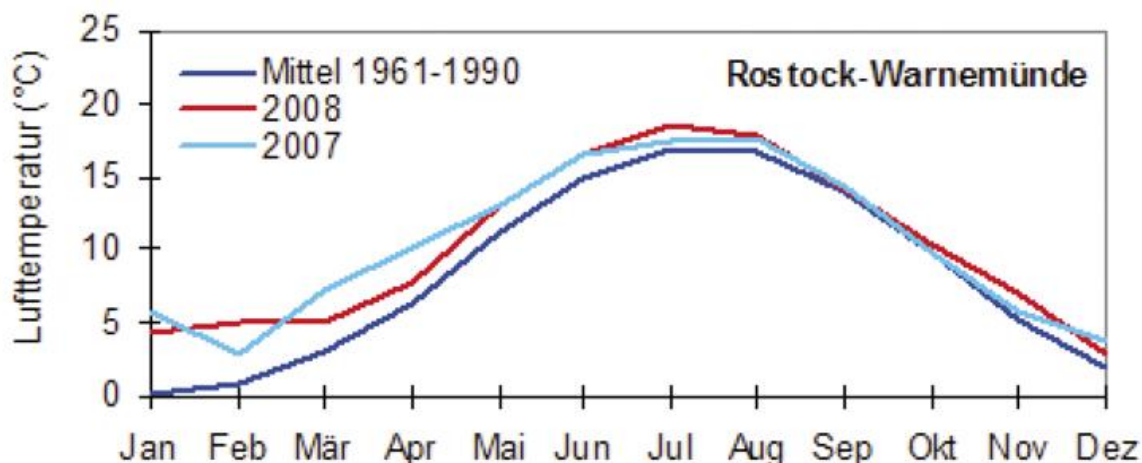


Abb. 1: Jahresgang der Monatsmitteltemperatur

Im Jahr 2007 war die Anzahl dieser kalten Tage meist geringfügig niedriger, im Jahr 2006 dagegen deutlich höher. Neben der unterdurchschnittlichen Anzahl kalter Tage wurde das überdurchschnittliche Temperaturniveau des Jahres 2008 durch ein Überschreiten der mittleren Anzahl warmer und heißer Tage charakterisiert. Sommertage gab es in jedem Monat von Mai bis August und östlich von Rügen auch noch Anfang September, wobei diese im Juli öfter vorkamen als im Mittel. Insgesamt wurden zwischen 1 (Kap Arkona/Rügen) und 21 (Küstenraum Weser-Ems) Sommertage verzeichnet, womit die Mittelwerte an der Nordsee um rund 5 überschritten wurden. An der Ostsee lag die Anzahl im Bereich der Mittelwerte, östlich von Rügen um 6 Tage darunter. Die Zahl der heißen Tage erreichte maximal 5, womit sie um bis zu 3 Tage höher war als gewöhnlich. Im Vergleich zu den beiden Vorjahren gab es 2008 mehr warme Tage als 2007, aber weniger als 2006.

An der Nordsee fiel durchweg mehr Niederschlag als im Mittel 1961-1990. Die Jahreshöhen bewegten sich zwischen 754 mm auf Sylt und 1015 mm an der Elbemündung und überschritten die Referenzwerte um bis zu 35 %. An der Ostsee, wo generell ein trockeneres Klima herrscht als an der Nordsee, fielen zwischen 473 mm (Raum Rostock/Rügen) und 628 mm (Raum Kiel/Flensburg und Greifswald). Sie überschritten damit die vieljährigen Mittelwerte um bis zu 10 %. Im Raum Rostock-Rügen und auf Fehmarn blieben sie sogar um bis zu 20 % unter den Bezugswerten. Neben den klimatischen Unterschieden führten die Auswirkungen einzelner Wetterlagen zu großen Differenzen im Niederschlagsaufkommen zwischen Nord- und Ost-

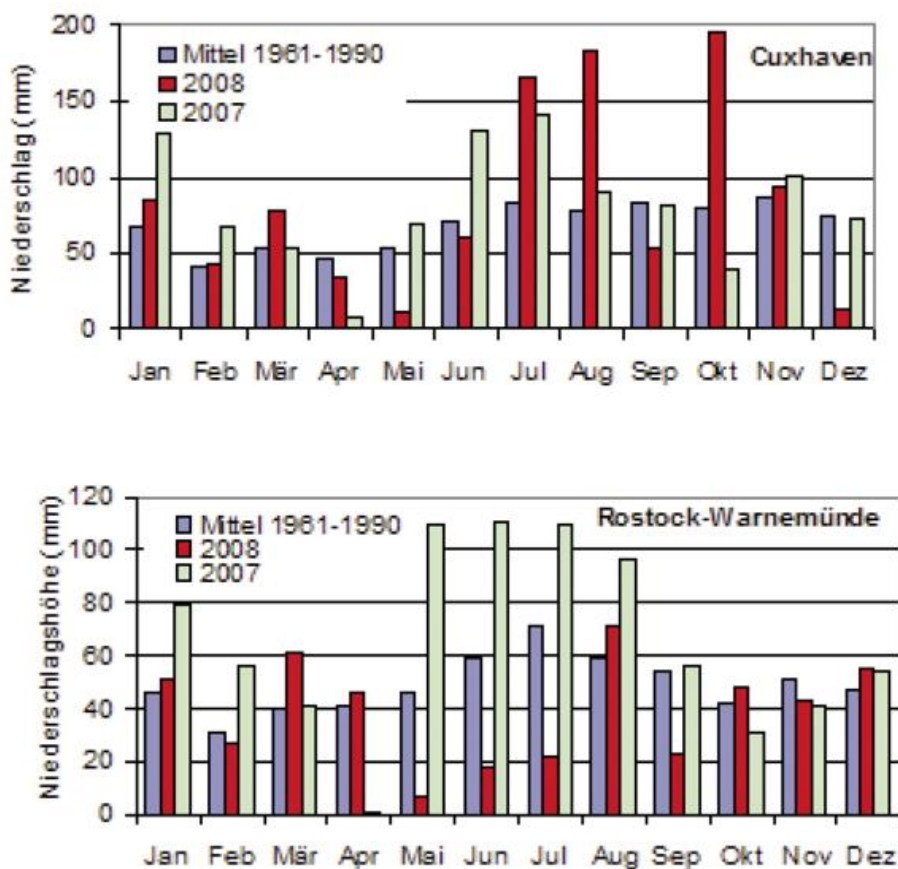


Abb. 2a, 2b: Jahresgang der monatlichen Niederschlagshöhe an Nord- und Ostsee

see. So brachte der Sommer an der Küste Mecklenburg-Vorpommerns trotz überdurchschnittlicher Niederschläge im August Defizite bis 40 %, während er an der Nordsee Überschüsse von 40 bis knapp 100 % lieferte (vgl. Abb. 2a, 2b). Hier waren sowohl der August mit dem Zwei- bis Dreifachen der Monatsmittel, als auch der Juli mit bis zum Doppelten der Mittelwerte beträchtlich zu nass. Beträchtlich zu feucht war es auch im Oktober, dessen Niederschlagshöhen meist um 50-140 % über den Mittelwerten lagen. Helgoland erlebte mit 182 mm sogar den nassesten Oktober seiner Messreihe. Hier fielen allein 97 mm an den ersten beiden Oktobertagen. Im April, der an der Nordsee zu trocken und an der Ostsee zu nass ausfiel, gab es östlich vom Darß mit 70-100 mm sogar das Doppelte der Mittelwerte. Hierfür war ein Vb-Tief verantwortlich, das am 7./8. mit 40-50 mm mehr Niederschlag auslöste, als im Mittel im gesamten Monat fallen. Da die Niederschläge nach Osten zu als Schnee niedergingen, entstand östlich von Rügen eine Schneedecke von bis zu 10 cm, die höchste Schneehöhe, die im gesamten Jahr auftrat. Sonst fiel Schnee eher sporadisch und erreichte eine maximale Höhe von 5 cm.

Sehr trocken war dagegen der Mai, der bei vorherrschendem Hochdruckeinfluß ein wahrer Wonnemonat war. Rund 20 mm bedeuteten nur 10-30 % der Mittelwerte, wodurch sich dieser Mai regional als der niederschlagsärmste Mai der Messreihe darstellte. Auch im Juni setzte sich die Trockenheit fort, was für markanten Wassermangel in der Natur sorgte.

Die Zahl der Tage mit Niederschlag von 1 mm und darüber lag an der Nordsee mit rund 130 bis 140 und östlich von Rügen mit rund 110 Tagen im Bereich der Mittelwerte, während die westliche Ostsee rund 7 Niederschlagstage weniger verzeichnete als das Mittel 1961-1990. Die Zahl der Tage mit Starkniederschlag von mindestens 10 mm lag an der Nordsee meist bei 20 bis 21 Tagen und war damit um 1-3 Tage höher als gewöhnlich. An der Ostsee gab es meist eine etwas geringere Anzahl, aber große regionale Unterschiede. So verzeichnete Rostock-Warnemünde nur 5, Boltenhagen aber 13 Tage mit Starkniederschlag. Im Vergleich zu 2007 war die Anzahl der Niederschlagstage etwas geringer, im Vergleich zu 2006 geringfügig höher.

Die Sonnenscheindauer bewegte sich meist zwischen 1700 und 1900 Stunden, im Weser-Ems-Gebiet bei 1500 bis 1600 Stunden und auf den deutschen Ostseeinseln zwischen 1900 und 1998 Stunden (Kap Arkona). Damit überschritt sie die vieljährigen Mittelwerte um bis zu 11 % und war ähnlich hoch wie im Jahr 2006. Ungewöhnlich sonnig war der Mai (vgl. Abb. 3). Im Monatsverlauf gab es nur 5-8 Tage, an denen die Sonne nicht mindestens 10 Stunden am Tag schien. Mit 300-400 Sonnenstunden (140-160 % der Monatsmittel) war dieser Monat nicht nur der sonnenscheinreichste Monat des gesamten Jahres, sondern auch der sonnenscheinreichste Mai seit mehr als 100 Jahren. Auch im Juni und Juli schien die Sonne häufiger als gewöhnlich. Die Mittelwerte wurden um bis zu 30 bzw. 20 % überschritten. Der August war dagegen ver-

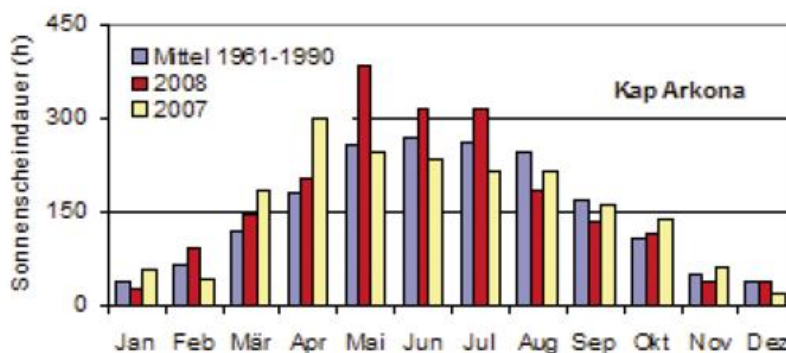


Abb. 3: Jahresgang der monatlichen Sonnenscheindauer

gleichsweise sonnenscheinarm und brachte Defizite von 20-30 %. Auch in den ohnehin sonnenscheinarmen Wintermonaten November, Dezember und Januar verfehlte die Sonnenscheindauer die Mittelwerte meist deutlich.

In den ersten Januartagen sorgte die frostige Witterung zwar für eine Abkühlung von Nord- und Ostsee, aber Eis bildete sich nicht. Nachfolgend bewirkte milde Witterung einen Anstieg der Wassertemperaturen auf 4-5 °C an der Ostsee und 5-6 °C an der Nordsee. Auch im Februar blieben die küstennahen Gewässer mit Monatsmitteltemperaturen von 4-5 °C um rund 1 K zu warm und eisfrei. Nach einer Pressemitteilung des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) vom 5. März 2008 brachte der Winter 2007/2008 der Ostsee die geringste Eisbedeckung seit Beginn regelmäßiger Aufzeichnungen im Jahr 1720. Im März verhinderte stürmisches Wetter eine stärkere Erwärmung, so dass die Gewässer um 1 K zu warm blieben. Anfang April glichen sich dann die Wassertemperaturen bei kalter Witterung den vieljährigen Mittelwerten an bevor von Ende April an das Temperaturniveau deutlich anhub. Die sonnige und zeitweise sommerliche Maiwitterung beschleunigte die jahreszeitliche Erwärmung der Gewässer. In den küstennahen Zonen bewegten sich die Monatsmittel der Wassertemperaturen zwischen 14 und 15 °C, womit die westliche Ostsee um rund 3 K zu warm war. Das BSH errechnete für die gesamte Nordsee eine Wasseroberflächentemperatur von 10,8 °C, die den 2. Rang der Maitemperaturen seit Beginn der Beobachtungsreihe 1971 einnahm und eine Abweichung von 1,7 K zu den Monatsmittelwerten bedeutete. Eine weitere kräftige Erwärmung bewirkte dann die warme und strahlungsreiche Witterung im ersten Junidrittel. Im Tagesmittel erreichten die Wassertemperaturen in den küstennahen Zonen sommerliche 18-21 °C, bevor eine windige und kühle Westwetterlage wieder zu einer raschen Abkühlung führte. Die Monatsmitteltemperaturen lagen nun noch mit rund 17-18 °C in den flacheren Küstenbereichen um 1 K über den Bezugswerten. Im ersten Augustdrittel schwand der Wärmeüberschuss bei windreicher und kühler Witterung vollends dahin. In Küstennähe bewegten sich die Wassertemperaturen nun bis in den Oktober hinein um bis zu 1 K unter dem Durchschnitt, bevor sie im weiteren Zeitraum bis zum Jahresende leicht überdurchschnittliche oder durchschnittliche Werte annahmen. Die Nordsee insgesamt war nach Berechnungen des BSH bis Oktober um rund 1 K zu warm und

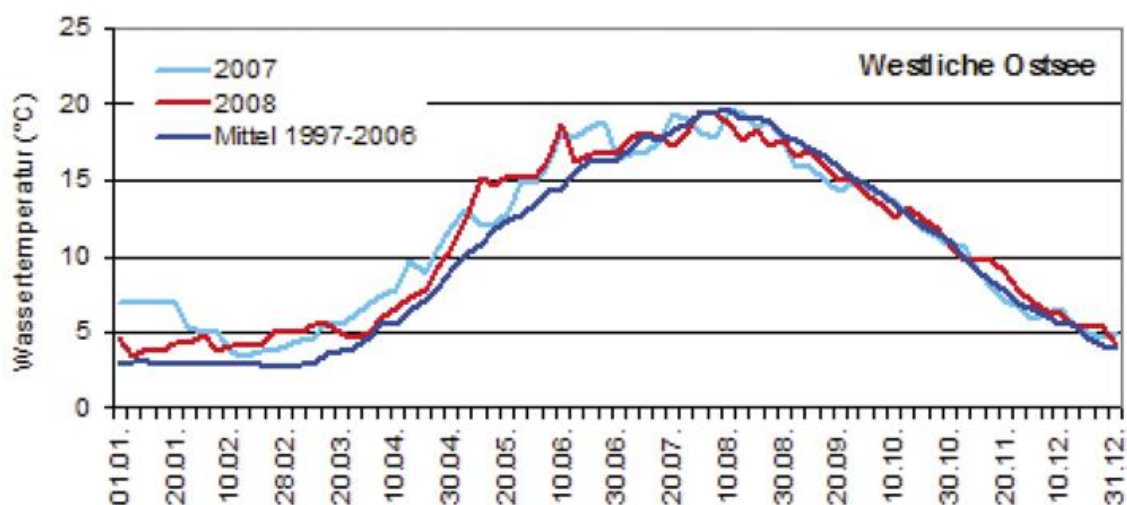
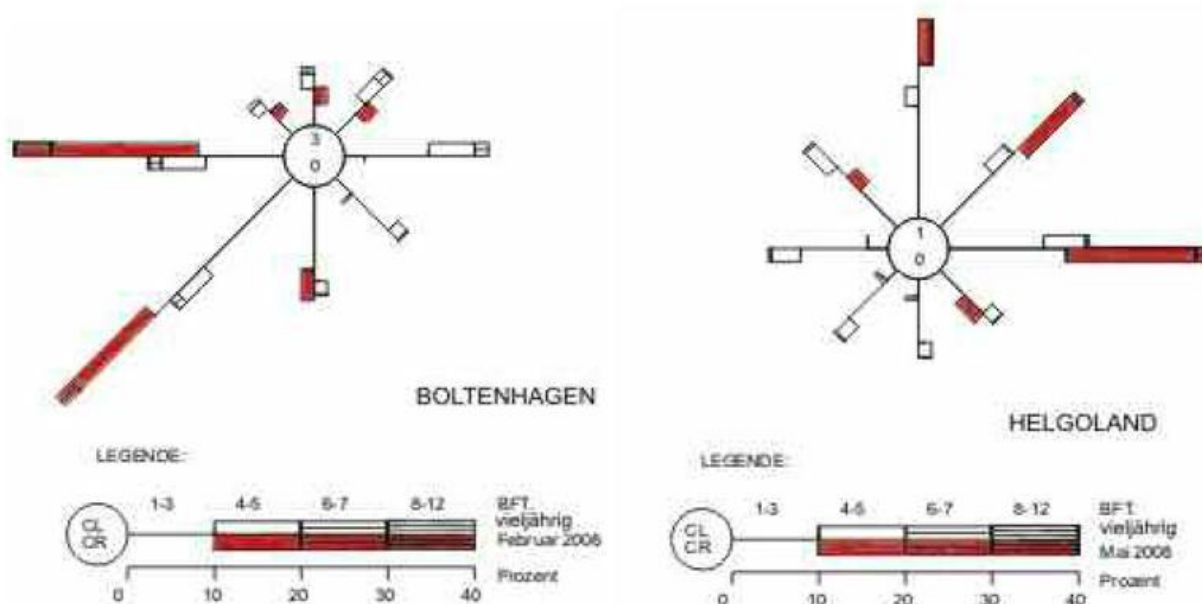


Abb. 4: Jahresgang der Wassertemperatur

erreichte im Dezember nahezu den Mittelwert. Am Jahresende bildete sich bei Dauereis in den geschützten Buchten der westlichen und südlichen Ostsee Neueis.

Das Jahr 2008 begann windreich, aber nicht so stürmisch wie 2007. Im Januar und Februar wehten Winde aus Süd bis West zu 70 bis 80 % der Zeit (vgl. Abb. 5), womit die Mittelwerte um 20-30 % überschritten wurden. In der Deutschen Bucht kam im Januar starker Wind von 6-7 Bft zu 30 % und stürmischer Wind ab 8 Bft zu 7 % der Zeit vor. Nachdem das Tief RESI zum Monatswechsel Januar/Februar an der Nordsee regional Sturmböen bis Bft 10 oder 11, auf Sylt bis Bft 12 ausgelöst hatte, bewirkte das Tief ANNETTE, das sich im Laufe des 22. Februars als wahrer Schnellläufer vom Ostatlantik bis zum Finnischen Meerbusen verlagerte, an der Ostsee verbreitet Böen von Orkanstärke. Ihm folgte das Tief EMMA nach, das am 1. März dem Küstenraum schwere und orkanartige Böen (Bft 10-11), der Insel Sylt auch Orkanböen brachte. Vom 12. bis 14. März sorgte dann das Tief KIRSTEN noch einmal für stärkere Sturmböen, die meist Bft 9 und 10, vereinzelt auch Bft 11 entsprachen. Im April und Mai traten nur vereinzelt Windböen bis Sturmstärke auf. Wie Abb. 5 zeigt, waren die vorherrschenden Hochdrucklagen im sonnenscheinreichen Mai vor allem von Nord- und Ostwinden begleitet. Sie wehten zu 75 % der Zeit, was eine Steigerung um rund 30 % gegenüber dem vieljährigen Mittel bedeutet. Im Juni und Juli erreichten Böen im Bereich von Gewittern oder Frontdurchgängen regional Sturmstärke, die maximal Bft 10 entsprachen. Ziemlich windreich war die 1. Augushälfte. Die Passage von Tiefdruckgebieten und Gewittern löste vielfach Böen von Sturmstärke aus, die Bft 8 oder 9, in exponierten Lagen auch Bft 10 entsprachen. Sehr windig war es auch Anfang Oktober. Die Tiefdruckgebiete QUINTA und LAURA sorgten in den Küstengebieten nicht nur für heftige Niederschläge, sondern auch für kräftigen Wind mit stürmischen Böen, die verbreitet bis Bft 9, an exponierten Standorten Bft 10 bis 12 erreichten. Dieser Monat hatte schon eine sehr herbstliche Prägung, die durch den hohen Anteil westlicher Winde, der bei 75 % und damit um 25 % über dem Oktobermittel lag, verursacht wurde. Für einen Spätherbst- und Wintermonat nicht ungewöhnlich waren die Windverhältnisse im November und Dezember.



**Abb. 5:** Windverteilungen an der Station Boltenhagen im Februar und auf Helgoland im Mai 2008 wie auch im Monatsmittel (CL/CR: Prozentualer Anteil der Windstillen vieljährig und 2008)

## Ergebnisse aus Messungen in der freien Atmosphäre

K. Zimmermann, H. Nitsche

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 1 und 2 sind für Schleswig und Stuttgart (als repräsentative Stationen für Nord- und Süddeutschland) die mittleren monatlichen Windvektoren für das Jahr 2008 dargestellt.

In der Troposphäre war die Strömung an beiden Stationen in den Monaten Januar, März und Oktober stärker zonal als im Referenzzeitraum 1961 – 1990. Im Februar waren die Verhältnisse unterschiedlich. Während Schleswig ebenfalls übernormal zonal geprägt war, zeigte sich über Stuttgart der Einfluss einer winterlichen Hochdruckwetterlage prägend wirksam. In den Monaten April bis August mit normalerweise geringer Zonalität waren die Unterschiede wenig markant. Der September zeigte an beiden Stationen deutliche Abweichungen von der Zyklonalität. Im November und Dezember wurden wiederum nur geringe Abweichungen festgestellt.

Im Januar und Februar war die winterliche stratosphärische Westwindzirkulation noch kräftig ausgeprägt, aber bereits im März nahm an beiden Stationen die Beständigkeit stark ab. Die sommerliche stratosphärische Ostwindzirkulation bildete sich erst spät, nämlich im Juni, mit hoher Beständigkeit aus.

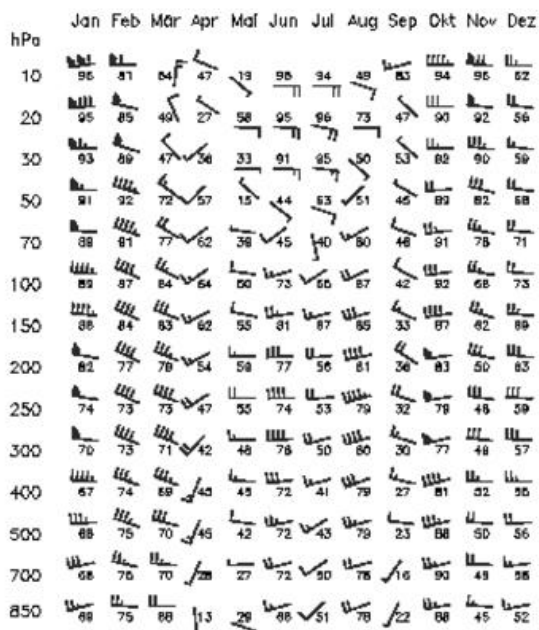
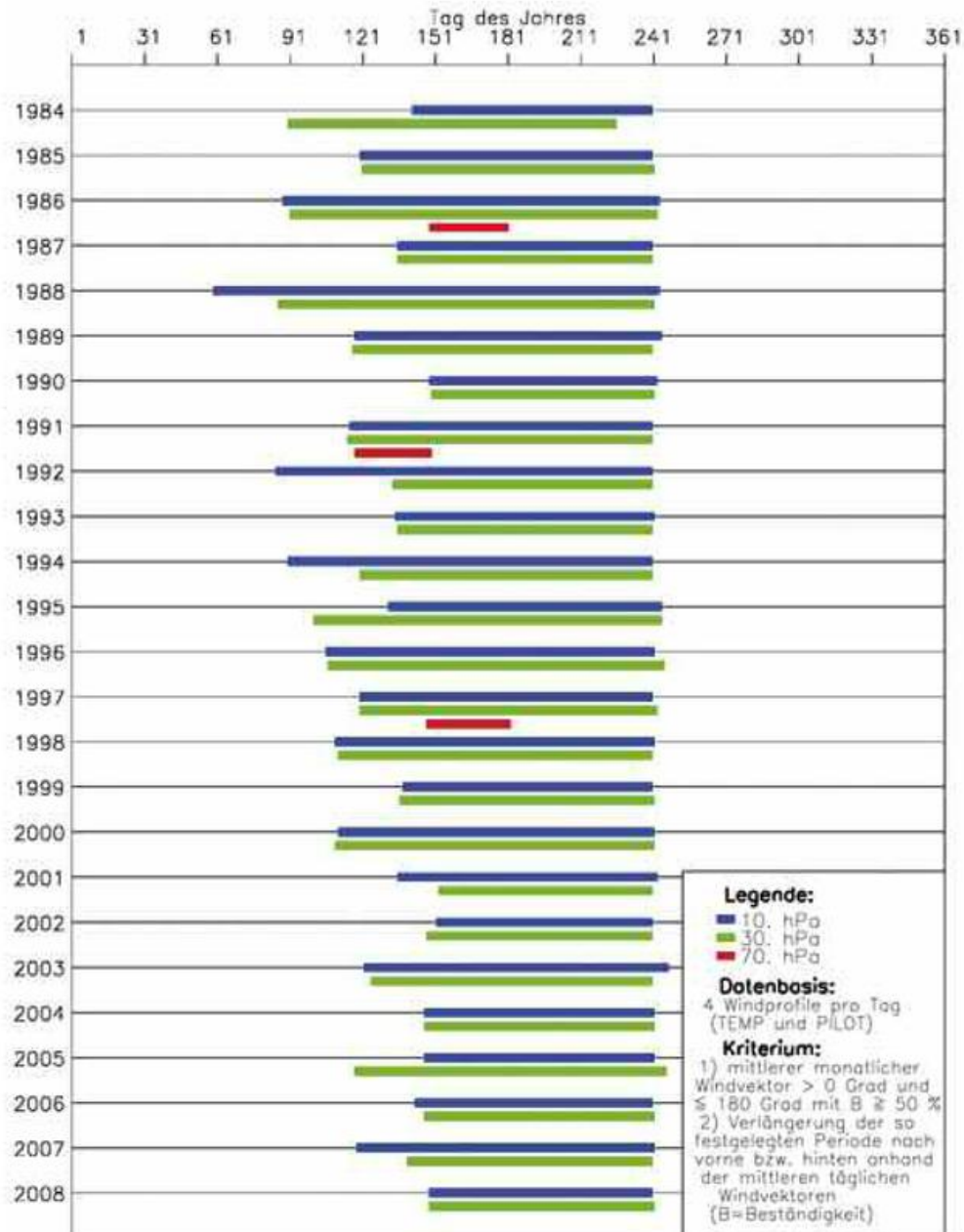


Abb. 1: Mittlere monatliche Windvektoren und Windbeständigkeit, Schleswig 2008



Abb. 2: Mittlere monatliche Windvektoren und Windbeständigkeit, Stuttgart 2008



**Abb. 3:** Beginn und Ende der sommerlichen Ostwindzirkulation in der Stratosphäre, Stuttgart 1984-2008

### Sommerliche Ostwindperioden

Abbildung 3 zeigt die Folge der sommerlichen Ostwindperioden für drei Druckflächen über Stuttgart von 1984 bis 2008.

Die stratosphärische Ostwindzirkulation setzte 2008 sowohl in 30 hPa als auch in 10 hPa Ende Mai ein und blieb, wie auch in den Vorjahren, bis Ende August recht beständig. Damit zeichnete sich 2008 durch eine ähnlich kurze Periode wie 2006 und 2004 aus.

**Tab.1:** Beginn und Ende der sommerlichen Ostwindzirkulation in der Stratosphäre an 11 Radiosondenstationen für das Jahr 2008 (Datenbasis: Monatsmittelwerte und Tagesmittelwerte aus 2 bis 4 Windprofilen pro Tag, manuell korrigierte Werte sind mit \* gekennzeichnet.)

Station	Druckfläche (hPa)	Beginn (Tag)	Ende (Tag)	Dauer (Tage)
SCHLESWIG (WST)	20	120	244	125
	50	179	212	34
GREIFSWALD (WST)	20	136	243	108
	50	182*	213	32*
EMDEN (WST/AE)	20	120	243	124
	50	180	212	33
BERGEN (BW)	20	138	244	107
	50	180	213	34
LINDENBERG (OBS)	20	136	244	109
	50	182	213	32
ESSEN-BREDENEY (AWST)	20	137	243	107
	50	182*	212	31*
MEININGEN (WST)	20	136	243	108
	50	182*	213	32*
IDAR-OBERSTEIN (BW)	20	138	243	106
	50	182	214	26
STUTT GART(SCHNAR.AWST)	20	138*	243	106*
	50	182	214	33*
KÜMMERSBRUCK (BW)	20	135	243	109
	50	182	212	31*
OBERSCHLEISSHEIM	20	135	243	109
	50	180	243	64

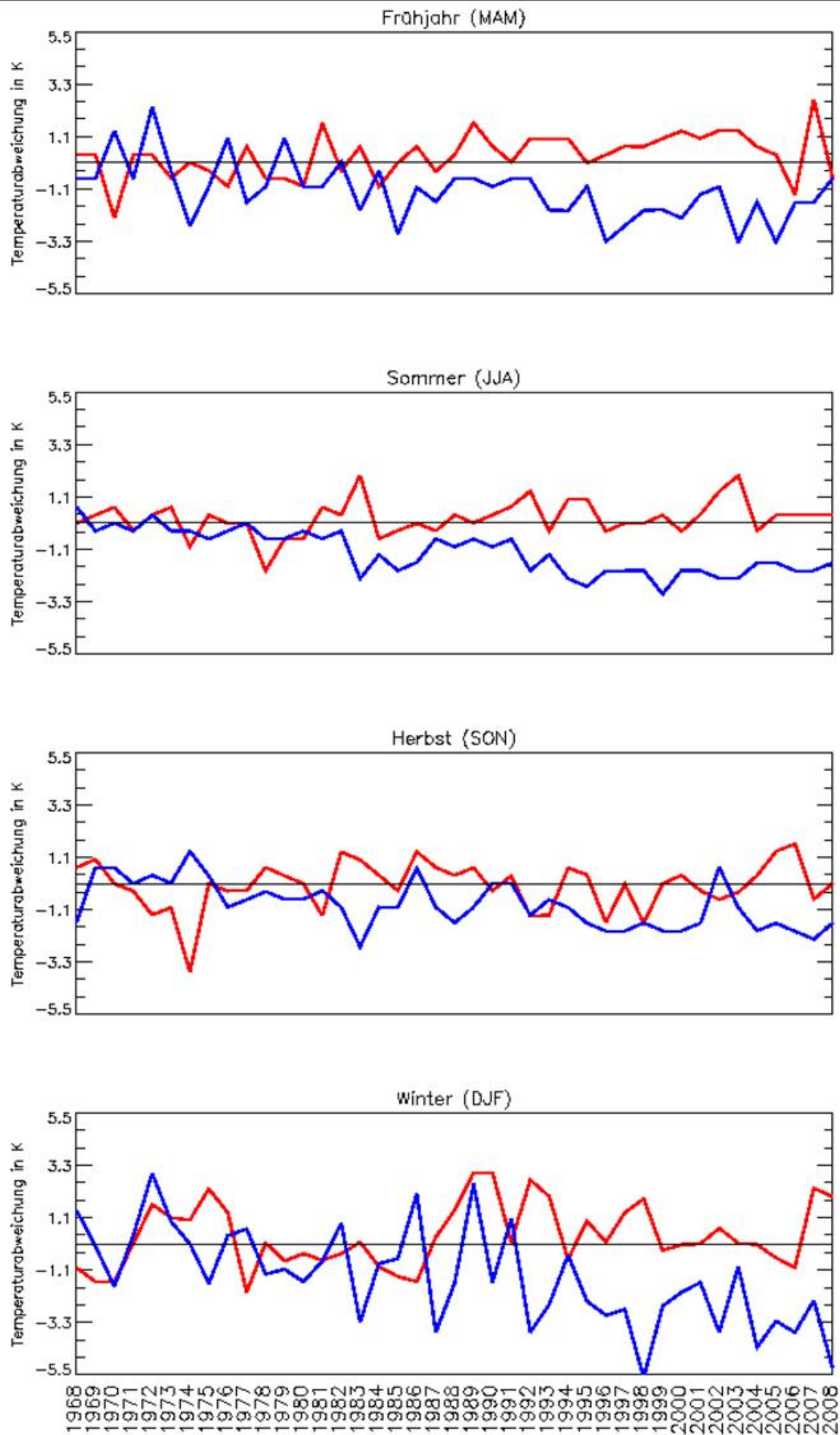
In Tabelle 1 sind Anfang und Ende der sommerlichen Ostwindzirkulation in der Stratosphäre für die Druckflächen 20 hPa und 50 hPa für 11 Radiosondenstationen zusammengefasst.

Die stratosphärische Ostwindzirkulation setzte in 20 hPa zuerst (Ende April) über Schleswig und Emden ein. Ab Mitte Mai wurde die stabile stratosphärische Ostströmung auch an den anderen Stationen beobachtet. Damit wurden in Greifswald, Bergen, Lindenberg, Essen und Meiningen deutlich kürzere Perioden registriert als im Vorjahr. In 50 hPa setzte die sommerliche Ostwindzirkulation an allen Stationen um den 1. Juli herum ein und endete an fast allen Stationen schon wieder Ende Juli/Anfang August. Nur über Oberschleißheim blieb die östliche Strömung bis Ende August beständig. Damit wiesen alle Stationen extrem kurze Perioden der sommerlichen Ostwindzirkulation in 50 hPa auf. In 70 hPa wurde an keiner Station eine sommerliche Ostwindzirkulation gemeldet.

