

Bewertungsmaßstäbe für Stadtklima und Lufthygiene

Wilhelm Kuttler

Eine auf nachhaltige Stadtentwicklung ausgerichtete Planung ist auf naturwissenschaftlich belegbare Daten angewiesen. Daher war es auch für die Stadtklimatologie nur eine Frage der Zeit, bis sich neben der Grundlagenforschung ein stärker praxisorientierter Forschungszweig etablierte. Dieser widmet sich vorwiegend den klimatischen und lufthygienischen Einflüssen auf die Stadtbewohner. Als „planungsrelevante Stadtklimatologie“ existiert dieses Fachgebiet bereits seit mehreren Jahren (Barlag 1993; Kuttler 1996). Verschiedene Erlasse und Gesetze, welche die Belange von Klima und Luft aufgreifen, schufen entsprechende administrative Grundlagen. Das gestiegene fachliche Interesse wird durch eine Vielzahl bisher erschienener Publikationen auf diesem Gebiet dokumentiert (Schirmer et al. 1993).

Durch Verfeinerung bereits bestehender und neu hinzugekommener Untersuchungsmethoden ist es möglich geworden, Stadtklimaanalysen nicht mehr nur diagnostisch, sondern auch prognostisch – unter Einbeziehung von Modelluntersuchungen – durchzuführen. Eine solche Vorhersage über künftige Auswirkungen von Flächennutzungsänderungen erlaubt bei verschiedenen Planungsentwürfen die Realisierung der jeweils umweltverträglichsten Variante. Eine sachbezogene Anwendung der Meßergebnisse setzt allerdings deren nutzergerechte Aufbereitung voraus. Für den Stadtplaner bedeutet dies, daß entsprechende Maßnahmen humanbiometeorologisch ausgerichtet sein müssen und ein hierauf abgestimmter planerischer Bewertungsrahmen existiert. Diese Anforderungen lassen sich am besten unter dem Begriff „ideales Stadtklima“ subsumieren, dessen Verwirklichung in Hinblick auf eine optimale städtebauliche Gestaltung angestrebt werden sollte.

Unter „idealem Stadtklima“ versteht man einen „räumlichen und zeitlichen variablen Zustand der Atmosphäre in urbanen Bereichen, bei dem sich möglichst keine anthropogenen Schadstoffe in der Luft befinden und den Stadtbewohnern (...) eine möglichst große Vielfalt an urbanen Mikroklimaten unter Vermeidung von Extremen geboten wird. Da ein solches ideales Stadtklima realistisch nicht erreicht werden kann, besteht die Aufgabe der Stadtplanung darin, diesem Ideal durch stadtklimatisch wirksame Umweltverbesserungen möglichst nahe zu kommen bzw. mindestens ein tolerables Stadtklima zu erzielen“ (Mayer 1989, S. 53).

Um das ideale Stadtklima von planerischer Seite so weit wie möglich realisieren zu können, bedarf es zur Begründung von Eingriffen objektiver Entscheidungskriterien, denen standardisierte Evaluierungsverfahren zugrunde liegen. Grundsätzlich bieten sich hierfür verschiedene Bewertungsmethoden an, die auf relativen oder absoluten Vergleichen des gewonnenen Datenmaterials basieren. Für relative Bewertungen existieren keine verbindlichen Referenzwerte, so daß allgemeingültige Aussagen nicht möglich sind.

Bei einer absoluten Bewertung hingegen wird das Datenmaterial auf Wirkgrenzen bezogen, die dem Vorsorgeprinzip entsprechen. Wegen der objektiven Vergleichsmöglichkeiten sind absolute Verfahren bei vorhandenen Grenzwerten deshalb vorzuziehen. Die humanbiometeorologische Qualität eines urbanen Ballungsraumes kann nicht durch eine alle stadtklimatischen und lufthygienischen Komponenten umfassende Bewertungsgröße dargestellt werden. Daher müssen Beurteilungen an Einzelfaktoren erfolgen. Hierfür bieten sich die in der Bioklimatologie bereits seit längerem bewährten Kriterien an, die sich auf die Auswirkungen von Sonnenstrahlung, Wärme und ausgewählten Luftschadstoffen auf den Menschen beziehen.

Während für die Beurteilung des lufthygienischen Wirkungskomplexes auf bestehende Grenz-, Richt-, Leit- und Schwellenwerte zurückgegriffen werden kann, weisen die für die Einschätzung der aktinischen (zur Definition s. u.) und thermischen Verhältnisse existierenden Bezugswerte bislang nur orientierenden Charakter auf (VDI 1996).

Im Gegensatz zu den thermischen und lufthygienischen Verhältnissen, die durch die Instrumentarien der Planung in den Städten verbessert werden können, erfolgt für den aktinischen Bereich ein solcher Eingriff bislang noch nicht. Das könnte sich jedoch bald ändern, da dem überwiegend als negativ anzusehenden Einfluß der kurzwelligen Sonnenstrahlung auf die Stadtbewohner in der letzten Zeit stärkere Bedeutung beigemessen wird. Vor dem Hintergrund einer Ausdünnung der stratosphärischen Ozonschicht und einem damit befürchteten Anstieg der UV-Strahlung kann eine zukünftige Beeinträchtigung der Gesundheit nicht mehr ausgeschlossen werden (Ambach und Blumthaler 1993; Zellner 1993). Die Nachfrage nach einer objektiven Einschätzung der UV-Strahlungsintensität und nach Schutzmöglichkeiten ist deshalb insbesondere in den Ballungsräumen stark gestiegen. Es ist somit notwendig, ein neues Handlungsfeld der anwendungsorientierten Stadtklimatologie zu initiieren.

Bewertungsmöglichkeit des aktinischen Wirkungskomplexes

Unter dem aktinischen Wirkungskomplex wird der Einfluß der ultravioletten Sonnen-, Himmels- und Umgebungsstrahlung auf den Menschen verstanden. Die atmosphärische UV-Strahlung ($300 \text{ nm} < \lambda < 400 \text{ nm}$) besitzt mit 7% nur einen geringen Anteil an der Gesamtenergieverteilung des solaren Spektrums und trägt bei direkter Einstrahlung zur Zeit des Sonnenhöchststands lediglich etwa 5% der Globalstrahlung. Im Vergleich zum sichtbaren Abschnitt des Spektrums weist die ultraviolette Strahlung jedoch eine besondere biologisch-medizinische Bedeutung auf (vgl. Tab. 1). Hinsichtlich ihrer Wirkungen auf den menschlichen Körper untergliedert man diesen kurzwelligen Bereich des Sonnenspektrums in die UV-A ($315 \text{ nm} < \lambda < 400 \text{ nm}$), UV-B ($280 \text{ nm} < \lambda < 315 \text{ nm}$) und UV-C ($200 \text{ nm} < \lambda < 280 \text{ nm}$) Strahlung. Während die UV-C Strahlung wegen der Absorption durch das stratosphärische Ozon und den molekularen Sauerstoff den bodennahen Lebensraum bisher nicht erreicht und die UV-A Strahlung aus medizinischer Sicht nur eine geringe Rolle spielt, lassen sich dem UV-B Bereich sowohl positive als auch negative Auswirkungen zuschreiben.

