

# Druck- und Luftstromverteilung im Gebäude

**Ein vereinfachtes Rechenmodell zur Beschreibung der Gebäudedurchströmung bei freier Lüftung**

Die Luftdurchströmung von Gebäuden ist eine Folge von Druckdifferenzen, die vom Windangriff und durch thermischen Auftrieb hervorgerufen werden. Die Luftdurchlässigkeitsverteilung der Gebäudehülle und der inneren Strömungswege bestimmen den Widerstand, der der Luftdurchströmung entgegensteht. Wegen dieser komplexen Zusammenhänge ist es schwierig, die Luftstromverteilung innerhalb eines Gebäudes ohne den Einsatz aufwendiger Rechenprogramme zu bestimmen, die in der Regel neben einem leistungsfähigen Rechner eine erhebliche Eingabearbeit und einen hohen Aufwand an Rechenzeit erfordern.

Deshalb wurde am HRI im Rahmen eines interdisziplinären Forschungsprojektes (IFP 10/2: Rechnergestützte Untersuchungen des instationären Betriebsverhaltens von Wärmeversorgungen) ein vereinfachtes Rechenmodell auf Basis der Simulationsergebnisse eines detaillierten Modells entwickelt. Mit diesem einfachen Modell lassen sich die Druck- und Luftstromverteilungen für beliebige Witterungsbedingungen und beliebige Gebäudegrundrisse überschlägig mit guter Genauigkeit bestimmen.

Dipl.-Ing. J. Guo, TU Berlin

## Formulierung eines vereinfachten Rechenmodells

Das vereinfachte Rechenmodell beruht auf einer Rechenvorschrift zur Überlagerung der jeweils vergleichsweise einfach exakt zu ermittelnden Einflüsse von Wind und thermischem Auftrieb auf die Druckverteilung in einer betrachteten Zone:

$$P_{i,z} = C_0 (C_{v,z} P_{dyn} + C_{t,z} \Delta P_{th}) \quad (1)$$

Der Term  $C_{v,z} P_{dyn}$  stellt den Winddruckeinfluß auf den Druck in der betrachteten Zone dar, und der Term  $C_{t,z} P_{th}$  repräsentiert den thermischen Auftriebseinfluß. Die Parameter  $C_{v,z}$  und  $C_{t,z}$  sind wetterunabhängig und werden nur von der Verteilung der Durchlässigkeiten auf die Außenhülle und auf die inneren Bauteile des Gebäudes beeinflußt. Der Faktor  $C_0$  beschreibt eine Korrektur für die Berechnung des Innendruckes beim Zusammenwirken von Wind- und Auftriebskräften.

Der dynamische Winddruck  $P_{dyn}$  wird in folgender bekannter Weise beschrieben:

$$P_{dyn} = \frac{\rho}{2} v_0^2 \left( \frac{H_z}{H_0} \right)^{2/k} \quad (2)$$

mit

$\rho$  Dichte der Luft

$H$  Höhe

$v$  Windgeschwindigkeit

$k$  Exponent

Indizes:

$Z$  betrachtete Zone

$0$  Bezugswert

Für den thermischen Differenzdruck gilt:

$$\Delta P_{th} = g (\rho_a - \rho_i) (H_z - H_{nz}) \quad (3)$$

mit

$g$  Erdbeschleunigung

Indizes:

$a$  außen

$i$  innen

$nz$  neutrale Zone.

Der Windparameter  $C_{v,z}$  wird als die Funktion der effektiven Durchlässigkeiten an der Leeseite ( $\Sigma D_{N,E,Z}$ ) und an der Luvseite ( $\Sigma D_{A,E,Z}$ ) der betrachteten Zone bei Windanströmung dargestellt:

$$C_{v,z} = \frac{C_{WA} + C_{WN} f_v}{1 + f_v} \quad (4)$$

mit

$$f_v = \left( \frac{\rho_i \Sigma D_{N,E,Z}}{\rho_a \Sigma D_{A,E,Z}} \right)^{1/n} \quad (5)$$

$$D = a l \quad (6)$$

$C_w$  Winddruckbeiwert     $n$  Exponent  
 $a$  Durchläßkoeffizient     $l$  Fugenlänge

Indizes:

$A$  angeströmte Seite

$N$  nicht angeströmte Seite.