### *Lufttemperatur*

#### *Monatsmittelwerte der Lufttemperatur*

In Abbildung 4 sind die Abweichungen der mittleren Lufttemperatur 2008 gegenüber dem Referenzzeitraum 1961-1990 im Mittel über 7 Radiosondenstationen in 500 hPa



**Abb. 4:** Abweichungen der mittleren Lufttemperatur vom Referenzzeitraum 1961-1990 für die Jahreszeiten in 500 hPa (rot) und 50 hPa (blau) (Mittelwerte über 7 Stationen)

Tab. 2: Extreme Temperaturminima in der Stratosphäre nach Radiosondenmessungen 2008

Station	Monat	Tag	Termin	Temperatur (°C)	Geopotential ( gpm )
SCHLESWIG (WEWA)	Jan	26	0	-81	30109
	Jan	27	12	-86	29400
	Feb	20	0	-87	19779
	Feb	19	12	-88	22470
	Nov	16	0	-81	24899
	Nov	16	12	-82	25279
	Dez	25	0	-87	28404
GREIFSWALD (WEWA)	Dez	26	12	-85	29029
	Jan	25	0	-88	29660
	Jan	19	12	-85	25190
	Feb	19	0	-85	19971
	Feb	20	12	-86	20539
	Dez	16	0	-84	27509
EMDEN - KÖNIGSPOLDER (BW)	Dez	24	12	-85	26626
	Jan	23	0	-82	28616
	Jan	19	12	-85	28370
	Feb	18	0	-87	22200
	Feb	19	12	-88	22032
	Nov	15	0	-80	27742
	Dez	26	0	-84	27214
BERGEN (BW)	Dez	17	12	-84	28556
	Jan	20	0	-82	22383
	Jan	25	12	-80	30156
	Feb	19	0	-87	21464
	Feb	19	12	-88	22627
	Nov	16	12	-81	24901
LINDENBERG (OBS)	Dez	18	0	-81	26781
	Dez	17	12	-83	29219
	Jan	20	0	-83	25863
	Jan	25	12	-83	30048
	Feb	19	0	-84	20892
	Feb	21	12	-85	21696
ESSEN - BREDENEY (AWST)	Dez	25	0	-85	29002
	Dez	26	12	-83	29215
	Jan	22	0	-82	25421
	Jan	21	12	-82	25350
	Feb	20	0	-86	22151
	Feb	19	12	-87	21916
MEININGEN (WEWA)	Dez	25	0	-82	27877
	Dez	26	12	-83	26824
	Feb	20	0	-86	22234
	Feb	20	12	-86	23201
IDAR - OBERSTEIN (BW)	Dez	26	0	-80	27690
	Dez	16	12	-81	27444
	Jan	21	0	-80	26841
	Jan	21	12	-81	25470
	Feb	19	0	-85	22586
STUTTGART - SCHNARR. (AWST)	Feb	19	12	-85	22049
	Dez	26	12	-80	29004
	Jan	19	12	-81	23554
	Feb	20	0	-84	22382
KÜMMERSBRUCK (BW)	Feb	19	12	-84	21533
	Dez	26	12	-80	27356
	Jan	19	12	-81	24834
OBERSCHLEISSHEIM (WEWA)	Feb	19	12	-85	22073
	Dez	16	12	-80	27953
	Jan	20	0	-80	25965
	Feb	20	0	-84	22563
	Feb	20	12	-84	23876

und in 50 hPa dargestellt. Betrachtet werden die vier Jahreszeiten seit 1968. Seit 1987 finden sich insbesondere im Frühjahr und im Winter markante positive Temperaturabweichungen in der Troposphäre. Allerdings zeigte das Frühjahr 2008 hier eine negative Abweichung. Ursache war ein Kälteeinbruch in der zweiten Märzhälfte. Der Sommer zeichnete sich in den letzten Jahren zwar durch eine konstante aber relativ geringe positive Temperaturabweichung aus. Die Stratosphäre war, wie auch schon in den Vorjahren, in allen Jahreszeiten zu kühl. Besonders ausgeprägt war die negative Temperaturabweichung wieder im Winter.

#### *Temperaturminima in der Stratosphäre*

Im Jahr 2008 wies das stratosphärische Temperaturminimum an fast allen Stationen ab dem 19. Januar Werte von  $-80^{\circ}\text{C}$  und darunter auf. In einer Höhe zwischen etwa 20 und 30 km wurden extreme Werte über Greifswald:  $-88^{\circ}\text{C}$  und Schleswig:  $-86^{\circ}\text{C}$  gemessen. Die Ausnahme bildete Meiningen, wo erst am 20. Februar ein Minimum von  $-86^{\circ}\text{C}$  registriert wurde. Die extremen Temperaturminima, die an allen Stationen nochmals im Februar aufgezeichnet wurden, gingen einher mit einer Abnahme des stratosphärischen Ozons von 10% - 15% (s. Ozonbulletin des Deutschen Wetterdienstes, Nr. 120, 17. Juli 2008). Tabelle 2 gibt eine Zusammenfassung der stratosphärischen Temperaturminima des Winters 2008.

## Die agrarmeteorologische Situation im Jahr 2008

W. Trampf, H. Hassemer - Schwarz, F. - J. Löpmeier

### Übersicht

Nach einem kalten Jahresbeginn setzte zur Mitte der ersten **Januar**dekade eine unbeständige und milde Witterung ein, die bis zum Monatsende anhielt. Die mittleren Krumentemperaturen lagen zunächst um  $-1^{\circ}\text{C}$ , im Norden um den Gefrierpunkt. Die anfangs in der Tiefe noch gefrorenen Böden wurden mit der Erwärmung überall frostfrei und die mittleren Krumentemperaturen stiegen auf Werte um  $5^{\circ}\text{C}$ , in der Westhälfte um  $8^{\circ}\text{C}$ . Am Monatsende führte ein Kaltlufteinbruch dazu, dass die mittleren Krumentemperaturen auf Werte um  $3^{\circ}\text{C}$  zurückgingen. Bei häufigen Niederschlägen blieben die Böden im gesamten Monat gesättigt.

Durch die milde Witterung endete im zweiten Januardrittel die Vegetationsruhe. So wurde im Rheingraben, im Nordwesten und im südlichen Ostdeutschland der Beginn der Haselblüte beobachtet. Stellenweise wurde aus diesen Gebieten auch die Schneeglöckchenblüte gemeldet. Bis zum Monatsende setzte in fast allen Gebieten Deutschlands mit der Blüte des Haselstrauches der Vorfrühling ein. Die Eintrittsdaten waren um drei Wochen verfrüht. Durch hohe Bodenfeuchten blieben die Felder unbefahrbar, so dass keine Außenarbeiten möglich waren.

Auch im **Februar** setzte sich die milde bis sehr milde Witterung fort. Lediglich zur Monatsmitte zeigte sich ein deutlicher Rückgang der Temperaturen. Doch zum Ende der zweiten Dekade setzte wieder eine Erwärmung ein. Die mittleren Krumentemperaturen bewegten sich zunächst um  $4^{\circ}\text{C}$ , sie gingen dann im Süden auf Werte um  $1^{\circ}\text{C}$  zurück und lagen im letzten Februardrittel um  $7^{\circ}\text{C}$ . Während der Frostperiode zur Monatsmitte gefroren die Böden verbreitet bis in Tiefen um 15 cm. Durch ergiebige Niederschläge blieben die Bodenfeuchten im gesamten Februar im Sättigungsbereich.

Im ersten Februardrittel hatte auch im Bergland die Haselblüte begonnen, in allen Gebieten blühten die Schneeglöckchen und verbreitet auch die Schwarzerlen. Gebietsweise wurde im Norden und Osten der Beginn der Huflattichblüte und das Ergrünen der Gräser beobachtet, in den klimatisch begünstigten Gebieten die Blüte der Salweiden. Nach dem winterlichen Intermezzo setzte wieder ein deutlicher Entwicklungsschub ein, so dass in der letzten Dekade die Blüte der Schwarzerlen im Bergland und im äußersten Norden beobachtet wurde, in fast allen Gebieten blühten der Huflattich und die Salweiden. Die Eintrittsdaten waren ca. vier Wochen verfrüht. Ende Februar hatten die nach Ernst und Löper errechneten Temperatursummen im Westen und Nordwesten Werte um 200 erreicht, so dass dort das Gräserwachstum einsetzte. Wo die Felder befahrbar waren, begann in den letzten Februartagen die Bestellung von Sommergetreide. Zu dieser Zeit blühten in den Gärten die Krokusse und andere Frühjahrsblüher.

Im **März** war es anfangs kühl. Zum Ende der ersten Dekade stiegen zuerst im Norden, dann in allen Gebieten, die Temperaturen an. Im weiteren Verlauf wurde es wieder kälter, zu Beginn des letzten Märzmittels erfolgte ein Kaltlufteinbruch mit Schnee-

fall, so dass sich zu den Osterfeiertagen meist eine Schneedecke bildete. Die mittleren Krumentemperaturen, die zum Monatsbeginn um 2°C lagen und dann auf Werte um 8°C stiegen, gingen wieder auf Werte um 2°C zurück. Ende März setzte eine Erwärmung ein, so dass der Schnee außer in höheren Lagen rasch wieder schmolz. Die mittleren Krumentemperaturen stiegen auf Werte um 9°C. Die übernormal hohen Niederschläge im Monatsverlauf ließen die Bodenfeuchten im Sättigungsbereich.

Infolge der niederschlagsreichen Witterung verzögerte sich die Frühjahrsbestellung, so dass häufig erst in den letzten Märztagen die Aussaat von Sommergetreide sowie auch von Zuckerrüben erfolgte. Ende Februar mit Sommergetreide bestellte Flächen waren bis zum letzten Märztrittel aufgelaufen. In der ersten Dekade wurde die Salweidenblüte aus dem Nordosten und dem Bergland gemeldet. Winterraps begann im Südwesten sowie gebietsweise im Norden und Osten, bis zum Monatsende auch in den anderen Gebieten mit dem Schossen. Die Blüte von Forsythien setzte in den tieferen Lagen der Westhälfte sowie im südlichen Ostdeutschland ein, in der zweiten Dekade im übrigen Deutschland. Die nach Ernst und Löper errechneten Temperatursummen erreichten bis zum Ende der ersten Dekade im größten Teil Deutschlands den Wert 200. Stachelbeersträucher und andere frühe Gehölze öffneten bis zum Ende des zweiten Märztrittels die Blattknospen. Nachdem die winterliche Witterungsepisode im letzten Märztrittel die Pflanzenentwicklung stagnieren ließ, begann zum Monatsende bei Winterraps gebietsweise die Knospenbildung und bei Wintergerste in den tieferen Lagen des Südwestens das Schossen. Dort setzte die Blüte des Löwenzahns, im oberen Rheingraben auch die Süßkirschenblüte ein.

In der ersten **April**dekade zeigte sich nochmals eine sehr kühle, winterliche Witterung mit verbreitetem Schneefall, wobei verbreitet eine Schneedecke entstand. Die mittleren Krumentemperaturen bewegten sich überwiegend um 7°C. Von der Monatsmitte an setzte von Südwesten her eine Erwärmung ein. Die Nächte wurden mit Ausnahme des äußersten Südens wieder frostfrei und die mittleren Krumentemperaturen erreichten Werte um 10°C, zum Monatsende um 14°C. Der April war mit Ausnahme des äußersten Nordens und Nordwestens durch überdurchschnittlich hohe Niederschläge gekennzeichnet, so dass die Bodenfeuchten unter Gras und den Winterungen meist im Bereich der Sättigung lagen. Erst in der zweiten Monatshälfte konnten im größten Teil Deutschlands die Böden im Krumbereich abtrocknen, so dass Ende April im Norden Bodenfeuchten um 80% nutzbarer Feldkapazität (nFK), in den anderen Gebieten meist um 90% nFK, errechnet wurden. Im äußersten Süden blieben sie im Sättigungsbereich.

Zunächst machte auf den meist unbefahrten Böden die Frühjahrsbestellung kaum Fortschritte. So konnten die Aussaat von Sommergetreide und Zuckerrüben sowie die Bestellung von Kartoffeln gebietsweise erst in der zweiten Aprilhälfte erfolgen. Zum Monatsende wurde verbreitet Mais bestellt. Zu dieser Zeit war Sommergetreide überall aufgelaufen. Winterraps zeigte im ersten Apriltrittel die Knospenbildung, zum Monatsende begann im größten Teil Deutschlands die Blüte. Wintergetreide war überall im Stadium des Längenwachstums. Im Monatsverlauf blühten der Löwenzahn und die Birken. Die Süßkirschenblüte wurde im ersten Apriltrittel vor allem in den tieferen Lagen des Südwestens und im südlichen Ostdeutschland beobachtet, bis zum Monatsende auch im übrigen Deutschland. Ende April blühten mit Ausnahme vom Nordosten, von Schleswig-Holstein und der Mittelgebirge die Apfelbäume. Mit der

Blattentfaltung der Rotbuchen waren am Monatsende die Laubwälder wieder grün. Waren Ende Februar die Eintrittsdaten meist um 4 Wochen verfrüht, hatte sich durch die zeitweise kühle Witterung im März und April der Vorsprung auf nur noch wenige Tage verkürzt.

Der **Mai** war durch warme Witterungsperioden und Trockenheit besonders im Norden und Osten gekennzeichnet. Die mittleren Krumentemperaturen erreichten meist Werte um 21°C, in kühleren Abschnitten um 15°C. Niederschläge waren in der zweiten Maihälfte vor allem in der Westhälfte zu verzeichnen. Die Bodenfeuchten gingen bei einer stark negativen klimatischen Wasserbilanz im Norden und Osten deutlich zurück und lagen am Monatsende unter Gras um 55% nFK und unter Winterweizen um 40% nFK. Im übrigen Deutschland waren es Werte um 70% nFK unter Gras und um 60% nFK unter Winterweizen. Unter Mais und Zuckerrüben wurden höhere Feuchten um 90% nFK, im Osten und Norden um 70% nFK, errechnet. Dabei zeigte sich im trockenen Norden und Osten in der Schicht bis 30 cm Tiefe eine sehr starke Austrocknung, während darunter höhere Feuchten vorhanden waren.

Anfang Mai wurde noch Mais bestellt, der bis zur zweiten Dekade überall aufblühte. Zunächst blühte in allen Gebieten der Winterroggen, bis zum Monatsende waren die Bestände abgeblüht. Bei Winterroggen und -gerste wurde in ersten und zweiten Dekade das Ährenschieben beobachtet. In den letzten Maitagen setzte die Blühphase ein. Winterweizen schob in der zweiten Maihälfte die Ähren, Hafer war überall im Längenwachstum. Bei meist guten Trocknungsbedingungen wurde der erste Gräserschnitt zur Gewinnung von Silage, von der zweiten Dekade an auch von Heu, vorgenommen. Anfangs begann auch im Norden und im Bergland die Apfelblüte, bis zum Monatsende war sie überall beendet. Frühe Kartoffelbestände zeigten den Bestandschluß. Mit der Blüte des Schwarzen Holunders begann in der zweiten und letzten Dekade geringfügig verfrüht der phänologische Frühsommer.

Auch der **Juni** war durch Wärme und unterdurchschnittliche Niederschläge gekennzeichnet, wobei im Norden und Nordosten nur Monatssummen um 60% der vieljährigen Mengen registriert wurden und dort die Trockenheit anhielt. Ende Juni waren in diesen Gebieten unter Winterweizen nur noch Bodenfeuchten um 10% nFK und unter Zuckerrüben um 20% nFK zu verzeichnen. Sonst lagen sie unter Gras verbreitet um 50% nFK, unter Winterweizen um 25% nFK sowie unter Zuckerrüben um 40% nFK. Unter Mais wurden in der Nordhälfte Bodenfeuchten um 55% nFK, im übrigen Deutschland um 75% nFK, errechnet. Im Gebiet südlich der Donau waren die Böden im gesamten Juni meist sehr gut versorgt. Die mittleren Krumentemperaturen erreichten überwiegend Werte um 25°C, im zweiten Monatsdrittel um 20°C.

Im ersten Junidrittel begann auch im Bergland die Blüte des Winterroggens. Wintergerste reifte zügig ab, bis zum Monatsende wurde überall die Gelbreife beobachtet. In den klimatisch begünstigten Gebieten waren Ende Juni die Bestände vollreif, im Rheingraben, im südlichen Ostdeutschland und auch in Niederbayern begann der Mähdrusch. Zu dieser Zeit erreichte gebietsweise auch Winterroggen die Gelbreife, sonst zeigten die Getreidebestände die Kornbildung oder Milchreife. In der ersten Dekade setzte bei Hafer im Norden, Osten sowie im Südwesten das Rispenschieben ein, etwas später in den anderen Gebieten. Im zweiten und letzten Junidrittel erreichten Zuckerrüben- und Kartoffelbestände den Bestandschluß, zum Monatsende blüh-

ten verbreitet die Kartoffelpflanzen. Im gesamten Juni wurde Heu geworben. Süßkirschen und Johannisbeeren wurden im Monatsverlauf in allen Gebieten reif. Im Juni hatte überall, ungefähr eine Woche verfrüht, die Blüte der Sommerlinden begonnen, diese Phase gibt den Beginn des Hochsommers an.

Im **Juli** fielen im größten Teil Deutschlands überdurchschnittlich hohe Niederschläge. Damit konnte sich die durch den trockenen Mai und Juni angespannte Bodenwasserversorgung stabilisieren. Am Monatsende wurden unter Gras meist Bodenfeuchten um 50% nFK, im Osten um 40% nFK, sowie im Westen um 60% nFK errechnet. Unter Mais waren es etwas höhere Werte, unter Zuckerrüben lagen sie im Nordosten weiterhin am Welkepunkt, in den anderen Gebieten von Ostdeutschland um 20% nFK. Im übrigen Deutschland waren es unter Zuckerrüben Werte um 30% nFK, im Westen um 50% nFK. Im Gebiet südlich der Donau blieben die Böden unter Gras und den Kulturen bei Feuchten von meist mehr als 80% nFK sehr gut versorgt.

In der ersten Dekade begann in allen Gebieten der Mähdrusch von Wintergerste. Winterraps wurde vollreif, in den tieferen Lagen des Südwestens und auch im südlichen Teil von Ostdeutschland setzte die Ernte ein, im übrigen Deutschland etwas später. Winterroggen und Winterweizen waren im ersten Julidrittel verbreitet gelbreif, im Rheingraben auch der Hafer und andere Sommergetreide. Bei Mais begann das Fahnschieben. Im Südwesten und im südlichen Ostdeutschland wurde der Beginn der Blüte beobachtet, im übrigen Deutschland erst im zweiten Julidrittel. Nachdem im zweiten Julidrittel die Niederschläge die Erntearbeiten erheblich behindert hatten, konnte trockene Witterung in der letzten Dekade zur zügigen Getreide- und Winterpappernte genutzt werden, so dass Ende Juli der Mähdrusch von Wintergerste und die Rapserte weitgehend abgeschlossen waren. Weiterhin erfolgte die Ernte von Winterroggen, Winterweizen und Sommergerste. Hafer erreichte Ende Juli die Gelbreife, Mais zeigte nach der Blüte die Kornbildung, im oberen Rheingraben die Milchreife. Zuckerrüben waren wie auch Kartoffeln im Dickenwachstum. Im Rheingraben wurden Ende Juli die Früchte des Schwarzen Holunders reif. Frühe Äpfel erreichten in weiten Teilen Deutschlands die Fruchtreife.

Der **August** zeigte sich anfangs warm, dann kühl und im Norden und Westen erheblich zu nass. Die mittleren Krumentemperaturen, die im ersten Monatsdrittel auf Werte um 25°C anstiegen, lagen in der Folgedekade verbreitet um 18°C, in den letzten Augusttagen um 21°C. Die Niederschläge führten zur Auffüllung der Böden, so dass Ende August die Bodenfeuchten unter Gras und den Kulturen im äußersten Norden und äußersten Süden sowie im Westen Werte um 90% nFK erreichten. Im übrigen Deutschland wurden unter Gras verbreitet Werte um 45% nFK sowie unter Mais und Zuckerrüben um 20% nFK errechnet.

An den niederschlagsfreien Tagen wurde die Getreideernte fortgesetzt und bis zum Monatsende abgeschlossen. Nach Angaben des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz wurde mit 45 Millionen Tonnen die zweithöchste Getreideernte (ohne Körnermais und Corn-Cob-Mix) seit der Rekordernte von 2004 eingefahren. Das Vorjahresergebnis wurde um 22,2%, der Durchschnitt der Jahre 2002-2007 um 11,8% übertroffen. Bei Mais wurde in der ersten Monatshälfte überall der Eintritt der Milchreife, in der letzten Dekade auch die Siloreife beobachtet. Auf den abgeernteten Getreidefeldern erfolgten im Monatsverlauf die Saatbettberei-

tung und die Bestellung von Winterraps. Im zweiten Augustdrittel wurde in den tiefen Lagen des Südwestens und im südlichen Teil von Ostdeutschland, bis zum Monatsende auch in den anderen Gebieten - wenige Tage verfrüht - die Fruchtreife des Schwarzen Holunders, als Zeichen des beginnenden Frühherbstes, beobachtet. Stellenweise zeigte sich auch bei Rosskastanien die Fruchtreife.

Nach Monaten mit übernormalen Monatsmitteltemperaturen fiel der **September** zu kalt und in vielen Gebieten zu trocken aus. So lagen die Bodenfeuchten unter Gras Ende September verbreitet um 80% nFK, im Osten um 50% nFK. Nur in Schleswig-Holstein, am Alpenrand und in den Mittelgebirgen waren Werte im Sättigungsbereich zu verzeichnen. Die mittleren Krumentemperaturen bewegten sich bis zur Monatsmitte um 18°C, dann um 12°C.

Die überwiegend trockene Witterung wurde zur Bestellung von Wintergerste und Roggen sowie auch von Winterweizen genutzt. Bis zum Monatsende war der Aufgang zu beobachten. Winterraps zeigte nach dem Auflaufen das Stadium der Blattentwicklung. Im Monatsverlauf wurden in allen Gebieten späte Kartoffeln gerodet und Silomais geerntet. Gebietsweise konnte auch Körnermais als Corn-Cob-Mix eingefahren werden. Zuckerrüben waren im Dickenwachstum und standen am Monatsende vor Beginn der Ernte. Im September wurden die Früchte der Rosskastanien reif. In den letzten Monatstagen zeigten Laubbäume wie Rotbuchen die Blattverfärbung.

Ein „Goldener **Oktober**“ mit viel Sonnenschein war nur im zweiten Monatsdrittel zu verzeichnen, sonst dominierte eine unbeständige und niederschlagsreiche Witterung. Die mittleren Krumentemperaturen lagen meist um 10°C, in warmen Witterungsabschnitten um 13°C sowie am Monatsende um 5°C. Die Monatssummen des Niederschlags waren in allen Gebieten übernormal hoch. So lagen Ende Oktober die Bodenfeuchten unter Gras in fast allen Gebieten im Sättigungsbereich, auch im Osten waren verbreitet hohe Werte um 80% nFK zu vermerken, im Rhein-Main-Gebiet und der Pfalz war es bei Werten um 70% nFK trockener.

Die günstige Witterung der ersten Oktoberhälfte wurde zur Bestellung von Winterroggen und auch von Winterweizen genutzt. Ebenso wurde die Ernte von Silo- und Körnermais fortgesetzt. Winterroggen und zeitig bestellter Winterweizen liefen auf. Seit den letzten Septembertagen hatte die Zuckerrübenkampagne begonnen. Die Erntearbeiten und die nachfolgende Bestellung von Winterweizen wurden durch Niederschläge in den letzten Oktobertagen erheblich behindert. Nach der Laubverfärbung setzte in der zweiten Monatshälfte bei den Rotbuchen überall der Blattfall ein.

Der **November** war zunächst mild und die mittleren Krumentemperaturen lagen zunächst um 9°C, dann um 5°C. Mit winterlicher Witterung zu Beginn der letzten Novemberdekade gingen sie auf Werte am Gefrierpunkt zurück, im Osten und Südosten sowie in den Mittelgebirgen drang der Frost zeitweise bis in eine Tiefe um 10 cm in die Böden ein. Die Böden blieben gesättigt, im Osten lagen die Bodenfeuchten unter Gras meist um 90% nFK, im Rhein-Main-Gebiet und der Pfalz um 70% nFK.

Anfangs wurden noch Zuckerrüben gerodet und Körnermais geerntet. Der Transport gerodeter Zuckerrüben zu den Fabriken ging im gesamten November weiter, so dass nach Angaben der Wirtschaftlichen Vereinigung Zucker bis Ende Dezember die ge-

samte Erntemenge von fast 23 Millionen Tonnen mit einem Zuckergehalt von durchschnittlich 18% bei den Verarbeitungsstätten angeliefert waren. Weiterhin lief noch Winterweizen auf. Winterroggen und zeitig aufgelaufener Winterweizen waren in der Blattentwicklung, Wintergerste stellenweise am Beginn der Bestockung. Der Blattfall der Laubbäume war am Ende der zweiten Dekade abgeschlossen. Mit dem Einsetzen der winterlichen Witterung stellte sich bei Tagesmitteltemperaturen von weniger als 5°C die Vegetationsruhe ein.

Im **Dezember** setzte sich die unbeständige und überwiegend nass-kalte Witterung mit Regen- und Schneefällen fort. Die mittleren Krummentemperaturen lagen beständig in der Nähe des Gefrierpunktes, die Böden waren frostfrei. In einer trockenen Kälteperiode ab den Weihnachtsfeiertagen gefroren die Böden bis in Tiefen um 20 cm. Niederschläge, auch in Form von Schnee, traten vor allem in der ersten Monatshälfte auf, dann blieb es trocken. Am Jahresende war nur in den höheren Mittelgebirgslagen von Ost- und Süddeutschland eine Schneedecke anzutreffen. Die Bodenfeuchten lagen im gesamten Dezember im Sättigungsbereich, im Rhein-Main-Gebiet und in der Pfalz um 80% nFK.

Landwirtschaftliche Außenarbeiten wurden im Monatsverlauf nicht mehr vorgenommen. Es wurden aber weiterhin an Feldrändern gelagerte Zuckerrüben zu den Fabriken transportiert. Bei Tagesmitteltemperaturen von meist weniger als 5°C setzte sich die Vegetationsruhe im gesamten Dezember fort.

#### *Die phänologische Entwicklung im Jahre 2008*

Ein sehr milder Januar ließ die Schneeglöckchenblüte bereits in der zweiten Januardekade in den klimatisch begünstigten Gebieten des Westens und Südwestens beginnen. Bis zum Ende des ersten Februardrittels wurde diese Phase auch aus den übrigen Gebieten gemeldet. Damit setzte der Vorfrühling allgemein ca. vier Wochen verfrüht ein.

Dieser Trend wurde durch winterliche Witterungsabschnitte im Februar und März deutlich abgeschwächt. So begann die Apfelblüte im Westen, Südwesten sowie im südlichen Ostdeutschland im letzten Aprildrittel, im übrigen Deutschland in den ersten Maitagen. Die Eintrittsdaten und damit der Beginn des Vollfrühlings waren nur noch ca. 10 Tage verfrüht.

Ein warmer Mai führte zum Ährenschieben des Winterroggens in der ersten Monatshälfte, so dass der Beginn des phänologischen Frühsommers, der mit dieser phänologischen Phase zusammenfällt, weiterhin um ca. 10 Tage verfrüht auftrat.

In den Sommermonaten lagen die Monatsmitteltemperaturen bei einer unbeständigen Witterung nur geringfügig über den vieljährigen Durchschnittswerten. So wurden die ersten reifen Kastanien, die den Beginn des Frühherbstes anzeigen, in der ersten Septemberdekade im Westen, Südwesten und verbreitet im Osten beobachtet. Im übrigen Deutschland begann der Frühherbst im zweiten und letzten Septemberdrittel. Die Eintrittsdaten waren im Norden und Osten um ca. 10 Tage, in den anderen Gebieten nur um wenige Tage verfrüht. Im Bergland wurden die Kastanien um eine Woche verspätet reif.

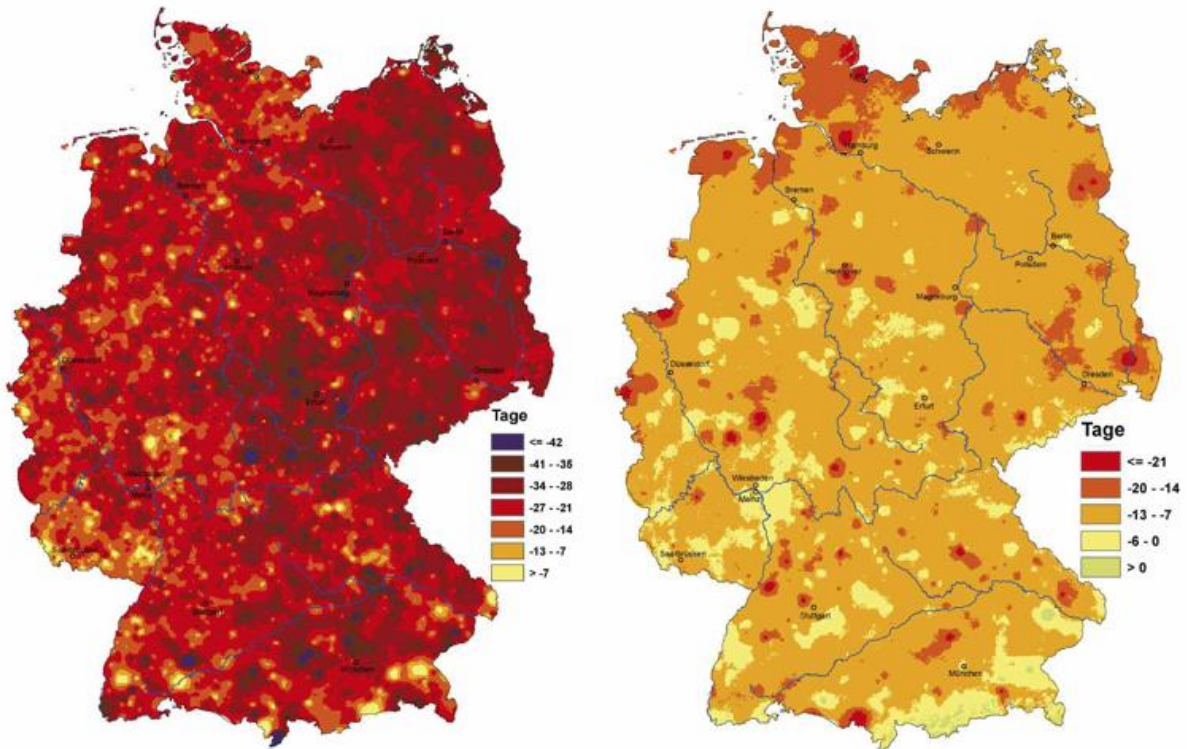


Abb. 1: Abweichung der Schneeglöckchen-(links) und Apfelblüte (rechts) vom vieljährigen Mittel

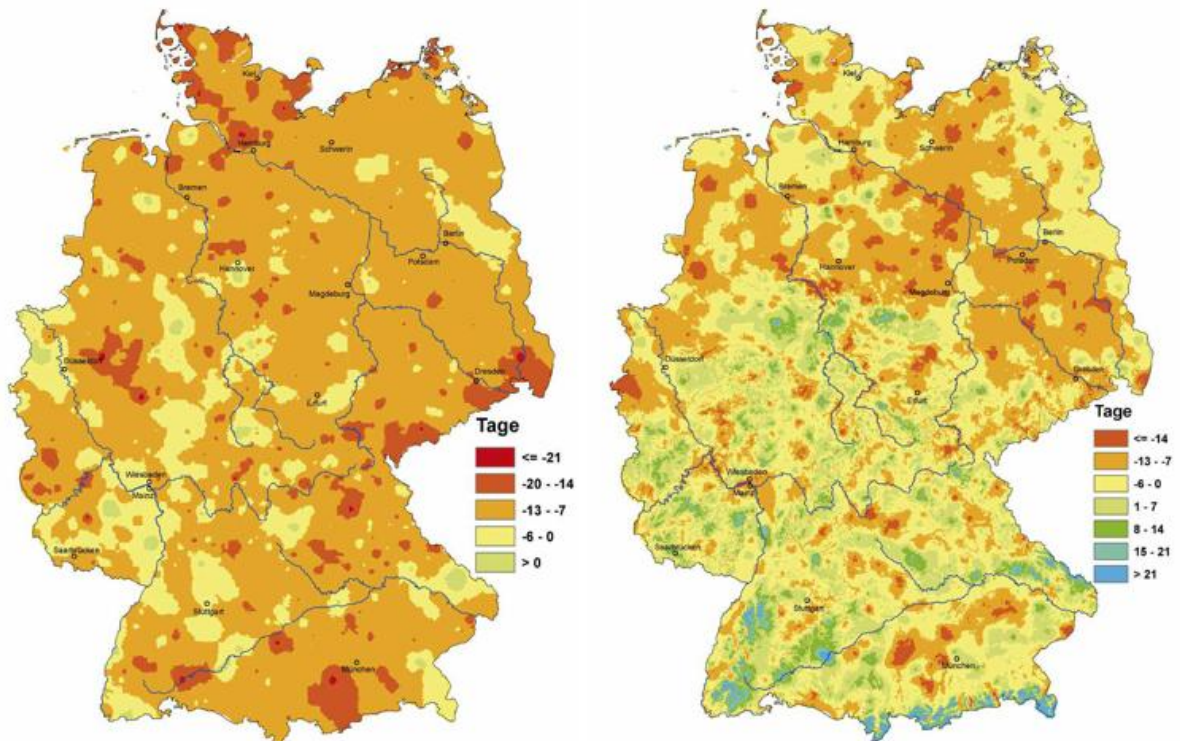


Abb. 2: Abweichung der Eintrittsdaten für das Ährenschieben vom Winterroggen (links) und der Fruchtreife der Rosskastanie (rechts) vom vieljährigen Mittel

## *Betrachtungen zum Weinbau 2008*

Beim Weinbau beeinflusste das durchwachsene Wetter den Eintritt der phänologischen Phasen erheblich, was am Beispiel des Rheingaus näher betrachtet werden soll. Nach einem außergewöhnlich warmen Januar und Februar war man wieder auf eine beschleunigte Entwicklung der Reben eingestimmt. Mehrere kühle und auch feuchte Witterungsabschnitte im März und April sorgten allerdings dafür, dass der Austrieb Ende April etwa zum langjährigen Durchschnittstermin erfolgte. Das warme und sonnige Maiwetter beschleunigte die Rebentwicklung. Dadurch wurde die Entwicklungsphase zwischen Austrieb und Blühbeginn beim Riesling stark verkürzt, so dass die Blüte Anfang Juni beim Riesling 2 Wochen früher als im langjährigen Vergleich einsetzte. Die weitere Entwicklung wurde in den Sommermonaten von häufigen Niederschlägen und mäßig warmem Wetter begleitet, und der Vorsprung wurde nach und nach wieder abgebaut. Im August setzte beim Riesling in der ersten Dekade der Reifebeginn ein, wobei die Trauben zunächst auch zügig weiterreiften. Im September wurde die Reife durch kühles und trübes Wetter gebremst und die Säure nur zögerlich abgebaut. Anfang Oktober begann die Lese beim Riesling.

