

SONDERDRUCK AUS:

PIK Reports

NO. 1

3. Deutsche Klimatagung



Potsdam

11.-14. April 1994

Tagungsband

der Vorträge und Poster

POTSDAM INSTITUTE

FOR

CLIMATE IMPACT RESEARCH (PIK)

Zur Analyse des städtischen Einflusses auf das Klima

Prof. Dr. W. Kuttler

Institut für Ökologie der Universität GH Essen, FB 9
Abt. Landschaftsökologie, 45117 Essen.

Zusammenfassung

Die durch Städte verursachten klimatischen und lufthygienischen Veränderungen beziehen sich in erster Linie auf den mikro- und mesoskaligen Bereich. Aufgrund der Emission langlebiger Spurengase dürften globalklimatische Einflüsse jedoch nicht ausgeschlossen werden. Für verschiedene Bereiche der städtischen Wirkungsforschung werden Beispiele diskutiert.

Summary

The climatic and air hygienic influences caused by urban areas are especially bound to the micro- und mesoscale. Due to the emission of long-lived trace gases a climatic global change might be possible. The paper presents different examples of the urban climatological and air hygienic impact.

1 Einleitung

Die klimatischen Veränderungen, die sich als Folge der Umwandlung einer durch den Menschen unbeeinflussten Landoberfläche in einen urban-industriell genutzten Siedlungsraum ergeben, werden allgemein unter dem Begriff "Stadtklima" zusammengefaßt. Dessen Charakter wird durch die Bebauungsstruktur, durch den Umfang künstlich erzeugter thermischer Emissionen sowie durch die Art und Masse der in die bodennahe Atmosphäre eingeleiteten Partikel- und gasförmigen Spurenstoffe bestimmt. Die großklimatische Lage, die orographische Situation sowie die Entfernung zu größeren Wasserflächen wirken darüber hinaus modifizierend auf das städtische Sonderklima.

2 Zur Problematik der Messung von Stadtklimaeffekten

Die Stadtklimaforschung kann auf ein breitgefächertes Methodenspektrum zurückgreifen (Kuttler 1993), wozu die Verwendung von Sondermeßnetzen, mobilen Datenerfassungen, IR-Aufnahmen sowie der Einsatz numerischer Modelle bzw. die Durchführung von Windkanalanalysen zählen. Die richtige Wahl repräsentativer Meßstandorte ist für die zu erfassenden Klimaelemente von großer Bedeutung. Probleme bestehen a priori deshalb, weil die Forderung nach idealen Standorten kaum zu erfüllen ist. Denn die Vielzahl städtischer Flächennutzungen verbietet schon aus ökonomischen Gründen eine Datenerfassung auf jedem in Frage kommenden Areal. Die Gefahr, bei ungeeigneter Stationsplazierung Artefakte zu messen, ist deshalb außerordentlich groß. Als wenig hilfreich und kaum praktikabel erweist sich in diesem Zusammenhang ein auf Lowry (1977) zurückgehender Vorschlag, einen Urbanen Einfluß auf das Klima nur dann nachzuweisen und zu quantifizieren, wenn auf Vergleichsdaten aus der präurbanen Phase zurückgegriffen werden kann.

Da ein derartiges Vorgehen normalerweise nicht möglich ist, muß versucht werden, repräsentatives Datenmaterial auf andere Art und Weise zu erhalten. Hierzu bietet sich eine generalisierende Klimatopcharakterisierung auf der Basis der Ausgliederung von Baukörpertypen mit Hilfe entsprechender stationärer Punktmessungen (Weischet 1979), die durch mobil durchgeführte Messun-

gen in eine "flächendeckende" Datenstruktur einzubinden sind, an. Da die hierfür eingesetzten Fahrzeuge in der Regel zumindest ein befestigtes Wegenetz benötigen, können Aussagen über nicht erreichbare Flächen ohne die Anwendung statistischer Verfahren, die ortstypische invariable und variable Eingangsparameter berücksichtigen (Kuttler et al. i. pr.), nicht gemacht werden.

3 Auswirkungen des städtisch bebauten Raumes auf das Klima

Die stadtbedingten klimatischen und lufthygienischen Veränderungen werden am Beispiel der Beeinflussung des bodennahen Windfeldes, der städtischen Abwärme und an der Immissionssituation anthropogener atmosphärischer Spurenstoffe dargestellt.

