

Sonderdruck aus:

MITTEILUNGEN

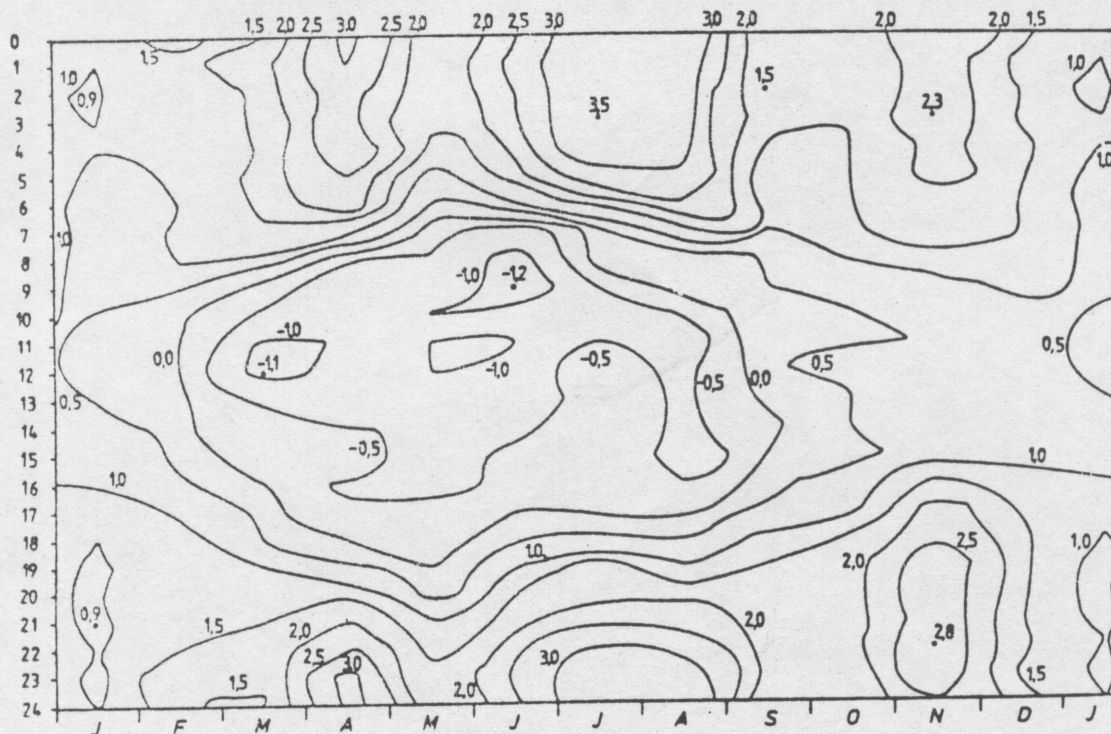
DEUTSCHE METEOROLOGISCHE GESELLSCHAFT E.V.

4/88

November 1988

ISSN 0177 - 8501

Planungsrelevante Stadtklimatologie



Stündliche Differenzen der Lufttemperaturen zwischen einer Stadt und einer Freilandstation (nach KUTTLER 1987)

Planungsrelevante Stadt- klimatologie

EINFÜHRUNG

Die Veränderung des Mikro- und Mesoklimas durch die Bebauung unserer Kulturlandschaft beschäftigt schon seit langem Architekten, Stadtplaner und Klimatologen. Ein wesentliches Merkmal urban-industrieller Verdichtungsräume ist die zwangsläufige Anhäufung von Baumassen und die hochgradige Versiegelung der Erdoberfläche bei starker Konzentration der Bevölkerung. Daraus resultieren besondere stadtklimatische Eigenschaften, die, in Verbindung mit lufthygienischen Komponenten, für die Einwohner nachteilige bioklimatische Wirkungen zeigen können. Schwerpunkt dieses Beitrages ist die Beschreibung der städtischen Wärmeinsel sowie der bodennahen Austauschverhältnisse am Beispiel der Flurwindsysteme. Auf das sicher ebenso wichtige Problemfeld der urbanen Luftqualität wird hier nicht näher eingegangen.

