

Sonderdruck aus:

**Wissenschaftliche
Mitteilungen**

aus dem
Institut für Meteorologie der Universität Leipzig
und dem
Institut für Troposphärenforschung e. V. Leipzig

ISBN 3-9806117-2-8

Workshop Stadtklima

17. /18. Februar 1999 in Leipzig

Hrsg.: U. Müller, W. Kuttler, G. Tetzlaff

Leipzig 1999

Band 13

Human-biometeorologische Bewertung stadtklimatologischer Erkenntnisse für die Planungspraxis

Wilhelm Kuttler

Summary:

This paper gives a survey of the various methods available for assessing human-biometeorological factors in urban areas. Apart from the relative evaluation methods commonly used, objective assessment procedures are especially important as a basis for taking decisions. As scientists active in the field of urban climatology have not yet succeeded in developing an integrated quality indicator for assessing the effects of the atmospheric environment on the wellbeing of city-dwellers, any assessment must be based on the separate consideration and analysis of the individual parameters that are relevant. These separate analyses must then be adapted as required in view of the overall Situation on a case-to-case basis. The main assessment criteria for inland cities include radiation, thermal, air hygiene and olfactory aspects. This paper deals briefly with the various methods available in these areas and the ways in which they can be applied. The effects of noise and high winds are not considered.

1. Einleitung

Die Umweltbelange „Klima“ und „Luft“ spielen im Rahmen der vorsorgeverpflichteten Stadtplanung eine herausragende Rolle. Ihrer Bedeutung für den Umweltschutz gerecht werdend, wurden diese Planungsfaktoren in verschiedenen Regelwerken gesetzlich verankert (z. B. BauGB, BauNVO, BImSchG, UVPG, BNatSchG). Auf dieser Basis ist entweder ein entsprechender Bestandsschutz sicherzustellen oder - bei eventuell nur suboptimal vorherrschenden immissionsklimatischen Verhältnissen - eine Verbesserung der gegebenen Situation anzustreben.

Werden planerische Eingriffe als notwendig erachtet, müssen diese nach Vorgabe und in Abstimmung mit den verantwortlichen Entscheidungsträgern erfolgen. Entsprechende Beschlüsse sollten auf solide ermitteltem, aussagekräftigem, wissenschaftlich standfestem und damit letztlich objektiv bewertetem Datenmaterial beruhen. In der Human-Biometeorologie existieren hierfür verschiedene Verfahren, deren anthropozentrisch ausgelegte Bezugsgrößen auch für die Evaluierung des städtischen Klimas herangezogen werden können. Bisher lassen sich jedoch diese Qualitätsanzeiger nicht in einer integralen Größe zur Kennzeichnung der human-biometeorologischen Verhältnisse des Stadtklimas zusammenfassend darstellen. Das bedeutet, daß nach wie vor Einzelbewertungen der entsprechenden Größen vorgenommen werden müssen.

Hierzu zählen der aktinische, thermische und lufthygienische Wirkungskomplex wie auch die von Gerüchen, Lärm und starkem Wind ausgehenden potentiellen Beeinträchtigungen des menschlichen Wohlbefindens. Nachfolgend sollen in erster Linie Bewertungsaspekte dargelegt werden. Auf die Einwirkung von Lärm und die Belastung durch hohe Windgeschwindigkeiten, die besonders in Küstenstädten eine den menschlichen Komfort stark beeinflussende Größe annehmen können, wird nicht eingegangen. Stattdessen sei auf entsprechend vorliegende Veröffentlichungen, wie TA Lärm (1968), VDI 2058 (1985) bzw. Bottema (1993), verwiesen.

2. Aktinische Bewertungsmöglichkeiten

Für eine strahlungsklimatische Bewertung ist unter potentiellen Schädigungsaspekten vor allem der Einfluß der ultravioletten Sonnen-, Himmels- und Reflexstrahlung von Interesse. Im Gegensatz zu den vorherrschenden thermischen und lufthygienischen Verhältnissen in unseren Städten, die durch die Instrumentarien der Planung beeinflußt werden, erfolgt für den aktinischen Bereich ein solcher Eingriff bislang noch nicht. Das könnte sich jedoch ändern, da dem negativ anzusehenden Einfluß der kurzwelligen Sonnenstrahlung auch auf Stadtbewohner in der letzten Zeit stärkere Bedeutung beigemessen wird. Vor dem Hintergrund einer Abnahme der stratosphärischen Ozonkonzentration und einem damit befürchteten Anstieg der UV-Strahlung wird nämlich eine zukünftige gesundheitliche Beeinträchtigung nicht mehr ausgeschlossen (Zellner, 1993; Ambach und Blumthaler, 1993). Die Nachfrage nach einer objektiven Einschätzung der UV-Strahlungsintensität und nach Schutzmöglichkeiten ist deshalb auch in Ballungsräumen gestiegen. Zwar erreicht der UV-Anteil an der Gesamtstrahlung nur etwa 8 % (Tab. 1), aber da sich die Energie eines Photons (ϵ) umgekehrt proportional zur Wellenlänge (λ) der elektromagnetischen Strahlung verhält (Gl. 1), resultiert ein vergleichsweise hoher Energiegehalt der Photonen in diesem Spektralbereich mit den entsprechenden photobiologischen bzw. photochemischen Auswirkungen.

Tab. 1: Spektralverteilung der extraterrestrischen Solarstrahlung (WMO, 1986)

Wellenlängenbereich	Wellenlänge [nm]	Bestrahlungsstärke [W m^{-2}]	Anteil an Gesamtstrahlung [%]
UV-C	$100 < \lambda \leq 280$	7,0	0,5
UV-B	$280 < \lambda \leq 315$	16,8	1,2
UV-A	$315 < \lambda \leq 400$	84,1	6,2
UV gesamt	$100 < \lambda \leq 400$	107,9	7,9
sichtbar	$400 < \lambda \leq 760$	610,9	44,7
IR	$760 < \lambda < 10^6$	648,2	47,4
Gesamtstrahlung	$10^2 < \lambda < 10^6$	1367,0	100,0

$$\epsilon = h \cdot \nu = h \cdot \frac{c}{\lambda} \quad / \text{J} \quad (\text{Gl. 1})$$

h = Plancksches Wirkungsquantum

c = Lichtgeschwindigkeit

ν = Frequenz

Da die Strahlungswirkung an der Hautoberfläche jedoch nicht nur von physikalischen, sondern auch von biologischen Größen abhängig ist, müssen wellenlängenabhängige Bestrahlungsstärken mit spezifischen kutanen Absorptionseigenschaften in Beziehung gesetzt werden. Das geschieht durch Faltung des Integrals des UV-Spektralbereichs mit demjenigen des relativen Wirkungsspektrums einer Hautschädigung, wofür im allgemeinen das der Hautrötung, des Erythems, gewählt wird. Im Ergebnis resultiert daraus eine wellenlängenabhängige erythemwirksame UV-Bestrahlungsstärke, die am Beispiel einer Modellrechnung (Freiburg/Brsg., 5. Juli, Gesamtozon 330 DU (Dobson Unit), wolkenloser Himmel) in Abb. 1 dargestellt ist.

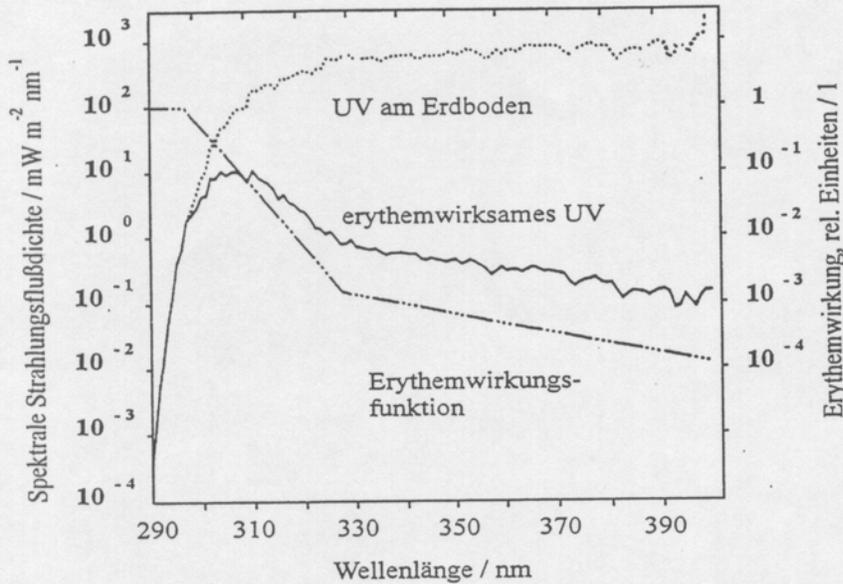


Abb. 1: Spektrale Verteilung der UV-Bestrahlungsstärke und ihre Erythemwirksamkeit (nach Staiger et al., 1997 a)

Eine Zuordnung der durch UV-Strahlung verursachten spezifischen Wirkung zu den entsprechenden Wellenlängenbereichen enthält Tab. 2.