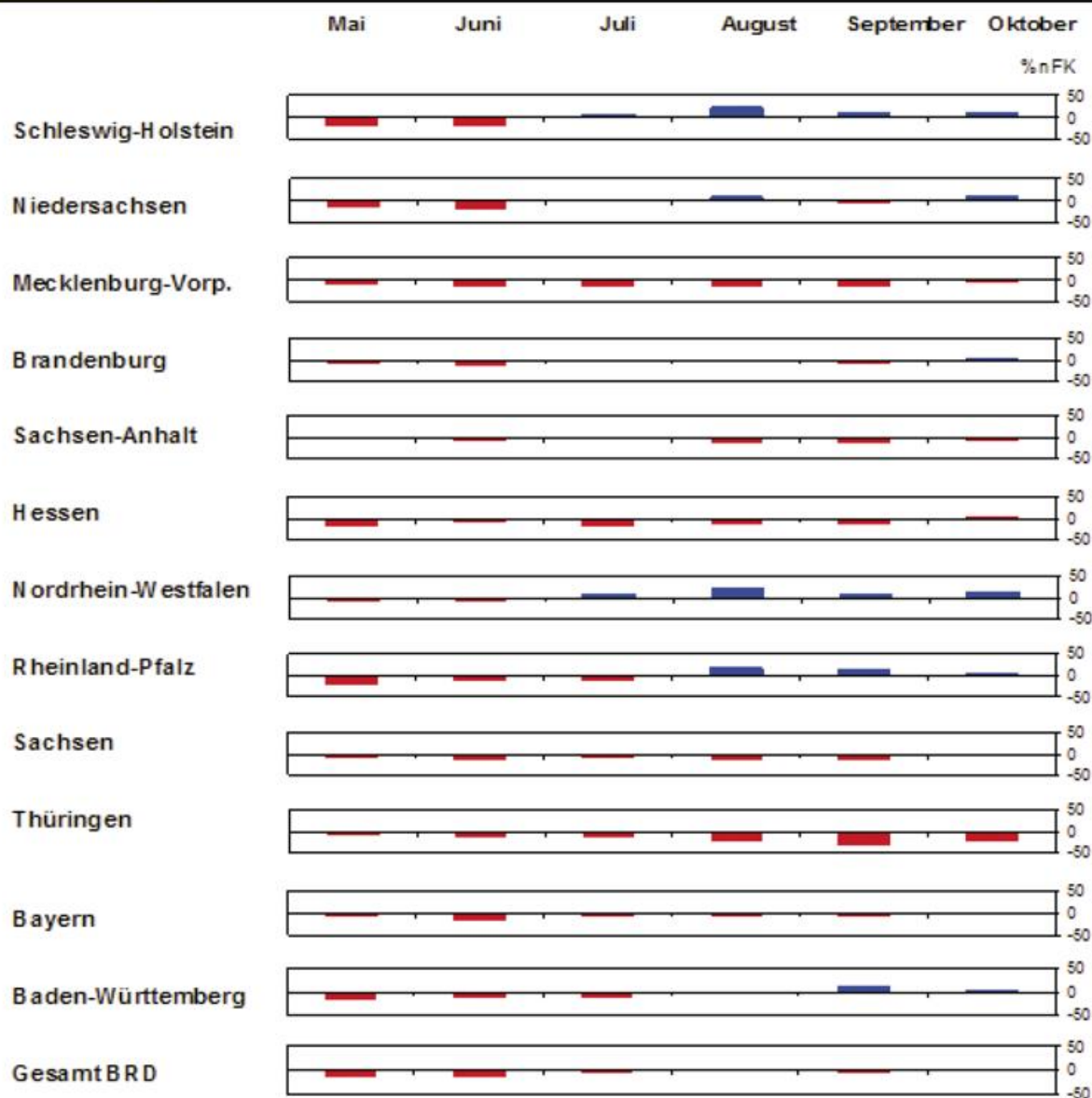
Es wurde eine leicht überdurchschnittliche Erntemenge erzielt. Da besonders zur Reifezeit keine längere Schönwetterperiode auftrat, wurden überwiegend Weine mittlerer Qualitätsstufe erzeugt. Nach einigen Spitzenjahrgängen steht den Winzern nun wieder ein Wein zur Verfügung, der die Nachfrage nach mittleren Qualitäten bedient. Probleme gab es in diesem Jahr besonders mit dem Echten Mehltau (Oidium), wobei der Infektionsdruck durch den häufigen Wechsel von kühlen und warmen Phasen aufrecht erhalten wurde. Aufgrund der üppigen Wasserversorgung und dem dadurch begünstigten Dickenwachstum platzten einzelne Beeren, was in einigen Trauben zu Fäulnisnestern führte.

Da das Lesegut teilweise von Fäulnis bedroht war, wurden bei den meisten Weingütern bereits während der regulären Lese alle Trauben geerntet. Nur einzelne Weingüter konnten Trauben zur Erzeugung von Eiswein hängen lassen. Trotz des Kälteeinbruchs nach Weihnachten reichte die Kälte in den meisten Lagen nicht aus, um die Trauben vor dem Jahreswechsel ausreichend durchfrieren zu lassen. So verzögerte sich das Ende der Lese bis in den Januar 2009, bis Schnee und Dauerfrost für geeignete Voraussetzungen zum Durchfrieren der Trauben sorgten.

### *Bodenfeuchte und Mikroklima*

#### *Schlagzeile*

Die mikroklimatischen Bedingungen in 2008 wurden geprägt durch die milden Monate Januar und Februar und insbesondere durch den extremen Mai. Der Mai mit geringen Niederschlägen und extrem hohen Verdunstungsraten dominierte gleichzeitig auch die Bodenfeuchtesituation zum Teil bis in den Sommer hinein.



**Abb. 1:** Monatliche Abweichungen der Bodenfeuchte von Wintergetreide auf leichten Standorten (% NFK) im Jahr 2008 vom langjährigen Mittelwert 1962 – 2006 (rot = zu trocken, blau = zu feucht)

### *Die Bodenfeuchtesituation während der Vegetationszeit 2008*

Die Bodenfeuchtesituation 2008 (siehe Abb.1) war geprägt durch geringe Niederschläge kombiniert mit hohen Verdunstungsraten im Mai. Obwohl regional sehr unterschiedlich, waren in allen Bundesländern negative Abweichungen der Bodenfeuchte zu verzeichnen. Insbesondere in Schleswig-Holstein, Hessen, Nordrhein-Westfalen und Baden-Württemberg waren deutliche Abweichungen vom langjährigen Mittelwert zu beobachten. Die relativ geringen Abweichungen in Bayern resultieren aus den einerseits extremen Bedingungen in Nordbayern, die oben durch die entspannten Bedingungen in den südlichen Landesteilen kompensiert werden. Zu der Häufigkeit dieser Bedingungen siehe auch Abbildung 2. Während in den Bundesländern Schleswig-Holstein, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz im Juli bzw. August die negativen Abweichungen der Bodenfeuchte vom langjährigen Mittelwert in eher zu feuchten Bedingungen wechselten, blieben in den übrigen Gebieten die Abweichungen zu trockenen Bedingungen erhalten.

**Tab. 1** Charakteristische agrarmeteorologische Kenngrößen für das Jahr 2008. Die Tabelle enthält die Abweichungen vom langjährigen Mittelwert (1962-2006) im Jahr 2008 für die Parameter Bodentemperatur, Minimumtemperatur in Bodennähe, Penman-Verdunstung und Benetzungszeit. Die rot dargestellten Werte stellen zu warme, bzw. Zeiten mit hoher Verdunstung und geringer Blattbenetzung, die blauen Werte zu niedrige Temperaturen, hohe Blattbenetzung und geringe Verdunstung dar.

**Abweichungen vom langjährigen Mittel für das Jahr 2008**

	Januar		Februar		März			April			Mai			Juni						
	A	B	A	B	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C				
Schleswig-Holstein	2.8	4.6	2.9	4.0	0.9	1.0	112.3	5.5	0.7	0.2	100.6	101.4	2.5	-0.1	135.7	55.8	1.2	0.3	123.2	68.4
Niedersachsen	3.0	4.7	2.6	3.0	0.6	1.0	109.3	6.9	0.0	0.2	89.6	105.2	2.3	0.4	120.0	64.0	1.5	0.4	116.4	68.7
Mecklenburg-Vorp.	2.2	4.1	3.1	4.5	1.2	1.5	109.8	4.2	0.6	0.9	88.0	117.4	2.0	-0.1	123.1	66.6	0.8	-0.3	120.0	56.1
Brandenburg	2.3	4.6	3.3	4.6	0.9	1.4	100.5	5.5	0.1	0.9	82.1	135.7	2.1	0.4	114.2	59.9	1.9	0.5	122.4	56.5
Sachsen-Anhalt	2.9	5.1	3.2	4.3	1.1	1.2	110.6	4.7	0.5	1.1	84.9	126.3	2.3	0.5	111.0	65.1	2.5	0.7	126.3	65.1
Hessen	2.4	4.4	1.9	2.3	0.1	0.4	107.3	6.4	-1.1	-0.1	79.6	121.3	2.3	1.9	117.0	60.4	1.4	0.8	114.3	76.1
Nordrhein-Westfalen	3.0	4.0	2.3	2.0	0.2	0.6	103.0	7.0	-0.1	0.0	90.7	96.0	2.6	1.7	112.0	63.9	1.5	0.7	107.4	87.8
Rheinland-Pfalz	2.2	3.7	2.3	2.0	-0.1	0.4	95.0	8.4	-0.5	0.1	81.3	112.5	2.8	2.8	123.1	51.5	1.8	1.2	105.4	77.6
Sachsen	2.0	5.3	2.7	4.7	0.6	1.0	113.0	1.9	0.3	0.6	83.4	128.4	2.2	0.9	109.6	79.6	2.4	1.1	118.8	66.1
Thüringen	2.3	5.5	2.4	4.1	0.6	0.9	122.6	3.2	-0.2	0.6	82.5	123.6	2.4	1.0	113.4	68.0	2.2	1.0	120.1	71.6
Bayern	1.4	5.2	2.3	3.8	0.4	1.0	102.0	5.5	0.0	0.5	86.0	113.5	2.0	1.4	115.2	51.2	1.8	1.6	105.6	82.3
Baden-Württemberg	1.7	3.2	2.1	1.7	0	0.3	103.2	6.0	-0.6	0.3	81.8	118.7	2.4	1.9	121.0	46.5	1.5	1.4	99.2	92.2
Gesamt BRD	2.2	4.5	2.5	3.3	0.5	0.9	105.8	5.7	0.0	0.4	86.2	115.0	2.3	1.1	118.8	59.1	1.6	0.9	112.4	74.7

	Juli			August			September			Oktober			November			Dezember				
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C		
Schleswig-Holstein	0.6	0.7	105.8	0.2	-0.3	1.0	79.8	4.4	-0.1	-0.3	93.7	-6.6	0.1	0.3	82.8	8.7	1.3	1.6	0.6	1.3
Niedersachsen	0.5	0.5	100.6	0.3	0.0	0.9	89.8	1.2	-0.5	-0.8	94.5	-4.9	0.1	0.4	86.4	8.8	1.0	1.0	0.0	0.4
Mecklenburg-Vorp.	0.6	0.3	108.1	-1.6	-0.3	0.6	89.5	1.0	-0.2	-0.1	90.2	-2.4	0.0	0.1	81.1	9.9	1.4	1.5	0.7	1.3
Brandenburg	0.4	0.4	98.0	-0.3	-0.1	0.7	92.2	0.5	-0.3	-0.2	85.2	9.6	0.2	0.4	80.7	14.6	1.3	1.2	0.5	1.5
Sachsen-Anhalt	0.8	0.8	100.1	0.5	0.5	1.0	99.7	-1.3	-0.2	-0.2	87.0	8.5	0.5	0.4	91.0	12.5	1.3	1.3	0.4	1.4
Hessen	0.2	-0.1	105.8	-1.5	-0.3	0.5	99.8	-1.8	-1.5	-1.1	88.9	7.4	-0.6	-0.4	79.8	10.5	0.9	0.1	-0.4	-0.1
Nordrhein-Westfalen	0.0	0.1	93.3	2.6	-0.1	0.8	90.6	0.3	-1.1	-1.5	90.4	-3	-0.3	-0.4	82.8	6.5	0.5	0.3	-0.6	-0.6
Rheinland-Pfalz	0.2	0.2	101.3	-1.1	-0.4	0.3	89.9	-0.6	-1.6	-1.5	85.1	6.2	-0.1	-0.2	79.7	6.5	0.9	0.5	-0.6	-0.3
Sachsen	0.6	0.5	103.6	-1.4	0.3	0.6	105.3	-1.5	-0.8	-0.8	84.7	7.2	0.2	0.1	90.2	11.1	1.3	0.9	0.1	1.4
Thüringen	0.5	0.4	107.5	-1.3	0.3	1.0	109.9	-3.1	-1.2	-1.2	88.8	-9	0.0	-0.2	92.4	11.3	1.0	0.6	-0.2	0.6
Bayern	0.2	0.5	102.5	-0.7	0.3	0.3	102.6	-0.8	-1.3	-0.8	82.8	7.9	-0.1	0.0	80.2	6.8	1.1	0.3	0.1	1.5
Baden-Württemberg	0.1	-0.1	99.0	-0.9	-0.1	0.0	95.2	-0.7	-1.8	-1.5	80.5	7.4	-0.2	-0.2	90.6	7.6	0.5	-0.1	-0.6	0.1
Gesamt BRD	0.3	0.3	101.6	-0.3	0.0	0.6	94.5	0.0	-1.0	-0.9	87.1	3.0	0.0	0.0	84.2	8.9	1.0	0.7	0.0	0.7

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

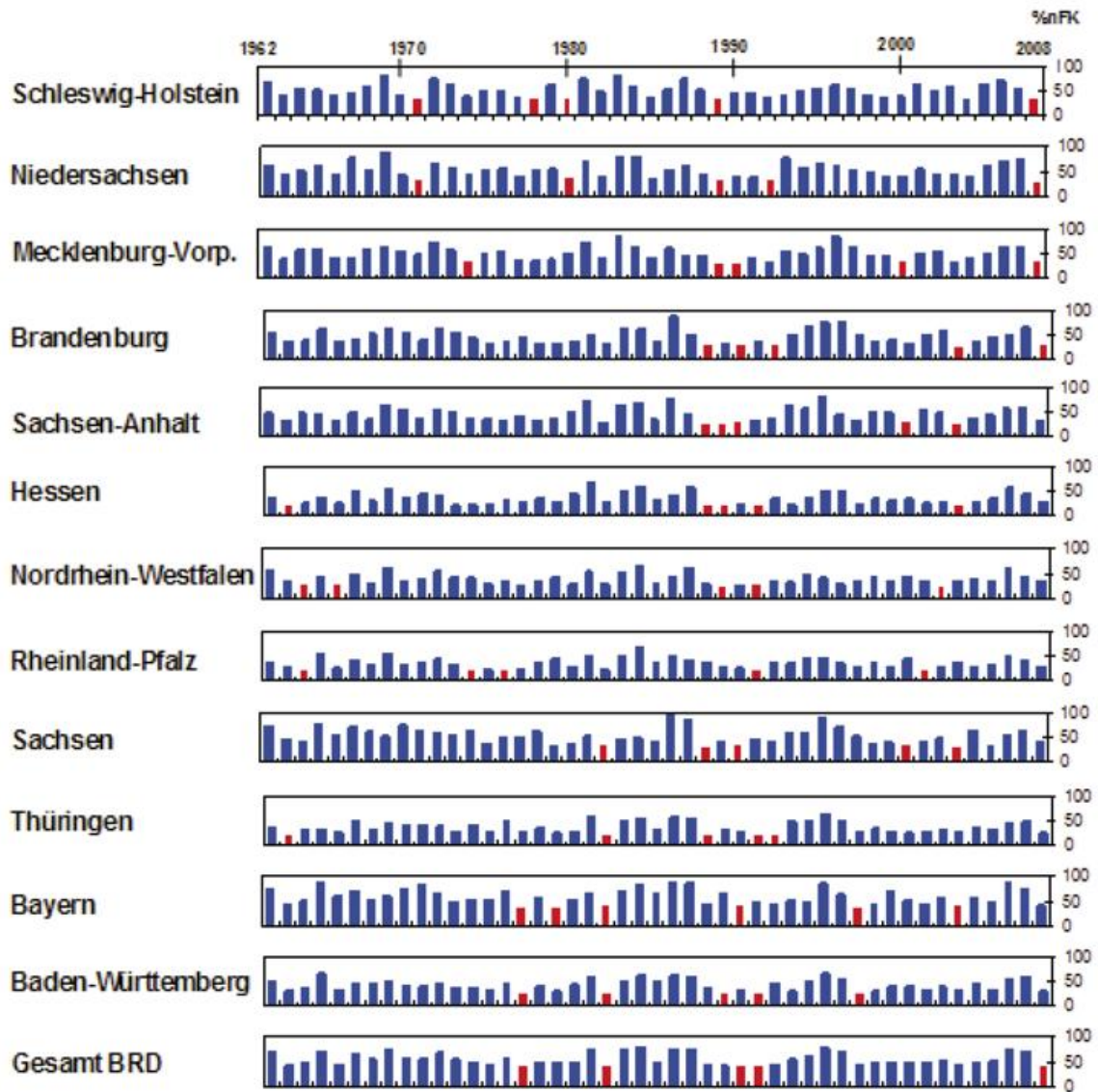
## *Mikroklima 2008*

Wie aus der Tabelle 1 ersichtlich, sind im Jahr 2008, wie schon in den Vorjahren, die meisten Monate bei den Bodentemperaturen und den Minimumtemperaturen in Bodennähe als zu warm zu bezeichnen. Insbesondere die Wintermonate Januar und Februar waren wieder deutlich zu warm. Auch der Mai wies extrem positive Abweichungen auf. Im Mai und teilweise auch im Juni kamen dazu noch Abweichungen bei der Penman-Verdunstung mit ca. 120 % des langjährigen Monatsolls hinzu. Der Winter 2008/2009 begann im November zunächst wieder mit deutlichen Abweichungen nach oben, der Dezember zeigte jedoch schon eine etwas uneinheitliche Tendenz. Der Wintereinbruch zum Ende des Jahres beendete anschließend die zu warmen Perioden.

In ganz Deutschland einheitlich zu kalt und mit unterdurchschnittlichen Verdunstungswerten war eindeutig der September. Nicht ganz einheitlich, aber als etwa im normalen Bereich lassen sich der August und Oktober klassifizieren.

## *Besondere Situation 2008*

Der niederschlagsarme Mai, kombiniert mit hohen Verdunstungsraten, führte in vielen Regionen zu extrem geringen Bodenfeuchten, verbunden mit Ertragseinbußen bzw. mit den frühen Einsätzen von Beregnungsmaßnahmen. In der Abbildung 2 sind die Bodenfeuchtebedingungen (% nFK) für leichte Standorte und Wintergetreide für die Bundesländer seit 1962 zum Zeitpunkt Anfang Juni dargestellt. Die roten Säulen kennzeichnen jeweils die fünf geringsten Bodenfeuchten in diesem Zeitraum. Für die gesamte Bundesrepublik und die Bundesländer Schleswig-Holstein, Niedersachsen, Mecklenburg-Vorpommern und Brandenburg zählt damit 2008 zu den fünf Jahren mit den geringsten Bodenfeuchten. Es wird aber auch deutlich, dass in vielen Bundesländern das Jahr zu diesem Zeitpunkt keine besonders extremen Bedingungen bei der Bodenfeuchte aufwies, zumindest nicht zu den fünf extremsten Jahren seit 1962 zu zählen ist. Dabei gibt es in den einzelnen Bundesländern selbstverständlich regional große Unterschiede. So findet man auf einzelne Regionen bezogen durchaus extreme Bedingungen, wie z.B. in Nordbayern, die jedoch durch ausgeglichene Bestände in den südlichen Landesteilen kompensiert werden.



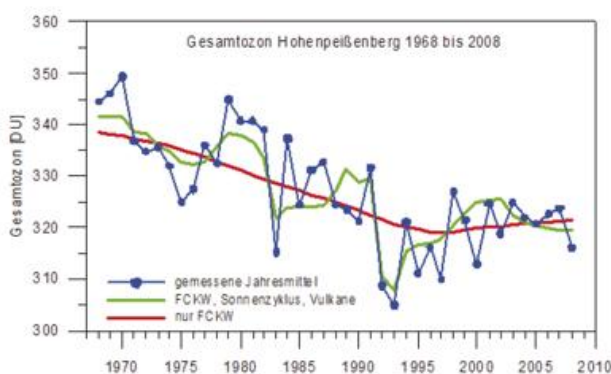
**Abb. 2** Bodenfeuchtezustand (% nFK) jeweils Monatsbeginn Juni, 1962 – 2008, für leichte Böden und Wintergetreide, rot = fünf geringsten Bodenfeuchten seit 1962

## Entwicklung der Ozonschicht

H. Claude, W. Steinbrecht, U. Köhler

Nach mehr als einer Dekade mit nahezu kontinuierlich ansteigenden Gesamtozonwerten wurde dieser Trend 2008 vorerst unterbrochen. Mit 316 Dobson Einheiten (DU) lag der Jahresmittelwert am Hohenpeißenberg um etwa 2% signifikant unter den Mittelwerten der vorangegangenen 5 Jahre. Auch andere europäische Stationen zeigten eine ähnliche Entwicklung. Innerhalb der 41 Jahre langen Gesamtozon-Messreihe am Hohenpeißenberg wiesen nur 6 Jahre noch niedrigere Gesamtozon-Jahresmittel auf; drei davon aber jeweils nach starken Vulkanausbrüchen (El Chichon 1983, Pinatubo 1992/93).

Dennoch bewegte sich das Jahresmittel 2008 nahe eines zu erwartenden Verlaufs, der durch die längerfristige Entwicklung maßgeblicher Einflussfaktoren vorgegeben ist (grüne Linie in Abb. 11). Diese Faktoren sind der gesamt-stratosphärische Chlorgehalt, der 11-jährige solare Zyklus und die bereits erwähnten Vulkanaerosole. So hat der Rückgang der Vulkanaerosole nach 1992/93 zusammen mit der Zunahme der solaren Aktivität bis zum solaren Maximum 2002 zu dem starken Ozonanstieg in dieser Episode geführt. Wegen der dann folgenden Abschwächung der solaren Aktivität war schon ab 2005 mit niedrigeren Ozonwerten zu rechnen, was aber 2006/07 durch weitere Einflüsse verhindert wurde. Erst 2008 bewirkte die zusätzliche Kombination aus westlicher Phase der quasi-biennalen Oszillation (QBO) und positiver Phase der Arktischen Oszillation (AO)/Nordatlantik Oszillation (NAO) einen deutlicheren Rückgang beim Gesamtozon, da diese Faktoren je nach Phasenlage über eine veränderte Dynamik zu höheren oder niedrigeren Gesamtozonwerten beitragen.



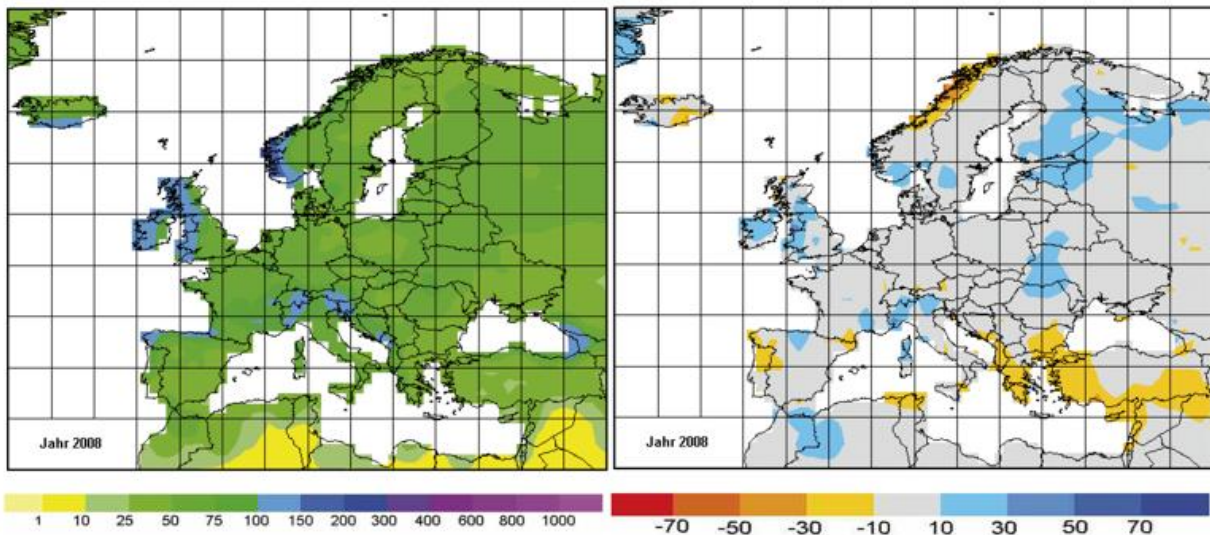
**Abb. 1:** Blaue Kurve: Jahresmittel des Gesamtozons aus Hohenpeißenberger Messungen. Die rote und die grüne Linie sind Ergebnisse einer Schätzung von Einflussfaktoren mittels linearer Regression. (Rote Linie: Langjähriger Verlauf durch anthropogenes Chlor (aus FCKWs). Grüne Linie: Langjähriger Verlauf durch Chlor, Vulkanausbrüche, und 11-jährigen Sonnenzyklus).

Jahre mit auffallend höherem oder niedrigerem Gesamtozon kommen immer wieder vor. So war in den Jahren 1997 und 2000 die Ozonschicht über Mitteleuropa ebenfalls geschwächt. In diesen Jahren war im vorangegangenen Winter der arktische Polarwirbel besonders kalt und stabil, wodurch es zu einem verstärkten, chemisch bedingten Ozonabbau kam. Die ozonärmeren Luftmassen erreichten im Frühjahr und Frühsommer auch Mitteleuropa und verursachten hier Rekordminima mit erhöhter Sonnenbrandgefahr. Bei entsprechender Wetterlage sind solche tiefen Werte auch heute noch möglich. Bisher beträgt die Ozonerholung aufgrund des beginnenden Chlorrückgangs in der Stratosphäre nämlich nur geringfügige 2 bis 3 Dobson-Units.

## Zeitlich-räumliche Verteilung der Gebietsniederschläge in Europa

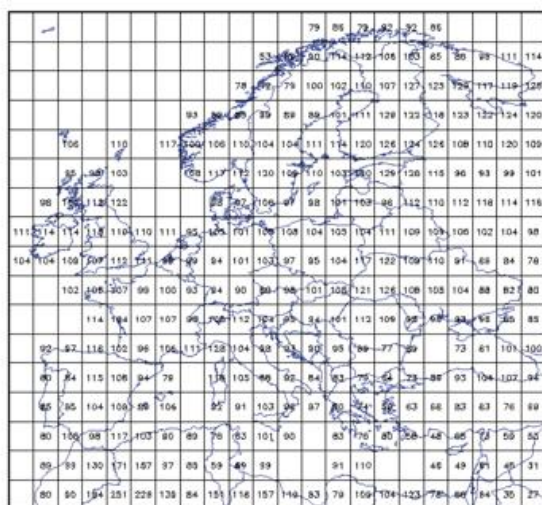
T. Fuchs

Die Analysen des Weltzentrum für Niederschlagsklimatologie (WZN) zeigen im Jahr 2008 überwiegend geringe Abweichungen der Gebietsniederschläge in Europa von den vieljährigen Mittelwerten des Zeitraumes 1951-2000. In der Anomaliekarte (Abb. 1b) fallen besonders die großflächigen Niederschlagsdefizite in Portugal, im östlichen Mittelmeerraum sowie in der Mitte von Norwegen auf. Niederschlagsüberschüsse traten in Großbritannien und Irland, im Süden von Norwegen, Schweden und Finnland, in Estland und dem äußersten Nordwesten von Rußland, im Westen der Ukraine, sowie in Norditalien auf. Das größte Niederschlagsdefizit mit örtlich weniger als 60% der mittleren Jahresniederschläge ist in der prozentualen Anomalieanalyse (Abb. 1c) in der Mitte von Norwegen erkennbar, in Finnland hingegen wurde das 1,3-fache der normalerweise zu erwartenden Niederschlagsmenge erreicht.



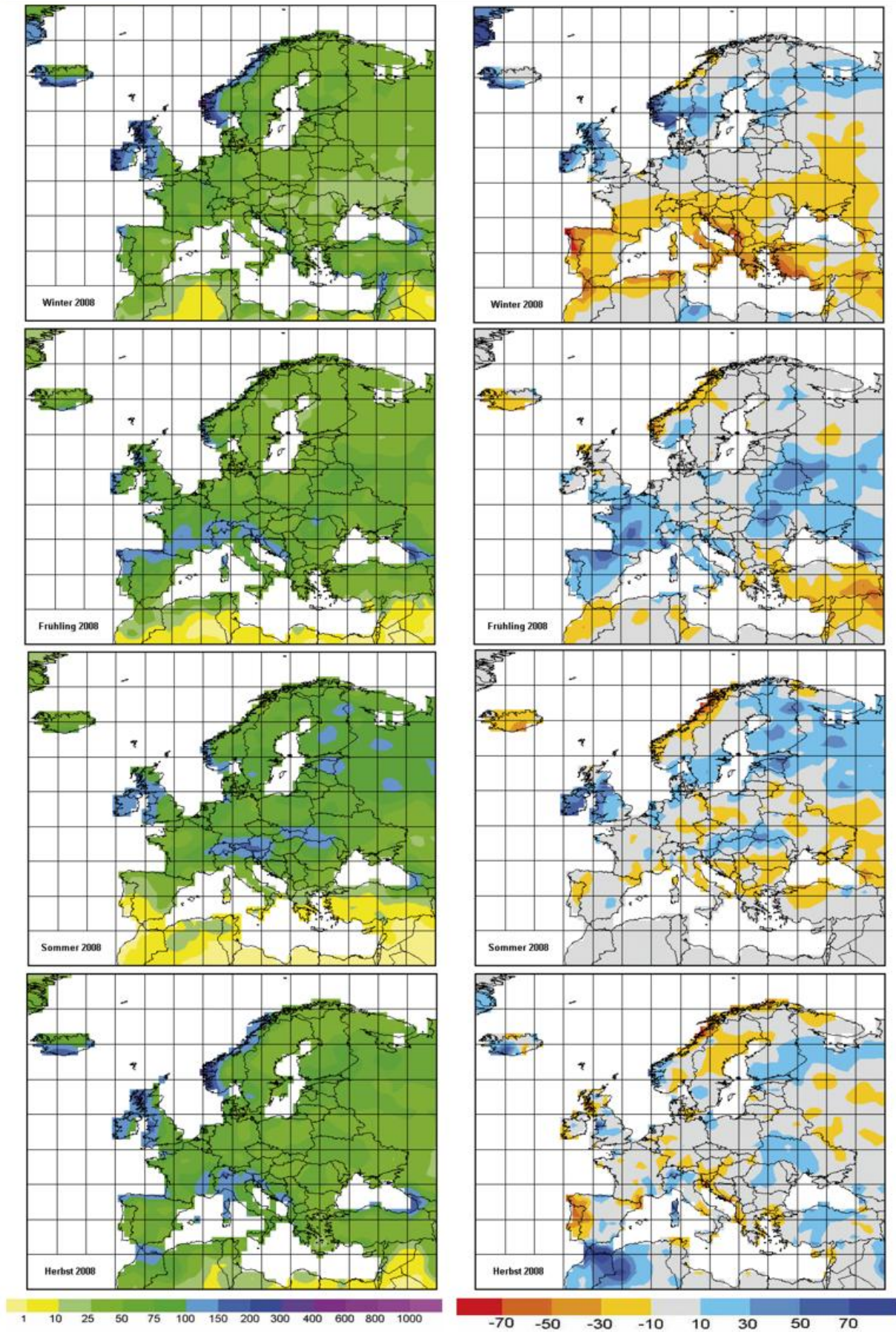
**Abb. 1a:** Niederschlagshöhe in mm/Monat im Jahr 2008

**Abb. 1b:** Niederschlagsanomalie im Jahr 2008 Abweichung in mm/Monat vom Mittelwert des Zeitraumes 1951-2000



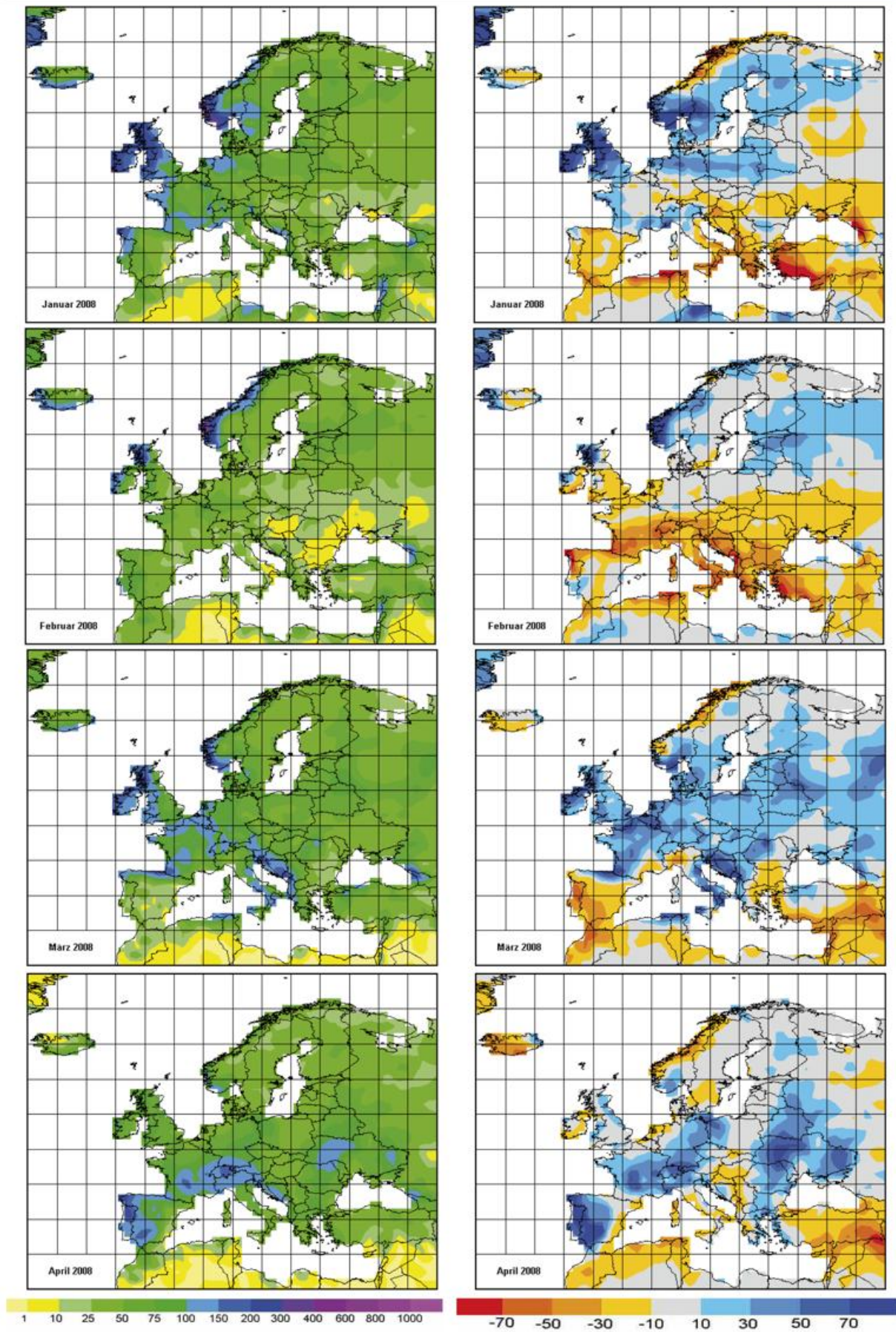
**Abb. 1c:** Jährlicher Niederschlag im Jahr 2008 in Prozent der Mittelwerte 1951 - 2000

Im jahreszeitlichen Überblick des Jahres 2008 (Abb. 2a und 2b auf der nächsten Seite) ist bemerkenswert: Im Winter großflächige Trockenheit in der Südhälfte Europas, in einem Streifen von den Britischen Inseln über den Süden von Skandinavien bis zum Weissen Meer hingegen zu feucht. Im Frühling war es im Westen von Europa wie auch im äußersten Osten großflächig zu feucht. Im Sommer dominierten überdurchschnittliche Niederschlagshöhen im Bereich der Britischen Inseln sowie im Nordosten Europas. Der Herbst war im Großteil Europas recht durchschnittlich, in Portugal und der Mitte Norwegens aber wesentlich zu trocken.



