Die bioklimatische Funktion innerstädtischer, insbesondere baumbestandener Grünflächen

Olaf Kiese

Synopsis
The »Klima-Michel-Modell« is increasingly becoming important for urban planning. However, information given by the model should be reconsidered before designing planning measures. As has been evidenced by the present study, comfortable urban climate results from intensified turbulent mixing rather than from protection from solar radiation, which is a temporary stress factor only. It is turbulent mixing that reduces effectively thermal stress which is caused by high vapour pressure at high temperatures. From this point of view the bioclimatic function of trees in town and on urban lawns in particular is critically reconsidered.

Bioklimatische Bewertung; Luftfeuchte in Städten; Mikroklima innerstädtischer Grünflächen; PMV-Wert; Wärmebelastung.

Bioclimatological valuation; air humidity in urban areas; microclimate of urban open spaces; Predicted Mean Vote; thermal stress.

1. Abgrenzung des Themas

Die nachfolgenden Ausführungen beschränken sich auf Städte in der gemäßigten Klimazone, insbesondere Mitteleuropas, und dort nur auf Grünflächen von der Größenordnung << 50 ha. Die klimatische Fernwirkung derart dimensionierter Grünflächen, die wohl in allen Städten Mitteleuropas anzutreffen sind, ist vernachlässigbar gering (HORBERT 1993). Es geht im Folgenden also nur um das Klima innerhalb der Grünflächen selbst und ihre Bedeutung für das bioklimatische Wohlbefinden der Benutzer dieser Grünflächen. Erreicht der kleinste Durchmesser solcher Flächen die Größenordnung 1 km, verlieren sie klimatisch ihren Charakter als innerstädtische, d. h. vom Klima der umgebenden bebauten Areale überprägte Klimatope (KIESE & al. 1992).

2. Bioklimatologische Bewertungsgrundlagen

In der derzeitigen Diskussion über die Bewertung des Bioklimas in der Stadt hat sich der Schwerpunkt etwas verkürzt auf die Quantifizierung des thermischen Behaglichkeits- bzw. Belastungsempfindens des Menschen in den verschiedenen Stadtstrukturtypen verlagert. In dieser Diskussion nimmt das von JENDRITZKY und Mitarbeitern entwickelte Klima-Michel-Modell (JENDRITZKY & al. 1979, 1990) eine beherrschende Rolle ein. Als Bewertungsmaßstab wird dabei auf den von FANGER (1970) definierten PMV-Wert (Predicted Mean Vote) zurückgegriffen. Mit Hilfe zahlreicher Probanden hat FANGER unter kontrollierten Innenraumbedingungen die Aussage über das thermische Empfinden in eine Bewertungsskala von 0 bis 2 gefaßt, wobei negative Werte Kältestreß, positive Werte Wärmebelastung bedeuten. Dabei drückt ein höherer PMV-Wert im strengen Sinn nicht den wachsenden Grad der thermischen Unbehaglichkeit aus, er gibt eigentlich nur an, daß dann ein steigender Prozentsatz von Probanden Unbehaglichkeit bzw. Belastung empfinden; letztlich dürfte aber beides eng korrelieren.

JENDRITZKY und Mitarbeiter standen bei der Übertragung des FANGERschen PMV-Wertes auf Freiluftverhältnisse vor dem Problem, den hier tagsüber zusätzlich auftretenden und dann bei klarem Himmel sehr energiereichen Wärmefluß durch solare Strahlung in die Bewertungsskala einzubauen. Das erfolgte über einen rechnerisch ermittelten Zuschlag auf die Lufttemperatur (= Strahlungstemperatur T_{mrt}) mit gleicher Wärmewirkung auf den Menschen. Wie sich die Strahlungstemperatur bei quer zum Straßenverlauf einfallender Sonnenstrahlung in einer Straßenschlucht darstellt und welche Konsequenzen das auf die Verteilung des errechneten PMV-Wertes hat, sei an einer aus einer Veröffentlichung der Arbeitsgruppe JENDRITZKY (1986) stammenden Arbeit erläutert (Abb. 1): An der Schattengrenze auf der Straßendecke steigt die Strahlungstemperatur von Werten knapp über 0°C auf etwa 20°C sprunghaft an, der PMV-Wert entsprechend von 1,5 auf ca. 3, was – mit einiger Einschränkung – höchste thermische Belastung auf der sonnenbeschienenen Straßenseite bedeutet. Bei entsprechend erhöhten Häuserfassaden (bzw. verengten Straßenschluchten), die den Strahlungseinfall auf die Straßendecke verhinderten, würde der PMV-Wert beidseitig auf durchaus erträglichen 1,5 PMV bleiben, woraus die Stadtplaner als Konsequenz Ortskernverdichtung, d.h. Beseitigung freier Plätze u. a. m., für das beste Mittel zur Verbesserung des Stadtklimas unter dem Gesichtspunkt »thermische Behaglichkeit« ableiten könnten.

