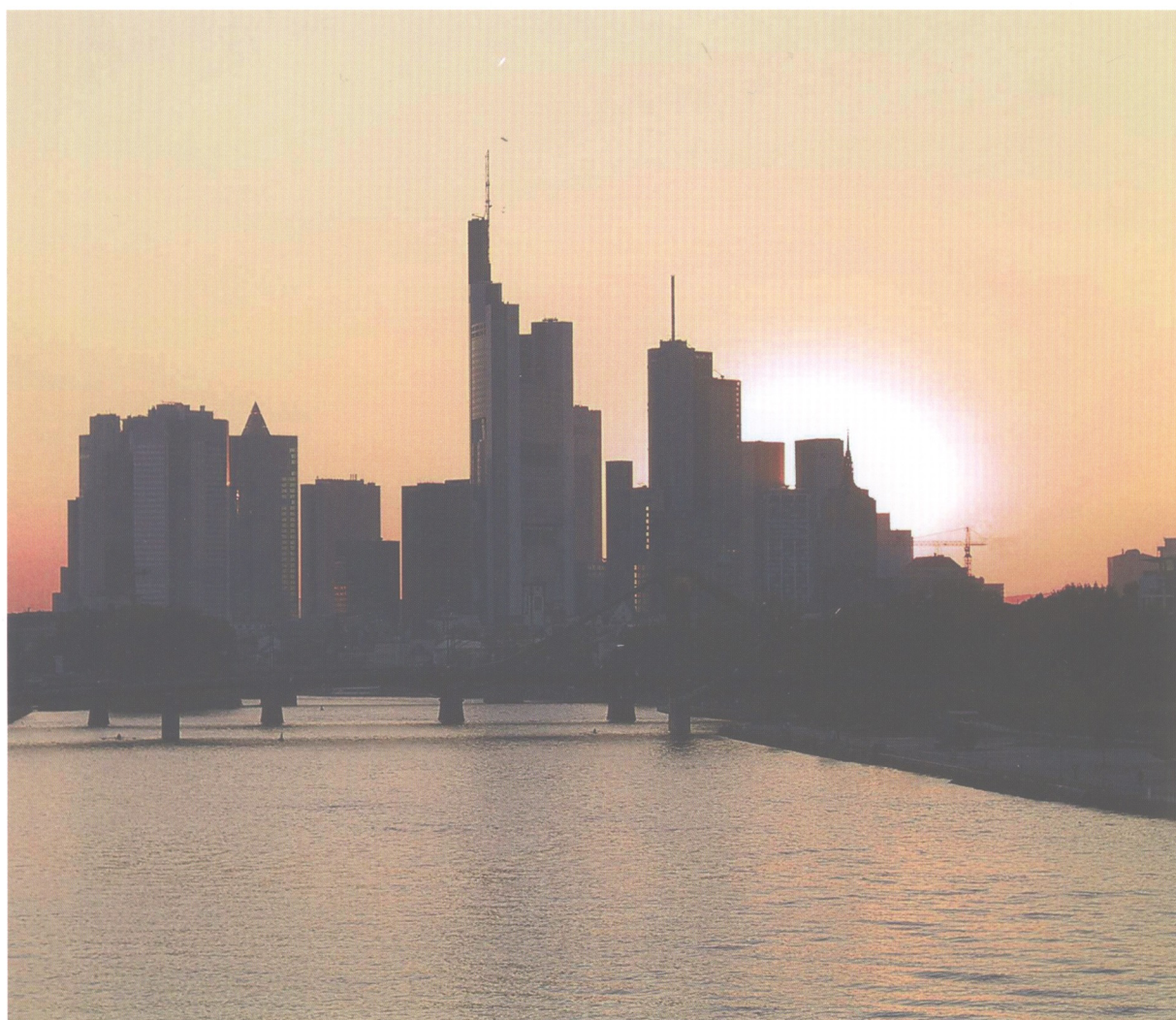


Deutscher Wetterdienst



Klimastatusbericht 2008



Stadtklima

Aktuelle Ergebnisse des Klimamonitorings

Erfassung und Prüfung historischer Klimadaten

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 (WIENER, 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 ¹	+
Einwohnerzahl	+
Himmelssichtfaktor (engl. Sky View Factor, SVF ²)	-
Verhältnis Höhe Straßenrandbebauung/Straßenbreite	+
Oberflächenversiegelung	+
Grün- und Wasserflächenanteil/Gesamtfläche	-
¹ $Bo = Q_H/Q_E$ (mit Q_H : fühlbarer Wärmestrom; Q_E : latenter Wärmestrom)	
² 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, NO₂, VOC sowie O₃ spielen bei der Beurteilung der Luftgüte insbesondere Feinstäube (\leq PM₁₀; PM₁₀: Feinstaub mit Partikeldurchmesser \leq 10 μ 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 O₃ und NO₂ (MELKONYAN, KUTTLER 2009). Als Grund wird beispielsweise die Primäremission von NO₂ durch Oxidationskatalysatoren von Dieselfahrzeugen angesehen. Die ansteigenden Zulassungszahlen dieses Fahrzeugtyps während der vergangenen Jahre verschärfen dieses Problem. Da NO₂ ein wichtiges Vorläufergas für die Entstehung von O₃ ist, dürften sich auch dessen Konzentrationen weiter erhöhen.

Nach wie vor fehlen für die Städte in Deutschland belastbare Daten, um CO₂-Bilanzen erstellen zu können. Grundlagen hierfür stellen neben der Berechnung von CO₂-Emissionen aus entsprechenden Quellen die möglichst präzise Ermittlung der horizontalen, aber auch vertikalen Verteilung von CO₂ in Stadtgebieten sowie die direkte Messung von CO₂-Flüssen über verschiedenen urbanen Oberflächen dar (KORDOWSKI, KUTTLER 2008). Untersuchungen zur horizontalen Verteilung von CO₂ 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 CO₂ 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 CO₂ (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-CO₂-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 CO₂-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 Entsiegelung 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., Kikegawa, 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 Policy-makers. 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 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 CO₂-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.