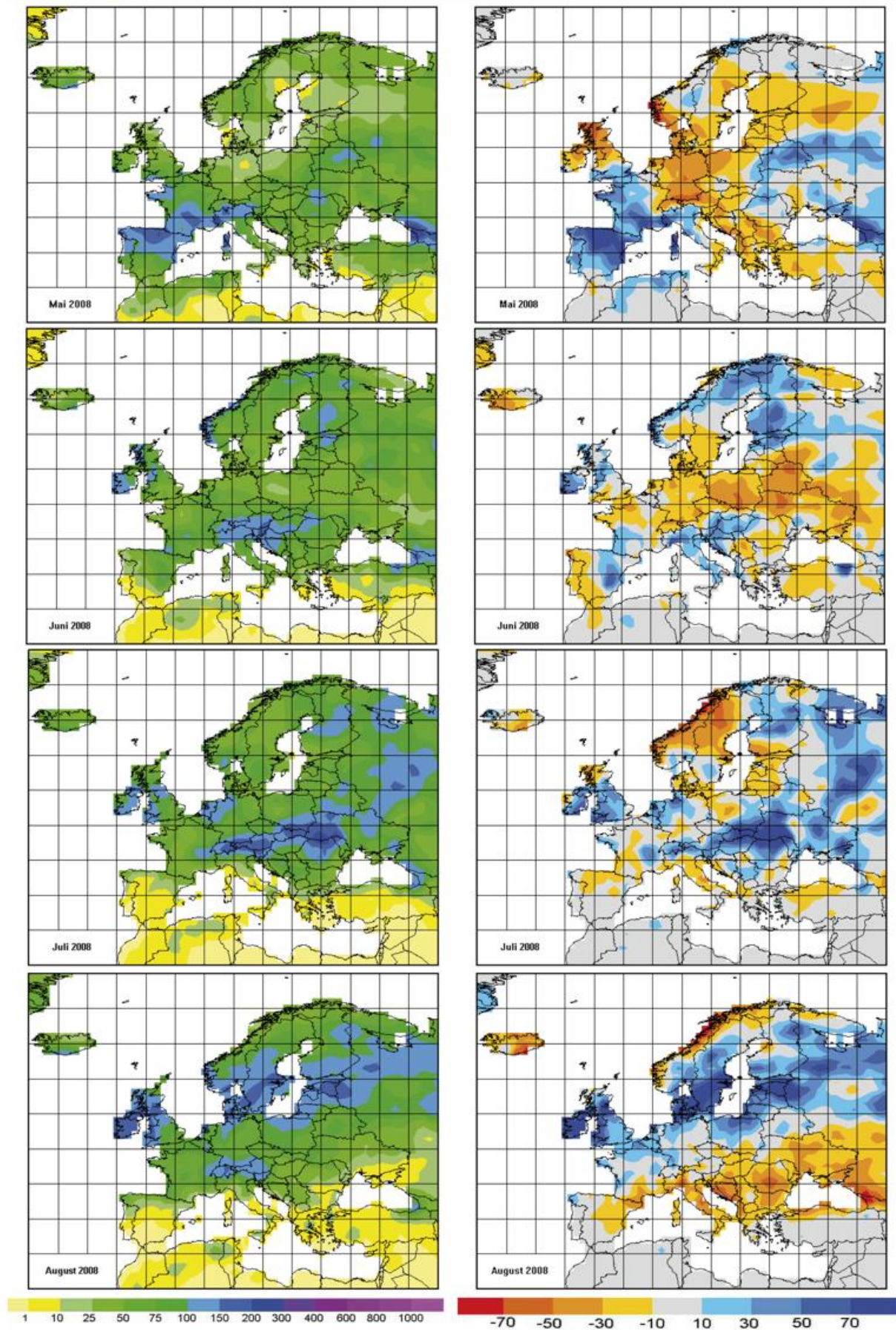
**Abb. 2a:** Niederschlagshöhe für die Jahreszeiten in mm/Monat

**Abb. 2b:** Niederschlagsanomalie für die Jahreszeiten in mm/Monat (Bezugszeitraum 1951-2000)



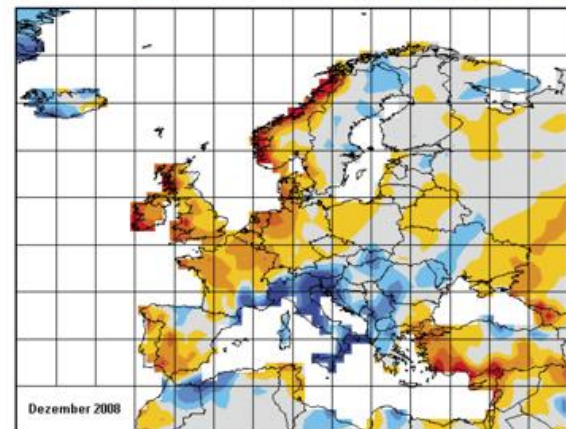
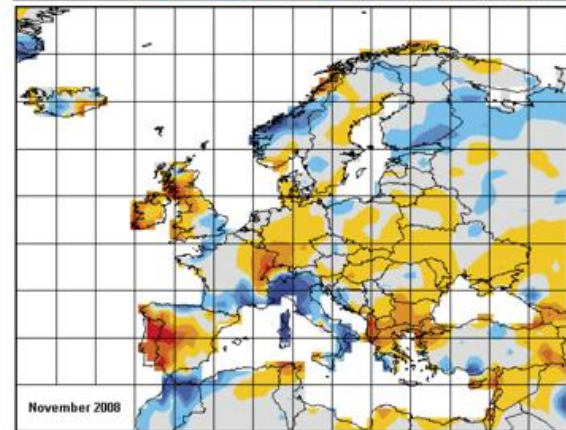
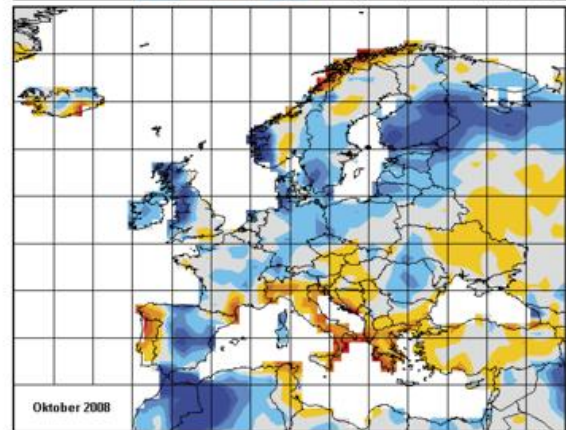
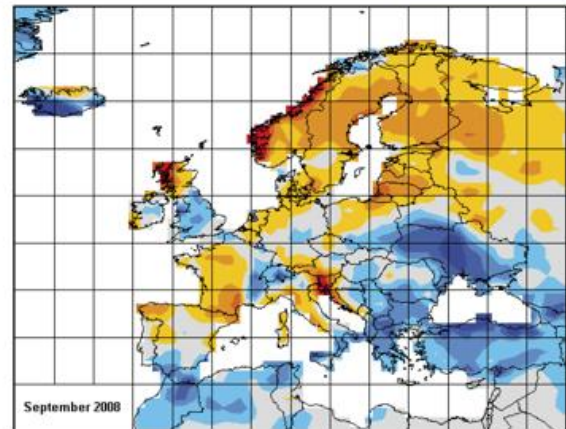
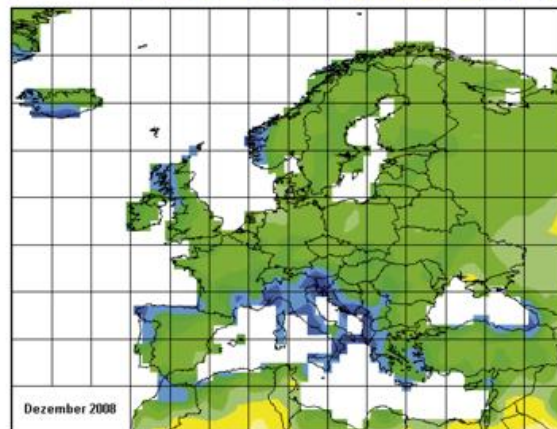
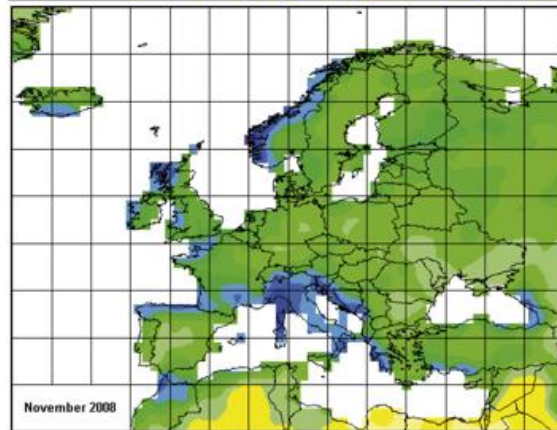
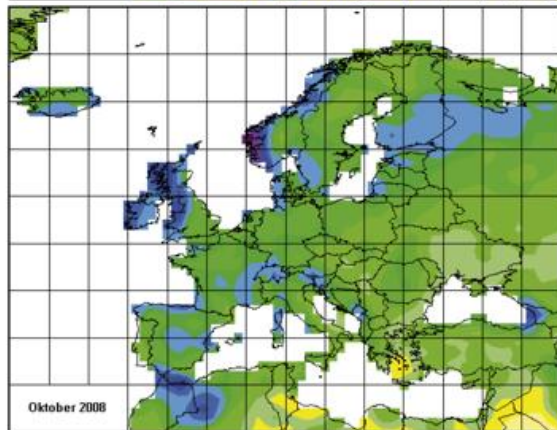
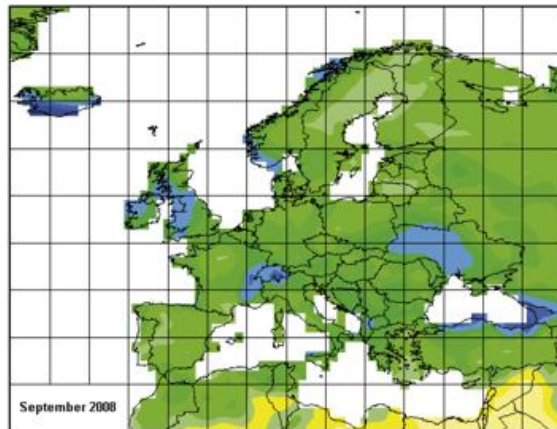
**Abb. 3a:** Monatliche Niederschlagshöhen in mm

**Abb. 3b:** Monatliche Niederschlagsanomalien in mm (Bezugszeitraum 1951-2000)



**Abb. 3a:** Monatliche Niederschlagshöhen in mm

**Abb. 3b:** Monatliche Niederschlagsanomalien in mm (Bezugszeitraum 1951-2000)



**Abb. 3a:** Monatliche Niederschlagshöhen in mm

**Abb. 3b:** Monatliche Niederschlagsanomalien in mm (Bezugszeitraum 1951-2000)

*Die monatlichen Niederschläge und extremen Niederschlagsereignisse in Europa im Jahr 2008 von Januar bis Dezember:*

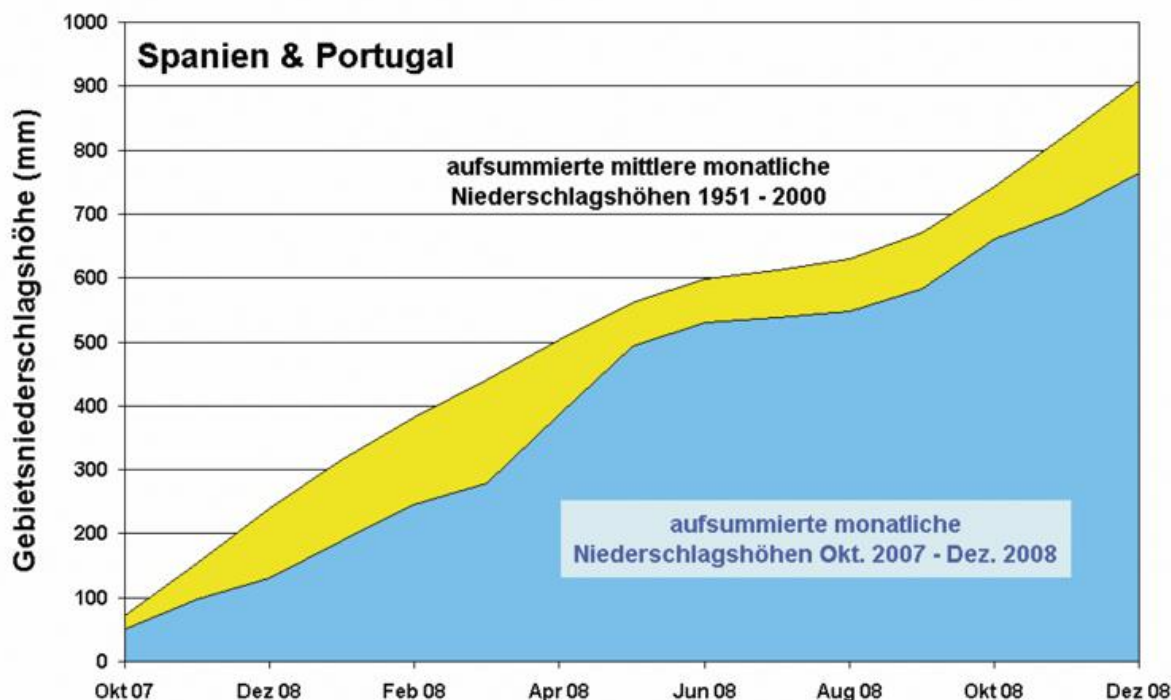
Kurzzeitige Extremniederschläge oder über mehrere Tage anhaltende ergiebige Niederschläge erreichen z.T. das durchschnittliche „Monatssoll“ bzw. liegen sogar höher und sind damit auch in den Karten der monatlichen Niederschlagshöhen (Abb. 3a) bzw. Niederschlagsanomalien (Abb. 3b) sichtbar. Wesentliche zu lokalen oder regionalen Hochwasser- bzw. Dürreschäden in Europa führende monatliche Niederschlagsereignisse werden nachfolgend für jeden Monat des Jahres 2008 kurz beschrieben.

Im **Winter** brachten Sturmtiefs ab Mitte **Januar** in Nordwest-Europa z.T. innerhalb von nur einem Tag die sonst übliche monatliche Niederschlagsmenge. Weiterer Regen in den Folgetagen führte zu mehr als 500 überfluteten Häusern in Nordengland (wo z.T. mehr als das 2,5-fache der dort im Januar normalen Niederschlagsmenge fiel) und deutlichen Einschränkungen des Bahnverkehrs in Südnorwegen. Anfang **Februar** wurden Schottland und wiederum Südnorwegen von Schneestürmen und heftigem Regen heimgesucht. In Lissabon wurde Mitte des Monats eine neue Höchstmarke für Februar-Tagesniederschlag erreicht: 118 Liter pro m<sup>2</sup>. Die seit Oktober 2007 andauernde schwerste Dürre seit mehr als 50 Jahren führte in Spanien, insbesondere in Katalonien und Andalusien, zu großer Wasserknappheit. In den Alpen zeichnete sich ähnlich wie der Vorwinter auch der Winter 2007/2008 durch großen Schneemangel aus.

Im **Frühjahr** überzogen mehrere Winterstürme im **März** Mitteleuropa und die Britischen Inseln mit heftigem Schnee und Regen, was den Straßen- und Bahnverkehr zum Teil völlig zum Erliegen brachte. In Spanien setzte sich die schwere Dürre fort. Insgesamt war dort seit Oktober 2007 im Flächenmittel 40 % weniger Niederschlag als normal zu verzeichnen. Erst im **April** brachte kräftiger Regen in der Westhälfte von Spanien wieder Feuchtenachschub. Der **Mai** war in ganz Spanien sehr naß und entwickelte sich dort zum feuchtesten Maimonat seit 1971, was zu einer deutlichen Verringerung des Niederschlagsdefizites der Vormonate beitrug (siehe Abb. 4). Am Monatsende wurden der Süden Frankreichs und der Nordwesten von Italien von Starkregen heimgesucht. Überschwemmungen und Erdbeben führten daraufhin z.T. zur völligen Blockade von Straßen und Bahnlinien.

Am Anfang des **Sommers** war im **Juni** wiederum Spanien betroffen: in der ersten Junihälfte führte kräftiger Regen im Nordwesten des Landes zu z.T. schweren Überschwemmungen. Im **Juli** traf es die Ukraine außergewöhnlich stark. Eine 9-tägige Periode mit heftigem Regen in der zweiten Monatshälfte verursachte dort die schwerste Hochwasserkatastrophe seit 100 Jahren: mehr als 30 Todesopfer und mehr als 17000 Evakuierte waren zu verzeichnen. Der Monat **August** war auf den Britischen Inseln außergewöhnlich feucht. In Nordirland war dies der feuchteste Augustmonat seit Beginn der regelmäßigen Wetteraufzeichnungen in 1914.

Der **Herbst** begann Anfang **September** mit überdurchschnittlich hohen Niederschlägen in Wales, Mittel- und Nordostengland, wo in nur 3 Tagen großflächig mehr als die normale Monatsmenge und örtlich bis zum 3-fachen der üblichen Regenmengen fielen. Als Folge mussten u.a. mehr als 200 Menschen evakuiert werden. In Algerien



**Abb. 4:** Akkumulierte monatliche Niederschläge über Spanien und Portugal von Okt. 2007 bis Dez. 2008 im Vergleich zu den akkumulierten klimatologischen Mittelwerten 1951-2000. Die blaue Fläche gibt die im Laufe der Zeit anwachsende Niederschlagssumme an, die gelbe Fläche kennzeichnet das Niederschlagsdefizit gegenüber den klimatologischen Mittelwerten 1951-2000.

fürten kräftige Niederschläge in der ersten Hälfte des Monats **Oktober** zu Überschwemmungen, die dort mehr als 60 Menschen das Leben kosteten. Auch im Nordwesten der Britischen Inseln war der Oktober deutlich zu naß, in Schottland war dies gar der feuchteste Oktobermonat seit 1954. In der ersten **Dezember**hälfte sorgte ein Genua-Tief für starke Schneefälle auf der Südseite der Alpen und kräftigen Regen in ganz Italien und entlang der östlichen Adriaküste. Innerhalb von 8 Stunden fiel in Rom mehr Regen als normalerweise im gesamten Dezember üblich. Als Folge davon überschwemmte der Tiber in Rom viele Straßen und Häuser in Flußnähe.

*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“ (Schneider et al., 2008) 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.

Das Analyseverfahren des WZN basiert auf Abweichungen der monatlichen Niederschlagssummen an Meßstationen von deren klimatologischen monatlichen Bezugswerten (für die Periode 1951-2000 bzw. darin enthaltene 30-jährige Zeiträume) bzw. an Stationen, wo kein Bezugswert verfügbar ist, auf Abweichungen von der hoch auf-

gelösten globalen Niederschlagsklimatologie des WZN (Schneider et al., 2008). Für die Analyse der absoluten Niederschlagsfelder werden die Anomaliewerte mittels der Analysemethode SPHEREMAP räumlich interpoliert und dann der globalen Niederschlagsklimatologie des WZN überlagert. Die Rastergröße der Analysen beträgt  $1^\circ$  mal  $1^\circ$  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. Alle gerasterten Analyseprodukte des WZN sind über die WZN-Homepage <http://gpcc.dwd.de> frei visualisierbar und zugreifbar.

#### Literatur

- Schneider, U., T. Fuchs und B. Rudolf (2008): Global Precipitation Analysis Products of the GPCP. 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

- 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>
- UK MetOffice climate and weather statistics: <http://www.metoffice.gov.uk/climate/uk/>

## Weltweite Besonderheiten der Witterung

### P. Hechler

Die Analysen führender Klimazentren ordnen das Jahr 2008 unter den wärmsten seit Aufzeichnungsbeginn ein. Nach den Berechnungen des UK Met Office Hadley Centre lag die mittlere **globale Lufttemperatur** (Meeresoberflächentemperatur und Lufttemperatur über Land) 0,31 K über der mittleren Jahrestemperatur des Referenzzeitraums 1961-1990 von 14,0°C; 2008 ist somit das zehntwärmste Jahr. NOAAs National Climatic Data Center zufolge lag das Jahr 0,49 K über dem vieljährigen Mittel des letzten Jahrhunderts (1901 – 2000) und ging als acht wärmstes Jahr in deren Beobachtungsreihen ein.

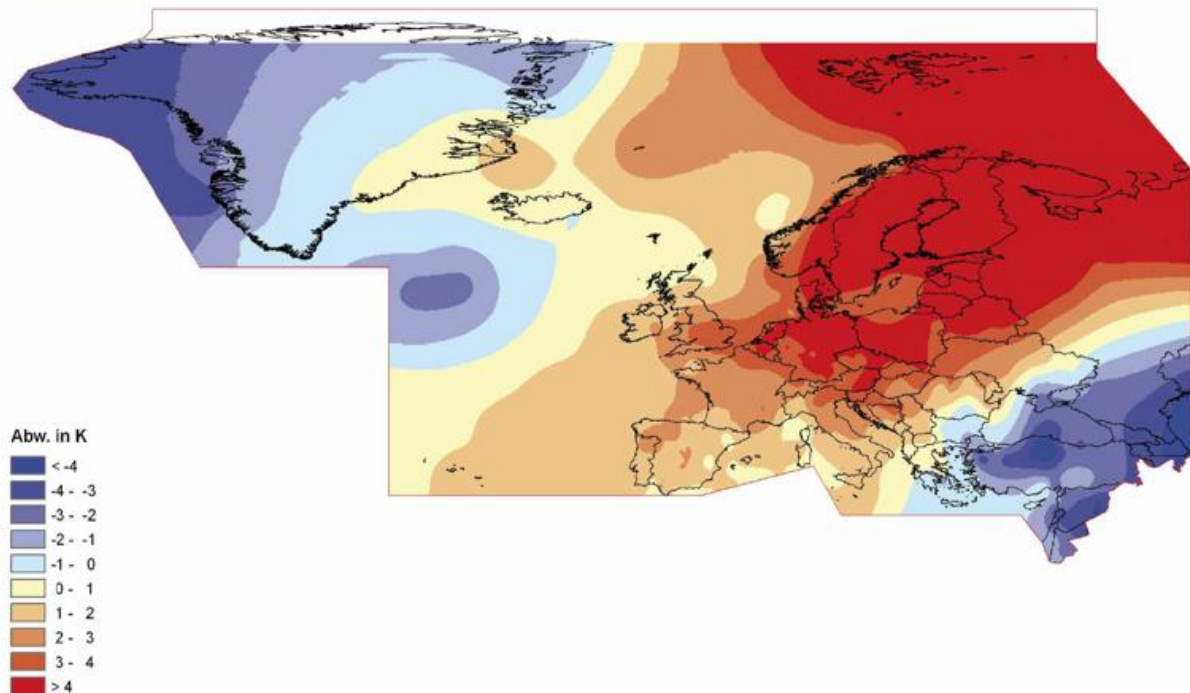
Die mittlere globale Lufttemperatur 2008 lag damit leicht unter denen der bisherigen Jahre des 21. Jahrhunderts; dies erklärt sich teilweise mit dem mäßigen bis starken **La Nina** Ereignis, welches sich bereits in der zweiten Hälfte des Jahres 2007 entwickelt hatte. Die mittlere globale Temperaturabweichung für Januar 2008 (+0,05 K) entsprach der geringsten monatlichen Anomalie seit Februar 1994 (-0,09 K) – alle weiteren Monate dieses Zeitraums waren mehr als 0,05 K zu warm.

Das La Nina Ereignis hielt bis Mai 2008 an. Nahezu neutrale Bedingungen herrschten über den größten Teil der zweiten Jahreshälfte 2008 vor. Die atmosphärischen Zirkulationsmuster sowie kühle Oberflächenwasser wiesen jedoch zum Ende des Jahres wiederum auf La Nina Verhältnisse im tropischen Pazifik hin.

Die Ausdehnung des **arktischen Meereises** fiel in der sommerlichen Schmelzperiode 2008 auf den zweitgeringsten Wert seit Beginn der Satellitenmessungen 1979. Die mittlere Ausdehnung des Meereises für den Monat September betrug 4,67 Millionen km<sup>2</sup>. Der bisher niedrigste Monatswert wurde im Jahr 2007 mit 4,3 Millionen km<sup>2</sup> gemessen.

Januar und Februar waren in fast ganz Europa sehr mild; die mittleren monatlichen **Temperaturabweichungen** betragen in einigen Gebieten Skandinaviens mehr als +7 K. In Teilen Finnlands, Norwegens und Schwedens war der Winter 2007/2008 der wärmste seit Aufzeichnungsbeginn. In Teilen Asiens von der Türkei bis China war der Winter hingegen bemerkenswert kalt und forderte Hunderte Menschenleben in Afghanistan und China. In diesen Regionen erreichten die Abweichungen von den mittleren Temperaturen im Januar -4 K bis -10 K. In Kanada, Alaska und im Norden der USA lagen die Februartemperaturen deutlich unter dem Durchschnitt; in einigen Gebieten wurden Abweichungen vom mittleren Tagesmittel von -4 K bis -5 K aufgezeichnet.

In Australien begann das Jahr mit dem landesweit wärmsten Januar seit 1950. Im März trat eine außergewöhnlich lang andauernde Hitzewelle auf, die große Teile des südlichen Australiens betraf. Adelaide erlebte die längste Hitzewelle seit Aufzeichnungsbeginn mit Tagesmaxima über 35°C an 15 Tagen in Folge (bisheriger Rekord: 8 aufeinander folgende Tage).



**Abb. 1:** Abweichung der Monatsmitteltemperatur vom Referenzwert 1961 - 1990 für Europa, April 2008

Der Frühling war in großen Teilen Europas und Asiens sehr warm; dies lag besonders an einem sehr warmen März mit Abweichungen von +5 K in Zentral- und Nordwestasien. Auch Sommer und Herbst waren im größten Teil Europas und Asiens wärmer als normal.

Südargentinien und Chile lagen zwischen Januar und April im Bereich stabiler atmosphärischer Blockierungssituationen, die zu sehr hohen Temperaturen führten. Insbesondere der Februar war in dieser Region sehr warm. Viele Gebiete registrierten den wärmsten Februar seit 50 Jahren mit Tagesmaxima zwischen 35°C und 40°C (vieljäh-rige mittlere Tagesmaxima: 20°C bis 28°C).

Die mittleren Julitemperaturen wiederum lagen in großen Teilen Argentiniens, Uruguays, Paraguays, Südostboliviens und Südbrasi-liens mehr als 3 K über dem Durchschnitt – für viele Regionen bedeutete das den wärmsten Juli der letzten 50 Jahre.

Der globale **Jahresniederschlag** über Landflächen lag im Jahr 2008 leicht über dem vieljährigen Mittel 1961-90.

Im Januar waren 1,3 Millionen km<sup>2</sup> in insgesamt 15 Provinzen Südchinas mit Schnee bedeckt, verbunden mit anhaltend niedrigen Temperaturen und Vereisung. Millionen von Menschen litten unter Energieausfällen, unterbrochenen Verkehrsadern und landwirtschaftlichen Schäden.

Im April traten im US-amerikanischen Staat Missouri sowie im südlichen Indiana in Folge heftiger Regenfälle in Verbindung mit feuchtigkeitsgesättigten Böden und Schneeschmelze ausgedehnte Überschwemmungen auf. Im Juni meldeten 78 USA-amerikanische Stationen in diesem Gebiet die höchste Niederschlagstagesumme, die je in einem Juni registriert wurde, wobei an 15 dieser Stationen absolute Rekordwerte erreicht wurden.

Südlich der Sahara wurde Afrika von schweren Regenfällen heimgesucht; diese verursachten auch die bislang schwersten Überflutungen in Simbabwe und zogen mehr als 300 000 Menschen in Westafrika während des Monsuns in Mitleidenschaft.

Außergewöhnlich heftige Regenfälle traten im Zeitraum September bis November in Nordafrika und Südwesteuropa auf. Im spanischen Valencia wurden 390 mm innerhalb von 24 Stunden gemessen; davon fielen 144 mm in weniger als 1 Stunde. In Frankreich waren mehrere Regionen von starken Regenfällen im Zeitraum 31. Oktober bis 2. November betroffen: innerhalb von 3 Tagen wurden an einigen Stellen 500 mm registriert.

In Südasien fielen mehr als 2600 Menschen heftigen Monsunregenfällen und dadurch verursachten Sturzfluten zum Opfer. Betroffen waren vor allem Indien, Pakistan und Vietnam - in Indien wurden hierdurch allein 10 Millionen Menschen aus ihren Behausungen vertrieben.

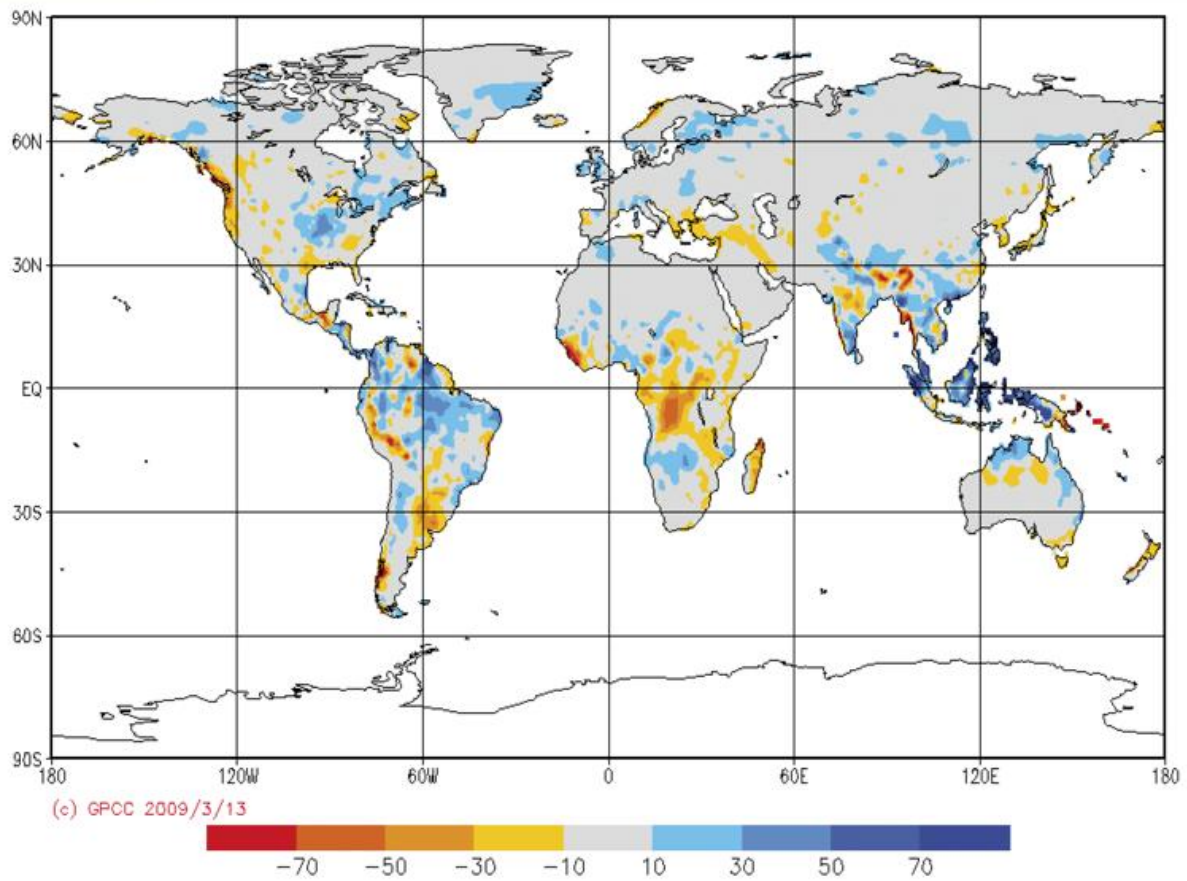
Im westlichen Kolumbien waren in der zweiten Jahreshälfte mindestens eine halbe Million Menschen von anhaltenden Regenfällen mit überdurchschnittlichen Niederschlagsmengen betroffen, die großflächige Schäden sowie Erdbeben verursachten. Im südlichen Brasilien wurde der Bundesstaat Santa Catarina vom 21. bis 24. November von starken Regenfällen heimgesucht. In diesem Zeitraum wurden mehr als 500 mm Niederschlag registriert, darunter mehr als 200 mm innerhalb von 24 Stunden. Unter den resultierenden heftigen Überflutungen und Muren litten 1,5 Millionen Menschen - mehr als 80 Menschen verloren ihr Leben.

Der tödlichste **tropische Zyklon** im Jahr 2008 war Nargis, welcher sich im nördlichen Indik entwickelte und Anfang Mai Myanmar erreichte. Mehr als 70 000 Menschen kamen ums Leben und Tausende von Häusern wurden zerstört. Nargis war der zerstörerischste Zyklon in Asien seit 1991 und verursachte die schlimmste Naturkatastrophe in der Geschichte Myanmars.

Im Atlantik entwickelten sich 16 Wirbelstürme (vieljähriges Mittel: 11) von denen 8 Hurrikanstärke erreichten (vieljähriges Mittel: 6). Fünf von ihnen waren schwere Hurrikane der Kategorie 3 oder höher (vieljähriges Mittel: 2). Die Hurrikansaison 2008 war verheerend mit vielen Opfern und großflächigen Zerstörungen in der Karibik, in Zentralamerika sowie in den USA.

Im Nordwest-Pazifik wurden 22 tropische Stürme registriert von denen 11 als Taifun klassifiziert wurden (vieljährige Mittel: 27 und 14). Am stärksten betroffen waren die Philippinen, Kambodscha, Laos, Thailand, Vietnam und Südost-China.

**Ausgeprägte Dürren** wurden im Südosten Nordamerikas, auf der Iberischen Halbinsel, im südöstlichen Teil Südamerikas und in Australien registriert.



**Abb. 2:** Globale Verteilung der Niederschlagsabweichungen auf den Landflächen der Erde im Jahr 2008, Niederschlagsmesser-basierte Analysen im 1 Grad Raster als normierte Abweichungen in mm/Monat bezogen auf 1961 - 1990.

## Rettung historischer Klimadaten in Deutschland: das KLIDADIGI-Projekt des DWD

H. Mächel, A. Kapala, J. Behrendt und C. Simmer

### Einleitung

Im Zuge der Diskussion um die globale Erwärmung, insbesondere aber um die mögliche Zunahme extremer Wetterereignisse, ist der Bedarf der Klimaforschung an zeitlich und räumlich hoch aufgelösten Beobachtungsdaten hoher Qualität in der letzten Dekade stark gewachsen, zumal Entscheidungsträger möglichst auf einer regionalen Skala belastbare, d.h. statistisch gut abgesicherte und robuste Aussagen zum Klimawandel, einschließlich der Extreme, von der Wissenschaft fordern. Für viele Teile der Welt sind jedoch belastbare Aussagen über Änderungen in der Statistik extremer, d.h. seltener, Wetterereignisse kaum möglich, da die meist notwendigen, zumindest täglichen Beobachtungsdaten nicht verfügbar sind (IPCC, 2007). In der Regel sind tägliche Beobachtungen nur für die letzten zwei bis drei Dekaden, im besten Fall für die zweite Hälfte des 20. Jh. für einige Regionen in digitaler, wissenschaftlich auswertbarer Form vorhanden. Tägliche Beobachtungsreihen mehrerer Parameter, die 100 und mehr Jahre umspannen, sind selten und für viele Regionen überhaupt nicht verfügbar (Page et al. 2004).