Tab. 1: Spezifische Wirkungen der UV-Bereiche

Typ	Wellenlängenbereich (λ in nm)	Spezifische Wirkung
UV-A	315-400 (langwellige UV-Strahlung)	Sofortpigmentierung (Hautbräunung); wirksam bei Psoriasis (Schuppenflechte)
UV-B	280-315 (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	<280 (kurzwellige UV-Strahlung)	Zellzerstörung; bakterizide Wirkung

Quelle: Verändert nach VDI 3787 Bl. 2, 1996

Die Intensität der UV-B Strahlung ist von geographischen und meteorologischen Faktoren abhängig. Hierbei handelt es sich um den Sonnenstand, die geographische Breite, Meereshöhe, Bewölkung, atmosphärische Trübung und Reflexion an Oberflächen sowie um die stratosphärische Ozonkonzentration. Die Tages- und Jahresgänge der UV-Strahlung weisen deshalb starke zeitliche und räumliche Schwankungen auf, aus denen sich eine gefahrlose, vom jeweiligen Hauttyp abhängige Expositionszeit ergibt. So reicht z. B. in Berlin in den Sommermonaten eine Bestrahlung von weniger als 30 Minuten bei wolkenlosem Himmel aus, um auf heller Haut einen Sonnenbrand (Erythem) zu verursachen. Bewölkung kann die individuelle Verträglichkeit verlängern.

Da Hautschäden im allgemeinen erst nach einem ausgiebigen Sonnenbad auftreten und es dann für einen Schutz zu spät ist, sind vorbeugende Maßnahmen für die Bevölkerung von ausschlaggebender Bedeutung. Diese können z. B. durch gezielte Vorhersagen der zu erwartenden UV-Strahlungsintensität mit Bezug auf den entsprechenden Hauttyp erfolgen. Dann können individuell abgestimmte Vorsichtsmaßnahmen, sei es durch Bekleidung bei Aufenthalt im Freien, Verwendung eines Sonnenschutzmittels oder Meiden des direkten Sonnenlichts, erfolgen.

Beurteilungsgrundlage für die erythemwirksame Bestrahlung ist die sogenannte „erythemwirksame Schwellenbestrahlung“ (Bundesamt für Strahlenschutz 1993). Bei diesem Grenzwert handelt es sich um die geringste UV-Bestrahlung ($H_{S,er} = 250 \text{ J m}^{-2}$), die nach achtstündiger Exposition ein Erythem, also eine Hautrötung, bewirkt, ohne einen Dauerschaden zu verursachen. Um z. B. ein UV-induziertes Hautkarzinom entstehen zu lassen, wäre eine 400fache Schwellenbestrahlung, entsprechend einer Dosis von $H_{S,er} = 10^5 \text{ J m}^{-2}$, notwendig.

Zum besseren Verständnis und zur problemlosen Anwendung auch für den Laien wurde ein sogenannter UV-Index (Strahlenschutzkommission 1995) eingeführt, der

Überschreitung der Expositionszeiten sowie empfohlene Schutzmaßnahmen. Eine für die Städte Berlin und München durchgeführte Modellrechnung auf der Basis des jeweiligen Jahresgangs des UV-Indexes ergibt folgendes Bild (vgl. Abb. 1): In Berlin muß bei einem Aufenthalt im Freien während wolkenlosen Himmels von Mitte Mai bis Anfang Oktober davon ausgegangen werden, daß Personen mit hellem Hauttyp bei Überschreitung einer Expositionszeit von 20 Minuten (im Hochsommer) sonnenbrandgefährdet sind, wenn sie ungeschützt sind. In München vergrößert sich der Gefährdungszeitraum von Anfang März bis Anfang November aufgrund der südlicheren Lage der Stadt, wobei sich zusätzlich die jeweiligen Expositionszeiten verringern.

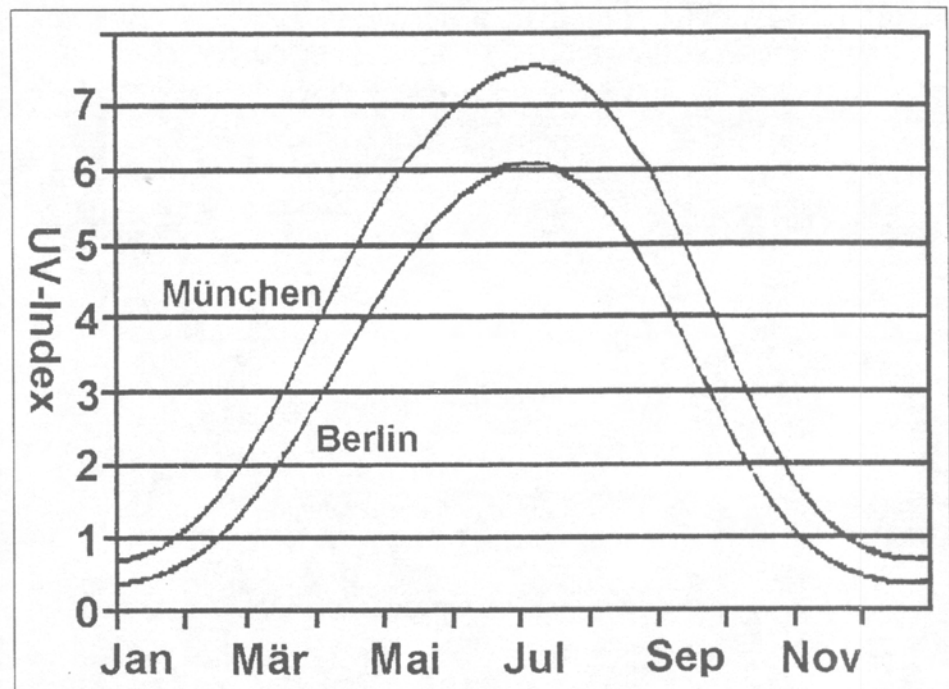


Abb. 1: Erythemwirksame Strahlung bei wolkenlosem Himmel für die Städte München und Berlin (1978-1991) auf der Grundlage einer Modellrechnung, dargestellt anhand der Tagesmittelwerte des UV-Indexes

Quelle: Staiger, persönliche Mitteilung

auf o. g. Grundlagen basiert. Der UV-Index wird als Tagesmaximum der Bestrahlungsstärke mit dimensionslosen Werten angegeben, die zwischen Null (Minimum, z. B. Winterwert, keine Belastung) und 12 (Maximum, Sommerwert in den Tropen, höchste Belastung) liegen. Bezüglich der physikalischen und mathematischen Herleitung dieses Werts sei auf die entsprechende Literatur verwiesen (z. B. Kerr 1994).