AUFGABEN

Die Stadtklimatologie hat sich seit der zusammenfassenden Darstellung dieses Fachgebietes durch KRATZER (1956) stark ausgeweitet; ihre anwendungsbezogene Bedeutung für die planerische Praxis ist in zahlreichen Beispielen belegt (OKE 1975; WEISCHET 1980). Insbesondere hat die großräumige Erfassung der thermischen Situation, vor allem die flächendeckende Aufnahme der Oberflächenstrahlungstemperaturen als wichtiger Wärmehaushaltsgröße mit Hilfe der Infrarot-Thermographie aus Flugzeugmeßprogrammen, der Stadtplanung wertvolle Entscheidungshilfen für Baukonzepte geliefert. Sie hat darüber hinaus die Erforschung der Genese und der räumlichen Ausdehnung von städtischen Wärmeinseln entscheidend gefördert (WEISCHET, 1975; BAUMGARTNER et al., 1985). Außerdem sind Lufttemperatur und Luftfeuchte sowie horizontale und vertikale Austauschprozesse in ihrer spezifischen Abhängigkeit von städtischen Siedlungsstrukturen untersucht worden, so daß sich unter dem Begriff Stadtklimatologie ein mittlerweile sehr weites Feld sowohl für Forschungsaufgaben als auch für die konkrete Planung eröffnet (vgl. hierzu ergänzend FROMMES 1979; OKE 1982).

STRAHLUNGS- UND WÄRMEHAUSHALT

Strahlungsangebot und Strahlungsflüsse sowie der Energiehaushalt beliebiger Austauschflächen sind in den Gleichungen für die Strahlungs- und Wärmebilanz miteinander verknüpft. Besonders auffällige Unterschiede im Vergleich zum Freiland ergeben sich in der Stadt für die Terme Globalstrahlung, Bodenwärmestrom und künstlich erzeugte (=anthropogene) Wärme. Vergleiche der Intensität der Globalstrahlung und des UV-Anteils zwischen Stadt- und Umland zeigen am Beispiel der Stadt München für den Innenstadtbereich im allgemeinen jeweils niedrigere Werte. Dabei kann die Globalstrahlung bis zu 10%, der UV-Anteil sogar bis zu 20% reduziert werden (BRÜNDL et al. 1986). Die "anthropogene Abwärme", die ihre Ursachen sowohl in der Abwärme von Industriebetrieben als auch im Hausbrand und im Straßenverkehr hat, wird nach ihrer Freisetzung im Bereich der städtischen Dunstglocke absorbiert und

trägt somit auch zur Überwärmung der Stadtatmosphäre bei. Außerdem muß im Stadtgebiet noch die Aufheizung der Baukörper mit ihrer meist großen Wärmekapazität berücksichtigt werden.

Dies wird besonders deutlich, wenn man die Erwärmungs- und Abkühlungsraten einer Stadtstation mit den entsprechenden Werten einer Freilandstation vergleicht. Die typischen Tagesgänge für einen sommerlichen, windschwachen Strahlungstag zeigt Abb. 1. Die Erwärmung in der Stadt ist wesentlich schwächer ausgeprägt als im Umland, und auch die urbane Abkühlung läuft wesentlich langsamer ab. Wie stark die städtische Überwärmung während der Nacht ausgebildet ist, wird an dem in Abb. 2 (s. Titelblatt) dargestellten Jahresverlauf der stündlichen Differenzen der Lufttemperaturen zwischen einer Stadt- und einer Freilandstation deutlich. Im Winterhalbjahr spielt die Überwärmung durch die Baukörper eine untergeordnete Rolle, hier kommt der künstlich erzeugten Energie die dominierende Rolle für die Überwärmung der Stadt zu. Bei insgesamt geringeren Werten der Strahlungsbilanz wächst prozentual der Anteil der anthropogenen Abwärme, die nach KERSCHGENS & DRAUSCHKE (1985) tagsüber bis zu 50 W/m^2 betragen kann. Bestimmende Elemente der künstlichen Wärmeproduktion sind die auf dem Verbrauch von fossiler Energie beruhenden Wärme flüsse sowie die Abgabe durch den KFZ-Verkehr, der z. B. an der Globalstrahlungssumme Bochums einen Anteil von 4.4% ausmacht (KÜTTLER, 1987 i. Druck).

