

<b>Zeitschrift:</b>	Schweizer Ingenieur und Architekt
<b>Herausgeber:</b>	Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
<b>Band:</b>	112 (1994)
<b>Heft:</b>	50
<b>Artikel:</b>	Berechnung von Luftströmungen in Räumen - Möglichkeiten für die Praxis
<b>Autor:</b>	Schälin, Alois
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-78572">https://doi.org/10.5169/seals-78572</a>

### Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 27.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

## Forschungsprogramm Energierelevante Luftströmungen in Gebäuden

# Berechnung von Luftströmungen in Räumen – Möglichkeiten für die Praxis

**Die numerische Strömungsberechnung liefert die Werte von Luftgeschwindigkeit, Temperatur und Turbulenzgrad der Luft sowie Konzentrationen von Stoffen wie CO<sub>2</sub> oder Rauch detailliert in Räumen bei vorgegebenen Randbedingungen. Sie bietet dem Ingenieur die Möglichkeit, die Lüftungsauslegung hinsichtlich gutem Komfort für die Benutzer bei niedrigem Energieaufwand zu optimieren. In diesem Artikel werden die Methode und ihre Möglichkeiten vorgestellt und verschiedene Wege diskutiert, wie der Ingenieur die numerische Strömungsberechnung konkret einsetzen kann.**

Die Kenntnis der Luftströmung in Räumen ist von grosser Bedeutung für das Wohlbefinden der Bewohner oder

VON ALOIS SCHÄLIN, ZÜRICH

Benutzer, denn durch die Luftströmung wird frische Luft zugeführt und verbrauchte Luft abgeführt. Für den Benutzer selbst ist die Luftströmung meistens dann optimal, wenn sie ihm nicht unangenehm auffällt, wenn also die Temperatur angenehm ist, die Luft frisch ist und es nicht zieht.

Es liegt an der Kunst des Lüftungsingenieurs, durch ein geschicktes Lüftungsdesign in Kombination mit der Heizung – durch mechanisch unterstützte oder natürlich auftretende Strömung – die gewünschten Komfortbedingungen zu realisieren. Als zusätzliche wichtige Randbedingung kommt eine Minimierung des Energieverbrauchs hinzu. Heizungs- und Lüftungsaufgaben sind beim

ganzen Design meistens nicht zu trennen.

In manchen Fällen kann das auftretende Strömungsbild abgeschätzt werden, oder der Ingenieur kann auf ein erfolgreiches Design aus seiner Erfahrung zurückgreifen. Oft wird er aber die Anlagen überdimensionieren, um auf der «sicheren» Seite für ein gutes Funktionieren zu liegen. Sobald eine energetische Optimierung als zusätzliche Randbedingung hinzukommt, wie dies heute selbstverständlich geworden ist, genügen «Faustformeln» oder die Erfahrung meistens nicht mehr. Dies gilt in besonderem Mass, wenn der Designfall etwas Neues ist, bei dem nicht auf Erfahrungen aus bestehenden Bauten zurückgegriffen werden kann.

Die numerische detaillierte Berechnung der Luftströmung, wie sie in diesem Artikel näher vorgestellt wird, bietet dem Ingenieur im Prinzip die Möglichkeit, die Lüftungsparameter für be-

liebige Räume zu optimieren, bzw. in vielen Fällen überhaupt erst auszulegen und damit Reklamationen oder nachträgliche teure Änderungen vermeiden zu helfen.

## Fragestellungen

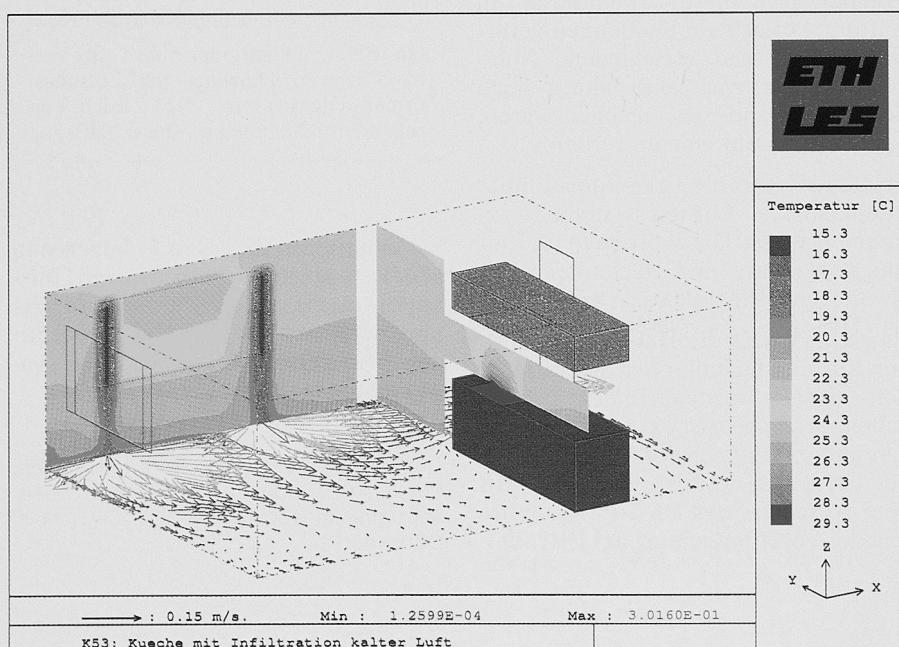
Folgende Beispiele sollen einen Eindruck geben, für welche Fragestellungen in der Praxis eine Kenntnis der Luftströmung notwendig ist:

