

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:

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

Der Term $C_{v,z} P_{\text{dyn}}$ stellt den Winddruckeinfluß auf den Druck in der betrachteten Zone dar, und der Term $C_{t,z} P_{\text{th}}$ repräsentiert den thermischen Auftriebeinfluß. 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:

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

mit
 ρ Dichte der Luft
 H Höhe
 v Windgeschwindigkeit
 k Exponent

Indizes:
 Z betrachtete Zone
 0 Bezugswert.

Für den thermischen Differenzdruck gilt:

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

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 Durchlaßkoeffizient l Fugenlänge

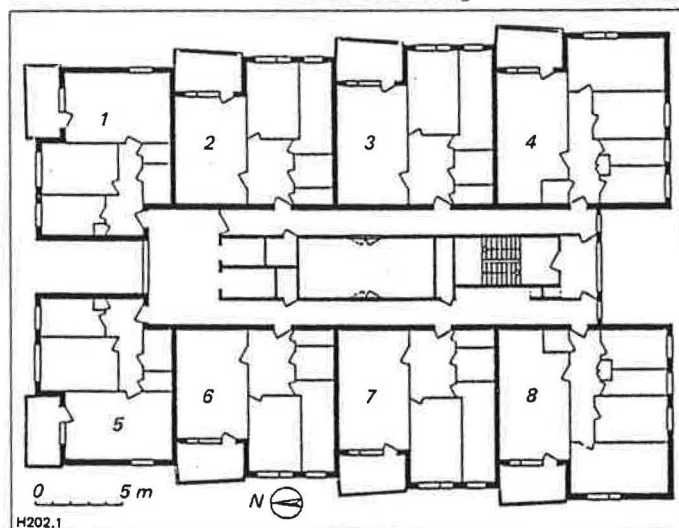
Indizes:

A angeströmte Seite
 N nicht angeströmte Seite.

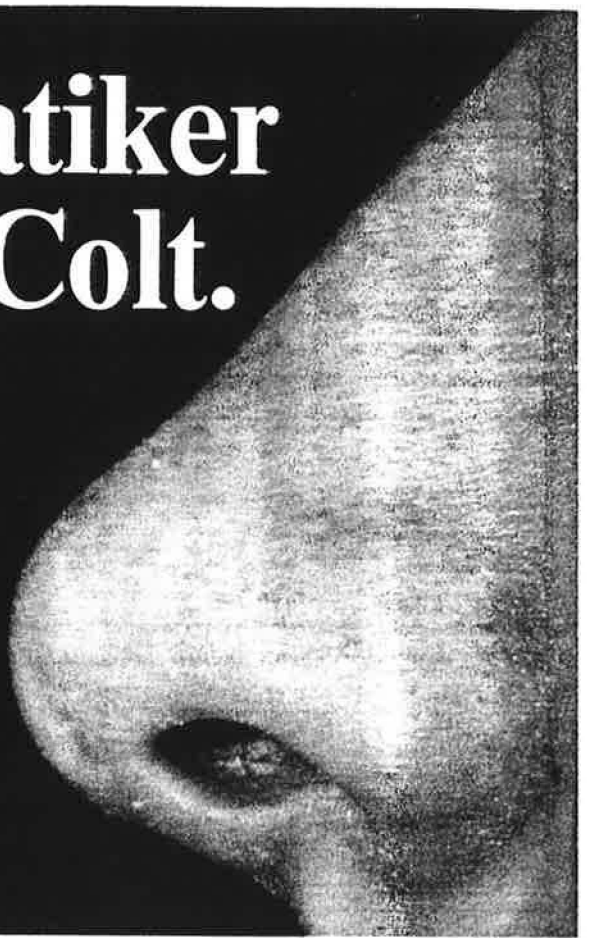
Üblicherweise sind die effektiven Durchlässigkeiten eine Kombination aus Durchlässigkeiten, die parallel und in Reihe geschaltet sind. Der einfachste Fall für die Bestimmung der effektiven Durchlässigkeiten ist ein Einzonengebäude ohne innere

Bild 1: Berechnungsgrundlage des untersuchten Gebäudes

Hausart:	Mehrfamilienhaus
Baujahr:	1965
Gebäudehöhe:	44,3 m
Anzahl der Geschosse:	15
Wohnungen/Geschoß:	8
Fugendurchlaßkoeffizient	a (in $\text{m}^3/\text{mhPa}^{2/3}$):
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 Lüftungstests.



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, Zweigertstr. 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) 5 03 - 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 5 51) 4 60 91 - 92 + FS 9 67 40
Telefax (0 5 51) 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
Kurlürstenanlage 47 - 51
Ruf (0 62 21) 2 73 48 - 49 + FS 4 61 694
Telefax (0 62 21) 2 55 22

5000 Köln 40 Marsdorf
Max-Planck-Straße 4
Ruf (0 22 34) 5 03 - 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 7 11) 7 9 70 07 + FS 7 255 733
Telefax (0 7 11) 7 9 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
Baderntechnik
Labortechnik
Küchentechnik
Waschereitechnik
Wasser- und Abwasseraufbereitung
Feuerschutz
Medienversorgung
Starkstrom-, Nachrichtentechnik
Lichttechnik
Meß-, Regel- und Steuerungstechnik
Gebäudeautomation
Förderanlagen
Aufzüge, Fahrtreppen
Automatische Warentransport-
anlagen
Rohrpostanlagen
Staubsaug- und Mülltransport-
anlagen

