Bauforschung

Grundsätzliche Abklärungen über Systeme zur Lüftung und Heizung bzw. Kühlung von Gebäuden

T 2359

Fraunhofer IRB Verlag

T 2359

Bei dieser Veröffentlichung handelt es sich um die Kopie des Abschlußberichtes einer vom Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen -BMVBW- geförderten Forschungsarbeit. Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die Originalmanuskripte wurden reprotechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprotechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag
Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69
70504 Stuttgart

Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00
Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

Bitte beachten:

Fehlende Seiten sind **Leerseiten**,
die bei Erstellung
der PDF-Datei für den Download nicht
berücksichtigt wurden

Fraunhofer IRB Verlag

Nationaler Energie-Forschungs-Fonds

Grundsätzliche Abklärungen über Systeme zur Lüftung und Heizung bzw. Kühlung von Gebäuden

Juni 1990

Forschungsprogramm
Energierelevante Luftströmungen in Gebäuden

Zusammenfassung

Die Arbeiten während dieser ersten Phase im ERL-Teilbereich C dienten der Erarbeitung einer *breitgestützten Bestandesaufnahme* zu heute weit verbreiteten sowie neueren Systemen zur Lüftung und Heizung bzw. Kühlung von Gebäuden. Dadurch sollte ein realistisches Bild des aktuellen Standes der Technik und der Erfahrungen in der Praxis aufgezeigt werden.

Die zur Erstellung dieser Bestandesaufnahme nötigen Grundlagen wurden durch eine Literaturrecherche erarbeitet. Diese Grundlagen wurden durch folgende Untersuchungen gezielt ergänzt:

- Befragung von Lüftungsexperten (Opinion leaders)
- Erhebung bei Liegenschaftsbesitzern und Betreibern von Lüftungssystemen
- Untersuchungen an 10 Fallbeispielen

Befragungen von Lüftungsexperten (Opinion leaders)

Diese Befragung hatte zum Ziel herauszufinden, welche Systeme seit der Erdölkrise 1973 eingesetzt wurden und welche Tendenzen sich heute abzeichnen. Darüber hinaus sollte sie auch Aufschluss über die Erfahrungen bei der Planung von solchen Anlagen geben. Generell wurden Systemtypen als rückläufig bezeichnet, welche einen hohen Energieverbrauch bedingen (z.B. Multizonensysteme). Ein deutlicher Aufwärtstrend ist hingegen bei Systemen zu verzeichnen, welche eine bessere Anpassung an den Lüftungsbedarf erlauben (z.B. VAV) und/oder die Aussenluft wirkungsvoll in die Aufenthaltszone führen. Es wird immer schwieriger, das Abführen der thermischen Lasten sowie die Zufuhr der nötigen Aussenluft mit Hilfe einer möglichst geringen Luftmenge gleichzeitig zu gewährleisten.

Erhebung bei Liegenschaftsbesitzern und Betreibern von Lüftungssystemen

Durch Erhebungen und Befragungen bei Bauherrschaften mit grossem Liegenschaftenbestand wurde abgeklärt, welche Erfahrungen die Bauherren und Betreiber mit den eingesetzten Lüftungssystemen gemacht haben. Insbesondere wurden die Kriterien untersucht, welche die Wahl der Lüftungsstrategie und des Systems beeinflussen. Bei allen Bauherrschaften stehen einfache Lüftungssysteme mit geringem Unterhalts- und Wartungsaufwand zuoberst auf der Wunschliste. Eine immer grössere Bedeutung erhält die geforderte Flexibilität in der Raumnutzung. Die Forderung nach grosser Flexibilität beeinflusst sowohl die Systemwahl als auch die Anlageplanung (inkl. Regulierung) sehr stark. Aus psychologischen Gründen wird die Möglichkeit des Fensteröffnens als unerlässlich betrachtet. Hingegen werden Einschränkungen des Komforts während zeitlich limitierten Perioden (z. B. Hitzeperiode im Sommer) vermehrt in Kauf genommen.

Untersuchungen an 10 Fallbeispielen

Mit der Untersuchung des Einsatzes interessanter Systeme in Gebäuden, welche in den letzten Jahren nach neueren Gesichtspunkten und Planungsmethoden erstellt worden sind, wurden die oben erwähnten Befragungen und Erhebungen durch einfache Feldmessungen an gebauten Anlagen ergänzt. Für die verschiedenen Systeme wurden die Kenngrössen, welche das Gebäude, das Lüftungssystem und die lokale Luftführung sowie die Luftqualität und den thermischen Komfort beschreiben, erfasst. Die Luftströmungsverhältnisse im Raum wurden durch Rauchversuche sichtbar gemacht und auf Video aufgezeichnet. Die prinzipiellen Unterschiede in der Luftführung kamen dabei deutlich zum Ausdruck. Aufgrund der für die angetroffenen Luftmengen geringen Personenbelegung der Räume ergaben sich in keinem der untersuchten Gebäude Probleme mit der Luftqualität (CO_2 < 950 ppm). Bezüglich Energieverbrauch sowie Investitions- und Betriebskosten musste festgestellt werden, dass nur sehr wenige Bauherren über die entsprechenden Daten verfügen.

Die Resultate dieser Arbeit bilden die Grundlage für detaillierte Systemanalysen, welche in einer zweiten Projektphase (1990-91) durchgeführt werden sollen.

Résumé

Les travaux effectués dans le cadre de cette première phase du projet ERL sous tâche C ont pour objectif de recenser et d'analyser sur une base aussi large que possible tous les nouveaux systèmes de chauffage à air, de ventilation et de refroidissement des bâtiments. Il s'agit de définir l'état de la connaissance et de la pratique actuelle dans ces nouveaux domaines.

Pour réaliser ce tour d'horizon des connaissances, nous avons tout d'abord effectué une analyse bibliographique des publications thèses et périodiques. Ces données de base ont été complétées par d'autres analyses en particulier :

- Questionnaires et entretiens avec des planificateurs d'installations de ventilation
- Enquêtes auprès d' investisseurs et propriétaires de parcs immobiliers ainsi que des exploitants d'installations de ventilation
- Analyses et mesures des dix objets représentatifs

Enquêtes auprès des spécialistes de la branche ventilation, climatisation (Opinion leaders)

Le but poursuivi par cette enquête est de connaître quels systèmes ont été implantés avec succès depuis la crise pétrolière et quelle tendance se fait jour dans cette branche. De plus, nous voulions savoir quelles expériences il retirait de la planification de ces systèmes. En général, les systèmes que l'on applique de moins en moins sont ceux qui engendre des consommations d'énergie élevées (par exemple: multi-zones, double canal). Les systèmes de ventilation qui ont tendance à s'implanter sont ceux qui permettent d'avoir un débit d'air traité mieux contrôlé (VAV par exemple) et une meilleure maîtrise de l'utilisation de l'air extérieur dans la zone d'occupation. Il est clair que l'évacuation des charges internes et la pulsion d'un débit d'air extérieur minimal sont difficiles à réaliser. Ces deux conditions étant souvent en contradiction.

Enquêtes auprès des propriétaires immobiliers et des exploitants d'installations de ventilation

Sur la base d'un questionnaire envoyé à des investisseurs responsables d'un parc immobilier important et lors d'entretiens, nous avons essayé de connaître les expériences que ces personnes avaient faites avec différents types d'installations de ventilation-climatisation dans leurs bâtiments. En particulier, nous voulions connaître quels étaient les critères influençant le choix d'un système de ventilation. De ces entretiens, il ressort que tous les maîtres d'ouvrage désirent en premier lieu des installations de ventilations très simples ayant des frais d'exploitation et d'entretien le plus bas possible. Le critère de flexibilité d'utilisation des locaux revêt une importance de plus en plus grande. Ce critère influence le choix du système de ventilation et sa planification de même que le principe de régulation. Pour des raisons psychologiques avant tout, on veut laisser aux utilisateurs la possibilité d'ouvrir les fenêtres. Par contre, ce qui est nouveau c'est le fait d'admettre que pendant certaines périodes de l'année, en été, on ait des températures ambiantes plus élevées et un confort moindre.

Exemples d'application (dix cas)

Dans ce volet, nous avons analysé et mesurer des systèmes nouveaux présentant des caractéristiques intéressantes implantés dans des bâtiments, planifiés selon les nouveaux concepts étudiés. Pour ces différents systèmes nous avons tout d'abord relevé et mesuré des grandeurs de base, telles que type de bâtiment, système de ventilation, pulsion et reprise de l'air dans les locaux, qualité de l'air et confort thermique. Les mouvements d'air dans les locaux étudiés ont été visualisés au moyen de fumée et filmés par caméra vidéo. On a ainsi pu mettre en évidence les différences caractérisant les systèmes de pulsion et de reprise de l'air traité dans les locaux. Dans tous les exemples que nous avons analysés, la quantité d'air extérieur pulsé permettait d'assurer une qualité d'air ambiant satisfaisante (CO_2 < 950 ppm). En ce qui concerne la consommation d'énergie, les investissements et les frais d'exploitation des installations de ventilation, nous n'avons pas pu trouver de données significatives.

Les résultats de cette première phase permettent de définir les thèmes que l'on étudiera de manière approfondie dans la deuxième phase 1990-1991.

INHALT

		Seite
Forschungsprogramm Energierelevante Luftströmungen in Gebäuden		iii
Teilbereich C - Förderung neuerer Lüftungssysteme		iv
1.	EINLEITUNG	1
1.1	Problemstellung	1
1.2	Zielsetzung	2
1.3	Projektorganisation	2
1.4	Bearbeitungsablauf und Aufbau des Berichts	3
1.5	Publikationen	4
1.6	Verdankungen	5
2.	ÜBERSICHT ÜBER LÜFTUNGSSYSTEME	7
2.1	Grundfunktionen und Systemabgrenzung	7
2.2	Gliederung der Lüftungssysteme	10
2.3	Arten der Luftführung im Raum	11
2.4	Lüftung in Wohnbauten	14
2.5	Lüftung in Büro- und Dienstleistungsgebäuden	21
3.	ANFORDERUNGEN AN GEBÄUDE UND LÜFTUNGSSYSTEM	27
3.1	Gebäudepark Schweiz und Lüftungsprinzip	27
3.2	Angepasste Luftdurchlässigkeit, innere Lasten und Energiebedarf	28
3.3	Anforderungen bezüglich Komfort und Hygiene	32
3.4	Neue Begriffe	43
4.	HEUTIGE SITUATION DER LÜFTUNGSBRANCHE	49
4.1	Umfrage bei Lüftungsexperten	49
4.2	Vergangene und zukünftige Entwicklung von Lüftungssystemen	49
4.3	Systemwahl und Planungskoordination	54
4.4	Berücksichtigung von Komfort, Hygiene und Bauphysik bei der Wahl des Lüftungssystems	55
4.5	Erfahrung mit heutigen Planungsinstrumenten	56

		Seite
5.	ERFAHRUNGEN DER BAUHERRSCHAFT	57
5.1	Umfrage bei Liegenschaftsbesitzern	57
5.2	Vorstellung und Erwartungen der Bauherrschaft	58
5.3	Erfahrungen der Bauherrschaft	58
5.4	Einstellung des Publikums (Benutzer)	60
5.5	Betrieb und Unterhalt	60
6.	UNTERSUCHUNGEN AN 10 FALLBEISPIELEN	63
6.1	Einführung und Übersicht	63
6.2	Ergebnis der Untersuchungen für die einzelnen Fallbeispiele	65
6.3	Ergebnis der Untersuchungen zur Kostenstruktur und zum Energieverbrauch	151
6.4	Zusammenfassung und Grenzen der Untersuchungen	153
7.	SCHLUSSFOLGERUNGEN UND AUSBLICK	155
7.1	Anforderungen an zukünftige Systeme	155
7.2	Ausblick	156
8.	LITERATURHINWEISE	157
8.1	Systeme	157
8.2	Raumklima	159

Forschungsprogramm
Energierelevante Luftströmungen in Gebäuden

Die Luftströmungen in Räumen, der Austausch von Luft und Schadstoffen zwischen Räumen untereinander und zwischen dem Gebäude und der Umgebung sind komplex und heute noch wenig erforscht. Die Auslegung von klimatechnischen Anlagen beruht daher in starkem Masse auf Erfahrungen und muss wegen der immer noch vorhandenen Unsicherheiten mit Sicherheitszuschlägen versehen werden. Um einen niedrigeren Energieverbrauch bei gleichzeitigem Komfort der Raumbenützer zu gewährleisten, sollten die Mechanismen der Luftströmungen, des damit verbundenen Wärme- und Stofftransportes (Schadstoffe) und die Kriterien des Wohlbefindens besser bekannt sein. Durch Weiterentwicklung von heute schon verfügbaren Mitteln der numerischen Strömungssimulation und der Messtechnik bestehen gute Aussichten, vertiefte Einsicht in diese Vorgänge zu gewinnen. Dann werden auch die Grundlagen vorhanden sein, um dem Planer von Gebäuden und haustechnischen Anlagen die Mittel zur Verfügung zu stellen, die es ihm erlauben, alle relevanten Parameter der Luftströmung in und um das Gebäude schon in der Planungsphase derart zu ermitteln, dass

- Wohlbefinden, Komfort und Sicherheit der Benutzer gewährleistet sind;
- angepasste Systeme mit guter Wirtschaftlichkeit zur Lüftung und Heizung eingesetzt werden;
- die Sonneneinstrahlung und die freie Wärme weitgehend genutzt werden können;
- und im ganzen ein optimaler Energieeinsatz erzielt wird.

Die Bearbeitung dieser Problemkreise wurde 1985 durch das Konzept für eine Energieforschungspolitik des Schulrats (KES) angeregt. So entstand das Forschungsprogramm "Energierelevante Luftströmungen in Gebäuden", dessen Realisierung 1986 begann. Der Problematik entsprechend ist es in die drei Teilbereiche

A "Luftströmung im Einzelraum"
B "Luft- und Schadstofftransport zwischen einzelnen Zonen des Gebäudes"
C "Förderung neuerer Lüftungssysteme"

gegliedert worden. Als interdisziplinäres Projekt erfordert es die Mitarbeit mehrerer Institute der beiden ETH, der EMPA sowie von Industriefirmen und verschiedenen Ingenieurbüros. Das Projekt wird nach einer Starthilfe durch die Schulratsmillion von mehreren Fonds (NEFF, KWF, NF, BEW und Schulratsbereich) finanziert. Für die Planung und Koordination des Forschungsprogramms ist die Gesamtleitung verantwortlich.

Gesamtleitung (ab 1989)

Gesamtkoordinator:	Dr. F. Widder, Würenlingen
Leitung Teilbereich A:	Prof. Dr. P. Suter, Zürich
Leitung Teilbereich B:	Dr. J.A. Hertig, Lausanne
Leitung Teilbereich C:	Dr. Ch. Filleux, Zürich
Internationale Projekte:	Dr. P. Hartmann, Dübendorf

Teilbereich C - Förderung neuerer Lüftungssysteme

Das Ziel im Teilbereich C ist die Förderung der Entwicklung und Anwendung neuerer Systeme zur Lüftung und Heizung bzw. Kühlung von Gebäuden verschiedener Nutzung. Schwerpunktmässig sollen Bürobauten und Dienstleistungsgebäude im weitesten Sinn betrachtet werden. Die Bearbeitung erfolgt in drei, zeitlich gestaffelten Etappen:

1. Etappe 1988/89: Grundsätzliche Abklärungen über Systeme zur Lüftung und Heizung bzw. Kühlung von Gebäuden

Die erste Etappe dient der Erarbeitung einer *breitgestützten Bestandesaufnahme* (State of the Art Review) zu heute weit verbreiteten sowie neueren (Lüftungs-)systemen. Als Resultat soll ein realistisches Bild des Standes der Technik, der Einsatzmöglichkeiten und der Erfahrungen in der Praxis aufgezeigt werden.

Die Resultate der ersten Etappe bilden die Grundlage für detaillierte Systemuntersuchungen der zweiten Etappe.

2. Etappe 1990/91: Gezielte Systemabklärungen und Erprobung neuerer Systeme

In dieser Etappe sollen in einer Testkammer gezielte Systemabklärungen durchgeführt werden. Aufgrund der Erkenntnisse der ersten Etappe stehen Untersuchungen an Quell-Lüftungssystemen und Mischluftsystemen als Vergleichsbasis im Vordergrund. Als Resultat sollen die notwendigen Grundlagen für die Systemwahl beim Einsatz neuerer Lüftungssysteme erarbeitet werden. Die Einsatzmöglichkeiten können durch Feldexperimente demonstriert werden.

3. Etappe 1992: Planungsunterlagen

Die in den vorangehenden Etappen erarbeiteten Resultate werden in Planungsunterlagen umgesetzt.

Die vorliegende Berichterstattung stellt die Resultate der ersten Etappe (1988/89) dar.

1. Einleitung

1.1 Problemstellung

Die Lüftungs- und Klimabranche sah sich in den vergangenen 15 Jahren mit einer Vielzahl von Problemen konfrontiert. Besonders hatte sie sich mit den lautstark vorgetragenen Berichterstattungen über steigende Beschwerderaten betreffend ungenügender *Raumluftqualität und Komfort* in klimatisierten Gebäuden auseinanderzusetzen. Dieses Phänomen ist als "Sick Building Syndrom" bekanntgeworden und wurde von namhaften Fachleuten anlässlich eines zu diesem Thema veranstalteten Workshops in Berkeley (Ca) 1986 mit folgenden Zitaten umschrieben:

P. Morey (National Institute for Occupational Safety and Health):
"Die Unzufriedenheit ist stark vom Betriebsklima abhängig. Die Management-/Arbeitnehmerbeziehungen werden auf die Klimaanlagen projeziert."

L. Molhave (University Aarhus):
"Nur 5 bis 10 Prozent der Beschwerden sind auf zu hohe Schadstoffkonzentrationen zurückzuführen; der Rest beschäftigt sich mit dem thermischen Umfeld."

B. Seifert (Bundesgesundheitsamt, BRD):
"Beim Sick Building Syndrom handelt es sich auch um eine Reaktion der Menschen gegen die Vormundschaft durch den Klimaingenieur."

P.O. Fanger (Technical University of Denmark):
"Menschen sind unterschiedlich: demzufolge fühlen sich auch die Menschen bei unterschiedlichen Umgebungsbedingungen wohl."

D. Harrje (Princeton University):
"Augenblicklich beschäftigen wir uns mit den Complaint Buildings. Die Zahl der wirklichen Sick Buildings dürfte weit höher liegen."

In den industrialisierten Ländern wurde das Sick Building Syndrom zunehmend als Problem erkannt und hat eine Vielzahl von Forschungsarbeiten ausgelöst. Dazu gehören vor allem auch die weiterführenden Arbeiten der Gruppe von P.O. Fanger auf dem Gebiet des thermischen Komforts sowie die Einführung eines neuen Konzepts (olf) zur Beschreibung der Schadstoffbelastungen in Innenräumen.

Neuartige Fragestellungen beim Planen haustechnischer Anlagen ergeben sich auch aus den veränderten Bedingungen, welche durch die *erhöhten Wärmeschutzanforderungen* hervorgerufen werden. Der verstärkte Einsatz von Dämmaterialien hat zu einer starken Reduktion der Transmissionsverluste geführt. Diese Tatsache - verbunden mit oft verbesserter Nutzung der freien Wärme - führt zu einer erheblichen Verminderung des Heizwärmebedarfs und erhöht die Anforderungen an die Dimensionierung und Regelung von Heizungsanlagen. Dies gilt sinngemäss auch für Lüftungs- und Klimaanlagen, sei es als kombinierte Luft-Wassersysteme mit einer Heizungsanlage, oder als reine Luftsysteme. Verbunden damit sind neue Lösungsansätze zur besseren Kontrolle der schnell schwankenden Lasten.

Die verminderten Transmissionsverluste haben zur Folge, dass der *Anteil der Lüftungsverluste* in gut wärmegedämmten Gebäuden stark zugenommen hat. Betrugen diese früher noch 20 bis 30 % der Gesamtwärmeverluste durch die Gebäudehülle, so sind heute Werte um 50 %, wie sie etwa durch neuste Messungen der EPFL an Wohnbauten in Préverenges festgestellt wurden, nicht selten. Lüftungsverluste lassen sich jedoch nicht beliebig reduzieren, da zur Beseitigung von Feuchtigkeit, Geruchs- und Schadstoffen für einen ausreichenden Luftaustausch zu sorgen ist. Die *Luftdichtheit der Gebäudehülle* wird je nachdem, ob die Lufterneuerung über eine mechanische Lüftung bzw. über natürliche Lüftung erfolgt, unterschiedlich zu bemessen sein (angepasste Luftdichtheit der Gebäudehülle).

Wie hat nun die Lüftungs- und Klimabranche auf die oben erwähnten Problemkreise - es handelt sich fast ausschliesslich um neue Aspekte - reagiert? Die Reaktion kann etwa mit folgenden Stichworten beschrieben werden: Zurückhaltung, Durchführung verschiedener internationaler Kongresse, auslösen von Forschungsarbeiten sowie teils heftige Debatten über neue Lösungsansätze in der europäischen Fachpresse (CCI). Als markanteste Neuerung ist die Propagierung von Quell-Lüftungssystemen (impuls- und vermischungsarme Luftströmung) als zukunftsweisendes Raumklimakonzept zu erwähnen.

Mit dem gesamtschweizerischen Forschungsprogramm "Energierelevante Luftströmungen in Gebäuden" wollen die verantwortlichen Forschungsstellen in der Schweiz - unterstützt durch die Industrie - zur Lösung dieser Fragestellungen beitragen.

1.2 Zielsetzung

Es soll der Stand des Fachwissens und der aktuellen Praxis beim Planen von Lüftungssystemen und Klimaanlagen in der Schweiz erhoben werden. In der Bestandesaufnahme sind Wohnbauten sowie Dienstleistungsgebäude im weitesten Sinn einzubeziehen. Nicht behandelt werden Spitäler wegen der besonderen Anforderungen an die Reinlufttechnik sowie Anlagen in Industriebauten, da deren Planung meistens durch spezialisierte Firmen erfolgt.

In der Bestandesaufnahme sind

- die Konsequenzen aus dem erhöhten Wärmeschutz und den immer luftdichter werdenden Gebäudehüllen für die Planung neuer Systeme zu studieren,
- die traditionellen Planungs- und Dimensionierungsmethoden zu untersuchen,
- sich abzeichnende Neuerungen zu analysieren und erfolgversprechende Ansätze aufzuzeigen sowie
- Anforderungen an das Raumklima zu definieren.

Die Resultate dienen als Grundlage für die detaillierten Systemuntersuchungen.

1.3 Projektorganisation

Forschungsteam:

Filleux Charles, Dr. phil. nat., Basler & Hofmann	Projektleiter
Chuard Pierre, dipl. Masch.-Ing. ETH, SORANE	Stv. Projektleiter
Amme Kurt, Klimatechniker TS, Basler & Hofmann	Systeme
Jaboyedoff Pierre, dipl. Masch.-Ing. ETH, SORANE	Systeme
Nünlist Fritz, Ing. HTL, REG-A/SIA, Basler & Hofmann	Systeme
Störi Christoph, dipl. Masch.-Ing. ETH, SORANE	Systeme
Zamboni Marco, dipl. Masch.-Ing. ETH, Basler & Hofmann	Systeme
Fehlmann Jürg, dipl. Natw. ETH, ETHZ-IHA	Raumklima
Wanner Hans Urs, Dr. Professor, ETHZ-IHA	Raumklima
Affolter Pascal, dipl. El.-Ing. EPFL	Wirtschaftlichkeit
Sarlos Gérard, Dr. Professor, EPFL-LASEN	Wirtschaftlichkeit
Verstraete Pierre, Ing.-Phys. EPFL, EPFL-LASEN	Wirtschaftlichkeit

Begleitkommission

Unter der Leitung von Herrn R. Leuzinger ist eine Begleitkommission bestehend aus Mitgliedfirmen des VSHL (Verein Schweizerischer Heizungs- und Lüftungsfirmen) eingesetzt worden.

Ihre Aufgabe besteht vor allem darin

- das Forschungsteam beim Festlegen von Forschungs- und Umsetzungszielen zu unterstützen,
- die Projektnehmer bei ihren Arbeiten im Teilbereich C Lüftungssysteme fachlich zu beraten sowie
- Vorschläge für die Verbreitung der Ergebnisse zu unterbreiten und selbst an der Publikmachung des Gesamtprojektes durch Kurzbeiträge in der Fachpresse zu unterstützen.

Der Begleitkommission gehören folgende Mitglieder an:

Leuzinger Rudolf, Gümligen (Präsident)
Berger Bernard, Winterthur
Fahrni Heinz, Rüti (ab 14.9.89)
Dr. Ganz Georg, Zürich
Prof. Geiger Werner, Horw
Gurtner Alfred, Stäfa
Meierhans Robert, Fällanden
Rohner Max, Zollikon
Steinemann Urs, Wollerau

Finanzierung des Projekts

Kredit NEFF 339.4, VSHL, Eigenmittel Projektnehmer

1.4 Bearbeitungsablauf und Aufbau des Berichts

Literaturrecherche und Grundlagen

Eine breitangelegte Literaturrecherche stellte den Anfang der Bemühungen im Hinblick auf eine umfassende Bestandesaufnahme dar. Anschliessend wurden die notwendigen Grundlagen erarbeitet (Kapitel 2 und 3), auf denen sich die weitergehenden Abklärungen abstützten. Diese hatten folgende Teiluntersuchungen zum Inhalt:

Befragungen von Lüftungsexperten (opinion leaders)

Diese Befragung hatte zum Ziel herauszufinden, welche Systeme seit der Erdölkrise mit Erfolg eingesetzt wurden und welche Tendenzen sich heute abzeichnen. Sie sollte auch Aufschluss geben über die Erfahrungen bei der Planung, beim Betrieb und Unterhalt sowie bei der Akzeptanz solcher Anlagen.

Die Resultate dieser Analyse finden sich in den einzelnen Abschnitten des Kapitels 4.

Erhebung bei Liegenschaftsbesitzern und Betreibern von Lüftungssystemen

Durch Erhebungen und Befragungen bei Bauherrschaften mit grossem Liegenschaftenbestand sollte überprüft werden, ob die Erfahrungen der Bauherren und Betreiber von Lüftungssystemen mit den Vorstellungen der befragten Spezialistengruppe (opinion leaders) übereinstimmen. Insbesondere sollten die Kriterien, welche bei der Wahl eines Systems zur Anwendung gelangen, näher untersucht sowie auch Wünsche an zukünftige Systeme erhoben werden.

Die Resultate dieser Untersuchung findet man in Kapitel 5.

Untersuchungen an 10 Fallbeispielen

Mit der Untersuchung des Einsatzes von interessanten Systemen in Gebäuden, welche in den letzten Jahren nach neueren Gesichtspunkten und Planungsmethoden erstellt worden sind, sollten die oben erwähnten Befragungen und Erhebungen durch einfache Feldmessungen an gebauten Anlagen ergänzt werden. Im wesentlichen ging es darum, für die verschiedenen Lüftungssysteme Kenngrössen, welche das Gebäude, Lüftungssystem und lokale Einblassystem sowie die Luftqualität und den thermischen Komfort beschreiben, zu erfassen.

Die Darstellung der einzelnen Fallbeispiele erfolgt in Kapitel 6.

Meilensteine in der Projektbearbeitung

Start des Projekts mit einer zweitägigen Klausur am 26./27. August 1987 in Muntelier (FR).

Das Forschungsgesuch wird im Dezember 1987 vom NEFF in vollem Umfang bewilligt (Schreiben des NEFF vom 28. Januar 1988).

Sitzungen der Begleitkommission: 20. Oktober 1988, 6. April 1989 und 14. September 1989.

Präsentation von Beiträgen am 1., 2. und 3. ERL-Status-Seminar: 18. November 1987 in Winterthur, 2. November 1988 in Lausanne sowie 8. November 1989 in Zürich.

Abschluss des Projekts mit einer zweitägigen Klausur am 18./19. September 1989 in Giessbach (BE).

Genehmigung des Schlussberichts durch den NEFF am 28. August 1990.

Das Datenmaterial zu den beiden Umfragen sowie die Aufnahmeprotokolle für die untersuchten Fallbeispiele bleiben im Besitz des Projektteams.

1.5 Publikationen

Aufgeführt sind nur Veröffentlichungen, welche vor dem Erscheinen dieses Berichts erfolgten.

Ch. Filleux, P. Chuard: Grundsätzliche Abklärungen und Übersicht über Systeme zur Lüftung und Heizung bzw. Kühlung von Gebäuden verschiedener Nutzung, 1. Status-Seminar ERL, Winterthur 1987

P. Chuard, Ch. Störi: Systèmes à air dans le domaine du chauffage, ventilation et climatisation des bâtiments, 2. Status-Seminar ERL, Lausanne 1988

M. Zamboni, Ch. Filleux: Grundsätzliche Abklärungen über Systeme zur Lüftung und Heizung bzw. Kühlung von Gebäuden: Untersuchungen an 10 Fallbeispielen, 3. Status-Seminar ERL, Zürich 1989

P. Affolter, P. Verstraete: Analyse économique des systèmes de ventilation et d'aération dans les bâtiments, EPFL-LASEN, 1989

P. Chuard u.a.: Air infiltration and ventilation in Switzerland - past and future, 10. AIVC-Konferenz, Helsinki, 1989

R. Meierhans, Ch. Filleux, M. Zamboni: Zukunftsgerichtete Lüftungssysteme in Nichtwohnbauten, Tagung im Rahmen des Forschungsprojekts "Effiziente Energienutzung in Schulen", Rapperswil, 1990

Literaturdatei

Die Literaturdatei umfasst zur Zeit über 600 Titel neueren Datums und ist nach ca. fünfzig Stichworten gegliedert.

Die Literatureinträge sind gemäss folgendem Beispiel aufgebaut:

Titel:	Planung und Durchführung von Luftmessungen in Innenräumen
Autor:	Seifert B.
Quelle:	Gesundheitsingenieur 105 (1984) Heft 1, S. 15-18
Form:	Artikel/d
Bereich:	5,008 (interne Referenznummer)
Stichwörter:	Feldtest Konzentration Luftqualität Messtechnik Luftaustausch Planung

Gegen eine Schutzgebühr kann sie auf Diskette abgegeben werden. Die Benutzer müssen über eine Datenbanksoftware (dbase oder Rapid File) verfügen.

1.6 Verdankungen

Zum Gelingen dieser Arbeit haben verschiedene Institutionen und Einzelpersonen beigetragen. Ihnen sei an dieser Stelle wie folgt gedankt:

- den Lüftungsexperten (opinion leaders) und Vertretern von Liegenschaftsbesitzern für die Bereitschaft zum Interview und die vielen Anregungen zu unserem Vorhaben,
- den Planern, Bauherrschaften und Benutzern in den untersuchten Gebäuden (Fallbeispiele) für die Begleitung der Untersuchungen und Geduld während unserer Messungen und Rauchversuche,
- der Kommission des VSHL für die Begleitung des Projekts und die kritische Durchsicht des Berichts, den Initianten des Forschungsprogramms ERL für die Gesprächsbereitschaft während der Abwicklung des Projekts sowie
- dem Nationalen Energie-Forschungs-Fonds und dem VSHL für ihre finanzielle Unterstützung.