Tab. 2: Spezifische Wirkungen der UV-Bereiche (VDI 3787, 1998; verändert)		
Typ	Wellenlängenbereich (λ in nm)	Spezifische Wirkung
UV - A	$315 < \lambda \leq 400$ (langwellige UV-Strahlung)	Sofortpigmentierung (Hautbräunung); wirksam bei Psoriasis (Schuppenflechte)
UV - B	$280 < \lambda \leq 315$ (mittelwellige UV-Strahlung)	Erythemwirkung (Sonnenbrand); sek. Pigmentierung; Lichtschwiele; Alterung der Haut; Hautkarzinom; Katarakt (grauer Star); Keratitis (Hornhauterkrankungen des Auges); antirachitische und bakterizide Wirkung
UV - C	$100 < \lambda \leq 280$ (kurzwellige UV-Strahlung)	Zellzerstörung; bakterizide Wirkung

Die erythemwirksame Bestrahlungsstärke E_{er} - bezogen auf eine horizontale Fläche - berechnet sich in der Fassung nach SSK (1993), gemäß Gl. 2, wie folgt:

$$E_{er} = \int_0^{\infty} E_{\lambda}(\lambda) \cdot s(\lambda)_{er,rel} \, d\lambda \quad / W \, m^{-2} \quad (Gl. 2)$$

$E_{\lambda}(\lambda)$ = Spektrale Bestrahlungsstärke
 $s(\lambda)_{er,rel}$ = relative spektrale Empfindlichkeit der Erythemwirkung für die UV-Erythemreaktion

Die Erythemdosis H_{er} wird durch Integration der Kurve der erythemwirksamen Bestrahlungsstärke E_{er} über die Zeit (t_1) nach Gl. 3 berechnet.

$$H_{er} = \int_0^{t_1} E_{er} \, dt \quad / J \, m^{-2} \quad (Gl. 3)$$

Diejenige sonnenbrandauslösende Bestrahlung, die nach achtstündiger Exposition gerade eine merkliche Hautrötung erzeugt, ohne einen Dauerschaden zu verursachen, stellt unter gesundheitlichen Vorsorgeaspekten eine wichtige Bewertungsgröße dar. Sie wird minimale Erythemdosis bzw. erythemwirksame Schwellenbestrahlung $H_{s,er}$ genannt und ist vom Pig-

mentierungsgrad und der Struktur der Haut abhängig. Je nach Sonnenbrandgefährdung (Hauttyp I, immer; Hauttyp IV, selten) beläuft sich diese auf 150 J m^{-2} bzw. $450\text{-}500 \text{ J m}^{-2}$. Für den verbreitetsten mitteleuropäischen nicht vorgebräunten Hauttypen (hellhäutiger Europäer, Hauttyp II) wurde sie ermittelt zu (Gl. 4)

$$H_{s,er} = 250 \text{ J m}^{-2}. \quad (\text{Gl. 4})$$

Um ein UV-induziertes Melanom bei dem letztgenannten Hauttypen entstehen zu lassen, wäre z. B. eine 400-fache minimale Erythemdosis ($H_{s,er} = 10^5 \text{ J m}^{-2}$) notwendig.

Eine wichtige Bezugsgröße zur Abschätzung einer UV-strahlungsbedingten Hautschädigung stellt diejenige Bestrahlungsdauer $t_{s,er}$ dar, nach der eine Schwellenreaktion an der Haut zu erwarten ist. Nach Gl. 5 wird sie aus dem Quotienten der Schwellenbestrahlung $H_{s,er}$ und der erythemwirksamen Bestrahlungsstärke E_{er} berechnet.

$$t_{s,er} = H_{s,er} / E_{er} \quad / \text{s} \quad (\text{Gl. 5})$$

Zur problemlosen Anwendung und zum besseren Verständnis auch für breite Bevölkerungsschichten wurde - vergleichbar der Beaufort-Skala zur Einschätzung der Windstärke - ein solarer UV-Index (UVI) eingeführt (ICNIRP, 1995), mit dessen Hilfe sich auch ein Laie vor übermäßigem Strahlungsgenuß schützen kann.

Durch Faktorenmultiplikation in Gl. 6 wird sichergestellt, daß der Wertebereich des UVI zwischen 0 (Minimum) und 12 (höchste Belastung, Tropen) liegt und die Einheit eins erhält.

$$\begin{aligned} \text{UVI} &= E_{er} \cdot 40 \quad / 1 && (\text{Gl. 6}) \\ E_{er} &= \text{erythemwirksame Bestrahlungsstärke} \quad / \text{W m}^{-2} \\ 40 &= \text{konstanter Faktor} \quad / \text{W}^{-1} \text{m}^2 \end{aligned}$$

Tab. 3 enthält entsprechende UVI-Werte für mitteleuropäische Bedingungen, Angaben über die Möglichkeit des Auftretens eines Sonnenbrands bei Überschreitung der Expositionszeiten sowie empfohlene Schutzmaßnahmen.

UV-Index	Belastung	Sonnenbrand möglich	Schutzmaßnahmen
≥ 8	sehr hoch	in weniger als 20 min.	unbedingt erforderlich
7-5	hoch	ab 20 min.	erforderlich
4-2	mittel	ab 30 min.	empfehlenswert
≤ 1	niedrig	unwahrscheinlich	nicht erforderlich

In Deutschland können an strahlungsreichen Sommertagen UVI-Werte von bis zu 8 erreicht werden. Der UV-Index wird vom Deutschen Wetterdienst über ein Regressionsmodell für das Gesamtazon - auf der Basis einer Korrelation zwischen Temperatur, dem Ozonpartialdruck für verschiedene Schichten sowie dem Gesamtzongehalt -, einer Berechnung des UV-Spektrums für wolkenlose Situationen und der anschließenden Faltung mit der Erythemwirkungskurve sowie einer Bewölkungskorrektur berechnet (Vogel et al., 1995 a, b). Über die tägliche Rountinewettervorhersage in den Medien wird seine Verbreitung - in zunehmendem Maße auch von privaten Anbietern - sichergestellt. Der Vorhersagezeitraum beträgt 48 Stunden und umfaßt flächendeckend das Gebiet zwischen 5° bis 15° E und 45° bis 55° N.

3. Thermische Bewertungsmöglichkeiten

Als homoiothermer Organismus ist der Mensch in der Lage, seine Körperkerntemperatur in engen Grenzen weitgehend unabhängig vom bestehenden thermischen Umgebungsmilieu auf einem relativ einheitlichen Temperaturniveau konstant zu halten. Allerdings können bei starker Behinderung der Wärmeabgabe ebenso wie bei übermäßigem Wärmeentzug die individuellen Behaglichkeitsgrenzen über- bzw. unterschritten werden. Bei Auftreten derartiger Fälle spricht man von thermischem Diskomfort. Zahlreiche epidemiologische Untersuchungen belegen - trotz adaptions- und habituellbedingter Unterschiede - den weltweit gesicherten Zusammenhang zwischen hohen Morbiditäts- sowie Mortalitätsraten und extremen thermischen Belastungen (z. B. Kalkstein, 1993; Bucher, 1992; Schumann, 1972). Verschiedene Kenngrößen, mit deren Hilfe die Wärmebelastung näherungsweise dargestellt und bewertend klassifiziert werden kann, existieren schon seit langer Zeit. Hierzu zählen, um nur einige bekannte, in der Vergangenheit häufig benutzte Maße, zu nennen,