Neben den zeitlichen Unterschieden der Lufttemperaturen treten auch räumliche Differenzen innerhalb eines Stadtgebietes auf, so daß es falsch ist, von der Wärmeinsel einer Stadt zu sprechen. Diese Unterschiede werden durch die Art der Bebauung, den Grad der Versiegelung und durch die Stärke der Austauschbewegungen bestimmt und erreichen bei windschwachen, sommerlichen Strahlungswetterlagen besonders hohe Werte. Selbst in kleineren Städten konnten Unterschiede der Lufttemperaturen von bis zu 6 K in einzelnen Meßnächten nachgewiesen werden (KÜTTLER & SCHREIBER 1984). Für die Oberflächentemperaturen werden noch wesentlich größere Differenzen gemessen. In allen Jahreszeiten erwärmen sich die versiegelten Flächen (z. B. Asphaltstraßen) mittags sehr viel stärker als die natürlichen und mit Vegetation bestandenen. Bei heißen und trockenen Oberflächen ist der sensible Wärmeestrom besonders groß, bei kühlen und feuchten Oberflächen dominiert die latente Wärme in Form der Evapotranspiration. Das BOWEN-Verhältnis weist in Städten tagsüber im allgemeinen Werte von $\beta > 1$ auf. Dies wirkt sich auf den vertikalen Luftaustausch aus, der seinerseits wieder in Rückkopplung mit der horizontalen Luftbewegung steht.

AUSTAUSCHPROZESSE

Thermische Windsysteme sind aus der Literatur besonders als Land-/Seewind in Küstengebieten oder als Berg-/Talwind in Mittel- und Hochgebirgen bekannt. Doch auch die Stadt und ihr Umland sind hinsichtlich ihrer Energiebilanzen so unterschiedlich, daß man hier ebenfalls thermisch induzierte Windsysteme erwarten kann. Während die Existenz solcher Flurwindsysteme unumstritten ist, weiß man hingegen noch sehr wenig über ihre raum-zeitliche Struktur. Im Gegensatz zum Umland muß im Stadtgebiet mit einer sehr viel höheren Rauigkeit gerechnet werden, die die Windgeschwindigkeit erheblich reduziert. Im Ruhrgebiet

