

DISS. ETH Nr. 15935

**Klimagerechte Bürohausfassaden
Wege zur Reduzierung des Energiebedarfs in den Tropen und
Subtropen**

Abhandlung
zur Erlangung des Titels

DOKTOR DER WISSENSCHAFTEN
der
EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZÜRICH

vorgelegt von
LARS JUNGHANS
Dipl. Ing., TU Braunschweig
geboren am 9.6.1972
in Deutschland

Angenommen auf Antrag von
Prof. Dietmar Eberle
Prof. Klaus Daniels

Zürich 2005

Zusammenfassung

Die Arbeit gibt Empfehlungen für das Gestalten klimagerechter Fassaden von Bürobauten in den Tropen und in den Subtropen. Im Vordergrund steht dabei ihre energiesparende Ausprägung unter Berücksichtigung der Ansprüche der Nutzer an die Behaglichkeit.

Die Fassadengestaltung wird in den heisstrockenen und in den warmfeuchten Tropen sowie in den feuchten Subtropen simuliert. Eine tiefe Analyse dieser Klimagebiete ist Voraussetzung für die Untersuchungen. Im Vergleich zu einem fiktiven Referenzraum in den Metropolen Tokio, Kairo und Singapur wird mit Hilfe von Computerprogrammen ermittelt, wie sich die Alternativen und Varianten von Wänden, Fenstern, Verglasungen, Sonnenschutz, Lüftungssystemen usw. sowohl als Einzelmassnahme als auch in Kombinationen auf den Energiebedarf und auf die Behaglichkeit auswirken. Neu ist der Ansatz, stündliche F_c -Werte für die fixierte Verschattung und interne Lasten der gedimmten Beleuchtung in die Berechnungen einzubeziehen, um detailliertere Ergebnisse als bisher zu erreichen. Besondere Aufmerksamkeit wird auf den Einfluss der Diffusstrahlung gelegt. Regelungsstrategien für die bewegliche Verschattung und für sämtliche fassadenintegrierte Lüftungskappen wurden erarbeitet. Die visuelle Behaglichkeit wird mit Hilfe von lichttechnischen Simulationsprogrammen bewertet. Die Ergebnisse für den Energiebedarf werden dargestellt am Mehr- oder Minderbedarf an Jahreskühlenergie. Und für die Auswahl der energiesparenden Fassadenelemente werden Diagramme und Verhaltensbäume angeboten.

Die Arbeit liefert den Beweis, dass ein geringer Kühl- und Heizenergiebedarf erreichbar ist, wenn die ortstypischen klimatischen Bedingungen bei der Planung eines Bürogebäudes berücksichtigt werden.

Als wesentliche Erkenntnisse werden festgestellt:

- stark absorbierende Sonnenschutzverglasung reduziert den Kühlenergiebedarf, erfüllt wegen hoher Oberflächentemperaturen jedoch nicht die Ansprüche der Behaglichkeit
- tief strukturierte Fassaden mit festem Sonnenschutz vermindern den Jahreskühlenergiebedarf und erfüllen die Ansprüche an einen Blendschutz eines Bildschirmarbeitsplatzes
- beweglicher Sonnenschutz wie die drehbare Brise Soleil ist in Klimagebieten mit Heizenergiebedarf empfehlenswert
- hohe Infiltration erhöht den Energieeinsatz zum Entfeuchten in den feuchtwarmen Klimagebieten erheblich
- die Nachtlüftung kann in den Subtropen und in den heisstrockenen Klimagebieten die Kühllast sehr wirksam reduzieren
- eine gute feste Verschattung relativiert den Nachteil hoher solarer Lasten bei grossformatiger Verglasung.

Die höchsten Ersparnisse werden erreicht, wenn die positiven Massnahmen miteinander kombiniert werden. Die Verbindung aus einer Verglasung mit einem geringen g-Wert, einer waagerechten Brise Soleil als Sonnenschutz sowie die Kombination natürlichen Lüftung / Nachtlüftung verringert den Energiebedarf zum Beispiel in den Subtropen um 45 % im Vergleich zum Raum mit einer stark absorbierenden Sonnenschutzverglasung ohne Verschattung. Dieses Ergebnis ist auch im heisstrockenen Klima erreichbar.

