

A1C 985

A127
1535

Messtechnik Luftaustausch in klimatisierten Bauten und industriellen Grossbauten/Hallen

Dr. Ch. Zürcher,
Institut für Hochbautechnik,
ETH, Hönggerberg, 8093 Zürich

Im Gegensatz zu Wohngebäuden, bei denen der Luftwechsel vor allem durch den Bauzustand einzelner Detailmoduls (Fenster/Türen) bestimmt wird, wird der Luftaustausch in Grossbauten/Hallen durch *lokale Luftaustauscheffekte* dominiert. Letztere werden einerseits durch die ausgeprägtere Wirkung des thermischen Auftriebs und des Winddruckes, andererseits durch Strömungskurzschlüsse; mechanische Zu- und Abluftsysteme hervorgerufen. Derartige lokale Luftströmungen bewirken eine ungleichmässige Luftdurchmischung, die zu *Konzentrationsherden* von Luftverschmutzungen, Abgasen, Feuchtigkeit und Sauerstoffmangel, aber auch zu Wärmestaus

oder Kältezonen führen können. *Zonen ungenügender Luftdurchmischung* sind vor allem in *grossen, einzelligen Gebäuden mit Bereichen verschiedener Nutzung* (z. B. Fabrikhallen, Stahlwerke, Postgebäude mit Sortieranlagen und An-/Auslieferung) oder in *Lagerhäusern*, in denen grosse Stapel von Maschinen und Gütern *Hindernisse für die Luftströmung* darstellen oder *spezielle Heizsysteme* (z. B. Warmluftheizung) zu ausgeprägter thermischer Schichtung führen, zu erwarten.

Aufgrund der Komplexität dieser Zusammenhänge wurde die Untersuchung der Luftwechseleffekte in Grossbauten/Hallen während längerer Zeit vernachlässigt [1].

Zur Erfassung bzw. Abschätzung des Luftwechsels und der Austauscheffekte lassen sich verschiedene Verfahren heranziehen. Als *erste grobe Abschätzung* ei-

ner mittleren Luftwechselrate kann die Analyse der *Gesamtenergiebilanz* herangezogen werden, doch ist deren Aussagekraft infolge der grossen Unsicherheit in einzelnen Energieflüssen (z. B. Strahlung, Ausnutzung freier Energien) eher gering.

Trotz der geringen, bis heute vorliegenden Erfahrung seien von den bekannten Luftwechsellmessverfahren *Differenzdruckmethode* und *Spurengasmethode* [2, 3] – deren Anwendungsmöglichkeiten in Grossbauten/Hallen und die damit verbundenen Vor- und Nachteile aufgezeigt.

Differenzdruckmethode [4]

Die Bestimmung der mittleren Luftwechselrate für Grossbauten erfordert *enorme Luftdurchsatzraten* von bis zu 75 000 m³/h. Aus strömungsphysikalischen Gründen wird die Ausströmgeschwindigkeit

am Gebläse mit Spurengasen detektiert (Konstant-Emission). *Infrarot-Thermographie* kann zur *Lokalisierung extremer Leckstellen* in der Gebäudehülle beigezogen werden. Im Sinne der Differenzdruckmethode können auch eventuell vorhandene Lüftungssysteme für eine erste, grobe Überprüfung der Luftwechselrate herangezogen werden. Diese Methode erlaubt aber im allgemeinen *keine Aussage über lokale Luftaustauscheffekte*.

