

Kurzberichte aus Praxis und Forschung

Hans Schirmer

Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung von Klima und Lufthygiene für die Stadt- und Regionalplanung

In zunehmendem Maße werden für die Stadt- und Regionalplanung Gutachten benötigt, um für spezielle Planungsvorhaben die damit verbundenen Veränderungen der bioklimatischen Verhältnisse aufzuzeigen und diese für die Einbeziehung in die Planungsentscheidung zu bewerten. Aus dem hierfür erforderlichen und von der Fachdisziplin Human-Biometeorologie erstellten Grundlagenmaterial müssen planungsrelevante Bewertungsverfahren abgeleitet werden, die als Standard für die auf Menschen bezogene Berücksichtigung von Klima und Lufthygiene dienen.

In der Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) im VDI und DIN (siehe hierzu Raumforschung und Raumordnung (1999) H. 5/6, S. 444) hat eine Arbeitsgruppe „Human-Biometeorologie“ im Ausschuss „Angewandte Klimatologie“ die folgende Richtlinie, deren deutsche Version verbindlich ist (der Entwurf wurde mit Ankündigung im Bundesanzeiger einem öffentlichen Einspruchsverfahren unterworfen), erstellt und veröffentlicht.*)

Die Richtlinie hat folgende Gliederung:

1. Formelzeichen und Abkürzungen
2. Einleitung
3. Human-biometeorologische Wirkungskomplexe
 - 3.1 Thermischer Wirkungskomplex
 - 3.2 Aktinischer Wirkungskomplex
4. Äußere Einflüsse auf die thermischen Bedingungen in Innenräumen:

Anhang A: Bestimmung der mittleren Strahlungstemperatur t_{mrt}

- A 1 Definition
- A 2 Berechnung
 - A 2.1 Modellierung der Strahlungsflüsse
 - A 2.2 Messung der einzelnen Strahlungsflüsse
- A 3 Bestimmung von t_{mrt} mit einem integralen Messverfahren

Die umfangreiche Zusammenstellung der verwendeten Formelzeichen enthält auch Angaben über Bedeutung und Maßeinheiten aller Parameter, die für die Berechnung erforderlich sind. Sie reichen von den meteorologischen Parametern (Strahlung, Temperatur, Wind) über den menschlichen Körper (Haut, Wärmestrahlung, Verdunstung, Oberfläche, Bekleidung, Aktivität usw.) bis zur Umgebung (Bebauungsstruktur, Eigenschaften und Volumen der Gebäude usw.) und zeigen die Komplexität der Grundlagen auf.

Einleitend wird der Akkord der Wirkungen der atmosphärischen Bedingungen auf den Menschen umrissen, nämlich der thermische, aktinische Wirkungsprozess (Wirkung der von Sonne, Himmel und Umgebung ausgehenden Strahlung auf den Menschen) und lufthygienische Wirkungskomplex (Auswirkungen von Beschaffenheit und Reinheitsgrad der Luft auf die Gesundheit des Menschen). Hinzu kommen Geruch und Lärm, die einen belästigenden Einfluss haben können und von meteorologischen Bedingungen (vor allem thermische Schichtung und Wind) abhängen. Ferner kann das menschliche Wohlbefinden durch die Windverhältnisse beeinträchtigt werden, wobei Gebäude (Typen, Anordnung) modifizierend einwirken.

Der erschienene Teil I beschäftigt sich vorwiegend mit dem thermischen Wirkungskomplex, der für Planungsabwägungen zusätzliche Erkenntnisse bereitstellt, für die bisher noch keine standardisierten Bewertungsmethoden vorlagen. Zur Beantwortung folgender Fragestellungen der Planer können z.B. aus bioklimatologischer Sicht Unterlagen bereitgestellt werden:

- Welche Stadtstrukturen sind belastend oder entlastend?
- Wie lassen sich Bauleitpläne optimieren?
- Welche Flächen sind für Neubaugebiete geeignet?
- Welche Anforderungen und Festsetzungen bezüglich Freiräumen lassen sich an die Regional- und Landschaftsplanung stellen?

- Wo besteht vordringlich Handlungsbedarf (z.B. hinsichtlich einer Verbesserung des Wohnumfeldes oder bei Konversionsflächen)?

1 Thermischer Wirkungskomplex

Von den human-biometeorologischen Wirkungskomplexen wird zunächst der thermische Wirkungskomplex (Elemente: Lufttemperatur, Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit, kurz- und langwellige Strahlung), der sich thermophysiologisch auf den Menschen im Freien und in geschlossenen Räumen auswirkt (enge Vernetzung von Thermo- und Kreislaufregulation), eingehend behandelt. Neben Aussagen zum Ist-Zustand der thermischen Komponenten des Bioklimas an einem Ort sind für die verschiedenen Planungsebenen auch quantitative Angaben zu den Auswirkungen von Maßnahmen erforderlich (z.B. Anordnung und Gestaltung der Baukörper, Anpflanzungen von schattenspendenden Bäumen in Freiräumen, Planung von Windschutzanlagen).

