

## MIKROKLIMASIMULATION ERGÄNZEND ZUR GEBÄUDESIMULATION

Prof. Dr. Michael Bruse<sup>1</sup>, Dr.-Ing. Heide Schuster<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Environmental Modelling Group, Geogr. Institut, Johannes-Gutenberg-Universität Mainz

<sup>2</sup>WSGreenTechnologies, Albstraße 14, 70597 Stuttgart

### KURZFASSUNG

Die Zielsetzung des energiesparenden, nachhaltigen Bauens ist, eine im Einklang mit Aspekten des Umweltschutzes, mit minimiertem Material- und Energieaufwand, wirtschaftlich vertretbare, gesunde, behagliche sowie sozial-kulturell ansprechende gebaute Umwelt zu realisieren. Diese Art der ganzheitlichen Betrachtung ist neu und erweitert die rein auf das Gebäude bezogene Sichtweise auf das städtische Umfeld und deren Auswirkungen auf die Einzelgebäude. Die hier vorgestellte Studie stellt den Einsatz von Mikroklimasimulationen im Rahmen von städtebaulichen Entwürfen vor. Die Interaktion von Stadtklima und Gebäude beeinflusst sowohl die Heiz- und Kühllast von Gebäuden als auch den Komfort im Außenbereich. Simulationen bieten die Möglichkeit, während der Planungsphase verschiedene Szenarien zu untersuchen und hieraus den optimalen Entwurf auszuwählen. Anhand eines Projektbeispiels in Dubai (VAE) wird der Einsatz eines Mikroklima-modells zur Optimierung des Städtebaus verdeutlicht.

### ABSTRACT

Task of energy efficient and sustainable building design is to realize a built environment under the aspects of environmental protection, minimised energy and material consumption and comfortable socio-cultural surroundings. This holistic way of investigating the built environment implicates the expansion of the building related aspects into the urban surrounding environment. This study presents the integration of microclimate simulations for planning purposes of urban developments. The fact that local climate conditions and buildings interact with each other has consequences both for the heating and cooling load of buildings but also for the thermal comfort of pedestrians. As an example a project in Dubai (UAE) will be introduced using microclimatic modelling for the analysis of shading and outdoor thermal comfort of pedestrians.

### EINLEITUNG

Die thermische und energetische Dynamik von Gebäuden nach dem Niedrig- oder Nullenergiestandard besitzt eine hohe Abhängigkeit von den

mikroklimatologischen Bedingungen entlang der Gebäudehülle. In städtischen Gebieten hängen Temperatur-, Strahlungs- und Windverhältnisse nicht nur vom Gebäude selbst, sondern in hohem Maß auch von der Struktur der näheren Umgebung ab. Art und Farbe der verwendeten Bau- und Bodenmaterialien sowie die Ausrichtung und Anordnung von Gebäuden, Vegetation und anderen Objekten spielen hierbei eine entscheidende Rolle. Eine aussagekräftige Energiebilanz des Gebäudes kann daher bestimmt werden, wenn die tages- und jahreszeitlichen Randbedingungen an den Fassaden unter Berücksichtigung des vielfach rückgekoppelten Mikroklimas im Außenbereich berücksichtigt werden.

### HINTERGRUND

Je nach Materialbeschaffenheit absorbieren Dächer und Fassaden von Gebäuden die eingehende Sonneneinstrahlung mehr oder weniger stark. Durch den Einsatz von hochreflektierenden Materialien kann der Anteil der absorbierten solaren Einstrahlung verringert und so geringere Oberflächentemperaturen erreicht werden. Dies ist insofern wichtig, als dass die Albedo direkten Einfluss auf die Energiebilanz eines Gebäudes hat. So konnte durch den Anstieg der Albedo eines Daches von 0,2 auf 0,78 eine Verringerung des Kühlenergieverbrauchs von 78% erreicht werden (Santamouris, 2001a). Aber auch die Windverhältnisse spielen bei der Planung von Gebäuden eine wichtige Rolle, insbesondere bei der passiven Kühlung und natürlichen Lüftung (Santamouris, 2001b). Die Simulation der Gebäudeaußenbedingungen beschränkt sich meist auf Berechnung der Gebäudeumströmung und des solaren Energieeintrages. Um Auswirkungen benachbarter Gebäude und Vegetation auf die mikroklimatischen Bedingungen abschätzen zu können, ist der Einsatz von dynamischen, instationären Mikroklimamodellen sinnvoll.