Spurengasmethoden [5-8]

- Konzentrations-Abfallmethode

Sie ist relativ einfach durchzuführen, erlaubt aber *keine kontinuierliche* (Langzeit-) Beobachtung des Luftaustausches. Infolge *schlechter Durchmischung* Spurengas-Luft ergeben sich nichtexponentielle Abfallverhalten. Mit Hilfe der Unterteilung des auszumessenden Raumes in Teilbereiche (Zonen) kann unter Annahme *perfekter Mischung in den Einzelzonen* auf lokale Luftströmungen geschlossen werden. Ohne zusätzliche Luftdurchmischung werden meistens ausgeglichene Mischzustände erst dann erreicht, wenn die Spurengaskonzentration bereits derart tief abgesunken ist, dass sie nicht mehr mit genügender Sicherheit detektiert werden kann (*Messbereich!*). Der Aufbau eines Systems zur Erreichung gleichmässiger Spurengasdichte mittels mehrerer Einspritzpunkte und Ventilatoren ist aufwendig und verfälscht unter Umständen den natürlichen Zustand (z. B. thermische Schichtung).

- Konstant-Emissionsmethode

Mit dieser Methode ist eine *kontinuierliche Erfassung* möglich, und die entsprechenden, experimentellen Ausrüstungen sind einfacher als bei der nachfolgend erwähnten Methode. Bei Messung im Mehrzonenverfahren zur Bestimmung lokaler Effekte verlangt diese Methode *viele kontrollierbare Einspritz- und Messkanäle* (Zuleitungen), die über einen Rechner angesteuert werden müssen. Von den drei Spurengasmessmethoden ist hier der *grösste Testgasverbrauch* zu erwarten. Zudem ergeben sich *lange Anlaufzeiten* bis zur Erreichung stabiler Emissionswerte [9]. Wetterbedingungen können die Luftströmung derart beeinflussen, dass die Gaskonzentration ausserhalb des *Messbereiches* des Analysators fällt.

- Konstant-Konzentrationsmethode

Bei dieser an und für sich *bestgeeigneten Messmethode* für Luftwechselbestimmungen in Grossbauten (speziell bei Mehrzonenmessungen) ist - verbunden mit apparativem Aufwand - eine *kontinuierliche Beobachtung* der Luftaustauscheffekte möglich. Die *Zeitverzögerung* zwischen Gaseinlass und Reaktion

des Gasanalysators erschwert die Analyse der Messresultate. Wie die Abfallmethode verlangt auch dieses Verfahren eine *genügende, gleichmässige Durchmischung* Spurengas-Luft, um zuverlässige Aussagen über mittlere (lokale) Luftwechsel zu erhalten.

Durchmischung Luft-Spurengas

[10, 5]

Bei den Spurengas-Messmethoden - speziell in Grossbauten/Hallen - stellt die *perfekte Durchmischung* Luft-Spurengas das grösste Problem dar. Zusätzliche Luftdurchmischung mittels Ventilatoren ist derart durchzuführen, dass lokale Luftaustauscheffekte (infolge von Hindernissen, Kurzschlüssen, stehender Luft) noch detektiert werden können und dass keine Umlagerung der Temperaturschichtung der Luft auftritt. Da in Grossbauten/Hallen somit meistens keine perfekte Durchmischung ohne die erwähnten Nebeneffekte erzielt werden kann, ist der Übergang zu einem *Mehrpunkt- bzw. Mehrzonenmessverfahren* angebracht. Unter der idealisierten Annahme guter Durchmischung in den Einzelzonen lassen sich aus Konzentrationsmessungen die interzonalen Luftmassenströme und somit lokale Luftaustauscheffekte ableiten [5].

Effektives Volumen

Das effektive Volumen eines Zonenbereiches ist dasjenige Luftvolumen, in welchem das Spurengas mit Luft *durchmischt* ist. Das effektive Volumen ist aber meistens *nicht* identisch mit dem geometrischen Volumen des Raumes, indem Spurengas injiziert wird, sondern entspricht einem beispielsweise durch Schränke, Gestelle usw. verringerten oder durch anliegende Verbindungsräume, Schächte usw. vergrösserten Volumen.

