

# **Deutsche Meteorologische Gesellschaft e. V.**

## **Fachausschuß „Umweltmeteorologie“**

**in Verbindung mit der Abteilung Reinhaltung der Luft des Instituts für  
Verfahrenstechnik und Dampfkesselwesen der Universität Stuttgart**

# **Fachtagung METTOOLS<sup>IV</sup>**

**3. bis 5. April 2000  
Universität Stuttgart**

## Modellierung der mittleren Strahlungstemperatur in urbanen Strukturen

Andreas Matzarakis, Frank Rutz und Helmut Mayer

### 1. Einleitung

Die mittlere Strahlungstemperatur  $T_{\text{mrt}}$  ist eine der meteorologischen Größen, die die Energiebilanz des Menschen beeinflussen.  $T_{\text{mrt}}$  ist als einheitliche Temperatur einer schwarz strahlenden Umschließungsfläche definiert, die zum gleichen Strahlungsenergiegewinn eines Menschen führt wie die aktuellen, unter Freilandbedingungen meist sehr uneinheitlichen kurz- und langwelligen Strahlungsflüsse. Darauf aufbauende Indizes zur Bewertung der thermischen Komponente des Klimas (VDI, 1998), wie z.B. PMV (*Predicted Mean Vote*) oder PET (*Physiological Equivalent Temperature*), zeigen insbesondere bei Strahlungswetterlagen im Sommerhalbjahr, d.h. bei Wärmebelastung verschiedener Intensität, eine sehr enge Korrelation mit  $T_{\text{mrt}}$ . (MATZARAKIS und MAYER, 1998; MAYER und MATZARAKIS, 1998) Somit weist  $T_{\text{mrt}}$  eine fundamentale thermophysiologische Bedeutung auf. Aus diesem Grund besteht ein großes Interesse an der Bestimmung von  $T_{\text{mrt}}$ .

Im Gegensatz zu ebenem Gelände weisen urbane Strukturen - ein derzeit aktuelles Anwendungsgebiet für die human-biometeorologische Bewertung der thermischen Komponente des Stadtklimas - eine deutliche dreidimensionale Ausprägung auf, die sich nachhaltig auf  $T_{\text{mrt}}$  in der *Urban Canopy Layer* auswirkt.

Nach einem Verfahren von HÖPPE (1992) kann  $T_{\text{mrt}}$  bei human-biometeorologischen Fallstudien über Messungen aller kurz- und langwelligen Strahlungsflüsse, die aus dem Menschen umgebenden Raum stammen, ermittelt werden (u.a. BAUER et al., 1999; MAYER, 1993; MAYER, 1999).  $T_{\text{mrt}}$  lässt sich aber auch aus Strahlungsmodellierungen ableiten, was aufwendige Messungen und die Restriktion auf Fallstudien vermeidet sowie prognostische Analysen, z.B. infolge von Planungsmaßnahmen in der Stadt, ermöglicht.

Nachfolgend wird *RayMan* kurz vorgestellt und anhand exemplarischer Ergebnisse für die Urban Canopy Layer getestet.

### 2. Kennzeichen von *RayMan*

Das Strahlungsmodell *RayMan* wurde am Meteorologischen Institut der Universität Freiburg entwickelt (MATZARAKIS et al., 1999) ursprünglich für Anwendungen in der Stadtklimatologie entwickelt. Das Konzept, auf dem *RayMan* basiert, lässt eine relativ einfache Handhabung selbst bei komplexen urbanen Strukturen zu. *RayMan*

- berechnet Raumwinkelanteile von urbanen Strukturen (z.B. Gebäude, Laub- und Nadelbäume), wobei die Eingabe urbaner Strukturen direkt über ihre geometrische Formen erfolgen kann,
- berechnet Raumwinkelanteile durch freies Zeichnen von Horizonteinengungen oder durch einlesen von vorhandenen *fish-eye* Aufnahmen,
- berücksichtigt näherungsweise Wolken bei der Strahlungsmodellierung,

- berechnet kurz- und langwellige Strahlungsflüsse zum aktuellen Zeitpunkt sowie als Tagesgänge,
- speichert die Grafiken in gängigen Formaten ab,
- berechnet die mittlere Strahlungstemperatur  $T_{mrt}$ .