2. Übersicht über Lüftungssysteme

2.1 Grundfunktionen und Systemabgrenzung

2.1.1 Grundfunktionen der Lüftung

Im folgenden sind die wichtigsten Grundfunktionen der Lüftung erläutert:

- **Gewährleisten der nötigen Aussenluftmenge für Personen.** Damit ist vor allem der in der Luft enthaltene Sauerstoff gemeint, der für die Atmung der Personen lebenswichtig ist.

- **Entfernen der Verunreinigungen der Raumluft.** Es wird zwischen Belastungen, die durch Verunreinigungen der Aussenluft und solchen, die im Raum durch menschliche Tätigkeiten oder durch die raumlufttechnischen Anlagen sowie solchen, die durch kontinuierliche Abgabe aus festen Einrichtungen entstehen, unterschieden. Häufigste Belastungen sind CO_2, Rauch (von Zigaretten, etc.), CO sowie Geruchstoffe und Formaldehyd. CO_2 ist nicht eigentlich ein Schadstoff, sondern wird häufig als Schadstoffindikator herangezogen.

- **Kontrolle der Druckverhältnisse.** Soll zum Beispiel in einem Restaurant der Geruch der Küche nicht wahrnehmbar sein, kann dies erreicht werden, indem die Küche gegenüber den andern Räumen im Unterdruck steht. Dadurch kann Luft z.B. vom Speisesaal in die Küche gelangen, der umgekehrte Weg ist aber praktisch ausgeschlossen.

- **Kontrolle des thermischen Komforts.** Um den gewünschten Temperaturbereich zu gewährleisten, muss Wärme entweder zu- oder abgeführt werden. Erfolgt dies mit Luft als wärmetragendem Medium, so sind Zugserscheinungen zu vermeiden.

Mit Hilfe der Aussenluftzufuhr können die Funktionen 1 und 2 erfüllt werden. Mit zunehmender Aussenluftmenge nimmt auch der Energieverbrauch zu. Deshalb sollte der Aussenluftanteil auf das notwendige Minimum beschränkt werden.

Die ersten zwei Funktionen können in speziellen Fällen auch mittels natürlicher Lüftung (Fensterlüftung) erfüllt werden. Wird aber eine bestimmte kontrollierbare Luftmenge gewünscht und zudem eine genau definierte Temperatur gefordert, so ist der Einbau einer mechanischen Lüftungsanlage notwendig. Es ist deshalb sehr wichtig zu definieren, welche der Grundfunktionen von der Lüftung übernommen werden sollen.

2.1.2 Systemabgrenzung

Um die verschiedenen Lüftungssysteme mit ihren Funktionen beschreiben zu können, ist es wichtig, die Systemabgrenzung festzulegen (siehe Figur 2.1).

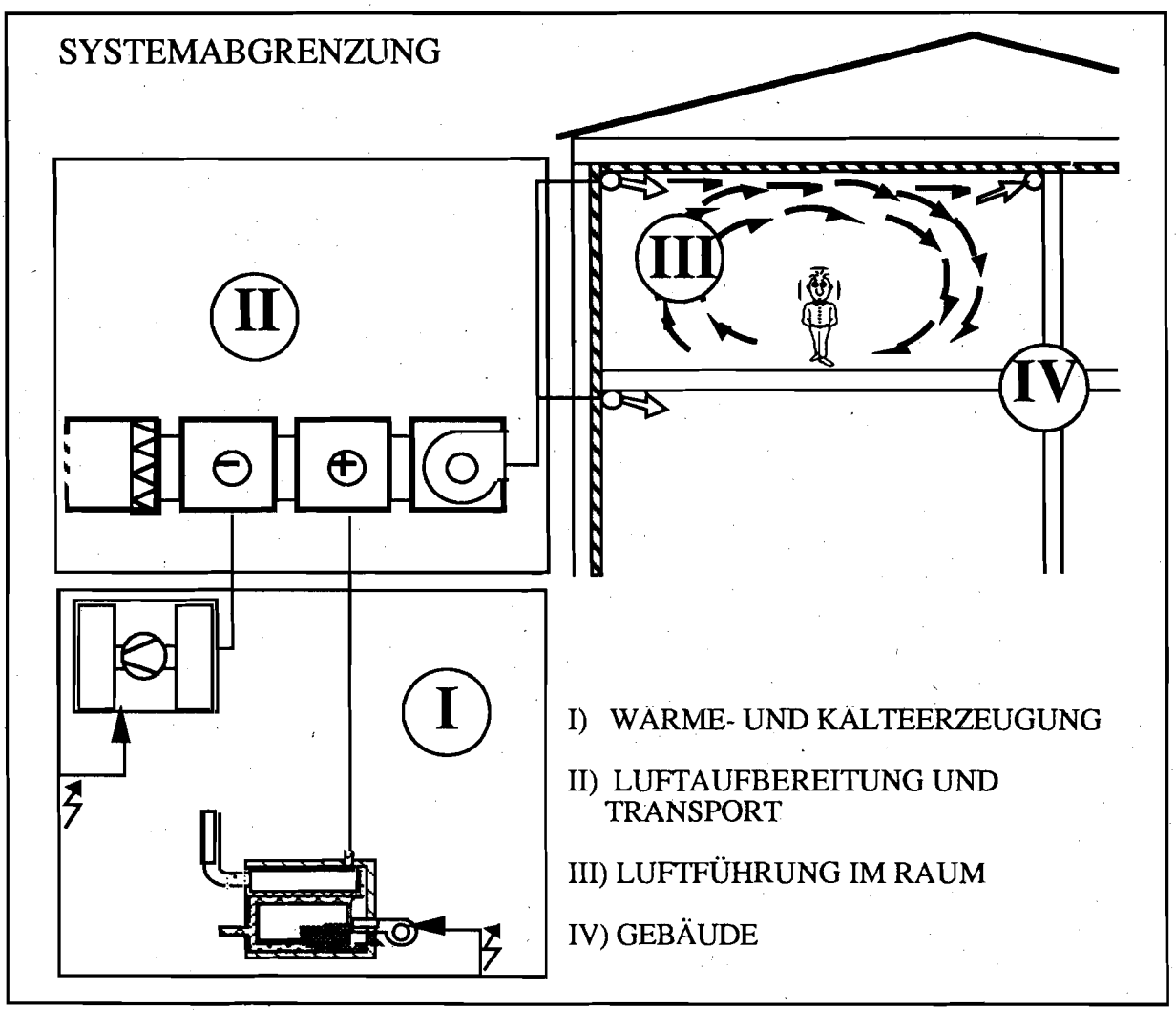


Fig. 2.1 Systemabgrenzung: Aufteilung in vier Bereiche

I Wärme- und Kälteerzeugung

Als Möglichkeiten für die Wärmeerzeugung kommen zum Beispiel Öl- bzw. Gaskessel, eine Wärmepumpe oder ein Blockheizkraft in Betracht. Die Bereitstellung der Kälte kann u.a. durch eine Kältemaschine oder durch einen Kaltspeicher (z.B. See) erfolgen.

Kennwerte in bezug auf Lüftungssysteme sind der thermische Energieverbrauch sowie der Elektrizitätsverbrauch. Diese Kennwerte werden u.a. durch die Wahl des Lüftungssystems beeinflusst. Im folgenden wird nicht auf die einzelnen Produktionsarten eingegangen.

II Luftaufbereitung und Transport

Ein Lüftungssystem wird u.a. durch die Art der Aufbereitung, die Verteilung sowie die Regelungsanlage (zentral und lokal) definiert. Die Hauptfunktionen sind das Filtern, das Erwärmen und Kühlen, das Be- und Entfeuchten sowie der Transport der Luft.

III Luftführung im Raum

Ausschlaggebend ist die Raumluftströmung, die sich im Aufenthaltsbereich einstellt. Die Luftführung im Raum wird durch das Lüftungsprinzip, bzw. die Art und Menge der Raumluftzufuhr und -abfuhr sowie durch den Typ und die Plazierung der Zuluftaus- und Fortlufteinlässe definiert. Auch die Beleuchtung (natürlich und künstlich), die Einrichtung und die Art der Nutzung sowie die thermischen Lasten beeinflussen die Luftführung. Eine bestimmte Luftströmung ist räumlich immer nur in gewissen Grenzen definiert. Überhöhte innere Wärmelasten, veränderte Nutzungsbedingungen oder Veränderungen bezüglich Einrichtung können eine vorgesehene Luftführungsart verändern beziehungsweise empfindlich stören. Die Kriterien für die Beurteilung eines Luftführungssystems sind folgende:

- Aussenluftmenge, CO_2-Gehalt und Raumluftqualität
- Thermischer Komfort und Luftbewegung (Zugfreiheit)
- Nutzungsmöglichkeiten und Flexibilität

IV Gebäude

Der gegenseitigen Beeinflussung der Gebäudeträgheit sowie der Beschaffenheit der Gebäudehülle und des Lüftungssystems ist Rechnung zu tragen (Wärmedämmung, Luftdichtigkeit und Art des Sonnenschutzes).

2.2 Gliederung der Lüftungssysteme

Als Überblick über die verschiedenen Lüftungssysteme ist nachfolgend die schematische Gliederung gemäss DIN 1946 Teil 1 gegeben:

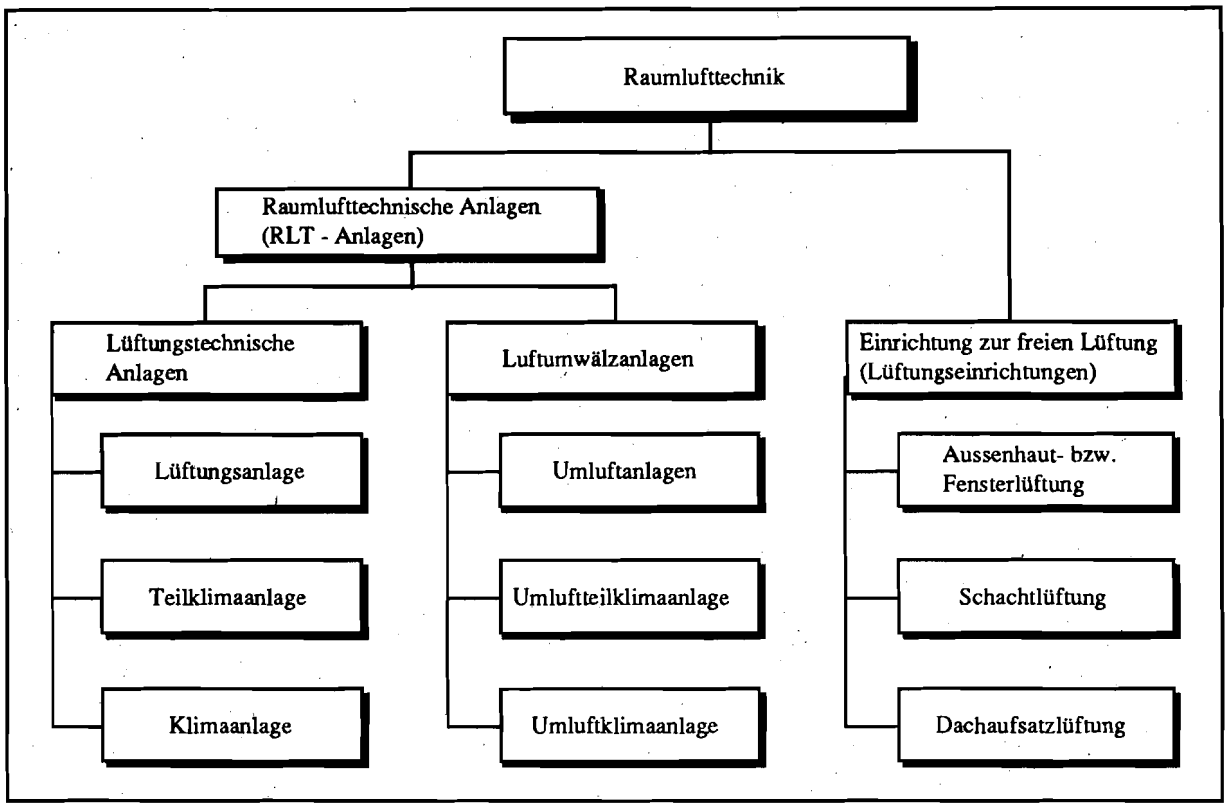


Fig. 2.2 Gliederung der Lüftungssysteme gemäss DIN 1946, Teil 1

Die mechanischen Lüftungsanlagen können auf verschiedene Art und Weise in Gebäude eingebaut werden. Grundsätzlich kann man folgende Arten unterscheiden:

a) nur Entlüftung

Die Raumluft wird aus dem Innern des Gebäudes durch Ventilatoren abgesaugt und ins Freie geblasen. Das Nachströmen der Luft erfolgt aus benachbarten Räumen und aus der Aussenluft. Diese Aussenluft wird normalerweise weder filtriert noch erwärmt. Sie kann durch Undichtheiten in der Gebäudehülle sowie durch Öffnungen in den Raum eindringen. Da die Anlagen einen Unterdruck erzeugen, sind sie geeignet, die Ausbreitung verunreinigter Luft zu verhindern.

b) nur Belüftung

Belüftung ist das Zuführen der Luft aus dem Freien mit Hilfe von Ventilatoren. Die zugeführte Luft kann erwärmt und filtriert werden. Falls ein minimaler Komfort gewährleistet werden soll, ist es im Winter absolut notwendig, die Luft vorzuwärmen, da diese direkt von aussen in die Räume strömt. Die überschüssige Luft verlässt das Gebäude durch Undichtheiten in den Wänden oder durch spezielle Öffnungen. Die dadurch erhöhte Temperatur der Wände kann den Komfort verbessern, erhöht damit aber auch die Transmissions-Wärmeverluste und folglich den Energieverbrauch.

c) Be- und Entlüftung

Die Be-und Entlüftung kombiniert die beiden vorgängig beschriebenen Lüftungsarten. Es ist dies das Zuführen von Aussenluft (inkl. Filtrieren und Heizen) und Absaugen der verbrauchten Luft (Fortluft). Diese Funktionen sind aufeinander abgestimmt, indem Zuluft- und Fortluftmenge ungefähr gleich bemessen werden. Somit ist der Druckunterschied zwischen aussen und innen so gering wie bei einer natürlichen Lüftung. Zwischen Aussen- und Fortluftstrom kann eine Wärmerückgewinnung (WRG) eingebaut werden. Unter Einhaltung einer minimal notwendigen Aussenluftmenge kann auch ein Teil der Abluft dem Zuluftstrom beigemischt werden (Umluft).

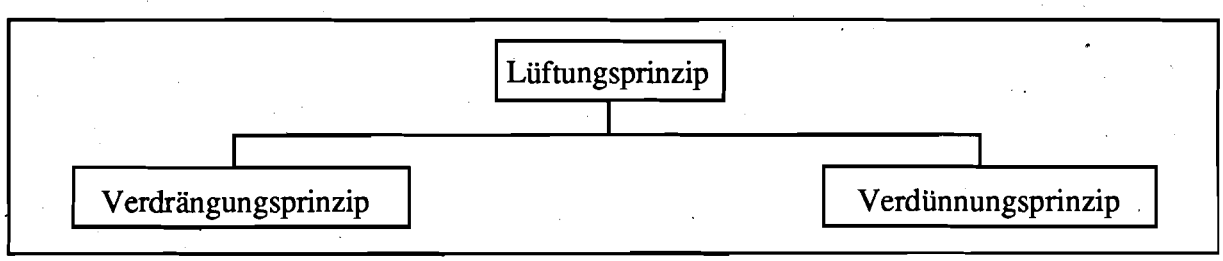
Wenn die Gebäudehülle nicht speziell dicht ausgeführt ist, hängt die Luftaustauschmenge nicht nur von der mechanischen Lüftungsanlage ab, sondern auch vom Winddruck und dem Temperaturgradienten zwischen Aussen- und Innenzonen.

d) Klimatisierung

Klimaanlagen erfüllen auch die Lüftungsfunktion und vereinigen alle vier Luftbehandlungsfunktionen Heizen, Kühlen, Be- und Entfeuchten. Sie können so zu jeder Zeit eine bestimmte Temperatur und Luftfeuchtigkeit garantieren. Werden zum Beispiel nur zwei oder drei Luftbehandlungsfunktionen angewendet (z.B. Erwärmen/Befeuchten oder Erwärmen/Befeuchten/Kühlen) so spricht man von Teilklimaanlagen.

2.3 Arten der Luftführung im Raum

Man unterscheidet bezüglich der Luftführung zwei Prinzipien:



Das Verdrängungsprinzip beruht auf einer gleichmässigen Durchströmung des Raumes, während beim Verdünnungsprinzip (auch Mischlüftung oder Strahllüftung genannt) eine starke Durchmischung der Luft angestrebt wird.

Die Art und Plazierung der Zuluft- und Abluftöffnungen bestimmen zum grossen Teil die Luftführungsart und damit auch den thermischen Komfort und die Luftqualität. Die Geometrie des Raumes sowie die herrschende Raumlufttemperatur resp. ihre Temperaturdifferenz zur Zulufttemperatur sind ebenfalls massgebend. Im folgenden werden die beiden Luftführungsarten einschliesslich ihre Abwandlungen vorgestellt.

a) Mischlüftung (tangential)

Bei der Mischlüftung wird die in den Raum strömende Luft möglichst gut mit der Raumluft durchmischt. Diese Art der Raumströmung ist sehr verbreitet. Erst im Aufenthaltsbereich soll die Luftgeschwindigkeit den Normen der Zugfreiheit entsprechen. Damit eine wirklich gute Vermischung stattfindet, muss die Zuluft als Luftstrahl in den Raum eingeblasen werden. Folgt die Luft zunächst einer Wand oder Decke entlang, so bilden sich Strömungswalzen (Figur 2.3).

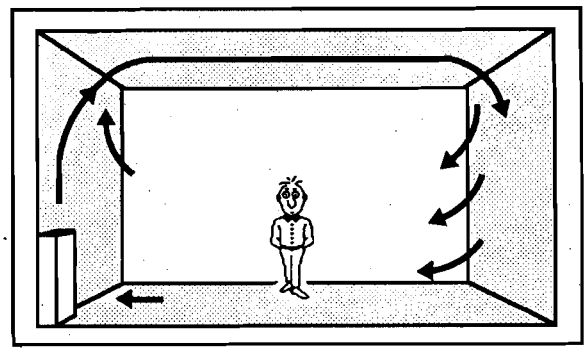


Fig. 2.3 Mischlüftung

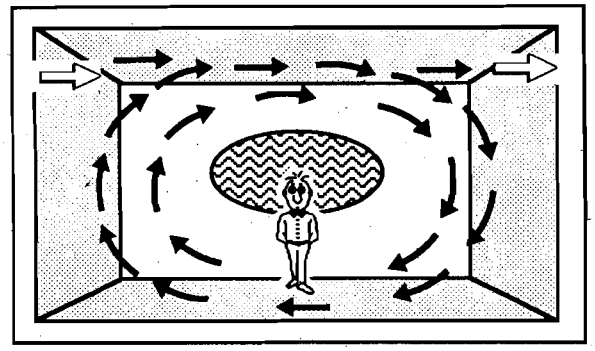


Fig. 2.4 Mischlüftung mit möglicher toter Zone

Wird bei einem Mischlüftungssystem die Luft mit zu grosser Geschwindigkeit eingeblasen, so ist es möglich, dass die Durchmischung nicht überall im Raum stattfindet. In der Mitte einer Walze kann eine tote Zone entstehen, wie Figur 2.4 zeigt. In einer solchen Zone kann die Schadstoffkonzentration bedeutend höher sein als im übrigen Raum.

b) Mischlüftung (örtlich oder diffus)

Bei einer örtlichen Mischlüftung findet in einem Teil des Raumes eine komplette Luftdurchmischung statt (siehe Figur 2.5). Indem die Zuluftauslässe an einem genau definierten Ort angeordnet sind, kann diese Zone der vollständigen Luftdurchmischung exakt bestimmt werden. Auf diese Art wird in der Aufenthaltszone eine gute Luftqualität gewährleistet, während sie im übrigen Teil des Raumes schlechter sein kann. Halten sich Personen in den toten Zonen auf, kann für diese eine bestimmte Luftqualität nicht mehr garantiert werden (siehe Figur 2.6).

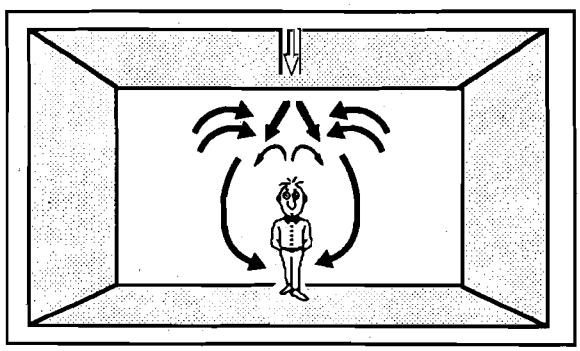


Fig. 2.5 Mischlüftung (örtlich)

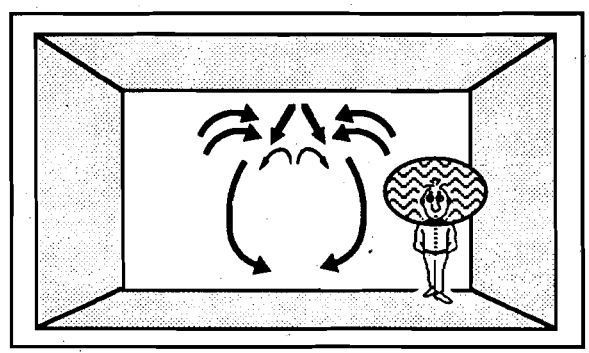


Fig. 2.6 Bei einer örtlichen Mischlüftung dürfen die toten Zonen nicht dauernd durch Personen besetzt sein.

Alle unter a) und b) beschriebenen Mischlüftungsarten hängen also in erster Linie von der Position und vom Typ der Zuluftauslässe ab. Zusätzlich spielt neben der Raumgeometrie auch die Zulufttemperatur für die Luftströmung eine Rolle. Figur 2.7 zeigt, wie je nach Temperaturdifferenz zwischen Zuluft und Raumluft die Ausdehnung der Luftwalzen unterschiedlich sein kann. Ist die Zuluft kälter als die Raumluft, so ist die erste Walze (Primärwalze) viel kürzer. Sitzen Personen relativ nahe beim Zuluftauslass, so ist es möglich, dass Zugserscheinungen auftreten.

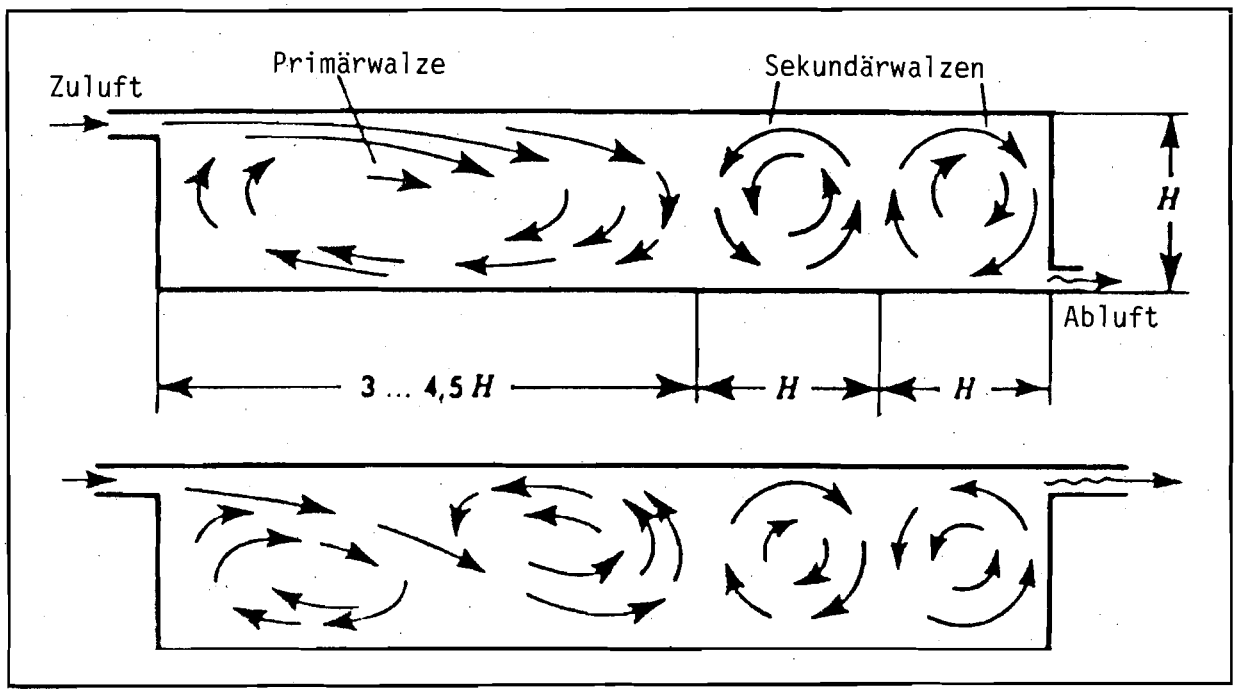


Fig. 2.7 Luftströmung im Raum mit tangentialer Zulufteinströmung;
oberes Bild: Zuluft isotherm oder wärmer als Raumluft
unteres Bild: Zuluftstrahl kälter als Raumluft (Recknagel 1990/91, S. 1071)

c) Verdrängungslüftung (semi-laminare Luftbewegung)

Das Verdrängungsprinzip wird vor allem in der Reinraumtechnik (Pharma- und Computerindustrie sowie in Operationssälen von Spitälern) zur Erreichung staubarmer Bedingungen angewendet (Figur 2.8). Die Luftgeschwindigkeit beträgt auf der ganzen kontrollierten Fläche zwischen 0.2 und 0.3 m/s. Dies kann nur durch sehr grosse Zuluftmengen erreicht werden. Je nach Disposition der Zuluftauslässe bzw. Ablufteinlässe spricht man von vertikaler Verdrängungslüftung (aufwärts, abwärts) oder von horizontaler Verdrängungsströmung.

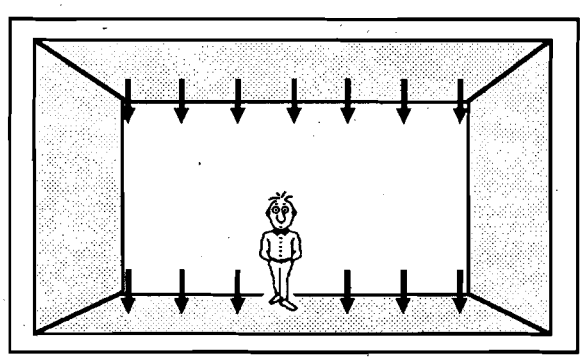


Fig. 2.8 Semi-laminare Luftführung von oben nach unten

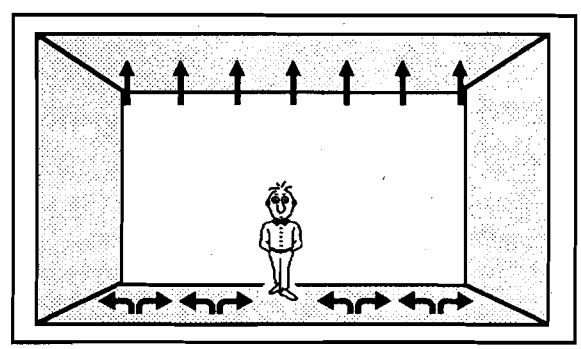


Fig. 2.9 Drallüftung (von unten nach oben)

d) Drallüftung

Diese Art der Lüftung ist eine Variante der Verdrängungsströmung, bei der im Auslassbereich eine starke Induktion angestrebt wird. Die Luftauslässe sind so beschaffen, dass die Luft nicht direkt vertikal nach oben bzw. unten geht, sondern dass sie auch eine gewisse Drallbewegung

erhält (Luftbewegung entspricht einer schraubengewindeartigen Verdrehung), siehe Figur 2.9. Dadurch werden am Luftaustritt die Turbulenzen erhöht und die eintretende Luft induziert die Raumluft schon nach einer kurzen Einblasstrecke. Die eintretende Luft kann deshalb relativ kühl sein, was eine kleinere Zuluftmenge zur Folge hat.

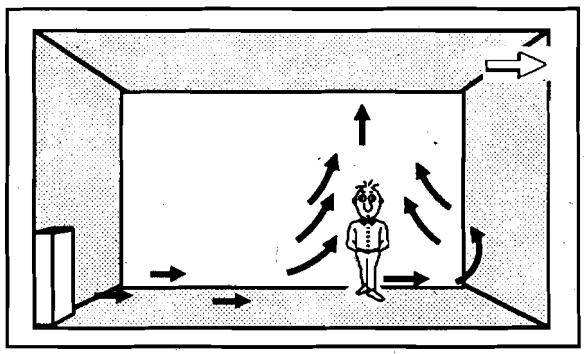


Fig. 2.10 Quellüftung mit seitlicher turbulenzarmer Lufteinführung

e) Quellüftung (turbulenzarme Luftbewegung)

Das Quellüftungsprinzip kann als auftriebsgetriebene Form der Verdrängungsströmung betrachtet werden (Figur 2.10). Bei der Quellüftung strömt die Luft aus grossflächigen Auslässen turbulenzarm aus. Aufgrund von Konvektion steigt die Luft überall dort auf, wo Wärmelasten anfallen: Personen, Lampen, Apparate (z.B. PC). Trotz kleiner Zuluftmenge kann ein hoher Gütegrad der Luftqualität erzielt werden.

2.4 Lüftung in Wohnbauten

2.4.1 Herkömmliche Systeme

In Wohngebäuden sind die häufigsten mechanischen Lüftungsanlagen reine Fortluftanlagen. Die Fortluft wird fast immer in den sanitären Räumen (Bad, Toilette) und in der Küche abgezogen. Die nachströmende Aussenluft dringt durch verschiedene undichte Stellen in das Gebäude. Weil die Gebäude heute bedeutend luftdichter gebaut werden, muss darauf geachtet werden, dass z.B. mit Hilfe von Luftöffnungen genügend Aussenluft nachströmen kann. Figur 2.11 zeigt das Ergebnis von Durchlässigkeitsuntersuchungen an wichtigen Bauteilen. Es ist daraus ersichtlich, dass der Streubereich verschiedener Elemente sehr gross ist, meist etwa zehn mal höher als der Minimalwert. Werden nun Fenster oder Türen bezüglich Luftdichtigkeit durch bessere Konstruktionen ersetzt, nähert man sich dem Minimalwert. Damit kann bei Abluftanlagen nicht mehr genügend Luft eindringen.

a) Dezentrale Fortluftanlagen mit Einzelventilatoren

Diese Anlage ist in Figur 2.12 schematisch dargestellt. Das Einzel-Fortluftgerät wird (meist über den Lichtschalter) nur bei Bedarf eingeschaltet. Aus Gründen des Schutzes und der Verbreitung von Gerüchen sollte für jeden Einzellüfter ein eigenes Rohr vorhanden sein. Ebenfalls wird die Fortluft über das Dach abgelassen. Auf diese Weise wird ein Kurzschluss über die Fenster verhindert. Die Frischluft gelangt fast ausschliesslich durch Undichtigkeiten in das Gebäude.

