

Der Künstliche Himmel an der HFT Stuttgart - Leistungsfähigkeit und Grenzen

S. Fiedler*, D. Kesten**, A. Löffler*, U. Eicker**

*Hochschule für Technik Stuttgart, Fakultät Architektur und Gestaltung

**Hochschule für Technik Stuttgart, zafh.net

Schellingstraße 24, 70174 Stuttgart

Tel.: (0049-711) 8926-2876, Fax.: (0049-711) 8926-2698

sebastian.fiedler@hft-stuttgart.de

Internet: <http://www.hft-stuttgart.de>, <http://www.zafh.net>

1. Einleitung

Im Forschungsprojekt „Optimierung von Fassadensystemen zur Erhöhung der Tageslichtnutzung und Reduzierung der sommerlichen Kühllasten von Gebäuden“ werden unter anderem die Leistungsfähigkeit und die Grenzen des Werkzeugs Künstlicher Himmel untersucht. Es wird von der Fakultät für Architektur und Gestaltung in enger Zusammenarbeit mit dem Zentrum für angewandte Forschung an Fachhochschulen – Nachhaltige Energietechnik (zafh.net) an der Hochschule für Technik Stuttgart (HFT Stuttgart) im Rahmen des Zukunftssicherungsprogramms Fachhochschulen und Berufsakademien der LANDESSTIFTUNG Baden-Württemberg durchgeführt.

Ein Ziel des Forschungsprojektes ist es, verlässliche Aussagen über die erforderliche Modellgenauigkeit in Architektur- und Simulationsmodellen, als Funktion der gewünschten Genauigkeit der energetischen Bewertung, zu treffen. Hierzu ist es notwendig die Fehlerquellen in den Modellen und Prüfständen zu isolieren und die Größe der daraus resultierenden Messfehler zu quantifizieren.

Um dieses Ziel für die Untersuchung von Architekturmodellen im Künstlichen Himmel der HFT Stuttgart zu erreichen wurde im Rahmen des Projektes eine Methodik entwickelt, die durch stufenweise vergleichende Messungen die Betrachtung einzelner Faktoren ermöglicht.

2. Der Künstliche Himmel an der HFT Stuttgart

Der Künstliche Himmel an der Hochschule für Technik Stuttgart (HFT Stuttgart) ist ein intuitives und vielseitig einsetzbares Werkzeug für die Tageslichtplanung.

Unter einer transluzenten Kuppel mit einem Durchmesser von ca. 4,20 m kann mit Hilfe von 360 stufenlos dimmbaren Leuchtstofflampen mit hoher Farbwiedergabequalität und einer dem Tageslicht entsprechenden Farbtemperatur von 6000 Kelvin nahezu jede beliebige Himmelssituation nachgestellt werden. Das direkte Sonnenlicht liefert eine Halogenlampe mit einem Parabolspiegel, der an einem Schwenkarm befestigt im Höhenwinkel und Azimut verfahren werden kann. So können sowohl diskrete Zeitpunkte statisch, wie auch Tages- oder Jahresverläufe dynamisch nachgebildet werden.

Die Bandbreite der Einsatzmöglichkeiten des Künstlichen Himmels erstreckt sich von Verschattungsstudien im städtebaulichen Maßstab über Messungen der Beleuchtungsstärke in einzelnen Räumen bis hin zu Untersuchungen der Leuchtdichtevertelung an der Innenseite von Fassaden.

Im Gegensatz zu rechnergestützten Simulationen, die eine genauere Eingabe der Geometrien und Materialeigenschaften erlauben, stehen bei der Untersuchung von Modellen unter dem Künstlichen Himmel die Ergebnisse sofort zur Verfügung. Aufwändige Eingaben und lange Rechenzeiten entfallen. Dies ermöglicht ein intuitives Entwerfen in Varianten, wie es der Arbeitsweise vieler Planer und vor allem auch den Anforderungen in der Lehre entspricht.