- die Äquivalenttemperatur als Enthalpiemaß, berechnet auf der Basis von Lufttemperatur und Feuchtezuschlag, primär eingeführt zur Angabe der Atmungswärmeverluste des Körpers durch Linke (1926, 1938) mit 56 °C bzw. 49 °C als Schwülegrenze definiert,
- die Schwülegrenze nach Scharlau (1950) mit einem Dampfdruckgrenzwert von 14,08 mm Hg (= 18,8 hPa),
- die Schwülegrenze nach Havlik (1976) mit einer Taupunkttemperatur von 18,3 °C (entsprechend einem Dampfdruck von 15,8 mm Hg (=21,1 hPa),
- das Schwülemaß nach King (1955) als Summenindex der Abkühlungsgröße, der Äquivalenttemperatur und der atmosphärischen Gegenstrahlung,
- die Schwülegrenze nach Castens (1925) und Lancaster (1898); festgelegt durch die „LANCASTER-CASTENS-Kurve“,
- der Temperature-Humidity-Index (THI) (entsprechend „Discomfortindex“), dessen Grundlage die ‚effektive Temperatur‘ (nach Yaglou und Miller, 1925) darstellt und der für Freiluftbedingungen von Thom (1959) und Terjung (1966, 1968) weiterentwickelt wurde sowie
- die Abkühlungsgröße, die auf Hill (1915) zurückgeht und zunächst mit dem Katathermometer, später mit dem Frigorimeter bzw. dem Frigorigraphen gemessen bzw. aufgezeichnet wurde.

(Die genannten bibliographischen Angaben sind in Blüthgen und Weischet (1980) zitiert.)

Die Verwendung dieser Methoden zur Festlegung thermischer Behaglichkeitsstufen ist jedoch durch den grundsätzlichen Nachteil gekennzeichnet, daß ihre Eingangsgrößen überwiegend physikalischer Natur sind bzw. diese an physikalischen Körpern ermittelt werden.

Das bedeutet, daß thermophysiologisch wichtige Parameter wie die endogen produzierte Körperwärme in Abhängigkeit unterschiedlicher Aktivitätszustände, sich kurzfristig ändernde außenklimatische Verhältnisse und die Auswirkung von Bekleidung auf den Wärmehaushalt nicht bzw. in nicht ausreichendem Maße berücksichtigt werden. Auch werden zur Einteilung von unterschiedlichem thermischen Empfinden oft nur empirisch festgelegte Schwellenwerte verwendet.

Bei dem heutigen Stand der Computertechnik, der verfügbaren hohen Rechenkapazitäten und der Entwicklungsfähigkeit numerischer Modelle sollte auf die Verwendung der genannten früheren Methoden endgültig verzichtet und stattdessen auf thermische Indizes zurückgegriffen werden, die auf dem Wärmehaushalt des Menschen beruhen und damit die an den gleichermaßen notwendigen exogenen wie endogenen Eingangsgrößen zur Ermittlung des thermo-hygrischen Komforts ausgerichtet sind (Jendritzky, 1993). Darüber hinaus bieten sie den Vorteil, daß mit nur einer Kenngröße die gesamten thermischen Empfindungen bzw. thermophysiologischen Belastungsstufen von Menschen beschrieben werden können.

Grundlage hierfür ist die Energiebilanzgleichung des Menschen (Gl. 7), die in der auf Hoppe (1984) zurückgehenden, hier modifizierten Fassung, lautet:

$$M + W + Q^* + Q_{\text{H}} + Q_{\text{L}} + Q_{\text{sw}} + Q_{\text{Re}} + Q_{\text{N}} + Q_{\text{s}} = 0 \quad /W \text{ Körper}''' \quad (\text{Gl. 7})$$

M	=	Gesamtenergieumsatz
W	=	mechanische Leistung (Arbeitsleistung nach außen)
Q*	=	Strahlungsbilanz
Q _H	=	turbulenter Fluß fühlbarer Wärme
Q _L	=	turbulenter Fluß latenter Wärme infolge epidermaler Wasserdampfdiffusion ohne Schweißdrüsenbeteiligung (Perspiratio insensibilis)
Q _{SW}	=	turbulenter Fluß latenter Wärme durch Schweißverdunstung
Q _{Re}	=	Atemwärmefluß
Q _N	=	fühlbarer Wärmefluß durch Anpassung von Nahrung an die Körperkerntemperatur
Q _S	=	Speicherwärmefluß durch Veränderung der Körpertemperatur

Auf dieser Basis wurden verschiedene anwendungsorientierte Bewertungsmethoden entwickelt, die mittlerweile auch Bestandteil einer VDI-Richtlinie sind (VDI 3787, 1998). Weite Verbreitung hat in diesem Zusammenhang ein stationäres Wärmehaushaltsmodell gefunden, das auf eine Behaglichkeitsgleichung von Fanger (1982) zurückgeht, die dieser ursprünglich zur Beurteilung von Innenraumklimaten aufgestellt hat. Grundlage dieser Parametrisierung waren Klimakammerversuche an rund 1300 Personen, deren Wärmeempfinden der psychophysischen ASHRAE-Skala zugeordnet wurde. Mit Hilfe dieser Bewertungsgrößen kann das thermische Milieu angegeben werden, das von dem genannten Personenkreis im Mittel empfunden wurde. Es handelt sich hierbei um das sogenannte **Predicted Mean Vote (PMV)**, einem mittleren vorhergesagten Wert, der denjenigen Prozentsatz der Probandengruppe rangmäßig angibt, der sich bei Exposition der jeweiligen thermischen Bedingungen subjektiv unbehaglich fühlt. Die Berechnung des PMV stellt dabei eine Funktion der in Gl. 8 enthaltenen Größen dar. Die vollständige Behaglichkeitsgleichung enthält VDI 3787 (1998).

$$\text{PMV} = f(H/A_{\text{Du}}, I_{\text{cl}}, t_l, t_{\text{mrt}}, e, v_r) \quad (\text{Gl. 8})$$

H/A _{Du}	=	innere Wärmeproduktion bezogen auf die Oberfläche eines Einheitskörpers [W m ⁻²]
I _{cl}	=	Wärmeisolation der Bekleidung [clo] (1 clo = 0,155 K m ² W ⁻¹)
t _l	=	Lufttemperatur [°C]
t _{mrt}	=	mittlere Strahlungstemperatur [°C]
e	=	Wasserdampfdruck der Luft [hPa]
v _r	=	relative Windgeschwindigkeit [m s ⁻¹]

Wie Abb. 2 zu entnehmen ist, empfinden etwa 5 % der Personen bei einem PMV = 0 (thermische Behaglichkeit) Wärmediskomfort. Das beruht darauf, daß die subjektive, auf die genetische Varianz der Individuen zurückzuführende Reaktion innerhalb des untersuchten Probandenkollektivs eine gewisse Schwankungsbreite verursacht. Auch bei hohem PMV (kalt: -2, heiß: +2) fühlen sich nicht alle Personen - wie zu sehen ist - im Diskomfort, sondern jeweils nur 80 %. Es handelt sich hierbei mithin um einen gruppen- und nicht individuenbezogenen Wert.

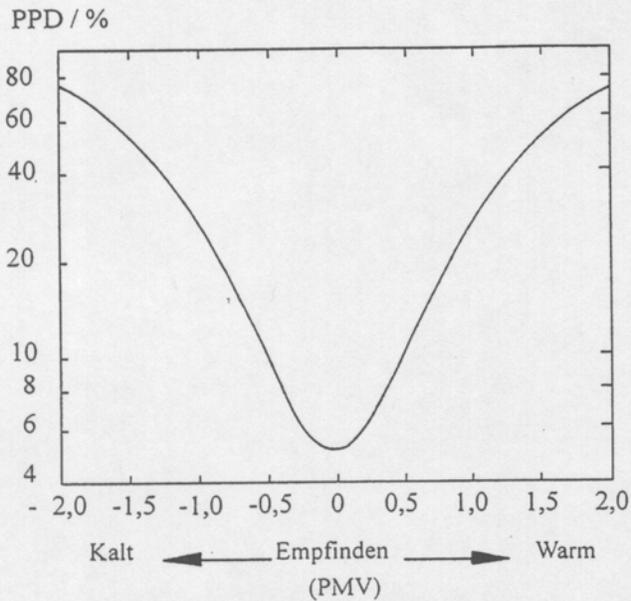


Abb. 2: Prozentsatz von Personen im thermischen Diskomfort als Funktion eines errechneten Empfindens (PMV = Predicted Mean Vote) auf einer psycho-physischen Skala (nach Fanger, 1982)