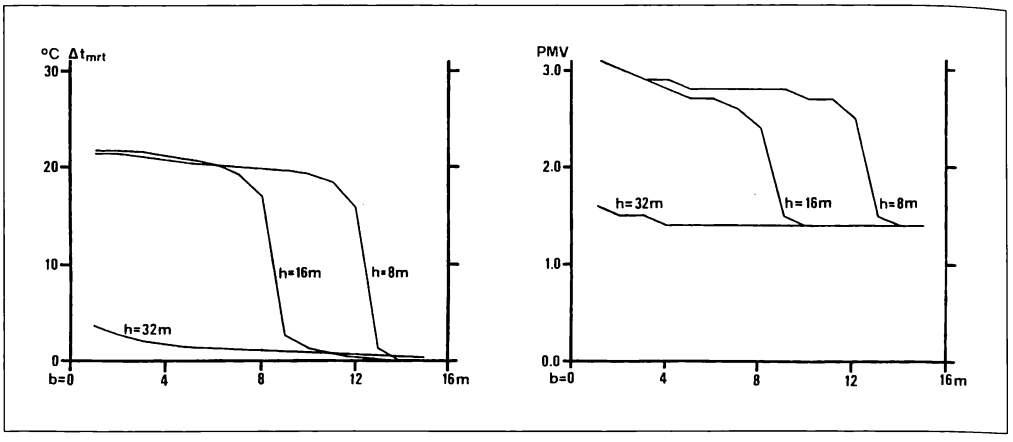

Abb. 1:
Abweichung der mittleren Strahlungstemperatur (t_{mrt}) und Verlauf der Wärmebelastung (PMV = Predicted Mean Vote) im Straßenquerschnitt; h = Gebäudehöhe, b = Straßenbreite (nach JENDRITZKY, G & al. 1986).

Fig. 1:
Deviation of mean radiation temperature (t_{mrt}) and variation of thermal stress (PMV = Predicted Mean Vote) in a cross sektion of a street; h = hight of the buildings; b = width of the street (nach JENDRITZKY, G & al. 1986).

Hier zeigt sich, daß bei der Diskussion um das Bioklima in der Stadt eine Fixierung auf den Begriff thermische Behaglichkeit an manchen Problemen vorbeiführt. Aber selbst bei der Beschränkung auf diesen Komplex bleiben weitere Fragen offen. So hat HÖPPE (1984) durch Befragung von Passanten keine Bestätigung für die Richtigkeit der rechnerisch ermittelten thermischen Behaglichkeits- bzw. Belastungsverteilung in der teilweise sonnenbeschienenen Münchener Ludwigstraße nachweisen können: Die Befragten fühlten sich auf der Sonnenseite keineswegs thermisch gestreßt, zumindest nicht stärker als im Schatten. Die Frage über die Ursachen für diese Diskrepanz zwischen Modell und Realität soll an dieser Stelle nicht weiter verfolgt werden. Aber selbst dann, wenn das thermische Empfinden der Befragten den Modellvorgaben entspräche, bleibt zu fragen, ob gegen eine über wenige Stunden an wenigen Tagen des Jahres belastende Sonnenstrahlung, die in der restlichen (überwiegenden) Zeit des Jahres als durchaus wünschenswert angesehen wird, Planungsmaßnahmen – zumal irreversible bauliche – zu rechtfertigen wären, wenn damit gleichzeitig anderweitige bioklimatische und lufthygienische Nachteile eingehandelt würden.