Üblicherweise sind die effektiven Durchlässigkeiten eine Kombination aus Durchlässigkeiten, die parallel und in Reihe geschaltet sind. Der einfachste Fall für die Bestimmung der effektiven Durchlässigkeiten ist ein Einzonengebäude ohne innere

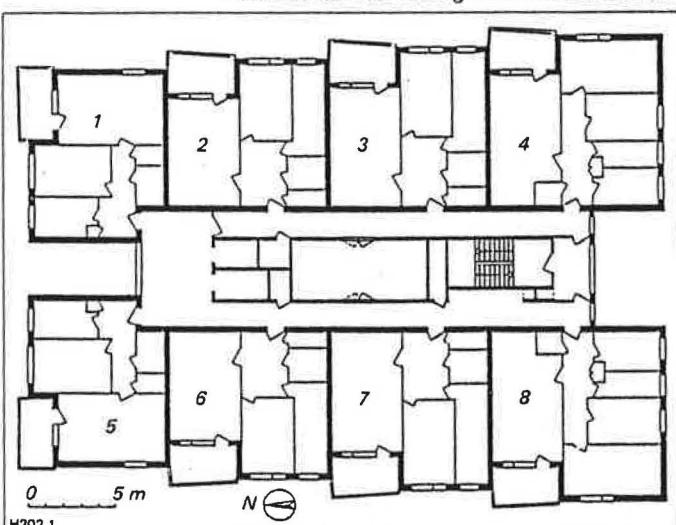


Bild 1: Berechnungsgrundlage des untersuchten Gebäudes

Hausart: Mehrfamilienhaus  
Baujahr: 1965  
Gebäudehöhe: 44,3 m  
Anzahl der Geschosse: 15  
Wohnungen/Geschoß: 8

Fugendurchlaßkoeffizient  
Fenster  $a_f = 0,3$   
Haustür  $a_H = 2,0$

Wohnungstür  $a_w = 3,0$   
Balkontür  $a_B = 1,0$

# Frischluftfanatiker arbeiten mit Colt.

Fachingenieure und Firmen, die größten Wert auf ein sauberes Betriebsklima legen, arbeiten aus gutem Grund mit COLT zusammen.

**Im Software-Bereich:** weil sich über 40 Jahre praktische Erfahrung aus Betrieben aller Branchen bezahlt macht - in Form maßgeschneiderter Problemlösungen, ausgereifter Projektierungen und letztendlich zufriedener Kunden.

**Im Hardware-Bereich:** wegen der großen Produktpalette hochwertiger mechanischer und natürlicher Lüftungssysteme aller Größenordnungen, geboren im COLT-eigenen

Forschungszentrum mit Europas größtem Windkanal für industrielle Lüftungs- tests.



Jawohl, Frischluftfanatiker haben mit COLT die Nase vorn. Wie zum Beispiel Koenig & Bauer AG, die uns schreiben „... auch die Entlüftung erfolgt völlig energiefrei mit Hilfe natürlich wirkender Entlüftungssysteme. Sie haben eine Anlage projektiert, die genau auf unsere Bedürfnisse abgestimmt ist.“

*In der neuen Montagehalle werden sehr gute Arbeitsbedingungen erzielt. Wir sind der Meinung, daß Sie für weitere Projekte der richtige Ansprechpartner für uns sind.“*

Wenn auch Sie sich davon überzeugen wollen, dann fordern Sie doch mit dem Coupon weiteres Informationsmaterial an.