### 3. Ergebnisse

Als exemplarische Ergebnisse sind in der Abb. 1 vergleichende Ergebnisse aus Modellierungen mit *RayMan* und Messungen dargestellt, die am 19.7.1999 in Freiburg durchgeführt wurden. Sie beziehen sich auf den Meßpunkt 4 innerhalb einer Meßserie zu humanbiometeorologischen Bewertungen von mikroskaligen Stadtstrukturen. Der 19.7.1999 war ein schöner Sommertag, der um die Mittagszeit auftretende Quellbewölkung aufwies. Der Meßpunkt 4 befand sich unter Baumkronen auf einer kleinen Grünfläche im nördlichen Stadtzentrum. Der Überschirmungsgrad betrug aufgrund einer ausgewerteten *fish-eye* Aufnahme 0.88.

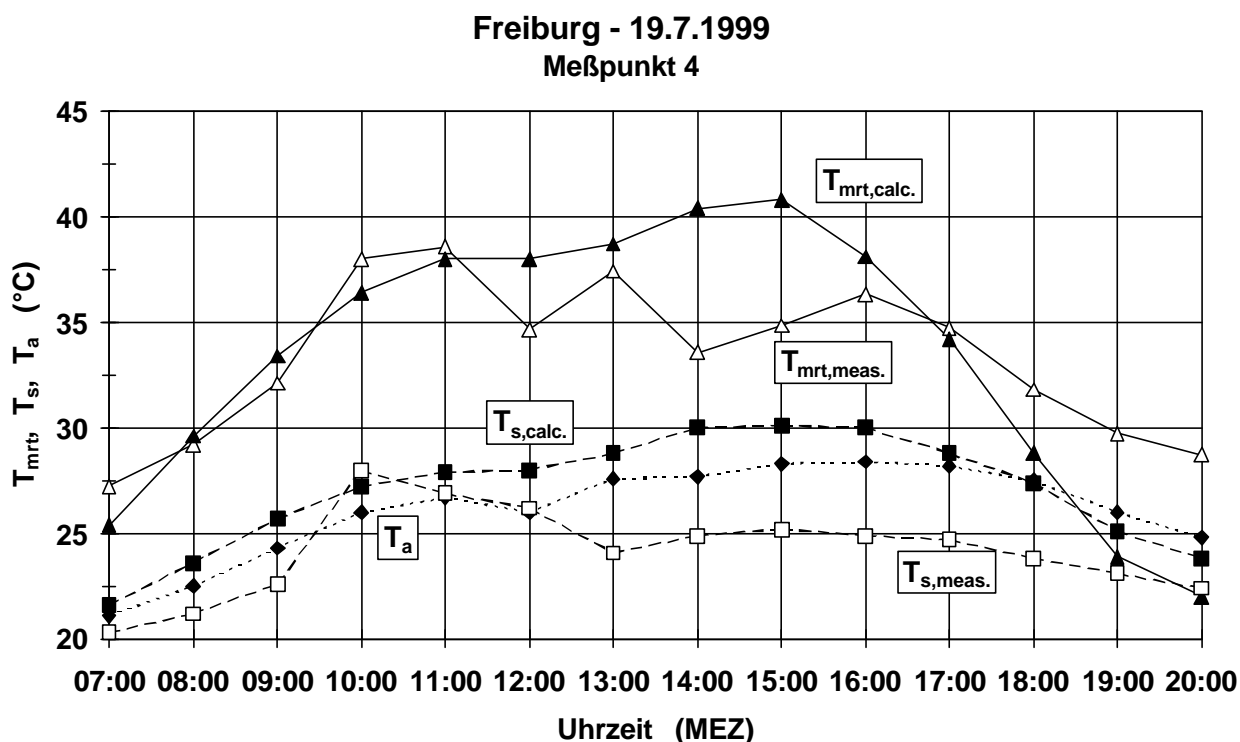


Abb. 1: Tagesgänge von Lufttemperatur  $T_a$ , mittlerer Strahlungstemperatur  $T_{mrt}$  (aus Strahlungsmessungen:  $T_{mrt,meas.}$ ; berechnet über *RayMan*:  $T_{mrt,calc.}$ ) und Bodenoberflächentemperatur  $T_s$  (aus Strahlungsmessungen:  $T_{s,meas.}$ ; berechnet über *RayMan*:  $T_{s,calc.}$ ) an einem schönen Sommertag unter Baumkronen (Überschirmungsgrad: 0.88) auf einer Grünfläche im nördlichen Stadtzentrum von Freiburg; Bezugshöhe für  $T_a$  und  $T_{mrt}$ : 1.1 m Höhe über Grund