Bei der Ableitung von Planungshinweisen muß bei den bioklimarelevanten Faktoren (MAYER 1986) unterschieden werden zwischen solchen, gegen die man sich (wie gegen die Sonnenstrahlung) im Bedarfsfall durch einfachste Maßnahmen schützen kann, und solchen, denen man mehr oder weniger schutzlos ausgeliefert ist, da sie (wie Lufttemperatur, Luftfeuchte und Wind) relativ homogene Felder bilden. Die weiteren Ausführungen werden sich deshalb mit der Frage beschäftigen, welche Unterschiede bei diesen letztgenannten Klimaelementen in den verschiedenen Stadtstrukturen, vor allem auf unterschiedlich gestalteten innerstädtischen Grünflächen, auftreten. Da das Argument der einfachen Abwehrmöglichkeit auch für den Kältestreß gilt, kann dieser Aspekt bei den weiteren Überlegungen vernachlässigt werden: Gegen zu hohen Wärmeverlust hilft bereits angemessene Kleidung. Problematisch bleibt allein die Frage der thermischen (Über-) Belastung, gegen die, vor allem bei zunehmender Luftfeuchte, letztlich die Frage der Kleidung keine Rolle mehr spielt. Alle folgenden Beispiele stellen daher nur die Verhältnisse bei wolkenarmer, warmer Sommerwitterung dar. Sie sind von Messungen in den Jahren 1988 – 1990 aus Münster abgeleitet.

3. Unterschiede bei der Lufttemperatur

In Abb. 2 wird der Tagesgang der Lufttemperatur an unterschiedlichen Standorten dargestellt: Bedeutende Unterschiede ergeben sich nur in der Nachthälfte (18 – 6 Uhr). Die tagsüber von den in der Stadt verwendeten Baumaterialien aufgenommene Wärme verhindert eine im Vergleich zur Wiesenfläche außerhalb der Stadt auch nur annähernd so große Abkühlung. Dieser Speicherwärmefluß ist größer als die nach Sonnenaufgang im Freiland für Verdunstung und Bodenerwärmung aufgewendete Wärmemenge. So kommt es hier trotz hohen Energieverbrauchs für die Transpiration zu einer wesentlich größeren Erwärmungsrate der Luft als in versiegelten Stadt-

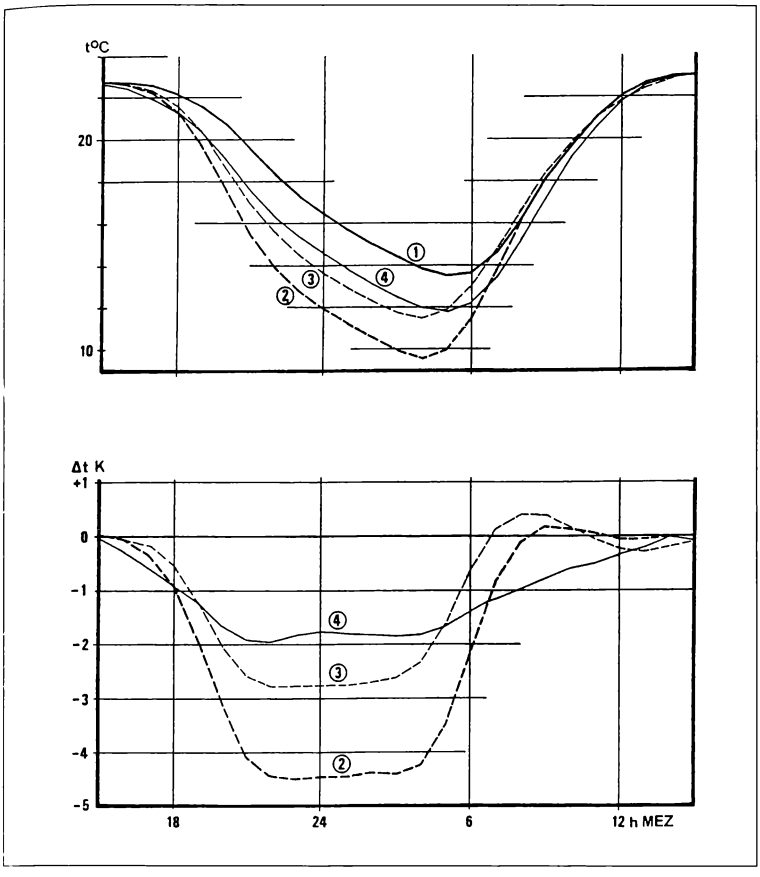

Abb. 2:
Tagesgang der Temperatur (oben) und Abweichung der Temperatur von der Innenstadtstation (unten) an verschiedenen Standorten von Münster (Mittel von 20 Tagen der Sommermonate mit autochthonem Strahlungswetter).

