

# Lüftung von grossen Räumen: Bericht über das IEA-Forschungsprojekt "Annex 26"

Autor(en): **Humm, Othmar**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **115 (1997)**

Heft 46

PDF erstellt am: **24.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-79345>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Othmar Humm, Zürich

# Lüftung von grossen Räumen

Bericht über das IEA-Forschungsprojekt «Annex 26»

**Richtlinien und Hilfen zur Planung von Lüftungen sind auf grosse Räume nur bedingt anwendbar, weil deren Ausdehnung, Geometrie und Temperaturschichtung andere Lösungen verlangen. Das IEA-Projekt Annex 26, an dem zwölf Staaten beteiligt waren, hat sich während vier Jahren mit diesem Thema beschäftigt und die wichtigsten Resultate publiziert. Der Beitrag zeigt typische Probleme und eine Auswahl von Lösungsansätzen – einfache Berechnungsmodelle und komplexe Programme.**

Grosse Räume sind vergleichsweise hoch, sie weisen eine deutliche Luftschichtung aus, und sie sind – vertikal oder horizontal – nur partiell genutzt. Die Unterschiede bezüglich Nutzung und Luftqualität sind innerhalb eines grossen Raumes derart markant, dass modellhaft von Räumen innerhalb eines Raumes gesprochen werden kann. Grosse Räume sind in ihren Formen vielfältig; die «flache» Mehrzweckhalle gehört ebenso dazu wie die gotische Kathedrale.

Je nach Form, angrenzender Bebauung und Nutzung sind grossen Räumen unterschiedliche Probleme eigen:

- Überhitzung (typischerweise in Atrien, Theatern, Auditorien)
- Kaltluftabfall (in Atrien, Hallenbäder, Kirchen)
- Schadstoffabfuhr (in Industriehallen)
- Nebelbildung und Kondensation (in Eishallen, Hallenbädern)
- Heizung (in Atrien, Kirchen).

## Planungszielwerte

Hauptziel einer Lüftung ist die Begrenzung der Raumlufbelastung auf einen definierten Wert; belastet wird die Luft vor allem durch Gerüche, Feuchtigkeit (H<sub>2</sub>O), CO<sub>2</sub>, CO und Wärme, zu deren Abfuhr spezifische Aussenluftstraten notwendig sind (Bild 1). Kritische Grössen bilden in der Regel Gerüche, die sich aber – mangels eines zuverlässigen physikalischen Messverfahrens – nicht als Regelgrösse eignen. Häufig wird deshalb der CO<sub>2</sub>-Gehalt der Raumluf herangezogen. Der Vollständigkeit halber sei erwähnt, dass die Erfüllung

des allgemeinen Postulats, wonach belastete Luft möglichst an der Quelle (Schadstoffe, Wärme) gefasst werden muss, für grosse Räume ganz besonders wichtig ist.

Richtlinien über Aussenluft- oder Luftwechselraten sind auf grosse Räume nur bedingt anwendbar, weil sie sich in der Regel auf das Volumen beziehen und damit zu gross sind. Besser geeignet sind Empfehlungen zur Luftgeschwindigkeit, beispielsweise im Entwurf der Norm prEN 1752. Diese Euro-Norm enthält als «Faustregel» maximale Luftgeschwindigkeiten von 0,2 m/s im Winter und von 0,25 m/s im Sommer. Für die Schweiz sind zudem die Empfehlungen des SIA – 380/1, 380/4, V382/1 und V382/3 – zu beachten.

## Lüftungsweisen

Mit steigendem Raumvolumen schwindet in der Regel das Verhältnis von genutztem zu ungenutztem Anteil. Die räumliche Differenzierung nach Nutzung ist deshalb eine unabdingbare Voraussetzung, um grosse Räume rationell zu belüften. In einer Zweiteilung des Raumes wird der untere Teil, die Aufenthaltszone, durch das Lüftungssystem kontrolliert, der obere Teil als «Puffer» für Wärme und Schadstoffe genutzt. Dies bedingt wiederum, dass eine konsequente vertikale Luftschichtung im Raum vorhanden ist und die zwischen den Schichten kommunizierenden Luftströmungen das Lüftungskonzept unterstützen. Dies gilt ganz besonders für die Massenbilanz der einzelnen Zonen: Das Zuluftvolumen einer Quelllüftung entspricht also sinnvollerweise dem Luftvolumen, das die Aufenthaltszone über vertikale Luftströme verlässt. Voraussetzung für eine gezielte Luftführung ist allerdings eine weitgehend dichte Gebäudehülle. Diese Gestaltungsprinzipien gelten unabhängig davon, ob ein grosser Raum mechanisch oder natürlich belüftet wird.