Tab. 2 enthält für helle Haut die UV-Schwellenwerte unter mitteleuropäischen Bedingungen, Angaben über die Möglichkeit des Auftretens eines Sonnenbrands bei

Diese hier dargestellten mittleren Verhältnisse lassen sich für jeden Ort berechnen, so daß sowohl von individueller als auch von planerischer Seite entsprechende Vorsorgemaßnahmen zum Schutz vor negativen gesundheitlichen Auswirkungen für die Stadtbevölkerung eingeleitet werden können. Für die Entscheidungsträger im Be-

Tab. 2: Schutzempfehlungen für verschiedene Bereiche des UV-Indexes sowie Sonnenbrandzeiten für den Hauttyp II (helle Haut) bei ungebräunter Haut

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

Quelle: Strahlenschutzkommission 1995

reich der städtischen Planungs- und Umweltämter resultiert hieraus z. B. die Aufgabe, öffentliche Freiflächen in Abhängigkeit von der Nutzungsfrequenz und der Aufenthaltsdauer der Bevölkerung durch bauliche Maßnahmen vor starker sommerlicher Sonnenstrahlung zu schützen. Das gilt speziell für Plätze, Fußgängerzonen und Spielstätten. Überdachungen, große schattenspendende Bäume, Markisen und Bogengänge, die als Arkaden mit sommergrüner Vegetation dicht bepflanzt sein sollten, böten Schutzmöglichkeiten vor zu intensiver UV-Strahlung.

Bewertungsmöglichkeiten des thermischen Milieus

Unter dem thermischen Wirkungskomplex werden die Bedingungen der Wärmeabgabe des menschlichen Körpers in Abhängigkeit von den außenklimatischen Verhältnissen verstanden. Mit Hilfe der Energiebilanzgleichung, die die endogenen (körpereigenen) Produktions- und Steuerungsgrößen mit den exogenen (meteorologischen) Einflußgrößen verknüpft, lassen sich die Wärmeflüsse berechnen (Höppe 1984).

Der Mensch ist als homoiothermer Organismus (Warmblüter) in der Lage, seine Körperkerntemperatur weitgehend unabhängig vom bestehenden thermischen Umgebungsmilieu auf einem relativ einheitlichen Temperaturniveau zu halten. Allerdings können bei starker Behinderung der Wärmeabgabe ebenso wie bei übermäßigem Wärmeentzug die individuell festgelegten Behaglichkeitsgrenzen über- bzw. unterschritten werden. Tritt ein derartiger Fall ein, spricht man von thermischem Diskomfort. Er wird in mitteleuropäischen Ballungsräumen in erster Linie durch Wärmebelastung verursacht, deren Auftreten hauptsächlich an das Vorherrschende sommerlicher autochthoner Wetterlagen gebunden ist. Eine derartige, mit starker Einstrahlung und geringer Windgeschwindigkeit einhergehende Wetterlage, kann im Extremfall zu dem vielfach belegten Anstieg der Morbiditäts- und Mortalitätsraten unter der Stadtbevölkerung führen (Landsberg 1981).

Aufgabe einer human-biometeorologisch orientierten Vorsorgeplanung muß es sein, stadtklimaökologische Ungunsträume zu erkennen und Möglichkeiten zur Beseitigung bzw. Vermeidung negativer thermischer Einflüsse aufzuzeigen. Hierzu bedarf es eines richtlinienorientierten Bewertungsverfahrens, mit dessen Hilfe die menschliche Wärmebelastung klassifiziert werden kann. Von bioklimatischer Seite kann dabei auf verschiedene, schon seit langer Zeit bekannte Methoden zurückgegriffen werden, die im wesentlichen auf der Anwendung sogenannter Klimasummenmaße basieren. Hierunter versteht man Kenngrößen, die das Zusammenwirken von Klimaelementen in bezug auf das menschliche Wärmeempfinden beschreiben. Unter ih-

Tab. 3: Eingangsgrößen für die Behaglichkeitsgleichung des bekleideten Menschen nach Fanger

- Innere Wärmeproduktion bezogen auf die Oberfläche eines Einheitskörpers
- Wärmeisolation der Bekleidung
- Lufttemperatur
- Mittlere Strahlungstemperatur
- Wasserdampfdruck der Luft
- Relative Windgeschwindigkeit
- Mittlere Hauttemperatur
- Wärmeverlust über die Oberfläche des Einheitskörpers durch Verdunstung von Schweiß

Quelle: Jendritzky et al. 1990

Tab. 4: Meteorologische und geographische Eingangsgrößen für das Klima-Michel-Modell

- Lufttemperatur
- Wasserdampfdruck
- Windgeschwindigkeit in 1 m Höhe
- Art der Bewölkung und Bedeckungsgrad des Himmels
- Atmosphärische Trübung
- Solarkonstante
- Ortskoordinaten
- Datum und Uhrzeit
- Raumwinkelanteile der Umschließungsflächen
- Albedo und Emissionsgrad der Umschließungsflächen

Quelle: Verändert nach Jendritzky 1990 et al.

nen haben z. B. der Diskomfort-Index, die effektive Temperatur, der Heat-Stress-Index und die Äquivalenttemperatur weite Verbreitung gefunden (Jauregui 1993).

Insbesondere die Werte der Äquivalenttemperatur werden nach wie vor bei der Einschätzung belastender Schwüle für planerische Entscheidungsprozesse bevorzugt berücksichtigt. Das hängt damit zusammen, daß es sich hierbei um ein Maß handelt, dessen Eingangsgrößen Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit einfach zu erheben und fast ubiquitär verfügbar sind. Grundsätzlich sollte allerdings in der heutigen Zeit von einer Verwendung der genannten Maßzahlen zur Beschreibung des thermischen Milieus Abstand genommen werden. Denn rein physikalische Größen sind nämlich hierfür eher ungeeignet, da weder die endogen produzierte Wärme des menschlichen Körpers und dessen unterschiedliche Aktivitätszustände noch der Einfluß von Bekleidung auf den Wärmehaushalt berücksichtigt werden. Diese wichtigen Parameter finden jedoch Eingang in physiologisch relevante Wärmehaushaltsmodelle, die es seit einigen Jahren gibt und die vorgenannten Kennzahlen für die Beschreibung der thermischen Verhältnisse endgültig ablösen sollten (Jendritzky 1993).

Ein mittlerweile weit verbreitetes Rechenmodell geht auf Fanger (1982) zurück,

auf das hier näher eingegangen werden soll. Grundlage seiner ursprünglich für die Bewertung von Innenraumklimaten aufgestellten Gleichung bildet eine Untersuchung an etwa 1300 Personen, die in Klimakammerversuchen den unterschiedlichsten thermo-hygrischen Verhältnissen ausgesetzt wurden. Tab. 3 zeigt die in der Behaglichkeitsgleichung berücksichtigten Eingangsgrößen. Die individuelle thermische Einschätzung der Probanden unter den unterschiedlichen Versuchsbedingungen führte zu einer psycho-physischen Skala, der entsprechende Bewertungsgrößen zugeordnet wurden. Mit diesen Bewertungsgrößen wird das thermische Milieu angegeben, das von dem genannten Kollektiv an Personen empfunden wird. Es handelt sich hierbei um den sogenannten Predicted Mean Vote (PMV), einen vorhergesagten Wert, der denjenigen Prozentsatz des Probandenkollektivs rangmäßig angibt, der sich bei Exposition der jeweils ausgesetzten thermischen Bedingungen subjektiv unbehaglich fühlt. Abb. 2 zeigt anhand der Verteilungsfunktion den Prozentsatz der Personen, die sich im thermischen Diskomfort fühlen. Zu erwähnen sei, daß sich bei einem PMV = 0, einem Wert, der eigentlich thermische Behaglichkeit vermittelt, gleichwohl ein geringer Prozentsatz (= 5 %) der Personen im Diskomfort befindet. Das liegt daran, daß das subjektive Empfinden innerhalb des untersuchten Probandenkollektivs eine gewisse Schwankungsbreite aufweist. Auch bei hohen PMV-Werten (kalt: -2; warm: +2) fühlen sich - wie die Abbildung zeigt - nicht alle Personen im Diskomfort, sondern jeweils nur 80 %.