### MIKROKLIMASIMULATION

Die Interaktion zwischen Gebäuden und Mikroklima kann mit dem dreidimensionalen numerischen Simulationsmodell ENVI-met (Bruse und Fler, 1998, [www.envi-met.com](http://www.envi-met.com)) dargestellt und analysiert werden. ENVI-met ist ein dreidimensionales gekoppeltes Strömungs- Energiebilanzmodell. Die

physikalischen Grundlagen basieren auf den Gesetzen der Strömungsmechanik, der Thermodynamik und der Atmosphärenphysik.

Um eine Gebäudestruktur untersuchen zu können, müssen alle Elemente wie Gebäude, Vegetation und Oberflächen durch rechtwinklige Gitterboxen approximiert werden. Die räumliche Auflösung einer einzelnen Box liegt zwischen 0,5 und 10 m, so dass auch komplexe Gebäudestrukturen erfasst werden können. Die so entstandenen Strukturen werden anschließend numerisch von Wind durchströmt und von der Sonne beschienen. Durch die Wechselwirkungen von Sonne und Schatten und durch die unterschiedlichen physikalischen Eigenschaften der Materialien (spezifische Wärme, Reflexionseigenschaften, Feuchte) entwickeln sich im Laufe eines simulierten Tages im Modell unterschiedliche Oberflächentemperaturen, die ihrerseits in Abhängigkeit vom Windfeld ihre Wärme und/oder Feuchte mehr oder minder stark an die Luft abgeben.

Durch die Wechselwirkungen mit der Umgebung schaffen Gebäude ein lokales Mikroklima im Außenbereich, dass zum Teil erheblich von den durchschnittlichen Standortbedingungen abweicht. Verwendet man die mit ENVI-met simulierten hochauflösenden Klimadaten als Eingangswerte für thermische Gebäudesimulationen, so kann dieser Feedbackschleife Rechnung getragen werden und die Simulationsergebnisse verbessert werden.

Auf Basis der mit ENVI-met generierten Mikroklimadaten kann mit Hilfe des Multiagenten-Systems BOTworld (Bruse, 2007) der thermische Komfort von Passanten im Außenbereich simuliert werden. Hierzu wird das Untersuchungsgebiet mit Hilfe von computergenerierten Menschen (den Agenten bzw. „BOTS“) virtuell zum Leben erweckt und das thermische Empfinden der einzelnen Agenten simuliert. Mit Hilfe von Methoden aus der Künstlichen Intelligenz kann so auch für nur virtuell existierende Gebiete simuliert werden, wie die anvisierten zukünftigen Nutzer das Mikroklima und die thermischen Bedingungen empfinden.

### OPTIMIERUNG DES MIKROKLIMAS IM STÄDTEBAU – EIN PRAXISBEISPIEL

Inmitten von Dubai, Vereinigte Arabische Emirate, am Persischen Golf, wird derzeit ein ca. 15 ha großes Bauprojekt mit insgesamt 22 Gebäuden geplant und realisiert. Das Projekt wird nach LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) zertifiziert. Neben dem Einsatz von Simulationstools für die Optimierung von Energiebedarf, Beleuchtung und Verschattung wurde, aufgrund des städtebaulichen Hintergrunds, der extremen meteorologischen Verhältnisse (über 45°C im Sommer, tlw. bis 80% Luftfeuchte, heißer Wind aus der Wüste) und der Vorgabe, ein lebendiges Straßenleben im

Planungsgebiet zu ermöglichen, eine Mikroklima- und Außenkomfortsimulation durchgeführt. Durch