- Zieht es dem Bürobenutzer am Kopf aufgrund der Lüftungsanordnung?
- Bekommen die Bürobenutzer kalte Füsse wegen einer starken Temperaturschichtung?
- Führt der installierte Radiator zu einer starken Raumwalze mit Zugerscheinungen?
- Ist ein Kaltluftabsturz bei Kühldecken zu befürchten?
- Wird es zu heiss im Atrium?
- Werden die Schadstoffe gut abgesaugt oder homogen im Raum verteilt?

Für die in einem Raum resultierende Luftströmung spielen folgende physikalische Mechanismen eine Rolle, wobei nicht immer alle berücksichtigt werden müssen:

- turbulenter Charakter der Luftströmung,
- Wärmetransport in der Luft durch Konvektion und Wärmeleitung,
- Wärmetransport in Festkörper (Mauer) kombiniert mit Luftströmung,

**Bild 1.** Resultate einer Strömungsrechnung anhand einer Wohnküche. Die Möblierung besteht aus einer Küchenkombination mit beheizter Kochplatte (rote Fläche auf blauem Kochherd) und Abzug. In der Wand links hinten ist ein Fenster mit zwei Leckagen modelliert, durch die kalte Luft von 15 °C einströmt. In der Nähe dieser Rückwand ist die Temperaturverteilung der Luft durch farbig ausgefüllte Isolinien (Linien gleicher Temperatur) dargestellt. Die Temperatur in diesem Bereich liegt zwischen 15,3 und 25,3 °C. In Bodennähe ist die Geschwindigkeitsverteilung der Luft dargestellt; die maximalen Geschwindigkeiten liegen bei 0,3 m/s unmittelbar unter dem Fenster am Boden. In einer weiteren Schnittebene durch die Küchenkombination ist ebenfalls die Temperaturverteilung der Luft dargestellt mit Werten bis zu 29,3 °C



- Auftrieb,
- Schadstofftransport,
- Wärmestrahlung,
- Verteilung und Absorption von direktem Sonnenlicht in einem Atrium,
- Wärmespeicherung (mit zeitabhängigen Vorgängen).

## Verschiedene Rechenmethoden

Zur Strömungsberechnung in Räumen gibt es grundsätzlich folgende drei Methoden:

Der Raum als *Kombination von einzelnen Strömungselementen* wie Freistrahl, Wandstrahl, Auftriebsschwade über einer Wärmequelle, Grenzschichtströmung, Kaltluftabfall oder Lufttausch durch eine grosse Öffnung. Für die einzelnen Elemente werden analytische Formeln angesetzt, die aus vereinfachenden Theorien oder aus Experimenten gewonnen wurden. Die grossen Probleme dabei sind die Kombination der verschiedenen Elemente an sich und die Tatsache, dass die analytischen Formeln für ungestörte Bedingungen ohne gegenseitige Beeinflussung gelten. Damit fehlt dieser Methode nebst dem Problem der Kombination die Allgemeingültigkeit.

*Zonenmodelle*: Der Raum von Interesse wird eingeteilt in einige Zonen (beispielsweise 5 bis 20). In gewissen Zonen werden Strömungselemente wie oben eingesetzt; zusätzlich müssen teils empirische Relationen für die Luftbewegung zwischen den verschiedenen Gebieten angesetzt werden. Die Methode kann für einfache Situationen wie ein Radiator in einem Raum schnell und erfolgreich sein, es fehlt aber ebenfalls die Allgemeingültigkeit.

