

## MODELLIERUNG DES THERMISCHEN BIOKLIMAS MIT DEM MODELL RAYMAN

A. MATZARAKIS

*Meteorologisches Institut, Universität Freiburg, Deutschland*

### 1 EINLEITUNG

Die human-biometeorologische Bewertung der thermischen Komponente des Klimas kann auf der Grundlage von Energiebilanzmodellen des Menschen erfolgen. Die Schwierigkeit in der Bewertung der thermischen Umgebung des Menschen liegt darin, dass der wichtigste Parameter die mittlere Strahlungstemperatur, vor allem im Sommer, nicht leicht zu bestimmen ist und die Messgeräte dafür sehr teuer sind. Es wird das PC-Modell RayMan zur Bestimmung der mittleren Strahlungstemperatur und thermischen Bewertungsgrößen vorgestellt, welches am Meteorologischen Institut der Universität Freiburg entwickelt wurde. RayMan kann mit wenigen meteorologischen Grundgrößen (Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit und Windgeschwindigkeit) und Informationen der geometrischen Strukturen von städtischen Umgebungen die kurz- und langwellige Strahlungsflüsse sowie die gängigsten thermischen Indizes wie Predicted Mean Vote (PMV), Physiologisch Äquivalente Temperatur (PET) und Standard Effective Temperature (SET\*) berechnen. Zusätzlich können u.a. in Form von Grafiken und Tabellen die Sonnenscheindauer und die Schattenzonen für einfache und komplexe Strukturen für jeden Tag des Jahres auf der Grundlage von topographischen Daten, Fish-Eye Aufnahmen und geo-morphologischen Daten ausgegeben werden.

Es werden Beispiele über die Einsatzmöglichkeiten von RayMan aus der Stadtklimatologie und Angewandten Klimatologie vorgestellt und aufgezeigt.

### 2 METHODEN

Die Bestimmung von  $T_{mrt}$  erfolgt über die dreidimensionale Messung der kurz- und langwelligen Strahlungsflüsse (Höppe, 1992; VDI, 1998). Dabei wird das Untersuchungskonzept mit einem Pyranometer und einem entgegengesetzt ausgerichteten Pyrgeometer verwendet, das in der Abb. 1 schematisch dargestellt ist. Die Kombination aus beiden Strahlungsmeßgeräten lässt sich um eine horizontale und eine vertikale Achse drehen, so dass die kurz- und langwelligen Strahlungsflüsse aus den vier Haupthimmelsrichtungen sowie von oben und unten erfasst werden können. Die langwelligen Strahlungsflüsse aus dem unteren Halbraum werden dabei nachhaltig durch die Oberflächen- bzw. Strahlungsäquivalenttemperaturen beeinflusst, die aus dem Energieumsatz der umgebenden horizontalen und vertikalen Flächen resultieren (u.a. Voogt und Oke, 1997, 1998a, 1998b; Voogt, 2000; Voogt und Grimmond, 2000).

Für die Erarbeitung von Bioklimakarten oder vergleichbaren Kartendarstellungen sowie für die human-biometeorologische Bewertung von planungsbedingten Änderungen der mikroklimatischen Bedingungen ist eine Bestimmung von  $T_{mrt}$  über die experimentell erfaßten Flüsse von kurz- und langwelliger Strahlung nicht mehr möglich. Vielmehr muß  $T_{mrt}$  über geeignete Verfahren modelliert werden. Eine Möglichkeit dafür liegt in der Anwendung des Modells RayMan (Abb. 2 und 3), das am Meteorologischen Institut der Universität Freiburg entwickelt wurde (Matzarakis et al., 2000) und dessen Software frei verfügbar ist (<http://www.mif.uni-freiburg.de/rayman>). Über die sich so bildende Benutzergruppe lässt sich eine ständige Optimierung von Software und graphischer Bildschirm-Darstellung erzielen.