COLT International GmbH  
Postfach 1225  
4190 Kleve  
Tel.: 0 28 21 / 9 90-0

**COLT**

## Beratende Ingenieure VBI in den Arbeitsgebieten Heizung — Lüftung — Haustechnik

Die Ingenieure übernehmen fachmännisch und unabhängig: Gutachten, Beratung, Planung, Bauleitung nach der Gebührenordnung der Ingenieure. — Die Anschrift des „Verband Beratender Ingenieure VBI“ ist: 43 Essen 1, Zweigerlstr. 37—41, Ruf 02 01/79 20 44

### BRANDI INGENIEURE G M B H

Hauptverwaltung:  
**5000 Köln 40 Marsdorf**  
Max-Planck-Straße 2  
Ruf (0 22 34) 503-0 · FS 8 89 138  
Telefax (0 22 34) 1 77 78

Zweigbüros:  
**1000 Berlin 12**  
Steinplatz 1  
Ruf (0 30) 3 13 60 88 · FS 1 85 419  
**6000 Frankfurt**  
Walter-Kolb-Straße 9—11  
Ruf (0 69) 62 10 01-2 · FS 4 14 332  
Telefax (0 69) 62 10 03

**3400 Göttingen**  
Weender Straße 10  
Ruf (0 55 1) 4 60 91-92 · FS 9 67 40  
Telefax (0 55 1) 4 60 93

**2000 Hamburg 1**  
Brennerstraße 27  
Ruf (0 40) 2 80 21 79 · FS 2 163 609  
Telefax (0 40) 2 80 21 74

**6900 Heidelberg**  
Kurfürstenanlage 47—51  
Ruf (0 62 21) 2 73 48-49 · FS 4 51 694  
Telefax (0 62 21) 2 55 26

**5000 Köln 40 Marsdorf**  
Max-Planck-Straße 4  
Ruf (0 22 34) 503-0 · FS 8 89 138  
Telefax (0 22 34) 1 77 78

**8000 München 5**  
Müllerstraße 27  
Ruf (0 89) 2 60 95 73-74 · FS 5 22 196  
Telefax (0 89) 2 60 95 75

**Stuttgart**  
**7022 Leinfelden-Echterdingen 2**  
Dieselstraße 19  
Ruf (0 71 1) 79 70 07 · FS 7 255 733  
Telefax (0 71 1) 79 60 54

#### Unsere Leistungen:

Projektkoordination  
Gutachten  
Studien  
Entwürfe  
Ausschreibungen  
Angebotsprüfungen  
Bauleitungen  
Abnahmen  
Leistungsprüfungen  
Rechnungsprüfungen  
Kostenverfolgungen

#### Unsere Arbeitsgebiete:

Heizung — Fernheizung  
Kälte — Fernkälte  
Lüftung — Klima  
Verbundwirtschaft  
Sanitärtechnik  
Bädertechnik  
Labortechnik  
Küchentechnik  
Waschereitechnik  
Wasser- und Abwasseraufbereitung  
Feuerschutz  
Medienversorgung  
Starkstrom-, Nachrichtentechnik  
Lichttechnik  
Meß-, Regel- und Steuerungstechnik  
Gebäudeautomation  
Fördieranlagen  
Aufzüge, Fahrstufen  
Automatische Warentransportanlagen  
Rohrpostanlagen  
Staubsaug- und Mülltransportanlagen

#### Ingenieurbüro Popp

Volker Popp-Sewing VDI  
Beratender Ingenieur VBI  
**4 Düsseldorf-Nord**  
Münstersir. 96  
Telefon Sa.-Nr. 48 44 14  
**6114 Groß Umstadt**  
Ziegelwaldweg 11  
Telefon 82 10

Heizungs-, Lüftungs-, Klimatechnik  
Sanitäre Technik, Betriebstechnik  
Versorgungsanlagen für  
Laboratorien

### Canzler Ingenieure

Technische Gebäudeausrüstung  
Energietechnik, Datenverarbeitung  
Viehgasse 10, 4330 Mülheim/Ruhr 13  
Telefon (02 08) 4 84 01-0  
Telex 8 56 698 becan

Dipl.-Ing. Bertram Canzler  
Beratender Ingenieur VBI  
öffentliche bestellter und  
vereidigter Sachverständiger  
Mitglied der TOS im VSR

**Jaeger Mornhinweg und Partner**  
7000 Stuttgart 80, Vor den Lauch 4  
Telefon (07 11) 7 15 50 81-82  
Beratende Ingenieure VBI

Heizungs-, Lüftungs-, Klima-Kälte-  
Technik, Sanitär-Anlagen, Medienver-  
sorgung, Brandschutz.