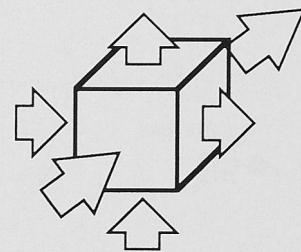
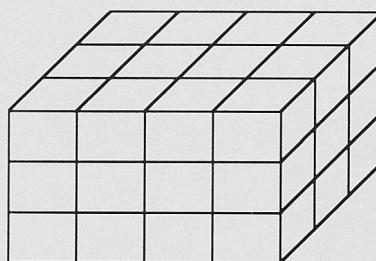
*Numerische Strömungsberechnung*: Der Raum wird in sehr viele Rechenzellen eingeteilt (10 000 bis 100 000), und es werden die physikalischen Transportgleichungen für Masse, Energie und Impuls in einem iterativen Verfahren gelöst (siehe Kasten). Die Strömungsrechnung liefert als Resultate die Werte von Luftgeschwindigkeit, Temperatur, Turbulenzgrad und Schadstoffkonzentrationen detailliert für jede einzelne Rechenzelle im ganzen untersuchten Raum und wird deshalb manchmal auch Feldrechnung genannt zur klaren Abgrenzung von den anderen Verfahren, die ebenfalls «numerisch» sind. Aus den direkten Rechengrössen können weiter beispielsweise die Wärme- und Luftzugskomfortgrössen und die empfundene Raumluftqualität bei Gerüchen (olf/dezipol, nach Fanger) abgeleitet werden [3] bis [5].

Der Energieaufwand wird separat berechnet vor allem aufgrund der angegebenen Randbedingungen (beispielswei-

## Numerische Strömungsberechnung

Die wesentlichen Schritte der numerischen Strömungsberechnung sind [1] und [2]:

1. Man unterteilt das Gebiet, das untersucht wird, in sehr viele (1000 bis 100 000) Rechen- oder Gitterzellen und stellt die Differentialgleichungen für alle diese Zellen mit Anfangs- und Randbedingungen auf.
2. Die Differentialgleichungen werden auf algebraische Gleichungen reduziert (diskretisiert).
3. Diese nichtlinearen gekoppelten Gleichungen werden in mehreren Schritten auf ein System von linearen Gleichungen reduziert. Die Koeffizienten werden bei jedem Iterationsschritt neu berechnet.
4. Schritt 3 wird in mehrfach verschachtelten Iterationen wiederholt bis zum Erreichen der «richtigen» Lösung im ganzen Gebiet.



Links: Prinzipielle Unterteilung des Rechengebietes in einzelne Zellen. Rechts: Bilanzgleichungen für die zu- und wegtransportierten Grössen Masse, Impuls, Energie und weiteren Stoffen für jede Rechenzelle. Für jede Rechenzelle wird ein Wert jeder Grösse berechnet

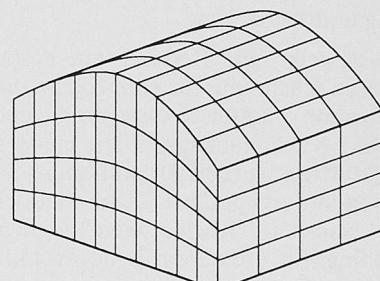
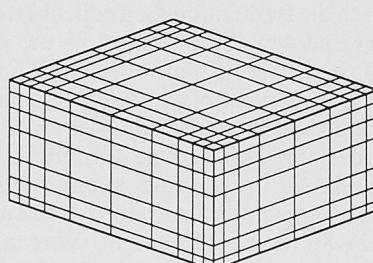
Die Strömung wird durch folgende Transportgleichungen bestimmt:

- Massenkontinuität (Erhaltungssatz der Masse),
- Impulssatz (Newton'sches Bewegungsgesetz «Kraft=Masse x Beschleunigung»),
- Energiesatz (Energieerhaltung).

Der Impulssatz ist eine vektorielle Gleichung, d.h., er besteht aus je einer Gleichung für jede Koordinatenrichtung; im allgemeinen, dreidimensionalen Fall haben wir somit 5 Gleichungen für die 5 Unbekannten Druck  $p$ , Geschwindigkeitskomponenten  $u, v, w$  und Temperatur  $T$ . Hinzu kommen die Zustandsgleichung für die Luft und je nach Anwendung zusätzliche Gleichungen für weitere skalare Grössen  $C_i$ , wie beispielsweise für die Konzentration von Schadstoffen oder für die turbulente kinetische Energie, welche eine Hilfsgröße zur Erfassung des turbulenten Charakters der Strömung ist.

Die grösste verbleibende theoretische Schwierigkeit liegt in der Berechnung der turbulenten Strömung, wobei das sogenannte  $k-\varepsilon$  Modell immer noch das geeignetste Modell für die praktischen Anwendungen der turbulenten Strömung ist. Dabei werden die Geschwindigkeitskomponenten in mittlere Geschwindigkeiten und in fluktuierende Anteile aufgeteilt, und zwei zusätzliche Transport-Differentialgleichungen für eine Turbulenzenergie  $k$  und eine Dissipationsgröße  $\varepsilon$  aufgestellt und gelöst.