Fig. 2:
Diurnal variation of temperature (above) and deviation of temperature at various sites in the suburban area of Münster compared to the city (below). (Mean of 20 summer-days with autochthonic weather conditions)

Legende für die Abbildungen 2-5

① ———— hochversiegelter Innenstadtstandort
② — — — — Wiese außerhalb der Stadt
③ — — — — — große Rasenfläche innerhalb der Stadt
④ ———— Park mit rel. dichtem Baumbestand innerhalb der Stadt
⑤ ·—·—·—· Wäldchen innerhalb der Stadt
⑥ - - - - - - - - Wäldchen außerhalb der Stadt
⑦ - - - - - - - - - - offene Wasserfläche des Münsterischen Aasees

arealen. Offene Rasenflächen in der Stadt zeigen nachts zwar eine zur außerstädtischen Wiesenfläche vergleichbar tiefe Oberflächentemperaturen an, aber bereits in 2m über Grund bleibt die Lufttemperatur um etwa 2 K wärmer als außerhalb der Stadt. Es bildet sich über innerstädtischen Rasenflächen nur ein vergleichsweise seichtes Kaltluftpolster, über dem sich der Einfluß der relativ warmen Luft der versiegelten Umgebung mit zunehmender Höhe und in Abhängigkeit vom Rand, d. h. vom Durchmesser der Grünfläche, bemerkbar macht. Lockerer Baumbestand vermag tagsüber keine Erniedrigung des Temperaturmaximums durch Abschattung, nachts aber eine weitere Dämpfung der Abkühlungsrate durch Abschirmung gegen die effektive Ausstrahlung zu bewirken. Allerdings setzt hier die abendliche Abkühlung eher und die morgendliche Erwärmung später ein als auf der offenen Rasenfläche, wodurch sich der Abschattungseffekt bei dann tiefstehender Sonne doch bemerkbar macht.

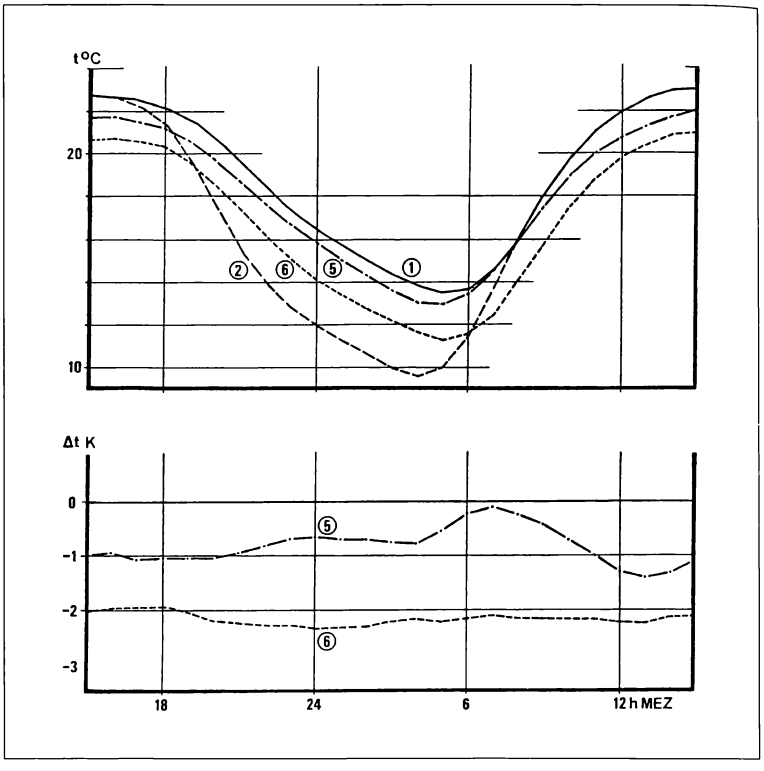

Abb. 3:
Tagesgang der Temperatur (oben) und der Abweichung der Temperatur von der Innenstadtstation (unten) an verschiedenen Standorten von Münster (Mittel von 20 Tagen der Sommermonate mit autochthonem Strahlungswetter).