1

Belastung der Raumluf durch den Menschen und zugehörige Aussenluftstraten in m<sup>3</sup> pro Person und Stunde (Quelle: [2])

	Gerüche	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	Wärme
<b>Quellstärke</b> (Mensch)	1 Olf	18 l/h	72 g/h	120 W
<b>Grenzwert der Belastung</b>	0,2 Pol	1000 ppm	8 g/kg	21 °C
<b>Belastung der Aussenluft</b>	0,1 Pol	360 ppm	5 g/kg	4 °C
<b>Aussenluftstrate</b>	36 m <sup>3</sup> /Ph	28 m <sup>3</sup> /Ph	20 m <sup>3</sup> /Ph	21 m <sup>3</sup> /Ph

## IEA-Annex 26

«Lüftung von grossen Räumen» – Energy Efficient Ventilation of Large Enclosures – war während vier Jahren, von 1992 bis 1996, das Thema des IEA-Annex 26, eines grossen Forschungsvorhabens, an dem im Rahmen der Internationalen Energie-Agentur (IEA) zwölf Staaten beteiligt waren (Dänemark, Deutschland, Finnland, Frankreich, Grossbritannien, Italien, Japan, die Niederlande, Norwegen, Polen, Schweden und die Schweiz).

Finanzierung:

Bundesamt für Energiewirtschaft (BEW), Bern  
BEW-Programmleiter:

Mark Zimmermann, dipl. Architekt ETH/SIA,  
Empa-KWH, Dübendorf

Operating Agent:

Dr. Alfred Moser, Institut für Hochbautechnik,  
ETH Zürich

Redaktion Handbuch für Planer:

Thomas Baumgartner, Ingenieurbüro, Dübendorf

Messungen Grafenau:

Air + Climate Group, ETH Zürich, und Dr. Eicher+Pauli AG, Liestal

Temperaturschichtungen erweisen sich in Räumen mit Aufenthaltszonen im mittleren oder oberen Bereich als Nachteil (z.B. Lichthof mit Galeriegeschossen in einer Hochschule).

## Strömungsantriebe bei natürlicher Lüftung

Temperaturunterschiede zwischen der Raum- und der Aussenluft, aber auch innerhalb eines Raumes erzeugen Druckunterschiede und damit Luftströmungen, also ein Luftaustausch – gewollt oder ungewollt – durch die Gebäudehülle sowie Binnenströmungen. Dieses als Kamineffekt (Stack Effect) bezeichnete Phänomen ist sozusagen die «antriebstechnische» Seite der natürlichen Lüftung. Auf der sogenannten Neutralebene (Neutral Level) sind die Druckunterschiede zwischen innen und aussen gleich null. Unterhalb dieser Ebene strömt kalte Aussenluft ins Gebäude, während oberhalb warme Luft nach aussen entweicht. Sind die Öffnungen oberhalb und unterhalb des neutralen Druckniveaus gleich gross, wird sich die Neutralebene

zwischen den Öffnungen einmitten. Das Prinzip gilt auch für eine einzige Öffnung: Wärmere Luft verlässt den Raum im oberen Teil, im unteren strömt kältere nach. Ein Temperaturgradient verschiebt die Neutralebene naturgemäss nach oben. Sehr grosse Öffnungen im obersten Teil eines grossen Raumes erzeugen einen Sog, der - beispielweise in der Nacht - kalte Aussenluft in den Raum strömen lässt (Free Cooling oder sanfte Kühlung). Liegen die Zu- und Abluftöffnungen beidseitig einer Halle und auf gleicher Höhe, spricht man von Querlüftung. Diese Querströmungen induzieren Hallenluft und erzeugen walzenförmige Strömungsbilder, die weitgehend von der Raumgeometrie geprägt sind.