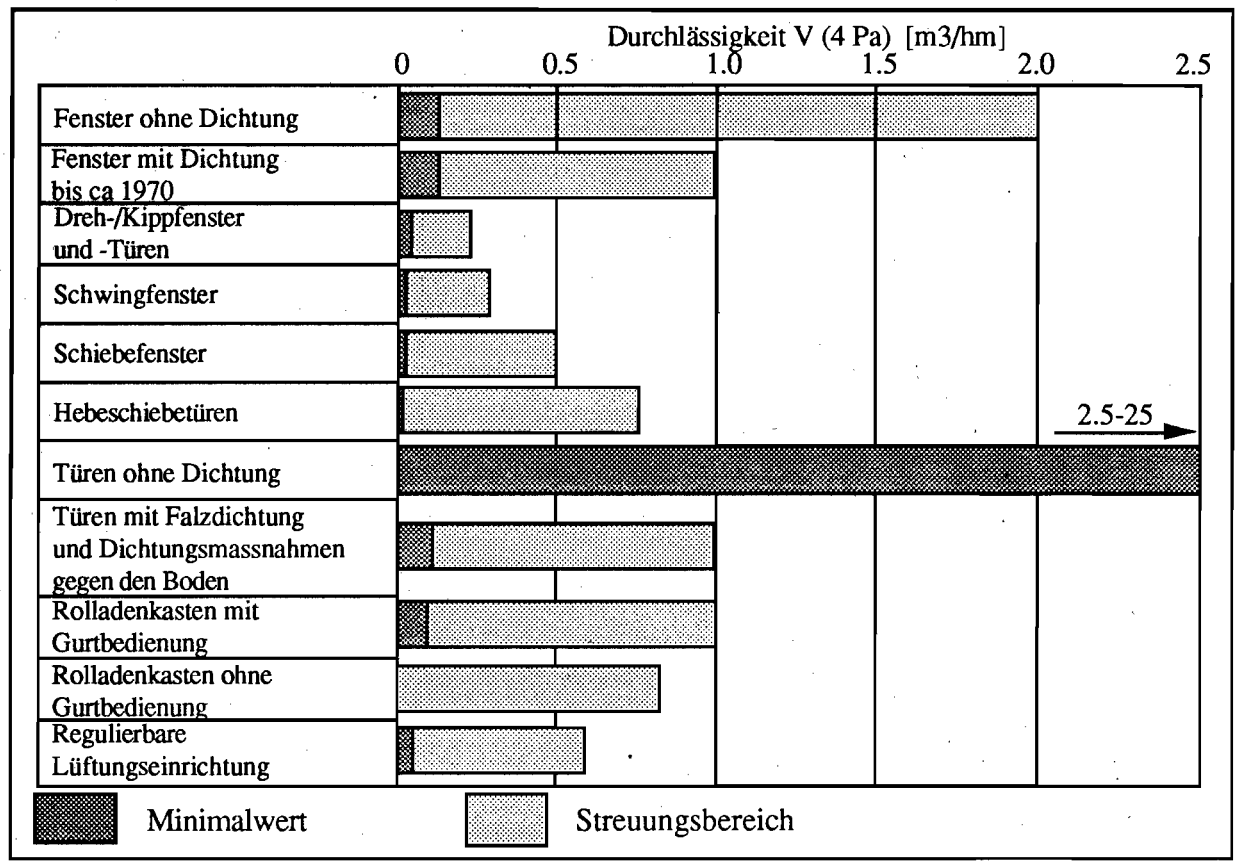


Fig. 2.11 Luftdichtigkeit von verschiedenen Bauteilen (Dütz 1988)

Wie die Figuren 2.12 und 2.13 zeigen, können bei Fortluftanlagen zwei Arten unterschieden werden:

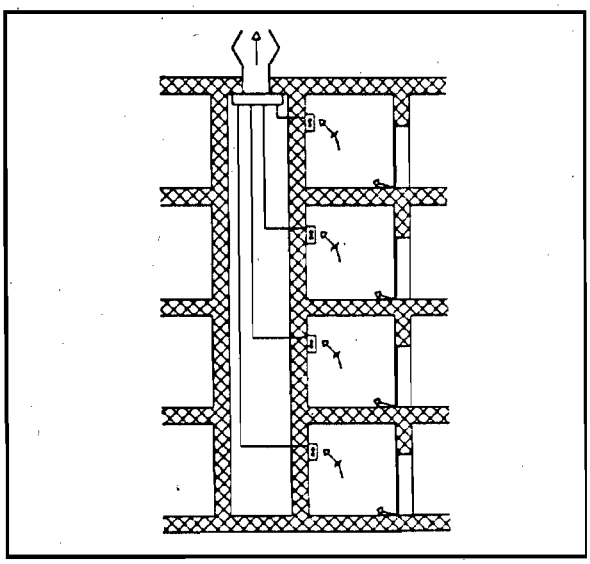


Fig. 2.12 Dezentrale Fortluftanlage mit Einzelventilatoren (Aération des bâtiments 1989)

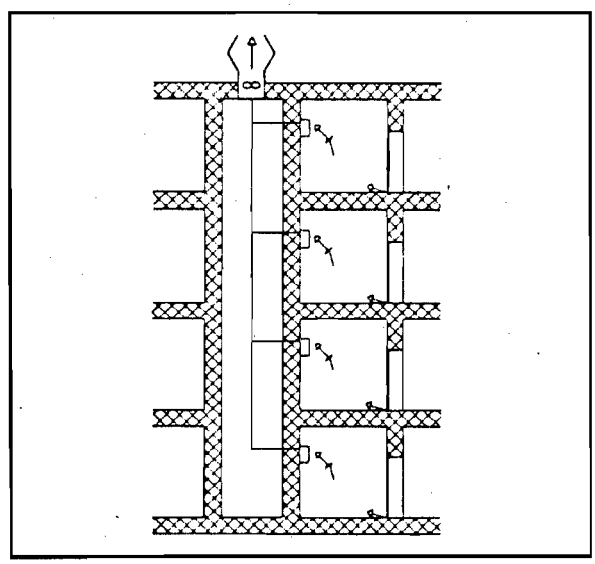


Fig. 2.13 Zentrale Fortluftanlage mit einer Hauptleitung und mehreren Nebenleitungen (Aération des bâtiments 1989)

b) Zentrale Fortluftanlagen

Wie in Figur 2.13 ersichtlich ist, dient zur Absaugung der Fortluft ein gemeinsames Ventilatoraggregat, an das eine Hauptleitung angeschlossen ist. Bei Gebäuden mit geringer Geschosszahl kann auch für jede Wohnung separat eine Hauptleitung vorgesehen werden. Eine Geräuschübertragung von Wohnung zu Wohnung ist damit praktisch ausgeschlossen. Der Anschluss der Fortlufteinlässe erfolgt direkt an die Haupt- bzw. Nebenleitungen. Die Frischluft dringt durch Undichtigkeiten oder durch Zuluftgitter in der Fassade ein. Für den zweiten Fall zeigt die Figur 2.14 die Luftbewegung eines Fortluftsystems in einer Wohnung. Die Fortlufteinlässe befinden sich in der Küche sowie im Bad/WC.

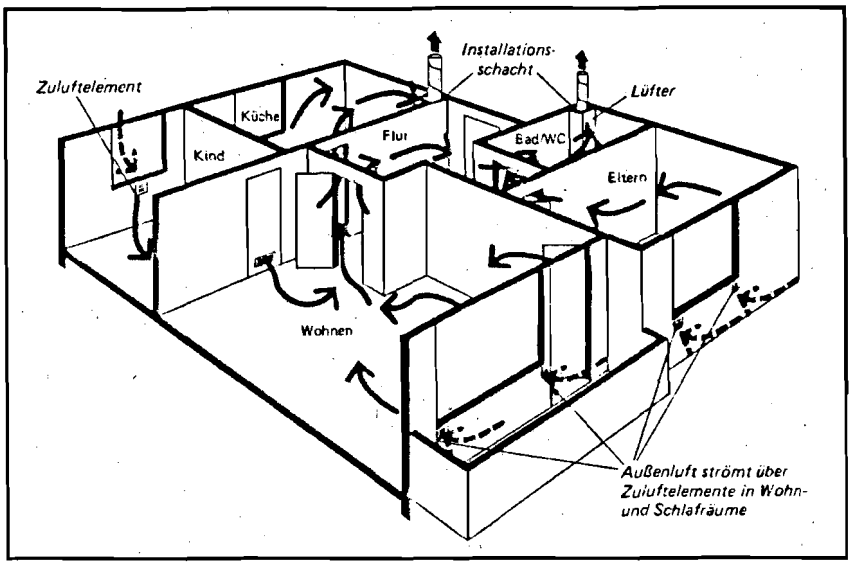


Fig. 2.14 Schematische Darstellung der Luftführung in einer Wohneinheit (HLH 1988)

2.4.2 Neuere Systeme

Neuere Abluftanlagen werden mit einem variablen Volumenstrom betrieben und sind oft über die Feuchtigkeit reguliert. Es sind die Nachströmgeräte selbst, die sich in Funktion der Luftfeuchtigkeit mehr oder weniger öffnen. Auch die Fortlufteinlässe sind feuchtigkeitsgeregelt. So wird der Luftstrom immer dann erhöht, wenn die Feuchtigkeit in den Räumen zunimmt.

a) Geregelte Nachströmeinlässe

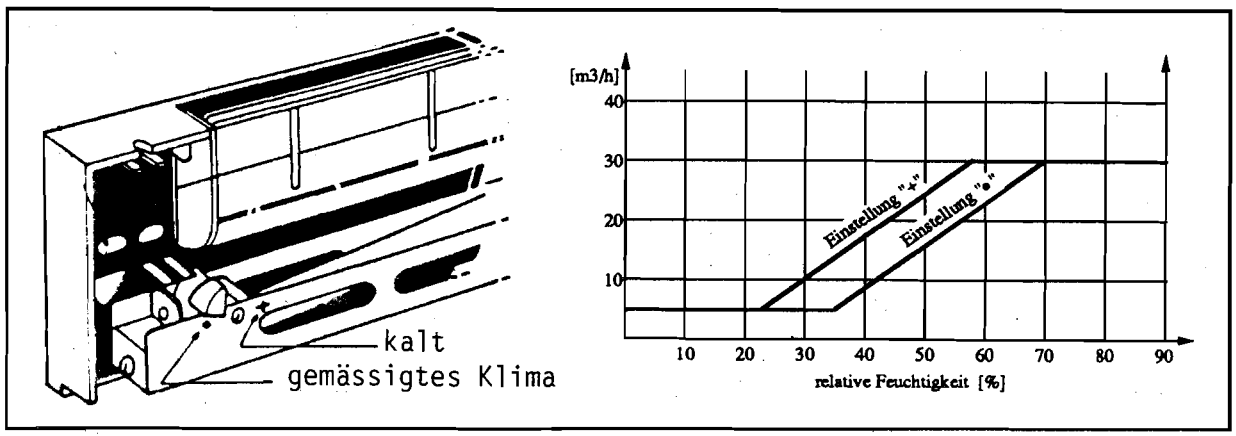


Fig. 2.15 Beispiel eines feuchtigkeitsgeregelten Zuluftgitters. Die Kurve zeigt die Luftmenge für 10 Pa in Funktion der inneren Luftfeuchtigkeit (Doku AERECO, Collegien, F)

b) Atmende Wände

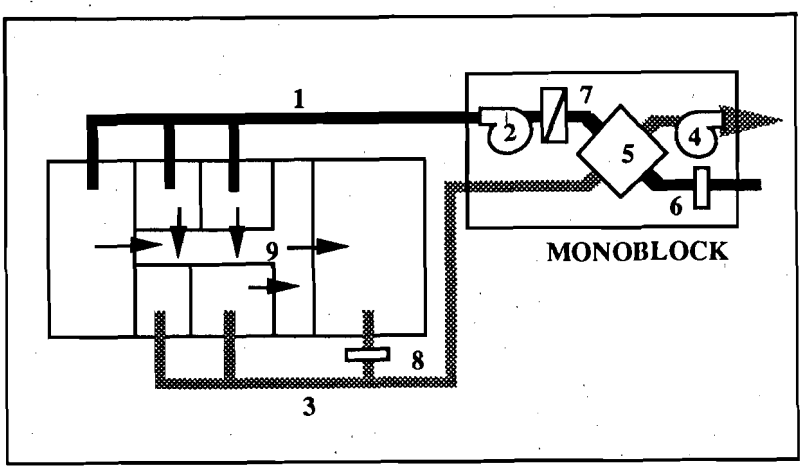
Um den Atmungseffekt zu verbessern, können die Wände und das Lüftungssystem speziell dafür gebaut werden. In diesem Fall spricht man von dynamischer Isolation, entweder mit einer Luftaussparung im Innern der Wände ("pariéto-dynamique") oder durch Verwendung luftdurchlässiger Baustoffe ("perméo-dynamique").

c) Kontrollierte Wohnungslüftung

Mit diesem System können folgende Funktionen erfüllt werden:

- Gewährleistung eines minimalen Luftwechsels zur Abführung der in den Räumen entstehenden Schadstoffe (durch Personen, Möbel, Farbanstriche, usw.).
- Verhinderung einer Schadstoff- und Geruchsvermischung zwischen Küchen und Räumen mit weniger Schadstoffanfall (Wohn- und Schlafzimmer, etc.).
- Verteilung der Wärmelasten an alle Räume (innere Lasten und Sonneneinstrahlung).
- Rückgewinnung des grösseren Teils der für die Erwärmung der Raumluft notwendigen Energie, um den Energieverbrauch zu reduzieren.

Die Türen zwischen den Innenräumen haben unten einen Spalt oder sind mit Gittern ausgerüstet, damit die Luft in der Wohnung zirkulieren kann. Luftkanäle (z.B. Plastikschläuche) verteilen die Zuluft (Frischluft) in den "sauberen" Räumen wie Ess- und Wohnzimmer sowie in den Schlafzimmer. In der Küche und in den sanitären Räumen (hoher Schadstoffanfall) wird die Abluft angesaugt. Bevor diese ins Freie gelangt, wird sie über einen Wärmetauscher geführt, damit die Wärme der Abluft an die Zuluft übertragen werden kann. Ein solches System ist in Figur 2.16 dargestellt.



1 Zuluftkanal
2 Zuluftventilator
3 Abluftkanäle
4 Abluftventilator
5 Wärmetauscher
6 Aussenluftfilter
7 Nachwärmer
8 Abluftfilter Küche
9 Luftaustausch zwischen den Räumen

Fig. 2.16 Prinzipschema für Be- und Entlüftung mit WRG (Impulsprogamm T9)

Es gibt verschiedene Arten von Wärmeaustauschern:

	Wirkungsgrad
Plattenwärmetauscher	60 - 70 %
Wärmerohr ("Heat pipe")	ca. 60 %
rotativer Wärmetauscher	70 - 85 %
Glykol-Wasser-Batterie	30 - 40 %
Wärmepumpe	100 - 150 %

Der Luftwechsel eines solchen Systems beträgt ungefähr 0.5 h^{-1} in den Zimmer und etwa 0.75 h^{-1} in den Wohnräumen (Ess- und Wohnzimmer). Die Zuluftgitter befinden sich fassadenseitig unter den Heizkörpern, während die Abluft unter der Decke in den sanitären Räumen und über den Dampfabzug in der Küche abgesogen wird.

Für jede Wohnung wird meist eine separate Anlage installiert. Be- und Entlüftungsanlagen werden für Wohnungen und Einfamilienhäuser nach dem gleichen Prinzip gebaut.

Be- und Entlüftungsapparate

Die Zu- und Abluftventilatoren, der Wärmetauscher, die Filter, ein eventueller Nacherhitzer, sowie die Systemregulierung sind normalerweise in einem einzigen Kombigerät integriert, siehe Figuren 2.16 und 2.17. Dieser befindet sich im Estrich, im Keller oder manchmal sogar in der Küche (kleine Anlagen).

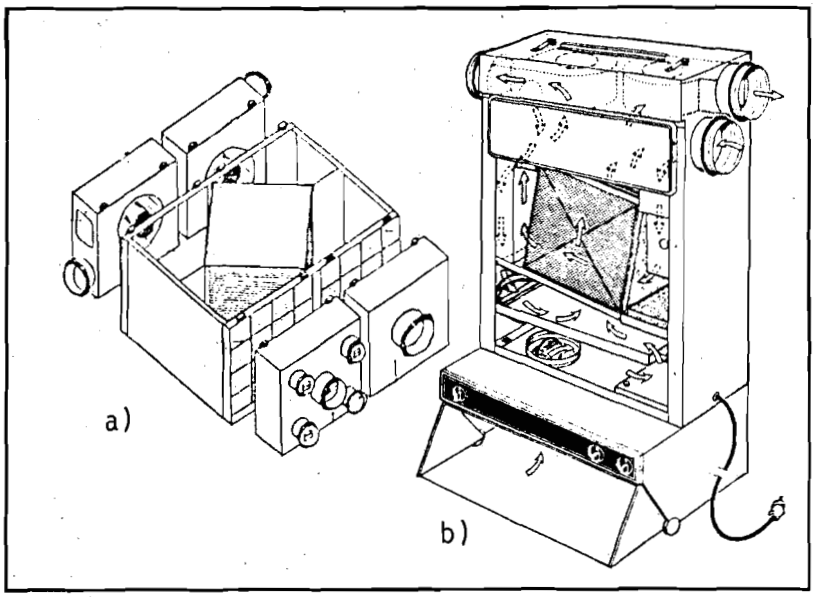


Fig. 2.17 Kombigerät zur Luftaufbereitung zum Einbau in
a) Keller oder Estrich
b) Küche
(Doku Aeroplast: "Akor System" (a), BAHCO-Minimaster (b))

Beim Einsatz einer Wärmepumpe wird die Zuluft dem Kondensator zugeführt, während die Fortluft über den Verdampfer entweicht. Die Wärmepumpe gewinnt nicht nur die Wärme der Abluft zurück, sondern sie kann die Abluft noch unter die Aussenlufttemperatur abkühlen. Deshalb kann der Wirkungsgrad grösser als 100 % sein. Auch geht die durch den elektrisch betriebenen Kompressor entstehende Wärme an die Zuluft über, was am Anfang und am Ende der Heizperiode zu Problemen führen kann.

Ein spezieller Augenmerk sollte der Lärmdämmung des Kombigerätes geschenkt werden, vor allem wenn sich dieses in der Wohnzone befindet. Auch sollte es gut zugänglich sein, denn die Filter müssen ein- bis zweimal pro Jahr gereinigt beziehungsweise ausgewechselt werden.

Luftverteilung

Da die Zuluft nur die notwendige Frischluftmenge gewährleistet, sind die Luftmengen recht klein. Deshalb genügt für die Wohnungslüftung ein einfaches Netz von Plastik- oder Spiralschläuchen.

Die Luftauslässe befinden sich hinter oder unter den Heizkörpern, damit eine Nacherwärmung der Zuluft stattfinden kann. Befindet sich das Luftverteilungsnetz wie in Figur 2.18 im Estrich, so sind die Luftauslässe an der Decke oder fassadenseitig angeordnet. Um den Geräuschpegel möglichst tief zu halten, ist am Anfang des Zuluftverteilnetzes ein Schalldämpfer montiert. Falls auch die Wohnzimmer an den Abluftkanal angeschlossen wären, müsste auch hier ein Schalldämpfer montiert werden.

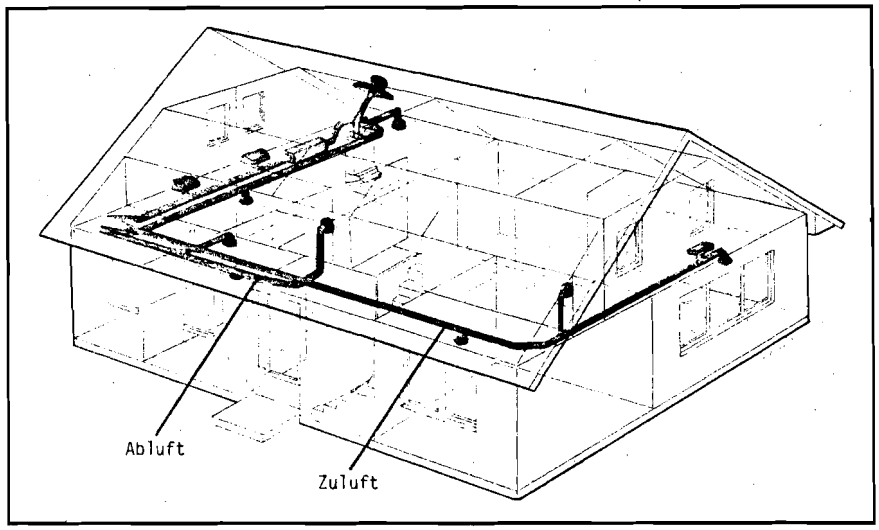


Fig. 2.18 Luftverteilung im Estrich (Doku Bahco Ventil.: "Minimaster System")

Regulierung

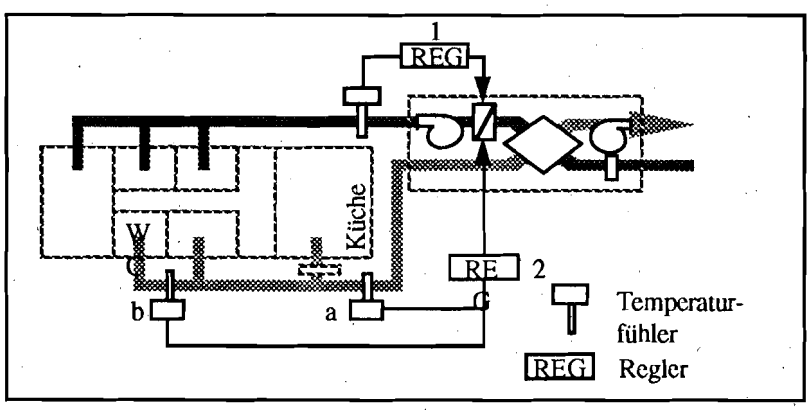
Ist die Lüftungsanlage ohne Nacherwärmer ausgestattet, wird die Zulufttemperatur nicht geregelt. Bei Vorhandensein einer Wärmepumpe wird die Zulufttemperatur meist auf eine konstante Temperatur (ca. 20°C) eingestellt, siehe Figur 2.19, Regulierung 1.

Muss die Lüftungsanlage allein die notwendige Raumheizung bewältigen, wird der Nacherwärmer in Funktion der Ablufttemperatur geregelt. Die Temperaturmessonde sollte deshalb in einem Raum sein, wo die thermische Last repräsentativ ist.

Raumanlagen dieser Art funktionieren meist permanent mit der gleichen Luftmenge. In gewissen Fällen kann aber je nach Bedarf mit einem zweistufigen Ventilator oder mit einer Schaltuhr, welche stündlich die Anlage nur eine gewisse Zeit lang einschaltet, die Luftmenge reduziert werden.

Lüftungssysteme im Wohnbau sind noch verbesserungsfähig. Zwei Beispiele seien dazu erwähnt:

- Vorheizen der Frischluft in einem Wintergarten oder mit Luft-Sonnenkollektoren
- Abkühlen der Räume im Sommer mit Hilfe des Lüftungssystems, indem die Abluft befeuchtet wird (adiabatische Kühlung)



1 konstante Zulufttemperatur (Zusatzheizung mit Heizkörper)

2 konstante Ablufttemperatur (keine Zusatzheizung)
- a) Temperaturmessung der gesamten Abluft
- b) Temperaturmessung der Abluft ohne Abwärmeeinfluss

Fig. 2.19 Möglichkeiten für die Regulierung des Nacherhitzers (Impulsprogramm T9)

2.5 Lüftung in Büro- und Dienstleistungsgebäuden

Für alle Lüftungsanlagen in Büro- und Dienstleistungsbetrieben ist die Erfüllung der Lüftungsfunktion vordringlich. In den verschiedenen Räumlichkeiten treten zeitlich variable Heiz- und Kühllasten auf. So hat die Lüftungsanlage oft auch zur Aufgabe, den thermischen Komfort zu garantieren. Dies kann - das geht aus Figur 2.20 hervor - grundsätzlich auf zwei Arten gelöst werden, nämlich Luft-Luft- und Luft-Wasser-Systeme.

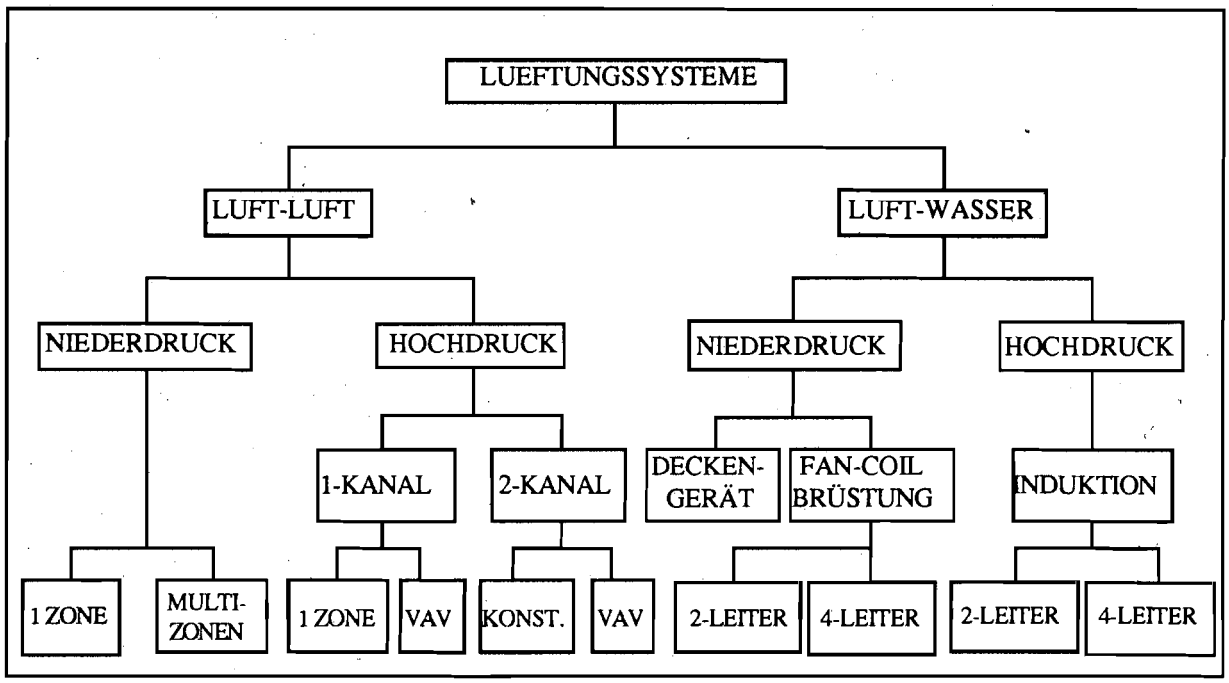


Fig. 2.20 Zusammenstellung der verschiedenen Lüftungssysteme

2.5.1 Luft-Luft-Systeme

Die Luft-Luft-Systeme gewährleisten beide obenerwähnten Funktionen, nämlich die Frischluftzufuhr (Hygiene) und die thermische Funktion (Kälte, Wärme). Im folgenden werden die wichtigsten Systeme vorgestellt, wobei der Augenmerk vor allem auf die neueren und interessanteren Systeme (z.B. bezüglich Energieverbrauch) gelegt werden soll.

Herkömmliche Systeme

a) Einkanalanlagen

Die Luft wird zentral aufbereitet und in einem Kanal an die Versorgungsstelle gebracht. Werden mehrere Stockwerke oder mehrere Räume durch die gleiche Lüftungszentrale versorgt, ist die Zulufttemperatur und -feuchtigkeit sowie der Frischluftanteil in all diesen Zonen gleich.

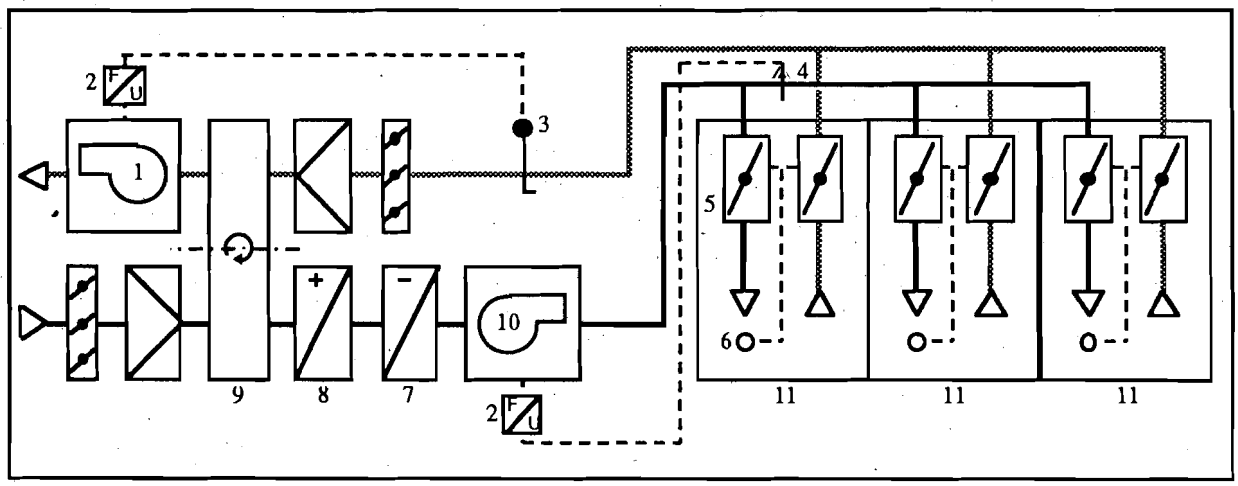
Weniger häufig sind Einkanalanlagen mit Mehrzonen-Nachwärmern. Bei diesen wird in der Lüftungszentrale Luft desselben Zustandes für alle Räume aufbereitet. Die Luft wird in einem Kanal zu den verschiedenen Versorgungsstellen geführt. Durch Nachwärmung oder Nachkühlung kann dort der Luftzustand vor dem Eintritt in den Raum verändert werden. Damit ist es möglich, den unterschiedlichen Lasten in den einzelnen Zonen nachzukommen.

b) Zweikanalsysteme

Von der Lüftungszentrale geht in zwei Kanälen Luft verschiedenen Zustandes zur Versorgungsstelle. Die eine Zuluft kann z.B. gekühlt, die andere erwärmt sein. In Funktion des Bedarfes werden an der Versorgungsstelle die beiden Luftarten vermischt. So kann die Zulufttemperatur für verschiedene Räume unterschiedlich eingestellt werden.