Die Ergebnisse stimmen mit den Erkenntnissen der Architekten Le Corbusier, Niemeyer und Kahn überein. Ein Rückblick - auch in die traditionelle Architektur - verdeutlicht, dass sie bereits unter Berücksichtigung der ortsabhängigen klimatischen Bedingungen energiegerechte und zugleich ästhetisch sehr gelungene Fassaden gestaltet haben.

Climate responsible facades in the subtropical and tropical climate

Summary

In most of the office buildings located in the subtropical or tropical climate the exterior wall design has a great influence to the cooling energy demand. Up to 60% on the cooling loads are solar loads. A survey of the façade technology in hot climate is not published to date. The aim of this dissertation is the research of climate responsible façade designs suitable for tropical and subtropical climate. Aspects of the thermal and visual comfort of modern offices in these climates are considered. The goal is the reduction of the energy demand. Recommendations are made for each façade design strategy like glazing, shading, air tightness, double skin façade, thermal chimney and natural ventilation.

A short introduction to the vernacular architecture points out how structures are figured by climate responses and the restriction of native material. These ideas are described to find solutions for contemporary façade designs. Architects like Le Corbusier and Oscar Niemeyer analyzed the former tradition and translated these principles into their modern architecture.

An analysis of the climate is essential to describe the influence on the building and its design. Three climates are proved to stand as an example for the most of the metropolis in the hot region of this earth. The subtropical climate, the hot arid climate and the warm humid climate.

A room was constructed to duplicate and test the different climatic conditions with respect to high occupancy and respect.

On the basis of thermal simulation programs the cooling energy demand is calculated for the particular scenarios. A new approach is made to combine TRNSYS 15 with Adeline 3 and Parasol to achieve more precise results for internal loads of controlled artificial lighting, hourly shading coefficient of fixed shadings and the influence of the diffuse radiation on the façade.

Several glazing types like sun protection glazing, absorption glazing, double glazing, heat protection glazing and triple glazing are tested. The heating and cooling energy demand is calculated for the reference room. All glazings are assessed for their influence on a comfortable environment. The heating energy demand decreases with a small U-value. Sun protection glazings are reducing the cooling energy demand. Disadvantages of hot internal surface temperatures have to be considered. The thermal comfort in case of the absorbing sun protection is reduced due to surface temperatures of 70°C during intensive direct irradiation. Because of the low light transmission value of this glazing the artificial lighting is required to each time. Glare problems are not solved.

Fixed and movable shading devices are analysed. Traditional façade structures like the Mashrabiya as well as high tech devices like controlled Venetian blinds with high reflecting coatings are assessed. The recommendation for the shading in each climate is given by charts and decision trees. Generally, the deeply structured facades are well adapted to the conditions of the hot climates. The cooling energy demand is reduced by

this systems because of its consideration of the diffuse radiation compared to modern controlled movable shading devices. The glare problems due to bright diffuse sky conditions in the warm humid climate are solved.

The thermal behaviour of the opaque wall is calculated with different thicknesses of insulation, outside surface colors or shadings. The resulting heat conduction and the surface temperature are assessed.

The air tightness of buildings and its influence on the energy demand are investigated. In cooled spaces located in warm humid climates the dehumidification energy demand is rising extremely with the infiltration rate. Expected sensible loads due to infiltration are shown in charts.

A recommendation is made for the application of natural ventilation. The control of the façade integrated ventilation openings is described by decision trees. Natural ventilation is possible in subtropical and hot arid climates during transmission or winter time. In both climates the savings of cooling energy demand are 6-8% in cases where the air condition is switched off during natural ventilation. Night ventilation is a very effective strategy to reduce the cooling energy demand. Natural ventilation strategies are not feasible in a warm humid climate.

The best savings are achieved with facades designs where all recommended strategies are combined. In Tokyo a façade with low SC value glazing combined with an outside shading like the horizontal Brise Soleil and a night ventilation can reduce the cooling energy demand up to 45% compared to a modern common structure without shading and sun protecting glazing. Related results are calculated for the reference room in the hot arid climate of Cairo.