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
öffentlich 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 KRIEGLER 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 Baderntechnik
Elektr. Installationstechnik
Aufzüge, Fahrtreppen

Dipl.-Ing. Ulrich Kühnorf 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, Baderntechnik,
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

Ingenieurbüro Popp Volker Popp-Sewing VDI Beratender Ingenieur VBI

4 Düsseldorf-Nord
Münsterstr. 96
Telefon Sa.-Nr. 48 44 14
6114 Groß Umstadt
Ziegelwaldweg 11
Telefon 82 10

Heizungs-, Lüftungs-, Klimatechnik
Sanitäre Technik, Betriebstechn.
Versorgungsanlagen für
Laboratorien

Ingenieure VBI
7146 Tamm b. Stuttgart
Friedrichstraße 55
Telefon (07 141) 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 (07 21) 8 46 16 - 19

Heizung
Sanitär
Lüftung
Klima
Elektrotechnik

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

Heizungs-, Klima-, Sanitär-Technik

ZIMMERMANN + SCHRAGE 25 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
Industrieanlagen



Wasseraufbereitung 5060 Berg.Gladbach 2

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

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

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

mit

$\Sigma D_{AH,Z}$ Durchlässigkeit an der Außenhülle der Zone

$\Sigma D_{Tür,Z}$ Durchlässigkeit der Innentüren 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 $(P_{\text{dyn}}/\Delta P_{\text{th}}) \leq 0$

$C_0 = 0,95$

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

$C_0 = 1,10$.

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 ($\Sigma D_{A,Z}$) an der angeströmten Außenhülle der Zone gilt:

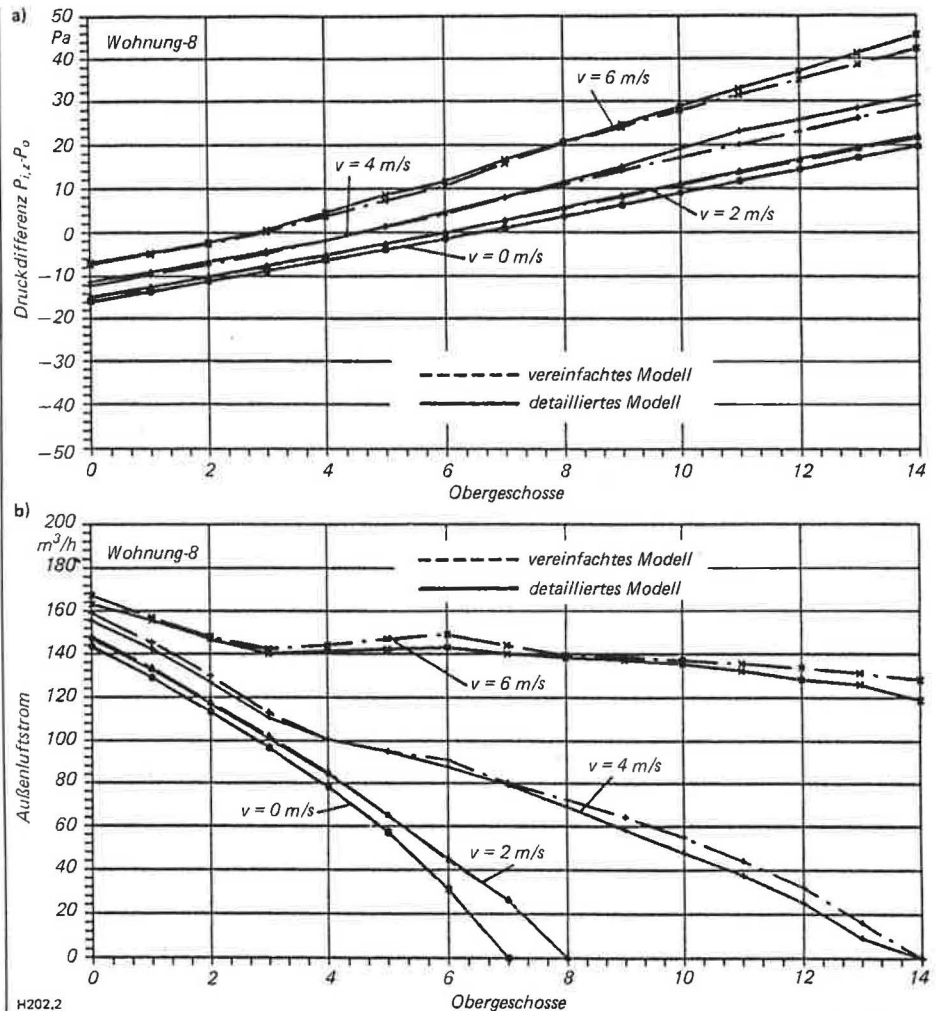
$$\dot{V}_{A,Z} = \Sigma D_{A,Z} [(C_{WA} - C_{v,z} C_0) P_{\text{dyn}} - C_0 C_{t,z} \Delta P_{\text{th}}]^n \quad (8)$$

Entsprechend läßt sich der Luftstrom durch die Durchlässigkeit ($\Sigma D_{N,Z}$) an der Leeseite der Zone wie folgt ermitteln:

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

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



H202.2

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 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 Eingabearbeit 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 Programmodul innerhalb eines komplexeren Programms zur Simulation des thermischen und energetischen Gebäudeverhaltens geeignet. [H 202]