3.1 Das städtisch beeinflusste Windfeld

Der Einfluß eines Stadtkörpers auf das Windfeld ist von der Geschwindigkeit und Richtung des übergeordneten Windes abhängig. Bei hohen Werten lassen sich für den mesoskaligen Bereich aufgrund der aerodynamischen Rauigkeit vergleichsweise starke Abnahmen der Windgeschwindigkeit beobachten (Landsberg 1981). Auch weist das Strömungsbild dreidimensionale Richtungsänderungen auf, die - durch die reibungsbedingte Beeinflussung der Coriolisbeschleunigung verursacht - in Luv und Lee zu Strömungsdivergenzen und -konvergenzen führen (Oke 1980). Besonders im mikroskaligen Bereich kommt es zu nachhaltigen Windfeldveränderungen durch mechanische und thermische Turbulenzen (Bottema 1993; Meroney 1982). Hierdurch wird gegenüber dem Umland der vertikale Windgradient verringert.

Herrscht hingegen eine windarme, autochthone Witterung mit einer gut ausgebildeten Urbanen Wärmeinsel vor (Kuttler 1988), kann bei Abkoppelung des bodennahen Windfeldes vom übergeordneten Wind aufgrund der sich einstellenden Luftdruckverteilung zwischen Stadt und Umland eine stadteinwärtsgerichtete Strömung entstehen, die wegen der unterschiedlichen Stabilitätsverhältnisse über der bebauten Fläche durchaus höhere Geschwindigkeiten aufweisen kann (Chandler 1965). Diese intermittierend auftretende Kaltluftströmung, die im Idealfall zentripetal dem Stadtgebiet zufließt, wird Flurwind genannt (Barlag und Kuttler 1990/91). Flurwinde können die stadtklimatisch-lufthygienische Situation durch Frischluftzufuhr verbessern, wenn sichergestellt ist, daß ihr Einzugsgebiet im Umland frei von Schadstoffemittenten ist, und daß geeignete in das Stadtgebiet führende Ventilationsbahnen einen ungehinderten Lufttransport zulassen (Kuttler and Romberg 1993).

Im Rahmen verschiedener Untersuchungskampagnen, die mit dem Meßwagen der Abt. Landschaftsökologie der Universität Essen im Jahre 1993 durchgeführt wurden, konnten gelegentlich erhöhte nächtliche Ozonkonzentrationen nachgewiesen werden, die vermutlich an das Vorherrschen von Flurwinden gekoppelt waren. Es ist bislang noch unklar, ob es sich hierbei um einen Rücktransport des tagsüber gebildeten Ozons aus den Kaltlufteinzugsgebieten im Umland handelt oder ob der "nächtliche sekundäre Ozonpeak" auf einer Rückspeisung aus dem Reservoir der über der Stadt liegenden, nachts in ihrer Mächtigkeit insbesondere im Umland stark schrumpfenden Mischungsschicht stammt.

3.2 Die städtische Abwärme

Die thermischen Veränderungen, die in Stadtgebieten im Vergleich zum Umland auftreten, sind sowohl auf die Materialeigenschaften der versiegelten Oberflächen, auf die Horizont einschränkung durch die bebaute Fläche, auf die an partikel- und gasförmigen Spurenstoffen angereicherte Stadtatmosphäre als auch auf die überwiegend hohen Werte der BOWEN-Verhältnisse zurückzuführen. Hinzu kommt die unter dem Begriff "anthropogene Wärmeproduktion" subsumierte freigesetzte Energie, die durch den Kfz-Verkehr, durch die Abwärme von Hausbrand, Kraftwerken und Industrieprozessen sowie durch den Metabolismus der Lebewelt verursacht wird. Bezogen auf die unterschiedlich großen geographischen Einheiten werden folgende Flußdichten genannt (jeweils in W/m^2 ; nach Pankrath 1980): Für den globalen Bereich 0,016, für Kontinente 0,046, für einzelne