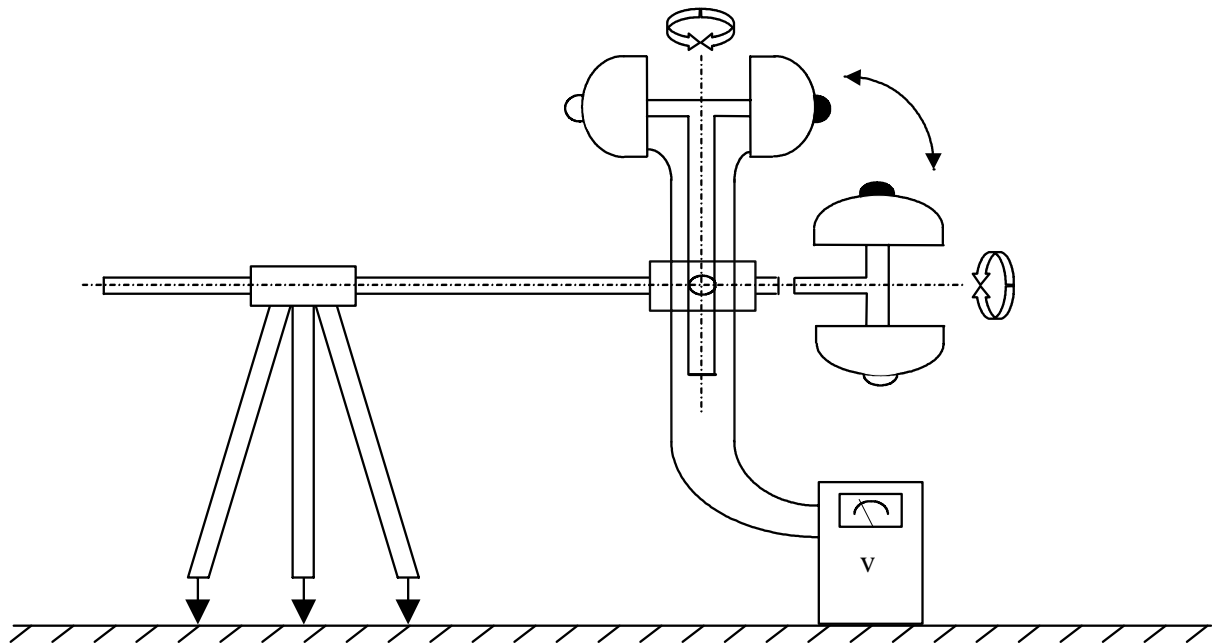


Abbildung 1: Anordnung zur räumlichen Erfassung von kurzwelligen Strahlungsflüssen über den Einsatz eines drehbaren Pyranometer-Pyrgeometer-Messsystems

Der Kern von RayMan ist die Simulation der kurz- und langwelligen Strahlungsflüsse u.a. nach der VDI-Richtlinie 3789 Blatt 1 (VDI, 1994). Dafür werden neben Angaben zu Datum und Zeit sowie geographischer Lage des Untersuchungsortes Informationen über Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Bedeckungsgrad des Himmels und Lufttrübung benötigt. Zusätzlich sollte die Albedo der Umschließungsflächen und ihre Raumwinkelanteile bekannt sein (Matzarakis, 2001). Die Berechnung von  $T_{mrt}$  aus den modellierten Strahlungsflüssen berücksichtigt die Aufteilung der kurzwelligen Strahlungsflüsse nach direkter Sonnenstrahlung und diffuser Himmelsstrahlung (VDI, 1998). Durch die Einbeziehung von Daten für die

- meteorologischen Größen Lufttemperatur, Dampfdruck und Windgeschwindigkeit
- personenbezogenen Parameter Körpergröße, Gewicht, Alter, Geschlecht, Wärmedurchgangswiderstand der Bekleidung und Aktivität

lassen sich über RayMan auch die thermischen Indizes PMV, PET und SET\* berechnen.

