

Inhalt

| | |
|---|-------------|
| Vorwort des Herausgebers | III |
| Danksagung | V |
| Kurzfassung | VII |
| Abstract | IX |
| Inhalt | XI |
| Abkürzungen | XV |
| Nomenklatur | XVII |
| 1 Einleitung | 1 |
| 1.1 Thematische Einleitung | 1 |
| 1.2 Einbindung in Forschungsprojekte | 2 |
| 1.3 Forschungsziel und Abgrenzung | 2 |
| 1.4 Aufbau der Arbeit | 3 |
| 2 Grundlagen der Strömungslehre | 5 |
| 2.1 Antriebskräfte der natürlichen Lüftung | 5 |
| 2.1.1 Thermischer Auftrieb | 5 |
| 2.1.2 Wind | 8 |
| 2.2 Strömungswiderstände | 11 |
| 2.2.1 Durchflussbeiwert c_D | 11 |
| 2.2.2 Druckverlustbeiwert ζ | 15 |
| 3 Messung von Luftwechselraten mit Tracergas | 17 |
| 3.1 Allgemeines | 17 |
| 3.2 Beschreibung verschiedener Tracergase | 17 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 3.2.1 | Erforderliche Eigenschaften des Tracergases..... | 17 |
| 3.2.2 | Kohlenstoffdioxid..... | 18 |
| 3.2.3 | Schwefelhexafluorid..... | 19 |
| 3.2.4 | Weitere Gase | 19 |
| 3.3 | Mathematischer Hintergrund | 20 |
| 3.4 | Tracergasmethoden und Auswertung | 20 |
| 3.4.1 | Konzentrations-Abfall-Methode | 20 |
| 3.4.2 | Konstant-Emissions-Methode | 21 |
| 3.4.3 | Konstant-Konzentrations-Methode | 22 |
| 4 | Physikalische Besonderheiten von Doppelfassaden..... | 23 |
| 4.1 | Reinfiltration - Begriffe Luftwechsel und Außenluftwechsel | 23 |
| 4.2 | Strahlungs- und Temperaturbilanz | 25 |
| 4.3 | Konvektion im Fassadenzwischenraum..... | 27 |
| 4.4 | Lüftungsrelevante Windeinwirkungen | 28 |
| 4.5 | Schallschutz bei natürlicher Lüftung | 28 |
| 5 | Modelle zur Berechnung des natürlichen Luftwechsels.... | 33 |
| 5.1 | Ausgewählte Ansätze für einschalige Fassaden | 33 |
| 5.1.1 | Allgemeines..... | 33 |
| 5.1.2 | Ansatz nach Phaff und de Gids | 33 |
| 5.1.3 | Ansatz nach Maas..... | 34 |
| 5.1.4 | Ansatz nach Larsen | 36 |
| 5.1.5 | Vergleich der Ansätze | 36 |
| 5.2 | Ansätze für Doppelfassaden | 37 |
| 5.2.1 | Ansatz von Ziller | 37 |
| 5.2.2 | Ansatz von Nolte | 39 |
| 5.2.3 | Ansatz von Pasquay..... | 39 |
| 6 | Versuchsaufbau | 41 |
| 6.1 | Umfang der Messkampagne | 41 |
| 6.2 | Luftwechselmessungen mit Tracergas..... | 43 |
| 6.2.1 | Anforderungen an den Messablauf..... | 43 |
| 6.2.2 | Ablauf einer Messung | 44 |
| 6.2.3 | Vorgehen bei einem Raum mit Lüftungsanlage..... | 45 |
| 6.2.4 | Auswertung mittels Gaschromatographie | 46 |
| 6.3 | Fehleranalyse der Luftwechselmessungen | 47 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 6.3.1 | Genauigkeit der Tracergasmessungen..... | 47 |
| 6.3.2 | Fehlerfortpflanzung einer Einzelmessung..... | 48 |
| 6.3.3 | Erwartungswert des Gesamtfehlers..... | 49 |
| 6.4 | Temperatur- und Differenzdruckmessungen..... | 51 |
| 6.4.1 | Entwicklung eines mobilen Messkoffers..... | 51 |
| 6.4.2 | Grundsätze des Versuchsaufbaus..... | 53 |
| 6.5 | Meteorologische Datengrundlagen..... | 55 |
| 6.5.1 | Übersicht..... | 55 |
| 6.5.2 | Messdaten lokal vor den Doppelfassaden..... | 55 |
| 6.5.3 | Daten des Deutschen Wetterdienstes..... | 56 |
| 6.5.4 | Messwerte vom Dach der HafenCity Universität..... | 57 |
| 7 | Messergebnisse..... | 59 |
| 7.1 | Methodik der Datenanalyse..... | 59 |
| 7.2 | Analyse der klimatischen Randbedingungen..... | 59 |
| 7.2.1 | Korrelation zwischen Wind und Außentemperatur..... | 59 |
| 7.2.2 | Korrelation zwischen Temperatur und Strahlung..... | 62 |
| 7.3 | Datengrundlage für den Außenluftwechsel..... | 64 |
| 7.4 | Darstellung des Außenluftwechsels..... | 65 |
| 7.4.1 | Abhängigkeit von der Temperaturdifferenz..... | 65 |
| 7.4.2 | Abhängigkeit von der Solarstrahlung..... | 69 |
| 7.4.3 | Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit..... | 70 |
| 7.4.4 | Gemeinsame Darstellung von Windgeschwindigkeit und Temperaturdifferenz..... | 72 |
| 7.5 | Lufttemperaturen im Fassadenzwischenraum..... | 74 |
| 8 | Entwicklung des Rechenansatzes..... | 77 |
| 8.1 | Zielsetzung und Abgrenzung..... | 77 |
| 8.2 | Datengrundlage..... | 77 |
| 8.3 | Herleitung eines Rechenansatzes..... | 80 |
| 8.3.1 | Randbedingungen..... | 80 |
| 8.3.2 | Einfluss des Exponenten der Temperaturdifferenz..... | 81 |
| 8.3.3 | Finale Gleichung..... | 84 |
| 8.4 | Einfluss der Fassadengeometrie..... | 85 |
| 8.5 | Methode und Ergebnis der Regression..... | 90 |
| 8.6 | Diskussion der Ergebnisse..... | 91 |
| 8.6.1 | Differenzierung nach Gebäude..... | 91 |

| | | |
|---------------|--|------------|
| 8.6.2 | Einfluss von Temperaturdifferenz und Strahlung | 94 |
| 8.6.3 | Einfluss des Windes | 97 |
| 8.6.4 | Einfluss des Heizkörpers | 98 |
| 8.6.5 | Einfluss der Lüftungsanlage | 100 |
| 8.7 | Übertragbarkeit der Ergebnisse | 101 |
| 9 | Graphische Auswertung des Rechenansatzes..... | 103 |
| 9.1 | Randbedingungen zu den Diagrammen | 103 |
| 9.2 | Darstellung der Diagramme | 106 |
| 10 | Zusammenfassung und Ausblick | 111 |
| | Literaturverzeichnis | 115 |
| Anhang | | 119 |
| A.1 | Steckbriefe der untersuchten Gebäude | 119 |
| A.2 | Formblatt der Luftwechsellmessung | 144 |
| A.3 | Selektion der Luftwechsellmessungen | 145 |
| A.4 | Anwendung der Diagramme | 147 |