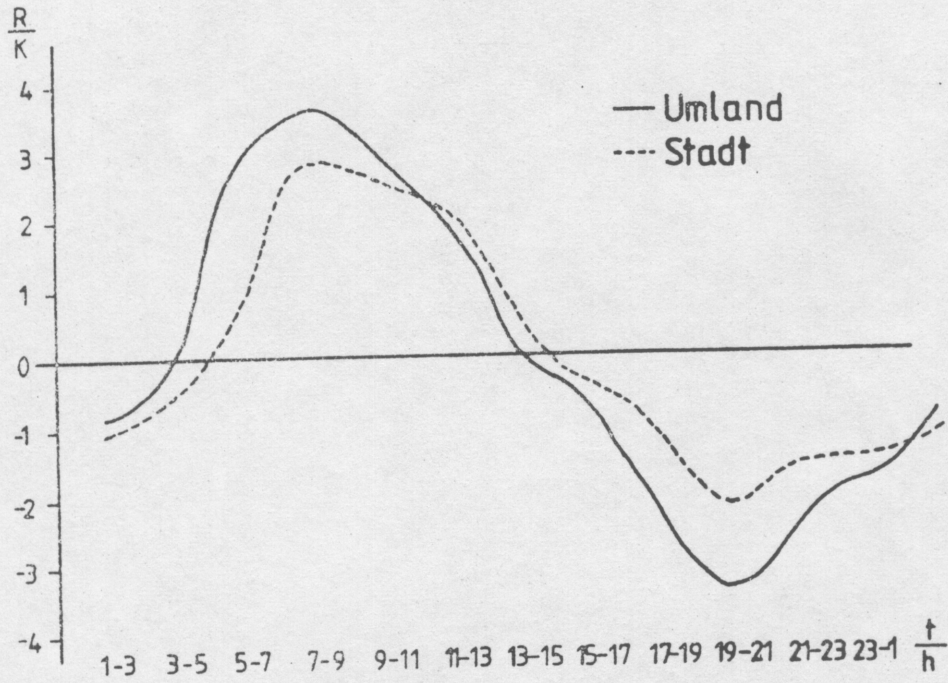


Abb. 1

Mittelwerte der Erwärmungs- und Abkühlungsraten (R) im Sommer 1983 für eine Stadt- und Umlandstation (nach KUTTLER 1985)