Ein zentrales Problem bei der Berechnung von  $T_{mrt}$  innerhalb von urbanen Strukturen besteht in der Quantifizierung der Abschirmung von direkter Sonnenstrahlung und diffuser Himmelsstrahlung durch Relief, Bebauung und Vegetation, d.h. in der exakten Ermittlung des aktuellen *sky view factors*. Zur Eingabe der dafür notwendigen Daten verfügt RayMan über verschiedene Optionen:

- Fenster zur Eingabe von topographischen Daten (Abb. 4),
- Fenster zur Eingabe von Daten über Horizonteinengungsobjekte (Abb. 5) in Form von Gebäuden, Laubbäumen oder Nadelbäumen,
- Fenster zum Einlesen von *Fish-eye* Aufnahmen oder freiem Zeichnen von Umgebung und urbanen Strukturen (Abb. 6) und
- Fenster zum Einlesen von meteorologischen Daten.

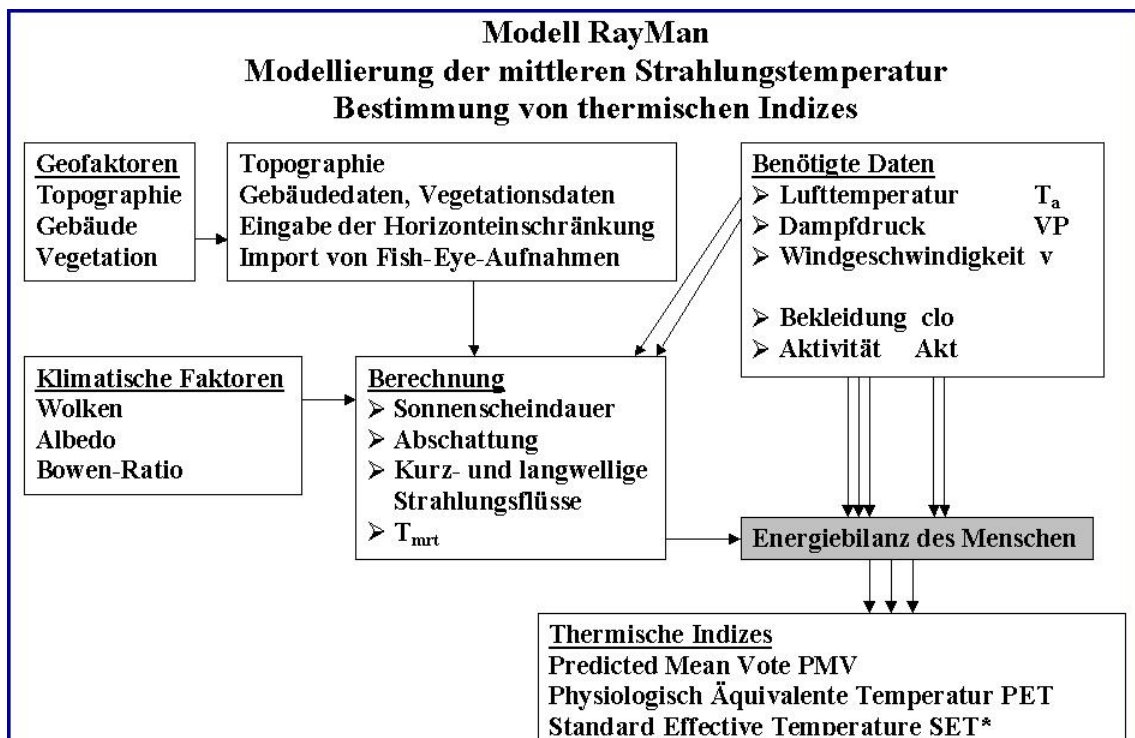


Abbildung 2: Schematischer Aufbau des Modells RayMan

