

# Freie Durchströmung großer Glashallen

Von der Fakultät Energie-, Verfahrens- und Biotechnik  
der Universität Stuttgart zur Erlangung der Würde eines  
Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.) genehmigte Abhandlung

vorgelegt von

**Rolf-Dieter Lieb**

aus Schorndorf / Württemberg

Hauptberichter:

Prof. Dr.-Ing. Michael Schmidt

Mitberichter:

Prof. Michael Casey, D.phil.

Tag der Einreichung: 21.12.2005

Tag der mündlichen Prüfung: 20.05.2010



## **Kurzfassung**

In vielen Glashallen, Atrien, Doppelfassaden und anderen großzügig verglasten und intensiver Sonneneinstrahlung ausgesetzten Innenräumen kommt es an sonnigen Tagen zu relevanten Aufheizungen, die die Nutzung der Gebäude beeinträchtigen können. Dies ist auf eine unzureichende freie Lüftung und ggf. ungeeignete Raumströmung zurück zu führen. Diese resultieren aus ungeeigneten Dimensionen und Positionen der Zu- und Abluftöffnungen in der Außenhülle.

Im Gegensatz zur Planung maschineller Belüftungen ist die Auslegung einer freien Lüftung bzw. Durchströmung eines Raumes bis heute nicht in allgemein anerkannten Regelwerken zu finden. Ansätze zu deren Erschließung wurden in IEA-Task 12 und IEA-Annex 26 untersucht. Dabei zeigte sich jedoch, dass die Anzahl der Einflussparameter und möglichen Geometrien nur eine recht grobe oder sehr aufwändige und damit kaum allgemein anwendbare Behandlung erlauben. In der praktischen Anwendung scheinen vereinfachte Ansätze nur für einfache Raumgeometrien nützlich zu sein, während komplexere Geometrien durch den Einsatz numerischer Verfahren untersucht und optimiert werden müssten.

Die vorliegende Arbeit untersucht die Strömungsvorgänge bei der freien Durchströmung einer Glashalle. Die damit verbundene konvektive Wärmeabfuhr erzeugt eine freie Kühlung der Halle, die unerwünschter Aufheizung entgegen wirkt. Die Untersuchungen wurden für eine einfache kubische Glashalle ohne störende Einbauten mit dem Werkzeug der Strömungssimulation nach dem Large-Eddy-Verfahren (LES) durchgeführt. Dabei wurden sowohl Parameter für einen vereinfachten Rechenansatz auf Basis des zugrunde liegenden aerothermischen Gleichgewichts untersucht, als auch die Anwendbarkeit des Werkzeugs LES geprüft, da es potenziell auch für komplexere Geometrien eingesetzt werden könnte.

## **Abstract**

Many glazed halls, atriums, double skin façades and rooms with large areas of glazing exposed to intense solar radiation show relevant temperature rises on sunny days which may interfere with the use of these buildings. This is caused by inefficient ventilation and possibly inefficient flow patterns in the room under consideration. Such deficiencies are often the result of wrong dimensions and positions of the openings for air inlet and outlet in the outer façade.

The design of free ventilation by convection, unlike the design of mechanical ventilation cannot be found in commonly accepted design rules. Basics for free convection in large enclosures were studied in IEA-Task 12 and IEA-Annex 26. It was shown that the number of influencing parameters and possible geometries allow only for a rather rough description or a very detailed one which therefore would not be easily applicable in many cases. For practical purposes simplified design rules seem only useful for simple geometries, whereas more complex geometries should be investigated and optimised by the means of numerical methods.

The work presented investigates the flow patterns with free ventilation in a glazed hall. A convective heat transport is created and causes a free cooling of the hall which counteracts an unwanted temperature rise. The research was carried out for a simple cubic glazed hall without further obstructions by means of a computational flow simulation with the Large-Eddy-Approach (LES). Parameters for a simplified design rule based on the underlying aero thermal equilibrium have been analysed as well as the viability of the simulation with LES, as it could be a powerful tool for the analysis of more complex geometries.

## Inhalt

<b>1</b>	<b><i>Motivation</i></b> .....	<b>1</b>
1.1	Ausgangssituation .....	1
1.2	Planerische Aufgabenstellung.....	2
1.3	Wissenschaftliche Aufgabenstellung .....	4
<b>2</b>	<b><i>Themenabgrenzung</i></b> .....	<b>6</b>
2.1	Hallen und Atrien .....	6
2.2	Sommerlicher Entwärmungsfall .....	8
2.3	Strömungsbetrachtung.....	12
2.4	Druckbetrachtung.....	17
2.5	Vergleich mit Ansätzen in der Literatur .....	20
<b>3</b>	<b><i>Natürliche Lüftungsströmung</i></b> .....	<b>23</b>
3.1	Grundlagen aus der Ähnlichkeitstheorie .....	23
3.2	Grundlagen der Durchströmung .....	25
3.3	An- und Durchströmung der Zuluftöffnungen.....	28
3.4	Temperaturübergang am Boden .....	33
3.5	Temperaturübergang an den Wänden .....	34
3.6	Raumströmung .....	37
3.7	An- und Durchströmung der Abluftöffnungen .....	40
3.8	Große Öffnungen .....	43
3.9	Windeinfluss .....	45
<b>4</b>	<b><i>Anwendung von Strömungssimulationen</i></b> .....	<b>47</b>
4.1	Auswahl des Turbulenzmodells .....	47
4.2	Auswahl der Simulationsprogramme.....	52
4.3	Modellsensitivität .....	55

<b>5</b>	<b><i>Auftriebsentstehung</i></b> .....	<b>62</b>
5.1	Einfluss von Sprüngen in der Wandfläche .....	62
5.2	Einfluss alternierender Wärmeströme .....	67
5.3	Einfluss der Abströmung oberhalb der Wandgrenzschicht.....	68
5.4	Zusammenfassung.....	73
<b>6</b>	<b><i>Raumströmung</i></b> .....	<b>74</b>
6.1	Raummodell .....	74
6.2	Vergleich der Grenzschichten Fassadenmodell - Raummodell .....	77
6.3	Einfluss der Lage der Abluftöffnungen auf den Durchsatz.....	81
6.4	Einfluss der Lage der Abluftöffnungen auf den Wärmetransport und die Schichtung .....	83
6.5	Einfluss einer Wärmefreisetzung am Boden.....	92
6.6	Grenzen der Schichtung und Mischung.....	95
<b>7</b>	<b><i>Auslegungsverfahren</i></b> .....	<b>97</b>
7.1	Formulierung der Einflüsse aus der Durchströmung.....	97
7.2	Formulierung der Einflüsse aus der Auftriebsentstehung und Raumströmung.....	99
7.3	Berechnung der Temperaturen und Volumenströme .....	100
<b>8</b>	<b><i>Zusammenfassung</i></b> .....	<b>103</b>
8.1	Anwendung vereinfachter Auslegungsverfahren .....	103
8.2	Vor- und Nachteile der Anwendung von LES.....	104
<b>9</b>	<b><i>Literatur</i></b> .....	<b>105</b>