3. Methodik

Um die Genauigkeit der Messungen im künstlichen Himmel zu quantifizieren wurde in einem realen Gebäude ein Testraum ausgebaut, der sich durch einfache Geometrien und Materialien kennzeichnet. Auf einem Gestell vor dem Testraum können wahlweise drei verschiedene Fassadensysteme, eine zweigeteilte Jalousie mit Lichtlenkfunktion im oberen Bereich, Großlamellen oder ein Lichtschwert, montiert werden. Von diesem Testraum einschließlich der drei Fassadensysteme wurden Modelle in verschiedenen Maßstäben (1:10, 1:20, 1:50) und unter Verwendung verschiedener Materialien (Originalmaterialien und im Rahmen des

Projektes kalibrierte Modellbaumaterialien) gebaut. Kleine Photometerköpfe mit einem Durchmesser von ca. 2 cm ermöglichen die Messung von Beleuchtungsstärken in den Modellen und eine Leuchtdichtekamera mit dazugehöriger Software die Aufnahme und Auswertung der Leuchtdichteverteilungen des realen Himmels zu einem beliebigen Zeitpunkt.

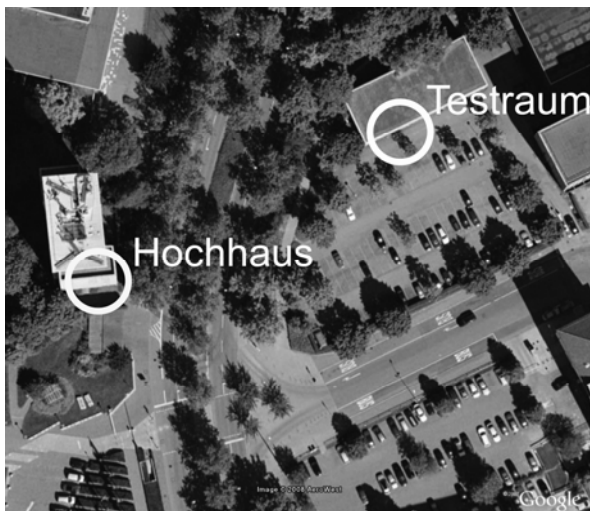


Abb.1 Standort Messungen (Quelle: GoogleEarth)

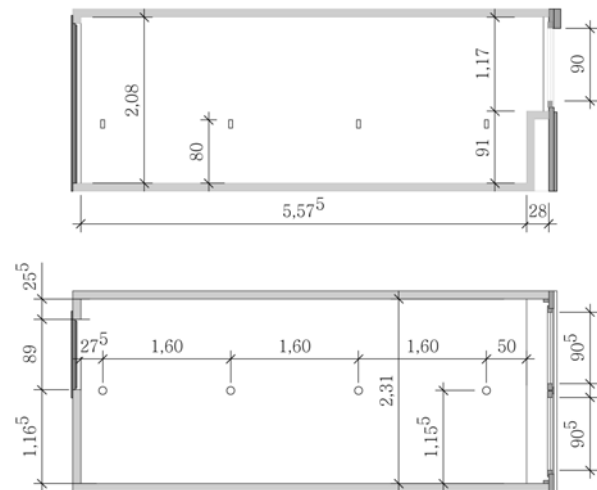


Abb.2 Schnitt und Grundriss Testraum

In einem ersten Schritt werden Messungen von Beleuchtungsstärken in einem realen Testraum mit gleichzeitig vorgenommenen Messungen in einem Modell dieses Testraums verglichen. Da Testraum und Modell gleichzeitig unter natürlichem Himmel (NH) gemessen werden, gelten für sie dabei dieselben Beleuchtungsbedingungen. Die Leuchtdichteverteilung des natürlichen Himmels (diffuses Licht) und die Beleuchtungsstärke der Sonne (direktes Licht) werden zum Zeitpunkt der Messung aufgezeichnet und in einem zweiten Schritt in den Künstlichen Himmel (KH) übertragen. Dort werden die Beleuchtungsstärken im Modell des Testraums dann unter den nachgestellten Beleuchtungsbedingungen gemessen und mit den Messergebnissen aus dem ersten Schritt verglichen. Im ersten Schritt können also die Einflüsse aus dem Modellbau und im zweiten Schritt die des Künstlichen Himmels untersucht werden.