Um die Bewertungsgröße PMV auch auf außenklimatische Verhältnisse zu übertragen und als thermischen Referenzwert verwenden zu können, wurde die genannte Behaglichkeitsgleichung mit Hilfe einer weiteren Rechenoperation, nämlich dem sogenannten Klima-Michel-Modell auf Freilandbedingungen erweitert (Jendritzky et al. 1990). Es handelt sich hierbei um ein Modell, in das die in Tab. 4 genannten meteorologischen und geographischen Größen eingehen und das auf einen „Normmenschen“ (deshalb „Michel“, männliche Person, Größe: 1,75 m, Gewicht: 75 kg, Körperoberfläche: 1,9 m²), bezogen wird. Darüber hinaus wurde die ursprüngliche vierstufige Skala auf acht Stufen erweitert.

Weiterhin hat der Einsatz dieses kombinierten Modells den Vorteil, daß es auch Flächenaussagen zum thermischen Wirkungskomplex erlaubt, die in der Planungspraxis bekanntermaßen eine wichtige Rolle spielen. Die thermischen Empfindungsgrößen und die physiologischen Belastungsstufen sowie ihre Zuordnung zu den entsprechenden PMV-Werten enthält Tab. 5.

Die Bewertungsgröße PMV soll nachfolgend an zwei für Stadtgebiete repräsentativen Beispielen erläutert werden, die sich

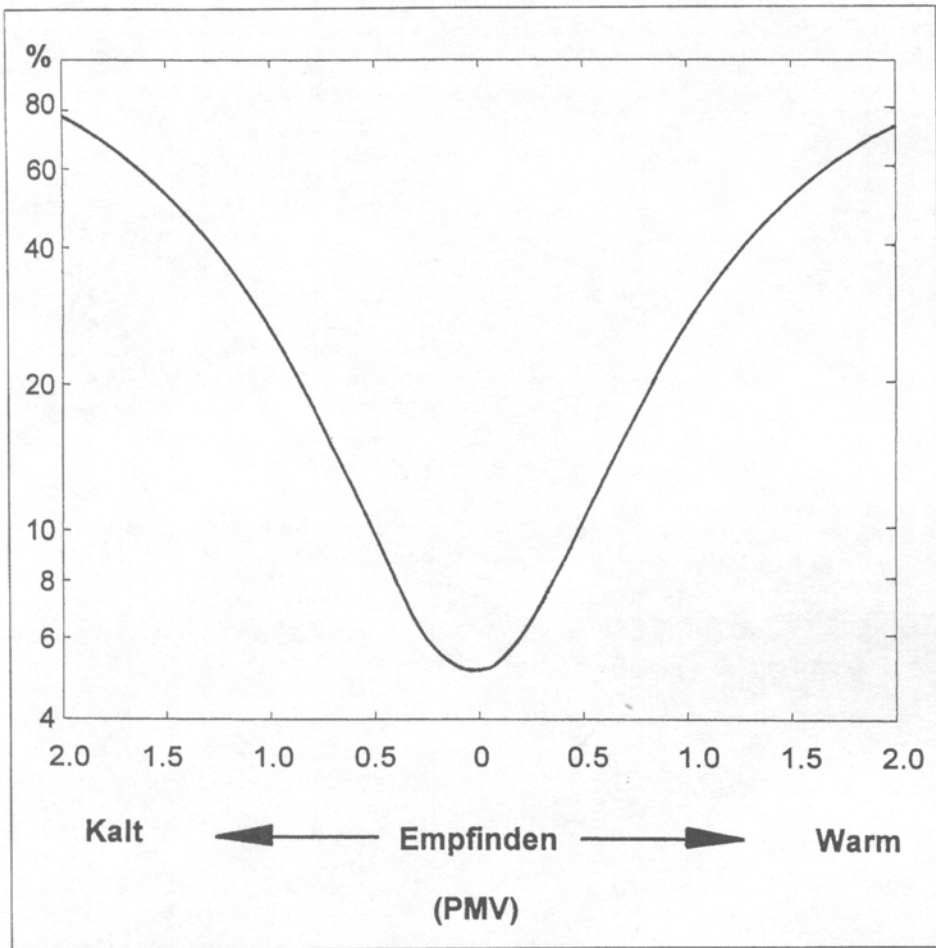


Abb. 2: Prozentsatz von Personen im thermischen Diskomfort als Funktion eines errechneten Empfindens (PMV = Predicted Mean Vote) auf einer psycho-physischen Skala

Quelle: Fanger 1982

sowohl auf klein- als auch auf großflächige urbane Klimatope beziehen. Im ersten Beispiel „spaziert“ der oben beschriebene „leicht bekleidete“ Klima-Michel während eines heißen Sommertags abwechselnd

durch einen Fichtenwald, über einen freien Platz sowie durch eine baumbestandene und baumlose Straße gleichen Typs. Die metabolische Wärmeabgabe beträgt 275 W (= langsames Gehen). Wie Abb. 3 zeigt, er-

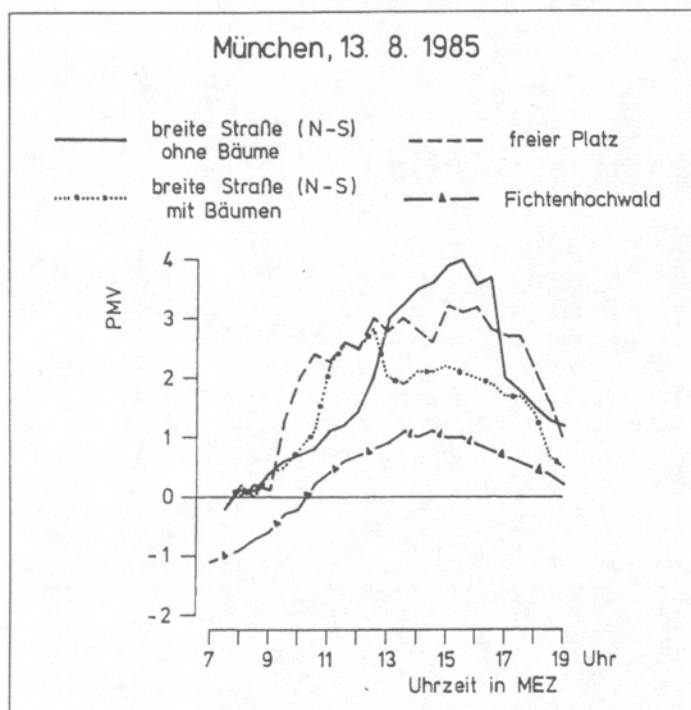


Abb. 3: Predicted Mean Vote (PMV) an drei verschiedenen Messstellen in München und im Stammraum eines Fichtenhochwaldes während eines heißen Sommertags