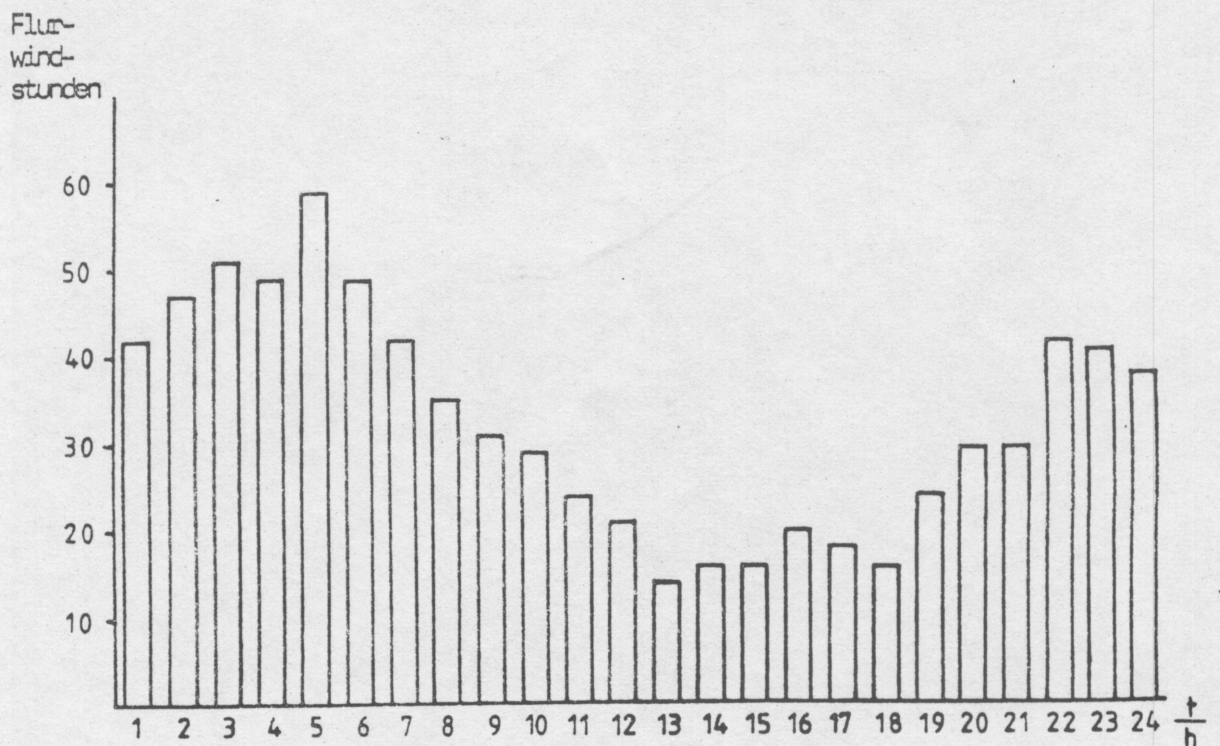
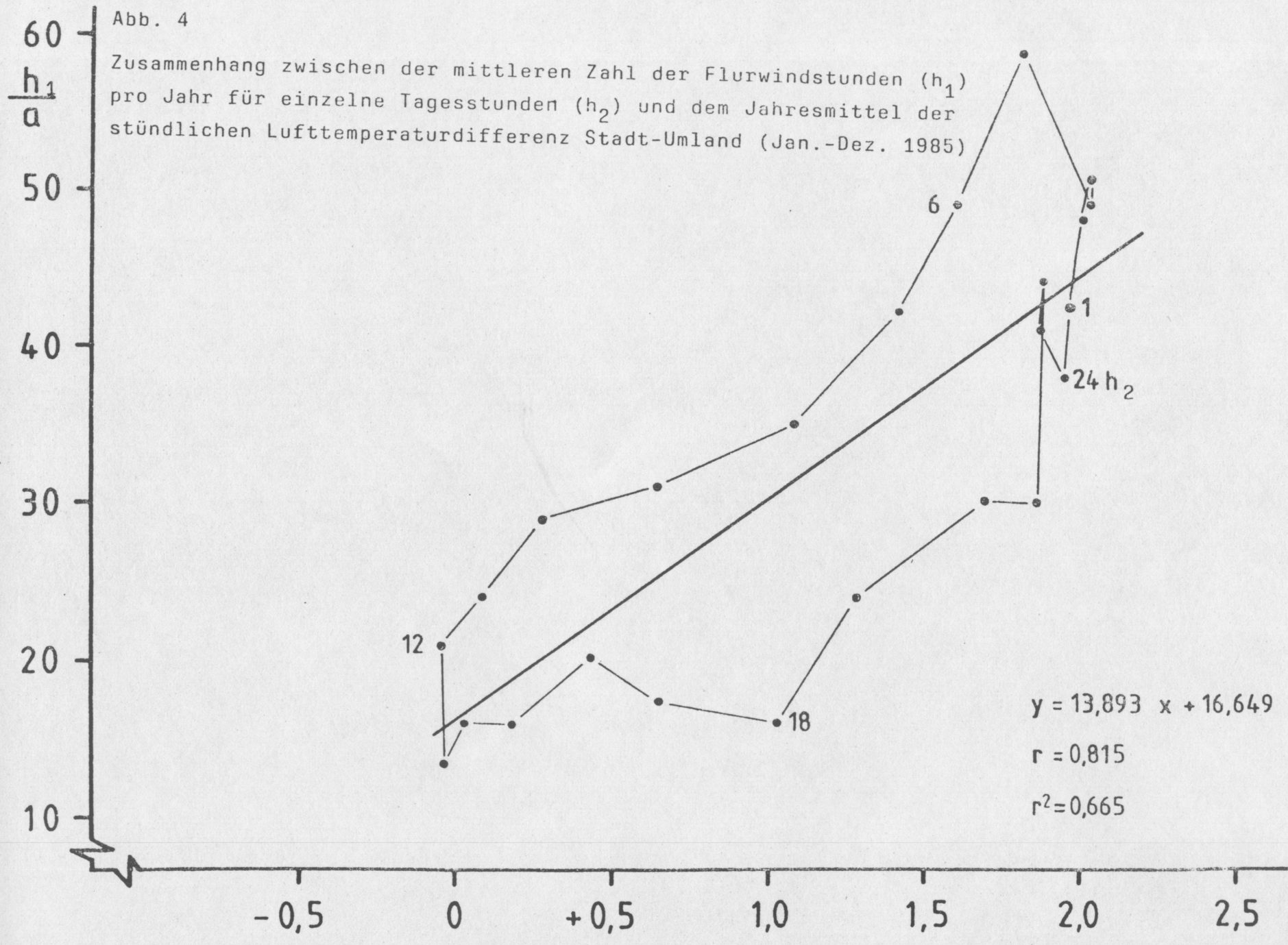


Abb. 3

Tageszeitliche Verteilung der Flurwindstunden (Jan.-Dez. 1985) (nach KIESE & OTTO 1986)



wurden erstmals Messungen der bodennahen Horizontalgeschwindigkeit und des Vertikalaustausches im Rahmen einer Klimaanalyse für die Stadt Dortmund durchgeführt (STOCK et al. 1986). Über ein Jahr registrierte man an fünf Stationen, die radial um das Zentrum der Stadt angeordnet waren, Windrichtungen und -geschwindigkeiten. Der Nachweis von Vertikalbewegungen in der Atmosphäre erfolgte mit Hilfe eines SODAR-Gerätes, das im akustischen Bereich arbeitet.