Es sind dabei quantitativ zu bewerten:

- Wärmebelastung im Sommer: bedingt durch hohe Werte der Lufttemperatur und der Strahlungstemperatur
- Kältestress im Winter: bedingt durch niedrige Werte der Lufttemperatur und hohe Werte der Windgeschwindigkeit

Dem Stand der Wissenschaft entspricht heute die Ableitung einer thermophysiologisch relevanten Bewertung der komplexen atmosphärischen Bedingungen der Wärmeabgabe des Menschen aus Modellrechnungen zum gesamten Wärmehaushalt des menschlichen Körpers.

Die thermophysiologischen Grundlagen des Wärmehaushaltes des Menschen in den Anwendungsmodellen werden durch eine Reihe von ablaufenden physikalischen und chemischen Regulationsmechanismen erreicht. Die Möglichkeiten der Reaktion des Menschen bei Wärmebelastung und Kältestress sowie bei einer Überforderung der Thermoregulation z.B. durch ungenügende Entwärmung des Körpers (Ursachen: Transpiration, Bekleidung, Aktivität oder intensive Sonnenbestrahlung) sind beschrieben, es folgen Angaben über die Möglichkeiten der Planer zur Optimierung der Behaglichkeitseffekte. Eingegangen wird auf die Belastung des Organismus während extremer thermischer Bedingungen (Kältestress, Wärmebelastung) und die damit gekoppelte Zunahme der Mortalitätsraten bei Herz- und Kreislauferkrankungen.

Die eingehende Erläuterung der wiedergegebenen Wärmebilanzgleichung zeigt die mannigfachen Ein-

flüsse, die in den Modellen zu berücksichtigen sind, wobei auch der Gesamtenergieumsatz (metabolische Rate) in Abhängigkeit von den menschlichen Aktivitäten und der Fortbewegungsgeschwindigkeit behandelt wird. Eine schematische Darstellung der Komponenten im Wärmehaushalt des Menschen veranschaulicht die Zusammenhänge.

Genannt werden die planerischen Maßnahmen, mit denen einzelne Terme der Wärmebilanzgleichung wie Strahlungsbilanz, Fluss fühlbarer Wärme und Fluss latenter Wärme durch Verdunstung von Schweiß modifiziert werden können, z.B. durch Nutzungsart bebauter und nicht bebauter Areale, Vegetation, Außenflächen von Gebäuden (Material, Farbe), Beläge von Straßen und Böden, Verbesserung der Durchluftungsverhältnisse, Abschattung durch Bäume. Die Bedingungen der Wärmeabgabe können vom Menschen durch die Wahl der Bekleidung verändert werden. Hierzu sind die Wärmedurchgangswiderstände verschiedener Bekleidungsarten tabellarisch angegeben.

Die Bewertung des thermischen Wirkungskomplexes basiert auf der Wärmebilanzgleichung des menschlichen Körpers. Von den verschiedenen Verfahren werden für die Anwendung empfohlen:

1. Behaglichkeitsgleichung nach Fanger (führt durch Kopplung mit Strahlungsflüssen zum „Klima-Michel-Modell“, siehe hierzu auch Band 114 der Beiträge der ARL, Hannover 1990: Methodik zur räumlichen Bewertung der thermischen Komponente im Bioklima des Menschen) bietet die Möglichkeit einer flächenhaften Darstellung der Ergebnisse in Karten
2. Wärmehaushaltsmodell MEMI (mit der abgeleiteten Physiologisch Äquivalenten Temperatur PET): für vertiefende thermophysiologische Betrachtungen
3. Modell IMEM: für die Betrachtung instationärer Verhältnisse (bis zu einer Stunde)

Der Aufbau und die Einsatzmöglichkeiten der Modelle sind eingehend beschrieben, die angegebenen Programme auf einer beiliegenden Diskette verfügbar und leicht handhabbar.

Die Behaglichkeitsgleichung nach Fanger mit der Bewertungsgröße PMV (Predicted mean vote) berücksichtigt: innere Wärmeproduktion, Wärmeisolation der Bekleidung, Lufttemperatur, mittlere Strahlungstemperatur, Wasserdampfdruck der Luft und relative Windgeschwindigkeit. Das Bewertungsverfahren ist physiologisch relevant, und die Ergebnisse (gelten jeweils nur „im Mittel“ für eine größere Bevölkerungsgruppe) können reproduziert werden. Mit dem Verfahren können unterschiedliche räumliche Situationen im Hinblick auf ihre thermischen Bedingungen relativ zueinander beurteilt werden. Eine Tabelle enthält die skalierten

Werte von PMV in Verbindung mit dem thermischen Empfinden, der Belastungsstufe und der physiologischen Wirkung.