Um diese Defizite zumindest teilweise zu beheben hat die WMO bereits 1999 im Rahmen des Global Climate Observing System (GCOS) ein Programm zur Rettung klimatologischer Daten etabliert (Data Rescue, DARE). Darin wurden alle Mitgliedstaaten aufgefordert, ihre Papierarchive auf elektronischen Medien zu sichern, die Beobachtungs- und Metadaten sowie das noch nicht digitalisierte Material aus Jahrbüchern zu digitalisieren (Tan et al. 2003, Abb. 1).



Abb. 1: DWD Zentralarchiv (Zwischenlager während des Umbaus)

Inzwischen haben z. B. USA, Kanada und Australien ihre Klimadaten für bestimmte Parameter systematisch digitalisiert. Diesen Beispielen folgen jetzt auch viele europäische Länder wie z. B. dokumentiert im von der WMO unterstützten Projekt MEDARE (Rescue and Digitization of Climate Records in the Mediterranean Basin). In den USA wurde seit 2000 im Rahmen des Climate Database Modernization Program (CDMP) eine Vielzahl klima- und umweltrelevanter Daten und Dokumente digitalisiert, angefangen von Satellitenbildern und ozeanographischen Daten bis zu Sonnenbeobachtungen, maritimen Logbüchern und wissenschaftlichen Publikationen (<http://www.ncdc.noaa.gov/oa/climate/cdmp/cdmp.html>). Hierbei ist zu erwähnen, dass die NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration, USA) auch die

**Tab. 1:** Bestand an Stationen mit täglichen Beobachtungen in der Klimadatenbank (Stand vor Projektbeginn 2005) aufgeteilt nach alten und neuen Bundesländern und nach Beobachtungsdauer. Zahlen in schwarz beziehen sich auf Niederschlagsstationen (RR), die Zahlen in rot auf Klimastationen (Klima)

<b>RR/Klima</b>	<b>1901- 2005 ~ 100 Jahre</b>	<b>1951- 2005 ~ 50 Jahre</b>	<b>1971- 2005 ~ 30 Jahre</b>	<b>1991- 2005 ~ 10 Jahre</b>	<b>Stand Dez. 2005</b>
<b>Neue Bundesländer</b> (30% Flächenanteil)	8/3	410/51	1212/66	1366/113	956/132
<b>Alte Bundesländer</b> (70% Flächenanteil)	80/9	2085/214	2347/307	2652/419	2055/417
<b>Summe</b>	88/12	2495/265	3559/373	4018/532	3017/549

täglichen Wetterberichte des DWD, der Deutschen Seewarte und des Reichswetterdienstes aus den Jahren 1896-1975, gescannt und im Internet verfügbar gemacht hat ([http://docs.lib.noaa.gov/rescue/data\\_rescue\\_germany.html](http://docs.lib.noaa.gov/rescue/data_rescue_germany.html)). Die USA unterstützen außerdem einige Entwicklungsländer in der Datendigitalisierung. Alle diese Bemühungen sollen in einer globalen Klima-Reanalyse ab 1892 münden (Compo et al. 2006).

Auch in Deutschland sind erhebliche Defizite in der Verfügbarkeit langer, täglicher Beobachtungsreihen vorhanden (Abb. 3, Tab. 1). Nur 12 Klimastationen (2%) und 88 Niederschlagsstationen (3%) weisen fast kontinuierliche, digital zugängliche Beobachtungsreihen seit 100 Jahren auf (Stand: Dez. 2005).

Um hier Abhilfe zu schaffen und gleichzeitig einen Beitrag zu nationalen und internationalen Aktivitäten in der Digitalisierung klimarelevanter Beobachtungsdaten zu leisten, wurde vom Meteorologischen Institut der Universität Bonn im Rahmen des Projektes „Großräumige Klimaänderungen und ihre Bedeutung für die Umwelt“, 2004 eine Initiative zur „Rettung“ der historischen Klimadaten ergriffen, auf der das DWD-Projekt KLIDADIGI aufbaut.

Das Ziel und die Arbeitsschwerpunkte des Projektes werden im nächsten Kapitel vorgestellt. Dem folgt eine Übersicht über die Verfügbarkeit der täglichen Klimareihen zu Beginn des Projektes. Fortschritte in den Digitalisierungsarbeiten werden skizziert und grundlegende Informationen zur Aufbereitung der digitalisierten Rohdaten sowie zu auftretenden Problemen werden diskutiert. Abschließend wird ein Ausblick auf zukünftige Schwerpunkte des Projektes gegeben.

### *Ziel und Konzept des KLIDADIGI-Projektes*

Das DWD-Projekt KLIDADIGI wurde in Kooperation mit dem Meteorologischen Institut der Universität Bonn im September 2005 ins Leben gerufen und zunächst bis 2008 geplant. Im September 2007 beschloss der Vorstand des DWD die Laufzeit des Projekts bis Dezember 2013 zu verlängern. Zu Beginn konnte das KLIDADIGI-Projekt auf die am Meteorologischen Institut der Universität Bonn geleisteten Vorarbeiten aufbauen. Diese lieferten wichtige Informationen und Eckdaten, die für die Planung und Erstellung des Feinkonzeptes des KLIDADIGI-Projektes sehr hilfreich waren.

Ziel des KLIDADIGI-Projekts ist es, einen Datensatz von langen, täglichen Klimareihen hoher Qualität für Deutschland zu erstellen, der die Datengrundlage für die Klimaforschung, durch eine digitale Erfassung der handgeschriebenen, täglichen Beobachtungsaufzeichnungen, entscheidend verbessern soll. Gleichzeitig werden die Originalunterlagen des DWD-Papierarchivs durch digitale Fotografien für kommende Generationen vor dem Verlust bewahrt. Außerhalb des KLIDADIGI-Projektes werden beim DWD auch historische maritime (Projekt HISTOR, Zöllner 2006) und in geringem Umfang phänologische, aerologische und projektbezogene Unterlagen digitalisiert.

Es ist zu erwarten, dass die Ergänzung der Datenbasis durch die digitale Nacherfassung historischer Beobachtungen zu einem besseren Verständnis der Schwankungsbreite des Klimas und zu zuverlässigeren Aussagen über Klimatrends führen wird. Die langen Reihen ermöglichen eine zuverlässigere Bewertung der Dimension der rezenten und zukünftigen extremen Wetterereignisse. Somit trägt das Projekt zu einer verbesserten Klimaüberwachung bei. Ferner wird damit eine erweiterte Datengrundlage für die Validierung von Klimamodellen und für eine genauere Aneicherung von Proxy-Daten (z. B. schriftliche Chroniken, Baumringdaten) geschaffen.

Das zur Durchführung des Projektes erstellte Konzept enthält detaillierte Angaben zur Vorgehensweise bei der Digitalisierung und Sicherung von Originalunterlagen, der Aufbereitung der Rohdaten (Qualitätskontrolle, Homogenisierung) und der Integration der geprüften Daten in die Datenbank des DWD. Die Grundlage des Konzeptes bildet die Schätzung des zu digitalisierenden Potentials an täglichen Beobachtungsreihen, das einerseits aus der Differenz zwischen bereits digital vorhandenen Monats- und Tagesreihen ermittelt wurde und andererseits auf der Bestandsaufnahme der sich im Zentralarchiv und an den regionalen DWD-Dienststellen lagernden Unterlagen basiert.

Der in der ersten Projektphase erstellte digitale, kontinuierlich aktualisierte Bestandskatalog enthält über 17.000 Zeilen (Stand: Dez. 2008, je eine Zeile pro Kollektiv (Klima oder Niederschlag) und Archivquelle für jede Station) mit Spezifikationen der Archivierungsstandorte der Originalunterlagen und der verfügbaren Zeiträume. Ein Teil dieser Zeiträume ist bereits in der digitalen Datenbank vorhanden. Die Zeiträume der Unterlagen aus verschiedenen Quellen können sich teilweise überschneiden.

Da es sich bei den meisten Originalunterlagen um handschriftliche Aufzeichnungen (oft mit Bleischrift) handelt, die nicht selten mehrmals durchgestrichen und korrigiert worden sind (Abb. 2), ist eine Anwendung von Texterkennungssoftware (OCR) für die digitale Erfassung der Daten nicht geeignet; die Fehlerquote und der Aufwand für die Korrekturen übersteigt den Zeitaufwand für die Tastatureingabe der Daten deutlich. Ferner liegen viele der Unterlagen als Bücher oder gebundene Bände vor, so dass diese beim Einscannen beschädigt bzw. zerschnitten und anschließend wieder gebunden werden müssten. Das digitale Fotografieren hat sich hingegen bewährt, da auch Seiten in Büchern scharf abgebildet werden. Die Bilder dienen zur Sicherung der Unterlagen und machen auch die Informationen, die zunächst noch nicht erfasst werden, für eine nachträgliche Auswertung zugänglich. Auch beim Prüfen der Daten können mit Hilfe der Fotos Tippfehler identifiziert bzw. Extremereignisse durch Zusatzinformationen (Bemerkungen der Beobachter über Dürren oder Überschwemmungen) bestätigt werden.

Die Datenerfassung selbst findet – entsprechend den WMO-Empfehlungen – mit Hilfe von einheitlichen, eigens gestalteten Eingabemasken in Excel© statt. Dabei berechnet Excel© direkt die Monatsmittel bzw. Monatssummen und Maxima, die mit denjenigen auf der Unterlage verglichen werden. Diskrepanzen sind in einer zusätzlichen Tabelle festzuhalten. Es hat sich bestätigt, dass durch diese einfache Dateneingabe die Zahl der Tippfehler äußerst gering ist (weniger als 1 ‰).

Für die Datenerfassung wird Fachpersonal eingesetzt (Wetterbeobachter, Fachdienst des DWD, fortgeschrittene Studierende der Meteorologie), da ein gewisser Fachverstand für die Interpretation der Unterlagen erforderlich ist. Erfahrenes Personal findet schon bei der Eingabe offensichtliche Fehler oder erkennt nicht ordnungsgemäß ausgefüllte Tabellen und kann diese korrigieren.

Station: Wetzlar Monat: August 1910  
 Kreis: Herzogenstadt Provinz: Rheinprovinz Beobachter: Eduard Liebert  
 Höhe d. Station über d. Meere: 226 m. Höhe d. Regenmessers üb. d. Erdboden: 1 m. Zeitpunkt der Messung: 7 Uhr

Datum	Höhe mm	Form und Zeit	Datum	Höhe mm	Form und Zeit	Datum	Höhe mm	Form und Zeit
1	1.1		11			21		
2			12		n. n. ☉	22		☉ n.
3		n. ☉ n.	13	7.5	n. ☉	23	9.8	☉ n. n.
4	42.1	n. n. ☉	14	0.2	☉ Frostregen n.	24	3.2	☉ n. n.
5	18.2	n. ☉	15	0.1	13 1/2 10 a.	25	1.2	
6	3.4	n. ☉ n.	16	7.8		26		n. ☉
7	0.8	<del>n. ☉</del>	17			27	8.4	
8			18		☉ n.	28		
9			19	0.7	☉ Frostregen	29		n. ☉
10			20		☉ Frostregen.	30	1.8	
Sa.	75.6	65.6	Sa.	16.3		31		n. ☉
Zahl der Tage mit / Niederschlag mindestens 0,1 mm / Schnee			15. Grösste Höhe in 24 Std. } gemess. am 4. Aug.			Sa. 24.4 Monats-Summe 116.3		

106.3

für Mitteilungen.  
 Das Königl. Preussische Meteorologische Institut  
 Berlin W. 56  
 Schinkelplatz No. 6.  
 Frei lt. Avers. No. 21.  
 Kgl. Pr. Meteorol. Institut.  
 K. III. 3. Form. D. 22. 10.

UDER  
 -1.8.17.12-IN  
 REICHSFELD

Station: Münsterfeld Monat: Januar 1935  
 Kreis: Curthues Provinz: Rheinprovinz Beobachter: Brock  
 Höhe d. Station über d. Meere: 285 m. Höhe d. Regenmessers üb. d. Erdboden: 1 m. Zeitpunkt der Messung: 7 Uhr

Tag	Höhe mm	Form und Zeit	Tag	Höhe mm	Form und Zeit	Tag	Höhe mm	Form und Zeit
1	8.5		11		W	21		
2	0.3		12		W	22		
3	2.7		13	10	W	23	2.4	
4	6.0		14	0.5	W	24		
5	55.0		15		W	25		
6	5.0		16	2.1	W	26		
7			17	0.4	W	27		
8			18	4.4	W	28		
9	2.2		19		W	29		
10			20		W	30		
Se	20.2		Se	8.2		31		
Zahl der Tage mit mindestens 0,1 mm Niederschlag			davon mit Schnee			Se. 6.8 Monats-Summe 83.2		

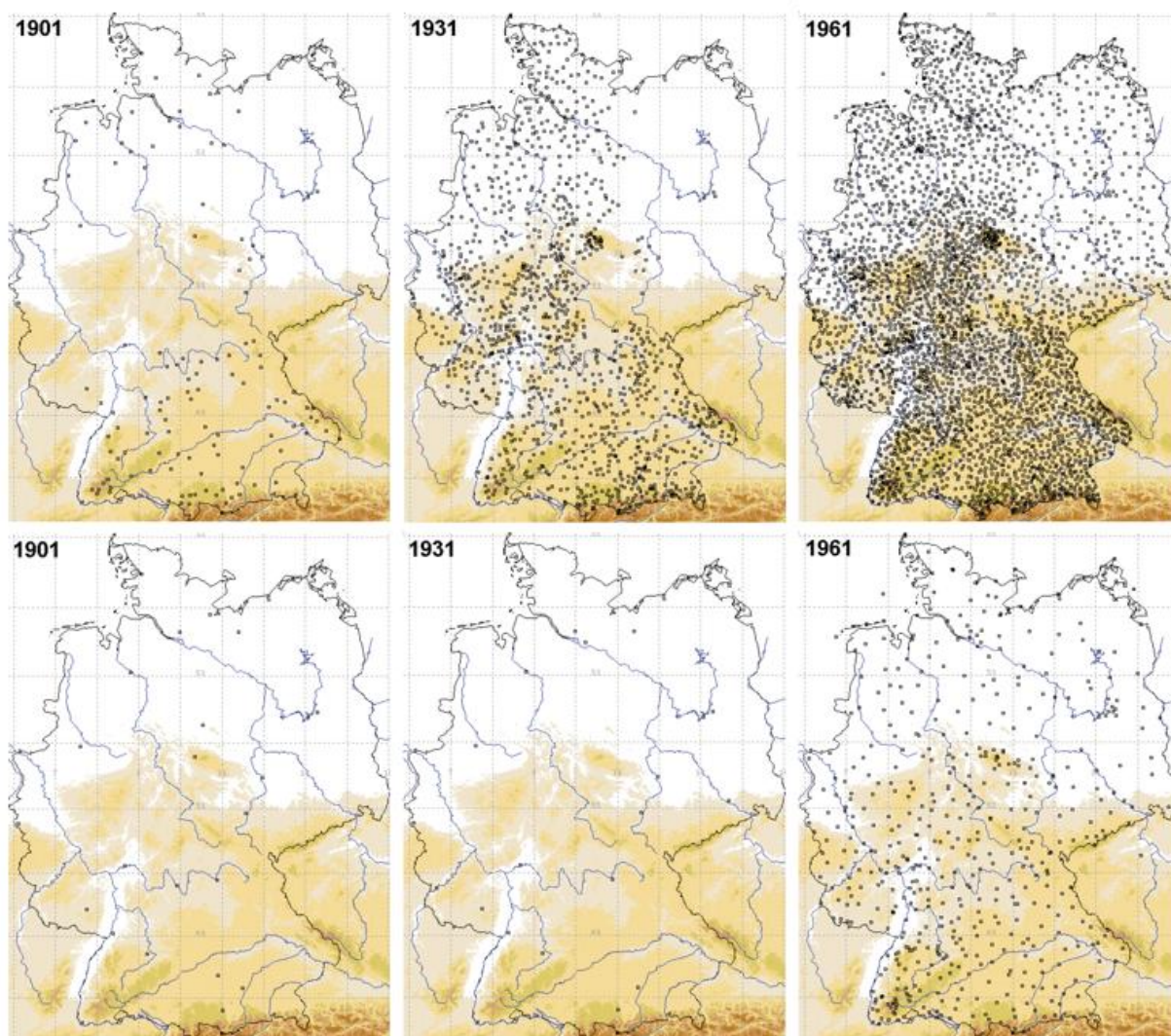
20.3

Abb. 2: Beispiel für Niederschlagsmeldekarten die bis Ende 1935 für nebenamtliche Niederschlagsbeobachtungen verwendet wurden (Links unten: Rückseite der oberen Karte, Rechts unten: Beispiel für Korrekturen auf der Karte.).

### Ausgangsstand bei Projektbeginn

In Westdeutschland (alte Bundesländer) sind fast alle täglichen Unterlagen von Niederschlagsmessstellen ab 1931 und von Klimastationen ab etwa 1947 digital erfasst. In den neuen Bundesländern sind die Aufzeichnungen von Klimastationen meistens ab 1947 und die von Niederschlagsstationen zum Teil erst ab 1951 oder gar ab 1969 digital vorhanden (Abb. 3 und 6). Die Unterlagen aus Ostdeutschland aus der Zeit vor 1945 sind noch nicht digitalisiert worden.

Das ermittelte Volumen an Papierunterlagen (gebundene Hefte, lose Tabellen), die sich in den DWD-Archiven befinden, beläuft sich auf rund fünf laufende Regalkilometer und fast eine Million Postkarten mit täglichen Niederschlags- und Witterungsaufzeichnungen von Niederschlagsstationen (eine Postkarte pro Kalendermonat, Abb. 2). Nicht berücksichtigt sind dabei diverse Registrierstreifen, deren Bestandsaufnahme noch nicht durchgeführt wurde. Darüber hinaus befinden sich im Zentralarchiv 190 Filmrollen (mit jeweils 900-1000 Bildern pro Rolle). Diese Filme wurden Anfang der 1940er Jahre aufgenommen und enthalten Kopien der während des Zweiten Weltkrieges verschollenen Originalaufzeichnungen von Klimastationen (Wege 2002).



**Abb. 3:** Stationen, deren Messungen zu den angegebenen Jahren in der DWD-Klimadatenbank enthalten sind (oben: Niederschlagsstationen mit digitalisierten täglichen Werten; unten: Klimastationen)

Dieses Datenvolumen, umgerechnet in zu digitalisierende Stationsjahre (SJ) und in die Zeit, die eine Arbeitskraft benötigt, um die Daten einzugeben und die Originaldaten auf Digitalfotos zu sichern (Personenjahre, PJ), ergibt folgendes Bild: Für Niederschlagsstationen 142.000-165.000 SJ und für die Klimastationen 11.400-23.000 SJ. Die Unsicherheiten in beiden Schätzungen vor allem im Falle der Klimastationen sind darauf zurückzuführen, dass nicht von allen in Frage kommenden Stationen die Monatswerte schon früher digitalisiert worden sind oder, dass dieselben Unterlagen an verschiedenen Standorten mehrfach vorhanden sind. Dies bleibt noch zu prüfen.

Für die Datenerfassung eines Jahres an Niederschlagsmessungen können rund vier und für Klimabeobachtungen 30 Arbeitsstunden veranschlagt werden, d. h. in einem Jahr können pro Mitarbeiter etwa 400-500 Stationsjahre an Niederschlagsdaten oder 50 Stationsjahre an Klimaunterlagen (über 400.000 Werte/Personenjahr) digitalisiert und fotografiert werden. Nach dieser Rechnung würde der Arbeitsaufwand für die Digitalisierung aller Papierunterlagen einschließlich der Filme etwa 790 Personenjahre beanspruchen.

In dieser Schätzung ist die Digitalisierung der Metadaten und des ergänzenden Materials (für Lückenschließung) aus Jahrbüchern oder Fachartikeln noch nicht berücksichtigt.

#### *Fortschritt der Digitalisierungsarbeiten*

Da der Digitalisierungsstand der Datenbestände in den alten und neuen Bundesländern sehr verschieden ist (Tab. 1, Abb. 3), sind für beide Regionen unterschiedliche Schwerpunkte gesetzt worden. Aufgrund der vergleichsweise sehr großen Defizite bei den Niederschlagsdaten vor 1969 in den neuen Bundesländern werden hier vor allem Beobachtungen für den Zeitraum 1945-1968 digitalisiert, um zusammen mit dem Datenbestand für die alten Bundesländer einen für die gesamte Bundesrepublik konsistenten Datensatz für die zweite Hälfte des 20. Jahrhunderts zu gewinnen. In den alten Bundesländern, wo der Bestand an digitalisierten Beobachtungen für diesen Zeitraum bereits relativ groß ist, liegt der Schwerpunkt auf der Datennacherfassung aus der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts und davor. Die Aufgabenverteilung zwischen dem DWD und dem Meteorologischen Institut der Universität Bonn ist der Art, dass in Bonn schwerpunktmäßig Niederschlagsdaten der alten Bundesländer und vom DWD-Personal vorwiegend Niederschlagsdaten der neuen Bundesländer und Klimaunterlagen bearbeitet werden.

Bei der digitalen Nacherfassung der Daten konkurrieren zwei Aspekte: die begrenzten Ressourcen und die Notwendigkeit der Sicherung bzw. der Erhaltung der über Jahrzehnte gesammelten Daten für nachfolgende Generationen. Somit ist eine Auswahl der zu bearbeitenden Stationen erforderlich. Da für wissenschaftliche und statistische Analysen lange, lückenlose und homogene Reihen eine Voraussetzung sind, werden zuerst solche Stationen ausgewählt, die noch in Betrieb sind und deren bereits digitalisierte Zeitreihen möglichst lückenlos sind und 30 und mehr Jahre umfassen. Anschließend wird geprüft, ob zusätzliche Unterlagen existieren, anhand derer die Reihen auf 100 Jahre und mehr verlängert werden können. Die ausgewählten Stationen sollen auch möglichst gleichmäßig im Raum verteilt sein. Die Anwendung

der erwähnten Kriterien zur Stationsauswahl erfordert eine akribische Durchsicht der Papierunterlagen. Um die bei der Stationsauswahl gefunden Informationen auch später nutzen zu können, werden alle Informationen im Bestandskatalog unter „Bemerkungen“ aufgeführt.

Die Auswahl der zu digitalisierenden Parameter an **Niederschlagsstationen** ist in erster Linie durch die Fortführung der bereits digital vorhandenen Daten bestimmt. Somit werden die Parameter Niederschlagshöhe und -form, Gesamtschneehöhe sowie Witterungsverlauf digitalisiert. Die Schneehöhe wurde etwa seit den 1920er Jahren registriert, jedoch nicht einheitlich in den Grenzen des heutigen Deutschland. Erst mit der Gründung des Reichswetterdienstes 1934 wurde überall ein Standard eingehalten. Aus der bisherigen Erfahrung wurde auch der Witterungsverlauf nicht systematisch und auch nicht einheitlich an den Niederschlagsstationen erfasst. Es bleibt deshalb noch zu entscheiden, ob für lange Niederschlagsreihen generell auch die tägliche Schneehöhe vor dem Jahr 1979 nacherfasst werden soll (in den alten Bundesländern wurde für diesen Zeitraum nur die tägliche Niederschlagshöhe, nicht die tägliche Schneehöhe auf Lochkarten erfasst).

An **Klimastationen** werden soweit beobachtet folgende Parameter digitalisiert: Terminwerte (dreimal täglich): Temperatur, Feuchte und/oder Dampfdruck, Luftdruck, Wind, Bewölkung; einmal täglich: Sonnenscheindauer, Niederschlag, Schnee, Minimum- und Maximumtemperatur. Die Terminwerte werden vor allem auch deswegen erfasst, weil sie zur Berechnung der Tagesmittel genutzt werden (verschiedene Formeln sind notwendig für unterschiedliche Beobachtungszeiten). Auch wenn einige der Parameter zunächst nicht als so wichtig erscheinen, so können sie doch zur internen Prüfung bzw. als Entscheidungshilfe bei unklaren Fällen herangezogen werden. Außerdem ist die Wahrscheinlichkeit für Fehleingaben hoch, wenn nicht alle Spalten der Unterlagen digitalisiert werden. Die Eingabemaske wird deshalb an die Unterlagen angepasst.

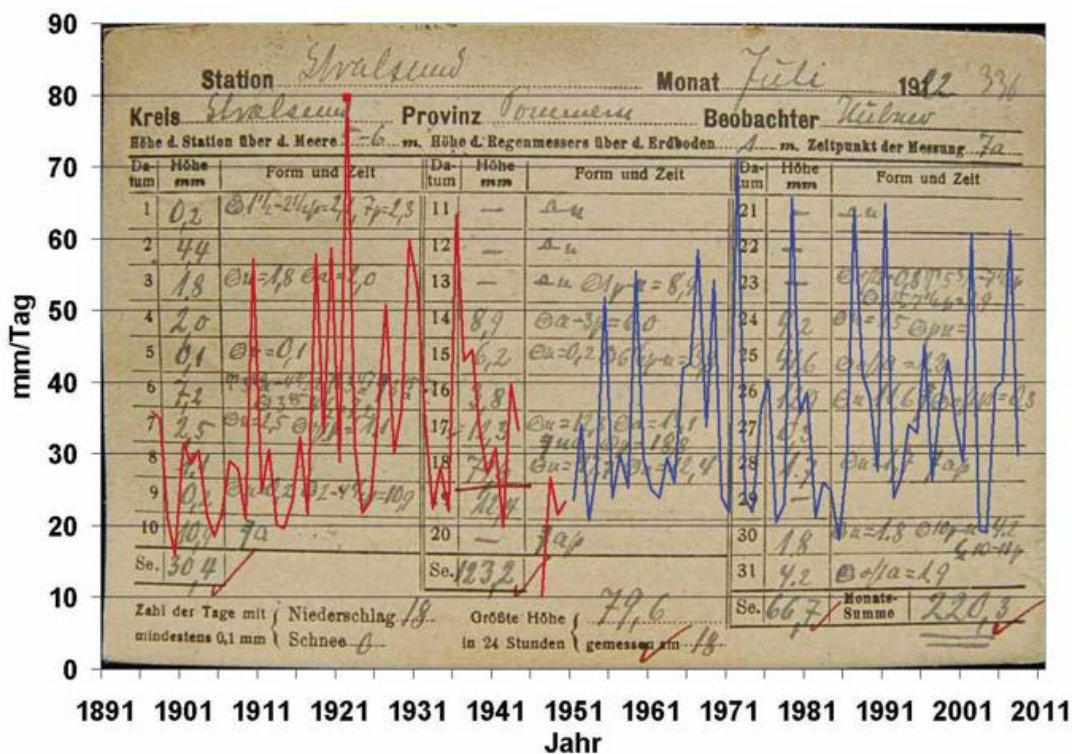
Für die erste Phase der Projektlaufzeit (Sept. 2005 bis Dez. 2008) wurden 21,5 Personennjahre eingesetzt. Insgesamt waren 24 DWD-Mitarbeiter am Digitalisierungswerk beteiligt, davon sieben Mitarbeiter für zwei oder mehr Jahre. Am Meteorologischen Institut in Bonn wurden die Daten von drei bis vier Meteorologiestudenten mit einer durchschnittlichen Arbeitszeit von 10 Wochenstunden digital erfasst.

Einen zusammenfassenden Überblick über die bis Ende 2008 geleisteten Arbeiten im Projekt KLIDADIGI und von den beteiligten Partnern gibt Tabelle 2 sowie Abb. 5 bis 7. Die angestrebten Ziele während des Projektzeitraums konnten durch die im Vergleich zum Plan zu geringe Mitarbeiterzahl nicht ganz erreicht werden. Insgesamt wurden bis Ende 2008 im Projekt KLIDADIGI und durch die beteiligten Partner 282 lange, tägliche Niederschlagsreihen zusammengestellt (Abb. 5) und 59 Reihen aus den neuen Bundesländern für die Nachkriegszeit digitalisiert. Allerdings sind von den 282 nur 60 Reihen mit weniger als 1000 Tagen Lücken für den Zeitraum 1901-2000 vorhanden. Da die Lücken meistens am Ende des Zweiten Weltkrieges und kurz danach fast an allen Stationen gleichzeitig vorkommen, wird es kaum möglich sein diese zu ergänzen. Die Zahl der digitalisierten Klimastationen beträgt 23 (um mehr als 10 Jahre ergänzt).

Das Verhältnis der in den letzten Jahren durchgeführten Digitalisierungsarbeiten zu dem gesamten Digitalisierungspotential ist in Abb. 6 für die Niederschlags- und Klimastationen dargestellt. Ein Beispiel für eine Niederschlagsreihe, die im Projekt KLIDADIGI verlängert wurde, zeigt Abbildung 4.

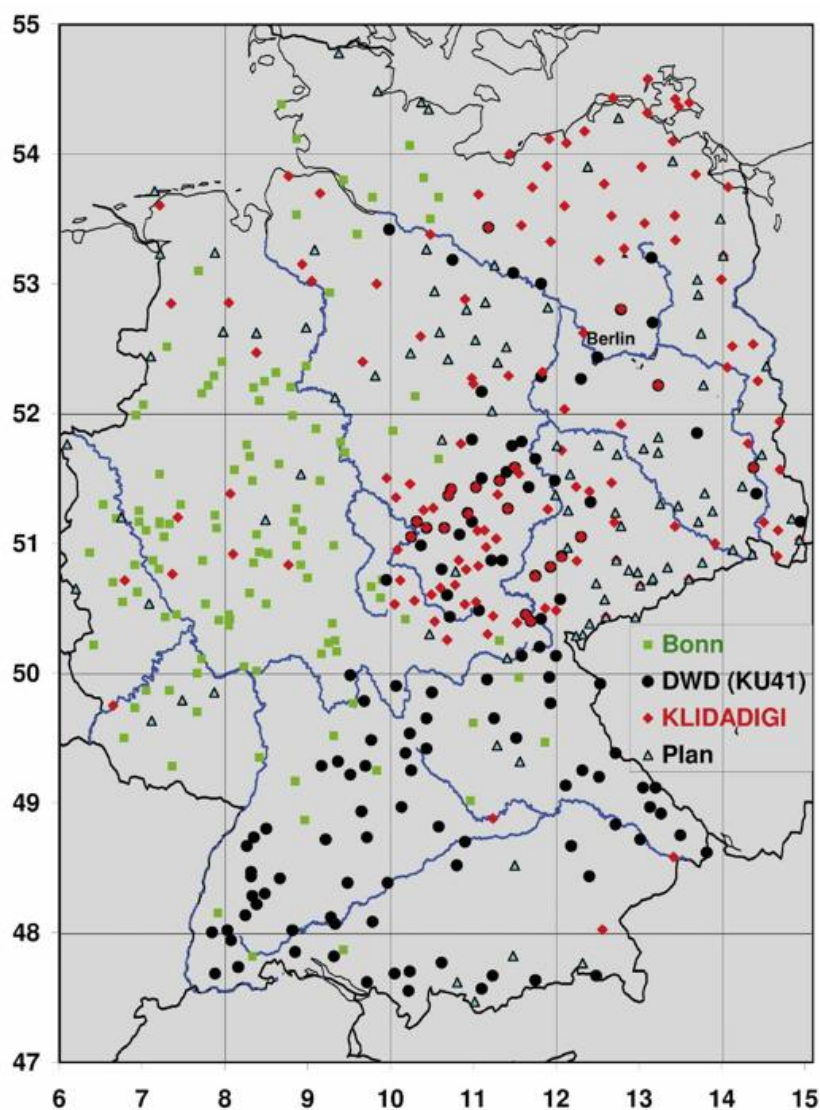
**Tab. 2:** Übersicht über die während der Projektlaufzeit digitalisierten Daten (Die Einheit Stationsjahre wurde zur besseren Vergleichbarkeit gewählt)

Beteiligte	vor 2005	bis Dez. 2008	Plan (2005-2008)
Stationsjahre (Niederschlag)			
Andere	441	11	10
Universität Bonn		4347	5000
DWD (KU41)	2729	3420	10000
KLIDADIGI		4074	
Stationsjahre (Klimastationen)			
KLIDADIGI		942	1200



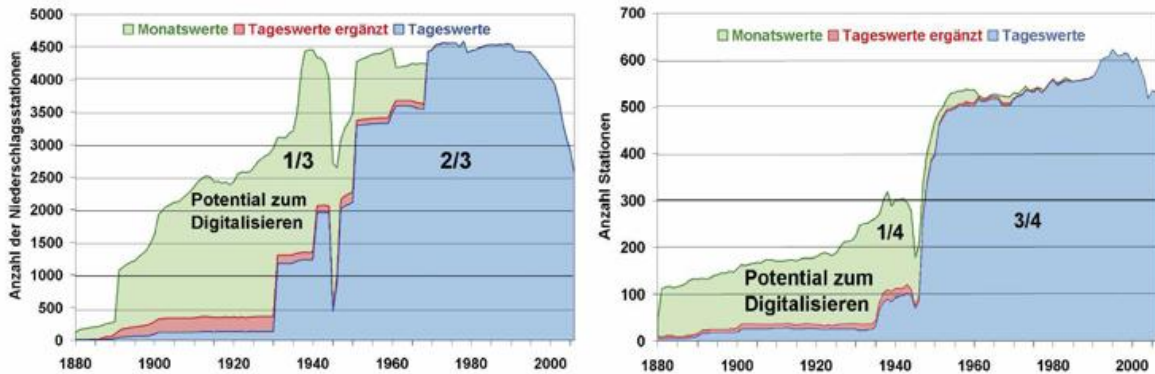
**Abb. 4:** Tagesliche Niederschlagsbeobachtungen an der Station Stralsund für den Zeitraum 1897-2008. Im Hintergrund ein Beispiel der originalen Aufzeichnungen für Juli 1922; im Vordergrund eine Zeitreihe der täglichen Niederschlagsmaxima im jeweiligen Kalenderjahr, die durch die Digitalisierung der originalen Aufzeichnungen im Projekt KLIDADIGI ergänzt wurde (rote Linie). Roter Punkt in der Zeitreihe markiert das Maximum von 79,6 mm am 18. Juli 1922, das auch dem maximalen täglichen Niederschlag in diesem Jahr entspricht.

Entsprechend der WMO-Forderung werden alle digitalisierten Unterlagen gleichzeitig durch digitale Fotos gesichert. Der diesbezügliche Aufwand ist relativ gering, wenn die Unterlagen im Rahmen der Vorbereitung zum Digitalisieren fotografiert werden. Von allen beteiligten Gruppen wurden bis Ende 2008 die Originalunterlagen auf insgesamt 161.250 Fotos gesichert. Diese Fotos wurden zunächst in einem Dateisystem gespeichert und können bei Unklarheiten abgerufen werden. Sie können auch als Grundlage für die digitale Datenerfassung zum späteren Zeitpunkt genutzt werden. Wichtig ist dabei, dass die Fotos leicht zu finden sind, d.h. alle Fotodateien müssen unter Verwendung von Stationsnummer, Jahr, Monat und Seitenzahl (falls mehrere Seiten pro Monat vorhanden sind) benannt werden. Ob im DWD auch für die bereits in der Datenbank vorhandenen und für die nun ergänzten langen Klimareihen (Abb. 7) die Originalunterlagen fotografiert werden sollen, ist zurzeit noch offen und letztlich von den verfügbaren Mitteln abhängig. An der Universität Bonn werden die dort bearbeiteten langen Reihen von ihrem Beginn bis zum Jahre 2002 fotografiert.