### Natürliche Lüftung spart Strom

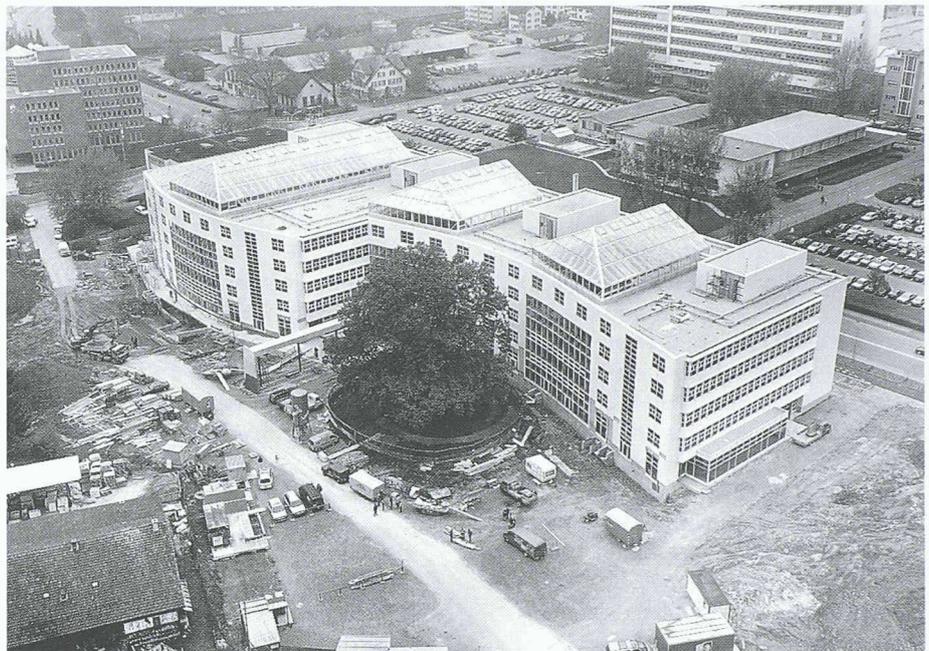
Schadstoffe und Wärme lassen sich mittels natürlicher Lüftung kostengünstig aus dem Raum schaffen. Welche Raumeigenschaften und Klimaverhältnisse unterstützen diese stromsparende Art der Lüftung bzw. der passiven Kühlung?

- Die Tag-Nacht-Differenzen der Aussen-temperaturen sind grösser als 5 K.
- Eine gute Wärmedämmung, eine wirksame Sonnenschutzvorrichtung, eine grosse Gebäudemasse und nicht zuletzt energiesparende Einrichtungen reduzieren die Raumlufttemperaturen.
- Die Baustoffe zeichnen sich durch eine hohe thermische Trägheit aus. Schwere Böden, Wände und Decken sind nicht durch wärmedämmende Schichten wie Teppich-, Doppel- oder Hohlböden thermisch vom Raum abgekoppelt.
- Die Gesamtlüftung der Lüftungsöffnungen belaufen sich auf mindestens 5% der Bodenfläche.
- Die Tiefe des Raumes darf dessen Höhe um den Faktor 2,5 nicht übersteigen.
- Die Luftauslässe liegen möglichst hoch und übertreffen in ihrem Querschnitt die Summe der tiefer liegenden Einlassflächen.

### Grosse Räume - eine Auswahl

#### Atrien

Atrien sind in der Regel eine architektonische Ergänzung eines Haupthauses und unterliegen speziellen, zumeist weitgefassten Nutzungsbedingungen. Wo sie als Verkehrszone dienen, sind sie unbeheizt und natürlich belüftet; sofern sich Personen längere Zeit in Atrien aufhalten,