PPD = Prozent der Personen im Diskomfort

Um die Bewertungsgröße PMV auch auf außenklimatische Verhältnisse übertragen und als thermischen Referenzwert verwenden zu können, wurde die genannte Behaglichkeitsgleichung zum **Klima-Michel-Modell (KMM; Jendritzky et al., 1990)** erweitert, das - unter den in Tab. 4 genannten meteorologischen und geographischen Eingangsgrößen - insbesondere der Komplexität der Strahlungsbedingungen im Freien Rechnung trägt. Als körperbezogene Größen werden diejenigen einer normierten Person (deshalb Michel, männlich, Masse: 75 kg, Körperoberfläche: $1,9 \text{ m}^2$) verwendet. Ferner wurde die ursprünglich jeweils bis $\text{PMV} = 2,0$ reichende Skala auf $\text{PMV} = 4,0$ erhöht. Grundsätzlich ist dabei zu berücksichtigen, daß in der Human-Biometeorologie alle meteorologischen Größen zur Berechnung der thermischen Indizes bzw. der Flüsse in der Wärmehaushaltsgleichung auf die Höhe des mittleren Körperschwerpunktes des Menschen, nämlich auf $1,1 \text{ m}$ ü. Gr., bezogen werden. Der Einsatz des KMM hat den Vorteil, daß mit seiner Hilfe Flächenaussagen zum thermischen Wirkungskomplex möglich sind, die in der Stadt- und Regionalplanung bekanntermaßen eine wichtige Rolle spielen.

Tab. 4: Meteorologische und geographische Eingangsgrößen für das Klima-Michel-Modell (Jendritzky et al., 1990; verändert)

- | |
|---|
| - Lufttemperatur |
| - Wasserdampfdruck |
| - Windgeschwindigkeit |
| - Art der Bewölkung und Bedeckungsgrad des Himmels |
| - Atmosphärische Trübung |
| - Solarkonstante |
| - Ortskoordinaten |
| - Datum und Uhrzeit |
| - Raumwinkelanteile der Umschließungsflächen |
| - Albedo und Emissionsgrad der Umschließungsflächen |

Eine Weiterentwicklung zum KMM stellt das auf Höpfe (1984) zurückgehende **Münchener Energiebilanz-Modell für Individuen (MEMI)** dar. Hierbei handelt es sich zwar auch um ein stationäres Energiebilanzmodell, das aber im Gegensatz zum KMM eine vertiefte thermophysiological Berücksichtigung zuläßt, die sich in teilweise veränderten Ansätzen der in Gl. 7 enthaltenen Energieflüsse äußert. So können z. B. die für den Wärmetransport wichtigen

Schweißraten nach Alter und Geschlecht spezifiziert werden. Das MEMI basiert auf drei Grundgleichungen, nämlich der Energiebilanzgleichung des Körpers, der Gleichung für den Wärmefluß vom Körperkern zur Hautoberfläche sowie der Gleichung für den Wärmefluß von der Haut durch die Kleidung zur Kleidungsoberfläche. Durch Anwendung dieser Beziehungen sind Berechnungen der für die Lösung der Energiebilanzgleichung notwendigen, aber unbekannt GröÙen, wie der mittleren Hauttemperatur, der Kleidungstemperatur und der Körperkerntemperatur, möglich. Hoppe und Mayer (1987) haben vor dem Hintergrund der Tatsache, daß es insbesondere bei meteorologisch nicht vorgebildeten Anwendern aus der Planungspraxis bei der potentiellen Anwendung, Darstellung und späteren Vermittlung von abstrakten GröÙen, wie dem PMV, zu Verständnisschwierigkeiten kommen kann, die mit der Maßeinheit „Grad Celsius“ versehene und deshalb für einen Nichtfachmann leichter nachvollziehbare GröÙe „Physiologisch Äquivalente Temperatur“ (engl. Physiological Equivalent Temperature, **PET**) eingeführt. Diese Bewertungsziffer, die auf Gagge (1980) aufbaut, ist folgendermaßen definiert (Hoppe und Mayer a. a. O, S. 23): „Das aktuelle Umgebungsklima (wird) in ein vergleichbares Raumklima transferiert, in dem die gleiche thermophysiological Belastung auftritt. Das entsprechende Raumklima wird dabei durch geringe Luftgeschwindigkeit (0,1 m s⁻¹), durch einen Wasserdampfdruck von 12 hPa, d. h. einer relativen Luftfeuchtigkeit von 50 % bei einer Lufttemperatur von 20 °C, und die Annahme bestimmt, daß Lufttemperatur und mittlere Strahlungstemperatur immer identisch sind. PET entspricht nun gerade der Raumlufttemperatur (der mittleren Strahlungstemperatur), bei der die Energiebilanz eines Menschen im Raum mit den gleichen mittleren Hauttemperaturen und Schweißraten wie im zu bewertenden Außenklima ausgeglichen ist. Als Aktivität im Raumklima wird leichte sitzende Tätigkeit' (Arbeitsumsatz 80 W) und als Wärmedurchgangswiderstand der Kleidung ein Wert von 0,9 clo (= Bekleidungseinheiten; d. Verf.) angenommen.“

Diejenige GröÙe, die unter außerklimatischen Bedingungen - niedrige Windgeschwindigkeiten vorausgesetzt - auf den thermischen Komfort den ausschlaggebenden Einfluß hat, ist die mittlere Strahlungstemperatur (T_s) der Umgebung. Sowohl PMV als auch PET weisen diesen relativ engen Zusammenhang auf. Exemplarisch wird dieser für PET in Abb. 3 dargestellt.

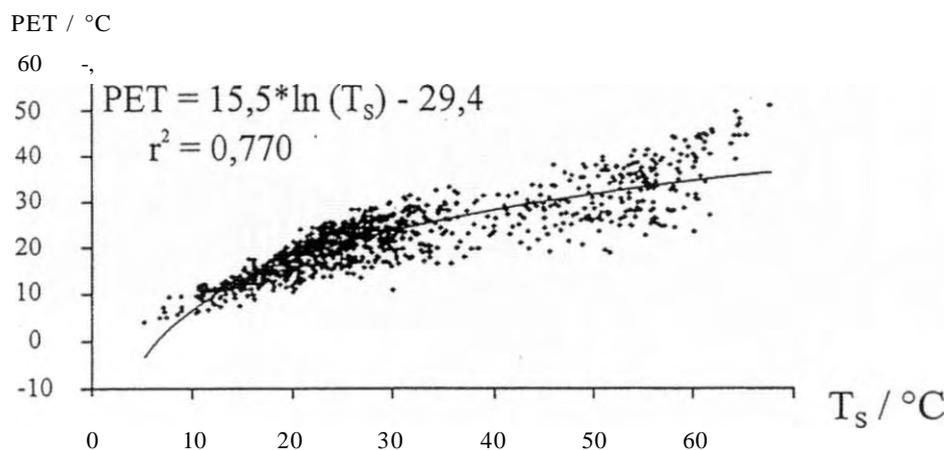


Abb. 3: Zusammenhang zwischen der Physiologisch Äquivalenten Temperatur (PET) und der mittleren Strahlungstemperatur (T_s) in 1,1 m ü. Gr. für Sommer und Übergangsjahreszeiten (Juli 1989 - September 1990) auf der Basis des KLIWUS-Projektes in München (nach Mayer und Matzarakis, 1998)

Eine Zuordnung von PMV-, PET- und den weiter unten näher erläuterten pt-Schwellenwerten zu dem entsprechenden thermischen Empfinden und der daraus abgeleiteten physiologischen Belastung enthält - unter jeweiliger Berücksichtigung der kennzifferspezifischen Definitionen und EingangsgröÙen - Tab. 5.