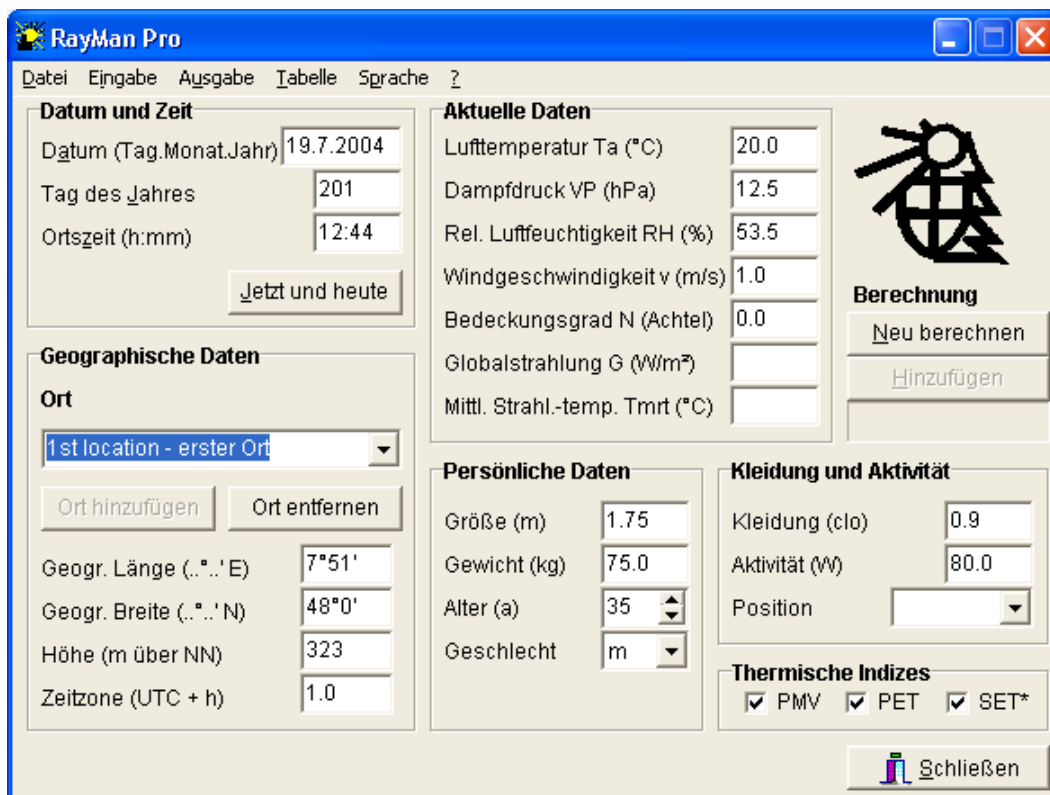


Abbildung 3: Graphische Oberfläche der WINDOWS-Version des Modells RayMan

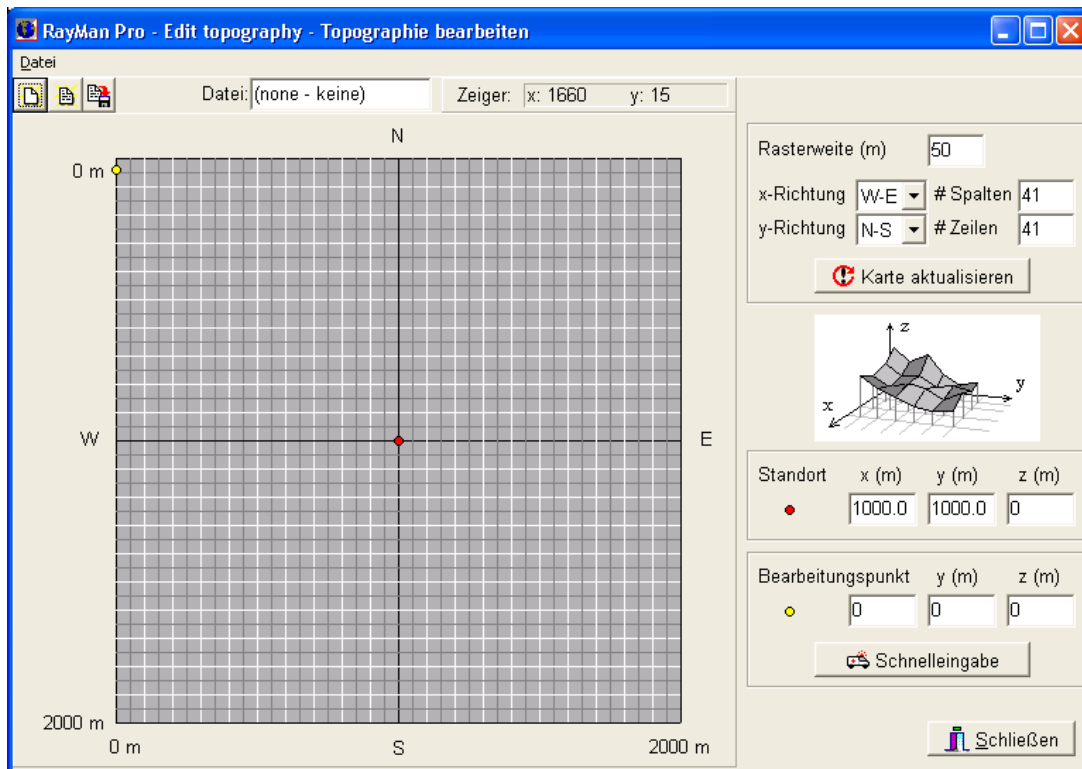


Abbildung 4: Graphische Oberfläche des Modells RayMan zur Eingabe von topographischen Daten

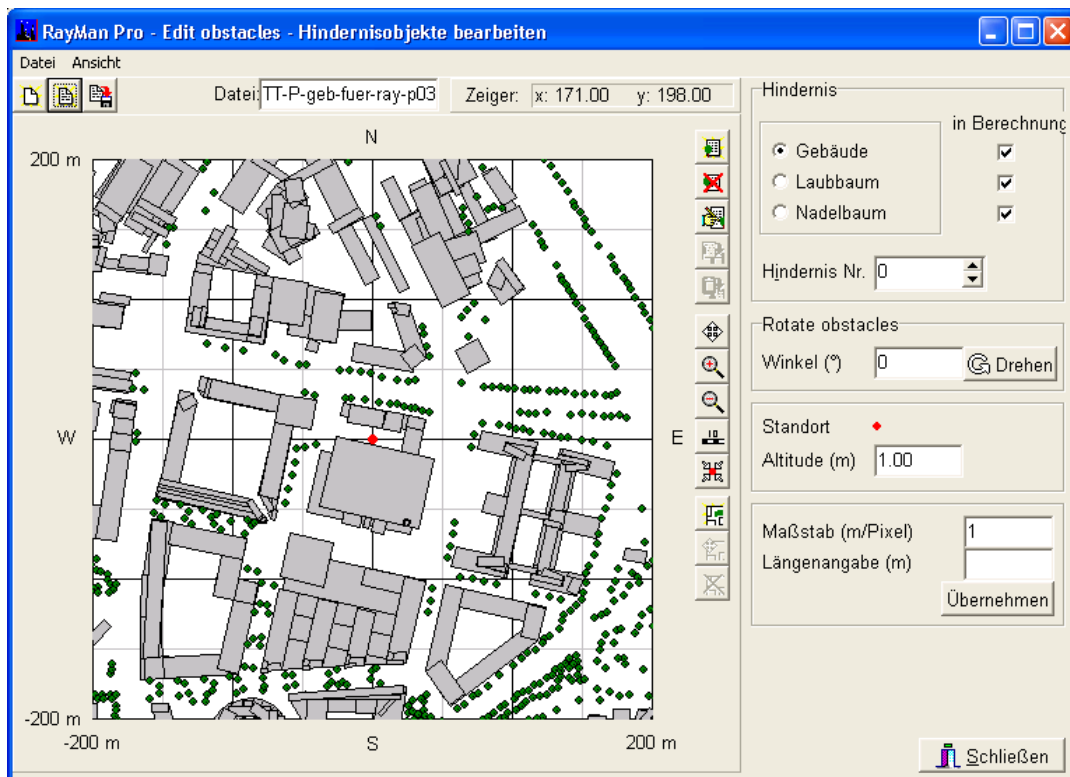


Abbildung 5: Graphische Oberfläche des Modells RayMan zur Eingabe von Daten über Horizonteinengungsobjekte