Pro Rechenzelle müssen insgesamt mindestens 7 Differentialgleichungen gelöst werden, also 70 000 gekoppelte algebraische Gleichungen bei 10 000 Rechenzellen.



Links: Rechtwinkliges Gitter mit feinerer Auflösung in Wandnähe. Rechts: Körperangepasstes, nichtrechtwinkliges Gitter für Halle mit Tonnengewölbe

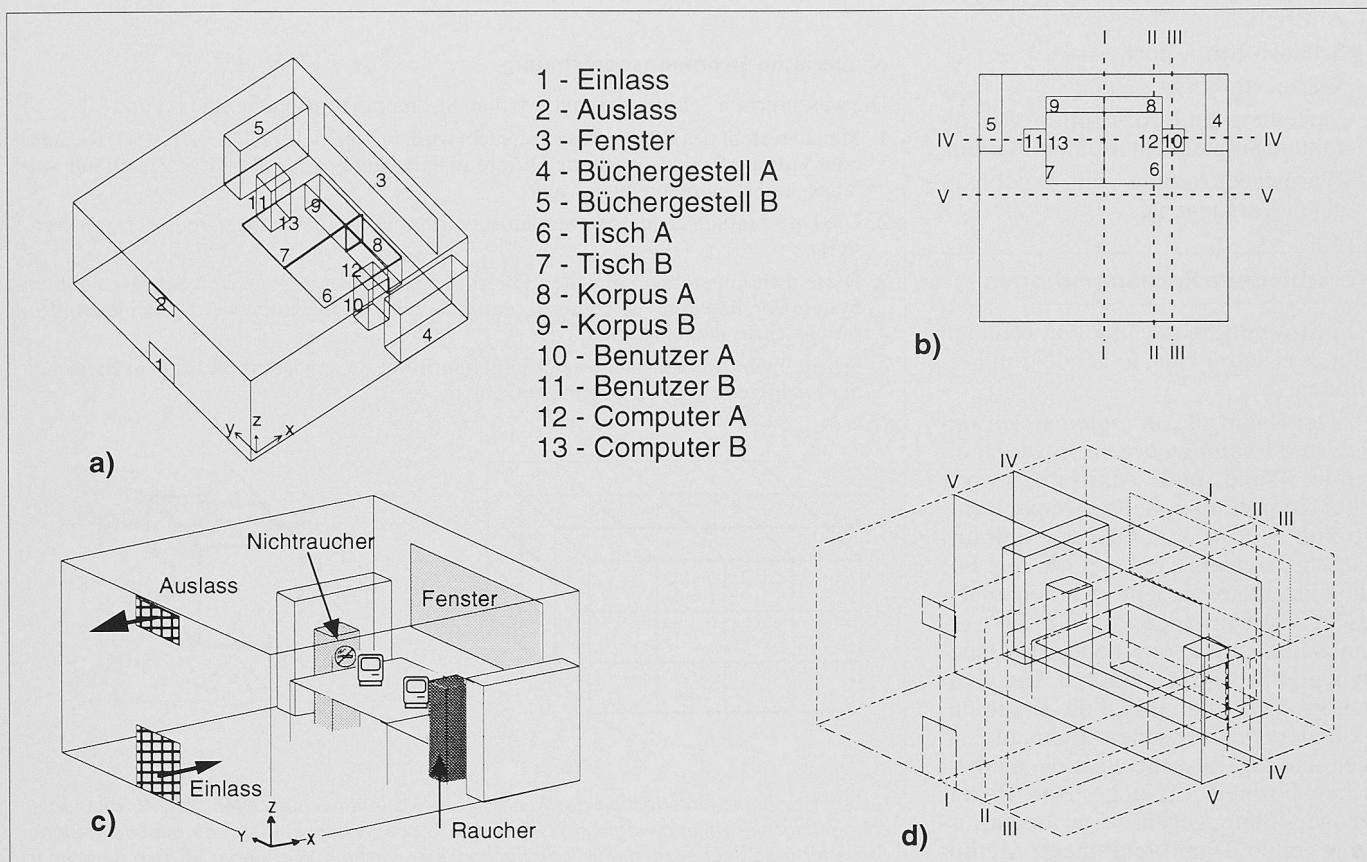


Bild 2. Beispiel aus dem Atlas. a) und c): Geometrie des Büros in verschiedenen Ansichten mit Möblierung, Besetzung und Lüftung. b) und d) Lage der Schnittebenen, in denen die Resultate dargestellt sind (siehe Bild 3)