Tab. 5: Zuordnung von PMV-, PET- und pt-Schwellenwerten zu gleichem thermischen Empfinden und entsprechender physiologischer Belastungsstufe¹⁾ (kombiniert nach Mayer und Matzarakis, 1998; Staiger et al., 1997 b)

PMV	PET	pt	thermisches Empfinden	physiologische Belastungsstufe
-3,5	4 °C	-39 °C	sehr kalt	extreme Kältebelastung
-2,5	8 °C	-26 °C	kalt	starke Kältebelastung
-1,5	13 °C	-13 °C	kühl	mäßige Kältebelastung
-0,5	18 °C	0 °C	leicht kühl	schwache Kältebelastung
± 0	20 °C	20 °C	<i>behaglich</i>	<i>keine Wärmebelastung</i>
0,5	23 °C	26 °C	leicht warm	schwache Wärmebelastung
1,5	29 °C	32 °C	warm	mäßige Wärmebelastung
2,5	35 °C	38 °C	heiß	starke Wärmebelastung
3,5	41 °C		sehr heiß	extreme Wärmebelastung

¹⁾ Die Festlegung der Schwellenwerte erfolgte jeweils auf Basis der unterschiedlichen Definitionen der Eingangsgrößen; siehe hierzu Text.

PMV und MEMI sind hinsichtlich ihrer Modellparameter auf Stationarität ausgelegt, d. h. auf eine zeitliche und räumliche Unveränderlichkeit der vorgegebenen körper-, kleidungs- und klimabezogenen Parameter. Die Anwendung dieser Bewertungsmodelle auf einen sich z. B. in einem Stadtgebiet bewegendem Menschen, der wegen der großen Heterogenität der Flächennutzungstypen innerhalb kurzer Zeit verschiedenen Mikroklimaten - vor allem durch unterschiedliche Besonnungsverhältnisse - ausgesetzt ist, kann zu Fehleinschätzungen bezüglich der realen Verhältnisse führen. Abhilfe schafft in derartigen Fällen der Einsatz eines instationären Modells, wie es z. B. durch das von Höpfe (1984) entwickelte **IMEM** (**I**nstationäres **M**ünchener **E**nergiebilanz**m**odell) gewährleistet wird. Dieses Modell beruht auf einer Weiterentwicklung von MEMI. Als zusätzliche Größe wird hierbei der Wärmetransport zwischen Körperkern und Körperschale über die zeitliche Veränderung der mittleren Hauttemperatur sowie des Hautbenetzungsgrades berücksichtigt. Ein exemplarischer Vergleich zwischen den mit MEMI und IMEM ermittelten Werten (Höpfe, 1985) zeigt, daß sich mit IMEM insbesondere bezüglich der Höhe des für die Wärmebelastung wichtigen Hautbenetzungsgrades realitätsbezogenere Angaben erzielen lassen.

Ein weiteres thermisches Behaglichkeitsmaß stellt die **gefühlte Temperatur** (engl. **perceived temperature**, **pt**) dar, die aus dem KMM berechnet wird. Die Einführung der gefühlten Temperatur beruht auf dem gleichen Grund wie dem der PET, bei der im Gegensatz zur Verwendung des weniger anschaulichen PMV die Zahlenwertangaben in der der Öffentlichkeit leichter zugänglichen Maßeinheit „Grad Celsius“ erfolgen. Die gefühlte Temperatur entspricht definitionsgemäß einer Standardumgebung mit dem gleichen PMV wie demjenigen der aktuellen Umgebungsbedingungen, und zwar auf der Grundlage folgender Eingangsgrößen (Staiger et al., 1997 a):

- | | | |
|-----------|---|--|
| Umgebung: | - | abschattender dichter Wald ohne direkte Sonnenbestrahlung |
| | - | mittlere Strahlungstemperatur entspricht Umgebungstemperatur |
| | - | reduzierte Windgeschwindigkeit („leichter Zug“) |
| | - | Wasserdampfdruck richtet sich nach dem aktuellen Wert |
| Person: | - | 35 Jahre alt; 1,75 m groß, 75 kg schwer |

Arbeitsleistung 172,5 W (= Gehen mit
4 km h⁻¹)
Bekleidungsvariation je nach äußeren
Bedingungen 0,5 bis 1,75 clo

Die gefühlte Temperatur simuliert somit Außenraumbedingungen mit sich den aktuellen Verhältnissen anpassenden, d. h. variierenden Wasserdampfdrücken und entsprechenden Isolationswerten der Bekleidung, um den permanenten thermischen Komfort einer spazierende Standardperson gewährleisten.

PET hingegen bezieht die außenklimatischen Verhältnisse auf ein Innenaumklima bei vorgegebenem Dampfdruck und nicht verändernden Isolationswerten der Bekleidung einer sitzenden Standardperson, die einer leichten Bürotätigkeit nachgeht. Die gefühlte Temperatur wird in der Vorhersageroutine des DWD eingesetzt; sie ist jedoch nicht Bestandteil der VDI-Richtlinie 3787 (1998).

4. Lufthygienische Bewertungsmöglichkeiten

Unter dem lufthygienischen Wirkungskomplex wird hier der Einfluß der in der Atmosphäre enthaltenen festen, flüssigen und gasförmigen Luftbeimengungen auf die menschliche Gesundheit verstanden. Heutzutage wird die städtische bodennahe Luftqualität in erster Linie durch Kfz-bedingte Immissionen, und zwar CO, NO, NO₂, VOC, Ruß und Staub, beeinträchtigt (Kuttler, 1998). Niedrig gelegene effektive Quellhöhen und ein meist engmaschiges Straßennetz, das unterschiedlich große durchschnittliche tägliche Verkehrsmengen aufweist, lassen spurenstoffspezifisch und flächennutzungsabhängig ein außerordentlich heterogenes Muster der Immissionsverteilung auf kleinem Raum entstehen (Kuttler und Straßburger, 1997). Die sich letztlich einstellenden Konzentrationen sind dabei als Wirkgrößen abhängig vom Emissionsmassenstrom und dem Dilutionspotential der bodennahen Atmosphäre. Unter den genannten Spurenstoffen spielt das als sekundäre Luftverunreinigung bekannte Ozon als Leitkomponente des sogenannten Sommersmogs eine herausragende Rolle. Zusammen mit anderen Photooxidantien (z. B. PAN, Aldehyde) entsteht es während sonnenscheinreicher windarmer Wetterlagen aus verschiedenen Vorläufergasen (z. B. VOC, NO_x und CO Kuttler und Zmarsly, 1995).

Die Wirkungen von Luftverunreinigungen auf den Menschen sind von der Dosis der Einzelkomponenten bzw. von deren Kombinationswirkungen abhängig. Letztere sind insbesondere für SO₂ und Schwebstaub, deren Konzentrationen oberhalb bestimmter Schwellenwerte zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen führen können, eindeutig nachgewiesen. Partikel, insbesondere Rußteilchen, können Transportfunktionen für andere Luftinhaltsstoffe übernehmen und bei geringer Größe und hoher Adsorptionsfähigkeit zu Lungenschäden führen. Hohe CO-Konzentrationen vermindern den Blutsauerstofftransport und starke Ozonbelastung kann zur Beeinträchtigung der Lungenfunktion führen (Mücke, 1992; Hoppe, 1997). Die gesundheitliche Bewertung der Wirkung einzelner Spurenstoffe auf den Menschen ist weitgehend in verschiedenen Regelwerken festgelegt (Zusammenstellung in Kuttler, 1997).

Die zur Verfügung stehenden lufthygienischen Bewertungskriterien (Tab. 6) weisen allerdings in Hinblick auf ihre immissionsökologische Anwendung für den städtischen Bereich verschiedene Mängel auf, die mit Mayer (1990) wie folgt zusammengefaßt werden können:

Nicht für alle Spurenstoffe existieren Grenzwerte. IW1- und IW2-Werte der TA Luft besitzen zwar als Grenzwerte Verbindlichkeit, aber ihr Anlagenbezug wirft Probleme bei stadtklimatologischen Planungsfragen auf. Ferner wird die Kombinationswirkung von Spurenstoffen nur selten mit einbezogen (Ausnahme: Luftbelastungsindex, der diese zumindest teilweise berücksichtigt). Auch sind z. B. die Smog-Warnkriterien für Planungszwecke eher abzulehnen, da sie vorrangig zur Abwehr eines akuten Gefahrenzustandes dienen. Ferner ist es von Nachteil, daß sich die meisten der genannten Bewertungskriterien grundsätzlich auf die Durchschnittsbevölkerung beziehen und gesundheitlich eher labile Gruppen (Kleinkinder, alte Menschen) nicht berücksichtigt werden. Schließlich tragen diese Kennziffern auch kaum der hohen Mobilität der Stadtbewohner Rechnung.