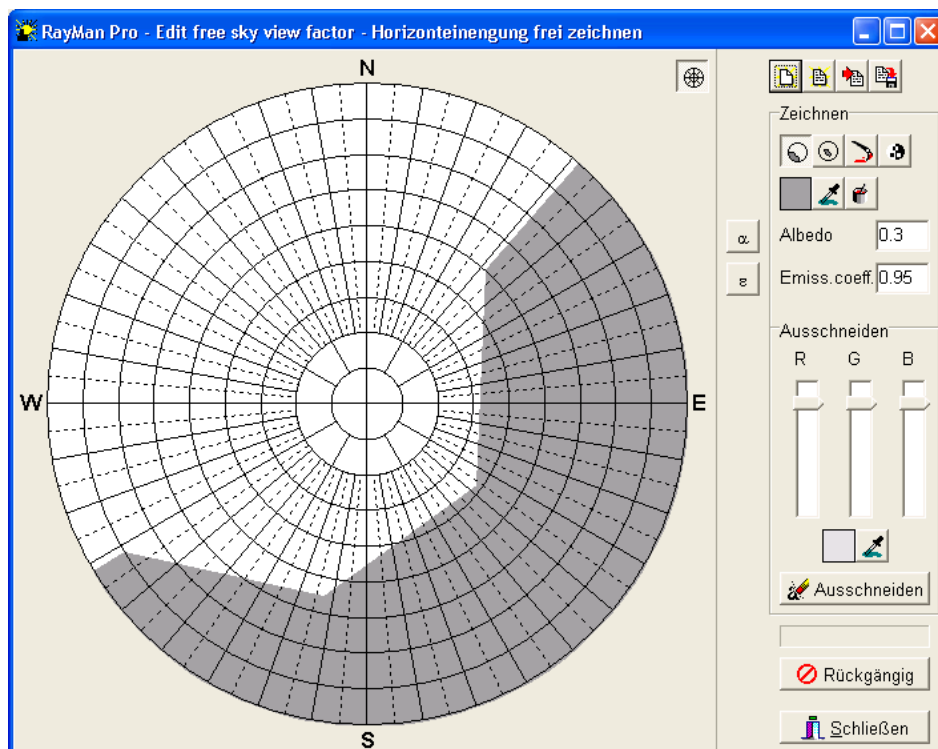


Abbildung 6: Graphische Oberfläche des Modells RayMan zum Einlesen von *Fish-eye* Aufnahmen oder freiem Zeichnen von Umgebung und urbanen Strukturen

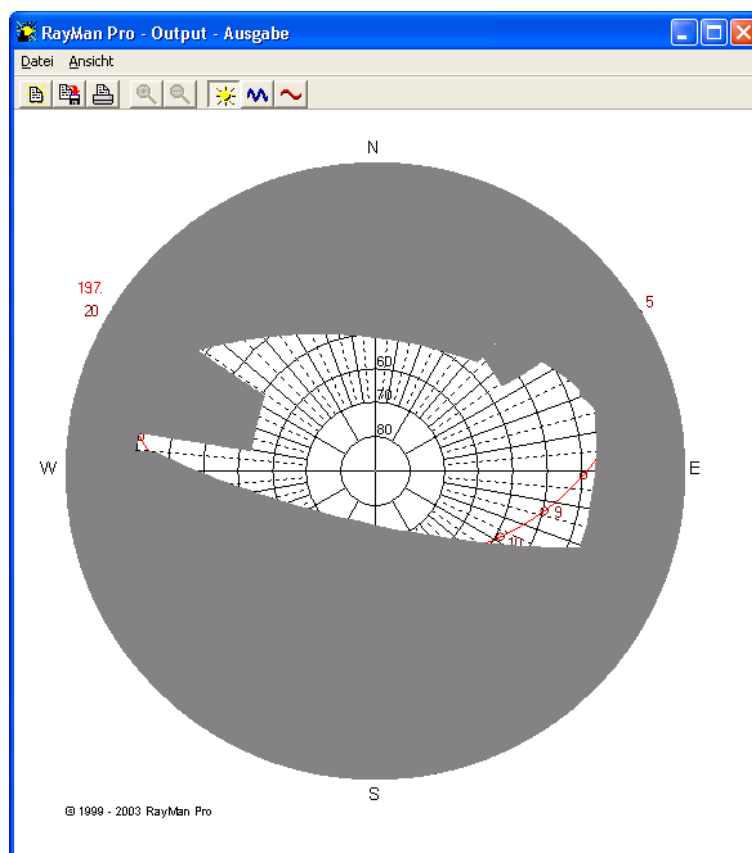


Abbildung 7: Beispiel für Horizonteneigungen durch Gebäude und Bäume sowie Verlauf der Sonnenbahn für eine urbane Struktur am 19.7.2004