2

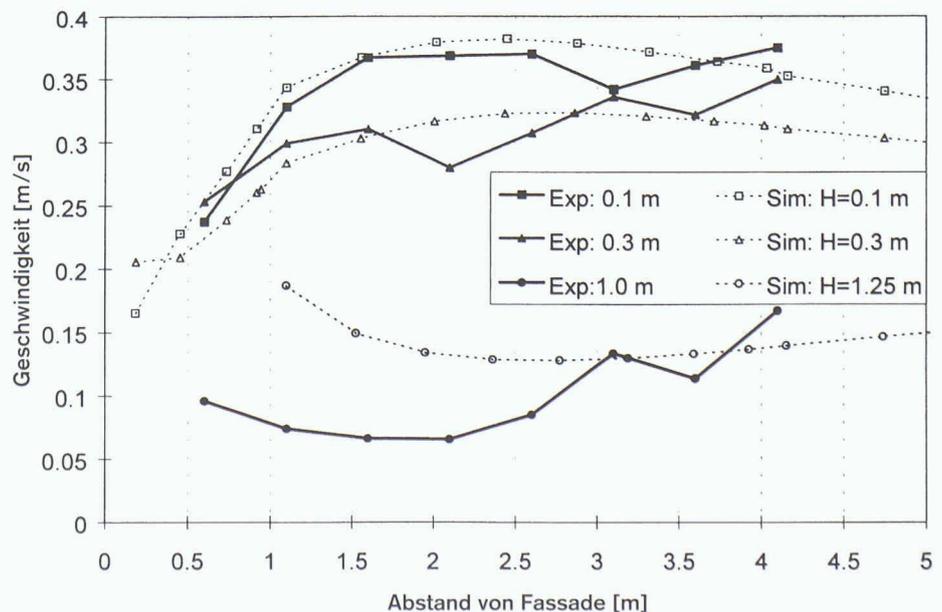
Das Büro- und Gewerbehause Grafenau in Zug mit der 150 Jahre alten «Grafenau-Eiche», rechts davon das Atrium Ost (Architekten: H. Bosshard und W. Sutter, Bild: Comet)

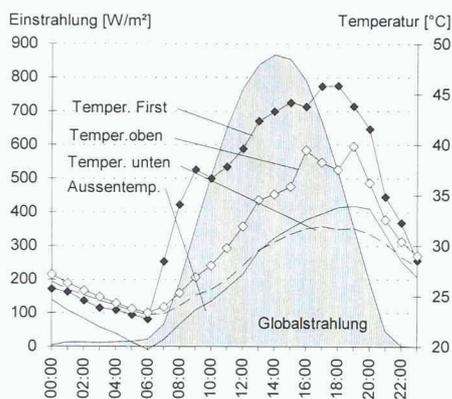
beispielsweise in Restaurants oder Ladenstrassen, sind Heizung und mechanische Lüftung unerlässlich. In beiden Fällen ist dem Sonnenschutz grösste Beachtung zu schenken. Eine bauliche Überhöhung des Atriums begrenzt während sommerlichen Hitzeperioden die Wärmeabfuhr in die angrenzenden Bauten, weil das Warmluftpolster vor allem nach aussen wirkt. Kaum problematisch ist dagegen der Kaltluftabfall an raumhohen Verglasungen, wie Messungen an Atrien zeigen. Der verhältnis-

mässig niedrige Wärmedurchgang der Fensterkonstruktionen mit Wärmeschutzverglasungen - k-Werte um  $1,5 \text{ W/m}^2 \text{ K}$  - mildern diesen traditionell gefürchteten Effekt. Wo dies nicht ausreicht, helfen horizontale Strömungsriegel, die Strömungen in Turbulenzen überführen. (Heizkörper sind bei geeigneten baulichen Voraussetzungen nicht notwendig.) Atrien sparen Energie, denn einerseits sind die Transmissionsverluste durch die Bauteile zu den angrenzenden Räumen geringer und an-