Tab. 6: Lufthygienische Bewertungskriterien

- BImSchG
- IW1 - Werte (Langzeitgrenzwerte) aus TA-Luft (1993)
- IW2 - Werte (Kurzzeitgrenzwerte) aus TA-Luft (1993)
- MIK-Werte (Maximale Immissionskonzentration) VDI-Richtlinie 2310 (1974)
- Smog-Verordnung (Wintersmog)
- Sommersmog-Gesetz
- LBI (Luftbelastungsindex) für Langzeit-, Kurzzeit- und Tagesbelastungen
- Luftqualitätsstandards (Kühling, 1986)
- Luftqualitätsleitlinien der WHO (1987)
- Luftqualität in Kurorten (Deutscher Bäderverband, 1991)

Es wurde bereits darauf hingewiesen, daß die summarische Bewertung städtischer Luftverunreinigungen eine wichtige Rolle bei planerischen Entscheidungsprozessen spielt. Die Gesamtbeurteilung der Luftqualität läßt sich durch die Berechnung von Luftbelastungsindizes, die ausgewählte Leitsubstanzen berücksichtigen, vornehmen.

Vielfache Anwendung in der planerischen Praxis findet der die Spurenstoffe SO₂, NO₂ und Schwebstaub (SST) integrierende Luftbelastungsindex (**LBI**), der für die mittlere Belastung (= arithmetischer Jahresmittelwert, I1) als LBI₁ (Gl. 9) und für die Kurzzeitbelastung (= 98 %-Wert der Summenhäufigkeitswerte, I2) als LBI₂ angegeben und nach Gl. 10 berechnet wird.

$$LBI_1 = \frac{1}{3} \left[\frac{I1 \text{ SO}_2}{50} + \frac{I1 \text{ NO}_2}{50} + \frac{I1 \text{ SST}}{50} \right] \quad \text{Gl. 9}$$

$$LBI_2 = \frac{1}{3} \left[\frac{I2 \text{ SO}_2}{125} + \frac{I2 \text{ NO}_2}{135} + \frac{I2 \text{ SST}}{120} \right] \quad \text{Gl. 10}$$

Bezugswerte im Nenner von Gl. 9 sind Leitwerte der WHO bzw. der EU. Da jedoch beide Institutionen keine 98 %- Werte dieser Komponenten nennen, entsprechen diesen in LBI₂ den 24 h-Werten. Eine Klassifizierung der LBI-Werte und eine Zuordnung zu den jeweiligen Belastungsstufen enthält Tab. 7.

Tab. 7: Abstufung der Luftbelastungsindexwerte (LBI) (Baumüller und Reuter, 1995)

Stufe I:	gering belastet (LBI < 0,5)
Stufe II:	mäßig belastet (LBI 0,5 - 1,0)
Überschreitet eine Schadstoffkomponente den Leitwert, gilt unabhängig vom konkreten Wert des LBI:	
Stufe III:	stark belastet; mindestens eine Komponente überschreitet den Leitwert
Überschreitet eine der drei Schadstoffkomponenten sogar den TA Luft-Wert, gilt unabhängig vom konkreten Wert des LBI:	
Stufe IV:	extrem belastet; mindestens eine Komponente überschreitet den TA Luft-Grenzwert

Die genannten Spurenstoffe werden im allgemeinen an den Luftüberwachungsstationen des Bundes und der Länder erfaßt. Bei ausreichender Stationsdichte ist es somit möglich, flächenbezogene Verteilungen über die Luftqualität vorzunehmen (Reuter et al., 1991). Liegen darüber hinaus für einzelne Meßstationen langjährige Zeitreihen vor, so läßt sich auch die Entwicklung der Luftqualität über mehrere Jahre darstellen (Mayer, 1996).

Den LBI-Werten können Flächen unterschiedlicher sensibler Nutzung zugeordnet werden. So ist zu empfehlen, Wohn- und Freizeitbereiche ausschließlich in den Gebieten der Bewertungsstufen I und II auszuweisen. Industrie- und Gewerbeflächen, in denen hinsichtlich der Luftqualität weniger Rücksicht genommen werden muß, können z. B. den Stufen III und IV vorbehalten sein.

Vergleichbar den LBI-Werten haben Freyer et al. (1996) einen Gefährdungsindex (GI) vorgeschlagen, für dessen Berechnung die 0,5 h-Mittelwerte der Schadstoffe SO₂, NO, NO₂, CO, O₃, SST sowie eine kritische Kohlenwasserstoffkonzentration (C_mH_n) von 5 mg m⁻³ zugrundegelegt und diese auf die jeweiligen 0,5 h-MIK-Werte bzw. auf den definierten Gefahrenwert der C_mH_n bezogen werden. Der Gefährdungsindex unter Verwendung der 0,5 h-MIK-Werte nach VDI 2310 (1974) und des definierten kritischen C_mH_n-Wertes berechnet sich nach Gl. 11.

$$GI = \frac{M_{SO_2}}{1.000} + \frac{M_{O_3}}{120} + \frac{M_{CO}}{50.000} + \frac{M_{NO}}{1.000} + \frac{M_{NO_2}}{200} + \frac{M_{SST}}{450} + \frac{M_{C_mH_n}}{5.000} \quad /\mu\text{g m}^{-3} \quad \text{Gl. 11}$$

wobei M_x = Mittelwert der Komponente x ist.

Bei einem GI-Wert > 5,2 ist von sehr starker Gefährdung (und/oder > 2 MIK-Werte), bei Werten zwischen 3,5 und 5,2 von starker Gefährdung (und/oder 1 MIK-Wert), bei 1,8 bis 3,4 von mäßiger Gefährdung und bei GI-Werten < 1,8 von keiner Gefährdung auszugehen. Die kritische C_mH_n-Konzentration von 5 mg m⁻³ wurde gewählt, da sich bei Untersuchungen in Leipzig, wo der GI bereits angewandt wurde, zeigte, daß hierbei immer Benzolkonzentrationen von > 15 µg m⁻³ (= max. Konzentrationswert für Benzol nach 23. BImSchV) auftraten.

5. Olfaktorische Bewertungsmöglichkeiten

Zu denjenigen Faktoren, die die lufthygienische Qualität der städtischen Lebensumwelt gelegentlich mitbestimmen, zählt das Auftreten von Gerüchen. Unter Geruch versteht man eine spezifische Substanz in der Atmosphäre, die den vorherrschenden meteorologischen Ausbreitungsbedingungen unterliegt und durch den menschlichen Geruchssinn perzipiert wird. Geruchsemissionen entstammen z. B. der Nahrungs-, Genußmittel-, Kunststoff- und Textilindustrie, der Intensivtierhaltung, Tierkörperverwertungsanstalten, Entsorgungsanlagen zur Schlammkonditionierung und Kompostierung, Lackierbetrieben sowie chemischen Reinigungen (Baumbach, 1994).

Die Wirkungen durch Gerüche auf den Menschen lassen sich nach ihrer Qualität, Intensität, der Dauer und Häufigkeit sowie nach ihrem hedonischen Auftreten unterscheiden. Gerüche werden in der Regel durch ein Gemisch gasförmiger Substanzen verursacht, die in den meisten Fällen aufgrund geringer Konzentrationen nur selten einzelnen chemischen Verbindungen zuzuordnen sind, die meßtechnisch nachgewiesen werden können. Als alleiniges olfaktometrisches Verfahren kommt für Geruchsnachweise - jedenfalls bis zur endgültigen Etablierung der Nanotechnologie auf diesem Gebiet - die menschliche Nase in Betracht. Unabhängig davon ist im Hinblick auf die Ausschaltung systematischer Fehler eine hohe Reproduzierbarkeit des Verfahrens sowie aus Gründen des Gleichbehandlungsprinzips eine größtmögliche Objektivität in bezug auf die Ermittlung und Bewertung von Gerüchen sicherzu-

stellen. Eine besondere Rolle fällt in diesem Zusammenhang dem Nachweis jener Schwellenkonzentration zu, die gerade noch eine merkliche Geruchsempfindung verursacht. Bei der Geruchsschwelle handelt es sich um diejenige Konzentration, bei der nach VDI 3881 (1986, S. 8 ff.) „ein Riecher in 50 % aller Darbietungen eine Geruchsempfindung mitteilt. Für mehrere Riecher gilt entsprechend, daß 50 % dieser Stichprobe eine Geruchsempfindung angibt“.