se Wärmelasten, Energieaufwand für Lüftung) und mit Hilfe einiger Rechenresultate (beispielsweise Wärmeverlust durch Wände). Die numerische Strömungsberechnung (im Fachjargon CFD genannt, «Computational Fluid Dynamics») hat in den letzten zehn Jahren mit der stark wachsenden Rechnerleistung wie in vielen anderen Gebieten auch Einzug gehalten in die Lüftungsberechnung in Räumen und Gebäuden und wird zunehmend ein wichtiges Designhilfsmittel in der Lüftungs- und Haustechnik. Die Methode kann im Prinzip auf beliebige Situationen angewendet werden und ist damit allgemeingültig, für den Preis des zusätzlichen Aufwandes an Arbeit, Rechenleistung und Know-how.

Bild 1 zeigt ein Beispiel einer stationären Rechnung für eine Küche mit Infiltration kalter Außenluft und einem Küchenabzug. Die meisten Rechnungen werden für stationäre Situationen durchgeführt, es sind jedoch auch transiente Rechnungen möglich, allerdings bei grösserem Zeitaufwand.

Die numerische Strömungsberechnung kann im Prinzip auch für die Luftverteilung in einem ganzen Gebäude mit vielen Räumen angewandt werden; der Rechenaufwand wird aber im allgemeinen unrealistisch hoch. Für diese Anwendung kommen eher Multizonenmo-

delle in Frage, bei denen auf Details in den einzelnen Räumen verzichtet wird. Es ist auch möglich, beide Methoden zu kombinieren, wenn zwar das ganze Gebäude interessiert, im Detail aber nur ein einziger Raum [2].

#### Die numerische Strömungsberechnung – Aufwand, Möglichkeiten und Grenzen

Der für eine solche numerische Feldrechnung notwendige Aufwand unterteilt sich in Arbeitsaufwand zum Aufsetzen des Falles (Vereinfachungen der Realität, Umsetzen in Programminput) und in Rechenteitaufwand. Die Umsetzung ins Programm wird bestimmt durch die Bedienungsfreundlichkeit des verwendeten Programmes. Heute gibt es Programme, in denen der Programminput in einem einfacheren Fall in einer Stunde erledigt werden kann. Nicht immer führen aber die Grundeinstellungen der Programme zu einer richtigen, sogenannt konvergierten Lösung. Beim Steuern des Rechnungsvorganges und vor allem beim Beurteilen der Resultate ist ein gewisses Mass an Kenntnis und Erfahrung notwendig.

Die neu auf den Markt gebrachten Rechner werden immer schneller und erlauben eine immer kürzere Rücklaufzeit für ein Rechenergebnis oder ein

immer detaillierteres Untersuchen eines Problems. Ein dreidimensionaler Fall weist typischerweise einige 10 000 Rechenpunkte auf. Die Berechnungszeit für eine Variante beträgt eine halbe bis ganze Stunde auf einer schnellen Workstation oder einige Stunden auf einem schnellen PC. Man kann aber auch schon nützliche Resultate für 1000 Rechenpunkte erhalten. Der effektive Bearbeitungsaufwand für einen geübten Ingenieur beträgt für einen typischen Fall je nach Komplexität eine bis vier Arbeitswochen.

Die heute erhältlichen Programme erlauben mit den berücksichtigten physikalischen Modellen und Effekten eine sehr gute qualitative Aussage über die Strömung (besonders im Variantenvergleich), aber auch eine gute quantitative Aussage (innerhalb 10 bis 20% auf «relevante» Geschwindigkeiten). Die Gründe für die Abweichungen von der Realität sind auf verschiedenen Ebenen zu suchen:

- physikalisch:** Die berücksichtigten Modelle sind ungenügend (vor allem das Turbulenzmodell).
- numerisch:** Das numerische Verfahren ist zuwenig genau, oder das Iterationsverfahren hat zuwenig gut konvergiert.
- Hardware:** Die Rechenauflösung (Feinheit des Gitters) ist in wichtigen