Quelle: Höppe und Mayer 1987

Tab. 5: Bewertungsgröße PMV, thermisches Empfinden und physiologische Belastungsstufe

PMV	thermisches Empfinden	physiologische Belastungsstufe
-3,5	sehr kalt	extremer Kältestreß
-2,5	kalt	starker Kältestreß
-1,5	kühl	mäßiger Kältestreß
-0,5	leicht kühl	schwacher Kältestreß
0	behaglich	keine Belastung
0,5	leicht warm	schwache Wärmebelastung
1,5	warm	mäßige Wärmebelastung
2,5	heiß	starke Wärmebelastung
3,5	sehr heiß	extreme Wärmebelastung

Quelle: Jendritzky et al. 1990

wartet den Spaziergänger tagsüber im Fichtenwald keine bzw. nur eine schwache thermische Belastung ($PMV \leq 1$). Auf der breiten Straße ohne Bäume treten die höchsten Wärmebelastungswerte ($PMV \leq 3,5$) nachmittags auf. Im direkten Vergleich dazu ist der Gang auf dem Bürgersteig der baumbestandenen Straße nur zur Mittagszeit wegen des direkten Strahlungseinfalls stark ($PMV \leq 3,0$), ansonsten mäßig belastend ($PMV \leq 2,0$). Diese Werte belegen auch die relativ große bioklimatische Wohlfahrtswirkung für Fußgänger durch straßenbegleitendes Grün. Auf dem freien Platz hingegen stellt sich von morgens bis abends eine mäßige bis starke Belastung ($2 \leq PMV \leq 3$) ein. Im zweiten Beispiel (vgl. Abb. 4) werden für sechs Klimatope die während verschiedener Meßfahrten in der Stadt Dortmund im Sommer ermittelten PMV-Werte jeweils für die zweite Tages- und erste Nachthälfte dargestellt. Wie dieser Abbildung entnommen werden kann, treten insbesondere in der zweiten Tageshälfte deutliche Unterschiede in der Wärmebelastung auf, die zwischen städtischer Bebauung und dem Freiland PMV-Differenzen von einer Rangstufe aufweisen.

Bewertungsmöglichkeiten des lufthygienischen Wirkungskomplexes

Unter dem lufthygienischen Wirkungskomplex wird der Einfluß der in der Atmosphäre enthaltenen festen, flüssigen und gasförmigen Luftinhaltsstoffe auf die menschliche Gesundheit verstanden. Die hierzu zählenden Auswirkungen des mit zunehmender Meereshöhe abnehmenden Sauerstoffpartialdrucks auf das menschliche Wohlbefinden werden nicht behandelt.

In den zurückliegenden Jahrzehnten wurde die urbane Luftverschmutzung in westeuropäischen Ballungsräumen - in osteuropäischen heute noch - im wesentlichen durch die Leitsubstanzen Staub und Schwe-

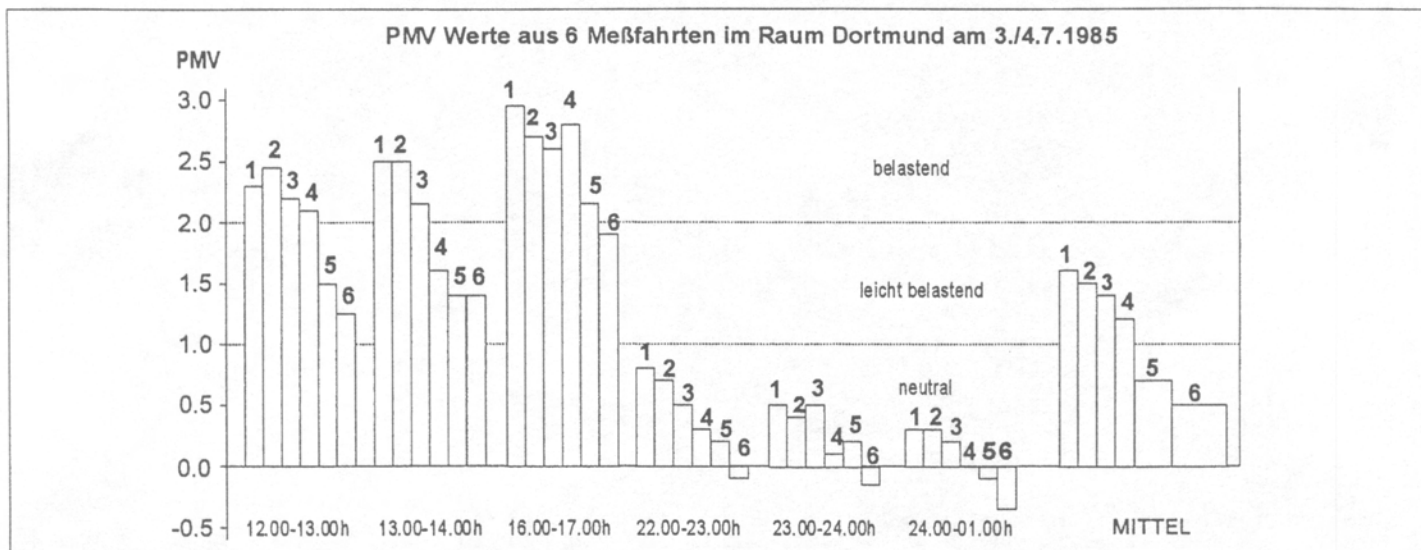


Abb. 4: Predicted Mean Vote (PMV) zur thermischen Bewertung verschiedener Klimatope in Dortmund auf der Basis von sechs Meßfahrten
1 = City 2 = Stadt 3 = Industrie 4 = Vorstadt 5 = lockere Bebauung 6 = Freiland