Während sich allgemein bei Südwest- und Westwinden eine Umströmung des Stadtgebietes, also eine Divergenz bemerkbar machte, war bei östlichen Winden häufig eine Konvergenz zu beobachten. Dieses letzte Phänomen wird als Flurwind bezeichnet; allerdings zeigten gegenüberliegende Stationen fast nie eine um 180° unterschiedliche Windrichtung an. Nach den Untersuchungen von KIESE & OTTO (1986) ist in den meisten Fällen nur eine Tendenz zum Einschwenken der Luftströmung in Richtung Stadtmitte festzustellen. Der Flurwind tritt auch nicht als zeitlich und räumlich durchgreifende Luftbewegung auf. Seine Entwicklung findet bei Strahlungswetterlagen nur allmählich und auch nicht in allen Fällen kontinuierlich statt. Bisweilen bricht er schon nach kurzer Zeit wieder zusammen; darüber hinaus unterliegen nicht alle untersuchten Stadtteile einer gleichzeitigen und gleichmäßigen Beeinflussung. Dennoch ist eine tageszeitliche Struktur im Auftreten von Flurwinden zu erkennen, die eng mit der Überwärmungsrate verknüpft ist. Abb. 3 zeigt die Verteilung der Flurwindstunden im Tagesgang für eine Dortmunder Meßstation. Diese Werte wurden mit den zu entsprechenden Zeiten auftretenden Differenzen der Lufttemperaturen zwischen Stadt- und Umland einer Regressionsanalyse (Abb. 4) unterworfen. Die Regressionsgrade zeigt den zu erwartenden Anstieg, d. h. eine Zunahme der Flurwindstunden mit der Intensivierung der Überwärmung. Man erkennt außerdem, daß die Windkonvergenz von der Tageszeit abhängig ist. Bei etwa gleicher Überwärmung liegt die Anzahl der Flurwindstunden für 21 Uhr nur bei etwa 30 Stunden pro Jahr, für 5 Uhr morgens dagegen bei 60 Stunden. Der Grund dafür dürfte in der Turbulenz der Schichtung zu suchen sein. Bei stabiler Schichtung ist eine Abkopplung vom übergeordneten Windsystem möglich, bei labiler Atmosphäre nicht. Während die Austauschverhältnisse an Strahlungstagen in den Abendstunden noch als gut bezeichnet werden können, ist spätestens nach Mitternacht auch im Stadtgebiet mit einer zunehmenden Stabilisierung der Atmosphäre zu rechnen. Der Maximalwert der Flurwindstunden wird etwa zum Termin des sommerlichen Sonnenaufgangs (5 Uhr MESZ) erreicht, mit dem erneut die Konvektion einsetzt.

Generell bleibt festzustellen, daß die Flurwindstunden frühmorgens und vormittags oberhalb der Regressionsgeraden liegen, während nachmittags bei gleicher Überwärmung weniger Flurwindstunden beobachtet werden können. Für weitergehende Aussagen bedarf es aber noch einer detaillierten, wetterlagenabhängigen Untersuchung, für die das einjährige Datenkollektiv noch zu wenig aussagefähig ist. Zur Zeit werden am Lehrstuhl für Landschaftsökologie der Universität Essen im Auftrage des Kommunalverbandes Ruhrgebiet entsprechende Untersuchungen für das Stadtgebiet von Bochum durchgeführt. Insgesamt muß das Flurwindssystem bei einer Häufigkeit des Auftretens von 10% aller erfaßten Registrierstunden und bis zu 15% der registrierten 5 Uhr-Werte als planungsrelevante Erscheinung bezeichnet werden. Es sollte daher verstärkt bei der Stadtplanung berücksichtigt werden. Alle stadteinwärts gerichteten Schneisen, wie z. B. Verkehrswege und Grünzüge, sind potentielle Venti-

lationsbahnen. So ist es möglich, durch entsprechende planerische und gestalterische Maßnahmen die stadteinwärts gerichtete Luftströmung zu fördern oder bei Vorbelastung durch außerhalb der Stadt liegende Emittenten zu unterbinden.