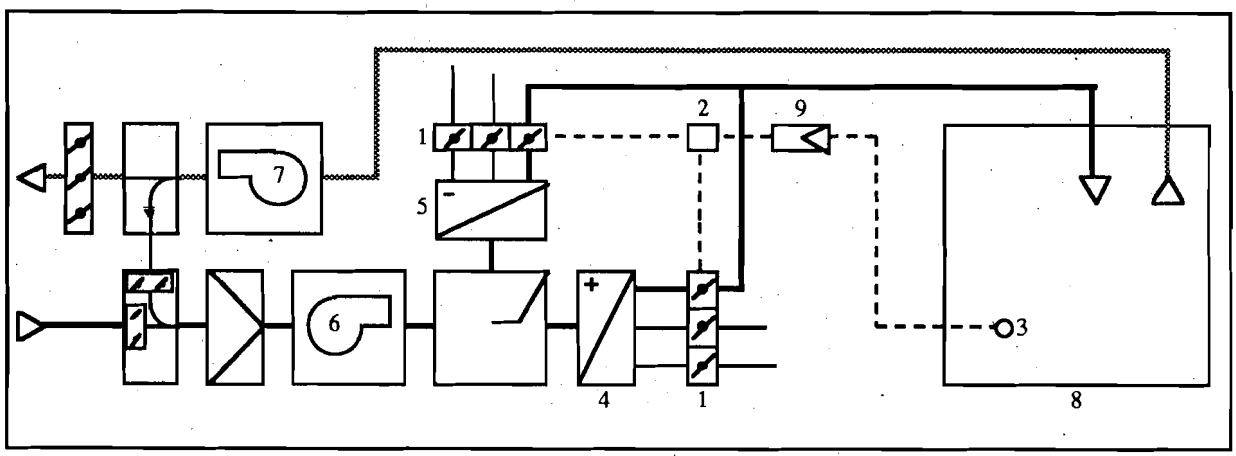
Variabler Volumenstrom (VAV)

Einkanal- und Zweikanalanlagen gibt es sowohl mit konstantem Volumenstrom und variabler Temperatur als auch mit variablem Zuluftstrom und konstanter Temperatur (Figur 2.21). Dadurch kann eine grosse Flexibilität in bezug auf Schwankungen der Last und Regulierung der verschiedenen Zonen erreicht werden.



1 Abluftventilator
2 Frequenzumformer
3 Geschwindigkeitsfühler
4 Druckfühler
5 Volumenregler
6 Raumfühler
7 Luftkühler
8 Lufterhitzer
9 Wärmerückgewinnung
10 Zuluftventilator
11 Einzelne Zonen

Fig. 2.21 VAV-Anlage (mehrere Zonen)



1 Wechselklappen
2 Klappenantrieb
3 Raumfühler
4 Lufterhitzer
5 Luftkühler
6 Zuluftventilator
7 Abluftventilator
8 Einzelne Zone

Fig. 2.22 Mehrzonen-Anlage (konstanter Volumenstrom)

c) Mehrzonen-Klimaanlagen

Figur 2.22 zeigt eine Anordnung, bei der die unterschiedlichen Zulufttemperaturen der einzelnen Zonen durch Mischung von warmer und kalter Luft erzeugt werden. Zu jeder Zone wird ein Luftkanal verlegt, an dessen Anfang eine Wechselklappe für die Luftmischung angeordnet ist. Anlagen dieser Art sind für kleine Räume mit sehr unterschiedlicher Belastung geeignet.

Neuartige Systeme

a) VAV-System mit turbulenzarmer Fallströmung

Die Regulierung der Luftmenge in Abhängigkeit der Wärme funktioniert gleich wie bei einem konventionellen VAV-System. Die Neuerung betrifft dagegen die Wärmeübertragung und die Luftführung im Raum. Die Luft zirkuliert in einem Kanal, der eine Art Doppeldecke ist. Im Kühlfall erwärmt sich die Luft bereits vor dem Luftauslass dank der Wärmeleistung der Beleuchtung, etc. Die Lufttemperatur am Austritt beträgt dann 20 - 21°C (leicht unter Raumtemperatur) und genügt, um die restlichen Wärmelasten noch abzuführen. Wie in Figur 2.23 dargestellt ist, wird die Luft von der Decke aus eingeführt und sinkt als semi-laminare Strömung nach unten. Sobald die Luft den Boden erreicht, breitet sie sich aus und steigt infolge der Auftriebskräfte (Wärmequellen) wieder auf.

Ein Teil der Wärme wird mittels Klimabalken (Strahlungskühlung) abgeführt. Die Figur 2.24 zeigt die verschiedenen Betriebszustände dieses Lüftungssystems.

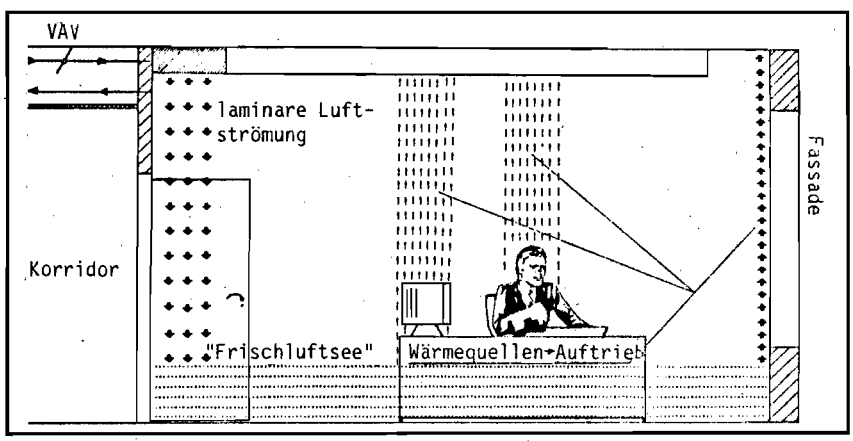


Fig. 2.23 Lüftungssystem vertikal laminar (BARCOL-AIR)

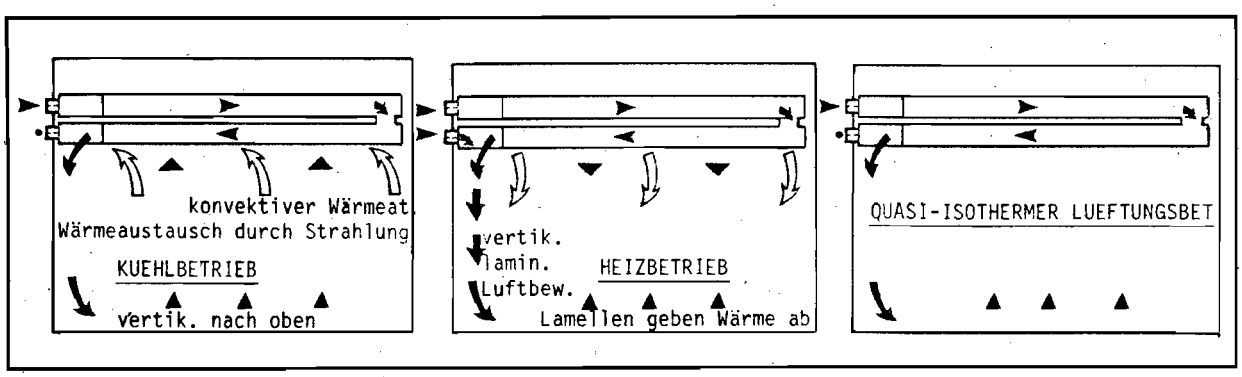


Fig. 2.24 Die verschiedenen Betriebszustände des Systems mit vertikaler Luftführung (BARCOL-AIR)

b) Lüftungssystem mit seitlicher turbulenzarmer Lufteinführung (Quellüftung)

Das auf dem Verdrängungsprinzip basierende Lüftungssystem wurde urpsrünglich für Industrieanlagen (Spritzwerke, etc.) angewendet. Bei kleinen Luftmengen kann man das Prinzip auch bei der Komfortlüftung anwenden. Die Luft wird seitlich nahe dem Fussboden durch ein laminares Zuluftgitter mit einer Geschwindigkeit von 0.15 - 0.2 m/s in den Raum gebracht. Die Zuluft, die im Kühlbetrieb kälter ist als die Raumluft, bewegt sich langsam dem Boden entlang (Schwerkraft). Sie steigt durch thermische Auftriebskräfte dort auf, wo sich Personen oder andere Wärmequellen (z.B. Apparate oder Tischlampen) befinden (siehe Figur 2.25). Die Abluft wird an der Decke abgesogen. Der Luftzustand ist je nach Höhe oder je nach Messort unterschiedlich, es entsteht über der Aufenthaltszone eine Zone mit erhöhtem Schadstoffgehalt. Die Figur 2.26 zeigt die mit steigender Höhe zunehmende Lufttemperatur (im Gegensatz zur Mischlüftung). In erster Linie wird dort gekühlt, wo die Wärmelasten anfallen, was einen guten Gütegrad des Luftaustausches zur Folge hat. Der Temperaturgradient ist jedoch so, dass die Komfortanforderungen (2 K Temperaturdifferenz zwischen Fuss und Kopf) eingehalten wird.

Durch dieses Lüftungssystem können Wärmelasten von ungefähr 20 - 50 W/m² abgeführt werden. Um die Grenzen der Anwendbarkeit eines solchen Lüftungssystems genau zu kennen, müssten noch detailierten Messungen durchgeführt werden.

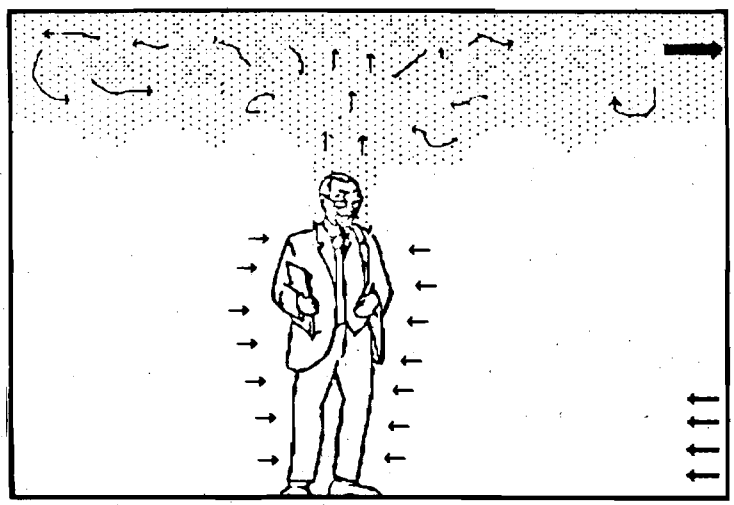


Fig. 2.25 Luftführung bei seitlicher laminarer Lufteinführung (Quellüftung) (Skistad 1988)

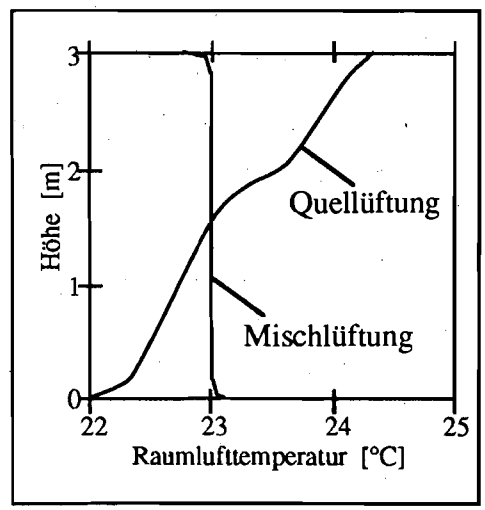


Fig. 2.26 Vergleich der Temperaturstratifikation bei Misch- und Quellüftung (Fitzner 1988)

2.5.2 Luft-Wasser-Systeme

In diesem Fall erfüllt das Lüftungssystem nur eine Grundfunktion, nämlich die Zufuhr von Aussenluft. Die Erwärmung oder die Kühlung erfolgt durch ein getrenntes System, dessen wärmetragendes Medium nicht Luft, sondern Wasser sein kann. Im folgenden werden die wichtigsten Luft-Wasser-Lüftungssysteme beschrieben.

Herkömmliche Systeme

a) Brüstungsgeräte ("Fancoil")

Warm- oder Kaltwasser wird zum Brüstungsgerät (Versorgungsstelle) geführt. Dieses funktioniert im Umluftbetrieb. Die Raumluft wird angesogen, im Brüstungsgerät erwärmt bzw. ge-

kühlt und in den Raum zurückgeblasen. Die Frischluftzufuhr erfolgt über ein Niederdruck-Einkanal-Lüftungssystem.

b) Induktionsgeräte

Auch hier wird Kalt- oder Warmwasser zur Versorgungsstelle geführt. Die Lüftung erfolgt durch ein Hochdruck-Einkanal-System. Im Gerät wird Raumluft induziert und dadurch kann der Raum gekühlt oder erwärmt werden.

Neuere Systeme

a) Kühldeckensystem mit integrierter Aussenluftzufuhr

Als Kühlsystem werden Kühlelemente an der Decke montiert, welche von Primärluft durchströmt sind. Die Kühllast wird teils durch die Zuluft, teils über den Wärmeaustausch (Strahlung, Konvektion) an den Oberflächen der Elemente abgeführt Im weiteren reagieren die Kühldecken aufgrund der kleinen Umlaufwassermenge in kürzester Zeit auf Raumlaständerungen. Die Wärmelasten, die durch eine Kühldecke abgeführt werden können, betragen zwischen 30 und 90 W/m^2.

Während die Heizung traditionell durch Heizkörper gewährleistet wird, kann eine Niederdruckanlage die Frischluft zuführen. Eine andere Möglichkeit besteht darin, die Aussenluftzufuhr direkt im Deckenkühlelement zu integrieren. Diese Variante ist in Figur 2.27 zu sehen.

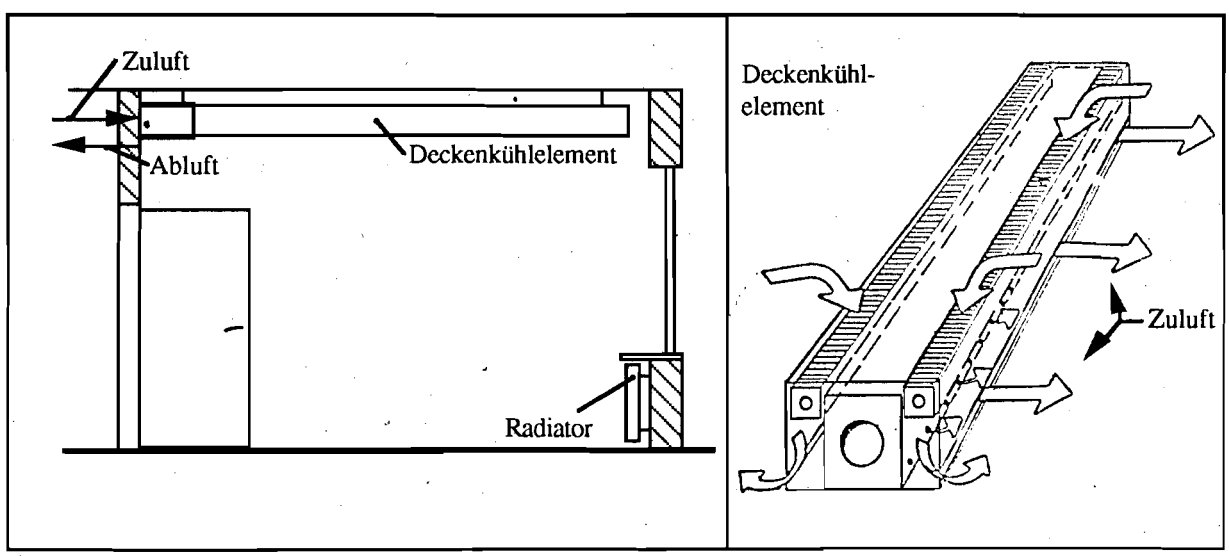


Fig. 2.27 Kühldeckensystem mit integrierter Aussenluftzufuhr (FAREX)

b) Laminares Luftführungssystem mit Kühldecke

Die thermische Funktion und die Aussenluftzufuhr sind bei diesem System klar getrennt. Das Lüftungssystem führt praktisch keine Wärme zu oder ab. Mit laminarer Luftströmung führt es nur gerade die notwendige Aussenluftmenge zu. Die thermische Funktion wird durch Strahlungskühlung an den Deckenelementen gewährleistet.

Dieses getrennte System vereinigt die Vorteile der laminaren Luftführung (sehr guter Luftaustauschwirkungsgrad) mit denjenigen der Kühldecken. Wie bei der Quellüftung ohne Strahlungskühlung sind auch hier weitere Untersuchungen notwendig, um die Grenzen der Anwendbarkeit eines solchen Systems definieren zu können. Einige Pilotanlagen sind aber bereits in Betrieb.

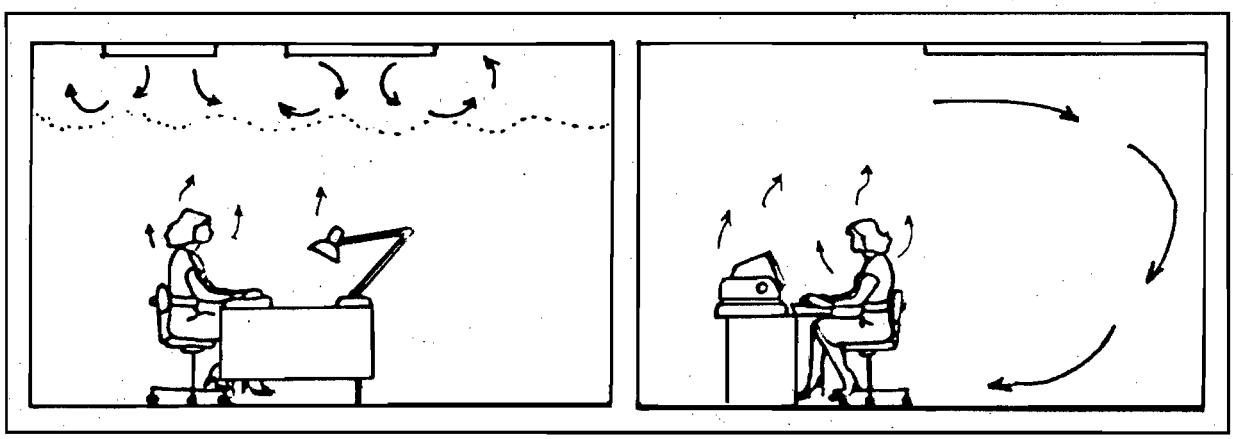


Fig. 2.28 Kühldecke mit laminarer Luftführung (Skistad 1989)

3. Anforderungen an Gebäude und Lüftungssystem

3.1 Gebäudepark Schweiz und Lüftungsprinzip

In Kapitel 2 sind herkömmliche und neuartige Lüftungssysteme beschrieben worden. Gemäss dem Ziel der Systemstudien im Forschungsprojekt "Energierelevante Luftströmungen in Gebäuden" sollen neuartige Systeme gefördert werden. Wo sollen diese zur Anwendung gelangen? Um die Einsatzmöglichkeiten abzuschätzen, ist es wichtig, die Nutzungsanteile nach Gebäudetypen am schweizerischen Gebäudepark zu kennen. Die Altersstruktur des Gebäudeparks spielt hier eine weniger wichtige Rolle, da mehrheitlich von Neubauten die Rede ist. In Figur 3.1 sind die Nutzungsanteile an der Bruttogeschossfläche (Projekt MANTO der ETHZ, 1984) dargestellt. Überlagert ist eine Schätzung (Steinemann, 1986) des prozentualen Anteils der Gebäude mit natürlicher Lüftung, Fortluftanlagen sowie lüftungstechnische Anlagen.

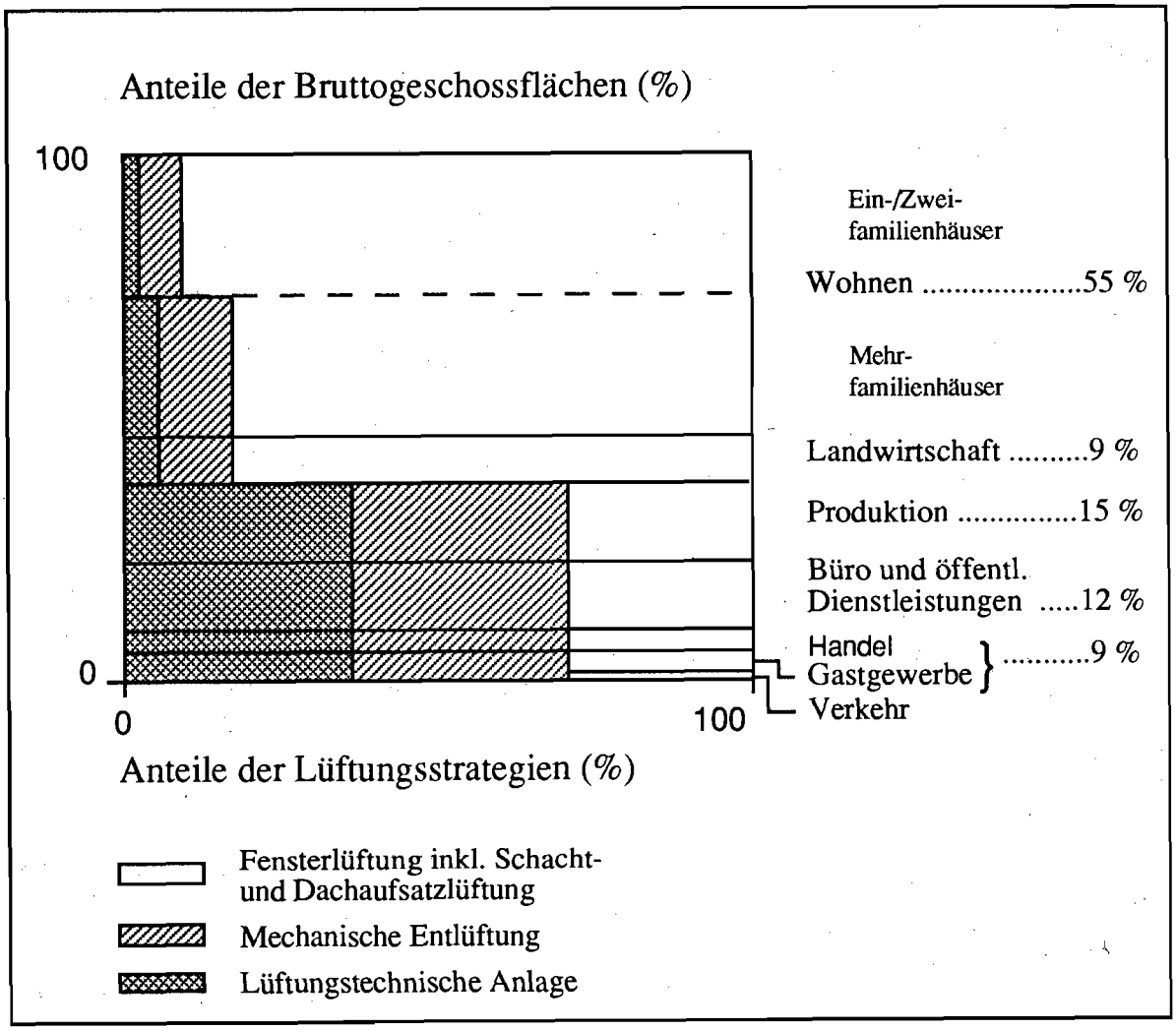


Fig. 3.1 Aufteilung des schweizerischen Gebäudeparkes und Lüftungsstatistik

Wohngebäude machen gemäss Figur 3.1 mehr als die Hälfte der Bruttogeschossfläche der Schweiz aus. Obschon heute nur der allerkleinste Teil der Wohnbauten mechanisch belüftet wird, was auch in unseren Umfragen (Kapitel 5) bestätigt wurde, wurde diese Kategorie wegen ihrer Wichtigkeit nicht aus den Untersuchungen dieses Projektes ausgeschlossen. Aufgrund von Energiesparanstrengungen und Schallschutzanforderungen werden die Gebäudehüllen von Wohnbauten immer dichter gebaut. In gewissen Fällen (städtische Siedlungsgebiete) kann dies zu vermehrtem Einsatz der mechanischen Wohnungslüftung führen.

In Produktionsgebäuden, Handelsgebäuden (Läden, usw.) und im Gastgewerbe sind verschiedenste Zonen mechanisch belüftet oder sogar klimatisiert. Oft sind es ähnliche oder gleiche Anlagen wie sie in Büros vorkommen, oder es sind Speziallüftungsanlagen, deren Untersuchung den Rahmen dieses Forschungsprojektes sprengen würde.

Im Bereich Büro- und Dienstleistungsgebäude (inkl. Schulen, usw.) sind heute die meisten und verschiedenartigsten Lüftungsanlagen anzutreffen. In diesem Zusammenhang ist es interessant, dass für diese Gebäudekategorien der Wille nach Energieeinsparung in bezug auf Lüftungssysteme die grössten Veränderungen gebracht hat. Aus diesem Grund betrifft der Grossteil der in Kapitel 6 beschriebenen Fallbeispiele Lüftungsanlagen für Bürogebäude.

3.2 Angepasste Luftdurchlässigkeit, innere Lasten und Energiebedarf

Luftaustausch

Der Luftaustausch in einem Gebäude wird durch verschiedene Einflussfaktoren bestimmt (Steinemann 1986):

a) Äussere Bedingungen

Der Luftaustausch wird nicht nur durch die Windstärke und -richtung, sondern auch durch die Temperaturdifferenz zwischen innen und aussen beeinflusst. Dazu kommt auch die Umsetzung in lokale Wind- und Druckverhältnisse (Topographie, Gebäudeform).

b) Eigenschaften des Gebäudes

Folgende Einflussfaktoren sind in diesem Zusammenhang wichtig: Gebäudetyp, Grundriss und Lage des Gebäudes, Grösse und Ort der Undichtigkeiten in der Gebäudehülle, Dichtigkeit der Innentüren und der Wohnungsgrundriss.

c) Art des Lüftungssystems

Hier wird zwischen einer Einrichtung zur freien Lüftung und einer lüftungstechnischen Anlage unterschieden.

d) Bewohnereinfluss

Das Benutzerverhalten hat einen starken Einfluss: Nicht nur die Öffnungsstellung der Fenster und Aussentüren ist wichtig, sondern auch jene der Innentüren.

Bei einem intensiven Luftaustausch resultiert ein übermässiger Energieverbrauch und Zugserscheinungen beeinträchtigen den Komfort der Bewohner. Umgekehrt darf der Luftaustausch auch nicht zu gering sein, da sonst die Raumluftqualität schlechter wird. Als Kenngrösse für die Luftdurchlässigkeit kann der n_{L50}-Wert angegeben werden (Steinemann 1986). Der n_{L50}-Wert stellt den Gesamtluftwechsel bei einem stationären Differenzdruck von 50 Pa über der Gebäudehülle dar. Dieser Wert kann messtechnisch mit der Differenzdruckmessung am Bau ermittelt werden.

Figur 3.2 zeigt einen Vorschlag zur angepassten Luftdurchlässigkeit der Gebäudehülle von Wohnbauten. In dieser Figur können für die drei Fälle "ohne mechanische Lüftung", "mechanische Abluftabsaugung ohne Wärmerückgewinnung" und "geführte Zu- und Abluft mit Wärmerückgewinnung" empfohlene Luftdurchlässigkeiten (n_{L50}-Werte) abgelesen werden.

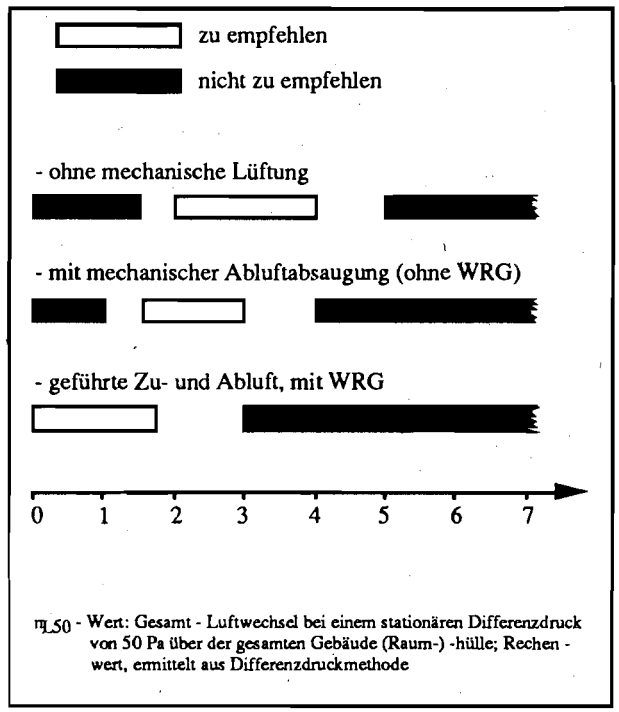


Fig.3.2 Provisorische Empfehlungen für die Luftdurchlässigkeit der Gebäudehülle bei gut wärmegedämmten Wohnbauten (Steinemann 1986)

Falls aufgrund der Gebüdenutzung eine Lüftungsanlage mit geführter Zu- und Abluft notwendig ist, soll die Gebäudehülle möglichst luftdicht ausgeführt werden, damit der Hauptteil des Luftaustausches über die Lüftungsanlage erfolgt. In diesem Fall kann auch die Wärmerückgewinnungsanlage effizient betrieben werden.

Wohngebäude

Seit 1973 hat sich dank zunehmender Wärmedämmung die thermische Qualität der Gebäudehüllen stark verbessert. Diese Tendenz kann bei allen Gebäudetypen beobachtet werden. Sie gilt aber vor allem für Wohnbauten. Mit der zunehmenden Wärmedämmung hat auch die Luftdichtigkeit der Gebäude zugenommen. Aufgrund von effizienteren Dichtungen werden seit ungefähr fünf Jahren Fenster und Türen bedeutend luftdichter ausgeführt. So kann es heute vereinzelt Feuchtigkeitsprobleme geben, die bis zu Schimmelbildung führen können. Auch wenn heute zum Beispiel Küchen mit mechanischer Entlüftung versehen werden, muss daran gedacht werden, dass in gewissen Fällen durch die luftdichten Fenster nicht mehr genügend Aussenluft nachströmen kann und so eventuell spezielle Öffnungen vorgesehen werden müssen.

Werden die Fenster aber genügend geöffnet, um einen gewissen Luftwechsel zu garantieren, wird dadurch der Wärmeenergieverbrauch beeinflusst. Die Figur 3.3 zeigt in Funktion des Luftwechsels das Verhältnis der Lüftungswärmeverluste zu den totalen Wärmeverlusten. Für einen bestimmten Luftwechsel erhöht sich dieses Verhältnis mit zunehmender Wärmedämmung. Dies bedeutet, dass die Lüftungswärmeverluste, auch ohne dass sie absolut zunehmen, einen immer bedeutenderen Anteil einnehmen.

Will man also den Wärmeenergieverbrauch eines Gebäudes zusätzlich reduzieren, ist es unumgänglich, auch die Lüftungswärmeverluste zu kontrollieren. Die Figur 3.4 zeigt die Entwicklung der Energiekennzahl in Wohngebäuden. Die Erhöhung der Wämredämmung und der Luftdichtigkeit hat den Wärmeenergieverbrauch drastisch reduziert, nämlich von ungefähr 600 auf ca. 250 MJ/m² Jahr. Zusätzliche Einsparungen könnten mit einer mechanischen Lüftung und Wärmerückgewinnung gemacht werden.