3

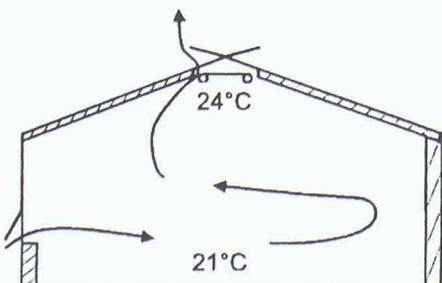
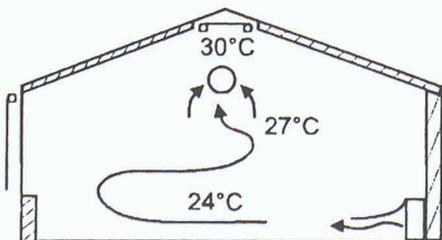
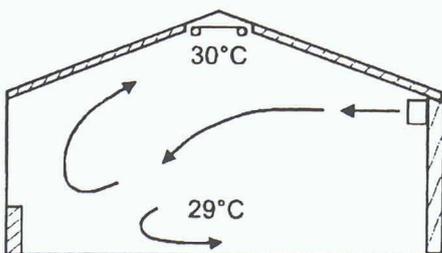
Mess- und Rechenwerte der Luftgeschwindigkeit auf drei verschiedenen Höhen in Abhängigkeit des Abstandes von der Glasfassade. Die Messungen fanden am 12. Januar 1995 und 31. Januar 1996 im Atrium Ost der Grafenau bei bedecktem Himmel und Aussen-temperaturen von  $1^\circ \text{C}$  bzw.  $2^\circ \text{C}$  statt (Quelle: Air + Climate Group, ETH Zürich)





4  
Raumlufttemperaturen (Messwerte) im Atrium Ost der Grafenau an einem warmen Sommertag (3. Juli 1994). Die Kurven belegen die deutliche Temperaturschichtung in diesem grossen Raum (Quelle: Air + Climate Group, ETH Zürich)

5  
Lüftungssysteme im Vergleich: Die Mischlüftung führt zu unbehaglichen Raumlufttemperaturen im Aufenthaltsbereich (29 °C, oberes Bild), die Quelläftung zu einer stabilen Temperaturschichtung (24 °C, mittleres Bild) und die natürliche Lüftung zu komfortablen Verhältnissen (21 °C, unteres Bild). Die Simulationen erfolgten mit CFD (Computational Fluid Dynamics). Einheitliche Randbedingungen: Solarenergieeintrag 26 kW, Zuluftvolumen 6200 m<sup>3</sup>/h, Aussentemperatur 20 °C, Zulufttemperatur 17 °C (Quelle: [2])



derseits dienen diese «Wintergärten» der Luftvorwärmung während der Übergangszeit und an klaren Wintertagen.

**Industriehallen**

Industriehallen unterliegen engen klimatischen Vorgaben, um höchste Sicherheit und Produktivität zu gewährleisten. Als Lüftungsweisen bieten sich die natürliche Lüftung, die Mischlüftung (Verdünnungslüftung) oder Quelläftung (Schichtlüftung) an, wobei unabhängig von der gewählten Lüftung grosse Wärme- und Schadstoffquellen separat zu behandeln sind. Die Verdrängungslüftung wird in Industriehallen - abgesehen von Reinräumen - kaum eingesetzt. (Misch- und Quelläftungen unterscheiden sich insbesondere durch ihre Impulswirkung. Während bei der Mischlüftung starke Zuluftimpulse Raumluftwalzen erzeugen, sorgen in quellbelüfteten Räumen die Wärmequellen - zum Beispiel Prozesseinrichtungen - für thermisch getriebene Luftströmungen.) Als nachteilig bei Quelläftungen erweisen sich die mit zunehmender Höhe steigenden Raumlufttemperaturen und Schadstoffkonzentrationen. Diese Schichtung hat aber auch Vorteile, indem kleinere Luftwechselzahlen bei gleichzeitig höherem Komfort in der eigentlichen Aufenthaltszone möglich sind.

**Turn- und Mehrzweckhallen**

Turn- und Mehrzweckhallen weisen im «Sportbetrieb» nur eine geringe Belegungsichte auf, was für eine natürliche Lüftung spricht. Verdrängungslüftungen sind aufgrund der kleinen Aussenluftraten für Turnhallen gänzlich ungeeignet. Energiesparend - dank Wärmerückgewinnung - ist die lüftungstechnische «Serieschaltung» von Turnhalle, Garderoben und Duschen [1]. Die Aussenluftmenge richtet sich nach den Duschen und den Garderoben. Völlig andere Anforderungen gelten für Hallen, in denen auch Veranstaltungen stattfinden. Bei den erfahrungsgemäss hohen Belegungsichten und Raucheranteilen ist wegen der grossen Volumina, selbst bei Luftwechselzahlen um 2/h, mit riesigen Luftmengen zu rechnen. Unabhängig von der Luftführung sind deshalb Zugerscheinungen zu erwarten (bis zu 50% Unzufriedene).