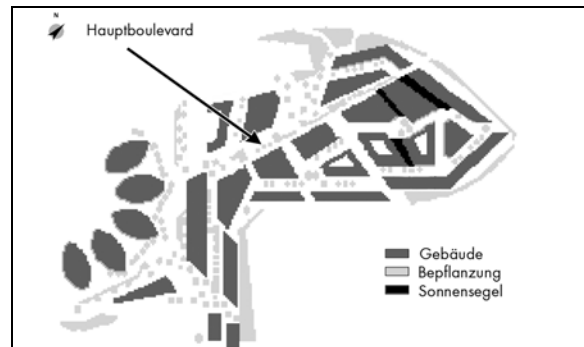


Abbildung 1 Modellgebiet Dubai Crystal

die Optimierung von Städtebau und Gestaltung konnte die Verschattung durch Gebäude sowie nicht verschattete Bereiche durch entsprechende gestalterische Mittel korrigiert, der thermische Komfort für Passanten verbessert und der Wärmeeintrag minimiert werden.

#### **Randbedingungen der Simulation**

Mit ENVI-met wurden verschiedene Planungsszenarien simuliert. Im Szenario Status Quo (SQ) wurde zunächst nur die Gebäudestruktur ohne landschaftsarchitektonische Elemente simuliert; V2 zeigt die optimierte Version (Abb. 1) anhand einer typischen Landwind-Situation (Simulationen für 01. Juli über 24 Stunden mit Abb. Um 14Uhr).

#### **Ergebnisse: Lufttemperatur $T_a$**

Während außerhalb des Untersuchungsgebietes Temperaturen bis zu 44°C vorherrschen, sinkt sie durch Eigenverschattung der Gebäude sowie durch den Einsatz von Bäumen, Wasserflächen und Sonnensegeln auf bis zu 35,5°C (Abb. 2).

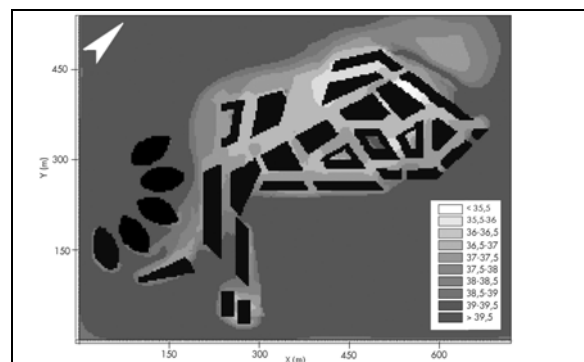


Abbildung 2 Verteilung der Lufttemperatur  $T_a$  in °C

Abbildung 3 zeigt die Verteilung der Lufttemperatur in einem Querschnitt durch zwei der Gassen des Untersuchungsgebietes. Aufgrund des gespannten Sonnensegels sinkt in der unteren Darstellung die Lufttemperatur in Bodennähe von 39,1°C auf

35,5°C. Die Strahlungstemperatur (o. Abb.) sinkt im Straßencanyon von 75°C auf ca. 50°C.

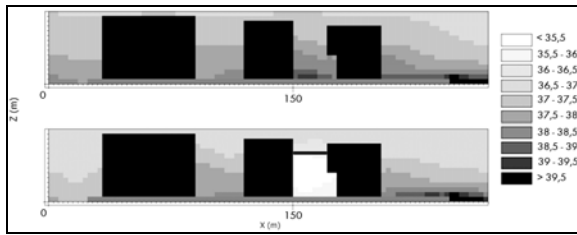


Abbildung 3 Verteilung  $T_a$  in Gasse ohne (oben) und mit (unten) Sonnensegel

### Windverhältnisse

Die Strömungssituation für das Untersuchungsgebiet ist in Abbildung 4 dargestellt. Der heiße Wüstenwind strömt aus Süden ein. Daher wurde das Gebiet weitgehend geschützt und durch Bepflanzung und Verschattung ein eigenes Mikroklima geschaffen.