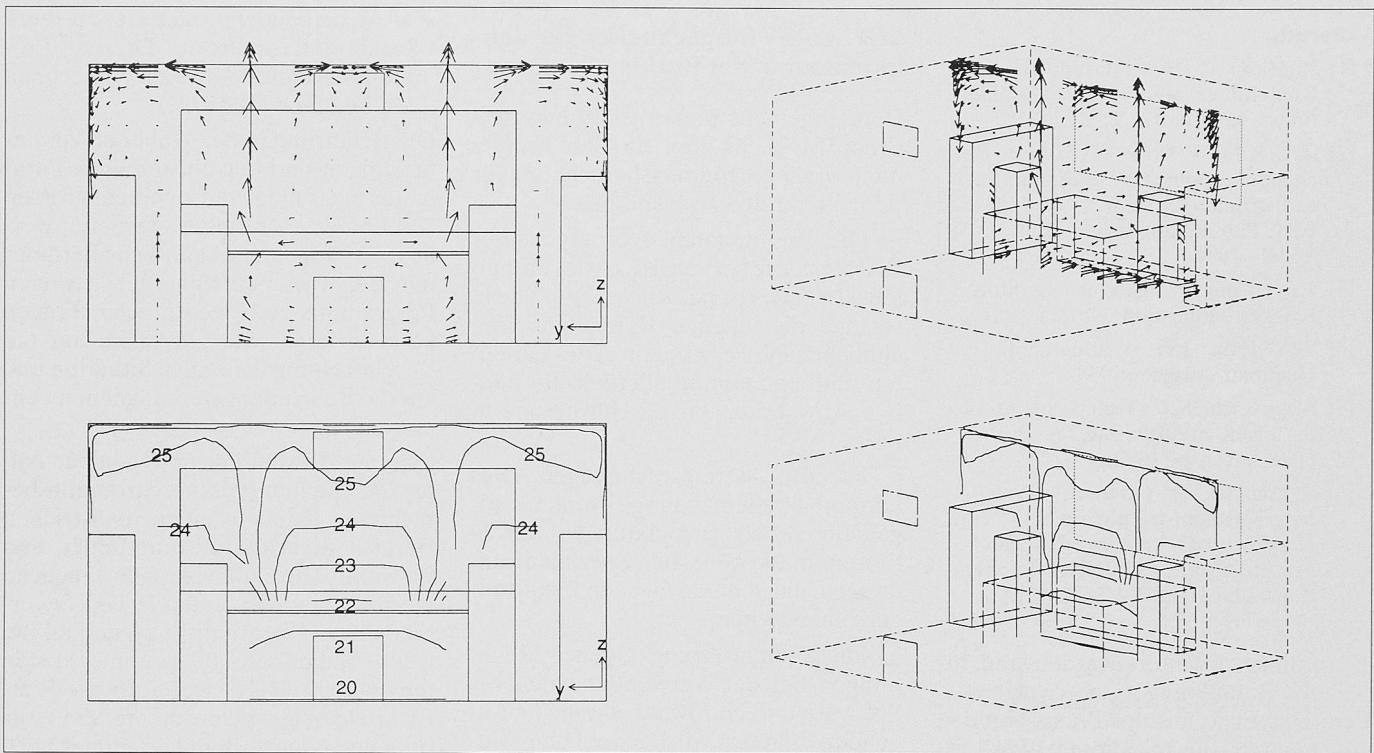


Bild 3. Resultatbeispiel aus dem Atlas für den Fall von Bild 2

Oben: Geschwindigkeitsfeld in der Ebene IV-IV durch die beiden Benutzer. Dominierend in diesem Schnitt ist die Auftriebsströmung vor beiden Benutzern aufgrund der dort platzierten Computer (maximale Geschwindigkeit rund 0,25 m/s)

Unten: Temperaturverteilung in derselben Ebene IV-IV. Die Temperaturschichtung aufgrund der Quelllüftung ist gut ersichtlich sowie die erhöhte Temperatur im Bereich der Auftriebsströmung über den Computern (die Computer selbst sind hier nicht dargestellt). Die Zeichnungen rechts zeigen jeweils dieselben Informationen wie links zur Verdeutlichung in dreidimensionaler Ansicht

Gebieten zu klein gewählt oder aus Zeit- oder Hardwaregründen beschränkt.

**Modellierung:** Die reale Situation musste vereinfacht werden, die Kenntnis der Randbedingungen ist ungenügend, oder/und es wurden falsche Annahmen getroffen.

Der Einfluss dieser Fehlerquellen auf die Resultate kann mit Erfahrung abgeschätzt werden. In den meisten Fällen sind die grössten Unsicherheiten in den Resultaten auf eine ungenügende Kenntnis der Randbedingungen zurückzuführen.

#### Der ERL-Atlas – eine Datenbank mit vorberechneten Strömungsfeldern

Trotz der Entwicklung auf der Hardware- und Softwareseite kommt die eigenständige Durchführung von solchen Rechnungen nicht für jedes Unternehmen in Frage. Im Jahre 1986, zu einer Zeit, in der solche Rechnungen nur auf Supercomputern durchgeführt werden konnten, haben die Initiatoren des nationalen Forschungsprogrammes ERL die Idee einer Datenbank für Raumströmungen lanciert. Dabei sollen für eine gewisse Klasse von ähnlichen Räu-

men viele Konfigurationen von Besetzungen, Lasten, Lüftungsparametern durchgerechnet und abgespeichert werden. Ein Anwender soll dann für die Situation, für welche die Lüftung ausgelegt werden soll, einen oder mehrere ähnliche Fälle in der Datenbank finden, und durch Vergleich (Interpolation und Extrapolation) die notwendigen Lüftungsparameter bestimmen können.