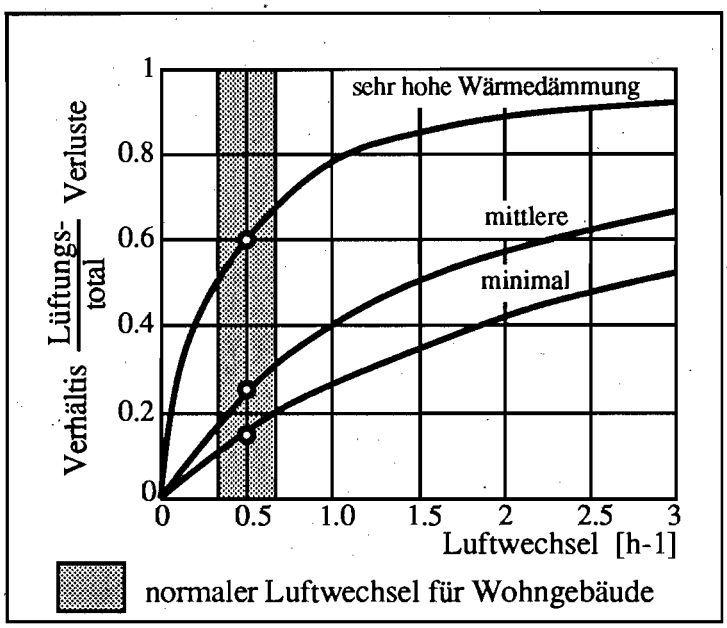


Fig. 3.3 Verhältnis der Lüftungswärmeverluste zu den totalen Wärmeverlusten in Funktion des Luftwechsels (Steinemann 1984)

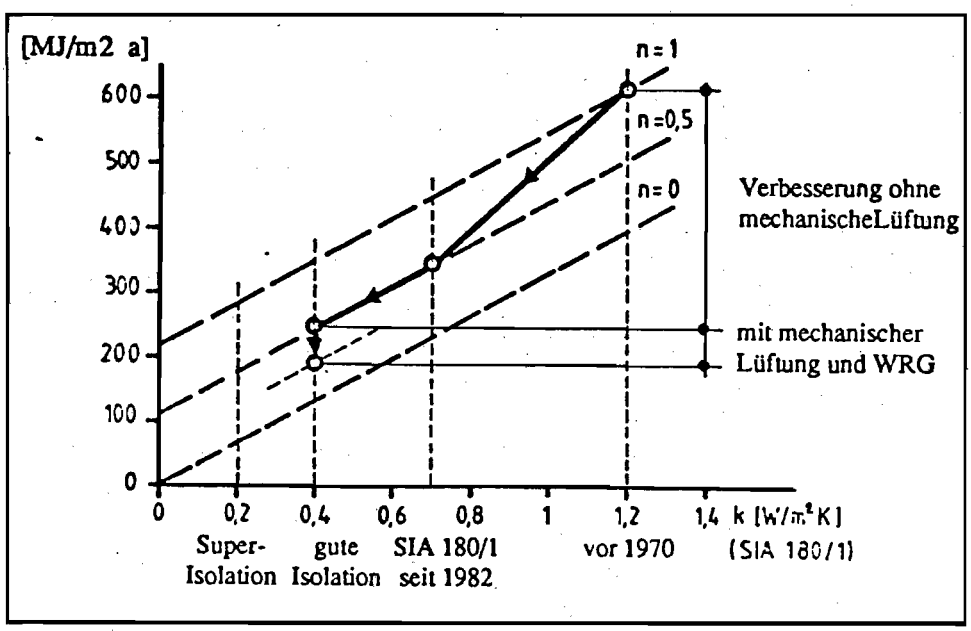


Fig. 3.4 Reduktion der Energiekennzahl in Wohngebäuden seit 1970 (n...Luftwechselzahl) (Basler & Hofmann 1985)

Büro- und Dienstleistungsgebäude

Auch in Büro- und Dienstleistungsgebäuden können Verbesserungen bezüglich der Gebäudehülle registriert werden. Wie fast alle Gebäudearten werden heute Bürogebäude besser isoliert und luftdichter gebaut. Dazu kommen aber in diesem Sektor noch weitere wichtige Änderungen dazu:

- Verbesserung der Beleuchtungstechnik (inklusive Sonnenschutz), was zu niedrigerem Wärmelastanfall führt
- Erhöhung der thermischen Lasten infolge Informatik und Bürotechnik
- Verbreitete Anwendung von Wärmerückgewinnungsanlagen bei Lüftungs- und Klimaanlagen

Die Folgen dieser Entwicklung sind eindeutig. Das Verhältnis zwischen dem Elektrizitäts- und Wärmeenergieverbrauch steigt seit den sechziger Jahren immer mehr an. Dies wurde auch in der Umfrage mit Vertretern von Gebäudebesitzern bestätigt. So wird heute der zu erwartende Elektrizitätsverbrauch bei der Wahl eines Lüftungssystems immer wichtiger, nicht zuletzt auch, weil die Wärmeenergiekosten (Gas, Heizöl, usw.) seit 1985 abgenommen haben, während die Stromkosten eher eine zunehmende Tendenz aufweisen. Figur 3.5 zeigt die Entwicklung des Energieverbrauchs der verschiedenen Sektoren (Beleuchtung, Kälte und Wärme) eines klimatisierten Bürogebäudes. Das darin gezeigte Beispiel bezieht sich auf ein Lüftungssystem mit Brüstungsgeräten.

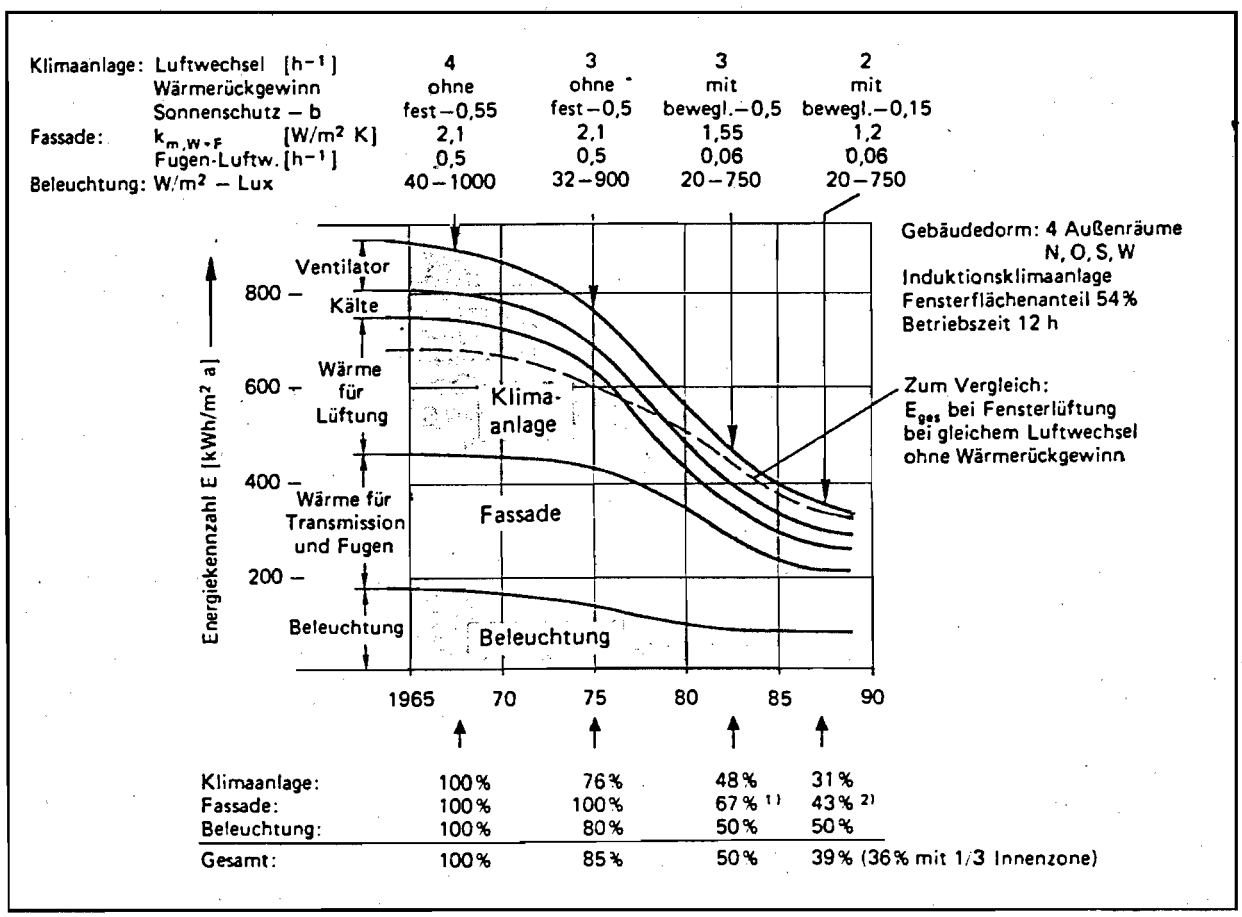


Fig. 3.5 Entwicklung der Energiekennzahlen für die verschiedenen Sektoren in einem Bürogebäude (Recknagel-Sprenger-Hönmann 1990/91, S. 1353)

Vergleicht man den Wärmebedarf eines Büros mit demjenigen vor 15 Jahren, erhält man für ein typisches Büro Werte, wie sie in der Tafel 3.6 zu sehen sind.

Die Abnahme der verschiedenen Wärmelasten hat also dazu geführt, dass die Zuluftmengen von traditionellen Klimaanlagen reduziert werden konnten. Dies kann in bestimmten Fälle auch negative Auswirkungen auf die Luftführung haben. Durch die Reduktion der Zuluftmenge können in gewissen Fällen tote Zonen entstehen, wo vorher noch eine gute Durchmischung der Luft zu beobachten war.

	1985 [W/m²]	1970 [W/m²]
Personen (15m2/Pers.)	5	5
Beleuchtung	10 (600 Lux)	30 (900 Lux)
Apparate	5-7	---
Sonneneinstrahlung	vernachlässigbar falls mit Sonnenschutz	15 Reflektionsglas
TOTAL	20-22	50
Luftwechsel (ΔT=8K):	3-4 /h	7-8 /h

Fig. 3.6 Vergleich der Wärmelasten eines typischen Büros 1970 und 1985 (Bürohöhe: 2.8 m) (Aération des bâtiments 1989)

Diese relativ tiefen Wärmelasten gelten nur für Büros, die nach dem neusten Stand der Technik gebaut werden. Im weitern gilt diese Tendenz nicht für andere Zonen von Bürogebäuden: In Computerräumen oder in Konferenzsälen z.B. kann der innere Wärmelastanfall nach wie vor sehr hohe Werte erreichen.

3.3 Anforderungen bezüglich Komfort und Hygiene

3.3.1 Das Raumklima

Die Bedeutung des Raumklimas

In Anbetracht der Tatsache, dass sich der moderne Mensch während rund 90 % der Zeit in Häusern, also in Innenräumen, aufhält, muss dem Raumklima besondere Beachtung geschenkt werden. Als Raumklima kann der durch physikalische und chemische Grössen bedingte Zustand der Raumluft, der Umschliessungsflächen und der Einrichtungsgegenstände betrachtet werden. Das Raumklima muss dem subjektiv empfundenen Wohlbefinden des Menschen bezüglich aller Raumklimakomponenten entsprechen. Das Ziel ist also die Schaffung eines behaglichen, resp. eines komfortablen Klimas. Dabei ist zu beachten, dass für die Beurteilung eines in einem Raum vorhandenen Klimas, ob behaglich oder unbehaglich, die Messung der unten beschriebenen Raumklimakomponenten und die entsprechende Festlegung von oberen und unteren Grenzwerten nicht ausreicht. Das Raumklimaempfinden des Menschen wird durch

mehr als nur durch die Summe der Einzelkomponenten bestimmt. Das antagonistische und synergistische Zusammenwirken verschiedener Raumklimakomponenten einerseits, sowie physiologische, psychologische, funktionelle, soziale und kulturelle Faktoren andererseits, beeinflussen das Klimaempfinden des einzelnen Menschen ganz wesentlich.

Die Raumklimakomponenten

Folgende definierbaren und messbaren Komponenten müssen dabei berücksichtigt werden:

- Lufttemperatur
- Luftfeuchtigkeit
- Luftbewegungen (Geschwindigkeit, Turbulenzgrad)
- Umschliessungsflächen: Farbe, Textur, Oberflächen- resp. Strahlungstemperatur und Wärmestrahlung
- Luftqualität (staub- und gasförmige Luftverunreinigungen, Mikroorganismen, Geruch)

Licht (resp. Beleuchtung) und Wärmestrahlung, Schall und Vibrationen, elektrostatischer Zustand des Raumes (magnetische und elektrische Felder) sowie Raumvolumen (Grösse, Proportionen, Öffnungen, Fenster, Möblierung) beeinflussen ebenfalls das wahrgenommene Raumklima, können an dieser Stelle aber nicht weiter behandelt werden.

3.3.2 Der thermische Komfort

Der Wärmehaushalt des Menschen

Der Wärmeaustausch zwischen dem menschlichen Körper und der Umgebung kann in zwei voneinander getrennte Vorgänge unterteilt werden. Einerseits in den Wärmestrom vom Körperkern zur Haut und andererseits in den Wärmestrom von der Haut zur Umgebung und umgekehrt. Der innere Wärmestrom vom Körperkern zur Haut erfolgt hauptsächlich auf konvektivem Wege durch das Blut. Der äussere Wärmestrom erfolgt hauptsächlich auf vier Wegen:

1) Wärmeleitung: Diese erfolgt vor allem durch direkten Kontakt zwischen der Haut und anderen Materialien.

2) Konvektion: Der Wärmeaustausch durch Konvektion ist immer auf ein Medium, im vorliegenden Fall auf die den Menschen umgebende Luft, angewiesen. Die Konvektion wird massgeblich beeinflusst durch die Temperaturverhältnisse sowie durch die Turbulenz der körpernahen Luftbewegungen.

3) Wärmestrahlung: Für den Menschen bedeutungsvoll ist die Temperaturdifferenz zwischen der Haut und den ihn umgebenden Umschliessungsflächen. Da im gemässigten Klima normalerweise die Gegenstände der Umgebung kälter sind als die Haut, gibt der Mensch täglich erhebliche Mengen an Wärme durch Wärmestrahlung ab. So empfindet man in der Nähe einer kalten Wand oder Fensterfront ein unbehagliches Kältegefühl, obwohl die Lufttemperatur hoch genug ist.

4) Verdunstung: Die Wärmeabgabe erfolgt durch Verdunstung des sekretierten Schweisses auf der Haut sowie durch das Ausatmen von erwärmter und befeuchteter Expirationsluft. Für die Quantität der Wärmeabgabe durch Verdunstung ist im wesentlichen die relative Feuchtigkeit der Umgebungsluft massgebend. Geringe Bedeutung haben die Luftbewegungen, welche die Schweissekretion durch die konvektive Abkühlung der Haut eher drosseln.

Die prozentualen Anteile der verschiedenen Möglichkeiten der Wärmeabgabe des ruhenden, leicht bekleideten Menschen betragen nach Grandjean (1973):

1/2)	durch Leitung und Konvektion:	25 - 30 %
3)	durch Wärmestrahlung:	40 - 60 %
4)	durch Verdunstung:	10 - 35 %

Die Bedeutung der Aktivität und der Bekleidung

Einen wesentlichen Einfluss auf den Wärmehaushalt und auf das thermische Empfinden des Einzelnen hat der Aktivitätsgrad sowie der thermische Isolationsgrad der Bekleidung.

Mit zunehmendem Aktivitätsgrad nimmt die gesamte an die Umgebung abgegebene metabolische Wärmeenergie zu. Gemäss dem Vorschlag von Gagge et al. (1941) entspricht ein Aktivitätspegel von 50 kcal pro m^2 Hautoberfläche und Stunde (58 W/m^2) der metabolischen Einheit von 1 met. Dies entspricht der metabolischen Wärmeentwicklung einer still sitzenden Person. Bei einer mittleren Körperoberfläche einer erwachsenen Person von ca. 1.8 m^2 entspricht dies einer Gesamtwärmeabgabe von 105 W pro Person.

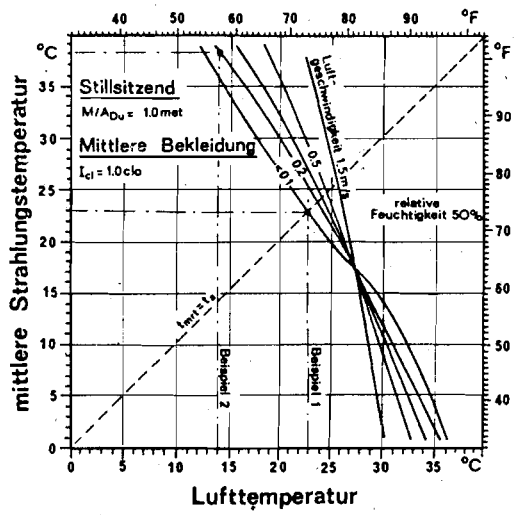
Als Einheit für die thermische Isolation der Bekleidung (clothing) definierten Gagge et al. (1941) den notwendigen Isolationsgrad der Bekleidung, welcher bei einer ruhig sitzenden Person bei 21°C, einer Luftgeschwindigkeit von 10 cm/s und einer relativen Luftfeuchtigkeit von weniger als 50 % thermisch komfortabel ist. Gagge et al. nannten diese Isolationseinheit 1 clo. 1 clo (z.B. Hauskleidung mit Hemd und leichtem Pullover) entspricht nach ISO 7730-1984 einem Wärmeleitwiderstand der Bekleidung von 0.16 m^2K/W.

Die Behaglichkeitsgleichung

Fanger (1970) fasste die damals von ihm als die wichtigsten Behaglichkeitsparameter erachteten Einflussgrössen in der bekannten Behaglichkeitsgleichung zusammen. Die Behaglichkeitsgleichung berücksichtigt folgende Parameter:

1. Aktivitätspegel
2. Wärmeleitwiderstand der Bekleidung
3. Lufttemperatur
4. Mittlere Strahlungstemperatur
5. Luftgeschwindigkeit (ohne Berücksichtigung der Turbulenz)
6. Luftfeuchtigkeit

Da die Behaglichkeitsgleichung sehr komplex und die Handhabung schwierig ist, hat Fanger für die Anwendung in der Praxis die Gleichung in 28 Diagrammen, welche verschiedene Variationen der verschiedenen Parameter berücksichtigen, dargestellt. Figur 3.7 zeigt ein solches Diagramm mit zwei Beispielen.



Beispiel 1 *In einem Büro sind die Angestellten mit normaler Bürokleidung (1 clo) bekleidet und gehen sitzender Beschäftigung nach (1 met). Relative Feuchtigkeit = 50%, relative Luftgeschwindigkeit < 0,1 m/s. Gesucht ist die optimale Lufttemperatur, wobei angenommen wird, daß die mittlere Strahlungstemperatur gleich der Lufttemperatur ist. Aus Abb. 1 ergibt sich* $t_a = t_{mrt} = 23{,}0°$ C.

Beispiel 2 *In einem Lagerhaus sollen eine Lufttemperatur von 14° C und eine relative Feuchtigkeit von 50% aufrechterhalten werden. Luftgeschwindigkeit = 0,2 m/s. Im Lagerhaus ist eine mit 1 clo bekleidete Person mit sitzender Tätigkeit beschäftigt. Man will der Person mit Hilfe eines über dem Arbeitsplatz angebrachten hochintensiven Infrarot-Strahlers Behaglichkeit vermitteln. Gesucht ist die erforderliche mittlere Strahlungstemperatur. Aus Abb. 1 ergibt sich* $t_{mrt} = 38°$ C.

Fig. 3.7: Behaglichkeitsdiagramm mit zwei Beispielen (nach Fanger 1974)

Die Behaglichkeitsgleichung, d.h. die daraus errechneten Behaglichkeitsdiagramme geben Kombinationen derjenigen Variablen an, bei denen der überwiegende Teil der Menschen thermische Behaglichkeit empfindet. Versuche von Fanger (Fanger 1970) ergaben, dass auch bei der optimalsten Kombination der verschiedenen Parameter mindestens 5 % der Personen sich thermisch nicht behaglich fühlten, wobei die Faktoren Alter, Geschlecht, nationale Unterschiede, jahres- und tageszeitliche Rhythmen und Adaption keinen wesentlichen Einfluss auf die thermischen Beurteilung des Raumklimas haben.

Seit der Veröffentlichung von Fangers Behaglichkeitsgleichung (1970), welche als Haupteinflussfaktoren für thermische Behaglichkeit die sechs oben aufgeführten Parameter berücksichtigt, wurden weitere die thermische Behaglichkeit beeinflussende Variablen gefunden. So beschreibt der Parameter der mittleren Stahlungstemperatur der Umschliessungsflächen die thermische Interaktion zwischen Mensch und Umgebung durch Wärmestrahlung nur ungenügend, ruft doch der durch eine kalte Fensterfront verursachte einseitige Wärmeentzug durch Abstrahlung ein thermisches Unbehagen hervor. Ferner war der Einfluss des Turbulenzgrades einer Luftströmung in Kombination zu ihrer Strömungsgeschwindigkeit und der Temperatur der Luft noch nicht als ein wichtiger Faktor erkannt.

Der Zusammenhang zwischen Luftgeschwindigkeit, Turbulenzgrad und Lufttemperatur

Fanger et al. (1988/3) haben mit Testpersonen Untersuchungen über die Wahrnehmung von thermischem Unbehagen bei verschiedenen Luftgeschwindigkeiten und verschiedenem Turbulenzgrad bei konstanter Temperatur durchgeführt. Die Resultate können wie folgt zusammengefasst werden: Periodisch schwankende Luftgeschwindigkeiten werden als unbehaglicher empfunden als konstante, nicht fluktuierende Luftgeschwindigkeiten. Das Maximum an Unbehagen wurde bei einer Fluktuationsfrequenz von 0.3 - 0.5 Hz gefunden. Nicht periodisch schwankende Luftgeschwindigkeiten, d.h. turbulente Luftströmungen, werden bei hohem Turbulenzgrad als unbehaglicher empfunden als Luftströmungen mit kleinerem Turbulenzgrad - dies bei gleicher mittlerer Luftgeschwindigkeit und gleicher Lufttemperatur.

Fanger schliesst aus der Studie, dass die heute geltenden internationalen und nationalen Normen betreffend thermischer Behaglichkeit (ISO 7730-1984, DIN 1946, ASHRAE 55-81) den neuen Erkenntnissen nicht mehr genügen und entsprechend angepasst werden sollten.

Aus den Ergebnissen seiner Studien mit turbulenten Luftströmungen hat Fanger ein, von ihm als semi-empirisch bezeichnetes, Luftzug-Risiko-Modell entwickelt. Der daraus abgeleitete PD-Wert (predicted percentage of dissatisfied caused by draught) entspricht der prozentualen, durch Luftzug hervorgerufenen Unzufriedenheit der Personen und kann via einer von Fanger aufgestellten Formel durch Messung bzw. Berechnung der Parameter mittlere Luftgeschwindigkeit, Lufttemperatur und Turbulenzgrad, errechnet werden.

Ein neues Labormessgerät zur Beurteilung des Raumklimas, welches die menschliche Haut bezüglich Wärmeabgabe und Oberflächentemperatur elektronisch in Sinn einer künstlichen Haut simuliert, wurde von Mayer (1989) entwickelt. Mit Hilfe einer Wärmebilanzgleichung für die Wärmeabgabe durch Wärmestrahlung und durch Konvektion errechnet das Gerät aus verschiedenen Messgrössen unter anderem die aequivalente Umgebungstemperatur und die Oberflächentemperatur der Haut.

3.3.3 Die Raumluftqualität

Gesundheitliche Gefährdungen durch Raumluftverunreinigungen

Für Innenräume in Wohn- und Bürobauten wurde das Thema Raumluftqualität und Lüftung vor allem seit Beginn der 70-er Jahre aktuell. Im Zuge des aufkommenden "Energiebewusstseins" wurden erhebliche Anstrengungen unternommen, um die Luftdurchlässigkeit der Gebäudehüllen soweit als möglich zu verringern und dadurch Wärmeverluste durch Aussenlufteintritt an Leckstellen zu verkleinern. Durch die erhöhte Dichtigkeit der Gebäudehülle und der dadurch verminderten Aussenluftinfiltration kann es zur Akkumulation von Luftverunreinigungen und Feuchtigkeit kommen.

Dass Luftverunreinigungen für den Menschen schädlich sein können, ist seit langem bekannt. Verschiedene Gesetzgebungen und Verordnungen regeln die Belastungen durch Schadstoffe am Arbeitsplatz (MAK-Werte der SUVA) und in der Aussenluft (Luftreinhalte-Verordnung). In der Schweiz gibt es aber keine gesetzlichen Regelungen und damit auch keine verbindlichen Grenzwerte, welche die Schadstoffkonzentrationen in Wohn- und Büroräumen limitieren. Lediglich für einige wenige Stoffe (z.B. Formaldehyd) hat das Bundesamt für Gesundheitswesen in der Giftliste 1 Empfehlungen herausgegeben.

Als generelles Prinzip bei der Festlegung der Anforderungen an die Luftqualität sollen präventive Aspekte massgebend sein. Vor allem mit Blick auf die Wohngebäude soll dieser Grundsatz für die gesamte Bevölkerung gelten. Diese Forderung steht im Gegensatz zu den MAK-Werten, welche lediglich für die "ganz stark überwiegende Zahl der gesunden, am Arbeitsplatz Beschäftigten", unter der Voraussetzung einer Expositionsdauer von 8 Stunden täglich und bis zu 42 Stunden wöchentlich, Geltung haben. Die als "Risikogruppen" zu betrachtenden Personengruppen der Betagten, Kleinkinder, Schwangeren, Kranken und Allergiker werden als Zielgruppe bei den MAK-Werten also nicht berücksichtigt. Genau diesen Gruppen soll aber bei der Festlegung der Luftqualitätskriterien besondere Beachtung zukommen. Ferner muss man davon ausgehen, dass sich Personen vor allem in Wohngebäuden bis zu 24 Stunden täglich in Innenräumen aufhalten.

Quellen von Verunreinigungen der Raumluft

Als mögliche Quellen von Verunreinigungen der Raumluft kommen die Aussenluft oder verschiedene Quellen im Raum selbst in Frage (vgl. Figur 3.8).

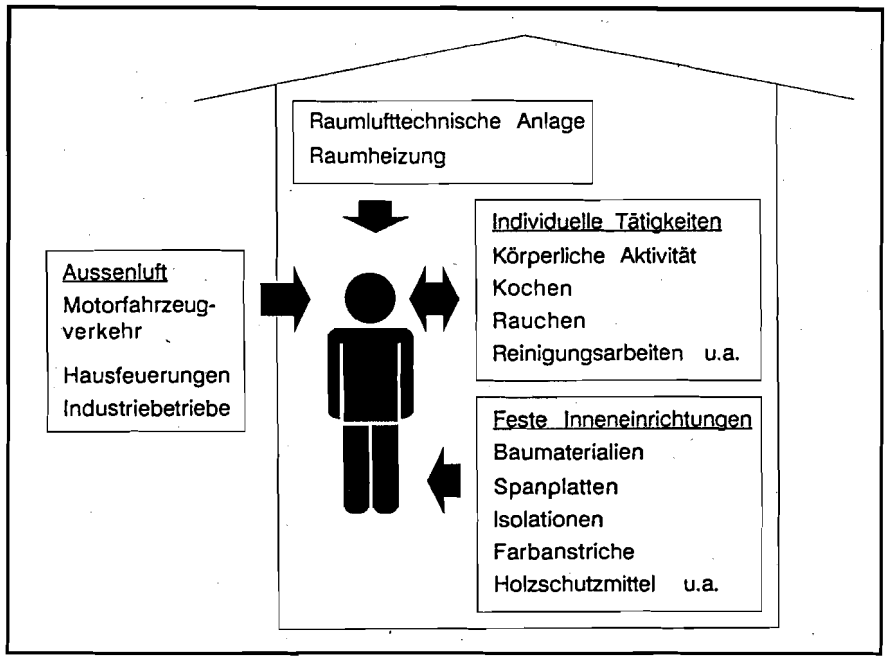


Fig. 3.8: Quellen von Verunreinigungen der Raumluft

Auf die verschiedenen Quellen der Verunreinigungen der Raumluft soll im folgenden näher eingegangen werden, wobei an dieser Stelle speziell hervorgehoben werden soll, dass Verunreinigungen der Raumluft wenn immer nur möglich durch Bekämpfung an der Quelle selber zu verhindern sind. Durch Lüftung sollten in erster Linie die durch den Menschen und seine individuellen Tätigkeiten verursachten Belastungen eliminiert werden.

Belastungen der Raumluft durch Verunreinigungen der Aussenluft

Vor allem in dicht besiedelten Gebieten können lokal grosse Mengen von Luftverunreinigungen emittiert werden, was unter Umständen zur Anreicherung solcher Stoffe auch in Innenräumen führen kann. Hauptquellen sind der Motorfahrzeugverkehr, Feuerungsanlagen sowie Industrie- und Gewerbebetriebe. Dazu kommen aus der Biosphäre die Pollen, welche vor allem für Allergiker von Bedeutung sind. Die wichtigsten aus diesen Quellen stammenden Luftfremdstoffe sind Schwefeldioxid, Stickoxid, Kohlendioxid und Kohlenmonoxid, Kohlenwasserstoffe, Partikel und Oxidantien wie Ozon. Im Zusammenhang mit raumlufttechnischen Anlagen sollte darauf geachtet werden, dass die Ansaugöffnungen der Aussenluftfassung nicht in der Nähe starker Emittenten wie stark befahrener Strassen, Parkplätzen, Gewerbe- und Industriebetrieben und Fortluft- oder Abgasemittenten installiert werden. Die Schadstoffreduktion durch die üblichen Filter- und Befeuchteranlagen beträgt rund 30 - 50 %. In Gebäuden mit Fensterlüftung sollten die Fenster je nach Verkehr und Wetterlage geöffnet werden.

Belastungen der Raumluft durch feste Inneneinrichtungen und Gebäudematerialien

Die Kontamination der Raumluft durch kontinuierliche Abgabe von Schadstoffen aus festen Inneneinrichtungen und Gebäudematerialien führen zu langandauernden (chronischen) Belastungen. Vor allem in neu erstellten Häusern mit zum Teil neuen Einrichtungsgegenständen treten, vor allem begünstigt durch erhöhte Temperaturen und Luftfeuchtigkeit, vermehrt flüchtige Substanzen aus den verwendeten Materialien in die Raumluft über. Die am häufigsten zu

Problemen führenden Schadstoffe sind Formaldehyd, Farbanstriche, Holzschutzmittel sowie Radon. Aufgrund der Tatsache, dass Schadstoffe über längere Zeiträume aus diesen Materialien in die Raumluft übertreten können und somit mit chronischen Belastungen zu rechnen ist, erscheint es - auch aus energetischen Gründen - nicht als sinnvoll, die Schadstoffe mittels einer erhöhten Lüftungsrate abzuführen. Vielmehr sollte auf die Verwendung von ökologisch und gesundheitlich unbedenklichen Materialien geachtet werden.

Belastungen der Raumluft durch raumlufttechnische Anlagen und Raumheizungen

Eine weitere Quelle von Luftfremdstoffen können die raumlufttechnischen (RLT-) Anlagen und die Raumheizungen sein. Besonders die der Luftbefeuchtung und Kühlung dienenden Teile und die Luftwäscher einer RLT-Anlage haben sich als Quelle von Geruchsstoffen sowie von pathogenen und apathogenen Luftkeimen erwiesen (Wanner 1983/2). Fanger hat bei seinen Untersuchungen mit den neuen von ihm postulierten Messeinheiten - olf und decipol (Fanger 1988/1) - für die subjektiv empfundene Raumluftqualität festgestellt, dass die raumlufttechnische Anlage ein wichtiger Emittent von Geruchsstoffen darstellt (Fanger et al. 1988/2). Nach Kröling (1985) und Wanner (1983/2) ist im Zusammenhang mit RLT-Anlagen die Infektionsgefahr durch pathogene Luftkeime gering. Wanner (1983/2) empfiehlt folgende prophylaktische Massnahmen: Die Luftbefeuchter, Kühlsysteme und Luftwäscher sind mindestens alle 2 bis 4 Wochen zu reinigen und zu desinfizieren. Die Zugabe von desinfizierenden Mitteln in das Befeuchter- resp. Waschwasser ist abzulehnen, da toxische Komponenten dieser Mittel, zum Beispiel Formaldehyd, in die Raumluft gelangen können. Zur Verminderung des Keimwachstums können Ultraviolettlampen verwendet werden.