**Theater und Auditorien**

Theater und Auditorien sind idealerweise mit Quelläftungen ausgerüstet; Mischlüftungen bieten geringeren Komfort. Bewährt hat sich die Zuluftführung über Stuhl- oder Pultauslässe, die - aufgrund der grossen Aussenluftraten - beachtliche Wärmemengen abführen kann (35 m<sup>3</sup>/h je Sitzplatz schaffen Abwärme

von 200 W/m<sup>2</sup> weg). Auf niedrige Temperaturunterschiede im Aufenthaltsbereich - um 3 K - ist besonders zu achten. Wärmepolster in der obersten Raumzone, die zusätzlich durch Beleuchtungsabwärme alimentiert werden, sind je nach baulichen Gegebenheiten tolerierbar und sparen Elektrizität (für Kältemaschine und Ventilator). Gefürchtet ist, vor allem bei Teilbelegung, der sogenannte Wasserfalleffekt, der durch abfallende bodennahe Strömungen kalter Zuluft über die treppenartigen Ränge eines Zuschauerraumes zustande kommt.

**Kaltluftabfall: vereinfachtes Modell**

An inneren kalten Oberflächen von Verglasungen und ungedämmten Aussenwänden treten vertikale Luftströmungen mit hohen Geschwindigkeiten auf. Dieser sogenannte Kaltluftabfall entsteht aufgrund einer Abkühlung der Raumluft im wandnahen Bereich (Grenzschicht). Der Effekt ist ganz wesentlich durch die Temperaturdifferenz zwischen Wand und Raumluft sowie durch die Raumhöhe bestimmt.

$$\Delta T = T_{\text{Raum}} - T_{\text{Wand}}$$

$$W_{W_{\text{max}}} = 0,1 \cdot \sqrt{h} \cdot \Delta T$$

$$a < 0,4 \text{ m}$$

$$W_{B_{\text{max}}} = 0,055 \cdot \sqrt{h} \cdot \Delta T$$

$$0,4 < a < 2 \text{ m}$$

$$W_{B_{\text{max}}} = 0,095 \cdot \sqrt{h} \cdot \Delta T$$

$$a > 2 \text{ m}$$

$$W_{B_{\text{max}}} = 0,028 \cdot \sqrt{h} \cdot \Delta T$$

$$a > 1 \text{ m und } d_b \approx 0,2 \text{ m}$$

$$T_{B_{\text{min}}} = T_{\text{Raum}} - (0,3 - 0,034 \cdot a) \cdot \Delta T$$

$\Delta T$  Temperaturdifferenz zwischen Raumluft und Wandoberfläche [K]

$W_{W_{\text{max}}}$  maximale Geschwindigkeit im Kaltluftabfall an der Wand [m/s]

$W_{B_{\text{max}}}$  maximale Geschwindigkeit der bodennahen Strömung [m/s]

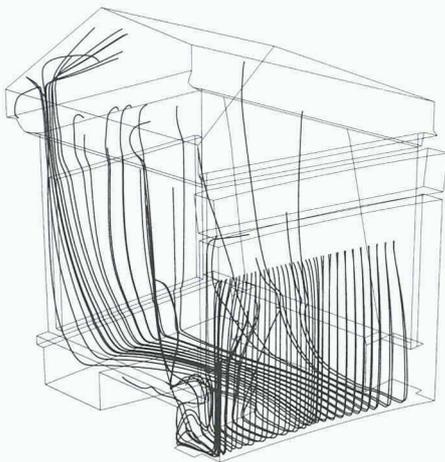
$h$  Lauflänge (wirksame Raumhöhe) [m]

$a$  Abstand zur Wand [m]

$T_{B_{\text{min}}}$  minimale Temperatur der bodennahen Strömung [°C]

$d_b$  Schichtstärke der bodennahen Strömung [m]