Quelle: Beckröge 1989

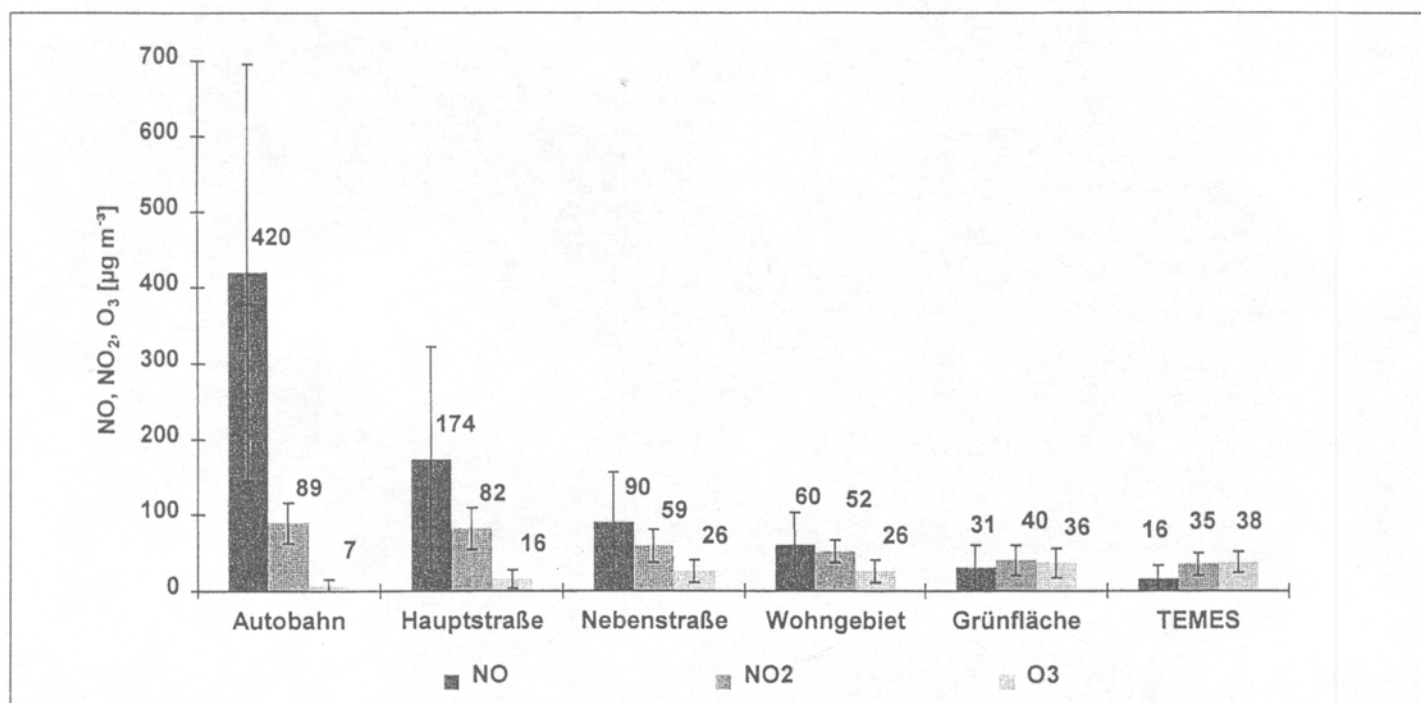


Abb. 5: NO , NO_2 und O_3 Mittelwerte mit Standardabweichungen für verschiedene Flächennutzungstypen innerhalb der Stadt Essen für 12 Profilmessfahrten (6 Nord-Süd- und 6 West-Ost-Profile) sowie zeitgleiche TEMES-Mittelwerte von vier Essener Stationen (ohne Verkehrstation) des Messnetzes des Landesumweltamts NRW (Zeitraum: Februar 1995 bis Oktober 1995)

Quelle: Kuttler und Straßburger 1997

feldioxid (SO_2) aus industriellen und gewerblichen Quellen bestimmt. Die damaligen winterlichen Smogepisoden sind berechtete Beispiele dafür (Kuttler 1979a und 1979b). Dagegen beeinträchtigen heutzutage in erster Linie Kraftfahrzeugemissionen die Luftqualität. Niedrig gelegene Quellhöhen und ein engmaschiges Straßennetz, das unterschiedlich große durchschnittliche tägliche Verkehrsmengen (DTV-Wert) aufweist, lassen spurenstoffspezifisch und flächennutzungsabhängig ein außerordentlich heterogenes Muster der Immissionsverteilung auf kleinem Raum entstehen. Die sich einstellenden Konzentrationen sind dabei abhängig vom Emissionsmassenstrom und dem Dilutionspotential der bodennahen

Atmosphäre. Abb. 5 zeigt für die drei Spurenstoffe Stickstoffmonoxid (NO), Stickstoffdioxid (NO_2) und Ozon (O_3) die auf der Grundlage verschiedener Meßfahrten berechneten Immissionskonzentrationen. Für die Verteilung der NO -Werte kann festgestellt werden, daß auf Autobahnen und Hauptstraßen die mit Abstand höchsten Werte in Stadtgebieten auftreten. Die ebenfalls hohen Standardabweichungen werden durch Verkehrsfluktuationen verursacht. Das für die Ozonproduktion wichtige NO_2/NO -Verhältnis erreicht einen Wert von 0,2 bzw. 0,5. Die Ozonkonzentrationen spielen für diese beiden Straßentypen noch keine Rolle. In schwach frequentierten Straßen tritt eine deutliche Abnahme der NO_x -Kon-

zentration auf. Aufgrund des höheren NO_2/NO -Verhältnisses von 0,7 sind hier ansteigende Ozonkonzentrationen feststellbar. In Wohngebieten und in innerstädtischen Grünflächen nehmen wegen der Quellferne sowohl die NO_x -Konzentrationen als auch die Standardabweichungen dieser Meßwerte ab. Die Ozonkonzentrationen erreichen in den Grünflächen bei einem NO_2/NO -Verhältnis von 1,3 die höchsten Werte.

In Verbindung mit dem in der letzten Zeit häufiger zu beobachtenden Auftreten von Sommersmogepisoden spielt Ozon als Leitkomponente dieses Smogtyps eine besondere Rolle. Zusammen mit anderen Photooxidantien (z. B. PAN = Peroxiacetyl-

nitrat, Aldehyde) entsteht es während sonnenscheinreicher windarmer Wetterlagen als sekundäre Luftverunreinigung aus verschiedenen Vorläufergasen (z. B. Nichtmethan Kohlenwasserstoffe und Stickstoffoxide; Kuttler und Zmarsly 1995 und 1996). Die Wirkungen von Luftverunreinigungen auf den Menschen sind von der Dosis der Einzelkomponenten und von eventuell auftretenden Kombinationswirkungen abhängig. Letztere sind insbesondere für das Schadgas SO₂ und Schwebstaub nachgewiesen, deren Konzentrationen oberhalb bestimmter Schwellenwerte zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen führen können. Partikel können im Gegensatz zu anderen Luftverunreinigungen Transportfunktionen für Luftinhaltsstoffe übernehmen und bei geringer Partikelgröße und hoher Adsorptionsfähigkeit zu Lungenschäden führen. Hohe CO-Konzentrationen vermindern den Sauerstofftransport des Bluts, und starke Ozonbelastung führt zur Beeinträchtigung der Lungenfunktion (Mücke 1992).

Die gesundheitliche Bewertung der Wirkung einzelner Luftschadstoffe auf den Menschen (vgl. Tab. 6) ist weitgehend in verschiedenen Regelwerken festgelegt. Die

daraus in Tab. 7 zusammengestellten Kriterien weisen allerdings in Hinblick auf ihre immissionsökologische Anwendung für den Stadtbereich verschiedene Mängel auf, die mit Mayer (1990) wie folgt zusammengefaßt werden können: Nicht für alle Spurenstoffe existieren Grenzwerte. Die IW 1 und IW 2-Werte der TA-Luft besitzen zwar als Richtwerte Verbindlichkeit, aber ihr Anlagenbezug wirft Probleme bei Planungsaufgaben im Bereich der Stadtklimatologie auf. Ferner wird die Kombinationswirkung verschiedener gleichzeitig auftretender Spurenstoffe kaum berücksichtigt, obwohl der Luftbelastungsindex dieses Problem - zumindest für einige Spurenstoffe - miteinbezieht. Auch sind die Smog-Warnkriterien, obwohl sie eine synergistische Wirkung von SO₂ und Schwebstaub berücksichtigen, für Planungszwecke eher abzulehnen, da sie in erster Linie für die Abwehr eines akuten Gefahrenzustands bestimmt sind. Darüber hinaus muß darauf hingewiesen werden, daß sich die meisten der genannten Bewertungskriterien grundsätzlich auf die Durchschnittsbevölkerung beziehen und gesundheitlich labile Gruppen sowie Kleinkinder und alte Menschen z. B. nicht berücksichtigen. Auch wird mit diesen Standards der

Mobilität der Stadtbewohner kaum Rechnung getragen.