### DR.-ING. BERND KRIEGEL

INGENIEURE GMBH

**2300 Kiel**  
Herzog-Friedrich-Str. 48  
Tel. (04 31) 67 29 09 + 67 60 03  
**2000 Hamburg 26**  
Wendenstraße 196  
Tel. (0 40) 25 72 05

Heizungstechnik  
Lüftungstechnik  
Klima- und Kältetechnik  
Sanitäre Haustechnik  
Labor- und Bädertechnik  
Elektro. Installationstechnik  
Aufzüge, Fahrstufen

**Dipl.-Ing. Ulrich Kümhof**  
Ingenieurgesellschaft  
m.b.H.  
5600 Wuppertal 1  
Worringer Str. 68  
Tel. 02 02/42 56 59

Heizung, Lüftung, Klima,  
Gesundheitstechnik, Fernheiz-  
werke, Versorgungsanlagen für  
Laboratorien, Badertechnik,  
Beratung - Planung - Überwachung  
Abrechnung

Fordern Sie bitte die  
**HLH** Media-Informationen '90 an.  
Telefon 02 11/61 88-3 69



Ingenieurgesellschaft für  
Haus- und  
Betriebstechnik mbH  
Geschäftsführung  
Dipl.-Ing. Rolf Hartmann

Zentralbüro und  
Verwaltung  
Zollstockgürtel 7  
5000 Köln 51  
Sa.-Nr. (02 21) 36 30 25

Beratung  
Planung  
Bauleitung  
Gutachten

Technische Gebäudeausrüstung  
Heizung - Kältetechnik  
Lüftung - Klimatechnik  
Sanitär - Betriebstechnik  
Elektro - Fördertechnik

Beratende  
unabhängige  
Ingenieure  
VBI/VDI

Ingenieure VBI  
7146 Tamm b. Stuttgart  
Friedrichstraße 55  
Telefon (0 71 41) 600 21

Unsere Arbeitsgebiete:  
Lüftung - Klima,  
Wärme - Kälte, Sanitär-  
technik, Elektrotechnik,  
Technische Einrichtungen

Unsere Leistungen:  
Beraten - Planen -  
Koordinieren - Über-  
wachen - Überprüfen

**ESER DITTMANN NEHRING & PARTNER**

Schütz + Wirth  
Beratende Ingenieure VBI  
Beethovenstraße 11  
7500 Karlsruhe  
Telefon (0 72 1) 8 46 16-19

Heizung  
Sanitär  
Lüftung  
Klima  
Elektrotechnik

Dipl.-Ing. G. Seltmann  
69 Heidelberg  
Blumenthalstr. 52  
Telefon 0 62 21/4 90 83

Heizungs-, Klima-, Sanitär-Technik

**ZIMMERMANN SCHRAGE** INGENIEURGESELLSCHAFT

Beratung ·  
Planung  
Überwachung

Verwaltung:  
Am Trippelsberg 105, 4000 Düsseldorf 13  
Telefon (02 11) 79 01 96-8, Telex 8588529  
Niederlassungen:  
6800 Mannheim  
Steubenstraße 20 · Telefon (06 21) 81 10 83-4  
3000 Hannover 1  
Dieterichstraße 6 · Telefon (05 11) 32 28 76  
5800 Hagen-Haspe  
Heubingstraße 37 · Telefon (0 23 31) 4 90 11-2 Industrieanlagen

Wärmetechnik  
Klimatechnik  
Kältetechnik  
Sanitärtechnik  
Labortechnik  
Starkstromtechnik  
Fernmeldetechnik  
Fördertechnik  
Lichttechnik  
Heubingstraße 37 · Telefon (0 23 31) 4 90 11-2 Industrieanlagen

**Kyll**  
Wasseraufbereitung 5060 Berg.Gladbach 2

Strömungswiderstände. Für ein Gebäude mit kompliziertem Grundriss können die effektiven Durchlässigkeiten für den Windangriff durch eine Teildurchlässigkeit des Schachtes im Gebäude zur Leeseite der betrachteten Zone ermittelt werden.