Aus dem Energiebilanzmodell des menschlichen Körpers MEMI (Münchener Energiebilanz-Modell für Individuen) wurde die Bewertungsgröße PET (Physiologisch Äquivalente Temperatur) entwickelt. Es basiert ebenfalls auf der Gleichung der Wärmebilanz des menschlichen Körpers, bezieht noch reale Werte der Hauttemperatur sowie der Schweißverdunstung ein und berücksichtigt auch Alter und Geschlecht. Eine Tabelle enthält Beispiele von Werten für PET bei ausgewählten Bedingungen von Lufttemperatur, Strahlungstemperatur, Windgeschwindigkeit und Wasserdampfdruck bei verschiedenen Situationen (Räume, Wetter).

Das dynamische Wärmebilanzmodell IMEM (Instationäres Münchener Energiebilanz-Modell) bewertet die thermische Beanspruchung des Menschen unter sich zeitlich verändernden meteorologischen Verhältnissen sowie Aktivitäten oder Kleidungsparametern. Als Bewertungsgrundlage dient in der Regel der Zeitraum von einem vorgegebenen Anfangszustand bis zum Überschreiten von kritischen Schwellenwerten der Körperparameter Hauttemperatur, Kerntemperatur, Hautbenetzung und Wasserverlust durch Transpiration. Das Modell liefert aber keine Kartendarstellung der Ergebnisse für die Planung wie die von PET und PMV.

2 Aktinischer Wirkungskomplex

Der aktinische Wirkungskomplex behandelt die biologische Wirksamkeit der Strahlung, und zwar für

- Sonnenstrahlung,
- UV-A: 315–400 nm (langwelliges UV): Sofortpigmentierung,
- UV-B: 280–315 nm (mittelwelliges UV): Erythembildung, Pigmentierung, Alterung der Haut usw.,
- UV-C: 100–280 nm (kurzwelliges UV): Zellzerstörung, bakterizide Wirkung.

Der Einfluss des stratosphärischen Ozons auf die verschiedenen UV-Bereiche sowie auf die Verhältnisse im Hochgebirge und am Meer werden beschrieben.

In der Stadt- und Regionalplanung können biologische Wirkungen der kurz- und langwelligen Strahlung allenfalls über den Wärmehaushalt des Menschen berücksichtigt werden.

3 Äußere Einflüsse auf die thermischen Bedingungen in Innenräumen

Der letzte Abschnitt befasst sich mit den äußeren Einflüssen auf die thermischen Bedingungen in Innenräumen, da sich die Menschen unserer Klimazone durchschnittlich 90 % des Tages in geschlossenen Räumen aufhalten, wobei besonders die Nachtstunden eine große Bedeutung für die thermische Beanspruchung des Menschen haben (Abhilfe u.a. durch die Zufuhr nächtlicher Frischluft in Bebauungsgebieten). Eingegangen wird ferner auf die Wechselwirkungen zwischen dem Außenklima und dem Innenraumklima (Wärmedämmung, Luftwechsel, Einstrahlung, Windwirkung) sowie auf Veränderungen durch Fassadenbegrünungen.

Der Anhang A bezieht sich auf die Strahlungstemperatur t_{mrt} , die für das Bewertungsverfahren nach Fanger von Bedeutung ist und die in Innenräumen gewöhnlich der Lufttemperatur entspricht, an besonnten Stellen im Freien jedoch mehr als 30 K höher als die Lufttemperatur sein kann. Die Berechnung von t_{mrt} , die Modellierung und Messung der Strahlungsflüsse sowie die Bestimmung von t_{mrt} mit einem integrierten Messverfahren werden abschließend beschrieben. Zur beigefügten Diskette gibt es nähere Erläuterungen. Die Diskette enthält die Programme von PMV, PET und IMEM, die von der zuständigen Arbeitsgruppe des VDI als begleitendes Informationsmaterial für die Richtlinie freigegeben wurden. Der Anwender erhält damit die direkte Möglichkeit, die Richtlinie nachzuvollziehen und für eigene Messungen die empfohlenen Bewertungskenngrößen zu berechnen.

Die detaillierten Angaben über die Methoden sind von besonderer Bedeutung für alle Büros, Institutionen usw., die Bioklima-Gutachten für die Stadt- und Regionalplanung erstellen und dabei die Ergebnisse dem Stand der Technik und Wissenschaft entsprechend bewerten müssen. Dem auftraggebenden Planer gibt sie Hinweise, welche Anforderungen an derartige Gutachten gestellt werden können, und vermittelt zugleich einen Überblick über die planungsrelevanten Ergebnisse eines speziellen Fachbereiches der Umweltvorsorge und -planung.

Die Bewertung des lufthygienischen Wirkungskomplexes in einer gesonderten VDI-Richtlinie ist zurzeit in Bearbeitung.

*) VDI 3787 Blatt 2, Januar 1998
Umweltmeteorologie. Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung von Klima und Lufthygiene für die Stadt- und Regionalplanung. Teil I: Klima. Ausgabe deutsch/englisch. VDI/DIN-Handbuch Reinhaltung der Luft, Band 1 b. (Zu beziehen durch Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin).

Prof. Dipl.-Met. Hans Schirmer
Körnerstraße 51
63067 Offenbach