Länder Werte zwischen 0,06 und 1,36, für Städte und Industrielandschaften solche von 1,4 bis 127 und für Einzelstandorte wie Kraftwerke, Kühltürme und Raffinerien Flußdichten von 530 bis 16000. Die letztgenannten hohen Werte beziehen sich dabei auf Flächengrößen von 0,1 bis 0,2 km². Hierdurch kann das Lokalklima durch die Bildung von Konvektionszellen, die Reduzierung der Globalstrahlung durch Kühlturmfahnen und durch das Auftreten von "Industrieschneefällen" (v.Kienle 1952; Agee 1971) beeinflußt werden. Exemplarisch für die Gesamtfläche des Ruhrgebietes berechnete Energieflußdichten ergaben einen Wert von 10⁶ MW (Fortak 1977), was in etwa dem Energieinhalt einer kleinen Regenwolke entspricht. Bezogen auf die Fläche von jeweils einem Quadratmeter, ergibt sich für das Ruhrgebiet allerdings nur eine Flußdichte von 10 W, während ein kleiner Cumulonimbus 10³ W/m² erreicht. Im mesoskaligen Urbanen Bereich lassen sich jedoch teilweise auch Flußdichten nachweisen, die einen erheblichen Anteil an der natürlichen Strahlungsbüanz erreichen bzw. diese übertreffen. Hohe Werte sind dabei entweder gekoppelt an hohe Einwohnerdichten und mittleren Prokopfenergieverbrauch oder an einen hohen Prokopfenergieverbrauch bei geringer Bevölkerungsdichte (Heibig 1987). So belief sich für Westberlin bei 2,3 Mio. Einwohnern der jährliche Prokopfenergieverbrauch (1967) auf 67 GJ/EW, woraus sich ein anthropogener flächenbezogener Wärmestrom von 21 W/m² errechnete (natürliche Strahlungsbilanz: 57 W/m²), während in der nur 300000 Menschen zählenden, am Polarkreis gelegenen Stadt Fairbanks 740 GJ/EW (1965 - 1970) verbraucht wurden. Das entspricht einer anthropogenen Energieproduktion von 19 W/m² bei einer natürlichen Strahlungsbilanz von 18 W/m². In Berlin wurden demnach 37% der natürlichen Strahlungsbilanz erreicht, in Fairbanks hingegen 106%. Die Beeinflussung macht sich besonders im Winter bei negativer Strahlungsbilanz bemerkbar. Nach verschiedenen im Oberrheingebiet durchgeführten Untersuchungen ist die Flußdichte der anthropogenen Energieproduktion zu 69% auf den sensiblen Wärmestrom, zu 17% auf den Strahlungsstrom und zu 14% auf den latenten Wärmestrom zurückzuführen. Es wird davon ausgegangen, daß ein Wert von weniger als 2,5 W/m² keinen Einfluß auf die mesoklimatischen Verhältnisse hat (Pankrath 1980).

3.3 Die städtische Immissionssituation

Die bodennahe Immissionsstruktur in Städten Westeuropas wird hauptsächlich durch den Kfz-Verkehr, in geringem Maße durch den Hausbrand und kaum noch durch Kraftwerks- und Industrieanlagenemissionen bestimmt. Eine auf der Basis von Spurenstoffindikatoren durchgeführte Analyse für ländliche Gebiete der alten Bundesrepublik Deutschland (Zeitraum: 1973 - 1990; UBA 1992) zeigte Abnahmen an Schwebstaub (SST) um 40%, an Blei im Schwebstaub um 80% sowie weniger eindeutige Rückgänge an SO₂. Für NO_x wurde ein leicht ansteigender, allerdings uneinheitlich verlaufender Trend ermittelt, während das CO₂ kontinuierlich um 1 ppm pro Jahr zunimmt. In den letzten Jahren konnten wiederholt mesoskalig wirksam werdende Transport-Smog-Situationen während der kalten Jahreszeit nachgewiesen werden, wobei SO₂-Spurenstoffwolken zu relativ hohen allochthonen Immissionskonzentrationen in ländlichen Gebieten führten (UBA 1989).

In ausgewählten städtischen Belastungsräumen der alten Bundesrepublik (Zeitraum: 1975 - 1990; UBA 1992) reduzierten sich die SST-Konzentrationen um bis zu 40% und die SO₂-Konzentrationen um bis zu 50%. Allein die NO_x-Konzentrationen verharren auf fast konstantem Ausgangsniveau. Für Ozon wird trotz Einführung der Kfz-Katalysatoren von steigenden Werten ausgegangen, wobei insbesondere im ländlichen Raum wesentlich höhere Mittelwerte nachgewiesen werden als in Stadtgebieten.

Die Immissionssituation der Kohlenwasserstoffe, unter denen bestimmte Arten als Vorläufergase für die Ozonbildung anzusehen sind, wird durch anthropogene, aber auch biogene Quellen bestimmt. In den Belastungsgebieten dominieren die dem Kfz-Verkehr zuzuordnenden Nichtmethan-kohlenwasserstoffe, allerdings ist bislang unklar, welcher Anteil an der Gesamtemission der Vegetation in Städten verschiedener Klimazonen zufällt.

Die Klimawirksamkeit eines Spurengases hängt von seiner Lebensdauer ab. Diese wird entweder bestimmt durch die Reaktionsgeschwindigkeit des Gases mit einem anderen oder bei inerten Stoffen durch die Stärke der entsprechenden Senkenmechanismen. Unter Berücksichtigung der Umwandlung, des Transportes und der Deposition lassen sich auf der Basis der charakteristischen Reichweite und Aufenthaltsdauer anthropogener Spurenstoffe Aussagen zu ihrer potentiellen Klimawirksamkeit machen (Löbel 1988). Hiernach dominieren im Mikroscale Staub und NO_x, im

Mesoscale SO_2 , NO , NO_2 , C_nH_m , O_3 und Aerosole, im synoptischen Scale O_3 , CO , Sulfat- und Nitrataerosole sowie im Makroscale N_2O , CO_2 , CH_4 und FCKW. Neben der nachhaltigen Einflußnahme auf die lufthygienischen und lokalklimatischen Verhältnisse in Städten sind auch global-klimatische Auswirkungen der genannten Spurenstoffe nicht auszuschließen.