Da der Horizont vom Testraum aus gesehen stark verbaut ist, werden mit denselben Modellen auch Messungen auf dem Dach eines Hochhauses vorgenommen und im

Künstlichen Himmel nachgestellt. Ein direkter Vergleich mit dem Testraum ist so zwar nicht möglich, dafür aber Messungen ohne den Einfluss von Verbauung. Darüber hinaus sollen im weiteren Verlauf der Untersuchungen ausgewählte Messungen des Testraums und der Modelle und auch der Künstliche Himmel selbst in Radiance-Simulationen nachgebildet und die Ergebnisse mit den Messungen verglichen werden.



Abb.3 Testraum und Modell

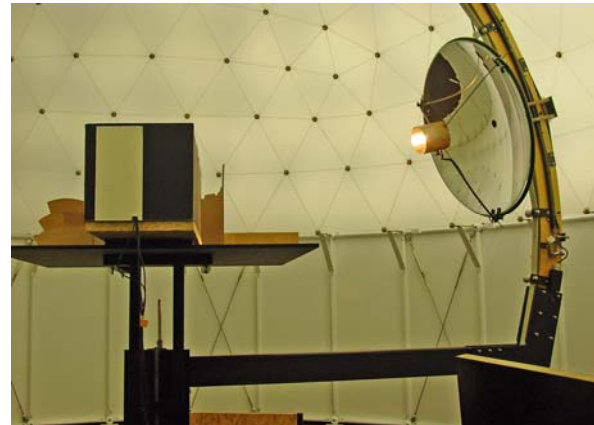


Abb.4 Modell im Künstlichen Himmel

4. Ergebnisse

Aus den bislang vorliegenden Auswertungen der Messungen lassen sich schon erste Tendenzen für den Einfluss der Verbauung und des Himmelszustandes ableiten. Alle aufgeführten Messungen wurden mit einem Modell im Maßstab 1:20 und ohne Fassadensystem durchgeführt. Die im Testraum und in den Modellen verwendeten Materialien werden in Tabelle 1 aufgeführt. Es sind die den Originalmaterialien am besten entsprechenden Modellbaumaterialien. Weitere Messungen mit Modellen mit anderen Maßstäben und Materialien wurden ebenfalls durchgeführt, werden hier aber nicht näher betrachtet.

Tab. 1 Materialien Testraum und Modell

Bauteil	Material	Raum	ρ_{tot} [%]	ρ_{dif} [%]	ρ_{dir} [%]
Wände, Decke	Wandfarbe, weiß, auf GK (RAL 9010)	Testraum	89.97	89.79	0.18
	Museumskarton, naturweiß*	Modell	90.47	90.20	0.28
Fenster, Tür	Fensterlack, weiß, auf Holz	Testraum	89.42	88.45	0.97
	Museumskarton, naturweiß*	Modell	90.47	90.20	0.28
Boden	Teppich, graublau	Testraum	19.44	19.42	0.02
	Hadernfilzpappe, graublau*	Modell	19.08	19.02	0.06

* für weitere Angaben siehe www.modulor.de

Die Abbildungen 5 und 6 zeigen die Abweichung von Messungen der Beleuchtungsstärke im Künstlichen Himmel bezogen auf die entsprechenden Messungen unter natürlichem Himmel. MP 1 entspricht dem Photometerkopf am Fenster des Testraums, MP 2-4 den im Abstand von etwa 1,60m in die Raumtiefe aufgereihten Photometerköpfen (vgl. auch Abb.2). Da das verwendete Modell identisch ist, kann man die Abweichungen ausschließlich der Nachbildung der Beleuchtungsbedingungen im Künstlichen Himmel zuschreiben.