Die Ergebnisse in der Abb. 1 zeigen, daß durch *RayMan* die Verläufe der aus Messungen abgeleiteten Bodenoberflächentemperatur  $T_s$  und der mittleren Strahlungstemperatur  $T_{mrt}$  zufriedenstellend wiedergegeben werden. Die Übereinstimmung ist am Vormittag relativ gut, während in den folgenden Stunden größere Differenzen (bis zu 5.1 °C bei  $T_s$  und bis zu 6.8 °C bei  $T_{mrt}$ ) auftreten. Sie dürften einerseits durch die einsetzende Quellbewölkung verursacht sein, deren Berücksichtigung in *RayMan* noch zu verbessern ist, andererseits könnten sie auch ein Effekt der überaus komplexen Strukturen an diesem Meßplatz sein, die ebenfalls in der derzeitigen Version von *RayMan* nicht genügend genau erfaßbar sind. Es besteht aber die begründete Vermutung, daß an Strahlungstagen die Simulation von  $T_s$  und  $T_{mrt}$  über *RayMan* Ergebnisse liefert, die deutlich weniger von vergleichbaren Meßwerten abweichen.

#### 4. Schlußfolgerungen

Das Strahlungsmodell *RayMan*, das noch fortgeschrieben wird, erweist sich bereits in seiner ersten Version als geeignet für mikroskalige Modellierungen von  $T_s$  und  $T_{mrt}$  in der *Urban Canopy Layer*. Obwohl es ursprünglich für Fragestellungen in der Stadtklimatologie konzipiert wurde, ist der Anwendungsbereich von *RayMan* umfassender. *RayMan* ist ein frei verfügbares Modell und kann unter URL: <http://www.mif.uni-freiburg.de/rayman> abgerufen werden.

#### Literatur

- Bauer, B.; Breuste, J.; Matzarakis, A.; Mayer, H., 1999: Micro-meteorological measurements in small urban structures. Proc. 15<sup>th</sup> Int. Congr. Biometeor. & Int. Conf. Urban Climatol., COMBPO1.01, 1-6.
- Höppe, P., 1992: Ein neues Verfahren zur Bestimmung der mittleren Strahlungstemperatur im Freien. - Wetter und Leben **44**, 147-151.
- Matzarakis, A.; Mayer, H., 1998: Investigations of urban climate's thermal component in Freiburg, Germany. Prepr. Second Urban Environment Symposium, November 2-6, 1998, Albuquerque, New Mexico, American Meteorological Society, 140-143.
- Matzarakis, A.; Rutz, F.; Mayer, H., 1999: Estimation and calculation of the mean radiant temperature within urban structures. Proc. 15<sup>th</sup> Int. Congr. Biometeor. & Int. Conf. Urban Climatol., ICB9.2, 1-6.
- Mayer, H., 1993: Urban bioclimatology. *Experientia* **49**, 957-963.
- Mayer, H., 1999: Climatic effects of trees within street canyons. Proc. 15<sup>th</sup> Int. Congr. Biometeor. & Int. Conf. Urban Climatol., COMB6.1, 1-7.
- Mayer, H.; Matzarakis, A., 1998: Human-biometeorological assessment of urban microclimates' thermal component. Proc. 2<sup>nd</sup> Japanese-German Meeting "Klimaanalyse für die Stadtplanung", Research Center for Urban Safety and Security, Kobe University, Special Report No. 1, 155-168.
- VDI, 1998: Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung von Klima und Lufthygiene für die Stadt- und Regionalplanung, Teil I: Klima. VDI-Richtlinie 3787 Blatt 2.