Geruchsschwellen werden mit Hilfe eines Olfaktometers durch empfindliche Riecher als Probanden bestimmt. Unter einer Geruchseinheit (GE) versteht man diejenige Menge (Teilchenzahl) an Geruchsträgern, die in 1 m^3 Neutralluft entsprechend der Definition der Geruchsschwelle gerade eine Geruchsempfindung auslöst (1 GE m^{-3}).

Der Geruchspegel (P_G), d. h. die Intensität eines auftretenden Geruches kann nach Gl. 12 berechnet werden. Der Geruchspegel entspricht dabei dem logarithmischen Zusammenhang, der nach dem Weber-Fechnerschen Gesetz der Reiz-Wirkungs-Beziehung zugrundeliegt (Paduch et al., 1995).

$$P_G = k_w \cdot 10 \lg \left(\frac{C}{C_0} \right) \quad / \text{ dB}_G \quad \text{Gl. 12}$$

k_w = Weber-Fechner-Koeffizient (charakteristischer Übertragungsfaktor zwischen Reiz und Wirkung)

C = Größe des aktuell auf den Geruchssinn einwirkenden Reizes

C_0 = Geruchsstoffkonzentration an der Geruchsschwelle
(= 1 GE m^{-3})

Mit Hilfe der Bestimmung des Geruchspegels können Angaben über den Belästigungsgrad gemacht werden. Abb. 4 zeigt schematisch den logarithmischen Zusammenhang zwischen der jeweiligen Geruchsstoffkonzentration und der entsprechenden Geruchsempfindung, die auf der Einschätzung der Probanden beruht. Die Steigung der Geraden wird durch den Weber-Fechner-Koeffizient (k_w) bestimmt und verhält sich geruchsstoffspezifisch.

Geruchsempfindung

Extrem stark

Sehr stark

Stark

Deutlich

Schwach

Sehr schwach

Kein Geruch

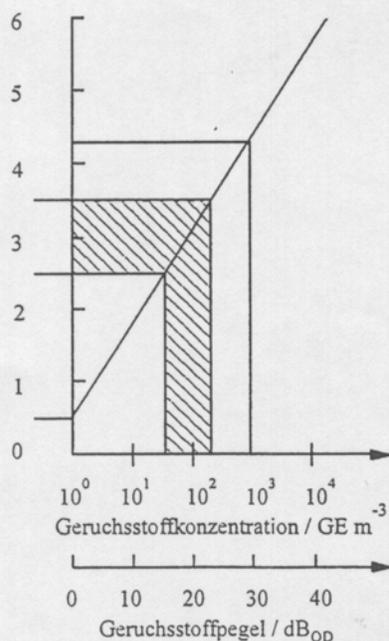


Abb. 4: Zusammenhang zwischen der Geruchsempfindung und der Geruchsstoffkonzentration an einem fiktiven Beispiel (nach Paduch et al., 1995)

Wird eine Geruchsbelästigung z. B. durch Begehung entsprechend ausgebildeter Probanden auf der Grundlage von VDI 3940 (1993) festgestellt, muß bestimmt werden, ob Grenzwerte überschritten wurden. Grundsätzlich wird von einer Belästigung dann ausgegangen, wenn für 10 % bis 15 % der Jahresstunden Gerüche nachgewiesen wurden.

Als repräsentativ für eine Geruchsstunde gilt jeweils ein Zeitraum von 10 minütiger Dauer, innerhalb dessen ein Geruchsstoffnachweis durch einen Probanden erfolgt ist.

Soll eine Zusatzbelastung in ihrer räumlichen Ausbreitung ermittelt werden, besteht die Möglichkeit, hierzu ein numerisches bzw. physikalisches Modell anzuwenden. Dabei muß jedoch berücksichtigt werden, daß sich bei der Ausbreitung von Geruchsstoffemissionen im Vergleich zu derjenigen anderer Luftverunreinigungen einige Besonderheiten ergeben. So,

handelt es sich bei einer Geruchsstofffreisetzung meist um geringe Quellstärken, tritt die Geruchsquelle überwiegend diffus in Erscheinung und kann in ihrer Intensität in starkem Maße von der vorherrschenden Witterung abhängen, sind für Geruchsbelästigungen neben den mittleren Konzentrationen im wesentlichen das Auftreten von Spitzenwerten mit der Überschreitung bestimmter Schwellen sowie die Häufigkeit der Wahrnehmungsereignisse von Interesse.

Auf methodische Probleme, die im Zusammenhang mit der Modellierung von Geruchsstoffausbreitungsvorgängen im Grenzschichtwindkanal auftreten, gehen z. B. von Leitl und Schatzmann (1998) ein; anwendungsbezogene Ergebnisse diskutiert Kost (1993). Die Behandlung durch numerische Modellsimulation erfolgt erschöpfend in VDI 3788 (1998).

6. Schluß

Die vorgenannten Bewertungsmöglichkeiten können für planerische Abwägungsprozesse wichtige Rahmendaten bereitstellen und als Orientierungshilfe dienen, um negative stadtklimatische Sachverhalte positiv zu beeinflussen. Derartige Eingriffe können sowohl einzelobjekt- als auch flächenbezogen erfolgen.

Entsprechende, auch gesetzlich geregelte Vorgaben, die eine auf Nachhaltigkeit ausgerichtete städtebauliche Entwicklung gewährleisten sollen, sind z. B. den Vorschriften des Städtebaurechts, insbesondere denjenigen der Bauleitplanung (BauGB) sowie der Baunutzungsverordnung zu entnehmen.

Anwendungsbezogene Fallbeispiele aus dem Bereich „Klima und Lufthygiene“ enthält u. a. das „Handbuch zur Stadt- und Regionalplanung“ (Schirmer et al., 1993), wo eine ausführliche, die einzelnen Planungsebenen jeweils berücksichtigende Behandlung in exemplarischer Weise erfolgt.

Danksagung

Herrn Prof. Dr. Helmut Mayer, Meteorologisches Institut der Universität Freiburg/Brsg., sei für konstruktive Kritik bei der Abfassung dieses Beitrages recht herzlich gedankt.