Fig. 3:
Diurnal variation of temperature (above) and deviation of temperature at various sites in the suburban area of Münster compared to the city (below). (Mean of 20 summerdays with autochthonic weather conditions).

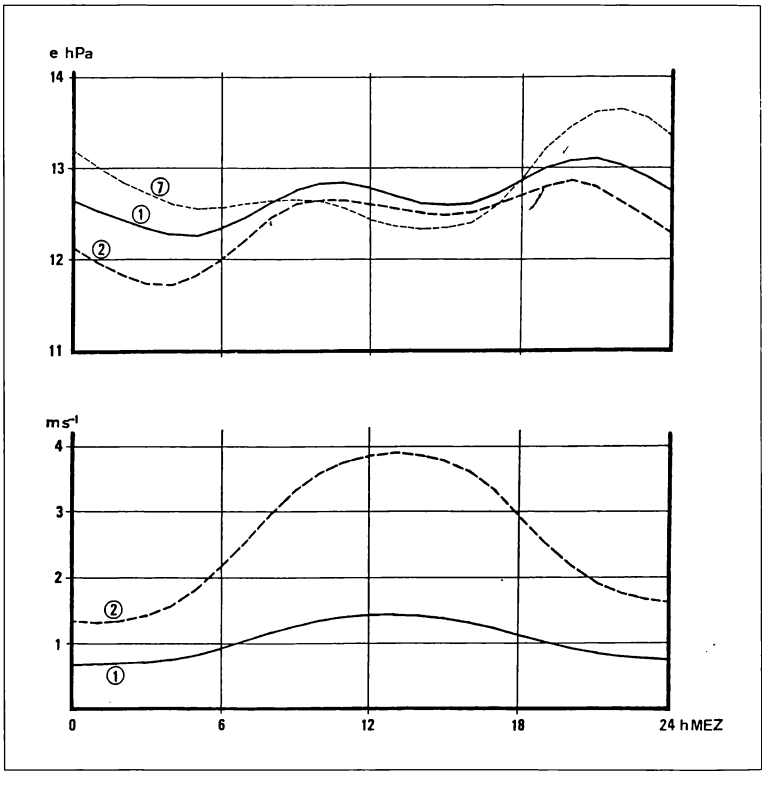

Abb. 4
Tagesgang des Dampfdrucks und der Windgeschwindigkeit über verschiedenen Oberflächen in Münster (Mittel von 28 Tagen der Sommermonate mit geringer Bewölkung und mäßiger Windgeschwindigkeit).

Fig. 4
Diurnal variation of vapour pressure and wind speed above various typs of buildings of surfaces in Münster (Mean of 20 summerdays, almoust clear sky and moderate wind speed).

Dichterer Baumbestand mit Kronenschluß, d. h. Waldareale, zeigen einen zusätzlichen Effekt (Abb. 3): Tagsüber wird der Energieinput durch solare Strahlung in den Stammraum weitgehend unterbunden. Im Zusammenwirken mit der Abschirmung gegen die nachts entscheidende langwellige Ausstrahlung führt das zu einer weiteren Dämpfung der Temperaturamplitude. Die Tagesgangscharakteristik wird demnach durch den Baumbestand selbst geprägt. Darüber allerdings, auf welchem mittlerem Temperaturpegel sich das abspielt, entscheidet die thermische Eigenschaft der Umgebung. Das innerstädtische Wäldchen ist thermisch eingebettet in das Temperaturniveau der versiegelten Umgebung. Nachts wird es daher dort kaum kühler als in den versiegelten Strukturen, und auch zur Zeit des Temperaturmaximums bleibt die Temperatur nur etwa 1 K zurück. Spürbar niedriger ist das Temperaturniveau jedoch in Wäldern außerhalb der Stadt. Im hier gewählten Beispiel liegt die Temperatur ständig etwa 2,2 K unter der der versiegelten Innenstadtstation, und das bedeutet zur Zeit des Temperaturmaximums bei heißem Sommerwetter durchaus eine thermische Entlastung. Wälder in freier, unversiegelter Umgebung sind im Gegensatz zu innerstädtischen (kleineren) Waldarealen kalte Klimatope: Sie sind eingebettet in eine nachts stark auskühlende Umgebung und tagsüber gegen den kurzwelligen Strahlungsinput weitgehend abgeschirmt.