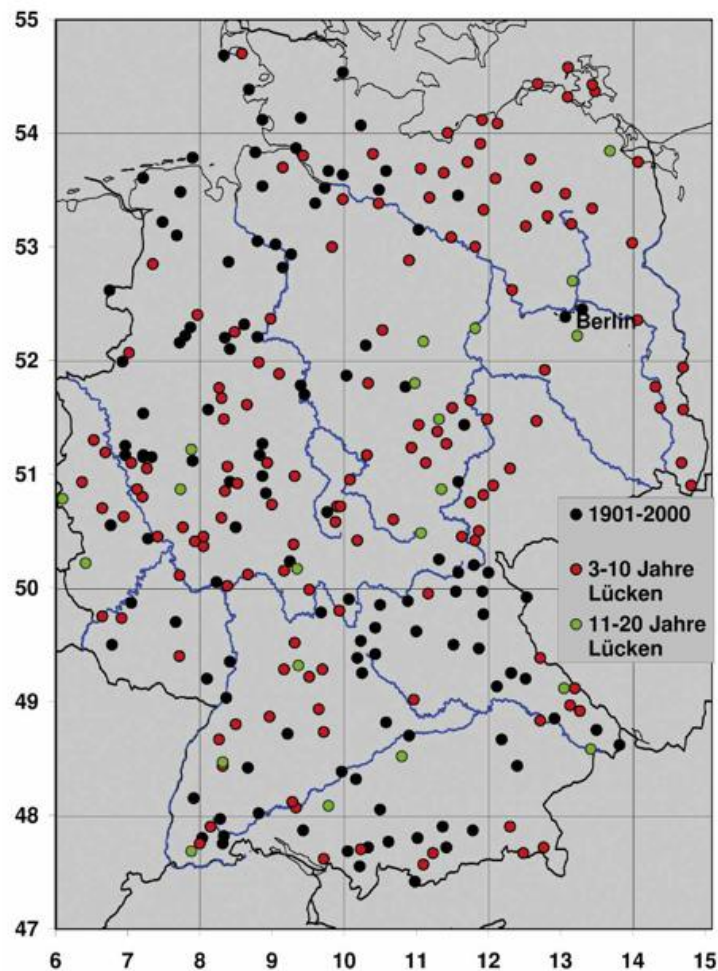


**Abb. 5:** Räumliche Verteilung der von verschiedenen Gruppen durchgeführten und geplanten Ergänzungen von Niederschlagsreihen; Stand Dez. 2008

Darüber hinaus wurde mit dem Scannen der vorhandenen Rollfilmen aus den 1940er Jahren begonnen, die - wie bereits erwähnt - Sicherheitskopien vieler Unterlagen von Klimastationen enthalten und die jetzt die einzige noch verbliebene Quelle für die am Ende des Zweiten Weltkriegs verloren gegangenen Unterlagen darstellen (Wege 2002). Da Zelluloidfilme aus jener Zeit eine 60-70jährige Haltbarkeit haben, ist es dringend notwendig, diese so bald wie möglich digital zu sichern (Abb. 8). Bislang wurden 12.200 Bilder von Filmen gescannt.



**Abb. 6:** Zeitreihen der Zahl der Niederschlags- (links) und Klimareihen (rechts): grün (nur als Monatssummen digital vorhanden), rot (im Projekt KLIDADIGI und anderen Projekten digitalisierte Tageswerte), blau (vor Projektbeginn bereits digital vorhandene Tageswerte)



**Abb. 7:** Räumliche Verteilung langer Niederschlagsreihen der Periode 1901-2000 (schwarze Punkte bedeuten, dass diese weniger als 3 Jahre Lücken aufweisen); Stand Dez. 2008

Monat Juni 1897  
Station Cassel  
Königlich Preuss.

Da- tum	Luftdruck (Barometerstand auf 0° red.)				Temperatur- extreme (abgelesen 9°)			Lufttemperatur				Absolute Feuchtigkeit				Relative Feuchtigkeit			
	7 <sup>a</sup>	9 <sup>a</sup>	9 <sup>a</sup>	Tages- mittel	Maxi- mum	Mini- mum	Diff- renz	7 <sup>a</sup>	9 <sup>a</sup>	9 <sup>a</sup>	Tages- mittel	7 <sup>a</sup>	9 <sup>a</sup>	9 <sup>a</sup>	Tages- mittel	7 <sup>a</sup>	9 <sup>a</sup>	9 <sup>a</sup>	Tages- mittel
1	745,7	744,1	745,5	745,3	27,5	14,0	13,5	15,1	26,3	19,0	20,2	11,1	11,9	12,9	11,97	75	82	78	78
2	46,8	44,6	45,1	45,2	22,6	13,6	15,0	16,0	27,1	19,9	20,1	11,0	12,0	11,6	12,0	75	82	78	78
3	46,7	45,4	45,4	45,1	22,2	13,1	14,4	16,6	28,0	19,6	20,1	11,0	12,0	11,6	12,0	75	82	78	78
4	45,2	44,0	43,7	44,2	22,6	13,6	15,0	16,0	27,1	19,9	20,1	11,0	12,0	11,6	12,0	75	82	78	78
5	44,3	43,1	43,0	44,0	22,6	13,6	15,0	16,0	27,1	19,9	20,1	11,0	12,0	11,6	12,0	75	82	78	78
6	44,1	44,7	45,1	44,6	22,6	13,6	15,0	16,0	27,1	19,9	20,1	11,0	12,0	11,6	12,0	75	82	78	78
7	44,7	44,9	45,7	45,0	22,6	13,6	15,0	16,0	27,1	19,9	20,1	11,0	12,0	11,6	12,0	75	82	78	78
8	45,4	45,6	44,6	45,5	22,6	13,6	15,0	16,0	27,1	19,9	20,1	11,0	12,0	11,6	12,0	75	82	78	78
9	44,4	43,1	46,2	44,1	22,6	13,6	15,0	16,0	27,1	19,9	20,1	11,0	12,0	11,6	12,0	75	82	78	78
10	43,1	46,1	38,5	46,2	22,6	13,6	15,0	16,0	27,1	19,9	20,1	11,0	12,0	11,6	12,0	75	82	78	78
Summe	446,6	443,5	449,7	446,5	22,6	13,6	15,0	16,0	27,1	19,9	20,1	11,0	12,0	11,6	12,0	75	82	78	78
11	83,9	83,2	84,2	84,0	22,6	13,6	15,0	16,0	27,1	19,9	20,1	11,0	12,0	11,6	12,0	75	82	78	78
12	85,1	84,8	85,2	85,1	22,6	13,6	15,0	16,0	27,1	19,9	20,1	11,0	12,0	11,6	12,0	75	82	78	78

Monat Juni 1897  
Station Cassel

Da- tum	Luftdruck (Barometerstand auf 0° red.)				Temperatur- extreme (abgelesen 9°)			Lufttemperatur			
	7 <sup>a</sup>	9 <sup>a</sup>	9 <sup>a</sup>	Tages- mittel	Maxi- mum	Mini- mum	Diff- renz	7 <sup>a</sup>	9 <sup>a</sup>	9 <sup>a</sup>	Tages- mittel
1	745,7	744,1	745,5	745,3	27,5	14,0	13,5	15,1	26,3	19,0	20,2
2	46,8	44,6	45,1	45,2	22,6	13,6	15,0	16,0	27,1	19,9	20,1
3	46,7	45,4	45,4	45,1	22,2	13,1	14,4	16,6	28,0	19,6	20,1
4	45,2	44,0	43,7	44,2	22,6	13,6	15,0	16,0	27,1	19,9	20,1

Abb. 8: Beispiel einer Klimatable (Cassel, Juni 1897) auf einem beschädigten Rollfilm (Negativ).

### Inwertsetzung der digitalisierten Daten

Die digital nacherfassten Daten sind im Rohzustand noch nicht für wissenschaftliche Anwendungen geeignet; hierzu müssen die erstellten Reihen mehrstufige Kontrollen durchlaufen, bei denen Tippfehler und Ausreißer identifiziert sowie die räumlich-zeitliche Konsistenz überprüft werden. Anschließend müssen die Daten einer Homogenitätsprüfung unterzogen werden. Dazu gehören auch etwaige Korrekturen und ggf. Lückenschließungen.

Die in Excel®-Tabellen erfassten Daten werden zuerst mit einem Excel®-Makro in ASCII und dann mittels eigens entwickelter Programme in ein beim DWD gängiges Format umformatiert, das direkt in die Datenbank geladen werden kann. Es wird jeweils eine Datei mit Tageswerten und mit Monatswerten erzeugt. Die Metadaten werden in einer dritten Datei gespeichert und durch Angaben über die Stationsgeschichte aus der Datenbank und anderen Quellen ergänzt. In letzterer werden auch alle bei den Prüfungen gefundenen Fehler und Korrekturen festgehalten (auch die weiter unten erwähnten Sammelmessungen und Lücken). Für die Daten der Klimastationen wird noch eine innere Konsistenzprüfung durchgeführt (beispielsweise sollte die Tagesschwankung der Temperatur weniger als 25 K betragen oder die Druckänderung zum Vortag geringer als 20 hPa betragen, Änderungen zum Vortag sollten bestimmte Schwellenwerte nicht übersteigen u. a.).

Die digitalen Daten werden vor dem Laden in die Datenbank einer dreifachen Prüfung unterzogen. Die erste Prüfung findet direkt beim Eingeben der Daten statt und beinhaltet einen Vergleich mit Informationen in den Papierunterlagen (z. B. Monats- und Maximalwerte). Die zweite Prüfung umfasst den Vergleich mit den früher schon digitalisierten Monatssummen/-mitteln. Dabei muss berücksichtigt werden, dass sich

die Monatssummen des Niederschlags vor 1971 (alte Bundesländer) bzw. vor 1969 (neue Bundesländer) auf den Messtag beziehen; danach werden sie auf den Tag vor dem Messtag bezogen. Differenzen sollten anhand der in der Excel©-Eingabemaske mitgelieferten Bemerkungen überprüft und die Tageswerte für diesen Monat bewertet werden. Sind trotz vorhandener Differenzen keine Besonderheiten oder Tippfehler vermerkt, muss anhand der Originalunterlagen bzw. deren Fotos und ggf. durch Vergleich mit Nachbarstationen überprüft werden, welche die/das richtige Monatssumme/-mittel ist (zuweilen haben sich die Beobachter oder Prüfer verrechnet). An dieser Stelle würde auch eine falsche Stationszuordnung auffallen, spätestens aber bei der dritten Prüfung (siehe unten). Für diese Prüfungen wurden eigene Rechenprogramme entwickelt, die auch für die bereits in der Datenbank archivierten Daten angewendet werden können.

Bei der dritten Prüfung werden die erfassten Daten systematisch mit denen von Nachbarstationen verglichen. Dies kann allerdings erst dann stattfinden, wenn genügend benachbarte lange Reihen vorhanden sind. Vor allem bei der Erfassung der Niederschläge werden nur auf diese Weise typische Fehler gefunden wie z. B. Sammelmessungen, Messeinträge an falschen Tagen oder vergessene Einträge von Messwerten.

Vor allem historische Messungen aus dem 19. Jh., die nicht nach den heutigen Regeln und Standards durchgeführt wurden, müssen sorgfältig geprüft und systematische Unterschiede müssen eliminiert werden. Systematische Unterschiede ergeben sich z. B. durch Änderungen in den Berechnungsverfahren für die Reduktion des Stationsdrucks und für die Berechnung der Tagesmittel bei geänderten Beobachtungsterminen. Durch den Vergleich mit sogenannten Referenzstationen des DWD, die parallel nach heutigen und konventionellen Methoden messen, könnte der Einfluss der Beobachtungstermine auf das Tagesmittel eruiert werden. Bei der Umrechnung der Feuchttemperatur in relative Feuchte müssten die erfolgten Berechnungen nach den damals verwendeten Formeln wieder zurückgerechnet und nach den heutigen Formeln neu berechnet werden. Hierfür ist eine genaue Kenntnis der Stationsgeschichte und der verwendeten Regeln unerlässlich.

Neben der Qualitätskontrolle müssen auch noch andere nichtklimatische Einflüsse identifiziert und ggf. beseitigt werden, die sich aus Stationsverlegungen, Beobachterwechsel, Instrumentenwechsel oder der Änderung der Umgebung ergeben. Gegebenenfalls können auch Lücken in den Reihen geschlossen werden. Für die Prüfung und Homogenisierung der Daten ist eine genaue Kenntnis der Stationshistorie die Voraussetzung. Diese Informationen müssen aus Stationsakten extrahiert sowie mit denen von Jahrbüchern und anderen Publikationen ergänzt werden. Da über die Metadaten nur die Wetterdienste verfügen, sollte eine Datenhomogenisierung nur von diesen durchgeführt werden, zumal nach einigen Jahren die Homogenisierungsprozedur wiederholt werden muss. Im Rahmen der COST-Aktion (ES0601: Advances in homogenisation methods of climate series: an integrated approach: HOME) werden Anstrengungen zur Entwicklung von Homogenisierungsverfahren für tägliche Beobachtungen unternommen. Bislang sind diese Anstrengungen noch nicht von einem durchschlagenden Erfolg gekrönt.

## Problemfälle

Bei der Digitalisierung und Qualitätskontrolle sind mehrere Probleme aufgetreten, die hier kurz erwähnt werden sollen, weil sie für das Verständnis des Umgangs mit historischen Daten relevant sind. Zu diesen Problemfällen gehören Sammelmessungen, Lücken in den Zeitreihen, unvollständige Stationsakten und Stationen mit fehlenden Koordinaten (evt. „Kandidaten“ für die Ergänzung der Lücken). Für die Klärung sind Nachbarstationen notwendig, die aber erst im Laufe der Zeit durch die Digitalisierung zur Verfügung stehen.

Problematisch ist oft die richtige Zuordnung der zu digitalisierenden Unterlagen zu einer bereits in der Datenbank archivierten mittlerweile geschlossenen oder noch existierenden Station, weil auf den Unterlagen oft nur ein Stationsname vermerkt ist. Die Ortsnamen und damit auch die Stationsnamen haben sich aber im Laufe der Zeit (z. B. durch Verlegung und Eingemeindungen) mehrmals geändert. Da auch viele Namen mehrfach vorkommen, werden Zusatzinformationen benötigt, wie z. B. Landkreis oder Provinz/Bundesland. Teilweise unterscheiden sich auch diese Angaben vor und nach dem Zweiten Weltkrieg.

Im Bestandskatalog gibt es für fast 1000 Einträge noch keine Angaben zu den geographischen Koordinaten, d. h. man kann die Daten zurzeit keiner bekannten Station einfach zuordnen. In solchen Fällen wird versucht, die Stationsnamen mit einem Katalog der Ortsnamen des GEOnet Names Server (National Geospatial-Intelligence Agency, NGA, USA, <http://earth-info.nga.mil/gns/html/>) abzugleichen, in dem auch die Koordinaten der Orte vorliegen. Auch kann man die Koordinaten mit Hilfe von Google-Maps© suchen. Für Stationen, die keinen Ortsnamen beinhalten, sondern beispielsweise den Namen eines Forsthauses tragen, erweist sich die Lokalisierung als äußerst schwierig (bei Meldekarten hilft manchmal der Poststempel, siehe Abb. 2). Dabei ist man fast ausschließlich auf die Stationsakten oder auf Veröffentlichungen über diese Station angewiesen.

Fehlende Informationen in Stationsakten und vollständig fehlende Metadaten stellen ein weiteres Problem dar. Die Stationsakten des DWD enthalten kaum Informationen über die Zeit vor 1945. In den 1950er Jahren wurden beim DWD zumindest für die Klimastationen I. und II. Ordnung (etwa 400 Orte), die Stationsgeschichte rekonstruiert. Sie beinhalten die damals verfügbaren Informationen aus den vorhandenen Stationsakten, aus Meteorologischen Jahrbüchern und anderen Veröffentlichungen. Der Inhalt der rekonstruierten Stationsakten umfasst die Zeitpunkte von Beobachterwechseln und Stationsverlegungen, Angaben über den Standort der Station und die Umgebung, geographische Koordinaten, Instrumentierung, Messprogramm und Messzeitpunkte sowie Veröffentlichungen, in denen Bezug auf diese Station genommen wurde (manchmal sind aber keine genauen Angaben vorhanden). Diese rekonstruierten Stationsakten werden zurzeit noch digitalisiert. Gleichzeitig wird mit Google-Maps© eine Karte mit den dokumentierten Verlegungen erstellt.

Sehr problematisch sind die häufig auftretenden sogenannten Sammelmessungen bei Niederschlagsbeobachtungen (darunter versteht man Messung der Niederschlagshöhe über mehrere Tage hinweg und Eintrag der Summe am letzten Tag), da sie leicht als eine hohe tägliche Niederschlagssumme interpretiert werden können.

Dieser Umstand ist bei Untersuchungen zu Extremwerten besonders zu beachten. Sammelmessungen werden daher vorläufig als fehlende Werte gekennzeichnet. Diese Sammelmessungen wieder genähert auf die einzelnen Tage zu verteilen, ist nur im Vergleich mit Nachbarstationen möglich. Da es aber bei den historischen Daten zurzeit nur wenige digitale Vergleichsstationen gibt, kann diese Korrektur erst später durchgeführt werden. Ähnlich problematisch ist die häufig fehlende Unterscheidung zwischen „Messung ausgefallen“, „kein Niederschlag gefallen“ und „Niederschlag nicht messbar“. Je nach Beobachter wurde dies unterschiedlich gehandhabt; meistens wurde leider nichts aufgeschrieben. Daher ist auch hier ein Abgleich mit benachbarten Stationen notwendig, um fehlende Messungen zu finden und entsprechend zu kennzeichnen.

### Ausblick

Die in der ersten Projektphase begonnenen Arbeiten werden nach 2008 entsprechend folgenden Schwerpunkten fortgesetzt: Digitalisierung von Rollfilmen, Ergänzung der Ostdeutschen Niederschlagsreihen von 1945 bis 1968, Aufbereitung der digitalisierten Daten, Erstellung der 1. Version eines qualitativ hochwertigen täglichen Klimadatensatzes, Kooperationen mit in- und ausländischen Arbeitsgruppen in diesem Bereich.

Höchste Priorität wird derzeit der digitalen Sicherung der Rollfilme eingeräumt, deren Zustand besorgniserregend ist (Abb. 8). Darüber hinaus sieht die Planung für die zweite Phase des Projekts (2009-2013) eine Erhöhung des Bestands an täglichen langen Niederschlagsreihen um 90 Stationen vor. Die Klimareihen sollen bis 2013 um ca. 30 Reihen ergänzt werden. Damit wäre allerdings erst etwa 10 % des geschätzten Digitalisierungspotentials abgearbeitet (Tab. 3). Auf der Basis der bis 2013 geplanten Digitalisierungen wird die erste Version eines hochwertigen Niederschlags- und Klimadatensatzes erstellt werden, der der Wissenschaft zur Verfügung gestellt werden kann.

**Tab. 3:** Ausblick auf die Ergänzung der täglichen langen Beobachtungsreihen

	Anzahl der Stationen mit täglichen Zeitreihen >100 Jahre	
	Niederschlagstationen	Klimastationen
Stand vor Projektbeginn	88	12
Realisiert bis Dez. 2008	242	12
Plan 2009-2013	90	30
Zwischenstand Ende 2013	420	54
<i>in % des gesamten Potentials</i>	<i>10 %</i>	<i>10 %</i>
Plan 2013-2025	580	36
Stand Ende 2025	1000	90
<i>in % des gesamten Potentials</i>	<i>28 %</i>	<i>23 %</i>
Gesamtpotential in Stationsjahren	165000	23000

Aus der Perspektive und den Erfahrungen des Verlaufs der ersten Phase (der letzten 3 Jahre) betrachtet, muss das KLIDADIGI-Projekt langfristiger, d.h. über 2013 hinaus, angelegt werden, um den Anforderungen der WMO, der internationalen Klimaforschungs-Community und der Zielsetzung des Projektes zumindest teilweise gerecht zu werden. Als langfristiges Ziel wird eine Erweiterung des Bestands an langen Niederschlagsreihen von anfangs 88 (in 2005) um 912 auf etwa 1000 bis zum Jahr 2025 angestrebt (28% des Gesamtpotentials). Für den gleichen Zeitraum sollen die langen Klimareihen von 12 (2005) um 78 auf 90 erweitert werden (23% des Gesamtpotentials). Mit dem derzeitigen Personalbestand könnte somit etwa ein Viertel des Gesamtpotentials bis zum Jahr 2025 digitalisiert und gesichert werden (Tab. 3).

Wenn sich der Trend der letzten Jahre in der Wissenschaft fortsetzt, wird der Bedarf an zeitlich hoch aufgelösten Klimadaten weiter ansteigen. Für die erwähnten Reanalysen des 20. Jh. (The 20th Century Reanalysis Project, NOAA and DoE, Compo et al. 2006) sind insbesondere die sehr spärlichen Messungen der freien Atmosphäre aus der ersten Hälfte des 20. Jh. von herausragender Bedeutung. Daher ist auch die Digitalisierung der bisher noch unerwähnt gebliebenen Unterlagen von Messungen der freien Atmosphäre (Radiosonden- und Ballonaufstiege vor dem Jahre 1960) und von Stundenwerten der Klimadaten (aus Registrierungen der Thermohygrographen, des Windes und des Bodendrucks sowie von Sonnen- und Regenschreibern), ins Auge zu fassen. Besonders die Streifen aus Thermopapier sind vom Ausbleichen bedroht und damit auch der Verlust dieser Daten. Dabei müssen die Empfehlungen von Phil Jones berücksichtigt werden: „all DARE activities should be considered long-term, so there is a need to prioritize efforts, as well as continuing to look for sources of older material, looking particularly for measurements made prior to the founding of the National Meteorological and Hydrological Services (NMHS)” (MEDARE: Rescue and Digitization of Climate Records in the Mediterranean Basin, Implementation Plan. WCDMP No. 67, WMO-TD No. 1432 S. XVIII).

Eine Zusammenarbeit mit den Nachbarländern ist, besonders in Bezug auf die Homogenisierung der langen Reihen, unbedingt notwendig. Da Berechnungsmethoden, Beobachtungstermine und Beobachteranleitungen gleichzeitig landesweit geändert wurden, ist es mit räumlich benachbarten Stationen des gleichen Landes nicht einfach möglich, daraus resultierende nichtklimatische Änderungen zu entdecken. Diese können aber sehr wohl durch Vergleiche über Ländergrenzen hinweg erkannt und eliminiert werden. Auch wenn Nachbarländer ähnliche Regeln hatten, war die Zeit ihrer Einführung meist unterschiedlich.

Eine noch ausstehende Aufgabe ist die Suche nach Unterlagen in anderen Archiven (z. B. an Universitäten und in Stadt- und Staatsarchiven) mit Beobachtungen aus der Zeit vor der Gründung der Landeswetterdienste. Der Leser wird daher um diesbezügliche Hinweise gebeten.

### Literatur

- Aguilar E., I. Auer, M. Brunet, T.C. Peterson and J. Wieringa 2003: Guidance on metadata and homogenization. WCDMP-No. 53, WMO-TD No. 1186. (<http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/wcdmp/WCDMPseries.html>).
- Brönnimann S., J. Annis, W. Dann, T. Ewen, A. N. Grant, T. Griesser, S. Krähenmann, C. Mohr, M. Scherer, C. Vogler, 2006: A guide for digitising manuscript climate data. *Clim. Past*, 2, 137–144. ([www.clim-past.net/2/137/2006/](http://www.clim-past.net/2/137/2006/)).
- Compo G. P., J. S. Whitaker, P. D. Sardeshmukh, 2006: Feasibility of a 100-year Reanalysis using only surface pressure data. *BAMS*, Vol. 87, 175-190. DOI:10.1175/BAMS-87-2-175.
- IPCC, 2007: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 999 pp.
- Page C. M., N. Nicholls, N. Plummer, B. Trewin, M. Manton, L. Alexander, L. E. Chambers, Y. Choi, D. A. Collins, A. Gosai, P. Della-Marta, M. R. Haylock, K. Inape, V. Laurent, L. Maitrepierre, E. E. P. Makmur, H. Nakamigawa, N. Ouprasitwong, S. McGree, J. Pahalad, M. J. Salinger, L. Tibing, T. D. Tran, K. Vediapan and P. Zhai, 2004: Data Rescue in the Southeast Asia and South Pacific Region: Challenges and Opportunities. *BAMS*, Vol. 85, 1483-1489.
- Tan L.S., S. Burton, R. Crouthamel, A. van Engelen, R. Hutchinson, L. Nicodemus, T.C. Peterson, F. Rahimzadeh 2003: Guide to Data Rescue, Preservation and Digitization of Climate Data. WCDMP-No. 55, WMO/TD No. 1210 (<http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/wcdmp/WCDMPseries.html>).
- Wege K. 2002: Die Entwicklung der meteorologischen Dienste in Deutschland. In: *Geschichte der Meteorologie in Deutschland*, DWD.
- Zöllner, R. 2006: Historische maritimmeteorologische Daten von Segelschiffen und Dampfern : das Projekt HISTOR des deutschen Wetterdienstes In: *Deutsche Meteorologische Gesellschaft: Mitteilungen* ; ISSN 0177-8501. - 2006, 4, S. 2 – 4.
- CDMP: Climate Database Modernization Program <http://www.ncdc.noaa.gov/oa/climate/cdmp/cdmp.html>
- ECA&D: European Climate Assessment & Dataset; <http://eca.knmi.nl/>
- EMULATE: European and North Atlantic daily to MULTidecadal climATE variability; <http://www.cru.uea.ac.uk/cru/projects/emulate/>
- EMSLP: EMULATE Mean Sea Level Pressure data set; <http://hadobs.metoffice.com/emslp/>
- EuroClimHist: climatic (high-resolution) proxies from natural and documentary archives; <http://www.euroclimhist.com/>
- GODAR: Global Oceanographic Data Archaeology and Rescue and the World Ocean Database Project; <http://www.nodc.noaa.gov/General/NODC-dataexch/NODC-godar.html>
- ICODAS: International Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set; <http://icoads.noaa.gov/>
- IEDRO: International Environmental Data Rescue Organization: <http://www.iedro.com>
- IMPROVE : Improved understanding of past climatic variability from early daily European instrumental sources; <http://www.isac.cnr.it/~microcl/climatologia/improve.php>
- Medar/medatlas II: Mediterranean Data Archaeology and Rescue; <http://www.ifremer.fr/medar/>, <http://medar.ieo.es/>
- MEDARE: Rescue and Digitization of Climate Records in the Mediterranean Basin. WCDMP No. 67, WMO-TD No. 1432. <http://www.omm.urv.cat/MEDARE/index.html>
- Med-CLIVAR: Mediterranean CLimate VARIability and Predictability: <http://www.medclivar.eu/>
- NOAA: Central Library Climate Data Imaging Project [http://docs.lib.noaa.gov/rescue/data\\_rescue\\_home.html](http://docs.lib.noaa.gov/rescue/data_rescue_home.html)
- WMO-DARE: <http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/wcdmp/WCDMPseries.html>

## Qualitätskontrolle historischer Klimadaten

J. Behrendt, K. Zimmermann

### Einleitung

Viele Aussagen zum Klima und seiner Variabilität basieren auf einer Analyse von Monatswerten (Summen, Mittel) meteorologischer Parameter. In der letzten Zeit wird zunehmend die Verteilung des Auftretens extremer Ereignisse (und ihre Änderung) untersucht, die wiederum nur mit langen Zeitreihen von zeitlich höher aufgelösten Daten (z.B. von Tageswerten) analysiert werden kann. Die wichtigste Quelle für lange Zeitreihen von Tageswerten aus Deutschland bis zurück in das 18. Jahrhundert ist die Datenbank des Nationalen Klimadatenzentrums (NKDZ) im Deutschen Wetterdienst (DWD). Leider ist die Qualität dieser Daten aus der Zeit vor der Einführung einer rechner-gestützten Qualitätskontrolle Ende der 1970er Jahre nicht ausreichend gesichert. Es wurden zwar eingehende manuelle Verfahren der Qualitätssicherung angewendet, aber diese Verfahren waren nicht immer vollständig und durch Übertragungsfehler bei der Digitalisierung der Daten haben sich nachträglich neue Fehler eingeschlichen.

Aus der Zeit vor Gründung des Reichswetterdienstes im Jahr 1934 (Wege, 2002) kommen noch Unterschiede in der Datengewinnung hinzu, die nicht in jedem Fall ausreichend dokumentiert wurden (von Bezold, 1888). Besonders müssen hier die Verfahren zur Bildung des Tagesmittels der Temperatur aus drei Beobachtungsterminen berücksichtigt werden. Seit 1931 sind die drei Termine für Klimabeobachtungen in Deutschland einheitlich auf die Mannheimer Stunden um 07, 14 und 21 Uhr mittlere Ortszeit (MOZ) festgelegt. Die Tagesmittel der Temperatur werden mit der Kämtz'schen Formel

$$TM = ( T07 + T14 + 2 * T21 ) / 4$$

TM: Tagesmitteltemperatur  
T07: Temperatur um 7 Uhr MOZ  
T14: Temperatur um 14 Uhr MOZ  
T21: Temperatur um 21 Uhr MOZ

berechnet. Vor 1931 gab es aber durchaus Stationen mit anderen Beobachtungsterminen und Verfahren zur Berechnung der Tagesmitteltemperatur.

Aus den genannten Gründen schien es sinnvoll zu sein, alle Tageswerte, die noch nicht mit einheitlichen Verfahren der Qualitätskontrolle überprüft wurden, einer nachträglichen systematischen Prüfung zu unterziehen. Das ist jetzt sehr viel leichter möglich als noch vor etwa zehn Jahren, weil nun alle Daten in einer relationalen Datenbank (MIRAKEL) gespeichert und für eine Überprüfung und Korrektur im Direktzugriff verfügbar sind. Hinzu kommt, dass seit 2006 mit dem Projekt KLIDADIGI zusätzliche Tageswerte aus der Zeit vor 1969 digitalisiert werden und sich so die Möglichkeiten der Qualitätskontrolle historischer Daten wegen der größeren räumlichen Dichte deutlich verbessern.

Da die Überprüfung und die nachfolgenden Maßnahmen der Korrektur oder Dokumentation recht zeitaufwendig sind, wird die Prüfung in zwei Stufen durchgeführt.

1. Zunächst wurden alle Daten einem groben Grenzwertcheck unterzogen, um so deutliche Ausreißer zu identifizieren. Ebenso wurden Daten aus der Zeit vor 1931 darauf hin überprüft, ob die Extrema und die Terminwerte der Temperatur konsistent zum Tagesmittel sind, um so Hinweise auf abweichende Regeln in der Gewinnung von Tageswerten zu erhalten.
2. Parallel dazu wurde damit begonnen, alle Tageswerte (und die den Tageswerten zu Grunde liegenden Terminbeobachtungen) rückwirkend ab 1980 einer systematischen Prüfung gegen integrierte Werte sowie auf fachliche, innere und räumliche Konsistenz zu unterziehen.

Maßnahmen nach der Prüfung sind Bestätigung, Korrektur, Löschung und Markierung der beanstandeten Daten. In Fällen, in denen Probleme aus abweichenden Regeln der Datengewinnung resultieren, werden diese Regeln dokumentiert.

### *Vorabprüfung*

Zunächst wurde ein grober Grenzwertcheck durchgeführt. Es wurden Temperaturmaxima (TX) und -minima (TN), Niederschlagssummen (RR) sowie Windspitzenmaxima (FX) hinsichtlich des Überschreitens grober Schwellenwerte untersucht. Dabei musste in jedem Einzelfall anhand von Originalunterlagen und Nachbarstationen geklärt werden, ob es sich wirklich um zweifelhafte bzw. falsche Werte handelte oder ob extreme Wetterlagen, wie z.B. der „sibirische“ Winter 1929 oder der Sommer 2003 ursächlich waren und die beanstandeten Daten bestätigt werden konnten. Wenn die Daten nicht bestätigt wurden, wurden sie korrigiert oder - wenn das nicht möglich war - gelöscht. Alle beanstandeten Werte und die durchgeführten Maßnahmen wurden in einer Datenbanktabelle dokumentiert.

Anschließend wurde anhand der Temperaturdaten überprüft, ob die Tageswerte und die Terminwerte zusammen passen.

1.  $TX > TM > TN$ .
2.  $TM = (T07 + T14 + 2 * T21) / 4$  (Kämtz'sches Mittel)

Alle Fälle, bei denen diese Bedingungen nicht erfüllt waren, wurden in einer Datenbanktabelle dokumentiert und nach Station und Jahr ausgezählt. Falls diese Bedingungen an einzelnen Stationen häufig verletzt werden, so ist das ein Hinweis darauf, dass an den betreffenden Stationen abweichende Bezugszeiten für die Tagesextrema galten, oder dass andere Regeln bei der Berechnung der Tagesmittel angewendet wurden und die Beobachtungstermine nicht mit den Mannheimer Stunden (07, 14 und 21 Uhr MOZ) übereinstimmten. Vor 1931 konnten so einzelne Stationen und Zeiträume identifiziert werden, in denen abweichende Regeln angewendet wurden. Die Gründe wurden mit Hilfe alter Jahr- und Stationstagebücher recherchiert. Diese geben Auskunft darüber, zu welchen Terminen welche Messungen stattfanden und nach welchen Formeln Mittelwerte berechnet wurden.

## *Systematische Prüfung*

Die systematische Prüfung von Tageswerten wird monatsweise rückwirkend auf die Zeit vor Einrichtung DV-gestützter Prüfroutinen (also vor 1980) durchgeführt. Es ist geplant, die im Zeitraum 1950 – 1980 gemessenen Werte bis Ende 2014 systematisch zu prüfen und zu korrigieren. Die historischen Daten langer Zeitreihen vor 1950 werden zusammen mit den dann im Projekt KLIDADIGI neu digitalisierten Werten überprüft (Mächel, 2009). Die hier beschriebene systematische Prüfung beinhaltet Prüfungen auf räumliche und innere Konsistenz, gegen integrierte Werte (Tab. 1) sowie den Abgleich von Tageswerten aus unterschiedlichen Datenkollektiven:

Auf räumliche Konsistenz werden die Werte überprüft, indem sie mit Nachbarmessungen verglichen werden. Das ist vor allem dann sinnvoll, wenn die Stationsdichte hoch genug ist, wie z. B. bei Niederschlagsstationen. Bei anderen Parametern wie der Temperatur reicht die Stationsdichte bei den historischen Daten für einen sinnvollen Vergleich mit Nachbarstationen noch nicht aus. Daher wird in diesem Fall nur eine grobe räumliche Prüfung durchgeführt, d.h. es wird überprüft, ob die Werte zu der Verteilung der Werte an einem Tag in einem größeren Gebiet passen. Bei der Prüfung auf innere Konsistenz wird ein Datensatz auf Widerspruchsfreiheit der Daten untereinander getestet. So darf z.B. bei völlig bedecktem Himmel kein Sonnenschein oder bei Windstille keine Windrichtung registriert worden sein. Prüfung gegen integrierte Werte bedeutet, dass einzelne Terminwerte gegen Tageswerte geprüft werden. Realisiert ist zunächst die Prüfung der Terminwerte der Temperatur gegen die Tagesextrema. Den schematischen Ablauf der systematischen Prüfung zeigt Abbildung 1.