Konzentrationsmessgeräte/ Probenentnahme

Als überprüfte, bewährte, kommerziell erhältliche Systeme haben sich *Infrarot-Gasanalysatoren* erwiesen. Im Gegensatz zu Brennstoffzellen [10] ergibt sich bei diesem Messverfahren nach etwa 20 sec ein stabiles, der Konzentration proportionales Ausgangssignal. Daraus kann mit einer mittleren Abtastrate von 30 sec pro Messpunkt gerechnet werden.

Um den Apparataufwand bei Mehrzonenmessungen zu reduzieren, wurde ein einfaches Probenentnahmeverfahren, das mittels peristaltischer Pumpen periodisch Luft inkl. Spurengas in einen *Sammelbehälter* pumpt, entwickelt. Nach Ablauf der Messperiode wird die Luft aus dem Sammelbehälter mit Hilfe eines *Gaschromatographen* auf den Spurengasgehalt untersucht.

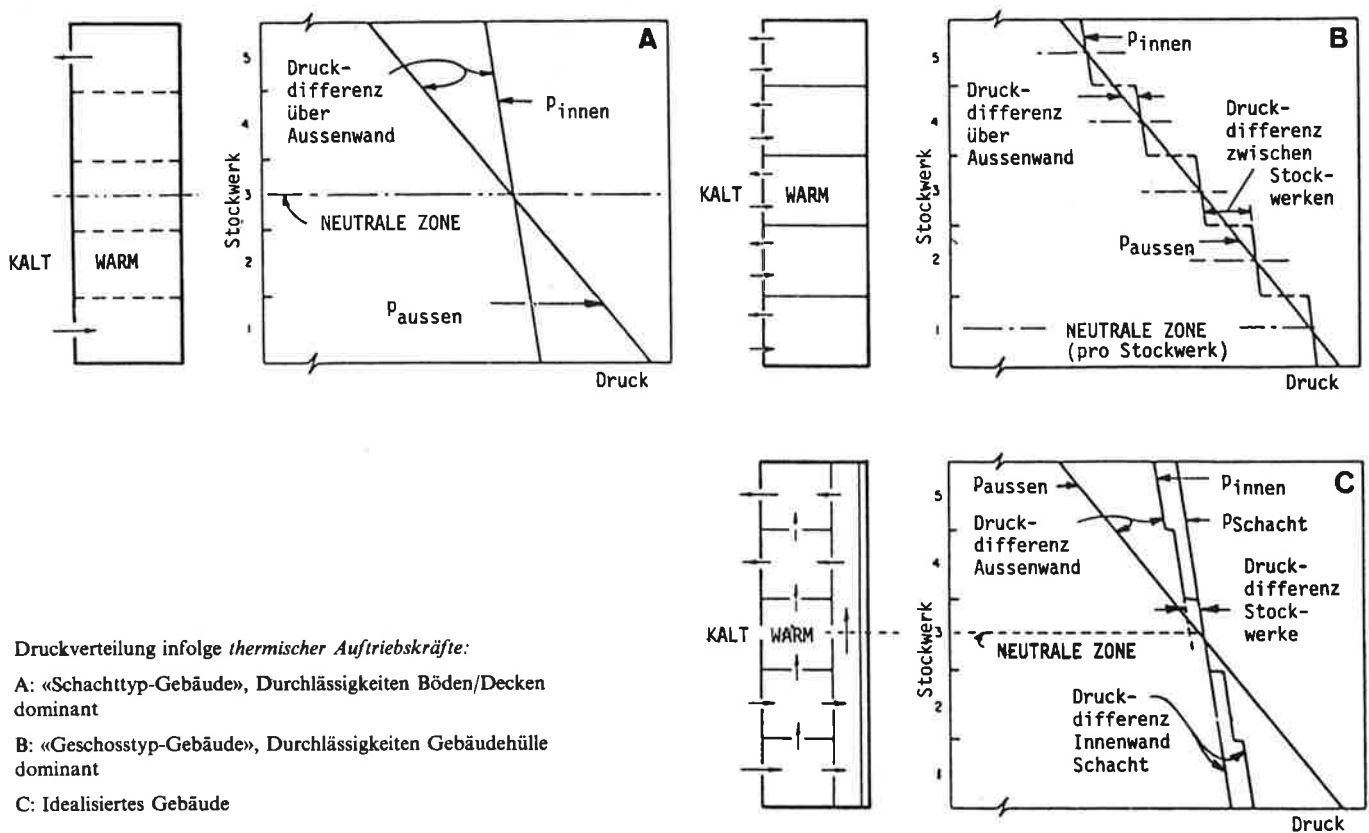
Berechnungsverfahren [9, 11-13]