4. Die Steuerungsfaktoren für die Luftfeuchteunterschiede

Einen größeren Einfluß auf die thermische Behaglichkeit als die Temperatur übt die Luftfeuchte aus, wie jedes Saunaerlebnis unmittelbar belegt: Lufttemperaturen um die 100°C sind bei entsprechend trockener Luft zumindest kurzzeitig erträglich, während 37°C bei gleichzeitiger Wasserdampfsättigung die absolute Letalgrenze darstellt (SCHERHAG 1969). Daher sollte den Luftfeuchteverhältnissen in den verschiedenen Stadtstrukturen eine verstärkte Beachtung geschenkt werden. Soweit bisher überhaupt darauf abgehoben worden ist, ist aus meßtechnischen Gründen das Element »Relative Feuchte« überbewertet worden, während der weniger beachtete tatsächlich in der Luft vorhandene Wasserdampf, ausgedrückt z. B. in »Absoluter Feuchte« oder »Dampfdruck«, zumindest außerhalb der rein meteorologischen Betrachtungsweise kaum Erwähnung findet, obwohl doch das thermische Befinden des Menschen z. B. mit dem Dampfdruck stärker korreliert als mit der Relativen Feuchte (HÖPPE 1984). Daher ist zu erklären, warum über die Steuerung des Dampfdrucks in den verschiedenen Strukturen teilweise falsche Vorstellungen herrschen, denn die Relative Feuchte ist in erster Linie eine Funktion der Temperatur und verschleiert die tatsächlichen meteorologischen Prozesse.

Abb. 4 zeigt den Tagesgang des Dampfdrucks über drei verschiedenen Oberflächen: Über der freien Wasserfläche des Münsterschen Aasees wird das Maximum nachts erreicht, während der Dampfdruck über der Wiesenfläche dann dem Minimum zustrebt. Zu dieser Tageszeit ist die Oberflächentemperatur der steuernde Faktor: Über der nachts kalten Wiese kommt es mit Annäherung an das Temperaturminimum in zunehmendem Maße zur Ausfällung von Wasserdampf aus der bodennahen Luft und damit zur Dampfdruckerniedrigung, während über der nachts relativ warmen Wasserfläche die Verdunstung ungehindert fortdauert. Der Abfall des hohen Dampfdrucks nach 22 Uhr ist auf die zu der Zeit einsetzende von den abgekühlten Aaseewiesen über die warme Wasserfläche hinweg stadteinwärts gerichtete Luftströmung zu erklären. Nach Erreichen des Temperaturminimums steigt in der Bodeninversionsschicht über der Wiese der Dampfdruck durch die auflebende Evapotranspiration steil an. Über der Wasserfläche allerdings wird trotz ungehinderter Verdunstung weiterer Dampfdruckfall als Folge des gleichzeitig ansteigenden turbulenten Luftaustauschs vermerkt. Nach Abbau der Bodeninversion macht sich dieser Effekt auch auf der Wiese bemerkbar. Trotz steigender strahlungsbedingter Energiezufuhr fällt der Dampfdruck auch hier und erreicht ein weiteres Minimum in den Nachmittagsstunden. Dadurch ergibt sich für einen bestimmten Windgeschwindigkeitsbereich die charakteristische zweigipflige Tagesgangskurve des Dampfdrucks. Über der freien Wasserfläche, auf der sich der Wind optimal entfalten kann, wird dieses zweite zum Hauptminimum.
Daraus läßt sich folgende Hierarchie der Steuerfaktoren für den Dampfdruck ableiten:

1. Der turbulente Austausch, der über die Verweildauer des Wasserdampfs in der bodennahen Luftschicht entscheidet,
2. die Oberflächentemperatur am jeweiligen Standort, die über die Lufttemperatur die Wasseraufnahmefähigkeit steuert, und
3. die standorteigene Verdunstungsleistung.