In alten Tageswerten gibt es das Problem, dass Werte an einer Station aus unterschiedlichen voneinander unabhängigen Datengewinnungsroutinen gewonnen wurden. So wurden an Klimastationen neben den Klimatabellen auch Tabellen für die Erfassung der Niederschlagsdaten erstellt. Zusätzlich wurden bei der nachträglichen Auswertung von Registrierstreifen Tagesmaxima der Windgeschwindigkeit und Tagessummen der Sonnenscheindauer zusammen mit den dazugehörigen Stundenwerten gewonnen, die nicht unbedingt mit den Werten in der Klimatablelle übereinstimmten. Ein Abgleich hat früher nicht immer stattgefunden. Aus diesem Grund wurde die systematische Prüfung um einen Tageswerteabgleich ergänzt. Ziel dieser Prüfung ist es sicherzustellen, dass es für jede Station und jedes Element nur einen Tageswert gibt. Es wird geprüft, ob sich die Tageswerte in der Klimadatenbank aus dem Klimamessnetz von Tageswerten aus den speziellen Messnetzen (Niederschlag, Wind und Sonnenscheindauer) unterscheiden. Ist der Unterschied gering, so wird automatisch anhand fester Regeln einer der Werte vorgeschlagen, ist der Unterschied größer, so wird anhand von Nachbarstationen entschieden, welcher Wert der bessere ist.

Parameter	Art der Prüfung
Niederschlag	räumliche Prüfung
Windspitzenmaximum Tagesmittel der Temperatur Temperaturextrema (Minimum, Maximum)	grobe räumliche Prüfung
Sichtweite relative Feuchte Erdbodenzustand Neuschneehöhe Schneehöhe Art der Schneedecke Niederschlagsmenge Form des Niederschlags Sonnenscheindauer Bedeckungsgrad Windgeschwindigkeit Windrichtung Terminwerte Temperatur Temperaturmaximum Temperaturminimum Temperaturminimum am Erdboden Feuchttemperatur	Prüfung auf innere Konsistenz
Terminwerte der Temperatur Temperaturextrema (Minimum, Maximum)	Prüfung gegen integrierte Werte

**Tab. 1:** Übersicht über die durchgeführten Prüfungen

Als Prüfergebnisse werden die angezweifelte Werte, das Prüfkriterium und ggf. ein Korrekturvorschlag in eine Ergebnistabelle geschrieben. Diese Ergebnistabelle wird manuell bearbeitet, um zu entscheiden, ob die beanstandeten Werte bestätigt oder korrigiert werden müssen. Hinsichtlich der Fehler müssen zwei Klassen unterschieden werden:

- Systematische Fehler,
- Unsystematische Fehler.

Häufungen von gleichartigen Beanstandungen deuteten auf systematische Fehler hin, deren Ursache eruiert werden sollte. Beispiele für systematische Fehler sind z.B. falsche Bezugszeiten, falsche Codierungen oder Fehler in den Bearbeitungsrouninen. Ursache für unsystematische Fehler sind einzelne Übertragungsfehler bei der Digitalisierung oder falsch abgelesene Messwerte.

Die Ergebnistabelle bildet die Grundlage für die endgültigen Korrekturen in der Klimadatenbank. Sie wird archiviert, damit jederzeit nachvollzogen werden kann, welche Fehler gefunden und welche Korrekturen in der Datenbank vorgenommen wurden.

Die systematischen Fehler mit erkennbarem Muster und identifizierter Ursache werden separat, mit speziellen Anwendungen für alle Stationen und Zeiträume, für die diese systematischen Fehler auftraten, korrigiert. Die Dokumentation erfolgt in einer gesonderten Tabelle. Unsystematische Fehler werden mit Hilfe der Ergebnistabelle und den darin enthaltenen Korrekturvorschlägen und ggf. den Originalunterlagen korrigiert. Sowohl die Werte, die beanstandet aber nach Prüfung bestätigt wurden als auch die Werte, die korrigiert wurden und die, die beanstandet aber nicht korrigiert werden konnten, werden mit entsprechenden Qualitätsbytes versehen.

### Ergebnisse

Es hat sich herausgestellt, dass die Prüfung historischer Klimadaten ein weit gefächertes und sehr interessantes Arbeitsgebiet ist. Die Resultate der bisher durchgeführten Prüfungen zeigten, dass relativ wenig Fehler in den Daten gefunden wurden. Fehlerhäufungen traten nur bei systematischen Fehlern auf, deren Ursache meistens schnell gefunden wurde, so dass diese problemlos korrigiert werden konnten. Manchmal erforderte die Recherche nach den Ursachen der Fehler, vor allem bei den Klimadaten vor 1931, auch detektivische Fähigkeiten.

Mittels der groben Grenzwertprüfung wurden, gemessen an der Datenmenge, nur wenige falsche Werte gefunden. Nach Überprüfung der extremen Temperaturen wurden im gesamten Archiv acht zu hohe und drei zu niedrige Werte identifiziert. Beim Niederschlag und beim Wind wurden zwar deutlich mehr auffällige Werte gefunden, doch handelte es sich bei den meisten um wirkliche Extrema, die bestätigt werden konnten.

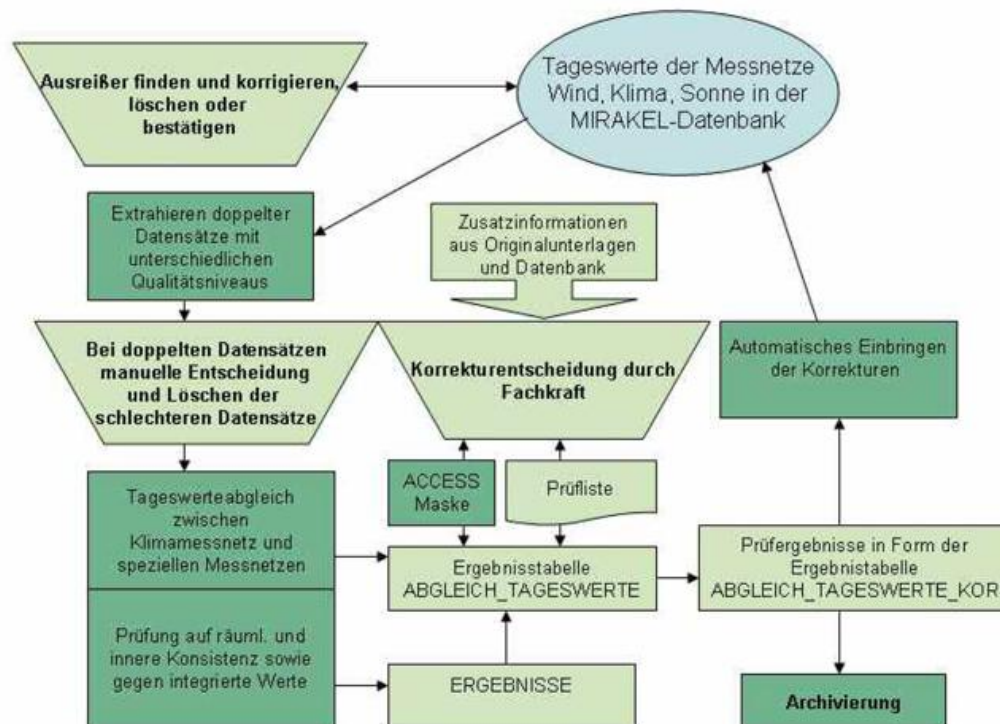


Abb. 1: Qualitätskontrolle historischer Bodendaten

Bei der systematischen Prüfung von Klimadaten vor 1980 konnten einige jahresübergreifende systematische Fehler entdeckt und korrigiert werden. So wurden z.B. bei ostdeutschen Stationen vor 1991 im Windmessnetz fehlende maximale Windspitze aus dem Klimamessnetz übertragen. Auch konnte ein Datensatz mit Tageswerten der Sonnenscheindauer korrigiert werden. Bei der Recherche stellte sich heraus, dass Lücken im Sonnenscheinkollektiv mit Daten von Nachbarstationen ergänzt wurden, obwohl die Werte des Klimakollektivs zur Verfügung standen. Diese, sowie alle anderen korrigierten systematischen Fehler, wurden dokumentiert.

Besonders interessant war das Arbeiten mit historischen Zeitreihen, deren Anfänge im 19. Jahrhundert lagen. Bei der Klimareihe der Seewarte Hamburg war von 1891 - 1915 das Temperaturmaximum häufig kleiner als das Tagesmittel. Dieser Fehler war darauf zurückzuführen, dass das Temperaturmaximum morgens gemessen und statt dem Vortag dem Tag der Messung zugeordnet wurde. Diese Beobachtungsvorschrift kann in den Meteorologischen Jahrbüchern der Deutschen Seewarte der entsprechenden Jahre nachgelesen werden. In den Jahrbüchern ist auch vermerkt, an welchen Stationen nach dem System der Deutschen Seewarte beobachtet wurde. An diesen Stationen wurde nicht zu den Mannheimer Stunden sondern um 08, 14 und 20 Uhr mittlere Ortszeit beobachtet (Direktion der Seewarte, 1891). Die Tagesmittel wurden mit der "Seewartenformel" berechnet: Für die Monate Mai – August wurde das Tagesmittel der Temperatur nach der Formel:

$$(T08 + T20 + TX + TN) / 4,$$

T08: Temperatur um 8 Uhr MOZ

T20: Temperatur um 20 Uhr MOZ

TX: Temperaturmaximum

TN: Temperaturminimum

für die Monate September – April nach der Formel:

$$((T08 + T20) / 2 + (T08 + T14 + T20) / 3) / 2$$

T14: Temperatur um 14 Uhr MOZ

berechnet.

Die relevanten Informationen zu diesen Stationen wurden tabellarisch dokumentiert. Das um einen Tag verschobene Temperaturmaximum wurde bereits dem richtigen Tag zugeordnet. Konsequenterweise wurden für den Zeitraum 1891 – 1915 für die Monate Mai – August auch die Tagesmitteltemperaturen neu berechnet, da aufgrund der falschen Zuordnung das Tagesmittel mit dem Maximum des Vortages berechnet wurde.

Bei weiteren Untersuchungen bzgl. der Tagesmitteltemperatur stellte sich heraus, dass die Seewartenformel manchmal auch auf Temperaturwerte preußischer Stationen angewendet wurde, die zu den Mannheimer Stunden beobachtet hatten, z.B. Lübeck und Clausthal-Zellerfeld. In diesen Fällen mussten die Tagesmittel nach der Kämtz'schen Formel neu berechnet werden.

Alle bisher gefundenen Besonderheiten der historischen Datenreihen können im Internet unter: [www.dwd.de/klimamonitoring](http://www.dwd.de/klimamonitoring) unter den Punkten Klimadatenzentren – NKDZ – Qualitätssicherung – historische Klimadaten nachgelesen werden.

#### *Literatur*

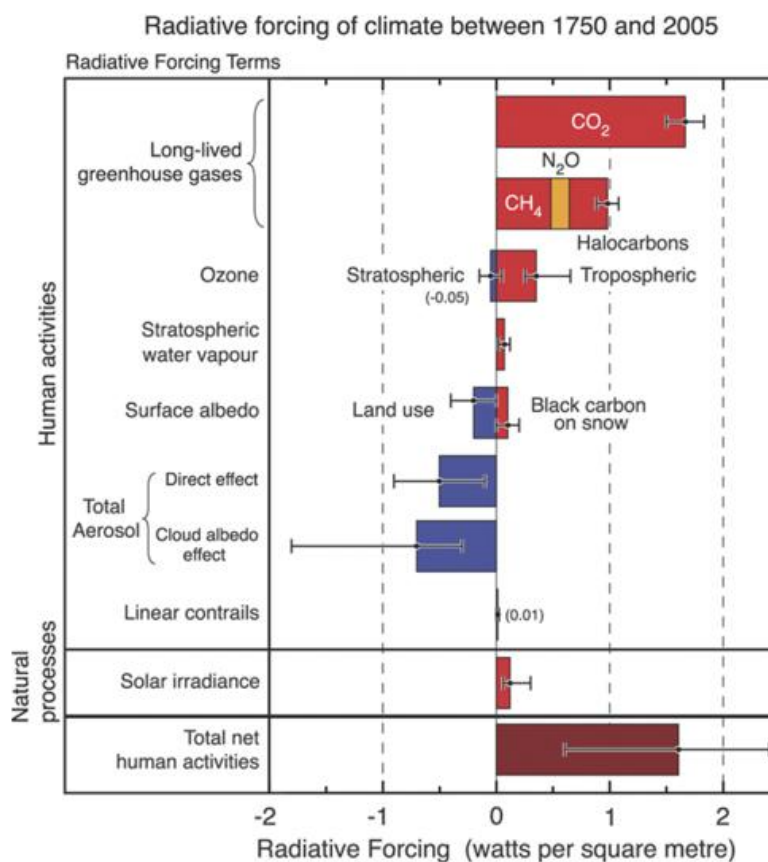
- Direktion der Seewarte 1892: Deutsches Meteorologisches Jahrbuch für 1891. Beobachtungs-System der Deutschen Seewarte. Ergebnisse der Meteorologischen Beobachtungen, Hamburg.
- Mächel H., A. Kapala, J. Behrendt, C. Simmer 2009: Rettung historischer Klimadaten in Deutschland: das KLIDADIGI-Projekt des DWD. In: Klimastatusbericht 2008, DWD.
- Von Bezold W. 1888: Ergebnisse der meteorologischen Beobachtungen im Jahre 1886. Königlich Preussisches Meteorologisches Institut, Berlin.
- Wege K. 2002: Die Entwicklung der meteorologischen Dienste in Deutschland. In: Geschichte der Meteorologie in Deutschland, DWD.

## Entwicklung klimarelevanter Spurengase

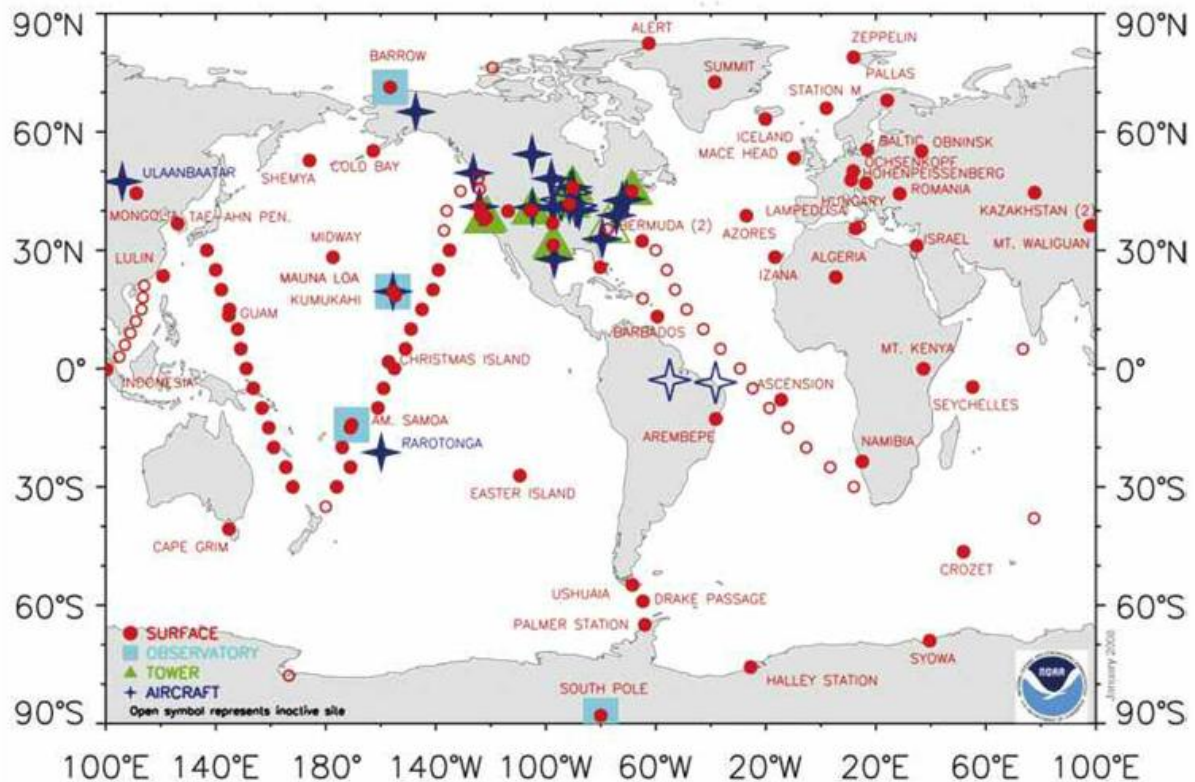
C. Plass-Dülmer, S. Gilge, H. Claude, W. Fricke, U. Köhler, W. Steinbrecht

### 1. Globale Entwicklung von klimarelevanten Spurengasen

Die Änderungen der atmosphärischen Treibhausgas- und Aerosolkonzentrationen sowie der Landnutzung sind die Ursache für einen globalen Klimawandel [IPCC2007]. Hierbei ist „der größte Teil des beobachteten Anstiegs der mittleren globalen Temperatur seit Mitte des 20. Jahrhunderts sehr wahrscheinlich durch den Anstieg der anthropogenen Treibhausgaskonzentrationen verursacht“ [IPCC2007]. Das Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) definiert „Strahlungsantrieb“ (engl. „Radiative Forcing“) als „eine extern aufgeprägte Störung des Strahlungsenergie-Budgets des Klimasystems der Erde durch z.B. Änderungen der solaren Strahlung, Änderungen der Erd-Albedo, oder Änderungen bei Gasen und Aerosol Partikeln in der Atmosphäre“. Von IPCC werden Änderungen gegenüber dem vor-industriellen Zustand diskutiert, der so gewählt wurde, dass er die Bedingungen von 1750 repräsentiert. In Abbildung 1 sind die verschiedenen Beiträge zum Strahlungsantrieb dargestellt, von denen Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), Methan (CH<sub>4</sub>), Ozon (O<sub>3</sub>), Lachgas (N<sub>2</sub>O) und halogenierte Kohlenwasserstoffe (überwiegend Fluorchlorkohlenwasserstoffe, engl. halocarbons) die wichtigsten Beiträge bei den Spurengasen liefern.



**Abb. 1:** Beiträge zum Strahlungsantrieb (Radiative Forcing) nach IPCC 2007 (Abbildung von Forster et al., 2007)

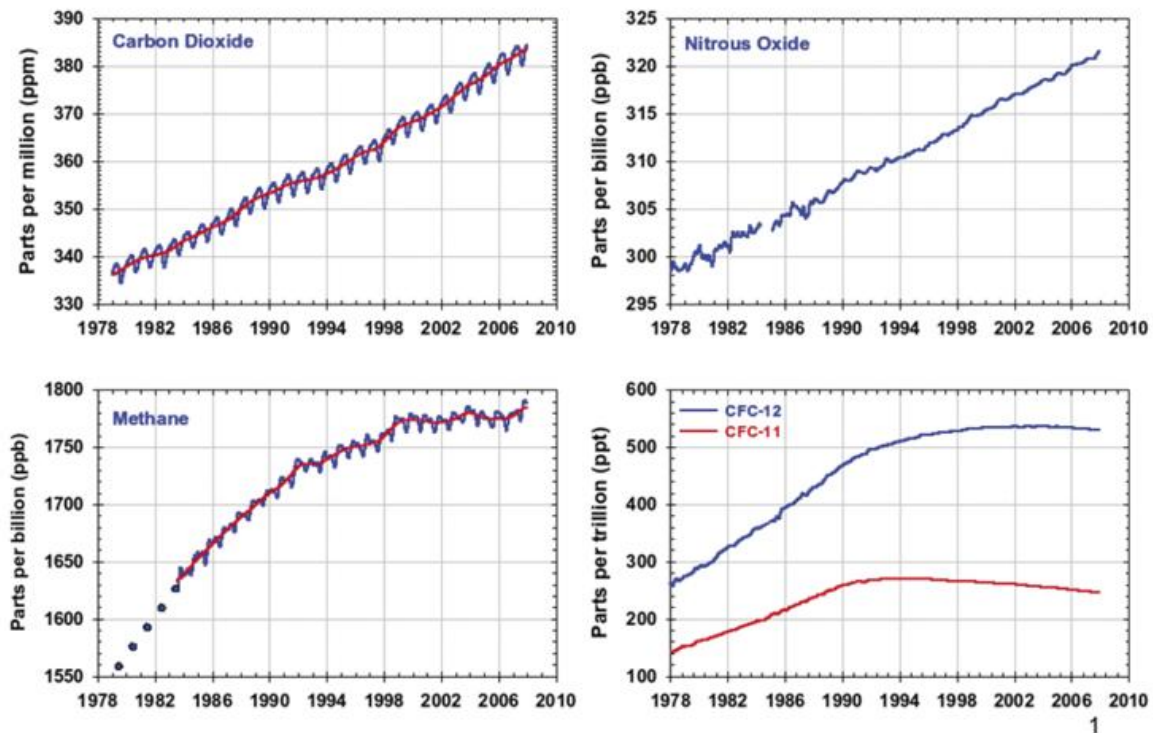


**Abb. 2:** Das „NOAA Earth System Research Laboratory Global Cooperative Air Sampling Network“. Hohenpeißenberg ist eine der Stationen mit überlappenden Behälter- und „In-situ Messungen“ von reaktiven Spurengasen. (Abbildung von AGGI, NOAA 2008)

Dieser Beitrag befasst sich zunächst mit den globalen Änderungen bei den Spurengasen. Im zweiten Teil werden für das Meteorologische Observatorium Hohenpeißenberg Änderungen klimarelevanter Spurengase in der Troposphäre und im dritten Teil Ozonänderungen in der Stratosphäre diskutiert.

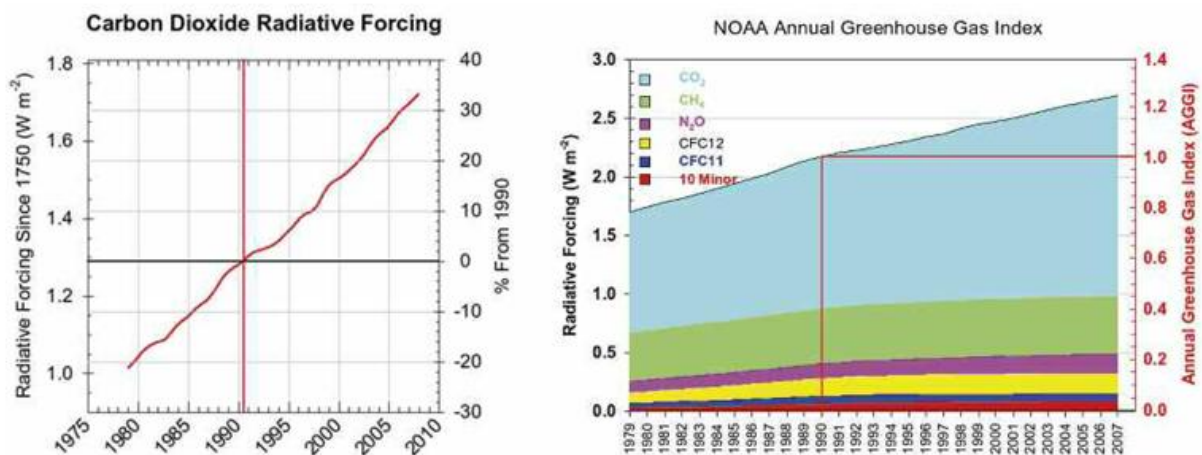
Die langlebigen Treibhausgase ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ , FCKW) werden in globalen Messnetzen vor allem von NOAA (Cooperate Flask Sampling Program), AGAGE (Advanced Global Atmospheric Gases Experiment) und anderen Institutionen wöchentlich, sowie an ausgewählten Stationen auch kontinuierlich gemessen (Abbildung 2).

Die Daten erlauben eine gute Bestimmung der zeitlichen Entwicklung der global gemittelten Konzentrationen. Abbildung 3 zeigt relativ kontinuierliche Anstiege bei  $\text{CO}_2$  und  $\text{N}_2\text{O}$ , hingegen sich deutlich abschwächende Anstiege bis hin zu konstanten Werten bei Methan, und teilweise abnehmende Konzentrationen bei CFC-11 und CFC-12. Ursachen sind in erster Linie die unterschiedlichen Emissionsentwicklungen, die im Falle der FCKW durch Emissionsminderungen entsprechend dem Montreal-Abkommen verursacht sind.



**Abb. 3:** Zeitliche Entwicklungen der Konzentrationen ausgewählter Treibhausgase [Forster et al., 2007]

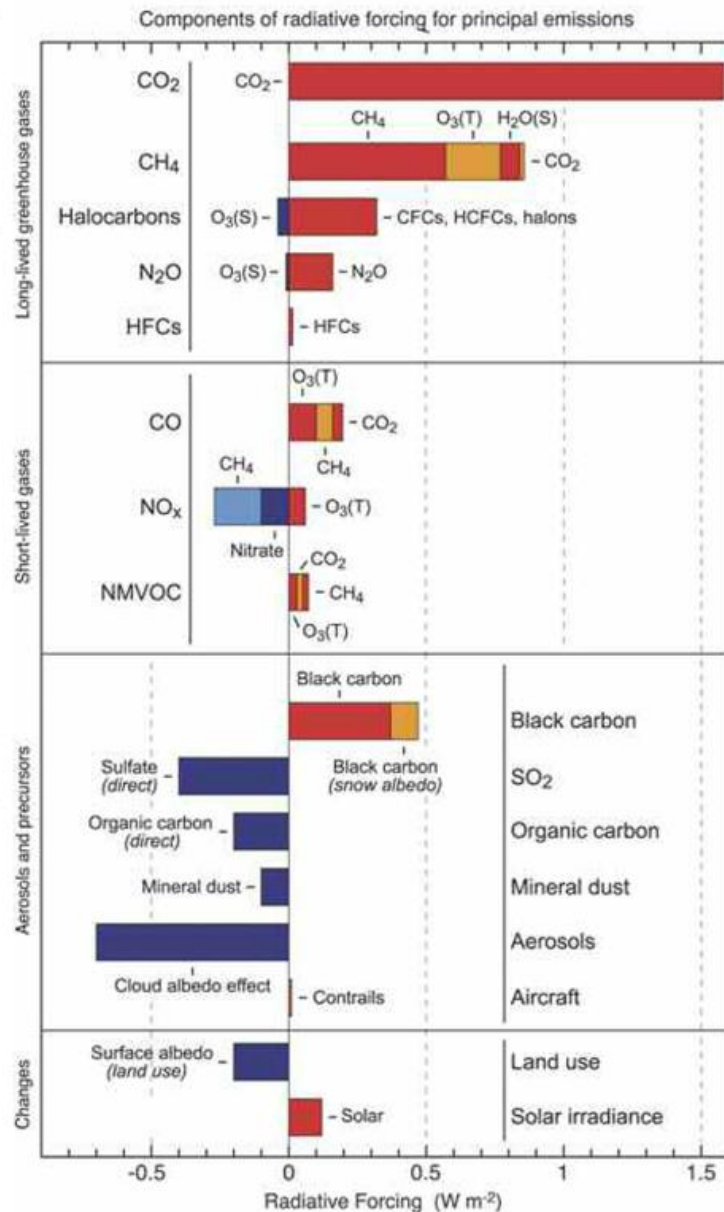
Die anthropogen verursachte Entwicklung des Strahlungsantriebs der langlebigen Treibhausgase wird von NOAA jährlich analysiert. Bedingt durch steigende Konzentrationen hat  $\text{CO}_2$  seit 1990 seinen anthropogen verursachten Strahlungsantrieb um 34% gesteigert (Abbildung 4a). Mit der Einführung des „Annual Greenhouse Gas Index (AGGI)“ [Hofmann et al. 2006] hat NOAA ein einfaches Instrument zur Verfügung gestellt, um die relative Änderung des Strahlungsantriebs der langlebigen Treibhausgase bezogen auf das Jahr 1990 zu verfolgen (Abbildung 4b).



**Abb. 4:** Entwicklung des Strahlungsantriebs von  $\text{CO}_2$  (a) und allen langlebigen Treibhausgasen (b) für 1979 – 2008 gegenüber der vor-industriellen Ära (1750) (AGGI, NOAA 2008)

Die dargestellten 6 Spurengase machen 97% des Strahlungsantriebs durch langlebige Treibhausgase aus. In 2007 lag der AGGI um 24% über dem Wert von 1990. Somit wurde der starke Anstieg von CO<sub>2</sub> (34%) durch die Abflachungen bei Methan und den FCKW teilweise kompensiert.

Will man dem Treibhauseffekt durch Emissionsminderungsmaßnahmen begegnen, sollte man den Blick auf die direkt emittierten Spurengase und deren Auswirkungen auf den Treibhauseffekt richten. Hier spielt die atmosphärische Chemie eine herausragende Rolle, da bei den atmosphärischen Abbauprozessen aus flüchtigen organischen Verbindungen ohne Methan (engl. NMVOC) sowohl Methan, als auch CO<sub>2</sub> und sekundäres organisches Aerosol entsteht, aus CO CO<sub>2</sub> gebildet wird, aus Stickoxiden Aerosol-Nitrat, aus Stickoxiden und CO bzw. VOC Ozon, und aus SO<sub>2</sub> Aerosol-Sulfat gebildet wird. Abbildung 5 zeigt die Strahlungsantriebe nach primär emittierten Gasen sowie die Anteile der verschiedenen Prozesse. Zusätzlich sind noch indirekte Prozesse berücksichtigt, z.B. wird durch CO-Emissionen die OH-Radikalkonzentration gesenkt, was wiederum zu einem Anstieg von Methan führt, weil dessen Abbau durch OH-Radikale jetzt langsamer läuft. Andererseits erhöht NO<sub>x</sub> die OH-Konzentration, weshalb dann Methan wiederum schneller abgebaut wird. Der Abbau von Methan in der Atmosphäre (wie auch der Abbau von CO und NMVOC) führt zur Bildung von Ozon, einem sekundären reaktiven Treibhausgas, das entsprechend Abbildung 1 das Treibhausgas mit dem drittgrößten Strahlungsantrieb ist.



**Abb. 5:** Strahlungsantriebe nach primär emittierten Substanzen, (T) und (S) stehen für Tropo- und Stratosphäre (Graphik aus IPCC 2007)

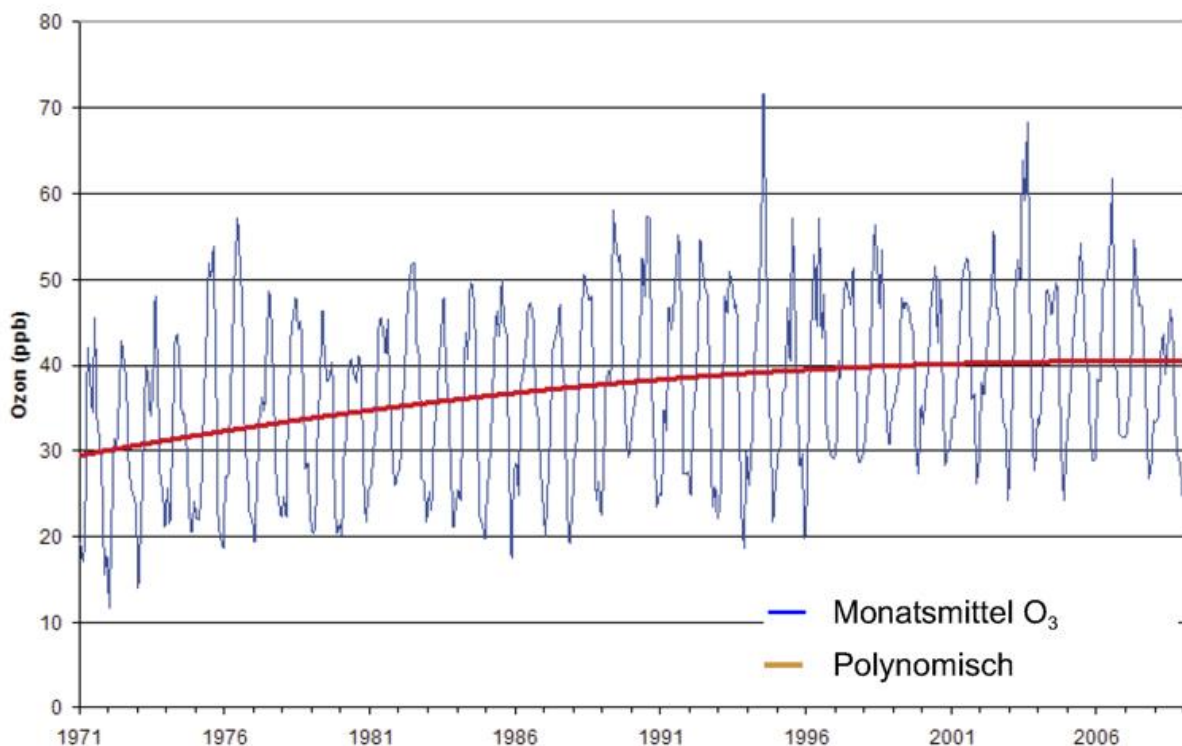
Im folgenden Abschnitt werden die Entwicklungen bei Ozon und den Vorläufermolekülen NMVOC, CO, NO<sub>x</sub> und SO<sub>2</sub> aus der langjährigen Messreihe der GAW Station Hohenpeißenberg diskutiert.

## 2. Entwicklung von bodennahem Ozon in Relation zu Vorläufersubstanzen am MOHp

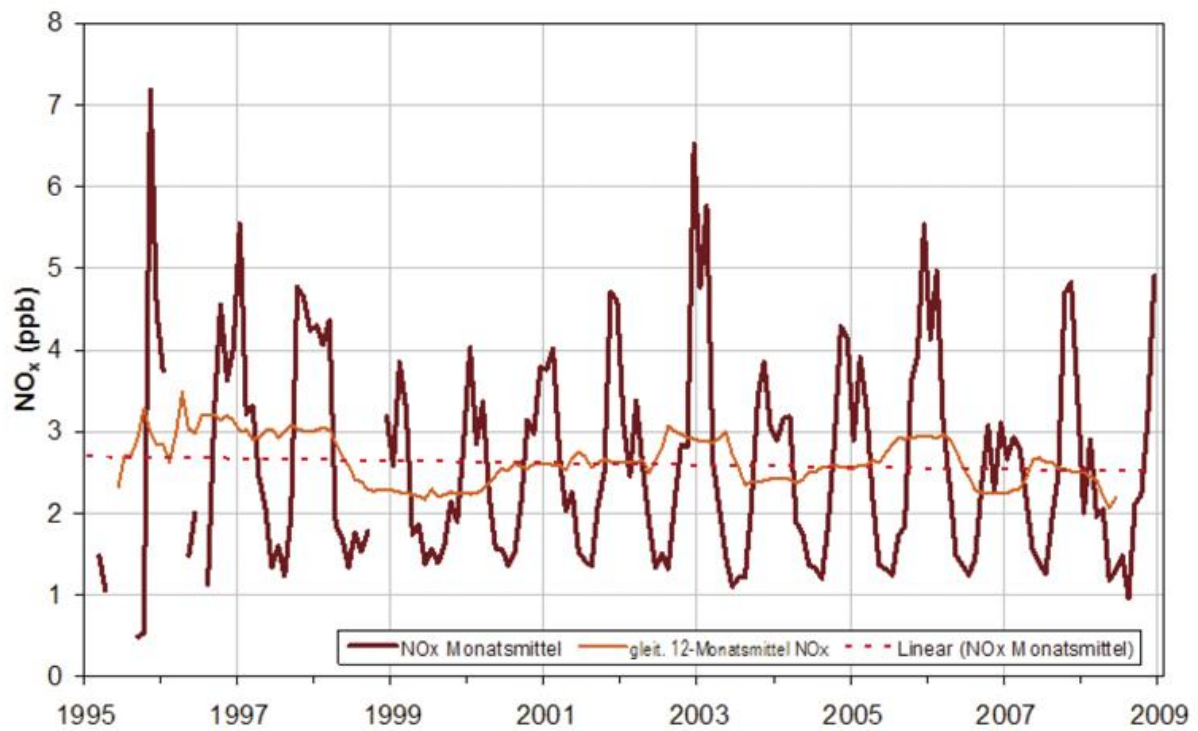
Die Quellen für Ozon in der Troposphäre sind Eintrag aus der Stratosphäre sowie die bereits erwähnte photochemische Bildung aus Vorläufersubstanzen, vor allem Stickoxide, Kohlenmonoxid (CO) und Nichtmethankohlenwasserstoffe (engl. NMVOC). Ozon wird aus der Luft durch Deposition an Oberflächen und Aerosolen und durch chemische Reaktionen vor allem mit primär emittiertem NO wieder entfernt. Am MOHp werden Messungen der bodennahen Ozonmischungsverhältnisse seit 1971 durchgeführt.