Diese beruhen auf 1-Zonen-, 2-Zonen- und Mehrzonenmodellen. Zur Berechnung der Drücke werden in den Knotenpunkten, die einzelne Zonen repräsentieren, die *Luftmassenstrombilanzen* (einfliessende Luftmassen = ausfliessende Luftmassen) aufgestellt. Ausgehend von einem Satz von Anfangsdrücken an den einzelnen Knotenstellen, bestimmen *Rechenprogramme mittels Iterationsverfahren* die einzelnen Luftvolumenströme. Die Problematik bei derartigen Rechenverfahren liegt bei den *Eingabedaten*, die entweder aus Modellmessungen und/oder aus Windkanalexperimenten (Bestimmung der Winddruckverteilung an Oberflächen) ermittelt werden müssen [14, 15].

Literatur

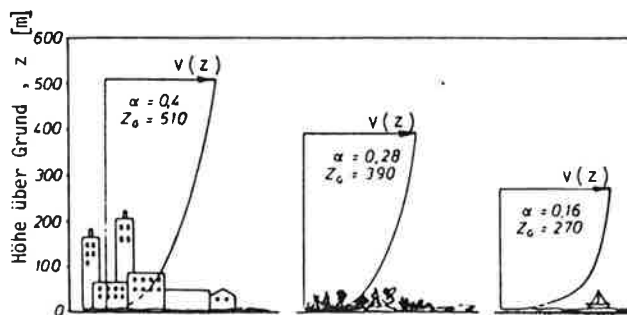
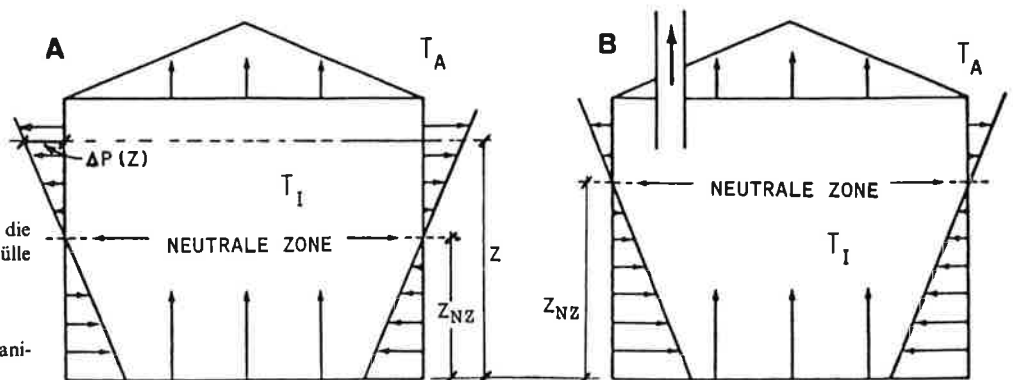
- [1] W. F. de Gids, J. C. Phaff and B. Knoll: «An overview of ventilation research in large non-residential buildings», Proc. 4th AIC Conference, Elm, 7.1-7.25 (1983).
- [2] M. Liddament, C. Thompson: «Techniques and instrumentation for the measurement of air infiltration in buildings - a brief review and annotated bibliography», AIC Technical Note 10 (1983).
- [3] A. Grot, D. M. Burch, S. Silberstein and L. S. Galowin: «Measurement methods for evaluation of thermal integrity of building envelopes», Nat. Bureau of Standards, Washington, Rep. No. NBSIR 82-2605 (1982).
- [4] L. Lundin: «Air leakage in industrial buildings - preliminary results», 4th AIC Conference, Elm, 6.1-6.8 (1983).
- [5] I. N. Potter, J. Dewsbury and T. Jones: «The measurement of air infiltration rates in large enclosures and buildings», Proc. 4th AIC Conference, Elm, 4.1-4.55 (1983).
- [6] J. Freeman, R. Gale, J. P. Lilly: «Ventilation measurements in large buildings», Proc. 4th AIC Conference, Elm, 5.1-5.14 (1983).
- [7] MDAES Perera, R. R. Walker and O. D. Oglesby: «Ventilation rates and interall airflow rates in a naturally ventilated office building», Proc. 4th AIC Conference, Elm, 12.1-12.13 (1983).
- [8] MDAES Perera: «Review of techniques for measuring ventilation rates in multi-celled buildings», Proc. Contractors Meeting on Energy conservation in buildings - heating, ventilation and insulation, Brussels, 321-335 (1983).
- [9] Ch. Zürcher and H. Feustel: «Air infiltration in high-rise buildings», Proc. 4th AIC Conference, Elm, 9.1-9.17 (1983).
- [10] C. J. Brayshaw, J. Dewsbury: «The measurement of air infiltration rates in large enclosures and buildings», Proc. Contractors Meeting on Energy conservation in buildings - heating, ventilation and insulation, Brussels, 306-320 (1983).
- [11] A. C. Pitts, I. C. Wards: «A review of the prediction and investigation of air movement in buildings», Dept. of Build. Sci., University of Sheffield, Rep. No. BS 69 (1983).
- [12] G. N. Walton: «Calculation of inter-room air movement for multi-room building energy analysis», Nat. Bureau of Standards, Washington, Rep. No. NBSIR 81-2404 (1981).
- [13] M. Liddament, C. Allen: «The validation and comparison of mathematical models of air infiltration», AIC Technical Note 11 (1983).
- [14] M. Hussain and B. E. Lee: «An investigation of wind forces on three dimensional roughness elements in a simulated boundary layer», Dept. of Build. Sci., University of Sheffield, Rep. No. BS 55-57 (1980).
- [15] C. Allen: «Wind pressure data requirements for air infiltration calculations», AIC Technical Note 13 (1984).