Mit dem einfachen Modell lassen sich die minimalen Temperaturen und maximalen Geschwindigkeiten der bodennahen Luftströmung berechnen. (Die an der kalten Wand abfallende Strömung wird umgelenkt und erzeugt eine bodennahe Schichtströmung.) Beispiel: Bei einer wirksamen Raumhöhe (Lauflänge) von 10 m und einer Temperaturdifferenz zwischen Wandoberfläche und Raumluft von 5 K resultiert eine maximale Geschwindigkeit im Kaltluftabfall von 0,7 m/s und in der bo-



6

Sichtung und Interpretation der Daten (10 bis 300 Mbytes) sind oft nur durch eine grafische Umsetzung möglich: Die Wege von masselosen Partikeln im Atrium Ost der Grafenau (Simulation). Die Partikel «starten» auf einer Raumhöhe von 12 m und beschreiben innerhalb von zwei Minuten die Linien (Quelle: Air + Climate Group, ETH Zürich)

dennahen Strömung von 0,4 m/s (Wandabstand unter 40 cm). In einem 3 m hohen Raum ergeben sich bei gleichen Temperaturverhältnissen um 50% geringere Luftgeschwindigkeiten. Die Luft bewegt sich also am Boden - 40 cm von der Wand entfernt - gut halb so schnell wie an der Wand (55%). Die Faustformeln gelten nur, falls die Wand über die ganze Raumbreite kalt ist. In Räumen mit zwei kalten Aussenwänden, beispielsweise in Eckbüros, verstärken sich die Zugerscheinungen - zweifelsohne eine Analogie zum Wärmebrückeneffekt in Gebäudeecken. Das erwähnte Modell zur Berechnung des Kaltluftabfalles an kalten Wänden konnte im Rahmen des Annex 26 validiert werden (Bild 2).

**Numerische Strömungsberechnung**

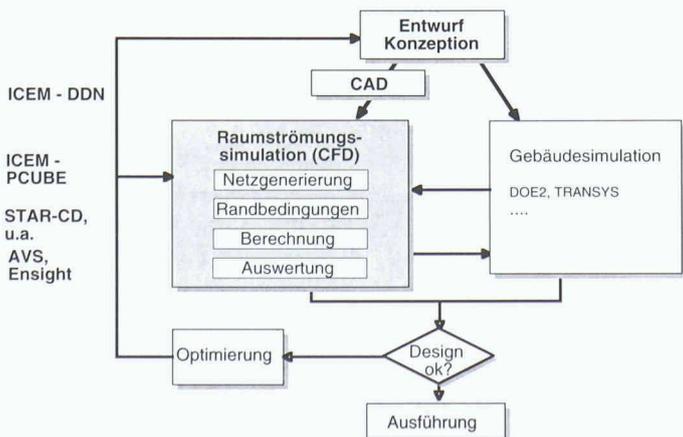
Wer über Luftströmungen und Temperaturverteilungen eines geplanten grossen Raumes unter ständig wechselnden Bedingungen mehr wissen will, ist auf kom-

plexe Programme und deren kompetente Anwendung angewiesen. Numerische Strömungsberechnungen - in der Fachliteratur als CFD (Computational Fluid Dynamics) bezeichnet - liefern geeignete Planungsgrundlagen. Der wirtschaftliche Einsatz von CFD-Programmen ist wohl eher Spezialisten vorbehalten; eine Lizenz kostet um 30 000 Franken pro Jahr, und die Anwendung ist nur nach mehrmonatiger Einarbeitung möglich. Wesentlich günstiger ist die notwendige Hardware: kleine Workstations oder Pentium-PC sind - viel Speicherplatz (RAM) vorausgesetzt - ausreichend.

In einer numerischen Strömungsberechnung wird ein grosser Raum in eine Vielzahl von Zellen - zwischen 1000 und 1 000 000 - unterteilt. Parallel zu diesem Schritt lassen sich die für den ganzen Raum gültigen Differentialgleichungen auf algebraische Gleichungen jedes einzelnen Elementes reduzieren. Diese nichtlinearen gekoppelten Gleichungen werden in mehreren Rechenschritten in ein System von linearen Gleichungen umgewandelt. Die daraus erzeugten Matrixgleichungen werden mit Algorithmen aufgelöst. Schliesslich werden die letzten Schritte in mehreren verschachtelten Iterationen wiederholt, um zur «richtigen» Lösung zu kommen.