Literaturverzeichnis

- Ambach, W., Blumthaler, M., 1993: Biological effectiveness of solar UV radiation in humans, *Experientia*, 49, 9, 747-753.
- Baugesetzbuch (BauGB) in der Bekanntmachung der Neufassung vom 27. August 1997 (BGBl, I S. 2141).
- Baumbach, G., 1994: Luftreinhaltung. 3. Auflage, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg.
- Baumüller, J., Reuter, U., 1995: Die summarische Bewertung von Luftschadstoffen durch einen Luftbelastungsindex. *Staub - Reinhaltung der Luft*, 55, 137-141.
- Baunutzungsverordnung (BauNVO), 1990: Verordnung über die bauliche Nutzung der Grundstücke.
- Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG), 1990: Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge.
- Blüthgen, I, Weischet, W., 1980: Allgemeine Klimageographie. Walter de Gruyter, Berlin, New York.
- Bottema, M., 1993: Wind climate and urban geometry. *Diss. Techn. Univ. Eindhoven*.
- Bucher, K., 1992: Die Bedeutung des thermischen Wirkungskomplexes im Wirkungsakkord des Wetters am Beispiel von Todesfällen im Herz-Kreislaufbereich. *Annalen der Meteorologie*, 28, 121-124.
- Deutscher Bäderverband, 1991: Begriffsbestimmungen für Kurorte, Erholungsorte und Heilbrunnen, 10. Aufl., Bonn.
- Fanger, P. O., 1982: Thermal comfort. Analysis and application in environment engineering. Robert E. Krieger Publishing Company, Malabar, Florida.
- Freyer, K., Müller, U., Popp, P., Treutler, H.-Ch., Schumann, G., 1996: Untersuchungen zu Stadtklima und ausgewählten Luftschadstoffen unter Berücksichtigung der Flächennutzung am Beispiel der Stadtregion Leipzig.- In: Breuste, J. (Hrsg.): *Stadtökologie und Stadtentwicklung: Das Beispiel Leipzig*, Analytica-Verlag, Berlin, 135-162.
- Gagge, A. P., 1980: The new effective temperature. ET* - an index of human adaptation to warm environments.- In: *Environmental Physiology: Acclimation, heat and altitude*, 59-77.
- Hoppe, P., 1984: Die Energiebilanz des Menschen. *Münchener Universitätschriften, Meteorol. Inst., Wiss. Mitt.* 49.
- Hoppe, P., 1985: Anwendungsmöglichkeiten eines instationären Energiebilanzmodells zur Bewertung der thermischen Behaglichkeit. *Annalen der Meteorologie*, 22, 17-18.
- Hoppe, P., Mayer, H., 1987: Planungsrelevante Bewertung der thermischen Komponente des Stadtklimas, *Landschaft und Stadt*, 19, 22-29.
- Hoppe, P., 1997: Ozonwirkungen auf den Menschen - Stand der Wissenschaft, *Annalen der Meteorologie*, 33, 92-99.
- ICNIRP, 1995: Global solar UV-index. A Joint recommendation of WHO, WMO, UNEP and the ICNIRP. Int. Comm. of Nonionizing Radiation Protection, ICNIRP-1/95, Oberschleisheim.
- Jendritzky, G., 1990: Bioklimatische Bewertungsgrundlage der Räume am Beispiel von mesoskaligen Bioklimakarten.- In: Jendritzky, G., Menz, G., Schmidt-Keesen, W., Schirmer, H., 1990: Methodik zur räumlichen Bewertung der thermischen Komponente im Bioklima des Menschen. *Beiträge der Akademie für Raumforschung und Landesplanung*, 114, Hannover, 7-69.
- Jendritzky, G., 1993: The atmospheric environment. *Experientia*, 49, 733-740.
- Kalkstein, L. S., 1993: Health and Climate Change. Direct impacts in cities. *The Lancet*, 342, Dec. 4, 1397-1399.
- Kost, W. J., 1993: Kap. 3.2.3 Siedlungen. 3.2.3.1 Die Berücksichtigung von Gemehsirnmissionen im Flächennutzungsplan einer Gemeinde.- In: Schirmer, H. et al., 1993: *Lufthygiene und Klima. Ein Handbuch zur Stadt- und Regionalplanung*. 165-176.
- Kuttler, W., Straßburger, A., 1997: Analyse Kfz-relevanter Immissionen in innerstädtischen Verkehrs- und Grünflächen. *Schriftenreihe Nr. 131 der Forschungsvereinigung Automobiltechnik (FAT) e. V.*, 152 S.
- Kuttler, W., 1997: Bewertungsmaßstäbe für Stadtklima und Lufthygiene, *Geographische Rundschau*, 49, 576-582.
- Kuttler, W., 1998: Stadtklima.- In: Sukopp, H. und Wittig, R. (Hrsg.): *Stadtökologie*, 2. Aufl., Gustav Fischer Verlag Stuttgart, Jena, New York, 125-167.
- Kuttler, W., Zmarsly, E., 1995: Sommersmog - Zur Problematik aus naturwissenschaftlicher Sicht, *Zeitschrift für Angewandte Umweltforschung*, 8, 153-159.
- Kühling, 1986: Planungsrichtwerte für die Luftqualität. *Schriftenreihe Landes- und Entwicklungsforschung des Landes Nordrhein-Westfalen (ILS)*, Band 4.045, Dortmund.
- Leitl, B., Schatzmann, M., 1998: Physikalische Modellierung von Geruchsausbreitungsvorgängen in Grenzschichtwindkanälen. *VDI Berichte 1373, Gerüche in der Umwelt-, Innenraum- und Außenluft: Tagung, Bad Kissingen, 4.-6. März 1998, KRdL im VDI und DIN, VDI-Verlag, Düsseldorf*.
- Mayer, H., 1990: Human-biometeorologische Bewertung des Stadtklimas. *Umweltmeteorologie*, 15, Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN, Düsseldorf, 87-104.
- Mayer, H., 1996: Human-biometeorologische Probleme des Stadtklimas. *Geowissenschaften*, 14, 233-239.

- Mayer, H., Matzarakis, A, 1998: Human-biometeorological assessment of urban microclimates' thermal component, Proceedings of the Second Japanese-German Meeting „Klimaanalyse für die Stadtplanung“, Juli 1998, Kobe, *RzfOrt-Ni* 1, ASr*-4M,
- Mücke, H. G., 1992: Gesundheitliche Auswirkungen von Ozon-Photosmog-Situationen. Eine humanökologisch-umweltepidemiologische Felduntersuchung 1989 in Düsseldorf. *Diss. am FB 9, Univ. Essen.*
- Paduch, M., Roth, R., Frechen, F.-B., Hangartner, M., Medrow, W., Plattig, P. H., Winneke, G., 1995: Charakterisierung von Geruchsbelästigung, Teil 1: Beschreibung der Geruchsparameter, *Staub - Reinhaltung der Luft*, 55, 41-44.
- Reuter, U., Baumüller, J., Hoffmann, U., 1991: Klima und Luft als Planungsfaktor im Umweltschutz, Expert-Verlag, Ehningen.
- Schinner, H., Kuttler, W., Löbel, J., Weber, K. (Hrsg.), 1993: Lufthygiene und Klima. Ein Handbuch zur Stadt- und Regionalplanung. VDI-Verlag, Düsseldorf.
- Schumann, S. H., 1972: Patterns of urban heat-wave deaths and implications for prevention: Data from New York and St. Louis during July, 1966, *Environmental Research*, 5, 59-75.
- Staiger, H., Bucher, K., Jendritzky, G., 1997a: Gefühlte Temperatur. Die physiologisch gerechte Bewertung von Wärmebelastung und Kältestreß beim Aufenthalt im Freien mit der Maßzahl °C. *Annalen der Meteorologie*, 33, 100-107.
- Staiger, H., Schubert, U., Vogel, G., 1997b: Solarer UV-Index. Definition, Einflußgrößen, Verteilung, Vorhersage im Deutschen Wetterdienst und strahlenhygienische Ziele. *Annalen der Meteorologie*, 33, 126-132.
- Strahlenschutzkommission (SSK): Einführung eines internationalen solaren UV-Index. Stellungnahme der Strahlenschutzkommission vom 8. Dez. 1995 sowie Fassung von 1993.
- TA Lärm, 1968: Allgemeine Verwaltungsvorschrift über genehmigungsbedürftige Anlagen nach § 16 der Gewerbeordnung - GeWO, Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm (TA Lärm), 16.07.1968.
- TA Luft, 1986: Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft - TA Luft), 27.02.1986.
- UVPG, 1990: Gesetz zur Umsetzung der Richtlinie des Rates vom 27. Juni 1985 über die Umweltverträglichkeitsprüfung bei bestimmten öffentlichen und privaten Projekten.
- VDI 2058, Bl. 1, 1985: Beurteilung von Arbeitslärm in der Nachbarschaft.
- VDI 2310, 1974: Maximale Immissions-Werte.
- VDI 3781, Bl. 1, 1986: Olfaktometrie; Geruchsschwellenbestimmung; Grundlagen.
- VDI 3787, Bl. 2, 1998: Umweltmeteorologie - Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung von Klima und Lufthygiene für die Stadt- und Regionalplanung - Teil I: Klima.
- VDI 3788, Bl. 1, 1998: Umweltmeteorologie. Ausbreitung von Geruchsstoffen in der Atmosphäre - Grundlagen.
- VDI 3940, 1993: Bestimmung der Geruchsstoffimmission durch Begehungen.
- Vogel, G., Spänkuch, D., Schultz, E., Feister, U., Döhler, W., 1995a: Regional short term forecast of total column ozone, *Atmospheric Environment*, 29, 1155-1163.
- Vogel, G., Schubert, U., Kirchner, R., Günther, A., 1995b: Methodische Grundlagen der operationellen UV-Vorhersage des Deutschen Wetterdienstes für Mitteleuropa, *Annalen der Meteorologie*, 31, 346-349.
- WMO, 1986: Revised Instruction manual on radiation instruments and measurements. WCRP Publ. Series No. 7, WMO/TD-No. 149.
- WHO, 1987: Air quality guidelines for Europe, Kopenhagen.
- Zellner, R., 1993: Ozonabbau in der Stratosphäre. *Chemie in unserer Zeit*, 27, 230-236.