Es wurde bereits darauf hingewiesen, daß die summarische Bewertung städtischer Luftverunreinigungen eine wichtige Rolle bei planerischen Entscheidungsprozessen spielt. Die Gesamtbeurteilung der Luftqualität in Städten läßt sich mittlerweile durch die Berechnung verschiedener Luftbelastungsindizes, in die bestimmte Leitsubstanzen eingehen, vornehmen (Übersicht in Baumüller und Reuter 1995). Auf einen bisher relativ weit verbreiteten Luftbelastungsindex (LBI-Wert) zur Bewertung der lufthygienischen Komponente des Stadtklimas, der z. B. im Rahmen von Umweltverträglichkeitsprüfungen und zur Unterrichtung der Bevölkerung eingesetzt wird, soll nachfolgend eingegangen werden.

Als Leitkomponenten für diesen LBI-Wert werden Schwefeldioxid (SO₂), Stickstoffdioxid (NO₂) und Schwebstaub (SST) verwendet. Mit Hilfe dieser drei Spurenstoffe lassen sich bei ausreichender Datenbasis die mittlere Belastung (= arithmetischer Jahresmittelwert, I1) und die Kurzzeitbelastung (= 98 %-Wert der Summenhäufigkeitswerte, I2) nach Gleichung 1 und 2 berechnen:

Tab. 6: Beurteilungskriterien für einige Luftschadstoffe (Werte in µg/m³)

Schadstoff		Immissionswerte TA-Luft	MIK-Werte VDI-2310	Leitwerte		Grenzwerte EG	Konz.-werte § 40 (2) BImSchG	Grenzwerte Dt. Bäder- verband	Grenzwerte Smog-VO Vorwarnstufe
				WHO	EG				
SO ₂	I ₁	140	-	50	40 bis 60	80/120 ^a	-	15 bis 50 ^b	-
	I ₂	400	-	-	-	250/350 ^a	-	60 bis 120 ^b	-
	24 h	-	300	125	100 bis 150	-	-	-	- ^c
	3 h	-	-	-	-	-	-	-	600
	1/2 h	-	1000	-	-	-	-	-	-
NO ₂	I ₁	80	-	-	50	-	-	18 bis 45 ^b	-
	I ₂	200	-	-	135	-	-	35 bis 80 ^b	-
	24 h	-	100	150	-	200	160	-	- ^c
	1 h	-	-	-	-	-	-	-	600
	3 h	-	-	400	-	-	-	-	-
O ₃	I ₂	-	-	-	-	-	-	-	-
	1 h	-	-	150 bis 200	180	360	-	-	-
	1/2 h	-	120	-	-	-	-	-	-
SST	I ₁	150	75	-	40 bis 60	150	8 (Ruß)	15 bis 30g	-
	I ₂	300	-	-	-	300 ^h	-	45 bis 75g	-
	24 h	-	150/250 ^e	120 ^f	100 bis 150	-	-	-	- ^c
CO	I ₁	10 000	10 000	-	-	-	-	-	-
	I ₂	30 000	-	-	-	-	-	-	-
	24 h	-	10 000	-	-	-	-	-	-
	3 h	-	-	-	-	-	-	-	30 000
	1/2 h	-	50 000	60 000	-	-	-	-	-

I₁: arithmetischer Jahresmittelwert

I₂: 98 % Wert bei Meßdauer 1 Jahr

^aMedian der während des Jahres gemessenen Tagesmittelwerte, abhängig vom Schwebstaubgehalt

^bje nach Ortsbereich; I₂-Werte als 95 %-Wert der wöchentlich integrierenden Messung

^czusätzl. Kriterium: Summenwert SO₂ + zweimal Schwebstaub 1 100 µg/m³

^dKriterium gilt nur für 2 aufeinanderfolgende Werte

^ean aufeinanderfolgenden Tagen bzw. einmalige Exposition

^fin Gegenwart von mindestens 125 µg/m³ SO₂

^gStaub (Partikelgröße 3 µm - 96 µm) berechnete Massendepositionsraten in mg/m²d, je nach Ortsbereich; I₂-Werte als 95 %-Wert der wöchentlich integrierenden Messung

^h95 %-Wert der Summenhäufigkeit aller während des Jahres gemessenen Tagesmittelwerte

Quelle: Zusammengefaßt nach VDI Richtlinie 3787 Bl. 2, 1996

Tab. 7: Lufthygienische Bewertungskriterien

- IW 1-Werte (Langzeitgrenzwerte) aus TA-Luft (1993)
- IW 2-Werte (Kurzzeitgrenzwerte) aus TA-Luft (1993)
- MIK-Werte (Maximale Immissionskonzentration) VDI-Richtlinie 2310 (1974)
- Smog-Verordnung (Wintersmog)
- Sommersmog-Gesetz
- EG-Grenz- und -Leitwerte
- LBI (Luftbelastungsindex) für Langzeit-, Kurzzeit- und Tagesbelastungen
- Luftqualitätsstandards (Kühling 1986)
- Luftqualitätsleitlinien der WHO (1987)
- Luftqualität in Kurorten (Deutscher Bäderverband 1987)

Quelle: Zusammengefasst nach verschiedenen Quellen

$$\text{Gleichung 1: } LBI = \frac{1}{3} \left[\frac{I_{SO_2}}{50} + \frac{I_{NO_2}}{50} + \frac{I_{SSP}}{50} \right]$$

$$\text{Gleichung 2: } LBI = \frac{1}{3} \left[\frac{I_{SO_2}}{125} + \frac{I_{NO_2}}{135} + \frac{I_{SSP}}{50} \right]$$

Die im Nenner stehenden Zahlenangaben sind Leitwerte der Weltgesundheitsorganisation WHO bzw. der EG. Da jedoch beide keine 98%-Werte dieser Komponenten nennen, entsprechen die Bezugswerte in diesem Fall den 24 h-Werten. Eine Klassifizierung der LBI-Werte und eine Zuordnung zu den jeweiligen physiologischen Belastungsstufen enthält Tab. 8.