FAZIT

Diese und andere stadtklimatologisch wichtige Parameter auch für die praktische Anwendung verfügbar zu machen, ist eine wichtige Aufgabe der naturwissenschaftlich orientierten ökologischen Planung, in die der Stadtklimatologe mehr und mehr einbezogen werden muß.

LITERATUR

- Baumgartner, A., H. Mayer und E. M. Noack, 1985: Untersuchung des Einflusses von Bebauung und Bewuchs auf das Klima und die lufthygienischen Verhältnisse in bayerischen Großstädten. Abschlußbericht zum Teilprogramm "Thermalkartierungen". Forschungsvorhaben Nr. 8272-VI/4b-7106
- Bründl, W., H. Mayer und A. Baumgartner, 1986: Untersuchung des Einflusses von Bebauung und Bewuchs auf das Klima und die lufthygienischen Verhältnisse in bay. Großstädten. Abschlußbericht zum Teilprogramm "Klimamessungen München". Forschungsvorhaben Nr. 8272-VI/4b-7106
- Frommes, Bob, 1979: Bibliographie der Stadt- und Bauklimatologie. Hrsg. i. A. des Ständigen Ausschusses Stadt- und Bauklimatologie im VWSR.
- Kerschgens, M. J. und R. L. Drauschke, 1986: On the energy budget of a wintry midlatitude city atmosphere. Beitr. Phys. Atmos., 59, 115-125.
- Kiese O. und G. Otto, 1986: Windanalyse der Stadt Dortmund. Im Auftrage des Kommunalverbandes Ruhrgebiet, Essen, unveröff.
- Kratzer, P. A., 1956: Das Stadtklima. 2. Auflage die Wissenschaft, Bd. 90, Braunschweig.
- Kuttler, W. 1985: Klimatologische Untersuchungen im Raum Bochum (Abschlußbericht). im Auftr. Kommunalverbandes Ruhrgebiet; unveröff.
- , -, 1987: Das Stadtklima und seine raumzeitliche Struktur, . Hohenheimer Arbeiten. Umwelttagung 23.01.1987 - ökologische Probleme in Verdichtungsgebieten; im Druck.
- , -, und D. Schreiber (Hrsg.), 1984: Stadt- und geländeklimatische Untersuchungen im südlichen Münsterland. Materialien zur Raumordnung, Bd. 25, Bochum.
- Weisheit, W., 1975: Stadtklimatologische Konsequenzen von Line-Scanner-Aufnahmen der Oberflächentemperatur im Tagesgang (Beispiel Freiburg). Symposium Erderkundung der DFVLR, 459-467.
- , -, 1980: Stadtklimatologie und Stadtplanung. Klima und Planung '79. Veröffentlichungen der Geogr. Komm., Heft 6, 73-95. Tagung am Geogr. Inst. Univ. Bern.
- Oke, T. R., 1975: Inadvertent modification of the city atmosphere and prospects for planned urban climates. in: Proc. W.M.O. Symp. Meteorol. Rel. to Urban Regional Land-Use Planning. World Meteorol. Organiz., Geneva, 150-175.
- , -, 1982: Bibliography of Urban Climat, 1977-1980. WCP-45, World Meteorol. Organiz., Geneva.
- Stock, P.; W. Beckröge; O. Kiese; W. Kuttler; H. Lüftner (1986): Klimaanalyse Stadt Dortmund. Planungshefte Ruhrgebiet, P018, Hrsg.: Kommunalverband Ruhrgebiet.