Im Verlaufe des ERL-Projektes wurde 1988 bis 1991 eine solche Datenbank für Büoräume erstellt. Sie ist jetzt in Buchform als «Luftströmungsatlas» erhältlich [6]. Ein kompletter Atlas von Büoräumen mit beispielsweise 5 verschiedenen Lüftungssystemen, 20 verschiedenen Raumabmessungen, 4 verschiedenen Positionen von Lufteinlass und -auslass und 2 verschiedenen Lasten würde schon 800 Fälle beinhalten. Dies würde den Rahmen bei weitem sprengen. Deshalb wurde entschieden, dass einerseits für denselben Raum 9 verschiedene Lüftungssysteme, und andererseits für zwei typische Lüftungssysteme eine grössere Anzahl von Variationen gerechnet werden sollen.

Für 36 Konstellationen mit Quelllüftung und 16 Konstellationen mit Mischlüftung sind die auftretenden Strömungsbilder und Verteilungen von Tempera-

tur, Komfortparametern und Schadstoffen verschiedener Quellen graphisch dargestellt. 30 weitere Varianten sind im direkten Vergleich weniger wichtiger Parameter wie Möbelposition, Fenstergrösse oder Wandtemperatur enthalten.

Ein graphischer Suchpfad erlaubt das Auffinden der in Frage kommenden, im Atlas enthaltenen Fälle. Bild 2 zeigt für ein Beispiel aus dem Atlas den Raum mit Möblierung, Besetzung und Lüftungsein- und -auslässen. Im rechten Teil der Darstellung ist die Lage der Schnittebenen angegeben, für welche die Daten im Atlas enthalten sind.

Die sinnvolle Darstellung umfangreicher Daten in drei Dimensionen ist immer eine schwierige Aufgabe. Für die Darstellung von Strömungsdaten wurden die Pfeildarstellung für die Luftströmung (Richtung und Länge der Pfeile repräsentieren die Richtung und den Betrag der Luftgeschwindigkeit an jedem Rechenpunkt) und die Isolinendarstellung für Temperatur und Schadstoffkonzentrationen gewählt. Bild 3 zeigt die Geschwindigkeits- und Temperaturverteilung für den Fall aus Bild 2 in zwei verschiedenen Ansichten.

Dieser Atlas stellt einen Prototyp oder Pilotversuch dar. Er kann im Prinzip für

**Literatur**

- [1] A. Moser, V. Dorer: «Grundlagen der Raumluftströmung», ERL-Publikationsreihe, Band 3, VSHL, 1994.
- [2] A. Schälin, V. Dorer, A. Moser: «Rechenprogramme zur Bestimmung der Luftströmungen in Gebäuden», ERL-Publikationsreihe, Band 5, VSHL, 1994.
- [3] P.O. Fanger: «Thermal comfort», Krieger Publication, Florida, 1982.
- [4] SIA-Norm 180. Wärmeschutz im Hochbau, Ausgabe 1988.
- [5] SIA-Norm 382/2. Technische Anforderungen an lüftungstechnische Anlagen, Ausgabe 1992.
- [6] A. Schälin, Q. Chen, A. Moser, P. Suter: «Raumströmungsatlas – Ein Katalog von Strömungsberechnungen in Büroräumen», ERL-Publikationsreihe, Band 4, VSHL, 1994.

Büroräume erweitert werden und für weitere Raumkategorien ergänzt werden. Das Echo aus der Praxis von den Ingenieuren, die mit diesem Werk arbeiten, soll jetzt zeigen, inwieweit eine solche Form vorgerechneter Strömungsbilder nützlich sein kann. Für Räume, die weniger häufig oder in grösserer Variation (beispielsweise Atrien, Fabrikhallen, Theater) gebaut werden, ist natürlich die Erstellung eines umfassenden Atlas nicht möglich und auch nicht sinnvoll.