Belastungen der Raumluft durch individuelle Tätigkeiten

Im Vordergrund stehen hier vor allem kurzzeitige Spitzenkonzentrationen von Raumluftverunreinigungen, deren Vorhandensein und deren stoffliche Zusammensetzung in erster Linie vom Verhalten der Raumbenutzer abhängig sind. Der Mensch belastet die Raumluft durch eine kontinuierliche Abgabe von Kohlendioxid, Ausdünstungen, Partikeln und Mikroorganismen sowie durch die Abgabe von Wärme und Feuchtigkeit. Quantität und Qualität dieser Verunreinigungen sind von der Belegung des Raumes und von der Aktivität der einzelnen Personen abhängig. Diese Verunreinigungen, welche sich nicht vermeiden lassen, so zum Beispiel auch Gerüche aus der Küche, Stickoxide in Räumen mit Gasherden und Feuchtigkeit, welche durch individuelle Tätigkeiten wie Waschen, resp. Wäschetrocknen, Kochen, Duschen oder auch von Pflanzen verdunstet wird, sind durch gezieltes Lüften abzuführen. Ebenfalls durch eine ausreichende Lüftung muss einer zu hohen Luftfeuchtigkeit in Neubauten begegnet werden.

Die Raumluftqualität in Gebäuden ohne RLT-Anlagen ist neben den individuellen Tätigkeiten auch vom individuellen Lüftungsverhalten der Raumbenützer abhängig. Dieses Verhalten wurde in der IEA-Studie Annex VIII (Inhabitants behaviour with respect to ventilation, 1987) untersucht. Es wurde festgestellt, dass in gut isolierten Häusern das Lüftungsverhalten einen wesentlichen Einfluss auf den Heizenergieverbrauch hat. Das Lüftungsverhalten der Bewohner ist unter anderem stark vom Wetter abhängig. Bei kalter Aussentemperatur und/oder ungünstigen Windverhältlissen wird eher weniger gelüftet. Wesentlich ist ebenfalls die Beziehung zwischen der bevorzugten Raumlufttemperatur und der Aussenlufttemperatur. Die am intensivsten und am längsten gelüfteten Räume sind die Schlafräume, im Gegensatz zu den Wohnräumen, welche am schlechtesten gelüftet werden. Das Lüftungsverhalten ist also abhängig von der Nutzungsart des Raumes und dem Raumtyp. Die Höhe der Aussenluftinfiltration und das Volumen der Wohnung hingegen scheinen keinen Einfluss auf das Lüftungsverhalten der Bewohner zu haben.

Indikatoren für die Beurteilung der Raumluftqualität

Es gibt verschiedene Möglichkeiten, die Raumluftqualität zu messen. Für die Messung der durch die Aussenluft und durch die Gebäudehülle und Inneneinrichtungen verursachten Luftverunreinigungen müssen spezielle, der jeweiligen Situation angepasste Messeinrichtungen verwendet werden.

Für die Beurteilung der durch den Menschen verursachten Belastungen der Raumluft können verschiedene Parameter herangezogen werden. Ist der Mensch die einzige Quelle der Verunreinigungen, so kann der Kohlendioxidgehalt als Indikator für die Beurteilung der Raumluftqualität dienen. Verschiedene Untersuchungen (Huber 1982, Fecker 1987) haben gezeigt, dass zwischen dem Kohlendioxidgehalt der Raumluft und der Beurteilung der Luftqualität durch Rauminsassen und durch Personen, welche in den Raum treten und deren Geruchssinn noch nicht an den vorhandenen Geruch adaptiert ist ("Besucher"), ein enger Zusammenhang besteht. Je höher der Kohlendioxidgehalt der Raumluft, desto schlechter wird die Raumluftqualität beurteilt. Akzeptiert man einen Prozentsatz von 20 % unzufriedener Besucher, so sollte der Kohlendioxidgehalt der Raumluft nicht höher als 0.1 % (Aussenluftgehalt: 0.035 %) liegen, und für denselben Prozentsatz unzufriedener Rauminsassen nicht höher als 0.15 %.

Als Leitkomponente zur Beurteilung der Raumluftqualität in Raucherräumen kann der Kohlenmonoxidgehalt verwendet werden. Untersuchungen (Weber et al. 1979) haben ergeben, dass mit steigender Tabakrauchkonzentration und damit steigendem Kohlenmonoxidgehalt in der Raumluft bei Nichtrauchern der Belästigungsgrad und Reizungen der Augen ebenfalls zunehmen. Bei Kindern treten vermehrt Erkrankungen der Atemorgane auf. Ferner bestehen erhöhte gesundheitliche Gefährdungen bei Personen mit Asthma sowie bei Personen mit Herz- und Kreislaufkrankheiten.

Für die Beurteilung der Raumluftqualität wäre es von Vorteil, wenn Gerüche und deren Quellen quantitativ erfasst werden könnten. Huber (1982) und Fecker (1987) haben entsprechende Möglichkeiten aufgezeigt. Mit Hilfe von Testpersonen und Referenzgerüchen kann das in einem Raum vorhandene Geruchsniveau festgestellt werden. Fanger et al. (1988/1, 1988/2) haben für die von Testpersonen empfundene Luftverschmutzung zwei neue Masseinheiten - olf (Mass für die Emissionsrate der Luftverschmutzung) und decipol (Mass für die Luftverschmutzung) - definiert. Darauf aufbauend hat Fanger (1988/4) eine Behaglichkeitsgleichung für Raumluftqualität und Lüftung postuliert. Wie Versuche am Institut für Hygiene und Arbeitsphysiologie der ETH Zürich (1989, unveröffentlicht) gezeigt haben, scheinen Fangers Vorschläge vielversprechende neue Ansätze zu sein.

3.3.4 Empfehlungen für die Gestaltung des Raumklimas

Raumlufttemperatur, Raumtemperatur und Luftbewegungen

An dieser Stelle soll zuerst eine in der ISO-Norm 7730-1984 verwendete Einheit erklärt werden, welche schon verschiedentlich zu Verwirrung Anlass gegeben hat. Es handelt sich dabei um den Begriff "operative temperature", welcher als die "wirkende Temperatur" oder "Wirktemperatur" übersetzt und als "Umgebungstemperatur" bezeichnet werden kann. Gemeint ist damit die einheitliche Strahlungstemperatur einer schwarzen Umschliessungsfläche, mit welcher eine Person durch Wärmestrahlung und Konvektion die gleiche Wärmemenge austauschen würde wie mit der reellen nicht-einheitlichen Umgebung. Die "operative temperature" kann nach ISO 7730-1984 berechnet werden (Figur 3.9).

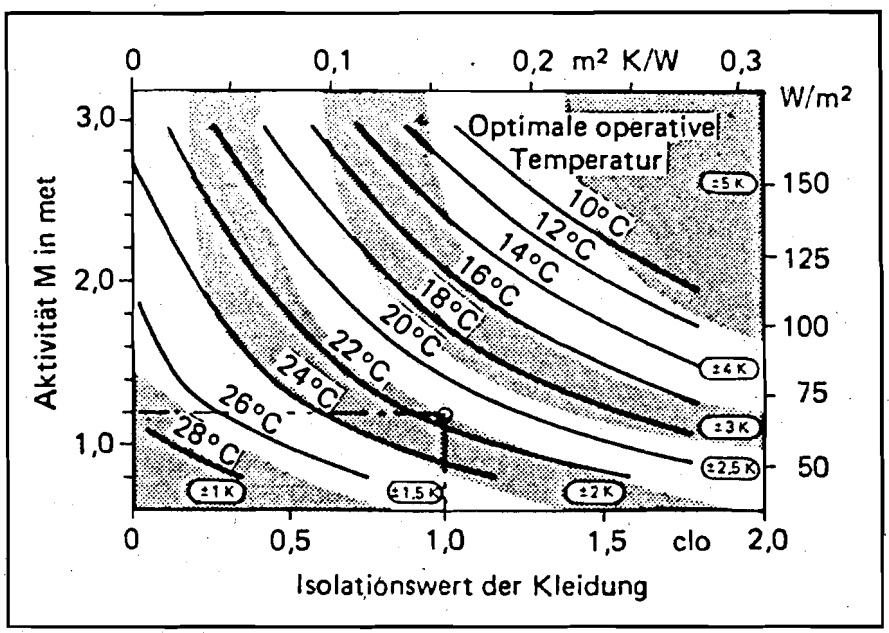


Fig. 9: Optimale operative Temperatur für PMV = 0 abhängig von Aktivität und Kleidung (nach ISO 7730), Luftfeuchte 50 %
Ausgezogene Linien PMV = 0, d.h. 5 % unzufrieden
Schraffierter Bereich = ± 0,5, d.h. 10 % unzufrieden

Da in den für die Schweiz relevanten Normen Unterschiede bezüglich der empfohlenen Werte existieren, werden im folgenden für die Luft- und Raumtemperatur sowie für die mittleren Luftgeschwindigkeiten die in der ISO-Norm 7730-1984, in der SIA V 382/1-1989 und in der SIA 180-1988 gemachten Empfehlungen aufgeführt. Dabei wird unterschieden zwischen Winterbedingungen (Figur 3.10) und zwischen Sommerbedingungen (Figur 3.11).

Parameter	**ISO 7730-1984**	**SIA V 382/1-1989**	**SIA 180-1988**
Umgebungstemperatur	20 - 24° C	kein Kaltluftabfall bei Fenstern Lufttemperatur: 19 - 24° C	19 - 24° C
Vertikale Lufttemperaturdifferenz (0.1 m - 1.1 m ü. Boden)	< 3° C	keine Empfehlung	< 3° C
Oberflächentemperatur des Bodens	19 - 26° C mit Bodenheizung: bis 29° C	keine Empfehlung	19 - 26° C
Mittlere Luftgeschwindigkeit	< 0.15 m/s	Tu = 0.3 - 0.6 $v_{50\%}$ < 0.12 m/s	< 0.15 m/s
Strahlungstemperatur-Asymmetrie	Bezügl. einer kleinen vertikalen Fläche 0.6 m über dem Boden: < 10° C Bezügl. einer kleinen horizontalen Fläche 0.6 m über dem Boden: < 5° C	keine Empfehlung	keine Empfehlung

Fig. 3.10: Empfohlene Werte für leichte sitzende Tätigkeit (1.2 met) unter Winterbedingungen (Heizperiode)

Parameter	ISO 7730-1984	SIA V 382/1-1989	SIA 180-1988
Umgebungstemperatur	23 - 26° C	mittlere Oberflächen-temperatur: 20 - 30° C Lufttemperatur: 22 - 28° C	19 - 24° C
Vertikale Lufttemperaturdifferenz (0.1 m - 1.1 m ü. Boden)	< 3° C	keine Empfehlung	< 3° C
Mittlere Luftgeschwindigkeit	< 0.25 m/s $v_{50\%}$ < 0.15 m/s	Tu = 0.3 - 0.6	< 0.25 m/s
Strahlungstemperatur-Asymmetrie (Obwohl in der ISO 7730 nur für Winterbedingungen angegeben, gelten nach Olsen (1986) die Werte allgemein)	Bezügl. einer kleinen vertikalen Fläche 0.6 m über dem Boden: < 10° C Bezügl. einer kleinen horizontalen Fläche 0.6 m über dem Boden: < 5° C	keine Empfehlung	keine Empfehlung

Fig.3.11: Empfohlene Werte für leichte sitzende Tätigkeit (1.2 met) unter Sommerbedingungen (Kühlperiode)

Wie bereits erwähnt, wird in den Normen der Bedeutung des Turbulenzgrades der Luftströmung noch zuwenig Rechnung getragen. Folgende zwei Diagramme (Figur 3.12) zeigen den Zusammenhang zwischen Lufttemperatur, mittlerer Luftgeschwindigkeit und Turbulenzgrad für 10 % resp. 20 % bezüglich Zugserscheinungen unzufriedener Personen (berechnet aus Fangers "Luftzug-Risiko-Modell", Fanger et al. 1988/3).

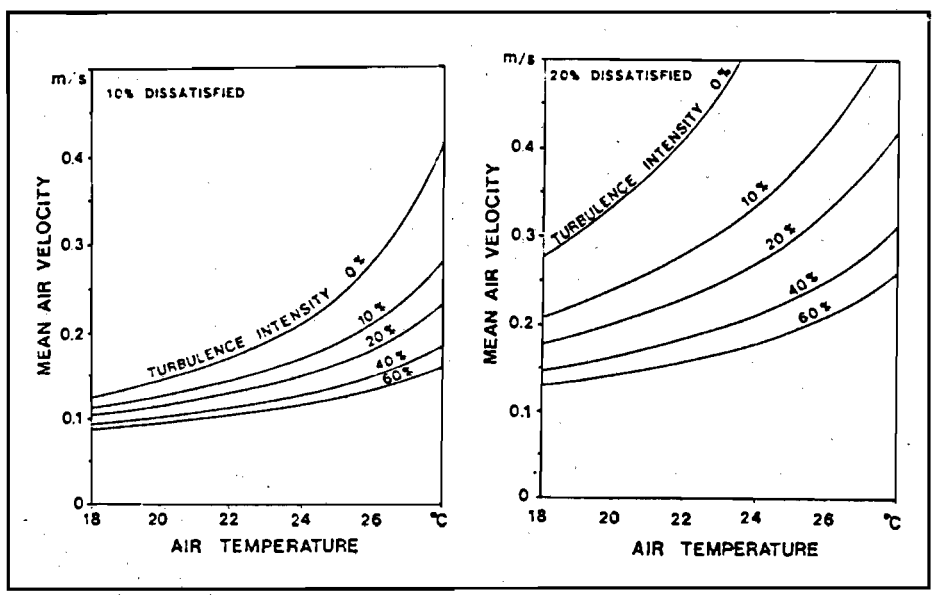


Fig. 3.12: Kombinationen der mittleren Luftgeschwindigkeit, Lufttemperatur und Turbulenzgrad, welche 10 % resp. 20 % unzufriedene Personen hervorrufen wird (Fanger et al. 1988/3).

Luftfeuchtigkeit

Um den Komfortansprüchen zu genügen, ist ein minimaler Wassergehalt in der Luft notwendig. Nach SIA V382/1 sollte die relative Luftfeuchtigkeit zwischen 30 % (Winter) und max. 70 % (Sommer) liegen. Kurzzeitige Unterschreitungen einer relativen Luftfeuchtigkeit von 30 % sind physiologisch unbedenklich. Bei der Verwendung von Luftbefeuchtern ist darauf zu achten, dass die Befeuchtergeräte regelmässig gereinigt werden. Verdunster- und Verdampfergeräte sind zu bevorzugen, da Zerstäubergeräte zu einer mikrobiellen Kontamination der Luft führen können. Es ist zu beachten, dass bei relativen Luftfeuchten über 60 % das Wachstum von Schimmelpilzen möglich und damit durch Sporen auftretende Allergien nicht auszuschliessen sind. Ferner ist der gemachten Erfahrung Rechnung zu tragen, dass viele Klagen wegen zu trockener Luft in Räumen ohne Befeuchtung zum Teil auf zu hohe Temperaturen und/oder einen zu hohen Staubgehalt zurückgeführt werden können (SIA V 382/1).

Raumluftqualität und Lüftung

Für die durch die Gebäudehülle und Inneneinrichtungen verursachten Luftverunreinigungen werden keine Empfehlungen für die Lüftung gegeben, da die Elimination von aus Materialien emittierten störenden Geruchsstoffen oder Noxen an der Quelle (Quellenbekämpfung) stattfinden soll. In Gebäuden mit Fensterlüftung sollte das Öffnen der Fenster auf die wahrgenommene Luftqualität, den Verkehr und die Wetterlage abgestimmt werden. Eine Durchzugslüftung von 3-5 Minuten ist am wirksamsten. Für RLT-Anlagen können für die vom Menschen und seinen Tätigkeiten verursachten Luftverunreinigungen folgende Lüftungsraten empfohlen werden:

Feuchtigkeit:
Ist eine Begrenzung der Emission von Wasser in die Raumluft nicht möglich, so ist eine minimale Aussenluftzufuhr notwendig. Ist der Mensch die einzige Quelle, so dürften - je nach Region und Jahreszeit - 10-20 $m^3h^{-1}Pers^{-1}$ genügen (Schlatter und Wanner 1988). Die Emissionen aus weiteren Feuchtigkeitsquellen sollen durch eine zusätzliche Lüftung abgeführt werden.

Kohlendioxid und Körpergerüche:
Die für die Elimination von Kohlendioxid und Körpergerüchen notwendigen minimalen Aussenluftraten richten sich nach dem akzeptierten Prozentsatz mit der Luftqualität unzufriedener Personen. Nimmt man einen Kohlendioxidgehalt von 0.1% als Richtgrösse, so ist eine minimale Aussenluftzufuhr von 25-30 $m^3h^{-1}Pers^{-1}$ notwendig; für einen Kohlendioxidgehalt von 0.15% eine solche von 12-15 $m^3h^{-1}Pers^{-1}$.

Tabakrauch:
Will man in Räumen, in denen geraucht wird, akute Reizwirkungen bei gesunden Personen verhindern, so sollte eine minimale Aussenluftzufuhr von 30-40 $m^3h^{-1}Pers^{-1}$ nicht unterschritten werden. Will man jedoch Belästigungen durch Tabakrauch vermeiden, so sollte die minimale Aussenluftzufuhr 60-70 $m^3h^{-1}Pers^{-1}$ betragen (Empfehlungen aus: IEA 1987, Schlatter 1988, SIA 1989).

3.3.5 Abschliessende Bemerkungen

Die Ursachen für Befindensstörungen in Gebäuden sind sehr vielfältig und in ihren Einzelheiten noch wenig untersucht. In den letzten Jahren vermehren sich die Anzeichen dafür, dass die Beschwerden eng an das Vorhandensein raumlufttechnischer Anlagen gekoppelt sind, welche infolge der Energiesparanstrengungen immer häufiger zum Einsatz kommen. Die wissenschaftlichen Erkenntnisse über die Komponenten des Raumklimas und dessen Empfinden durch den Menschen hinken jedoch hinter dieser Entwicklung nach (z.B. Elektroklima, niederfrequenter Schall). Bezüglich Behaglichkeit und Wohlbefinden bestehen allerdings noch etliche Wissenslücken. Erst in jüngster Zeit vermochte die Forschung, für die Lüftungsindustrie neue Impulse zu geben (z.B. minimale Lüftungsraten).

3.4 Neue Begriffe

Die Hauptaufgabe der Lüftung in bezug auf die Benützer ist, alte, verbrauchte Luft sowie Schadstoffe aus der Aufenthaltszone zu entfernen und durch frische, unverbrauchte Luft zu ersetzen. Bislang war es zum Teil üblich, den auf den ganzen Raum bezogenen stündlichen Luftwechsel als Mass für die Wirksamkeit der Lüftung zu betrachten. Der stündliche Luftwechsel gibt jedoch nur ungenügend Auskunft über die Luftqualität in der Aufenthaltszone, da man implizit von der Annahme ausgeht, dass im ganzen Raum eine gleichmässige Durchmischung von Luft und Schadstoffen herrscht. In jüngster Zeit hat sich - angeregt durch verschiedene Arbeiten in Skandinavien - eine differenzierte Betrachtungsweise entwickelt, welche die Art der Raumdurchströmung in den Vordergrund stellt. Für die Verdrängungsströmung (vgl. Abschnitt 2.3) ist die Aufteilung des Raumes in eine "Aufenthaltszone" und ein "kontaminierte Zone" eine Notwendigkeit. Gleichzeitig wurden neue Kennzahlen zur Beurteilung des Gütegrades der Lüftung eingeführt.

3.4.1 Zwei-Zonenmodell

Das im Zusammenhang mit dem Aufkommen neuartiger Lüftungssysteme (Verdrängungsprinzip) entwickelte Zonierungskonzept eignet sich sowohl zur Charakterisierung der Wirkung der Raumdurchströmung auf die Luftqualität, als auch zur Berechnung der effektiv abzuführenden thermischen Lasten in der Aufenthaltszone.

Gemäss Figur 3.13 erzeugt jeder Körper mit einer Temperatur, welche von jener der ihn umgebenden Luft abweicht, Konvektionsströmungen. Ein aufsteigender Warmluftstrom, welcher z.B. durch eine Person verursacht wird, zieht frische Luft aus dem unteren Bereich des Raumes nach und transportiert diese in den oberen Bereich. Emittieren die Wärmequellen auch Schadstoffe, so werden diese mittransportiert. Für Systeme, bei denen sich die Zuluftauslässe im unteren und die Fortlufteinlässe im oberen Bereich des Raumes befinden, entsteht eine eindimensionale Raumdurchströmung.

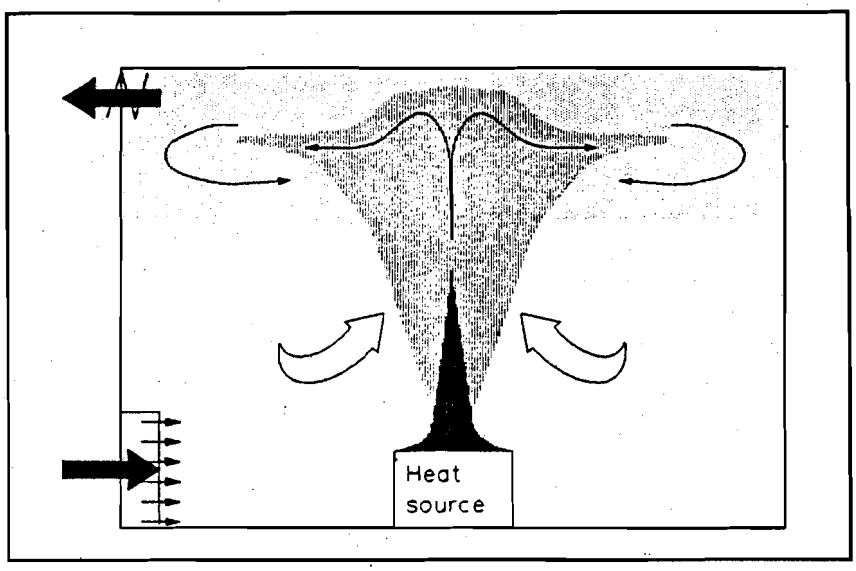


Fig. 3.13: Zwei-Zonenmodell nach H. Mathisen (1989) für Luftschadstoffe

Wenn der Zuluftvolumen- und Abluftstrom geringer wird als der Auftriebsvolumenstrom, wird ein Teil der kontaminierten Luft im oberen Bereich der Auftriebsströmung beigemischt (Rezirkulation), so dass eine obere, kontaminierte Zone entsteht. Es ist nun Aufgabe der Lüftungsplaner, die Auftriebsströmungen möglichst exakt zu ermitteln, damit die Zuluftmenge so ausgelegt werden kann, dass der Rücktransport von Schadstoffen in die Aufenthaltszone minimal wird, d.h. die Zonengrenze darf nicht zu weit absinken. Im positiven Fall ergibt sich eine gute Schichtung der Luft bezüglich Frischluftgehalt.

Wie Figur 3.14 zeigt, lässt sich das Zwei-Zonenmodell auch zur Ermittlung der thermischen Lasten anwenden, welche durch das Lüftungssystem abgeführt werden sollen. Im Vergleich zu einer reinen Mischluftströmung erkennt man bei der Verdrängungsströmung anhand des Zwei-Zonenmodells folgende Vorteile: Es genügen nicht nur kleinere Luftmengen, um die benötigte Frischluftmenge zu den Rauminsassen in der Aufenthaltszone zu bringen, auch die Zulufttemperatur kann im Kühlfall höher sein, um gleiche thermische Lasten abzuführen. (Ein Teil der durch die künstliche Beleuchtung verursachten Lasten fällt zudem im oberen Bereich an und muss auch bei Mischlüftung nicht berücksichtigt werden.) Zum energetischen Nutzen, insbesondere auch in Verbindung mit einer Kühldecke, sind noch nicht alle Fragen geklärt.

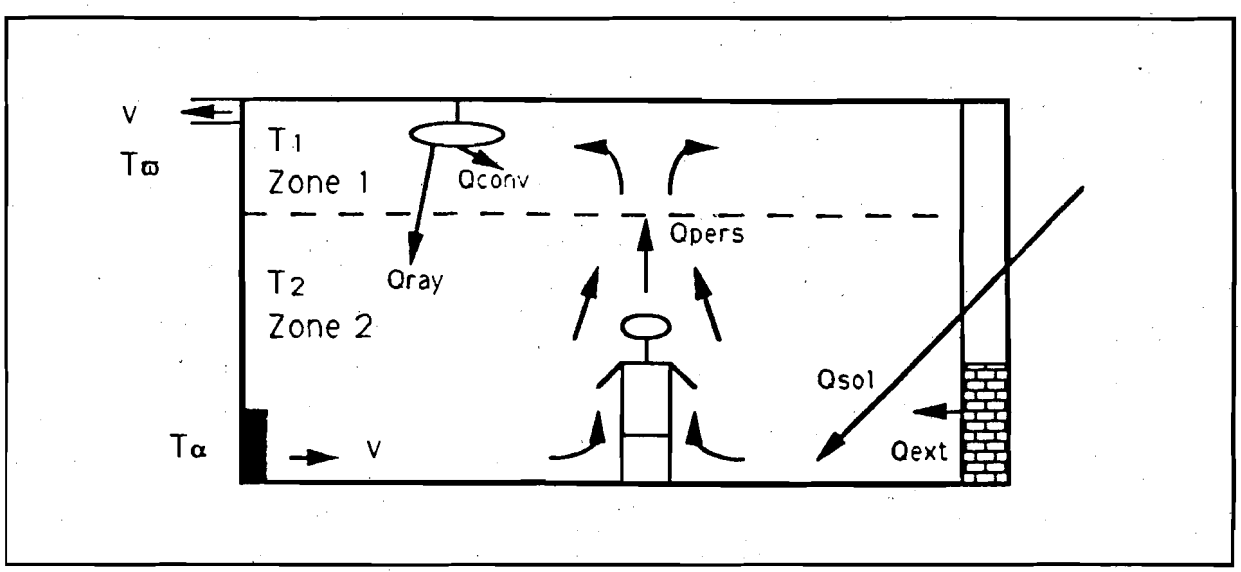


Fig. 3.14 Zonierungsmodell zur Ermittlung der thermischen Lasten

3.4.2 Gütegrad der Lüftung

Die Wirksamkeit der Lüfung - unabhängig davon, ob diese nach dem Verdrängungsprinzip oder dem Verdünnungsprinzip erfolgt - wird gemessen an ihrer Fähigkeit:

a) alte Raumluft in der Aufenthaltszone durch frische Aussenluft zu ersetzen
b) Schadstoffe aus der Aufenthaltszone abzuführen

Die Gütegrade für den Austausch der Luft und die Schadstoffabfuhr hängen im wesentlichen von der Verweilzeit der Luft und der Schadstoffe im Raum ab.

Austausch der Luft

Ausgehend vom Konzept vom "Alter" der Luft lassen sich verschiedene Kenngrössen zur Charakterisierung des Austausches der Luft ableiten. In Figur 3.15 sind für einen beliebig gewählten Punkt P im Raum das Alter τ_p, eines Luftmoleküls angegeben, d.h. die Zeitspanne die vom Moment des Verlassens des Zuluftauslasses bis zum Erreichen des Punktes P verstreicht. Auf analoge Weise ist die Verweilzeit τ_{rp} die Zeitspanne, die ein Luftmolekül vom Zuluftauslass über den Punkt P zum Fortlufteinlass braucht.

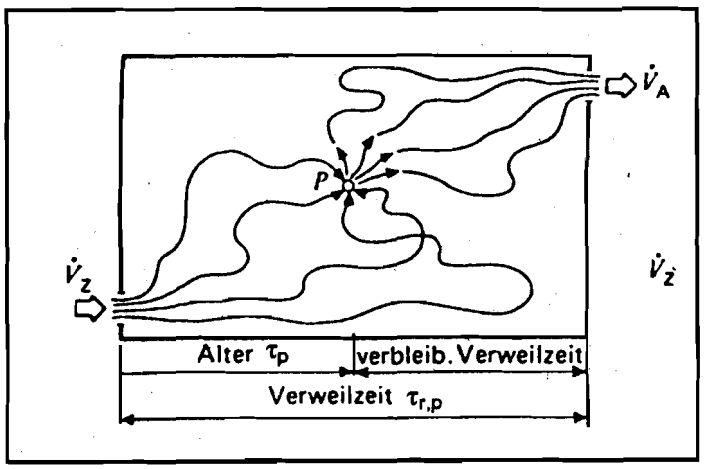


Fig. 3.15 Strompfade der Luft zu einem Raumpunkt P (nach Sandberg) und Darstellung von durchschnittlichem "Alter" und Verweilzeit der Luft.
$\dot{V}_Z$ = Zuluftvolumenstrom / $\dot{V}_A$ = Abluftvolumenstrom

Die Verweilzeit ist also abhängig von der Lage des Punktes P im Raum und vom Strömungsmuster der Luft im Raum. Geht man nun zu einer Betrachtung aller Punkte P und aller Moleküle im Raum über, so spricht man von der *durchschnittlichen Verweilzeit* $\bar{\tau}_r$ aller Moleküle im Raum (air change time) und dem *Durchschnittsalter der Raumluft* $<\bar{\tau}>$ (room mean age of air).

1985 gelang es Skåret herzuleiten, dass die durchschnittliche Verweilzeit aller Moleküle im Raum gleich doppelt so gross ist wie das Durchschnittsalter der Raumluft.

$$\bar{\tau}_r = 2<\bar{\tau}>$$

Der Balken über dem τ steht für die zeitliche Mitteilung, das Symbol < > für die Mittelwertbildung über den Raum.

Von Bedeutung ist für die folgenden Betrachtungen die *nominale Zeitkonstante* τ_n, welche die kürzest mögliche durchschnittliche Verweilzeit ist.

nominale Zeitkonstante $$\tau_n = \frac{V}{\dot{V}} = \frac{1}{n}$$

$\dot{V}$ = Luftvolumenstrom
V = Raumvolumen
n = Luftwechselzahl

Die Grösse, die den Gütegrad des Luftaustausches definiert, ist der *Luftaustauschwirkungsgrad* η_a (air change efficiency). Sie ist das Verhältnis der kürzest möglichen zur tatsächlichen durchschnittlichen Verweilzeit.

Luftaustauschwirkungsgrad $$\eta_a = \frac{\tau_n}{\bar{\tau}_r} = \frac{\tau_n}{2<\bar{\tau}>}$$

Wendet man diese Begriffe auf die beiden grundsätzlichen Raumströmungsarten "Verdrängungsströmung" und "vollständige Durchmischung" an, so ergibt sich folgendes Bild:

Austausch der Luft	Verdrängungsströmung (ideal)	vollständige Durchmischung
durchschnittliche Verweilzeit $\bar{\tau}_r$	$\bar{\tau}_r = \tau_n$	$\bar{\tau}_r = 2 \cdot \tau_n$
Luftaustauschwirkungsgrad η_a	$\eta_a = 1$	$\eta_a = 0{,}5$

Bei Kurzschlussströmung wäre $\bar{\tau}_r > 2 \cdot \tau_n$ und $0{,}5 > \eta_a > 0$.