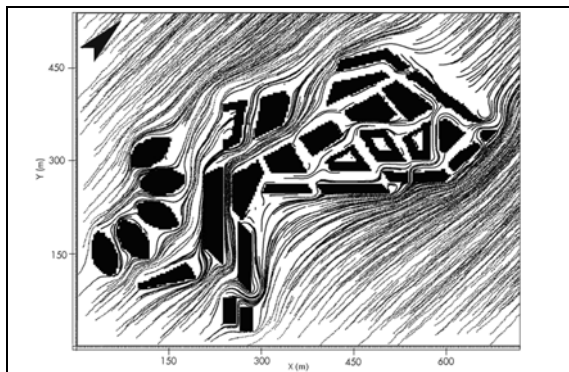


Abbildung 4 Windströmung

### Bewertung des Komforts mit Hilfe von Agenten

Durch die Simulation mit BOTworld kann u.a. eine räumliche Bewertung des Gebietes durchgeführt werden. Abbildung 5 zeigt als Beispiel den mittleren Unterschied der Agentenbewertung zwischen den Szenarios SQ und V2. Die Bewertungen ergeben sich aus dem Zusammenspiel zwischen dem

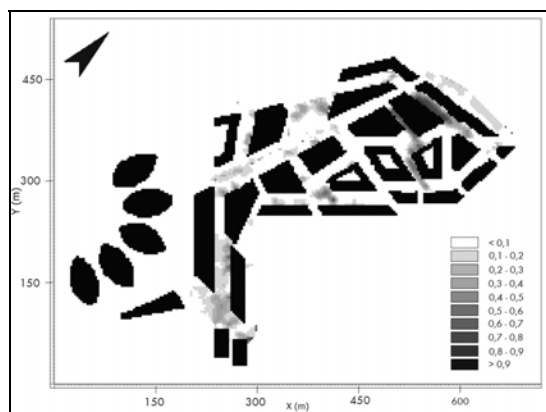


Abbildung 5 Veränderung der Bewertung zwischen Szenario SQ und V2

thermischen Zustand der Agenten auf der einen Seite und der klimatischen Situation auf der anderen. Bewertungen zwischen 0 und +1 zeigen eine positive Rückmeldung der Agenten bezüglich ihres thermischen Empfindes und dem angebotenen Mikroklima an, während Werte zwischen 0 und -1 auf eine unpassende Konstellation hinweisen. Im konkreten Fall zeigt sich deutlich, dass große Teile des Untersuchungsgebiets nach der Gestaltung als angenehmer bewertet werden.

### Einfluss auf die Gebäudeperformance

Untersuchungen des städtebaulichen Layouts auf die Gebäudeperformance ergaben, dass aufgrund des engen städtischen Layouts ca. 5% des Kühlenergiebedarfs im Gegensatz zu einem konventionellen Städtebau eingespart werden können (Vergleich Standardgebäude mit 40% Glasanteil ohne Verschattung).

### ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Der Einfluss des Mikroklimas auf Gebäude und umgekehrt kann durch Simulationen bereits am Beginn der Planung untersucht werden. Je nach Anforderung und Standort können städtebauliche Entwürfe aber auch die Wahl der Oberflächenmaterialien, der Bepflanzung und sonstiger landschaftsgestalterischer Elemente entsprechend optimiert werden, um eine Verbesserung der Nutzbarkeit von Außenräumen zu erlangen oder Kühllasten zu senken. Das vorgestellte Praxisbeispiel zeigt deutlich das Verbesserungspotential, die das frühzeitige Einbeziehen einer Mikroklimabetrachtung auf die Planung haben kann. Die Schnittstellen von Mikroklima, städtischem Umfeld und der Gebäudeperformance wurden bisher nur wenig untersucht. Hier bietet sich ein großes Potential an Verbesserungen.

### LITERATUR

- Bruse, M.; Fleer, H. (1998): Simulating surface-plant-air interactions inside urban environments with a three-dimensional numerical model. In: Environmental modelling and software. 13 (3): 373-384, [www.envi-met.com](http://www.envi-met.com)
- Bruse, M. (2007): Simulating human thermal comfort and resulting usage patterns of urban open spaces with a multi-agent system. In: Proc. 24th Conference on Passive and Low Energy Architecture (PLEA2007), 699-706
- Santamouris, M. (2001a): The energy impact of the urban environment. In: Santamouris, M. (Hrsg.): Energy and Climate in the urban built environment. London: 97-109
- Santamouris, M. (2001b): Appropriate Materials for the urban environment. In: Santamouris, M. (Hrsg.): Energy and Climate in the urban built environment. London: 160-181