**CFD heute – Möglichkeiten für den Ingenieur in der Praxis**

Dem Ingenieur bieten sich heute folgende Möglichkeiten für den Einsatz numerischer Strömungsberechnung für seine konkreten Anwendungen:

- Die Zuhilfenahme vorberechneter Beispiele, wie sie im ERL-Atlas enthalten sind. Dies ist natürlich nur möglich, solange die eigenen Räume in einer ähnlichen Weise in einem Atlas enthalten sind, und kommt allenfalls für häufige Anwendungen wie Büroräume in Frage.
- Externe Auftragsrechnungen. Dies kommt vor allem in Frage, wenn ein Ingenieur selten Berechnungen durchführen muss oder bei Spezialanwendungen, die über die eigenen Erfahrungen hinausgehen.
- Die Durchführung eigener Rechnungen bei der Verwendung neuerer Software und Hardware, wie sie im folgenden erläutert wird. Zwei Haupthindernisse, die noch Ende der 80er Jahre einer breiten Anwendung der CFD-Methode in der Ingenieurpraxis im Wege standen, sind heute überwunden:
  - schwerverständliche oder kompliziert zu handhabende Programme. Einige der heutigen Programme sind leicht nach kurzer Einführung zu bedienen.

– nicht vorhandene oder viel zu teure Computerressourcen. Diverse Programme laufen befriedigend schnell auf heutigen PC (1994).

Die Erfahrung in der Wahl der Vereinfachungen und der notwendigen Parameter muss hingegen zu einem grossen Teil immer noch selber erarbeitet werden. Der Ingenieur kann sich allerdings mit der Unterstützung der heutigen Programme auf wesentliche Fragen konzentrieren, wie vor allem auf die Vereinfachung der realen Situation und auf die Beurteilung der möglichen Fehlerquellen.

Für eine Anwendung im Ingenieur-Alltag ist die numerische Strömungsberechnung damit in einen realistischen Bereich gerückt. Leistungsfähige und für viele Anwendungsfragen taugliche Rechner sind für unter 10 000 Fr. erhältlich (z.B. Pentium-PCs), und relativ leicht bedienbare Programme kosten ungefähr 20 000 Fr. Der Software-Preis ist in einer Grössenordnung, die zwar für gelegentliche Benutzer immer noch zu hoch ist, für häufige Benutzer aber doch in Frage kommt. Die Anforderungen an den Anwender sind allerdings nicht zu vernachlässigen, da ein gewisses Mass an Erfahrung zur Beurteilung der Resultate erarbeitet werden muss.

Adresse des Verfassers: Dr. A. Schälin, Laboratorium für Energiesysteme, ETH Zürich, 8092 Zürich.

**Forschungsprogramm Energierelevante Luftströmungen in Gebäuden****Natürlicher Luftaustausch in Gebäuden: Wie planen, wie messen?**

**Die Gewährleistungen eines gesunden und behaglichen Innenraumklimas bei gleichzeitig sparsamem Energieeinsatz, diese Forderungen gilt es auch für natürlich belüftete Gebäude zu erfüllen. Der Planer sieht sich mit der schwierigen Aufgabe konfrontiert, die Gebäudedichtigkeit und die Lüftungsöffnungen so auszulegen, dass weder übermässige Lüftungsverluste noch Komfortprobleme auftreten, andererseits aber eine minimale Grundlüftung auch ohne direkten Benutzereinfluss eingehalten werden kann. Dieser Beitrag geht auch darauf ein, wie der Luftaustausch in natürlich oder gemischt natürlich/mechanisch belüfteten Gebäuden bestimmt werden kann und welche Resultate des abgeschlossenen Forschungsprogrammes ERL dazu eingesetzt werden können.**

Fragen des Luftaustausches in Gebäuden berühren den Architekten und Planer auf vielfältige Art und Weise:

- Bei der Erarbeitung eines Lüftungskonzeptes und somit der Luftführung im Gebäude müssen Risiken bezüglich

Luftzug, Geruchsausbreitung und Rückströmungen abgeschätzt werden können. Durchlässe müssen geeignet plaziert und dimensioniert werden, und der Einfluss einer zu dichten oder aber zu durchlässigen Gebäudehülle auf das Verhalten einer mechanischen Anlage

muss abgeschätzt werden. Neuere Konzepte für die Belüftung von Wohnhäusern, oder innovative Konzepte wie beispielsweise für natürliche Belüftung von Bürohochhäusern, müssen detailliert studiert und beurteilt werden können.

**VON VIKTOR DORER,  
DÜBENDORF**

- Fragen der Luftqualität erfordern die Bestimmung von Außenluftstraten, des Feuchttetransportes sowie von Verunreinigungs-Konzentrationen bei verschiedenen Quellbedingungen, eventuell auch die Quantifizierung von vom Benutzer inhalierten Dosen.

- Lüftungsverluste bilden einen wesentlichen Bestandteil des gesamten Energieheizbedarfes eines Gebäudes. Luftströmungen können jedoch auch wichtig sein für den Energietransport im Gebäude, bei passiver Nachtkühlung