Schadstoffabfuhr

Für die Beschreibung der Schadstoffabfuhr sind weitere Kennwerte erforderlich. Die *Umsatzzeit* $\bar{\tau}_t$ (turnover time) definiert die mittlere Zeit, die Schadstoffmoleküle von der Quelle bis zum Fortluftkanal benötigen.

Umsatzzeit $$\bar{\tau}_t = \frac{M}{\dot{m}}$$

M = Menge eines Schadstoffes im Raum

In der Literatur wird leider nicht immer streng zwischen den Begriffen "Wirkungsgrad" und "Wirksamkeit" - in Englisch "efficiency" and "effectiveness" - unterschieden. Auch werden die Symbole η und ε nicht immer richtig zugeordnet. In dieser Arbeit gehen wir auf Skaret und Mathisen (1985) zurück und bezeichnen Wirkungsgrade mit η und Wirksamkeiten mit ε. Während Wirkungsgrade η nur Werte im Bereich zwischen 0 und 1 annehmen können, kann die Wirksamkeit ε Werte grösser als 1 annehmen. Hiermit lehnen wir uns an die neuste Ausgabe (1990/91) von Recknagel/Sprenger/Hönmann an. (R. Ernst, Wörterbuch der Industriellen Technik, Verlag Brandstetter: Wirkungsgrad ≡ efficiency; Wirksamkeit ≡ effectiveness).

Die *Lüftungswirksamkeit* ε_v (ventilation effectiveness) kann ausgedrückt werden als das Verhältnis der kürzest möglichen Verweilzeit der Luft (nominale Zeitkonstante) zur durchschnittlichen Verweilzeit des Schadstoffes im Raum (Umsatzzeit).

Lüftungswirksamkeit $\varepsilon_v = \frac{\tau_n}{\bar{\tau}_t}$

Schadstoffabfuhr	Verdrängungsströmung (ideal)	vollständige Durchmischung
Lüftungswirksamkeit ε_v	$\varepsilon_v > 1$	$\varepsilon_v = 1$
Lüftungswirkungsgrad [1] η_v	$\eta_v > 0{,}5$	$\eta_v = 0{,}5$

[1] Recknagel-Sprenger-Hönmann definieren auch einen Lüftungswirkungsgrad:
$\eta_v = \varepsilon_v / (1 + \varepsilon_v)$

4. Heutige Situation der Lüftungsbranche

4.1 Umfrage bei Lüftungsexperten

Mittels Befragung von Lüftungsexperten (Opinion leaders) sollte ein Bild über die Einstellung der HLK-Planer zum Fragenkomplex

- Vergangene und zukünftige Entwicklung von Lüftungssystemen
- Probleme bei der Systemwahl
- Zunahme der Dichtheit der Gebäudehülle und deren Folge für einen ausreichenden Luftwechsel
- Wie werden erhöhte Anforderungen an Komfort und Hygiene berücksichtigt
- Aufkommen neuer Produkte auf dem Markt

gewonnen werden. Ein umfangreicher Fragebogen wurde 15 Personen aus folgenden Tätigkeitsgebieten zugestellt:

- System- und Komponentenhersteller (3)
- HLK-Planer (6)
- Unternehmer und Installateure (5)
- Forschung (1)

In einem ca. zweistündigen Gespräch erhielten die befragten Personen die Gelegenheit, ihre Antworten zum Fragebogen zu erläutern. Das Ergebnis der Befragung wird in den folgenden Abschnitten zusammengefasst.

4.2 Vergangene und zukünftige Entwicklung von Lüftungssystemen

4.2.1 Vergangene, rückläufige Systeme

Gemäss der Lüftungsexpertenbefragung wurden folgende Lüftungssysteme als praktisch verschwunden oder stark rückläufig aufgeführt:

- nur Belüftung
- nur Entlüftung (ausser WC/Bäder von Wohnbauten)
- Zweikanal- und Multizonensysteme
- Luft-Wassersysteme mit Induktionsgeräten
- Luft-Wassersysteme mit Brüstungsgeräten

Die Gründe für die seit ca. 1974-78 rückläufige Entwicklung dieser Systeme sind oft praktisch dieselben. So haben vor allem der unkontrolliert hohe Energieverbrauch und schlechte Komfort zum Rückgang von nur Be- oder Entlüftung geführt. Ebenfalls der Energieverbrauch, im speziellen das Bereitstellen von Wärme und Kälte zur selben Zeit, war der Grund der Abnahme von Zweikanal- und Multizonensystemen.

Bei den Luft-Wasser-Systemen wurde in der Umfrage vor allem auf den schlechten Komfort (Zugserscheinungen und Lärm) sowie den relativ hohen Elektro- und Wärmeenergieverbrauch hingewiesen. Auch hat die Entwicklung in der Bautechnik und Architektur sowie der Wunsch nach Vermeidung von Unterhaltsarbeiten in den Aufenthaltszonen diese Luft-Wassersysteme verdrängt.

Der Einsatz von Be- und Entlüftungsanlagen (Zuluft mit Fortluft) ist für Anwendungen mit einfacheren Anforderungen eher konstant geblieben.

Warum die oben erwähnten rückläufigen Systeme trotzdem Anwendung fanden (partiell werden sie heute noch eingesetzt), wurde wie folgt beantwortet:

- Sie entsprachen dem damaligen Trend, Energiesparen war noch kein Thema und teilweise waren keine besseren Kenntnisse vorhanden.
- Diese Systeme können relativ kostengünstig gebaut werden (Induktion, Brüstung, Multizonen) und gewähren eine gute Flexibilität für Umdispositionen der Büroräume.
- Eine individuelle Zonen-/Raumregulierung ist leicht möglich.
- Es war kein Zwang und Mut für "Besseres" vorhanden.

4.2.2 Modernere Systeme

Mehrheitlich aufgeführt wurde das Aufkommen verschiedener Arten variabler Luftvolumenstromregulierung (VAV). Vereinzelt sind solche Anlagen in der Schweiz schon vor 1974 gebaut worden. Als Hauptbegründung wurde die gute Anpassungsfähigkeit der Luftmengen an die variablen Kühllasten aufgeführt, mit den daraus resultierenden Vorteilen von kleineren Lüftungszentralen und geringerem Energieverbrauch (gegenüber den Konstantvolumen-Systemen). Der eigentliche Durchbruch der VAV-Systeme erfolgte jedoch erst vor ca. zehn Jahren, weil die Qualität der VAV-Komponenten (Regelung, Auslässe, Geschwindigkeits-, Druckfühler, etc.) deutlich verbessert wurde.

Es sind auch Systeme auf dem Markt, welche bezüglich Funktion und Energieeinsatz gute Eigenschaften aufweisen und trotzdem keine breite Anwendung finden.

- Einerseits wurden fabrikatgebundene Systeme wie Moduline, Save-Waterloo, Versatemp- und Rayonair erwähnt, welche, falls gut geplant und ausgeführt, in bezug auf Funktion und Energieverbrauch Vorteile haben. Ein klarer Erfolg blieb aus, anscheinend wegen dem Fehlen vergleichbarer Konkurrenzprodukte (gebunden an Fabrikat = kein Preiswettbewerb) und aufgrund von teilweise hohen Investitionskosten.
- Andererseits wurden Systeme wie "3-Kanal" und "3-Rohr Induktion" genannt, welche jedoch bezüglich Planung, Energieoptimierung sowie Ausführung und Betrieb zu hohe technische Anforderungen stellten. Daher funktionieren viele davon nicht optimal.

Wärmerückgewinnung (WRG) zwischen Fortluft und Aussenluft wird seit ungefähr 1976 angewendet, was zum Teil auf das erhöhte Energiebewusstsein zurückzuführen ist. Seit Inkraftsetzung verschiedener kantonaler Energiegesetze wird diese Form von WRG praktisch bei allen lufttechnischen Anlagen eingesetzt.

4.2.3 Erkenntnisse, Tendenzen und Problematik

Als Erkenntnisse, die aufgrund von Entwicklungen der letzten zehn Jahre die Lufttechnik wesentlich beeinflussten, wurden hauptsächlich folgende Aspekte festgehalten:

- Die Notwendigkeit, Energie- und Betriebskosten zu reduzieren.
- Anpassen an Architektur und Bauphysik, bessere Wärmedämmungen und Sonnenschutz, Einbezug der Gebäudemasse für Energiespeicherung.
- Die stetigen Verbesserungen von Funktion und Qualität von Komponenten wie Luftauslässe, WRG-Apparate, Lüftungsgeräte, Regelsysteme, usw.
- Bessere technische Grundlagen und Informationen für Schallberechnungen, dynamische Lastberechnungen mittels EDV (Wärme und Kälte) und Luftströmungen am Luftaustritt und im Raum.
- Vermehrte gesamtheitliche Betrachtung der Haustechnikinstallation mit dem Gebäude.

Die Anlageplaner sind bestrebt, den heutigen Tendenzen gerecht zu werden. Sie zielen eindeutig auf kleinere, weniger energieverbrauchende Anlagen. Komforteinbussen an den sehr wenigen heissen Tagen werden heute eher toleriert. Der Planer bestimmt und koordiniert oft schon mit Lieferanten die optimalen Komponenten.

Es sollen aber einige kontroverse Problempunkte erwähnt werden, die zeigen, dass die Planer nicht immer in einer einfachen Situation sind und dass, unabhängig von ihrem Können, in gewissen Fällen der Konflikt bereits vorprogrammiert ist:

- Die allgemeine Abneigung der Benutzer gegenüber Klimaanlagen und das sich Wohlfühlen in einem engen Temperaturbereich kann zu Widersprüchen führen.
- Das Abführen von hohen thermischen Lasten mit geringen Luftmengen, die lediglich hygienische Anforderungen erfüllen, ist sehr schwierig zu bewältigen.
- Viele Bauherren fordern einfache und bewährte Lüftungssysteme. Weil die definitive Nutzung der Räumlichkeiten in vielen Fällen noch nicht bekannt ist, wird zudem eine grosse Flexibilität der Lüftungssysteme erwartet.
- Der gleichzeitige Wunsch nach Fensteröffnen, niederem Energieverbrauch, kleinen Luftwechselzahlen und hoher Lüftungswirksamkeit ist nicht einfach zu erfüllen.

4.2.4 Zukünftige Systeme?

Es sind Entwicklungen bzw. Anwendungen im Gange, die den vorstehend aufgeführten Tendenzen und Problempunkten teilweise Rechnung tragen.

Quell-/Verdrängungslüftung

Seit 1-2 Jahren sind Systeme mit kleinen Luftmengen und mit entsprechend semi-laminaren Luftauslässen, die sogenannten Quell- und sanften Verdrängungslüftungen, aktuell geworden. Obwohl diese Lüftungsarten den befragten Lüftungsexperten vom Prinzip her bekannt sind, wurden solche Lüftungsanlagen bisher erst spärlich angewendet. Es ist noch eine gewisse Skepsis vorhanden, da in der Schweiz über solche Systeme wenig Erfahrungen vorliegen. Es sind auch Randbedingungen zu erfüllen, die gewisse Einschränkungen hervorrufen:

- Durch die Anforderungen der Zuluftauslässe (relativ grosse Luftauslassöffnungen, meistens in Bodennähe) wird die Flexibilität speziell für spätere Umdispositionen eingeschränkt.
- Die Funktion dieser Systeme basiert auf der Einführung der Zuluft mit einer Untertemperatur von ca. 1,5-2,5°C gegenüber der Bodenlufttemperatur. Die anwesenden Personen sowie die eingeschalteten Apparate bewirken einen natürlichen Auftrieb der Luft vom Boden zur

Decke. Diese "Auftriebsluftmengen" bestimmen somit die minimale Zuluftmenge, die dem Raum bzw. der Zone zugeführt werden muss. Die minimale, hygienisch notwendige Luftrate pro Person ist meistens kleiner als die "Auftriebsluftmenge".

- Da Luftkühlung oder Klimatisierung bereits in verschiedenen Kantonen einer Bewilligung bedarf, die für Bürogebäude nur bei relativ hohen, nachzuweisenden, internen Wärmelasten (z.B. 600 Wh/m^2 über 24 h, Kt. Zürich) erteilt wird, ist die Anwendung solcher Systeme limitiert.

Kühlflächen-Systeme

Die Kühlflächen, meistens in Kombination mit der Decke und für die Abführung der Wärmelasten ausgelegt, sind entweder mit Wasser oder Luft beschickt. Die Mediumtemperatur (Untertemperatur gegenüber Raumluft) ist so zu wählen, dass in keinem Fall Kondensation auftritt. Die eigentliche Lüftung der Räume kann durch eine Kombination (bei Luft/Luft-System) oder durch ein separates System erfolgen. Die Befragten haben diese Systeme bisher kaum eingesetzt, man glaubt jedoch, dass diese Konzeption möglicherweise zukünftig mehr Anwendung finden wird.

Hygiene-Lüftung

Es werden lediglich Minimalluftmengen (ca. 40-50/m^3/h Pers.) zugeführt, wobei meistens konventionelle Mischluftstromsysteme mit hoch induktiven Luftauslässen eingesetzt werden. Die Abfuhr von Wärmelasten ist nicht das primäre Ziel, höchstens in Form von intensiver Nachtkühlung (z.B. mit doppelter Luftmenge). Problematisch ist das Erreichen einer guten Lüftungswirksamkeit, da mit solch kleinen Luftmengen (Luftwechsel ca, 1,4/h) keine schnelle Durchmischung der gesamten Raumluft mit der zugeführten Aussenluft stattfindet. Örtliche Auslässe, d.h. direkt zum Aufenthaltsort der Personen in Form von Tischauslässen oder dergleichen, sind in der Praxis aus Dispositionsgründen (Flexibilität, usw.) sehr selten möglich. Während sehr heissen Tagen müssen solche Anlagen (speziell nachmittags) abgeschaltet werden, um eine extreme Übertemperatur in den Räumen zu vermeiden.

4.2.5 Welche Richtung soll die Forschung einschlagen

Was die Zukunft betrifft, erhoffen sich die Lüftungsexperten einiges von den verschiedenen Forschungsprojekten. Ihrer Meinung nach sollten die Programme folgende Resultate erbringen:

- Energiespeicherung (Wärme und Kälte) in Gebäuden
- Berechnungsbasis für Lüftungskennwerte wie Aussenluftraten, Luftaustauschwirkungsgrad und Lüftungswirksamkeit, Schadstoffkonzentrationen, usw., die dann für die Planung von Lüftungsanlagen verwendet werden kann
- Einfache, bedienungsfreundliche und doch preisgünstige Mikroprozessoren und Leitsysteme (heute noch relativ kompliziert für Bedienungspersonal)
- EDV-Methoden für gebäudedynamische Berechnungen und Simulationen
- Mehr Kenntnisse betreffend Luftströmung und -führung in Räumen: semi-laminar, von unten nach oben, seitlich, usw., auch im Zusammenhang mit genaueren Angaben über Luftqualität (Schadstoffe) und thermischem Komfort
- Verbesserung der Filtrierung der Luft: nicht nur Staubfilter, sondern Berücksichtigung der heutigen Schadstoffproblematik

Aufgrund der obigen Ausführungen ist es interessant festzustellen, dass die Interessen der Lüftungsplaner grossenteils in die gleiche Richtung gehen, wie die Zielsetzung des Forschungsprogramms "Luftströmungen" im Teilbereich C.

4.2.6 Tendenzen im Ausland

Nachdem nun die Entwicklungen in der Schweiz dargestellt und analysiert worden sind, sollen im folgenden vereinzelt zu einigen bedeutsamen Aspekten die Tendenzen im Ausland aufgezeigt werden.

Kontrollierte Wohnungslüftung

Die befragten Lüftungsexperten in der Schweiz sind mehrheitlich der Ansicht, dass eine kontrollierte Wohnungslüftung höchstens in dichtbesiedelten und verkehrsreichen Stadtgebieten in Frage kommt. Die wenigsten glauben, dass sie in den nächsten Jahren in der Schweiz Fuss fassen wird. Im Gegensatz zur Schweiz haben sich in einer Reihe von Ländern Lüftungsanlagen weitgehend durchgesetzt. Warum das so, ist wird im folgenden dargestellt, wobei wir uns weitgehend auf eine Analyse aus der Sicht eines Fachexperten aus der Bundesrepublik Deutschland abstützen (Trepte, 1985).

Im Zusammenhang mit kontrollierter Wohnungslüftung wird meist spontan auf *Schweden* oder andere skandinavische Länder verwiesen, wo aus Gründen des Energiesparens der Anteil von Lüftungsanlagen in Wohnbauten sehr hoch ist. Die schwedische Baunorm fordert Dichtheiten (n_{L50}-Wert) von 1-3 Luftwechseln pro Stunde (Colthrope, 1989). Bei durchschnittlichen meteorologischen Verhältnissen entspricht dies Luftwechselraten von weniger als 0,2/h, ein Wert, der ohne Einbusse an Raumluftqualität nur mit geführter Zu- und Abluft mit WRG erreicht werden kann. In neuerrichteten schwedischen Mehrfamilienhäusern herrschen gegenwärtig noch reine Abluftanlagen (ohne WRG) vor. Kontrollierte Be- und Entlüftung mit WRG trifft man nur bei Neubauten von Einfamilienhäusern.

In *Frankreich* lag bereits zu Beginn der 80er Jahre der Anteil an mechanischen Lüftungsanlagen hoch. Rund 40 Prozent der neuerbauten Einfamilienhäuser verfügten damals über mechanische Abluftanlagen, bei Mehrfamilienhäuser waren es 80 %. Seit 1982 ist kontrolliertes Be- und Entlüften vorgeschrieben, was ein starkes Aufkommen von Anlagen mit Feuchteregelung (Bouches hygroréglables) gefördert hat.

In den *Niederlanden* ist der Anteil natürlicher Lüftung anfangs 80er Jahre innert kurzer Frist von 50 % auf 10 % gesunken. Auch hier geht die Entwicklung in Richtung von feuchtigkeitsgeregelter Be- und Entlüftung. Auffallend für die Niederlande ist ausserdem der Anstieg der Anzahl installierter Luftheizungen.

In der *Bundesrepublik Deutschland* scheint die Fensterlüftung ein stark durch Gewohnheit geprägtes Verhalten zu sein, denn - so das Ergebnis des Forschungsvorhabens "Lüftung im Wohnungsbau" - die Einführung von "Zwangslüftungsanlagen" im privaten Bereich hat nicht notwendigerweise zu einer Reduktion des Fensterlüftens und damit der Lüftungsverluste geführt.

Folgerungen für die Schweiz: Hinsichtlich der zusätzlichen Energieeinsparung durch kontrollierte Be- und Entlüftung mit WRG ist zu berücksichtigen, dass die in Schweden eingeführten Normen zur Gebäudedichtigkeit nicht zuletzt wegen der extremen meteorologischen Verhältnisse eingeführt worden sind und deshalb nicht ohne weiteres auf diejenigen in der Schweiz übertragen werden können. Die in der Schweiz im Fall von Be- und Entlüftung mit WRG in einem gut wärmegedämmten Gebäude empfohlene angepasste Luftdurchlässigkeit der Gebäudehülle von 0-2/h (n_{L50}-Wert) (Steinemann; Hartmann, 1986) führt unter hiesigen klimatischen Verhältnissen zu einer Energieeinsparung von 60-100 MJ/m^2 Wohnfläche und Jahr (Geiger; Rouvel, 1987), was im Vergleich zu den Einsparungen aus verbesserter Wärmedämmung relativ bescheiden ist. Zudem ist zu bemerken, dass - ähnlich wie in der BRD - auch in der Schweiz ein ausgeprägtes unbewusstes Grundbedürfnis nach "frischer Luft" (offene Fenster) besteht.

Lüftungssysteme in Nichtwohngebäuden

Ähnlich, wie durch die schweizerischen Lüftungsexperten, fällt die Beurteilung aufkommender bzw. rückläufiger Systeme durch ausländische Experten (vgl. z.B. Brunsell und Skåret, 1989) aus, wobei noch anzumerken ist, dass im Ausland (Skandinavien, Canada, USA) das Problem mit "Sick Buildings" stärker gewichtet wird als bei uns. Die Ölkrise hat uns auf der ganzen Welt schlechtere Luftqualität beschert, indem aus Energiespargründen die Umluftanteile erhöht wurden (geringerer Frischluftanteil). Auch wurden in nichtbesetzten Räumen die Lüftungsanlagen abgeschaltet. Beides führte dazu, dass in grösseren Raumbereichen mit unterschiedlicher Nutzung zwangsläufig ein Ausgleich der Luftqualität stattfand, und zwar zu Lasten von Einzelräumen mit geringer Schadstoffentwicklung. Folgende korrigierende Tendenzen werden beobachtet:

Einerseits versucht man, den Aussenluftstrom dem Nutzungsgrad anzupassen und entsprechend tief zu halten. Reicht die zugeführte Luftmenge nur zur Hygienelüftung und nicht für die Kühlung aus, so werden hierfür andere Strategien gesucht. In Norwegen z.B. geht der Trend eindeutig dahin, alle drei Funktionen der Lüftung (Lufterneuerung, Kühlung, Heizung) zu trennen. Zudem ist festzustellen, dass fast überall eine Wärmerückgewinnungsanlage eingebaut ist, so dass die Argumente für einen grossen Anteil Umluftbeimischung zwecks Energieeinsparung wegfallen.

Die skandinavischen Länder sind uns - sowohl hinsichtlich theoretischer Abklärungen als auch des praktischen Einsatzes - bezüglich der Erprobung von neuartigen System nach dem Verdrängungsprinzip einige Jahre voraus. Wir haben die Chance, von diesen ersten Erfahrungen zu profitieren und nach schweizerischen Lösungen zu suchen.

4.3 Systemwahl und Planungskoordination

Systemwahl

Analog zum Zeitgeist verschiedener Epochen änderten sich auch die Randbedingungen und Kriterien, welche die Systemwahl wesentlich beeinflussten.

- Vor 1973 waren nach Ansicht der Befragten die Investitionskosten, Nutzung und Komfort, verbunden mit Prestige sowie die Bauweise die Hauptkriterien.
- Zwischen 1974 und 1980 erhielten die Kosten für Unterhalt und Wärmeenergieverbrauch, nebst Investitionskosten und Nutzung, einen höheren Stellenwert.
- Seit 1980 ist die Gewichtung der Investitionskosten gegenüber dem Aufwand für Unterhalt und Energie (Wärme und Elektro) eher sekundär geworden. Nutzung und Bauweise haben nach wie vor einen gewissen Einfluss. Überlegungen betreffend Luftqualität treten immer mehr in den Vordergrund und die Akzeptanz von kurzfristigen thermischen Komforteinbussen (nur im Sommer) beeinflussen die heutige Systemwahl ebenfalls.

Fehlabläufe

Über Ursachen häufiger Fehlabläufe befragt, fielen die Antworten wie folgt aus:

- Fast 2/3 der Antworten ergaben fehlende Nutzungsvorgaben durch den Bauherrn bzw. Architekten.
- Mehr als die Hälfte der Befragten erwähnte eine mangelnde Koordination mit Heizung, Sanitär, Elektro sowie teilweise fehlende, gesamtheitliche Überlegungen betreffend Energieversorgung und Energieeinsparung.

Der erste Punkt ist sicher mit Abstand der wichtigste. Es ist sehr schwierig, eine Anlage auszuwählen und genau zu dimensionieren, wenn die Nutzung, und damit z.B. der innere Wärmelastanfall, nicht genau bekannt ist. Je genauer die Vorgaben sind, desto besser kann eine Lüftungsanlage geplant werden und umso tiefer wird auch der spätere Energieverbrauch sein. Vom Architekten oder sogar vom Bauherrn werden diese Vorgaben aber oft nicht aus Nachlässigkeit zu wenig präzisiert, sondern weil sie gar noch nicht bekannt sind. So kommt es z.B. vor, dass ein Bauherr beabsichtigt, einen Teil seiner Räume weiter zu vermieten und dabei in bezug auf die Nutzungsart der Räume möglichst flexibel bleiben möchte.

Heute wird viel weniger kritisiert, dass die Lüftungsplaner zu spät beigezogen werden (nur noch 1/3 der Antworten). Es scheint, dass aufgrund früherer Schwierigkeiten die meisten Bauherren reagiert haben und die Planer heute nicht erst vor der Baueingabe, sondern schon möglichst früh (Vorstudie) miteinbeziehen. Was andere Fehlabläufe betrifft, scheint das Stichwort Planungskoordination aktuell zu werden

Planungskoordination

Alle Experten erachten eine Planungskoordination für einfache Wohnbauten nicht für nötig. Hingegen wird diese für grössere und/oder komplexe Bauten als sehr wichtig angesehen. Diese Antwort verwundert nicht, da viele Befragte aus dem Raum Zürich kommen und dort die Planungskoordination, im Gegensatz zu anderen Regionen (Bern, Westschweiz), schon sehr oft verwirklicht wurde. Aber auch bei vorhandener Planungskoordination können Probleme auftreten. So wird oft die Koordination von den beteiligten Haustechnik-Ingenieuren (H,K,L,S,E) ohne spezielles und entsprechend honoriertes Mandat erwartet. In einigen Fällen werden neben dem Zeitdruck auch mangelnde interdisziplinäre Kenntnisse der Beteiligten beziehungsweise des Koordinators erwähnt.

4.4 Berücksichtigung von Komfort, Hygiene und Bauphysik bei der Wahl des Lüftungssystems

Schadstoffe, Komfort, Hygiene

Laut Aussagen von Experten und Lüftungsplanern haben in verschiedenen Fällen Luftschadstoffe und Feuchte zu ungenügender Luftqualität geführt. Neben zuviel oder zuwenig Feuchte gilt dies vor allem für Staub, CO, Gerüche (z.B. Tabakrauch)und teilweise sogar für Formaldehyd (wahrscheinlich eher in nicht mechanisch belüfteten Zonen). Mit Ausnahme der Einführung von Nichtraucherzonen können diese Probleme nur teilweise an der Quelle erfasst werden. Ansätze dazu sind:

- genügend gross ausgelegte Luftmengen (Aussenluftraten)
- gute Bauphysik (speziell Feuchteproblematik)
- bessere Filterqualität, bis zu Aktivkohlefilter, falls nötig

Aber auch die Schadstoffe der Aussenluft müssen zum Teil beachtet werden. So wird zum Beispiel grosser Wert auf die Plazierung der Aussenluftfassungen gelegt. In gewissen Fällen wird auch hier versucht, mit besseren Filtern (bis Aktivkohlenfilter) das Problem zu vermindern.

Verschiedene Anlagen, hauptsächlich für Sitzungszimmer und Hörsäle, wurden durch die Befragten mit sogenannten Schadstoff- oder Präsenzfühler ausgerüstet, um die Anlagen oder Zonen nach Bedarf zu steuern.

Bauphysik, angepasste Gebäudedichtigkeit

Die erhöhte Luftdichtigkeit der Gebäudehüllen hat gemäss Lüftungsexperten generell keinen gravierenden Einfluss auf die Wahl der Lüftungssysteme. Hingegen sind folgende Aspekte zu beachten:

- Entlüftungsanlagen für WC's, usw. müssen teilweise aufgrund der Gebäudedichtigkeit mit Zuluftanlagen oder geeigneten Nachströmöffnungen versehen werden.
- Den Über- und Unterdruckverhältnissen, die durch Lüftungsanlagen entstehen, muss mehr Beachtung geschenkt werden.
- Durch die erhöhte Dichtigkeit erhält die Entfeuchtung oder Regelung der Anlagen gemäss Luftfeuchte einen höheren Stellenwert.
- Es wird auch die Meinung vertreten, dass die erhöhte Luftdichtigkeit eher vermehrt die Anwendung von mechanischen Belüftungen erfordert.

4.5 Erfahrung mit heutigen Planungsinstrumenten

Die zur Verfügung stehenden Planungsinstrumente werden, mit Ausnahme von solchen für neuartige Lüftungssysteme, als genügend bezeichnet.

Dimensionierung

Die Luftmengen der meisten Anlagen, wie z.B. für Büro- oder Verkaufsräume, werden nach der Kühllast dimensioniert, oft auch, wenn keine Luftkühlung installiert wird. Die Dimensionierung nach stündlichem Luftwechsel und Aussenluftraten pro Person, gemäss Richtlinien von Fachgremien oder gesetzlichen Vorschriften, wird sehr oft angewendet, auch als Kontrollrechnung zu anderen Methoden. Die Luftmengendimensionierung aufgrund von Schadstoffausstoss oder Schadstoffquellen kommt, ausser für Industrieanlagen, Garagen, usw., praktisch nicht vor.

Hilfsmittel, Normen

Die der Lüftungsindustrie zur Verfügung stehenden Unterlagen, u.a. Normen und Richtlinien von VSHL, SWKI, SIA, etc., werden allgemein zum Zweck der Anlageplanungen als ausreichend taxiert. Wünschenswert sind hingegen noch mehr praxisorientierte Hilfsmittel und Daten über Raumluftströmungen sowie Komfortbedingungen à la Fanger, usw. Von den neuen Normen und Empfehlungen SIA 382 wird einiges erwartet. Bedienungsfreundlichere Rechenprogramme für Dimensionierung und Energieoptimierungen sowie vereinheitlichte, die Gebäudedynamik berücksichtigende Kühllastmethoden, figurieren ebenfalls auf der Wunschliste der Mehrheit der Befragten.

Mess- und Regelungstechnik

Nach Ansicht der Lüftungsexperten lässt sich in der Mess- und Regelungstechnik heute grundsätzlich alles lösen. Trotzdem wurden einige Probleme aufgeworfen. So lässt sich das subjektive Empfinden der Gebäudebenützer mit Mess- und Regelungstechnik (MSR) nicht lösen. Im weiteren sind Investitionen und die Inbetriebnahme von modernen MSR Systemen (z.B. DDC) noch sehr kostspielig. Limitiert möglich ist auch die stufenlose Anpassung der Luftmengen nach anfallenden Schadstoffen, beziehungsweise überhaupt die Regelung nach Schadstoffen (bedarfsgeregelte Lüftungsanlagen). Dazu kommt, dass gut funktionierende und preislich akzeptierbare Druckregelungen für sehr kleine Über- oder Unterdrücke kaum erhältlich sind.

5. Erfahrungen der Bauherrschaft

5.1 Umfrage bei Liegenschaftsbesitzern

Das Ziel dieser Umfrage war es, auch von seiten der Liegenschaftsbesitzer Informationen zu den Lüftungssystemen zu erhalten. Schliesslich sind es immer die Bauherren selbst, welche die wichtigsten Entscheidungen treffen und auch das Bindeglied zwischen den Planern und Architekten auf der einen Seite und den Benutzern auf der andern Seite sind. Die Befragung und der zugrunde liegende Fragebogen haben folgende Punkte umfasst:

- Bereitstellen von allgemeinen Daten über den Gebäudepark sowie möglichst weitgehende Einteilung der verschiedenen Gebäudetypen nach folgenden Lüftungsmethoden: natürlich belüftet/mechanisch belüftet/klimatisiert
- Vorgehen bei der Auswahl der Lüftungsmethode und Aufzählung der wichtigsten Entscheidungskriterien
- Erfahrungen der Bauherrschaft (z.B. welche Lüftungssysteme werden am häufigsten installiert)
- Tendenzen über die zukünftige Entwicklung der Lüftungssysteme
- Beurteilung der Lüftungssysteme durch die Benutzer

Die Fragen wurden ca. zehn Vertretern folgender Bauherrschaften gestellt:

- grosse Kette eines Lebensmittelverteilers
- Amt für Bundesbauten
- Hochbauamt verschiederer Kantone sowie einer Grossstadt
- verschiedene Banken

Die befragten Personen repräsentieren zusammen einen sehr grossen Gebäudepark, der ausser Industriebauten praktisch alle Gebäudetypen umfasst: Bürogebäude, Läden, Einfamilienhäuser, Wohnungen, Lagerhallen, Restaurants, Hotels, Schulen, Universitäten, Spitäler, Heime, Kasernen, Schwimmbäder, usw.