Die Kunst der Berechnung liegt in der Vereinfachung, da ein realer Raum nie «genau» simuliert werden kann. Umgekehrt birgt eine allzu starke Simplifizierung die Gefahr, dass die Resultate für die Planung wenig Nutzen bringen. Für den Anwender komplexer EDV-Programme ergeben sich sechs Punkte, die es zu beachten gilt, wobei insbesondere die Plausibilisierung der Resultate auch zum Pflichtheft des Planers gehört:

- Modellwahl
- Vereinfachung der realen Situation
- Generierung des Gitters (grobe Lösung, dann Verfeinerung)
- Setzen gültiger Randbedingungen
- Kontrolle des Rechenverlaufes
- Plausibilisierung der Resultate.



7

Numerische Strömungssimulation (CFD) bei der Auslegung von Lüftungen grosser Räume (Quelle: Sulzer Innotec)

**Ein Beispiel: Grafenau in Zug**

1992 entstand auf dem Areal der Landis & Gyr (heute Landis & Stäfa) das Büro- und Gewerbehaus Grafenau mit drei grossen, südseitig und zenital verglasten Atrien (Bild 2). Im Rahmen des Pilot- und Demonstrationsprogrammes (BEW) und des Annex 26 wurde das Atrium Ost ausgemessen. Das Messobjekt weist eine Grundfläche von 320 m<sup>2</sup>, eine Höhe von 25,9 m und ein Volumen von 7500 m<sup>3</sup> aus. Die Umschliessungsflächen summieren sich auf 2000 m<sup>2</sup>, wovon 512 m<sup>2</sup> verglast sind. Das Atrium ist natürlich belüftet und dient der solaren Luftvorwärmung für die Belüftung der angrenzenden Büroräume. Die Messungen liefern - neben einer Objektbewertung - Aussagen zu den Simulationen und den vereinfachten Rechenmodellen, die als Teil von Annex 26 im «Handbuch für Planer» [2] publiziert wurden. Am Beispiel des Kaltluftabfalles lässt sich die Arbeitsweise illustrieren: Bild 3 zeigt einerseits die Simulationen aufgrund des vereinfachten Modells, andererseits die Messresultate an zwei Wintertagen [3].

Adresse des Verfassers:  
Othmar Humm, Fachjournalist, 8050 Zürich

**Literatur**

[1]  
Wick, B. et al.: Energiegerechte Schulbauten - Handbuch für Planer. SIA D090, Zürich 1990.

[2]  
Lüftung von grossen Räumen - Handbuch für Planer. Clima Suisse, Bundesamt für Energiewirtschaft, Zürich und Bern 1997.

[3]  
Schälin A.: Detaillierte Raumluftströmungsberechnung. Schweizer Ingenieur und Architekt, Nr. 37, S. 776-779, 1996.

**Handbuch für Planer**

Für Planer sind die umfangreichen Forschungs-, Simulations- und Messresultate des Annex 26 in nützlicher Frist nur schwer verwertbar. Dieser Mangel ist durch das «Handbuch für Planer» [2], in dem auf 130 Seiten die wesentlichen Aussagen zusammengefasst sind, behoben. Neben der Einführung umfasst der Band sechs Kapitel, nämlich Planungszielwerte, allgemeine Planungshinweise, Lüftungsstrategien, Planungshilfsmittel, Abnahme und Betriebsoptimierung sowie Beispiele. Thematisiert sind in der Schrift - wenn auch in stark unterschiedlicher Breite - Atrien, Turn- und Mehrzweckhallen, Theater, Auditorien, Eissporthallen und Kirchen. Herausgeber sind das Bundesamt für Energiewirtschaft und Clima-Suisse (Verband Schweizerischer Heizungs- und Lüftungsfirmen). «Lüftung von grossen Räumen - Handbuch für Planer» kann zum Preis von 50 Franken bezogen werden bei: Clima Suisse, Postfach 74, 8024 Zürich, Tel. 01/251 95 69, Fax 01/252 92 31, oder bei Empa-KWH, 8600 Dübendorf, Tel. 01/823 55 11, Fax 01/823 40 09.