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

Wie die Berechnungsgrundlage für die LBI-Werte zeigt, existieren weder für Ozon noch für die Kfz-bedingten Kohlenwasserstoffe, z. B. Benzol, Toluol, Xylol (BTX) Grenzwerte der TA-Luft. Für diese Spurengase muß deshalb auf andere Bezugsgrößen zurückgegriffen werden, z. B. auf EG-Werte bzw. auf jene des Länderausschusses für Immissionsschutz. Das bedeutet, daß für eine Gesamtbeurteilung der heutzutage als wichtig für die Angabe der Luftqualität in Städten angesehenen Leitsubstanzen nicht ausschließlich auf die LBI-Werte, sondern auch auf die Werte der genannten Einzelkomponenten zurückgegriffen werden muß. ■

Tab. 8: Abstufung der Luftbelastungsindexwerte (LBI)

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

Quelle: Baumüller und Reuter 1995

Literatur

- Ambach, W., und M. Blumthaler: Biological effectiveness of solar UV radiation in humans. *Experientia* 49 (1993) H. 9, S. 747–753
- Barlag, A.-B.: Planungsrelevante Klimaanalyse einer Industriestadt in Tallage. Magdeburg 1993 (Essener Ökologische Schriften, Bd. 1)
- Baumüller, J., und U. Reuter: Die summarische Bewertung von Luftschadstoffen durch einen Luftbelastungsindex. Staub-Reinhalung der Luft 55 (1995), S. 137–141
- Beckröge, W.: Ökologische Wechselbeziehungen zwischen Stadtgrün und Bioklima, Stadtklimabewertung. In: W. Kuttler (Hrsg.): Gesellschaft für Ökologie. Essen 1989, S. 139–148 (Verh. Band XVIII, 18. Jahrestagung Essen)
- Bundesamt für Strahlenschutz (Hrsg.): Schutz des Menschen vor UV-Strahlung. Bonn 1993
- Deutscher Bäderverband e. V. (Hrsg.): Grundlagen der Kurortmedizin und ihr Stellenwert im Gesundheitswesen der Bundesrepublik Deutschland. Kassel 1987
- Fanger, P. O.: Thermal Comfort. Analysis and Application in Environment Engineering. New York 1982
- Höppe, P.: Die Energiebilanz des Menschen. München 1984 (Münchener Universitäts-Schriften, Meteorologisches Institut, Wissenschaftlich Mitteilungen, Nr. 49)
- Höppe, P., und H. Mayer: Planungsrelevante Bewertung der thermischen Komponente des Stadtklimas. Landschaft und Stadt 19 (1987), S. 22–29
- Hupfer, P.: Unsere Umwelt: Das Klima. Globale und lokale Aspekte. Leipzig 1996
- Jawregui, E.: Urban climatology in developing countries. *Experientia* 49 (1993) H. 11, S. 964–968
- Jendritzky, G.: Bioklimatische Bewertungsgrundlage der Räume am Beispiel von mesoskaligen Bioklimakarten. In: G. Jendritzky, G. Menz, W. Schmidt-Kesen und H. Schirmer: Methodik zur räumlichen Bewertung der thermischen Komponente im Bioklima des Menschen. Hannover 1990, S. 7–69 (Beiträge der Akademie für Raumforschung und Landesplanung, 114)
- Ders.: Das Bioklima als Gesundheitsfaktor. GR 45 (1993) H. 2, S. 107–114
- Kerr, J. B.: Decreasing ozone causes health concern. How Canada forecast ultraviolet-B-radiation. *Environmental Science Technology* 28 (1994) H. 12, S. 514 A–519 A
- Kühling, W.: Planungsrichtwerte für die Luftqualität. Dortmund 1986 (Schriftenreihe Landes- und Stadtentwicklungsforschung des Landes NRW, Bd. 4 045)
- Kuttler, W.: London-Smog und Los Angeles-Smog. *Erdkunde* 33 (1979a) Lfg. 3, S. 236–240
- Ders.: Einflußgrößen gesundheitsgefährdender Wetterlagen und deren bioklimatische Auswirkungen auf poten-

- tielle Erholungsgebiete – dargestellt am Beispiel des Ruhrgebietes und des Sauerlandes. Bochum 1979b (Bochumer Geographische Arbeiten, H. 36)
- Ders.: Aspekte der Angewandten Stadtklimatologie. *Geowissenschaften* 14 (1996) H. 6, S. 221–228
- Kuttler, W., und E. Zmarsly: Sommersmog: Zur Problematik aus naturwissenschaftlicher Sicht. *Zeitschrift für Angewandte Umweltforschung* 8 (1995) H. 2, S. 153–159
- Dies.: Bodennahes Ozon – Entstehung, Standortabhängige Tagesgänge und Minderungsmaßnahmen. *Entsorgungspraxis EP* 14 (1996) H. 5, S. 84–93
- Kuttler, W., und A. Straßburger: Zur Frage der Luftqualität innerstädtischer Grünflächen. *Annalen der Meteorologie* 33 (1997), S. 8–15
- Landsberg, H. E.: The urban climate. New York 1981 (Internat. Geophys. Ser., Vol. 28)
- Mayer, H.: Workshop „Ideales Stadtklima“ am 26. Oktober 1988 in München. München 1989, S. 52–54 (Mitteilungen der Deutsche Meteorologische Gesellschaft, 3)
- Ders.: Humanbiometeorologische Bewertung des Stadtklimas. Düsseldorf 1990, S. 87–104 (Umweltmeteorologie, Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN, Bd. 15)
- Mücke, H. G.: Gesundheitliche Auswirkungen von Ozon-Photosmog-Situationen. Eine humanökologisch-umwelt-epidemiologische Felduntersuchung 1989 in Düsseldorf (Dissertation). Essen 1992
- Schirmer, H., W. Kuttler, J. Löbel und K. Weber (Hrsg.): Lufthygiene und Klima. Ein Handbuch zur Stadt- und Regionalplanung. Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL im VDI und DIN). Düsseldorf 1993
- SSK, Strahlenschutzkommission: Einführung eines internationalen solaren UV-Index. Stellungnahme der Strahlenschutzkommission vom 8. Dezember 1995
- TA-Luft, Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft: Aktuelle Immissionsschutzrechtliche Anforderungen an den Anlagenbetreiber. Augsburg 1993
- UBA, Umweltbundesamt: Umweltdaten Deutschland. Berlin 1995
- VDI, Verein Deutscher Ingenieure: VDI-Richtlinie 3787, Bl. 2: Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung von Klima und Lufthygiene für die Stadt- und Regionalplanung. Teil I: Klima (Entwurf). Düsseldorf 1996
- WHO, World Health Organization (Ed.): Air quality guidelines for Europe. Genf 1987 (WHO publications, European series, Nr. 23)
- Zellner, R.: Ozonabbau in der Stratosphäre. *Chemie in unserer Zeit* 27 (1993) H. 5, S. 230–236

Summary

Assessment Criteria for Urban Climates and Atmospheric Hygiene by Wilhelm Kuttler

This article considers the possibilities available for evaluating the effects of urban climate factors on human beings. Examples of criteria for assessing the effects of the actinic, thermal and atmospheric hygiene complex are given and the application of these criteria to city-dwellers is explained. The significance of the various criteria is also discussed.

Autor

Prof. Dr. Wilhelm Kuttler, geb. 1949.
Institut für Ökologie, FB 9, Bio- und Geowissenschaften, Landschaftsarchitektur, Universität-GH Essen, 45117 Essen.
Arbeitsgebiete/Forschungsschwerpunkte: Stadtklimatologie, Stadtökologie.