### 3 ERGEBNISSE

In der Abb. 7 ist als Teilergebnis der Anwendung von RayMan die Darstellung von Horizont-einengungen durch Gebäude und Bäume sowie des Verlaufs der Sonnenbahn für eine urbane Struktur enthalten. Derartige Informationen und Ergebnisse können nicht nur in Form von Grafiken, sondern auch in Tabellen ausgegeben werden, die wiederum als ASCII-Datensätze abgespeichert und in gängige Tabellenkalkulationsprogramme importiert werden können.

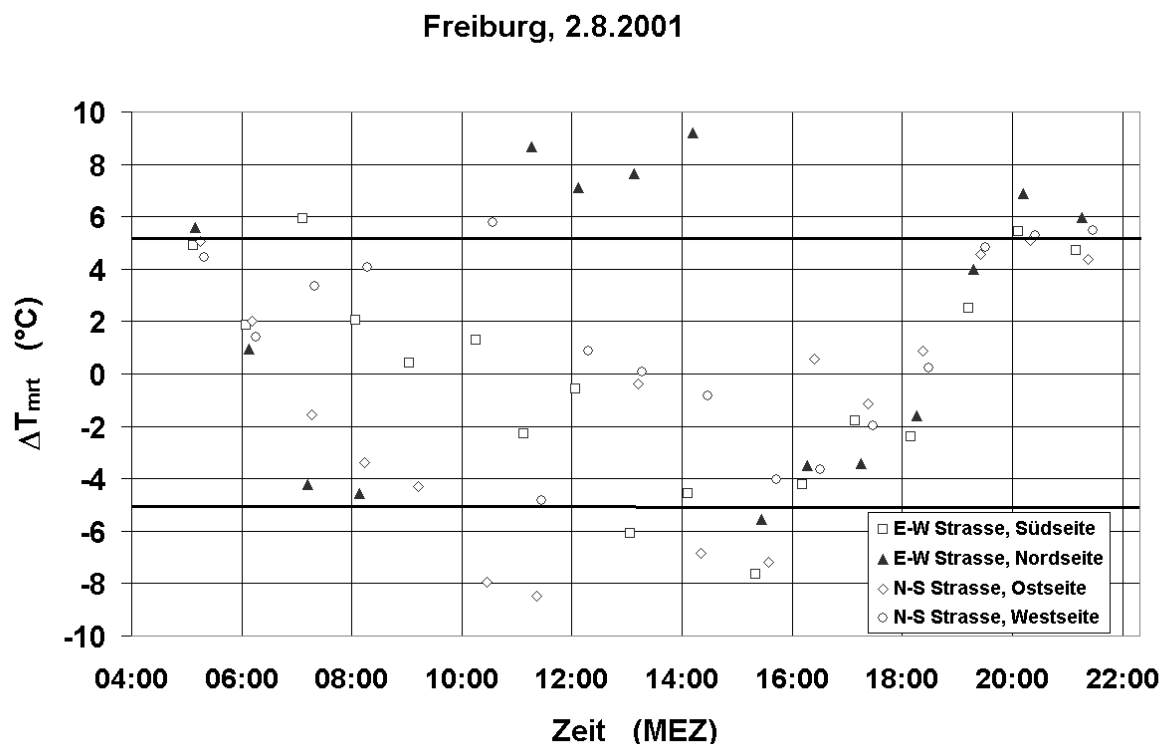


Abbildung 8: Differenzen der mittleren Strahlungstemperatur zwischen Messung und Modellierung mit RayMan am 2.8.2001 in unterschiedlich orientierten Straßenschluchten in Freiburg