4 Ausblick

Da sich die klimatische Einflußnahme von Städten in erster Linie auf den mikro- und mesoskaligen Bereich beschränkt, darüber hinaus jedoch Auswirkungen globaler Art wegen der Emission langlebiger Spurengase nicht auszuschließen sind, sollte die Wirkungsforschung - unter Berücksichtigung der Tatsache, daß die Mehrheit der Menschen in Städten lebt - zur Beantwortung folgender Fragen verstärkt beitragen:

1. Welche klimatischen Veränderungen sind aufgrund des zu beobachtenden ungebremsten Städtewachstums auf regionaler Ebene zukünftig zu erwarten? und
2. In welcher Weise beeinflusst ein sich veränderndes Weltklima die immissionsklimatischen Einflußgrößen der Ballungsräume?

5 Literatur

Agee, E. M., 1971. An Artificially induced Snowfall.- In: Bulletin of the American Meteorological Society, Vol. 52, No. 7, S. 557-560.

Barlag, A.-B. and W. Kuttler, 1990/91. The Significance of Country Breezes for Urban Planning.- In: Energy and Buildings, 15-16, S. 291-297.

Bottema, M., 1993. Wind Climate and Urban Geometry.

Chandler, T.J., 1965. The Climate of London. London.

Fortak, H.G., 1977. Beeinflussung des Lokalklimas durch große Energieerzeugungs- und Verbraucherzentren.- In: Vorträge der Internationalen Konferenz für Energie und Umwelt, ENVITEC, 1977, Essen, S. 113-117.

Heibig, A., 1987. Beiträge zur Meteorologie der Stadtatmosphäre. Abhandlungen des Meteorologischen Dienstes der Deutschen Demokratischen Republik, Nr. 137, Berlin.

v. Kienle, J., 1952. Ein stadtgebundener Schneefall in Mannheim.- In: Meteorologische Rundschau, Heft 7/8, S. 132-133.

Kuttler, W., 1988. Spatial and temporal Structures of the Urban Climate - a Survey.- In: Grefen, K. and J. Löbeö (eds.) (1988): Environmental Meteorology, S. 305-333.

Kuttler, W., 1993. Planungsorientierte Stadtklimatologie. Aufgaben, Methoden und Fallbeispiele.- In: Geogr. Rundschau 45, H. 2, S. 95-106.

Kuttler, W. and E. Romberg, 1992. On the Occurance and Effectiveness of Country Breezes by Means of Wind Tunnel and In Situ-Measurements.- in: Proceedings of the 9th World Clean Air Congress, Montreal, Quebec, Canada, August, 30 - September, 4, S. IU 9 A.04 1-12.

Kuttler, W. et al., (i. pr.). Study on the thermal Structure of a Town in a narrow Valley.- Submitted to Atmospheric Environment, Part B.

Landsberg, H.E., 1981. The Urban Climate.

Löbel, J., 1988. Chemische Umwandlungen von Spurenstoffen während der Ausbreitung.- In: VDI-Kommission Reinhaltung der Luft (Hrsg.) (1988): Stadtklima und Luftreinhaltung, S. 179-189.

Lowry, W.P., 1977. Empirical Estimation of Urban Effects on Climate. A Problem Analysis.- In: Journal of Appl. Met., Vol. 16, S. 129-135.

Meroney, R.N., 1982. Turbulent diffusion near buildings.- In: Plate, E. (edt.)(1982): Engineering Meteorology, S. 481-525.

Oke, T., 1980. Climatic Impacts of Urbanization.- In: Bach, W.; J. Pankrath a. J. Williams (eds.) (1980): Interactions of Energy and Climate, S. 339-356.

Pankrath, J., 1980. Impact of Waste Heat Emissions in the Upper Rhine Region.- In: Bach, W., J. Pankrath a. J. Williams (1980): Interactions of Energy and Climate, S. 363-381.

UBA (= Umweltbundesamt) (Hrsg.), 1989. Daten zur Umwelt 1988/89.

UBA (= Umweltbundesamt) (Hrsg.), 1992. Daten zur Umwelt 1990/91.

Weischet, W., 1979. Problematisches über die städtische Wärmeinsel und die Notwendigkeit einer Baukörperklimatologie.- In: Kreisel, W., W.D. Sick, J. Stadelbauer, 1979. Siedlungsgeographische Studien, S. 407-423.