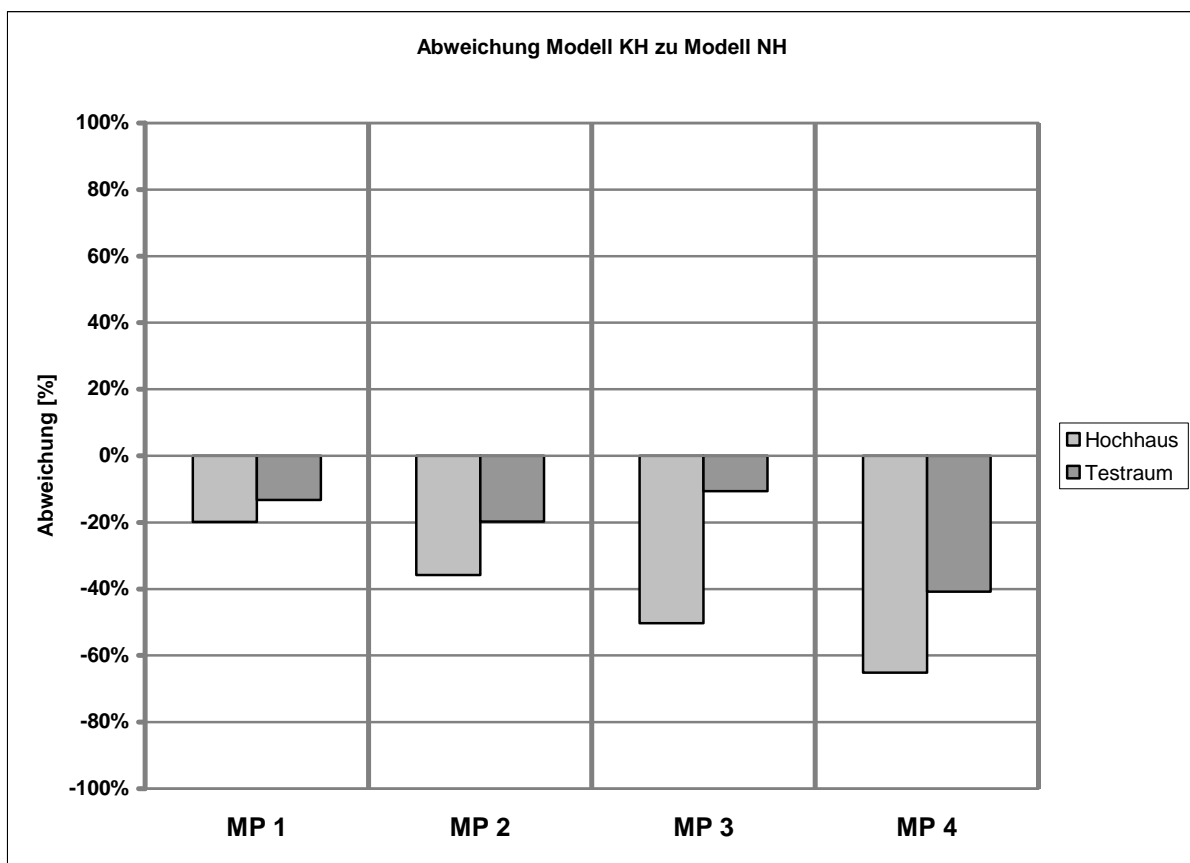


Abb.5 Vergleich von zwei Messungen ohne und mit Verbauung (jeweils bei bedecktem Himmel)

Die Messungen im Künstlichen Himmel liefern geringere Werte als die Messungen unter natürlichem Himmel, die in der Realität auftretenden Beleuchtungsstärken werden also unterschätzt. Dieser Effekt wird größer je weiter die Messpunkte in der Raumtiefe liegen. Eine Erklärung hierfür liegt noch nicht vor.

Wie Abbildung 5 zeigt, werden bei einer Messung ohne Verbauung (Standort Hochhaus) die real gemessenen Beleuchtungsstärken im Künstlichen Himmel weit mehr unterschätzt, als bei einer Messung mit Verbauung (Standort Testraum). Dies