Damit erklärt sich die Tatsache, daß die vordergründig schlüssig erscheinende Aussage, die Luft in Städten sei trockener als im Freiland, weil dort die wasserspeichernden und natürlich verdunstenden Oberflächen weitgehend fehlen, so pauschal nicht stimmt – unbeschadet der Tatsache, daß im mitteleuropäischen Klimaraum zu trockene Luft nicht zu bioklimatischer Belastung führt. Das Wasserdampfdefizit der Luft und damit die erforderliche Verdunstungsleistung ist bei den für unser Klima charakteristi-

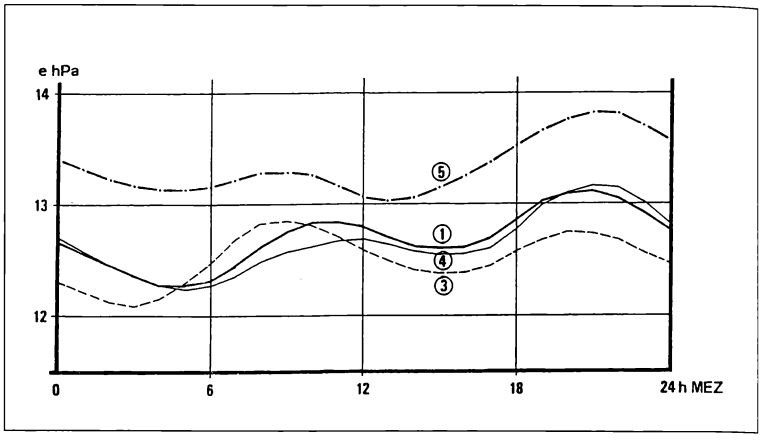

Abb. 5
Tagesgang des Dampfdrucks in verschiedenen Stadtstrukturtypen von Münster an sommerlich warmen Tagen mit geringer Bewölkung.

Fig. 5
Diurnal variation of vapour pressure at various sites in the urban area of Münster during warm and almost cloudless days.

schen Luftmassen vor allem bei einer in Bodennähe stagnierenden Luft recht gering. In mitteleuropäischen Städten fehlt es, ganz abgesehen von den anthropogenen Wasserdampfquellen, auch nirgends an den zu einer Wasserdampfanreicherung erforderlichen natürlichen Quellen. Entscheidend für das Luftfeuchteniveau an einem Standort ist tagsüber vielmehr die durch die Windeinwirkung gesteuerte Verweildauer der Luft. Bei starker Windabschirmung kann die Luftfeuchte an völlig versiegelten Standorten durchaus höher sein als über Grünflächen, wie das Beispiel in Abb. 4 belegt (s. a. BRÜNDL & al. 1986).

Der für die thermische Belastung sehr entscheidende Dampfdruck zeigt in den verschiedenen Grünflächen im Verhältnis zu dem der versiegelten Innenstadt durchaus bemerkenswerte Abweichungen (Abb. 5): Optimale Verhältnisse ergeben sich über der offenen Rasenfläche. Zur Zeit des Temperaturmaximums werden hier die niedrigsten, d.h. bioklimatisch am höchsten zu bewertenden Dampfdruckwerte festgestellt. Der lockere Baumbestand auf der Parkfläche führt zu geringfügig höheren, im Vergleich zum windabgeschirmten hochversiegelten Innenstadtstandort aber doch noch relativ günstigen Werten. Ständig merklich höhere Dampfdruckwerte werden dagegen im innerstädtischen Wäldchen erreicht. Hier macht sich vor allem die windabschirmende Wirkung des geschlossenen Kronendachs bioklimatisch negativ bemerkbar.