Für den gesamten Zeitraum von 1971-2008 lässt sich ein linearer Trend von etwa 0,3 ppb/a bestimmen, der signifikant ist. Der Trend hat sich allerdings immer weiter abgeschwächt und in den letzten ca. 10 Jahren ist das Ozon-Niveau konstant.

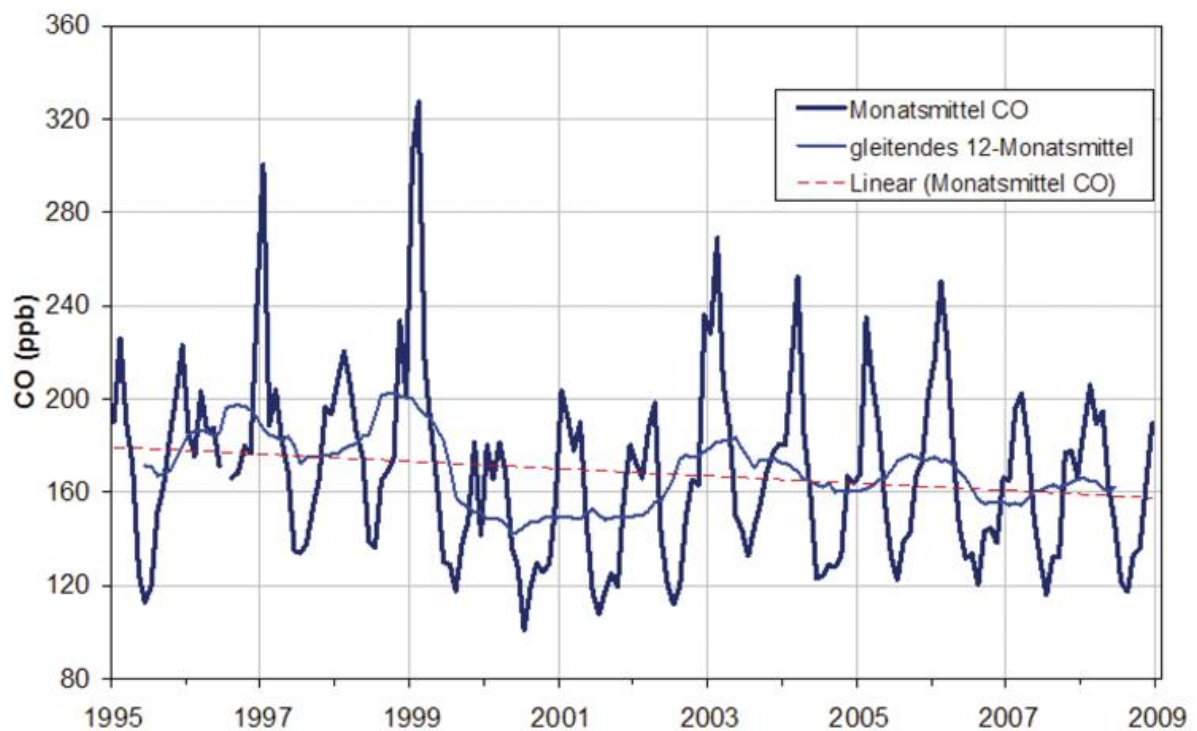
Es ist erstaunlich, dass bisher keine Abnahme der Ozonkonzentrationen beobachtet wurde, da in Folge von Emissionsminderungsmaßnahmen auf EU- und nationaler Ebene ein Rückgang des bodennahen Ozons zu erwarten war. Deshalb wird im Folgenden untersucht, wie sich die Emissionsminderungsmaßnahmen auf die Konzentrationen der Vorläufersubstanzen in den Messreihen am Hohenpeißenberg ausgewirkt haben. In den Abbildungen 7-9 sind die Zeitreihen der Stickoxide, des Kohlenmonoxids und der Kohlenwasserstoffe seit ca. 1995 aufgetragen (dies entspricht dem Zeitraum der Messungen dieser Substanzen an der Global Atmosphere Watch (GAW) Globalstation Hohenpeißenberg).



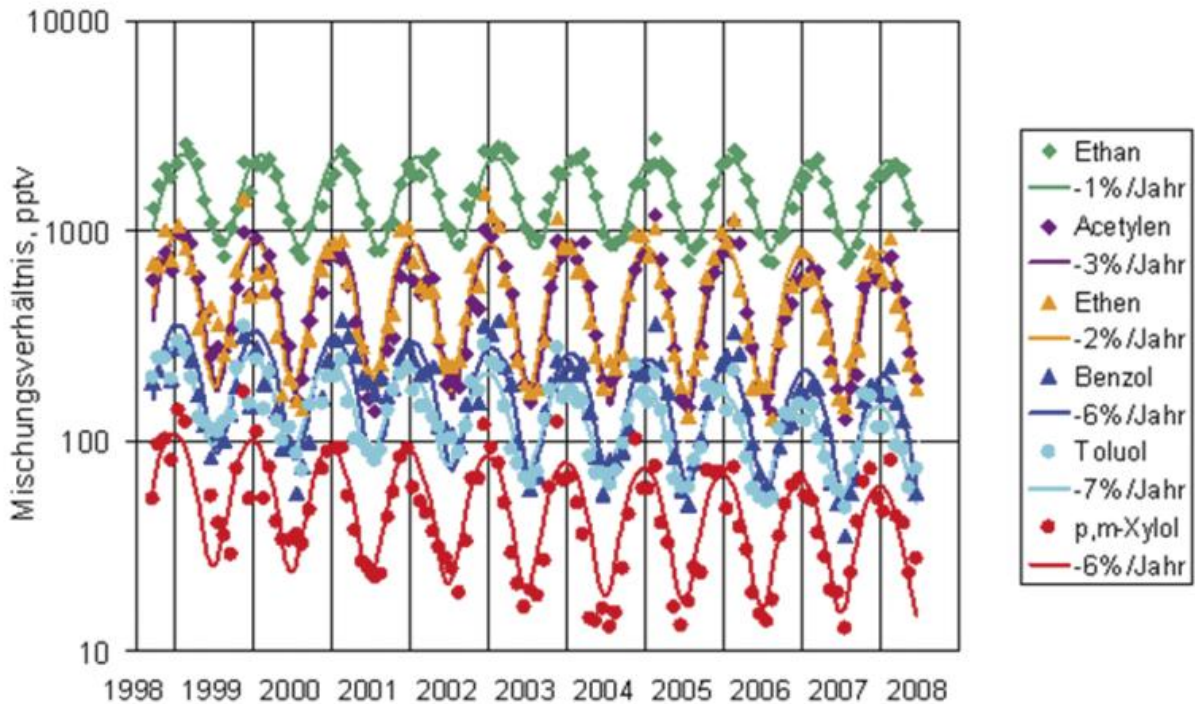
**Abb .6:** Zeitreihe (Monatsmittelwerte) des bodennahen Ozons am MOHp und Trendfunktion. Die Daten für 2008 sind vorläufig.



**Abb. 7:** Zeitreihe (Monatsmittelwerte) der Stickoxide ( $\text{NO}_x = \text{NO} + \text{NO}_2$ ), entsprechende gleitende 12-Monatsmittel und linearer Trend am MOHp. Die Daten für 2008 sind vorläufig.



**Abb. 8:** Zeitreihe (Monatsmittelwerte) des Kohlenmonoxides (CO), entsprechende gleitende 12-Monatsmittel und linearer Trend am MOHp. Die Daten für 2008 sind vorläufig.



**Abb. 9:** Zeitreihen ausgewählter, überwiegend anthropogener Kohlenwasserstoffe (NMVOC) anhand der Monatsmittelwerte, die linearen Trends sind in der Legende angegeben.

Die Stickoxide (NO<sub>x</sub>) zeigen einen schwachen linearen Trend mit einer Abnahme von -0.5 %/a, CO einen schwachen aber signifikanten Abwärtstrend von -1.5 ppb/a (-0.9%/a) und die verschiedenen überwiegend anthropogenen VOC (NMVOC) teilweise keine signifikanten Trends (z.B. Ethan) bis hin zu deutlich abnehmenden Konzentrationen mit bis zu 8%/a. Die Trends sind im allgemeinen niedriger als die vom UBA für Deutschland errechneten Trends der Emissionen, die für den Zeitraum 1995-2006 für Stickoxide bei -35% (-3%/a), für CO bei -40% (-4%/a), für NMVOC bei -36% (-3%/a), und für SO<sub>2</sub> bei -68% (-6%/a) liegen [UBA 2007]. Zum Teil sind solche Unterschiede darauf zurückzuführen, dass Substanzen mit atmosphärischen Lebensdauern von mehr als einigen Tagen (CO, Ethan, Acetylen, Benzol) über größere Strecken transportiert werden und Emissionen von anderen europäischen Ländern, Nordamerika und Asien (Ethan und CO) die Mischungsverhältnisse mit bestimmen können. Damit bleibt für die langlebigen Ozonvorläufer festzuhalten, dass ihre Trends schwächer als die berechneten Emissionsabnahmen in Deutschland sind, aber dennoch negativ sind und zu einer Ozonreduktion beitragen sollten.

Bei den kurzlebigen Verbindungen sollten die Immissions- die Emissionsentwicklungen in etwa widerspiegeln, sofern natürliche Quellen zu vernachlässigen sind. Für die NMVOC liegen in der Tat die Trends im Rahmen der Emissionsminderungen, bei den Stickoxiden sind sie deutlich schwächer ausgeprägt als die berechneten Emissionsminderungen, eine Diskrepanz, die auf zu optimistische Emissionsberechnungen hindeutet. Dennoch ergeben sich für alle betrachteten Ozon-Vorläufersubstanzen abnehmende Konzentrationen. Da in Deutschland die Ozonproduktion meist durch NO<sub>x</sub> limitiert ist, erwartet man eine Reduktion der Ozonproduktion, die in etwa mit dem NO<sub>x</sub> skaliert, d.h. um ca. 0-20% von 1995 bis 2008 reduziert ist. Dass eine solche Reduktion nicht beobachtet wird, deutet auf Änderungen beim atmosphärischen

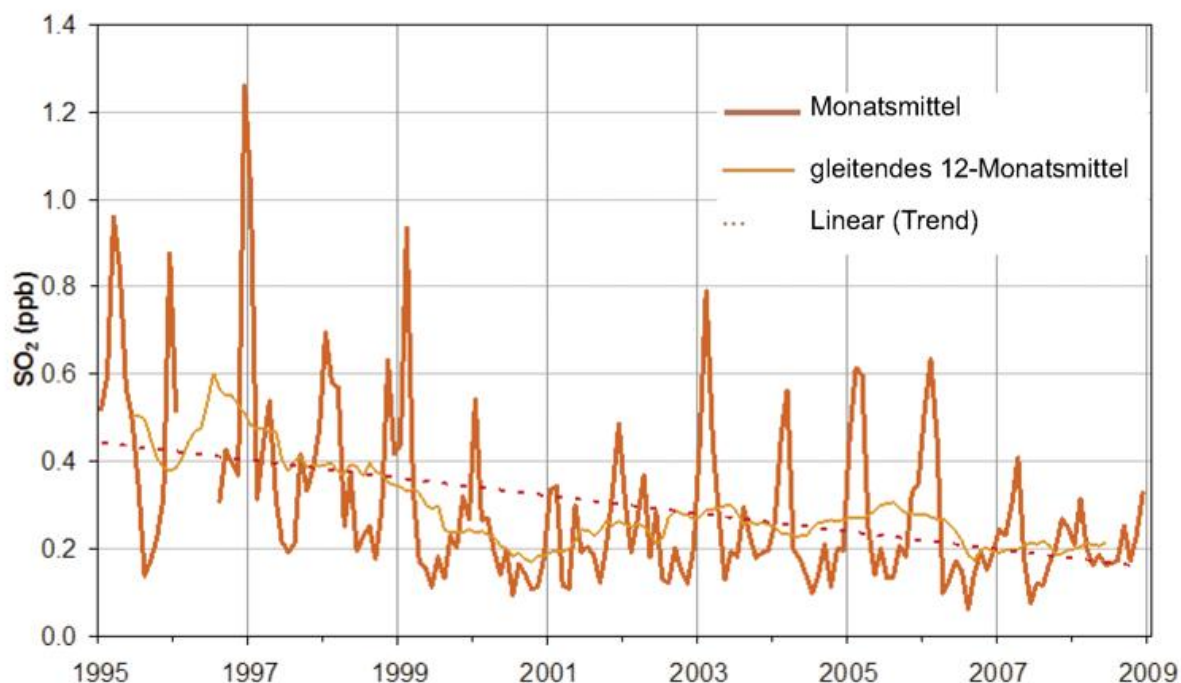
Abbau von Ozon und/oder dem Transport hin, die solche Reduktionsprozesse kompensieren.

Schwefeldioxid ist die wichtigste Quelle für Sulfat-Aerosol (Abb. 5) und seine atmosphärischen Mischungsverhältnisse nehmen direkt Einfluss auf die Stärke des „Antitreibhauseffektes“.  $\text{SO}_2$  ist ein primäres Spurengas, das in der Nordhemisphäre hauptsächlich aus industriellen Großfeuerungsanlagen emittiert wird.

Die Zeitreihe zeigt einen ausgeprägten Trend. Die  $\text{SO}_2$ -Belastung hat sich seit dem Beginn der Messungen am MOHp im Jahre 1995 ungefähr halbiert und spiegelt die Emissionsminderungen recht gut wider. Seit Mitte 1999 stagnieren die Mischungsverhältnisse auf niedrigem Niveau. Mit der  $\text{SO}_2$ -Reduktion geht die ebenfalls am MOHp gemessene Halbierung des Sulfatanteils im Niederschlag einher.

Aus ökologischer („Waldsterben“) und medizinischer (Atemwegserkrankungen) Sicht war eine drastische Reduzierung der  $\text{SO}_2$ -Emissionen unbedingt erforderlich. Aus klimatologischer Sicht wurde so ein den Strahlungsantrieb dämpfendes Element geschwächt.

Die bodennahen Messungen von Ozon, Ozon-Vorläufern und  $\text{SO}_2$  belegen für den Zeitraum 1995 – 2008 keine wesentlichen Änderungen des diese Substanzen betreffenden Treibhauseffektes am MOHp. Die Emissionsminderungsmaßnahmen zeigen nur zum Teil die gewünschten Erfolge, für die Stickoxide und das klimatisch relevante Ozon zeigen sich keine deutlichen Änderungen. Für  $\text{SO}_2$  lassen die Emissionsminderungen sogar eine Verstärkung des lokalen Strahlungsantriebes erwarten.

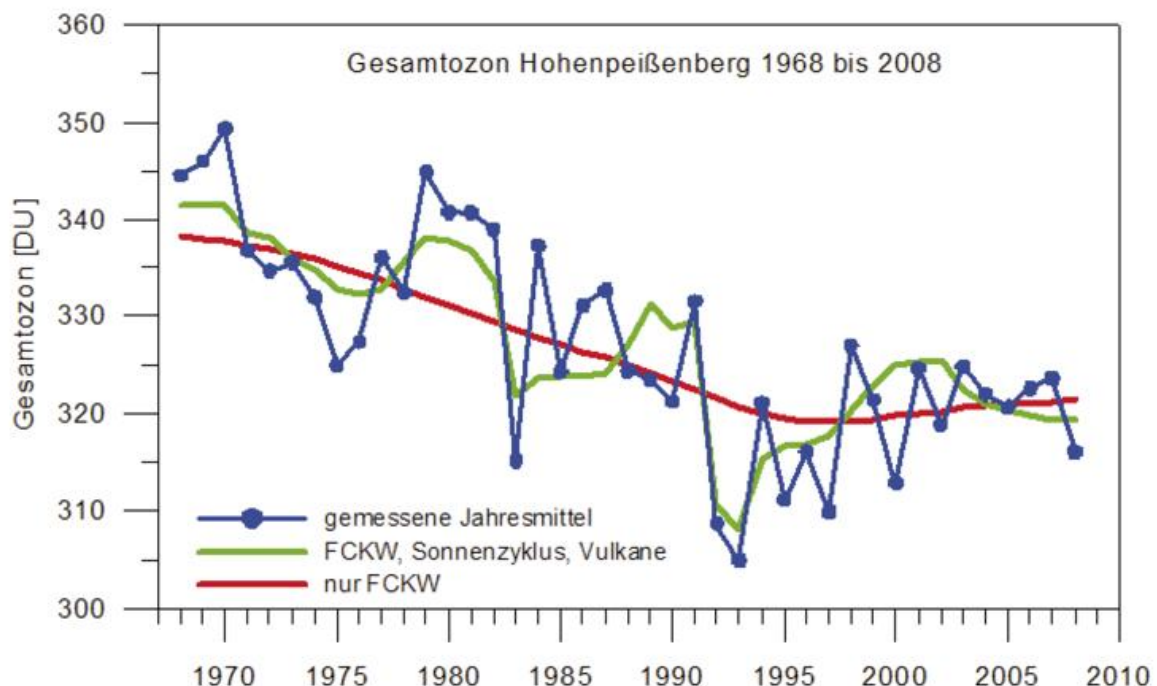


**Abb. 10:** Zeitreihe (Monatsmittelwerte) des Schwefeldioxids am MOHp und linearer Trend. Die Daten für 2008 sind vorläufig.

### 3. Ozon in der Stratosphäre

Nach mehr als einer Dekade mit nahezu kontinuierlich ansteigenden Gesamtozonwerten wurde dieser Trend 2008 vorerst unterbrochen. Mit 316 Dobson-Einheiten (DU) lag der Jahresmittelwert um etwa 2% signifikant unter den Mittelwerten der vorangegangenen 5 Jahre. Auch andere europäische Stationen zeigten eine ähnliche Entwicklung. Innerhalb der 41 Jahre langen Gesamtozon-Messreihe am Hohenpeißenberg wiesen nur 6 Jahre noch niedrigere Gesamtozon-Jahresmittel auf; drei davon aber jeweils nach starken Vulkanausbrüchen (El Chichon 1983, Pinatubo 1992/93).

Dennoch bewegte sich das Jahresmittel 2008 nahe eines zu erwartenden Verlaufs, der durch die längerfristige Entwicklung maßgeblicher Einflussfaktoren vorgegeben ist (grüne Linie in Abb. 11). Diese Faktoren sind der gesamt-stratosphärische Chlorgehalt, der 11-jährige solare Zyklus und die bereits erwähnten Vulkanaerosole. So hat der Rückgang der Vulkanaerosole nach 1992/93 zusammen mit der Zunahme der solaren Aktivität bis zum solaren Maximum 2002 zu dem starken Ozonanstieg in dieser Episode geführt. Wegen der dann folgenden Abschwächung der solaren Aktivität war schon ab 2005 mit niedrigeren Ozonwerten zu rechnen, was aber 2006/07 durch weitere Einflüsse verhindert wurde. Erst 2008 bewirkte die zusätzliche Kombination aus westlicher Phase der quasi-biennalen Oszillation (QBO) und die positive Phase der Arktischen Oszillation (AO)/Nordatlantik Oszillation (NAO) einen deutlicheren Rückgang beim Gesamtozon. Die letztgenannten Faktoren tragen je nach Phasenlage über eine veränderte Dynamik ebenfalls zu höheren oder niedrigeren Gesamtozonwerten bei (s. Langematz et al. 2008, Ozonbulletin des DWD, Nr. 114, 2006).



**Abb. 11:** Blaue Kurve: Jahresmittel des Gesamtozons aus Hohenpeißenberger Messungen. Rote Linie: Langjähriger Verlauf durch anthropogenes Chlor (aus FCKWs). Grüne Linie: Langjähriger Verlauf durch Chlor, Vulkanausbrüche, und 11-jährigen Sonnenzyklus. Rote und grüne Linie sind Ergebnisse einer Schätzung von Einflussfaktoren mittels linearer Regression.

Jahre mit auffallend höherem oder niedrigerem Gesamt Ozon kommen immer wieder vor und es ist durch den mittlerweile fortgeschrittenen Kenntnisstand und die gute Datenverfügbarkeit nicht schwer, hierfür Ursachen zu finden. So war 1997 und 2000 die Ozonschicht über Mitteleuropa ebenfalls recht dünn. In diesen Jahren war im vorangegangenen Winter der arktische Polarwirbel besonders kalt und stabil, wodurch es zu einem verstärkten, chemisch bedingten Ozonabbau kam. Die ozonärmeren Luftmassen erreichten im Frühjahr und Frühsommer auch Mitteleuropa und verursachten hier Rekordminima mit erhöhter Sonnenbrandgefahr (s. Ozonbulletins des DWD, Nr. 74 und 76, 2000). Bei entsprechender Wetterlage sind solche tiefen Werte auch heute noch möglich. Bisher beträgt die Ozonerholung aufgrund des beginnenden Chlorrückgangs nämlich nur geringfügige 2 bis 3 Dobson-Einheiten (vgl. rote Linie in Abb. 11 und CFC-11,12 in Abb. 3).

#### Literatur

- AGGI, NOAA, 2008, The NOAA annual greenhouse gas index (AGGI), NOAA Earth System Research Laboratory, R/GMD, 325 Broadway, Boulder, CO 80305-3328, David.J.Hofmann@noaa.gov
- Forster, P., V. Ramaswamy, P. Artaxo, T. Berntsen, R. Betts, D.W. Fahey, J. Haywood, J. Lean, D.C. Lowe, G. Myhre, J. Nganga, R. Prinn, G. Raga, M. Schulz and R. Van Dorland, 2007: Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Hofmann, D. J., J.H. Butler, T.J. Conway, E.J. Dlugokencky, J.W. Elkins, K. Masarie, S.A. Montzka, R.C. Schnell and P. Tans, (2006b): Tracking climate forcing: The Annual Greenhouse Gas Index, EOS, Trans. Amer. Geophys. Union, 87 November 16, 2006, 509-511.
- IPCC (2007), Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Cambridge Univ. Press, Cambridge UK and New York, NY USA.
- Langematz, U., S. Brönnimann, H.-F. Graf, A. Kapala (2008): Stratosphäre, Vulkanismus und die NAO/AO, PROMET, 34, Nr. 3/4, 122-129.
- Ozonbulletin des DWD, Nr. 114, (2006).
- UBA 2008, Umweltbundesamt 2008, Nationale Trendtabellen für die deutsche Berichterstattung atmosphärischer Emissionen, 1990-2006 <http://www.umweltbundesamt.de/emissionen/publikationen.htm>

## Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen

AGAGE	Advanced Global Atmospheric Gases Experiment
AGGI	Annual Greenhouse Gas Index
AO	Arktische Oszillation
BSH	Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie
CDMP	Climate Database Modernization Program
CLIMAT	Meldung klimatologischer Monatswerte einer Landstation
CLM	Climate Local Modell
DARE	Data Rescue
DU	Dobson Unit
DWD	Deutscher Wetterdienst
EF	Einflussfaktoren
FCKW	Fluorchlorkohlenwasserstoffe
GAW	Global Atmosphere Watch
GCOS	Global Climate Observing System
GPCC	Global Precipitation Climatology Centre
GTS	Global Telecommunication System
HISTOR	Historische maritim-meteorologische Daten von Segelschiffen und Dampfern
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
KLIDADIGI	Klimadaten Digitalisierung
KLIWA	Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft
KLIWAS	Auswirkungen des Klimawandels auf die Hydrologie und Handlungsoptionen für die Wirtschaft und Binnenschifffahrt
KOSTRA	Koordinierte Starkniederschlags-Regionalisierungs-Auswertungen
KSB	Klimastatusbericht
MEDARE	Rescue and Digitization of Climate Records in the Mediterranean Basin
MESZ	Mitteleuropäische Sommerzeit
MGN	maximierte Gebietsniederschläge
MIRAKEL	relationales Datenbanksystem (ORACLE) zur Speicherung aller stationsbezogenen Klimadaten
MOHp	Meteorologisches Observatorium Hohenpeißenberg
MOZ	mittlere Ortszeit
MPI-M	Max-Planck-Institut für Meteorologie
MUKLIMO	Mikroskaliges Urbanes Klimamodell
NAO	nordatlantische Oszillation
nFK	nutzbare Feldkapazität
NKDZ	Nationales Klimadatenzentrum
NMHS	National Meteorological and Hydrological Services
NMVOC	Non-methan Volatile Organic Compounds
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
NRW	Nordrhein-Westfalen
OCR	Optical Character Recognition
PILOT	Höhenwindmessung von einer ortsfesten Landstation
QBO	quasi-biennale Oszillation
RADAR	Radio Detection and Ranging

---

RADOLAN	Radar Online Aneichung
REMO	Regionales Klimamodell des MPI-M
REWANUS	Extremwerte des Niederschlagsdargebots aus Regen und Schneeschmelze
STAR	sternförmige Projektion
SYNOP	Bodenwettermeldung von einer ortsfesten Landstation
TGA	technische Gebäudeausrüstung
TRY	Testreferenzjahre
UBA	Umweltbundesamt
UBIKLIM	Urbanes Bioklimamodell
UHI	Urban Heat Island
UTC	Universal Time Coordinated
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VOC	Volatile Organic Compounds
WETTREG	Wetterlagen-basierte Regionalisierungsmethode
WMO	World Meteorological Organization
WZN	Weltzentrum für Niederschlagsklimatologie
ZWEK	Zusammenstellung von Wirkmodell-Eingangsdatensätzen für die Klimafolgenabschätzung

---

**Autorenverzeichnis**

Behrendt, Johannes	Deutscher Wetterdienst Frankfurter Str. 135 63067 Offenbach	Johannes.Behrendt@dwd.de
Behrens, Ursel	Deutscher Wetterdienst Michendorfer Chaussee 23 14473 Potsdam	Ursel.Behrens@dwd.de
Claude, Hans	Deutscher Wetterdienst Albin-Schwaiger-Weg 10 82383 Hohenpeißenberg	Hans.Claude@dwd.de
Deutschländer, Thomas	Deutscher Wetterdienst Frankfurter Str. 135 63067 Offenbach	Thomas.Deutschlaender@dwd.de
Fricke, Wolfgang	Deutscher Wetterdienst Albin-Schwaiger-Weg 10 82383 Hohenpeißenberg	Wolfgang.Fricke@dwd.de
Früh, Barbara	Deutscher Wetterdienst Frankfurter Str. 135 63067 Offenbach	Barbara.Frueh@dwd.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

---

Hassemer-Schwarz Helga	Deutscher Wetterdienst Kreuzweg 25 65366 Geisenheim	Helga.Hassemer-Schwarz@dwd.de
Hechler, Peer	Deutscher Wetterdienst Frankfurter Str. 135 63067 Offenbach	Peer.Hechler@dwd.de
Kapala, A.	Met. Inst. Uni Bonn Auf dem Hügel 20 53121 Bonn	
Kossmann, Meinolf	Deutscher Wetterdienst Frankfurter Str. 135 63067 Offenbach	Meinolf.Kossmann@dwd.de
Köhler, Ulf	Deutscher Wetterdienst Albin-Schwaiger-Weg 10 82383 Hohenpeißenberg	Ulf.Koehler@dwd.de
Kuttler, W.	Uni Duisburg-Essen Fachbereich Biologie und Geographie Schützenbahn 70 45127 Essen	Wilhelm.Kuttler@uni-due.de
Lefebvre, Christiana	Deutscher Wetterdienst Bernhard-Nocht-Str. 76 20359 Hamburg	Christiana.Lefebvre@dwd.de
Löpmeier, Franz-Josef	Deutscher Wetterdienst Bundesallee 50 38116 Braunschweig	Franz-Josef.Loepmeier@dwd.de
Malitz, Gabriele	Deutscher Wetterdienst Lindenberger Weg 24 13125 Berlin	Gabriele.Malitz@dwd.de

---

Mächel, Hermann	Deutscher Wetterdienst Frankfurter Str. 135 63067 Offenbach	Hermann.Maechel@dwd.de
Müller-Westermeier, Gerhard	Deutscher Wetterdienst Frankfurter Str. 135 63067 Offenbach	Gerhard.Mueller-Westermeier@dwd.de
Namyslo, Joachim	Deutscher Wetterdienst Frankfurter Str. 135 63067 Offenbach	Joachim.Namyslo@dwd.de
Nitsche, Helga	Deutscher Wetterdienst Frankfurter Str. 135 63067 Offenbach	Helga.Nitsche@dwd.de
Plass-Dülmer, Christian	Deutscher Wetterdienst Albin-Schwaiger-Weg 10 82383 Hohenpeißenberg	Christian.Plass-Duelmer@dwd.de
Riecke, Wolfgang	Deutscher Wetterdienst Bernhard-Nocht-Str. 76 20359 Hamburg	Wolfgang.Riecke@dwd.de
Roos, Marita	Deutscher Wetterdienst Frankfurter Str. 135 63067 Offenbach	Marita.Roos@dwd.de
Rudolf, Bruno	Deutscher Wetterdienst Frankfurter Str. 135 63067 Offenbach	Bruno.Rudolf@dwd.de
Sievers, Uwe	Deutscher Wetterdienst Frankfurter Str. 135 63067 Offenbach	
Simmer, Clemens	Met. Inst. Uni Bonn Auf dem Hügel 20 53121 Bonn	

---

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

---

## Index

### A

Aerosol 129, 133  
Aerosolkonzentrationen 126  
Anströmrichtung 62, 63, 64, 65  
Apfelblüte 84

### B

Bebauungsstrukturen 19  
Belüftungseffektivität 7  
Benetzungszeit 87  
Biergartentage 20, 21  
Bioklima 14  
Bioklimakarte 28  
Bioklimakarten 13, 30  
Bioklimamodell 30, 31  
Bioklimamodelle 24  
Blattentfaltung 80  
Blattfall 82  
Bodenfeuchte 79, 80, 81, 82, 86, 88, 89  
Bodenfeuchtesituation 86

### D

Datenerfassung 106, 108, 111  
Digitalisieren 111  
Digitalisierung 104, 105, 108, 119

### E

Eistage 67  
Extremwerte 48

### F

Fehler 122, 123, 124  
    *systematische* 122, 123, 124  
Feinstaub 8  
Feuchte 64  
Feuchteklassen 63, 65  
Flurwind 7  
Frosttage 67  
Fruchtreife 84

### G

Gebietsniederschlagshöhe 36, 37  
    *maximierte* 36, 37  
Gebietsniederschläge 91  
Globalstrahlung 53  
Globalstrahlungskarte 53

Grenzwertcheck 120  
Großwetterlagen 42

## **H**

Haselblüte 78  
Homogenisierung 114, 117  
Höhenwind 72

## **J**

Jährlichkeit 33

## **K**

Kaltluftflüsse 8  
Klima-Michel-Modell 13, 27, 28, 30  
Klimadatenbank 104, 107, 121  
Klimamodelle 14, 18, 32  
Klimanormalperiode 43, 44, 45  
Klimastationen 107, 109  
Klimatabelle 113  
Klimatope 27  
Klimawandel 10, 13, 24, 32  
Kohlenwasserstoffe 132  
Konsistenz 121  
    *innere* 121  
    *räumliche* 121  
Krummentemperatur 78, 79, 80, 82  
Kämtz'sches Mittel 120

## **L**

Luftfeuchtigkeit 7  
Luftgüte 8  
Luftqualität 7, 8, 9

## **M**

Mannheimer Stunden 120, 124  
Meereis 99  
Methan 129  
Mikroklima 85, 88  
Mitteltemperatur 49  
Monatsmitteltemperatur 67  
Mähdrusch 80

## **N**

Niederschlag 69  
Niederschlagsanomalie 91, 96  
Niederschlagshöhe 49, 52, 54, 91  
    *Mitteltemperatur* 57  
    *mittlere* 52  
Niederschlagsmeldekarten 106  
Niederschlagsstationen 107, 109

**O**

Ostwindzirkulation 73, 74  
Ozon 129, 130, 133  
Ozonschicht 90

**Q**

Qualitätskontrolle 105, 114, 119, 123

**R**

Rosskastanie 84

**S**

Sammelmessungen 115  
Schneeglöckchenblüte 78, 83  
Schwefeldioxid 133  
Seewartenformel 124  
Sommer 21  
Sommertage 18, 19, 20, 22, 23, 68  
Sonnenscheindauer 51, 53, 59, 69  
Spurengase 126, 127, 129  
Stadtbioklimamodell 27  
Stadtklima 6, 32  
Stadtklimamodell 18  
Stadtklimamodelle 13  
Stadtklimatologie 6  
Starkniederschläge 33, 34  
Stationsakten 115  
Stickoxide 129, 131, 132, 133  
Strahlungsantrieb 126, 128, 129  
Strahlungswetterlagen 7  
Stratosphäre 76, 77, 127, 130  
Sulfat 133

**T**

Tage 18, 20, 21  
*heiße* 18, 20, 21  
Tagesgänge 19  
Tagesmitteltemperatur 119  
Tagestemperatur 50  
*mittlere* 50  
Temperatur 28  
*Gefühlte* 28  
Temperaturabweichung 58  
Testreferenzjahre 40, 42, 43, 44, 45, 46, 47  
Thermopluviogramm 49  
Treibhausgase 127, 128, 129  
Tropennächte 26  
Troposphäre 127, 130

**V**

Verdunstung 87  
Vollfrühling 83  
Vorfrühling 83  
Vorläufersubstanzen 130, 132

**W**

Wasserbilanz 80  
*klimatische 80*  
Wassertemperatur 70  
Weinbau 85  
Westwindzirkulation 72  
Wetterlage 60, 61  
Wetterlagenklassifikation 60, 62, 65  
Wiederkehrzeit 33  
Winterroggen 84  
Witterungsverlauf 54  
Wärmebelastung 9, 18, 24, 26, 27, 28, 30, 31

Wärmeinsel 6, 27, 33

*städtische 6*

Wärmeinseleffekt 33, 44, 45, 46

**Z**

Zyklonalität 61, 64, 66

**Ä**

Ährenschieben 84

**Ü**

Überschreitungswahrscheinlichkeit 33