verwundert zunächst, da man annehmen würde, dass die Messungen ohne Verbauung besser im Künstlichen Himmle nachzustellen sind als die mit Verbauung. Im Künstlichen Himmel an der HFT Stuttgart wird die gemessene Leuchtdichtevertelung des natürlichen Himmels einschließlich der Fassaden der Umgebungsgebäude mit einer Auflösung von 145 Regionen dargestellt. Dies entspricht der Aufteilung nach Tregenza¹. Die Leuchtstofflampen einer Region beleuchten zum Teil auch benachbarte Regionen. Dieser Fehler wird zwar in der Steuerung des Künstlichen Himmels beachtet, es können aber keine großen Leuchtdichteunterschiede zwischen benachbarten Regionen eingestellt werden. Als Folge wird die Umgebungsbebauung heller dargestellt, als in der Realität gemessen, was wiederum der allgemeinen Unterbewertung der Beleuchtungsstärke im Künstlichen Himmel entgegenwirkt. In der Summe der Fehler ist die Abweichung bei der Messung mit Verbauung daher geringer als bei der Messung ohne Verbauung.

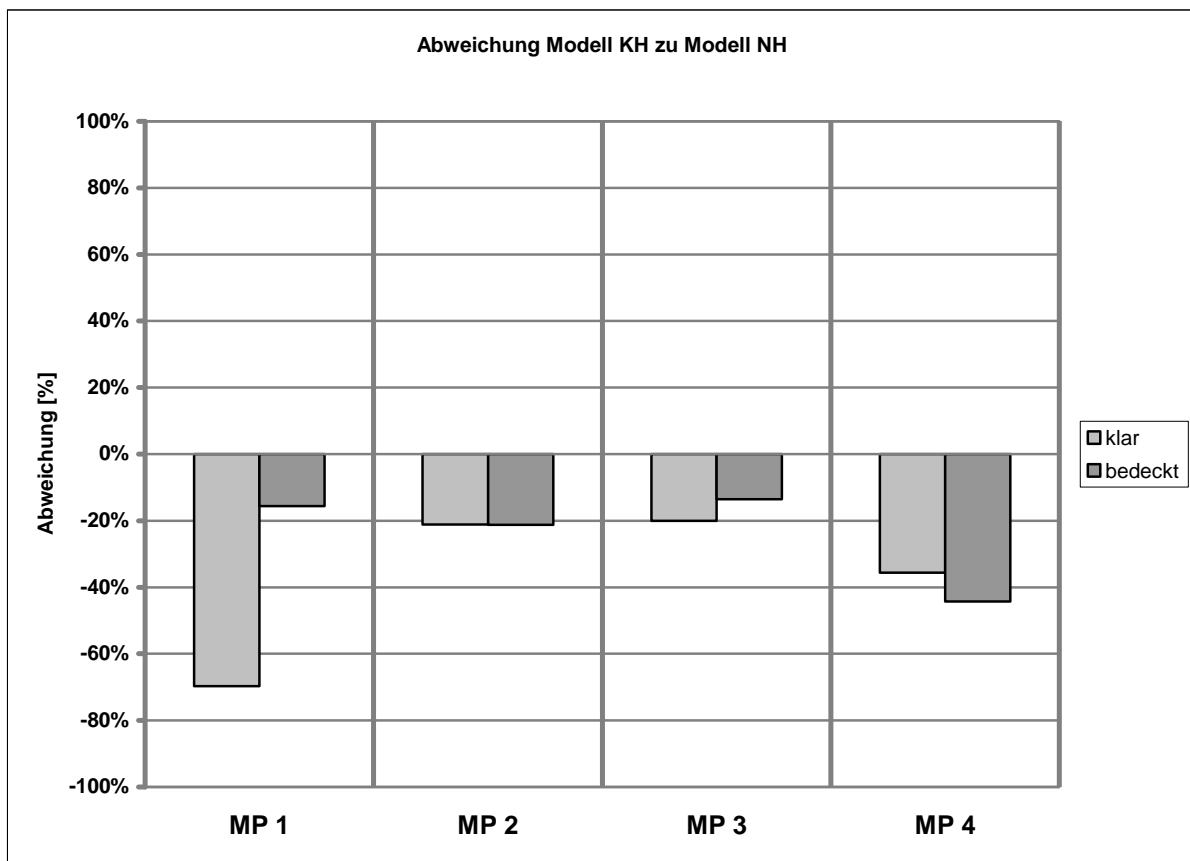


Abb.6 Vergleich von zwei Messungen bei klarem und bedecktem Himmel (jeweils Standort Testraum)