Illustrationen zum Text

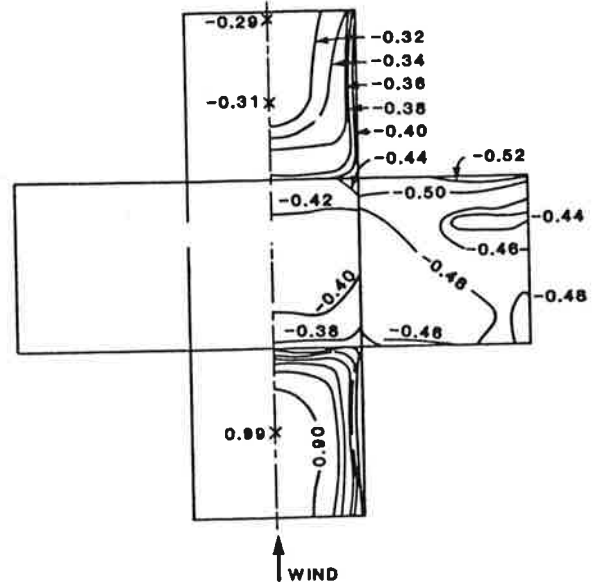
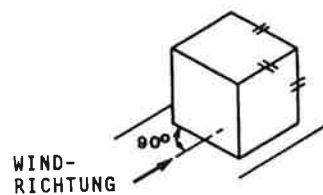


Einfluss *mechanischer Lüftung* auf die Druckverteilung über der Gebäudehülle während der kalten Jahreszeit:

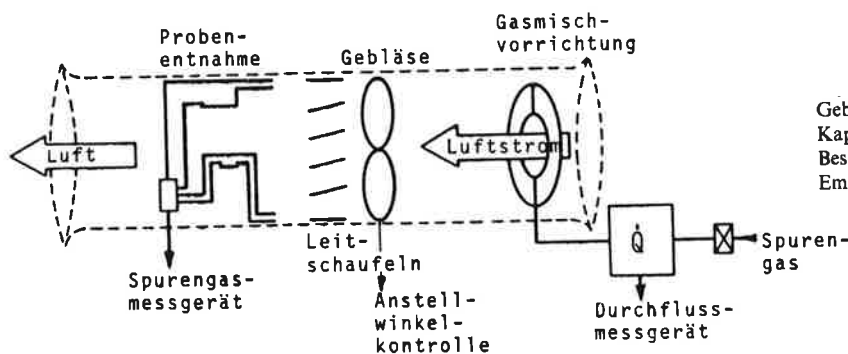
- a) infolge therm. Auftriebs
- b) infolge therm. Auftriebs und mechanischer Ablufteinrichtung.



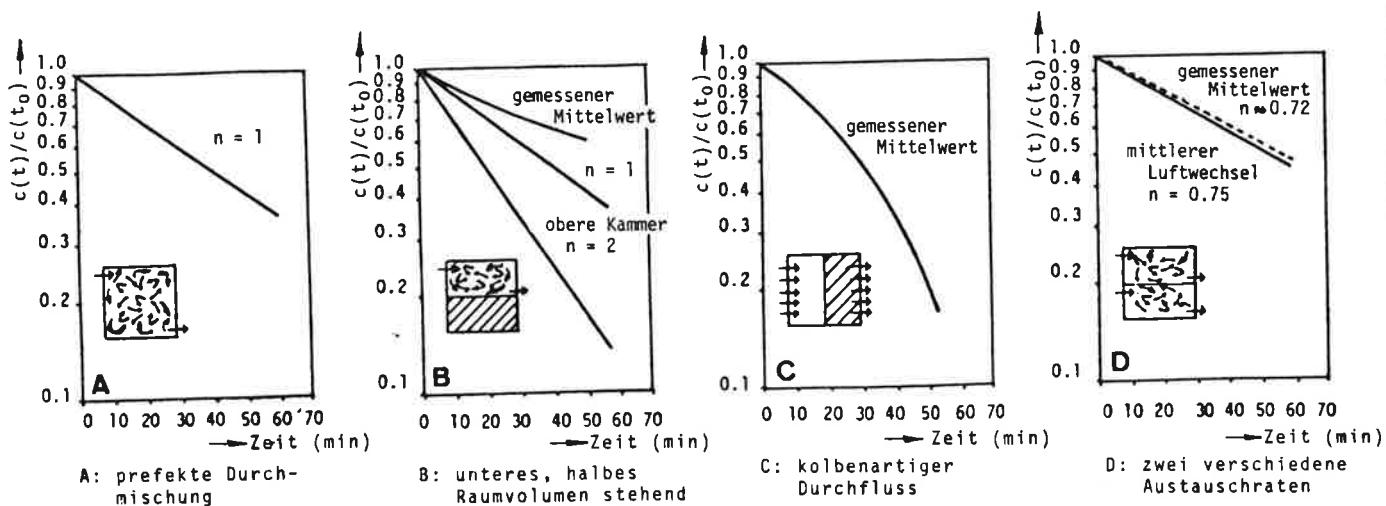
Einfluss der *Bodenrauigkeit* auf die Geschwindigkeit der waagrechten Windanströmung in den untersten atmosphärischen Schichten (Windgeschwindigkeitsprofile)