Der Thermikparameter  $C_{t,z}$  lässt sich wie folgt bestimmen:

$$C_{t,z} = \left[ \frac{1}{1 + \left( \frac{\rho_a \sum D_{AH,z}}{\rho_i \sum D_{Tü,z}} \right) 1/n} \right] \quad (7)$$

mit

$\sum D_{AH,z}$  Durchlässigkeit an der Außenhülle der Zone

$\sum D_{Tü,z}$  Durchlässigkeit der Innen türen zum Schacht.

Der Korrekturfaktor  $C_0$  (Gl. 1) kann aufgrund von Messungen oder von Simulationsrechnungen mit einem detaillierten Rechenmodell ermittelt werden. Für übliche Gebäudehöhen und bei üblichen Wetterbedingungen ( $v \leq 6 \text{ m/s}$  und  $-15^\circ\text{C} \leq t_a \leq 30^\circ\text{C}$ ) können die folgenden Mittelwerte eingesetzt werden:

Für die Zonen mit  $(P_{dyn}/\Delta P_{th}) \leq 0$

$$C_0 = 0,95$$

Für die Zonen mit  $(P_{dyn}/\Delta P_{th}) \geq 0$

$$C_0 = 1,10.$$

Mit der nach Gl. (1) errechneten Druckverteilung im Gebäude lassen sich die Luftvolumenströme der betrachteten Zone gemäß dem bekannten Potenzansatz berechnen. Für den Luftvolumenstrom durch die Öffnung ( $\sum D_{A,z}$ ) an der angeströmten Außenhülle der Zone gilt:

$$\dot{V}_{A,z} = \sum D_{A,z} [(C_{WA} - C_{v,z} C_0) P_{dyn} - C_0 C_{t,z} \Delta P_{th}]^n \quad (8).$$

Entsprechend lässt sich der Luftstrom durch die Durchlässigkeit ( $\sum D_{N,z}$ ) an der Leeseite der Zone wie folgt ermitteln:

$$\dot{V}_{N,z} = \sum D_{N,z} [(C_{WN} - C_{v,z} C_0) P_{dyn} - C_0 C_{t,z} \Delta P_{th}]^n \quad (9).$$

### Vergleichsrechnung mit einem detaillierten Modell

Die Vergleichsrechnungen wurden mit verschiedenen Gebäudetypen bei unterschiedlichen Wetterbedingungen durchgeführt. Die Berechnungsgrundlage eines untersuchten Gebäudes wird in Bild 1 dargestellt. Bild 2 zeigt die Verteilungen des Innendruckes und der eindringenden Außenluftströme in der betrachteten Zone (Wohnung 8) über der Höhe des Gebäudes. Die Ergebnisse der beiden Rechenmodelle zeigen eine sehr gute Übereinstimmung. Für niedrige Windgeschwindigkeiten ( $v \leq 2 \text{ m/s}$ ) sind die Ergebnisse beider