¹ Tregenza, P. 1987. Subdivision of the sky hemisphere for luminance measurements. Lighting Research Technology 19:13-14

Abbildung 6 zeigt ähnliche Abweichungen für Messungen bei klarem Himmel (mit Direktlichtanteil) und bedecktem Himmel (ohne Direktlichtanteil). Nur der Messpunkt am Fenster (MP 1) zeigt für die Messungen bei klarem Himmel eine deutlich höhere Abweichung. Wie oben beschrieben wird die Sonne im Künstlichen Himmel der HFT mit einer Halogenlampe und einem Parabolspiegel dargestellt. Die konstruktionsbedingte Halterung der Halogenlampe verursacht allerdings Schatten im Sonnenfleck und ein Teil des Lichtes wird nicht über den Parabolspiegel, sondern direkt eingetragen. Dadurch wird der Sonnenfleck inhomogen. Bei den dargestellten Messungen bei klarem Himmel wurde nur der erste Messpunkt mit direktem Licht beschienen, die anderen Messpunkte lagen im Schatten. Bei der Messung im Künstlichen Himmel lag der Messpunkt aber so, dass er von einem teilverschatteten Bereich des Sonnenflecks beleuchtet wurde. Dadurch wurde der Direktlichtanteil zu niedrig nachgestellt, was die höhere Abweichung am ersten Messpunkt erklärt.

4. Fazit

Die oben gezeigten ersten Auswertungen der Messungen zeigen schon erste Tendenzen. Durch eine systematische Auswertung der Messungen und noch zu erstellender Radiance-Simulationen sollen im weiteren Verlauf des Projektes folgende Einflussfaktoren genauer untersucht und Korrekturfaktoren festgelegt werden :

- Verbauung
- Himmelszustände
- Modellbaumaßstab
- Modellbaumaterialien
- Stellung der Fassadensysteme
- Einstellungen des Künstlichen Himmels

Mit Hilfe der aus dem Projekt gewonnenen Erkenntnisse zur angemessenen Darstellungstiefe im Modell und der anzuwendenden Korrekturfaktoren, soll die Leistungsfähigkeit des Künstlichen Himmels als Planungswerkzeug und Lehrmittel gleichermaßen ermittelt und gesteigert werden.

Performance of the Artificial Sky at the HFT Stuttgart

S. Fiedler*, D. Kesten**, A. Löffler*, U. Eicker**

*Stuttgart University of Applied Sciences, Department of Architecture and Design

**Stuttgart University of Applied Sciences, zafh.net

Schellingstraße 24, 70174 Stuttgart

Tel.: (0049-711) 8926-2876, Fax.: (0049-711) 8926-2698

sebastian.fiedler@hft-stuttgart.de

Internet: <http://www.hft-stuttgart.de>, <http://www.zafh.net>

Abstract

The daylighting design of buildings has a major impact on their energetic performance and the occupants comfort. Appropriate solutions offer a stimulating view to the outside, avoid glare and contribute to the reduction of the buildings electrical consumption by substituting and displacing artificial light and decreasing cooling loads. Scale models are commonly used to assess daylighting performance of buildings using an artificial sky for purpose of research and teaching as well as practice. In comparison to simulation tools the experimental work on scale models under an artificial sky offers a concrete and intuitive approach to daylight design, especially in early design stages and teaching. In this paper the daylight assessment performance of the artificial sky at the Stuttgart University of Applied Sciences, Department of Architecture is evaluated. A method was developed, that allows analysing the main sources of errors by progressive stages. In a first step simultaneous measurements of work plane illuminance for clear, cloudy and overcast sky conditions were undertaken in a full scale test room and scale models placed under identical outdoor daylighting conditions. The luminance distribution of the sky and the sun at the time of every single measurement was recorded with a luminance camera and illuminance meters. In a second step the luminance distribution was transferred to the artificial sky (according to Tregenza's model) and the scale models were measured in the artificial sky under reproduced outside daylight conditions. The results were also compared to computer simulations results.