5. Schlußfolgerungen

Daraus läßt sich auch zur Frage der bioklimatischen Bewertung von Bäumen in der Stadt folgendes ableiten: Bäume, gezielt und sparsam eingesetzt, haben auch unter allein bioklimatischen Gesichtspunkten eine durchaus positive Wirkung: Sie schaffen beschattete Räume und senken damit die Überhitzung der darunter befindlichen Oberflächen (Straßen, Fassaden, Autodächer). Sie dürfen aber nicht so dicht stehen, daß sie den für ein angenehmes Stadtklima unbedingt erforderlichen Luftaustausch behindern. Das gilt auch für den Aspekt der Lufthygiene; denn was für den Wasserdampf gezeigt wurde, trifft in gleicher Weise für Schadstoffbeimengungen zu. Keineswegs darf in Bäumen undifferenziert ein bioklimatisches Allheilmittel gesehen werden nach dem Motto: Je mehr Bäume, desto besser ist das Stadtklima. Das soll jedoch nicht bedeuten, daß es außer stadtklimatologischen Aspekten keine guten und oft auch gewichtigeren Gründe für die Anpflanzung von Bäumen in der Stadt gäbe. Die Stadtklimatologie ist bei solchen Entscheidungen sicher nur ein Gesichtspunkt unter anderen. Auch der bioklimatologische Wert innerstädtischer Wäldchen sollte nicht überschätzt werden: Die positive Wirkung der Abschattung und der damit erzielten Senkung des täglichen Temperaturmaximums wird überkompensiert durch die Behinderung des turbulenten Austauschs und die infolgedessen eintretende Erhöhung der Luftfeuchte. Eine allein unter bioklimatischen Aspekten angelegte innerstädtische Grünfläche sollte eine offene Rasenfläche sein. Gehölzanpflanzungen zur Schaffung beschatteter Räume gehören an den Rand. Auf größeren Flächen können darüber hinaus Einzelbäume oder kleinste Baumgruppen als Schattenoasen auch inmitten der Fläche angelegt werden. Diese müssen allerdings so locker verteilt sein, daß der Charakter einer windoffenen, nachts stark abkühlenden Freifläche nicht beeinträchtigt wird.

Literatur:

BRÜNDL, W. , MAYER, H. & A. BAUMGARTNER, 1986: Untersuchungen des Einflusses von Bebauung und Bewuchs auf das Klima und die lufthygienischen Verhältnisse in bayerischen Großstädten. München – Lehrstuhl für Bioklimatologie und Angewandte Meteorologie: 346 S.

FANGER, P. O. , 1970: Thermal Comfort. Danish Technical Press Copenhagen: 243 S.

HÖPPE, P. , 1984: Die Energiebilanz des Menschen. Universität München – Meteorol. Inst.: Wiss. Mitt. 49: 173 S.

HORBERT, M. , 1993: Freiraumplanung in hochverdichteten älteren Wohngebieten (Berlin). In: KOMMISSION REINHALTUNG DER LUFT IM VDI UND DIN (Hrsg.) Lufthygiene und Klima, S.187–201. –VDI-Verlag Düsseldorf: 507 S.

JENDRITZKY, G. , SÖNNING, W. & H. J. SWANTES, 1979: Ein objektives Bewertungsverfahren zur Beschreibung des thermischen Milieus in der Stadt- und Landschaftsplanung. Beitr. Akad. Raumf. u. Landesplanung Bd. 28, Hannover: S.

JENDRITZKY, G. , SIEVERS, U. & P. SUPPAN, 1986: Über die Bedingungen der Wärmeabgabe des Menschen im Klima der Stadt. In: Universität München – Meteorol. Inst.: Wiss. Mitt. 53: 109–126.

JENDRITZKY, G. , MENZ, H. , SCHIRMER, H. & W. SCHMIDT-KESSEN, 1990: Methodik zur räumlichen Bewertung der thermischen Komponente im Bioklima des Menschen. Fortgeschriebenes Klima-Michel-Modell. Betr. Akad. Raumf. u. Landesplanung Bd. 114, Hannover: S.

KIESE, O. , VOIGT, J. , KELKER, J. & H. SCHÖPPER (mit einem Beitrag von W. BECKRÖGE), 1992: Stadtklima Münster. Hrsg. : Stadt Münster – Werkstattberichte zum Umweltschutz 1/1992: 247 S.

MAYER, H. , 1986: Stadtklima und seine humanbiometeorologische Bewertung. In: MAYER, H. (Hrsg.) Bioklima in der Stadt. Universität München – Meteorol. Inst. – Wiss. Mitt. 53: 1–18.

SCHERHAG, R. , 1969: Klimatologie (Das Geographische Seminar) – Georg Westermann Verlag Braunschweig: 167 S.

Adresse

Akad. Dir. Dr. O. Kiese
Institut für Landschaftsökologie
Westfälische Wilhelms-Universität Münster
Robert-Koch-Str. 26–28
48149 Münster

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie

Jahr/Year: 1995

Band/Volume: 24_1995

Autor(en)/Author(s): Kiese Olaf

Artikel/Article: Die bioklimatische Funktion innerstädtischer, insbesondere baumbestandener Grünflächen 395-401