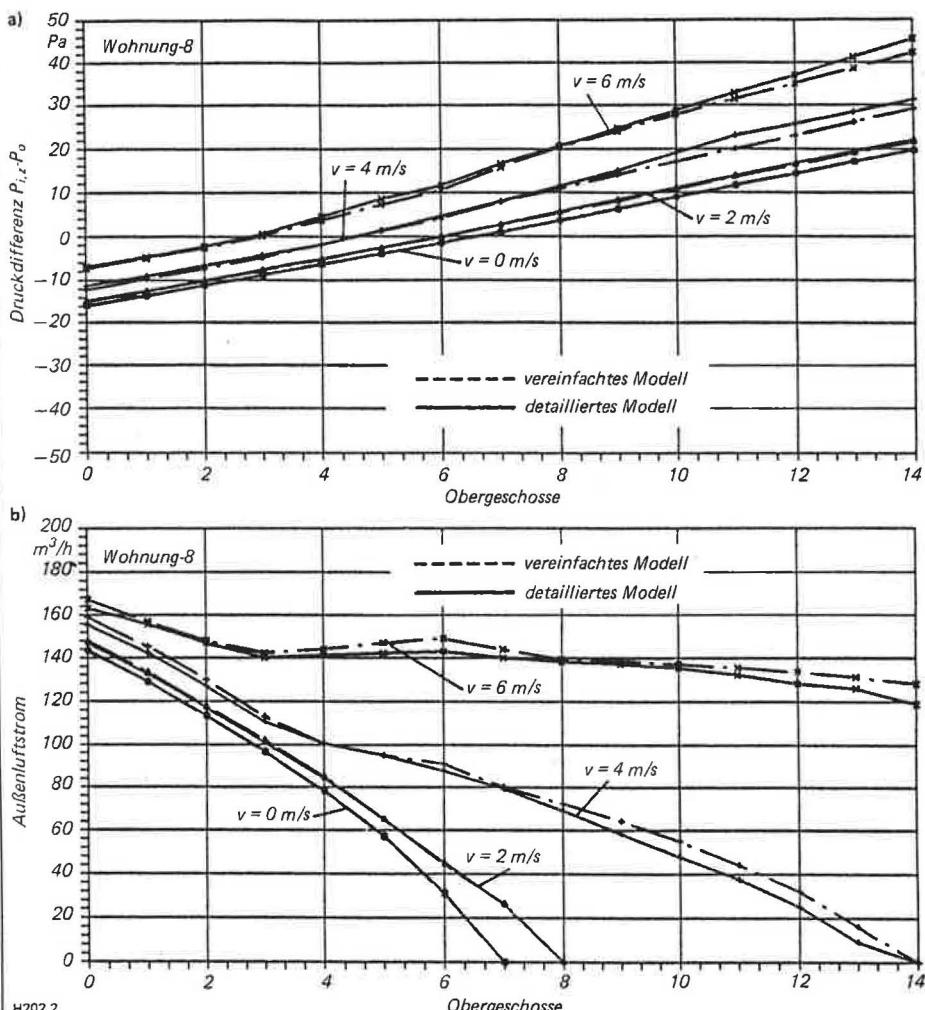


Bild 2: Ergebnisse der Vergleichsrechnung des vereinfachten Rechenmodells mit dem detaillierten Modell

(Außentemp.  $t_a = -15^\circ\text{C}$ ; Innentemp.  $t_i = 20^\circ\text{C}$ ;  $n = 2/3$ ; Windrichtung: West;  $H_0 = 10 \text{ m}$  und  $k = 3$ )

(a) Druckverteilung in Wohnung 8 über der Gebäudehöhe ( $P_0$  statischer Außendruck der ungestörten Anströmung)

(b) Luftstromverteilung in Wohnung 8 über der Gebäudehöhe

Modelle fast identisch und für höhere Windgeschwindigkeiten ( $v = 4$  und  $6 \text{ m/s}$ ) liefert das vereinfachte Modell etwas geringere Werte (Bild 2a). Die relative Abweichung zwischen beiden Modellen liegt jeweils unter 10% (bezogen auf die Ergebnisse des detaillierten Modells).

Die Vergleichsrechnungen bestätigten auch, daß das vereinfachte Rechenmodell neben der einfacheren Eingabearbeitung nur eine sehr geringe Rechenzeit benötigt. Im oben beschriebenen Beispiel beträgt diese ca. 5% von der des detaillierten Modells.

### Zusammenfassung

Das vereinfachte Modell ist als ein Handrechenverfahren zur überschlägigen Bestimmung der freien Luftdurchströmungen von Gebäuden anwendbar, vor allem ist es aber als Programmmodul innerhalb eines komplexeren Programms zur Simulation des thermischen und energetischen Gebäudeverhaltens geeignet. [H 202]