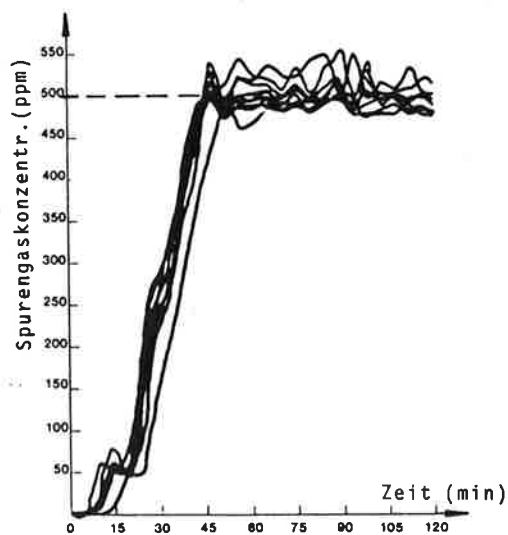
Druckbeiwerte an den Oberflächen eines kubischen Gebäudemodells (der Druckbeiwert ist ein Mass für den Wind-Überdruck bzw. -Unterdruck an einem realen Hindernis)



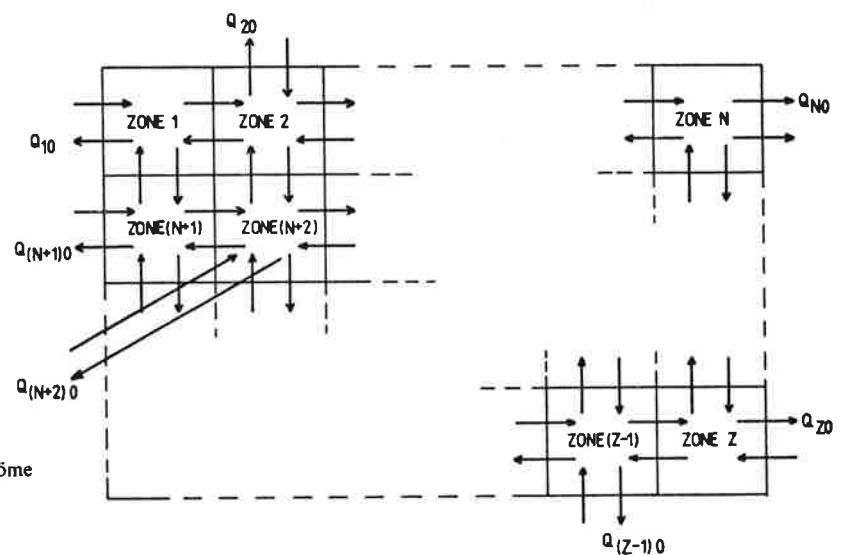
Gebläse für Differenzdruckmessungen [4]:
Kapazität 75 000 m³/h bei 60 Pa,
Bestimmung der Durchflussgeschwindigkeit mittels Konstant-Emissionsmethode.



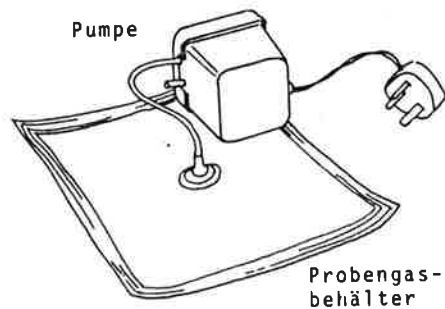
Vergleich der Spurengaskonzentrationen bei der Konzentrations-Abfallmethode für vier vereinfachte Modellsituationen (perfekte Durchmischung $\rightarrow$ keine Durchmischung).



Anstieg der Spurengaskonzentration bei Luftwechsellmessungen mittels *Konstant-Konzentration* (automatisiertes Messsystem, 9 Messstellen).



Verallgemeinertes Mehrzonen-Luftwechselmodell zur Berechnung lokaler Luftmassenströme aus Spurengasmessungen.



Sammelbehälter zur Aufnahme periodischer Luftproben bei Konstant-Emissionsmessungen.