Die Ergebnisse der Simulation von  $T_{mrt}$  über RayMan konnten anhand von experimentell ermittelten  $T_{mrt}$ -Werten aus den Messungen am 2. August 2001 in Freiburg (Abb. 8) überprüft werden. Obwohl sie in einer vergleichsweise komplexen Stadtstruktur erfolgten, waren die Unterschiede zwischen den  $T_{mrt}$ -Werten aus RayMan und aus den Messungen in einem akzeptablen Bereich, der bei hohen  $T_{mrt}$ -Werten unterhalb von 5 °C lag. Höhere Differenzen können durch die Albedo der Oberflächen sowie durch die Schwierigkeit der Positionierung/Justierung der Fish-Eye-Aufnahmen sowie der Gebäudeeingaben.

### 4 DISKUSSION

Die Modellierung der kurz- und langwelligen und der daraus resultierenden mittleren Strahlungstemperatur  $T_{mrt}$  ist von Bedeutung bei der Bestimmung des thermischen Bioklimas für einfache und komplexe Umgebungen. Für die Bestimmung der  $T_{mrt}$  für Zwecke aus der angewandten Klimatologie z.B. ist es ausreichend über einfache Annahmen der umgebenden Oberflächeneigenschaften die Bestimmung die  $T_{mrt}$  durchzuführen. Sobald die Umgebungen kompliziert werden und der Sky-View-Faktor komplex und die Oberflächen gemischt (Vegetation, Gebäude) sind und zusätzlich mehrfache Reflexion der kurzwelligen Strahlung auftritt, wird die Bestimmung der  $T_{mrt}$

ziemlich schwierig. Die hier aufgetretenen Abweichungen lassen sich reduzieren, wenn in den folgenden Versionen von RayMan die Strahlungsumsätze von vertikalen Flächen und damit zusammenhängende multiple Reflexionsprozesse exakter simuliert werden. Die Validierung solcher Modelle mit Messung ist unerlässlich.

#### LITERATUR

- Höppe, P., (1992) Ein neues Verfahren zur Bestimmung der mittleren Strahlungstemperatur im Freien. *Wetter und Leben* 44, 147-151.
- Matzarakis, A. (2001) Die thermische Komponente des Stadtklimas. *Ber. Meteor. Inst. Univ. Freiburg* Nr. 6.
- Matzarakis, A.; Rutz, F.; Mayer, H. (2000) Estimation and calculation of the mean radiant temperature within urban structures. In: *Biometeorology and Urban Climatology at the Turn of the Millenium* (ed. by R.J. de Dear, J.D. Kalma, T.R. Oke and A. Auliciems): *Selected Papers from the Conference ICB-ICUC'99*, Sydney. WCASP-50, WMO/TD No. 1026, 273-278.
- VDI (1994) *Wechselwirkungen zwischen Atmosphäre und Oberflächen: Berechnung der kurz- und langwelligen Strahlung*. VDI-Richtlinie 3789 Blatt 2.
- VDI (1998) *Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung von Klima und Lufthygiene für die Stadt- und Regionalplanung*, Teil I: Klima. VDI-Richtlinie 3787 Blatt 2.
- Voogt, J.A.; Oke, T.R. (1997) Complete urban surface temperatures. *J. Appl. Meteorol.* 36, 1117-1132.
- Voogt, J.A.; Oke, T.R. (1998a) Radiometric temperatures of urban canyon walls obtained from vehicle traverses. *Theor. Appl. Climatol.* 60, 199-217.
- Voogt, J.A.; Oke, T.R. (1998b) Effects of urban surface geometry on remotely-sensed surface temperature. *Int. J. Remote Sens.* 19, 895-920.
- Voogt, J.A.; Grimmond, C.S.B . (2000) Modeling surface sensible heat flux using surface radiative temperatures in a simple urban area. *J. Appl. Meteorol.* 39, 1679-1699.
- Voogt, J.A.; Oke, T.R. (1997) Complete urban surface temperatures. *J. Appl. Meteorol.* 36, 1117-1132.