Es war sehr schwierig, allgemeingültige Aussagen bezüglich Zuordnung der Lüftungsmethode zu den verschiedenen Gebäudetypen zu erhalten. Dennoch sind folgende Daten für den untersuchten Gebäudepark ermittelt worden:

Bürogebäude:	je nach Bedarf sind 20 % bis 80 % der Objekte mechanisch belüftet bzw. klimatisiert. Die Gebäude der öffentlichen Hand (Bund, Kantone, usw.) liegen eher an der unteren Grenze, während zum Beispiel bei den Banken ein grösserer Teil der Büros klimatisiert ist.
Lebensmittelläden:	Praktisch alle Läden sind klimatisiert.
Schulen ohne Hörsäle:	Über 80 % der Schulen sind natürlich belüftet.
Hörsäle:	Alle sind mechanisch belüftet oder klimatisiert.
Wohnbauten:	Sehr wenige Wohngebäude sind mit lüftungstechnischen Anlagen ausgestattet, weniger als 2 % (sieht man von mechanischen Abluftanlagen in Küche und Sanitärräumen ab).

Obige Daten entsprechen recht gut der in Abschnitt 3.1 dieses Berichts dargestellten Zuordnung der Lüftungsmethode zu den verschiedenen Gebäudetypen.

In den folgenden Abschnitten wird versucht, eine Synthese der gewonnenen Erkenntnisse aus den Umfragen herauszuarbeiten. Die Mehrzahl der Aussagen betreffen Dienstleistungsgebäude und Bürobauten.

5.2 Vorstellung und Erwartungen der Bauherrschaft

Die Bereitstellung eines *guten Raumklimas* hat für alle Bauherren erste Priorität. Die Komfortanforderungen sind jedoch je nach Bauherr und Nutzungstyp recht unterschiedlich. So ist in Lebensmittelläden in erster Linie der Komfortanspruch des Kassenpersonals wichtig, während in der Schalterhalle einer Bank die Ansprüche an das Raumklima wesentlich von den Repräsentationspflichten beeinfluss wird. Allgemein kann festgestellt werden, dass die Bauherren es gut verstehen, die Wahl der Lüftungsanlage bzw. des Komfortniveaus den Nutzungsanforderungen anzupassen. Schwierig ist es in jenen Fällen, wo die Nutzung nicht im voraus festgelegt ist.

Die *Zuverlässigkeit* einer Anlage hat ebenfalls eine sehr hohe Priorität. Praktisch alle Bauherrenvertreter messen diesem Punkt eine grössere Bedeutung als beispielsweise den Investitionskosten bei. Oft hat sich gezeigt, dass investitionsgünstigere Anlagen weit weniger zuverlässig und deshalb im Unterhalt teurer sind.

Heute wird angestrebt, den *Energieverbrauch* einer Lüftungsanlage niedrig zu halten. Der Anteil der für die Lüftung (einschliesslich Luftvorwärmung bzw. Kühlung) eingesetzten Energie ist von Gebäude zu Gebäude infolge unterschiedlicher Gebäudehülle, Nutzung und Anlagekonzept stark verschieden und kann daher nicht direkt verglichen werden. Kostenmässig kann der Anteil der Betriebskosten, der für die lufttechnischen Anlagen aufgewendet wird, bis zu 20 % der jährlichen Betriebskosten des Gebäudes betragen (Affolter; Verstraete, 1989).

Bauherren, die viele Lüftungs- und Klimaanlagen einbauen (z.B. Banken), sind oft gewillt, neuere Anlagetypen zu realisieren, auch wenn dabei ein gewisses Risiko besteht. Im Vordergrund stehen Anlagen mit geringen Aussenluftmengen, von denen man sich eine gute *Komfortlüftung* bei geringem Energieaufwand verspricht.

Die Prioritäten werden in den letzten Jahren auch anderweitig etwas anders gesetzt:

Heute scheint man immer mehr vom Grossraumbüro wegzukommen. Die Gründe liegen nicht nur in der zentralen Klimaanlage, auch die Arbeitsplatzvorstellungen haben sich geändert. Ferner wird gewünscht, dass die Lüftungsanlagen vermehrt von Benutzern ein- und ausgeschaltet werden können. Dies betrifft vor allem Zonen, die nicht immer besetzt sind (Konferenzräume, Labors, etc.).

5.3 Erfahrungen der Bauherrschaft

Systemwahl

Es soll gezeigt werden, nach welchen Gesichtspunkten die Bauherren das Lüftungskonzept ausgewählt haben. Die Umfrage hat folgendes ergeben: Falls das Niveau der internen Lasten, die Schadstoffkonzentration sowie der Komfortanspruch es zulassen, wird keine mechanische Lüftung oder Klimatisierung eingebaut. Die Definition des Komforts wird unterschiedlich gehandhabt: Bei öffentlichen Bauherren erlauben es die Randbedingungen, den Komfort mit weniger Aufwand, als z.B. bei Banken, bereitzustellen. In vielen Fällen reden die Bauherren bei der Wahl einer Lüftungsanlage ein gewichtiges Wort mit. Hingegen haben die zukünftigen Benutzer nur in seltenen Fällen ein Mitspracherecht, sei es bei der Wahl der Lüftungsart oder sogar bei der Auswahl des Lüftungssystems. Ausnahmen betreffen Bauten, wo Benutzer in der

Baukomission vertreten sind. Die wichtigsten Kriterien für die verschiedenen Lüftungsarten sind die folgenden:

Klimatisierung

Hohe innere Wärmelasten sind ein Hauptgrund für den Einbau einer Klimaanlage. In gewissen Fällen kann auch der Komfort der Grund für eine Klimaanlage sein. Für Lebensmittelläden sind gesetzgeberische Richtlinien massgebend. Bei Grossraumbüros stehen die Klimaanlagen im Vordergrund.

Mechanische Belüftung

Hohe Konzentrationen von Schad- und Geruchsstoffen erfordern die Installation einer mechanischen Belüftung. Dies ist vor allem in Küchen, Restaurants, usw. der Fall. Auch bei einer hohen Feuchtigkeitskonzentration kommt eine mechanische Belüftung zum Einsatz. In städtischen Gebieten kann wegen der Lärmbelastung an gewissen Orten das Öffnen der Fenster nicht zugemutet werden, auch dies ist ein Grund für eine mechanische Belüftung. Gesetze oder der Wille zum Energiesparen können in gewissen Fällen dazu führen, dass anstelle einer Klimatisierung nur eine mechanische Belüftung installiert wird.

Natürliche Lüftung

Der Wunsch vieler Benutzer, in Dienstleistungsgebäuden und Bürobauten die Fenster öffnen zu können (Benutzerfreiheit), ist oft ein Grund für eine natürliche Lüftung. Es gibt heute aber auch Räume in Bürobauten, die mit einer Klimaanlage ausgerüstet sind und wo die Fenster trotzdem öffenbar sind. Eine Reduktion der Betriebskosten und niedrige Investitionskosten können ebenfalls dazu führen, dass ein Gebäude natürlich belüftet wird. Nach übereinstimmenden Aussagen der Besitzer hat die Zunahme der Gebäudedichtigkeit nicht dazu geführt, dass anstelle natürlicher vermehrt eine mechanische Lüftung eingebaut wird. Dies hat höchstens einen Einfluss auf die Dimensionierung von Lüftungsanlagen.

Tendenzen

Wegen fehlender Routine und Planungshilfsmittel werden neuartige Systeme vom Planungsteam eher selten vorgeschlagen. Auch innovationsfreundliche Bauherren wählen nach langem Abwägen oft dann doch das Bewährte aus Furcht, dass Investitions- und Betriebskosten die Angaben des Planungsteams überschreiten können. Generell können folgende Tendenzen festgestellt werden:

- Bevorzugung einfacher Systeme
- Tendenz zu Niederdrucksystemen mit niederen Luftgeschwindigkeiten
- Wunsch nach rationeller Energienutzung bzw. energiesparenden Systemen
- Interesse für Kriterien zur Beurteilung der Raumluftqualität
- Einführen von Nichtraucherzonen

5.4 Einstellung des Publikums (Benutzer)

Für die Besitzer eines Liegenschaftsparks ist es nicht immer einfach, die Klagen der Benutzer bezüglich des Lüftungssystems zu analysieren. Die Problematik ist oftmals vielschichtig und häufig sind die Klagen nicht frei von Widersprüchen. So kommt es vor, dass Benutzer grundsätzlich gegen eine Klimaanlage sind, sich aber trotzdem nur in einem Temperaturbereich von 20° bis 21°C wohl fühlen. Viele Benutzer in Nicht-Wohnbauten wollen vermehrt wieder Fensterlüftung.

Welches sind die häufigsten Benutzerklagen? An erster Stelle werden Zugserscheinungen genannt. Auch das Geräusch der Lüftungsanlage ist oft Gegenstand von Klagen. Obschon eine grössere Schwankungsbreite im Temperaturbereich akzeptiert wird, gibt es immer Leute, die zu warm oder zu kalt haben. Hinzu kommen auch allgemeine Klagen wegen Kopfweh oder Erkältungen (vor allem im Sommer). Wieviele dieser Klagen berechtigt sind, können die Liegenschaftsbesitzervertreter nicht sagen. Dort, wo Benutzer gewisse Einflussmöglichkeiten haben (z.B. Fenster öffnen), gibt es weniger häufig Klagen. Dies gilt auch in Fällen, wo man zusammen mit Benutzern nach Lösungsmöglichkeiten gesucht hat. Ein unsachgemässer Betrieb durch die Benutzer führt in vielen Fällen zu einer Verschlimmerung der Raumklimasituation.

Was für Lehren und Konsequenzen wurden aus den verschiedenen Klagen gezogen? Auch hier ist es schwierig, allgemeingültige Tendenzen festzustellen. Die folgenden Erfahrungswerte eines Besitzervertreters können einen Eindruck vermitteln:

Konsequenzen	Häufigkeit
keine	20 %
Änderung der Betriebsart	5 %
Änderung der Regelung	25 %
Ersetzen / Sanierung der Anlage	20 %
Lokale Änderungen	30 %
Stillegen der Anlage	0 %

Für eine umfassende Darstellung der Problematik wird auf die Arbeit von Kröling (1985) verwiesen.

5.5 Betrieb und Unterhalt

Probleme

Das einwandfreie Funktionieren einer Lüftungsanlage hängt zum grossen Teil vom Betrieb und Unterhalt ab. Für die Bauherren ist somit der Betrieb und Unterhalt einer Klima-/Lüftungsanlage von vorrangiger Bedeutung, da die meisten Probleme ihre Wurzeln im Betrieb und Unterhalt haben. So ist es nicht verwunderlich, dass sie sich wenn möglich immer für einfache Systeme entscheiden.

Klima- und Lüftungsanlagen werden immer komplexer, dies gilt insbesondere für deren Regelung. In vielen Fällen sind die Betreuer für die Wartung der Anlage ungenügend ausgebildet und haben als Hauswart weitere Funktionen wahrzunehmen.

Feuchteprobleme treten relativ selten auf, vor allem bei Gebäuden neueren Datums. Folgende Massnahmen können allfällige Probleme lösen: Änderung der Regelung, Fensterdichtungen wegnehmen oder Erhöhung der Wasserumlauftemperatur (Kühldecken).

Ist die Nutzung eines Gebäudes (grosse Bürobauten mit stockwerkweiser Vermietung) nicht bereits bei der Planung festgelegt, so kann es vorkommen, dass die thermische Behaglichkeit (vor allem im Sommerlastfall) ungenügend ist. Der nachträgliche Einbau einer Klimaanlage ist oft umständlich und kostspielig.

Massnahmen zur Verbesserung

Der Inbetriebnahme einer Anlage ist grosse Bedeutung beizumessen und die Betreiber sind zu instruieren. Zusammenfassend sind es laut Bauherrenvertreter vor allem folgende Massnahmen, die gewisse Verbesserungen bewirken, beziehungsweise bewirkt haben:

- Seriöse Einführung der zukünftigen Betreiber bei der Inbetriebnahme unter Anwesenheit der Planer
- Kurse und Weiterbildung für Betreiber
- In städtischen Gebieten wird oft ein Fachmann ernannt, der für verschiedene Lüftungsanlagen betreffend Betrieb und Unterhalt verantwortlich ist, während abgelegene Installationen oft von Firmen mit Unterhaltsverträgen betreut werden

Alle Bauherren haben bestätigt, dass über den Energieverbrauch Buch geführt wird. Konkrete Zahlen waren jedoch fast nirgends zu erhalten. Meist wird der Elektrizitäts,- Wärme- und Kälteenergieverbrauch nur zentral für das ganze Gebäude erfasst und die unterschiedliche Nutzung der verschiedenen Zonen macht eine Aufschlüsselung des Gesamtenergieverbrauches praktisch unmöglich. Betreffend Energieverbrauch können aber mit Hilfe von Messungen und Berechnungen der Kennwerte der einzelnen Komponenten interessante Vergleiche zwischen verschiedenen Lüftungssystemen angestellt werden. So hat etwa das deutsche Forschungsvorhaben RELA (Radke 1981) verschiedene Lüftungssysteme (Luftaufbereitung) miteinander verglichen, die mit zwei verschiedenen Luftführungsarten ausgestattet sind. Unabhängig vom Lüftungssystem ist der Jahresenergieverbrauch bei Luftführung von unten nach oben meist tiefer als bei Mischlüftung. Der Hauptgrund ist, dass bei Luftführung von unten nach oben der gleiche thermische Komfort in der Aufenthaltszone und die gleiche Abführung der Schadstoffe mit 20 % weniger Aussenluft erreicht wird. Auch was die Unterhaltskosten einer Lüftungsanlage betrifft, wurde in unserer Umfrage nur in einem Fall eine Zahl bekanntgegeben: Ein Bauherrenvertreter schätzt die dafür anfallenden Kosten auf 2-4 % der Investitionskosten der technischen Anlagen. Vergleiche dazu die im Rahmen der vorliegenden Studie durchgeführten Abklärungen (Abschnitt 6.3 dieses Berichts).

6. Untersuchungen an 10 Fallbeispielen

6.1 Einführung und Übersicht

6.1.1 Zweck der Fallbeispiele

Die hier dargestellten Untersuchungen an zehn gebauten Beispielen sollen einen Überblick über die wichtigsten, heute üblichen Lüftungssysteme geben. Nebst den heute noch gebauten herkömmlichen Systemen sollen auch neuere Systeme dargestellt werden, deren Funktionsprinzip noch nicht allgemein bekannt sein dürfte. Dadurch soll eine erste Gegenüberstellung der einzelnen Systeme ermöglicht werden. Kriterien eines solchen ersten Vergleichs sind z.B. die angestrebte Durchspülung des Raumes sowie die systembedingten Anforderungen an Architektur und Möblierung.

Die effektiven Strömungsverhältnisse im Raum sollen erfasst und sichtbar gemacht werden. Anhand der erfolgten Messungen und Aufnahmen soll untersucht werden, inwiefern die Vorstellungen von Bauherrschaft und Planer mit der heutigen Funktionsweise der Anlage übereinstimmen. Neben der effektiv festgestellten Luftverteilung im Raum sollen auch die thermischen Verhältnisse sowie die Luftqualität in den belüfteten Räumen untersucht werden.

Der Energieverbrauch für Wärme und Kälte soll erhoben werden. Zudem sollen wirtschaftliche Aspekte soweit als möglich untersucht, d.h. für die einzelnen Gebäude soll der Anteil der Investitionen und Betriebskosten ermittelt werden. Ein Vergleich der ermittelten Kosten von Gebäude zu Gebäude ist von vornherein fragwürdig, da die anlagetechnischen Kosten von der architektonischen Konzeption des Gebäudes, der Beschaffenheit der Gebäudehülle sowie der Nutzung des Gebäudes abhängig sind.

6.1.2 Auswahl der untersuchten Objekte

Seit der Energiekrise anfangs der 70er Jahre hat sich das Energiebewusstsein im Bauwesen stark verändert. Dies hat grosse Auswirkungen auf die Wahl und den Betrieb der Lüftungsanlagen gehabt, aber auch auf die Konstruktion des Gebäudes selber. Bessere Wärmedämmung und Ausmerzen von notorischen Schwachstellen (Wärmebrücken, Fenster, etc.) hat die Wärmeverluste von modernen Gebäuden drastisch reduziert. In diesem Zusammenhang haben sich auch die Anforderungen an die Lüftungssysteme gewandelt. Um dieser Veränderung Rechnung zu tragen, wurden im Rahmen dieser Fallbeispiele nur Gebäude untersucht, die nach 1975 geplant und realisiert wurden.

Jede Raumnutzung stellt spezifische Anforderungen an das eingesetzte Lüftungssystem. Aus diesen unterschiedlichen Anforderungen entwickelte sich im Laufe der Zeit eine grosse Vielfalt von Lüftungssystemen, die kaum mehr miteinander vergleichbar sind. Damit die durchgeführten Untersuchungen eine gewisse Tiefe erreichen konnten, musste das Spektrum der untersuchten Systeme eingegrenzt werden. Das Schwergewicht sollte auf Anlagen gelegt werden, an welche vergleichbare Anforderungen gestellt werden. Aus diesem Grund wurden prozessbedingte Anlagen (Industrie, Spital, etc.) sowie Gebäude mit ausschliesslich natürlicher Lüftung ausgeschieden.

Aufgrund des grossen Anteils an der Gesamtzahl der installierten Lüftungsanlagen sowie aufgrund der vergleichbaren Anforderungen an Luftqualität und thermischen Komfort, galt das Hauptaugenmerk der Belüftung von Büroräumen.

Auch innerhalb der Nutzungsklasse "Dienstleistungsgebäude" stehen sehr unterschiedliche Lüftungssysteme zur Auswahl. Die hier im Rahmen dieser Arbeit untersuchten Beispiele sollen

einen Querschnitt durch die heute aktuellen und neu aufkommenden Lüftungssysteme aufzeigen.

6.1.3 Durchgeführte Untersuchungen

Das Hauptinteresse der Untersuchungen galt den Strömungsverhältnissen im Raum. Deshalb wurden alle detaillierten Untersuchungen lediglich an einem Einzelraum durchgeführt. Das Gebäude als Ganzes wurde nur soweit beschrieben, wie es für die Funktionsweise des Lüftungssystems von Bedeutung ist.

Die durchgeführten Untersuchungen können in drei Schritte unterteilt werden:

- Beschaffen und Auswerten bereits vorhandener Unterlagen
- Gespräche mit Planern, Bauherrschaften, Betreibern und Benützern
- Kurzmessungen und Visualisierung

Beschaffen und Auswerten bereits vorhandener Unterlagen

Anhand von Plänen, Betriebsanleitungen und Verbrauchsdaten konnten die übergeordneten Zusammenhänge weitgehend geklärt werden. Solchen Unterlagen wurden die meisten Angaben zum Gesamtgebäude entnommen.

Gespräche mit Planern, Bauherrschaften, Betreibern und Benützern

Anhand von Gesprächen mit Planern und Bauherrschaften konnten vor allem die bei der Planung herrschenden Randbedingungen sowie der Planungsablauf erörtert werden. In Gesprächen mit den Betreibern und Benützern konnten wertvolle Hinweise auf die effektive Funktionsweise der Anlage und die vorliegenden Probleme gesammelt werden.

Kurzmessungen und Visualisierung

Die selber durchgeführten Messungen und Bestandesaufnahmen beziehen sich ausschliesslich auf den untersuchten Einzelraum. Die Messungen wurden meistens an einem einzigen Tag durchgeführt.

Die Luftströmungsverhältnisse im Raum wurden durch Rauchversuche sichtbar gemacht und auf Video aufgezeichnet. Zu diesem Zweck wurde der Rauch nach Möglichkeit in den Zuluftkanal eingeblasen. Um induzierte Luftströme sichtbarzumachen, wurde der Rauch teilweise direkt in den Raum eingebracht.

Folgende Messungen wurden in allen Gebäuden vorgenommen:

- Luftmenge in den möglichen Betriebszuständen
- Temperatur von Aussenluft, Zuluft, Abluft und Raumluft
- vertikales Temperaturprofil der Raumluft

Die Lufttemperaturen wurden in der Form von Momentanwerten erhoben, meistens wurde jedoch auch der Verlauf über 2-4 Tage registriert.

In einigen ausgewählten Gebäuden konnte auch der CO_2-Gehalt der Raumluft (Indikator für Raumluftqualität) sowie die relative Feuchte registriert werden. Beim CO_2 wurde wie bei der Raumlufttemperatur auch ein vertikales Profil aufgenommen.

Im untersuchten Raum wurden die vorhandenen Wärmequellen (Geräte, Beleuchtung und Personen) erfasst.

Wirtschaftlichkeitsanalyse/Energieverbrauch

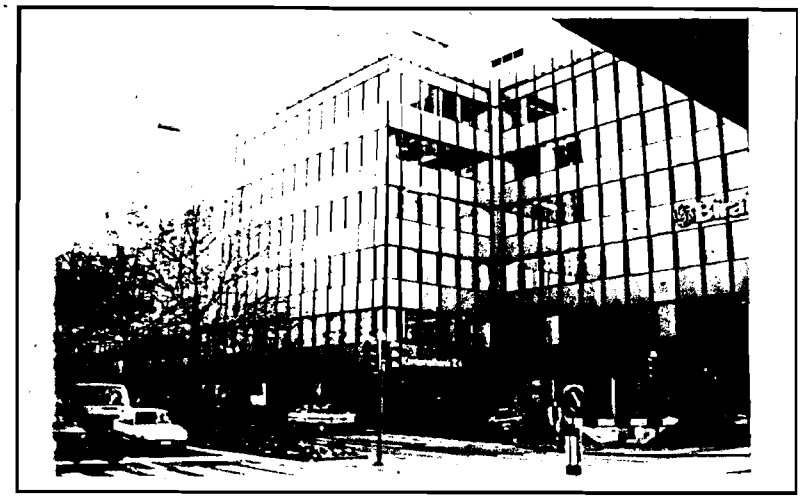
Die Datenerhebung erfolgte bei Planern und Betreibern, blieb jedoch aus verschiedenen Gründen unvollständig. Die Ergebnisse dieser Analyse sind in Abschnitt 6.3 beschrieben.

6.2 Ergebnis der Untersuchungen für die einzelnen Fallbeispiele

Die Untersuchungen wurden an folgenden Objekten durchgeführt:

Abschnitt	Gebäude	Lüftungssystem
6.2.1.	Zürcher Kantonalbank, Zürich	Konventionelles Induktions-System
6.2.2.	Aargauische Kantonalbank, Wohlen	Luft-Luft Niederdrucksystem
6.2.3.	Banque de l'Etat, Fribourg	Luft-Luft Niederdrucksystem
6.2.4.	Ecole Polytechnique Fédérale, Lausanne	Getrenntes System (Luft-Luft bzw. Luft-Wasser)
6.2.5.	Hasler AG, Winterthur	Quellüftung
6.2.6.	Schweizerische Kreditanstalt, Altstetten	Luft-Luft Niederdrucksystem mit Deckenkühlelementen
6.2.7.	Postbüro Plainpalais, Genf	Luft-Wasser Niederdrucksystem mit Deckenkühlelementen
6.2.8.	Banque Cantonale Vaudoise, Lausanne	Luft-Luft Niederdrucksystem (Drall)
6.2.9.	Einfamilienhaus Ahlgren, Lully	Luft-Luft Niederdrucksystem
6.2.10.	Mehrfamilienhaus Herzogstrasse, Zürich	Luft-Luft Niederdrucksystem

6.2.1 Zürcher Kantonalbank, Zürich



Adresse:
Neue Hard 9
8005 Zürich

Bauherrschaft:
Zürcher Kantonalbank

Architekt:
W. Koella, Zürich

Anlageplaner:
Luwa AG, Zürich

Baujahr:
1972-75

Folgende Angaben beziehen sich lediglich auf die Gebäudeteile E und D:

Energiebezugsfläche:
12'750 m²

Enegiekennzahlen :
Wärme: 244 MJ/m²
Elektrizität: 1'370 MJ/m²

Allgemeiner Objektbeschrieb

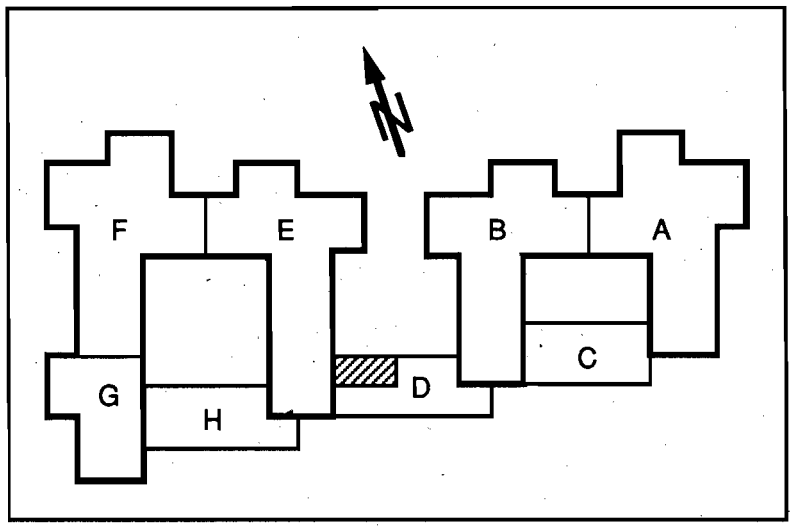
Gebäudenutzung
- Büro
- Gewerberäume
- Cafeteria
- Mensa
- Restaurant
- Wohnung

Gebäudeform, Bauweise
Der gesamte Gebäudekomplex besteht aus zwei siebenstökkigen Gebäuden, welche je um einen quadratischen Innenhof angeordnet sind. Diese beiden Hauptgebäude werden durch einen Zwischentrakt verbunden (Gebäudeteil D). Die Eingänge zu den verschiedenen Gebäuden liegen auf der Nordost- sowie der Südwestseite. Alle eingemieteten Firmen besitzen eigene Eingänge.

Lage und Umgebung
Das Gebäude liegt im Zentrum des Zürcher Industriequartiers. Es ist auf allen Seiten von sehr stark befahrenen Hauptstrassen umgeben (z.T. zweigeschossig). Die Lärmimmissionen sind dementsprechend hoch, was die Öffnung der Fenster des Gebäudes verhindert. In unmittelbarer Nähe (Nordosten) liegt die städtische Kehrichtverbrennungsanlage Josefstrasse.

Übergeordnete Ziele bei der Planung
Bezüglich des Energieverbrauches des Gebäudes wurden während der Planung keine übergeordneten Ziele verfolgt.

Schematischer Grundriss des Gebäudes mit untersuchter Zone (schraffiert)



Wärmeversorgung

Wärmeerzeugung

Energieträger:
Gas / Elektrizität

In erster Priorität erfolgt die Wärmeerzeugung über eine Elektro-Wärmepumpe, welche die Abluft der EDV-Räume als Wärmequelle nutzt. Die Spitzenlast wird von zwei Gaskesseln übernommen.

Installierte Heizleistung:
2 x 1.7 MW

Wärmeabgabe und Aufteilung Heizung/Lüftung

In Korridoren und Nebenräumen erfolgt die Wärmeabgabe durch Radiatoren. Alle übrigen Räume werden direkt über die Jet-Air-Geräte beheizt.

Anlagebeschrieb Lüftung

Lüftungssystem

Systemtyp: 4-Leiter-Induktionsanlage

Bei der installierten Anlage handelt es sich um ein Luft-Wasser-Hochdrucksystem. Die Primärluft wird zentral aufbereitet und anschliessend in die einzelnen Räume transportiert. Zentral wird die Primärluft befeuchtet und (falls nötig) vorgewärmt. Die Erwärmung oder Kühlung der induzierten Sekundärluft erfolgt dann in den Brüstungsgeräten direkt im Raum. Das 4-Leiter-System (2 Leitungen für Heizung; 2 Leitungen für Kühlung) erlaubt das gleichzeitige Heizen und Kühlen von benachbarten Zonen.

Luftmenge:
Primärluft: 39'000 m³/h

Aussenluftanteil der Primärluft:

Normalbetrieb:	100 %
Aufheizen:	0 %

Wärmerückgewinnung

Die Wärmerückgewinnung geschieht zentral. Die gesamte Abluft wird zu diesem Zweck über einen Wärmetauscher geleitet und wärmt dabei die Aussenluft vor.

Die Wärmerückgewinnung wurde erst 1982-83 nachträglich installiert.

Betriebszeiten:
Mo - Fr: 4:00 - 20:00

Auch im Sommer keine Nachtauskühlung

Betriebsstrategie/Regelung

Die Primärluft wird in der Lüftungszentrale auf 12 - 15°C vorgewärmt. Die Heiz- bzw. Kühlbatterien in den Brüstungsgeräten erlauben es, die induzierte Sekundärluft entsprechend der für den Raum gültigen Solltemperatur zu erwärmen oder zu kühlen.

Im Normalbetrieb besteht die Primärluft zu 100 % aus Aussenluft. Im Winter erfolgt die morgendliche Aufheizung sowie das Temperaturhalten nachts und an Wochenenden mit Umluft.

Untersuchte Zone

Raumnutzung, Möblierung

Energiebezugsfläche:
115 m^2

Raumvolumen:
300 m^3

Die nachfolgend beschriebenen Untersuchungen und Messungen beziehen sich auf das Büro, in welchem die Jungprogrammierer ausgebildet werden. Es befindet sich im ersten Obergeschoss des Verbindungstraktes D und ist nach Nordosten orientiert.

Im Raum befinden sich Arbeitsplätze für 11 Personen. Die Möblierung besteht aus Schreib- und Ablagetischen sowie diversen Regalen und Schränken. Jeder Arbeitsplatz ist mit einem Computer-Terminal ausgerüstet.

Raumumschliessungsflächen

k-Wert der Fenster:
3.0 W/m^2K

k-Wert der Fassade:
1.0 W/m^2K

Die Fensterfront besteht aus Holzrahmen mit 2-facher Isolierverglasung mit Sonnenschutzbeschichtung. Die Fenster sind nur mit einem Spezialschlüssel öffenbar. Ein mechanischer Sonnenschutz ist nicht vorhanden.

Die Brüstungselemente bestehen aus einer Leichtbau-Sandwich-Konstruktion mit folgendem Aufbau: Stahlblech, 5 cm Isolation, Eternitplatte (1 cm).

Der massive Fussboden ist überall mit Spannteppich belegt. Die heruntergehängte Decke besteht aus perforierten Stahlblech-Platten. Die Deckenbeleuchtung besteht aus nicht abgedeckten Leuchtstoffröhren.

Belastung der Raumluft

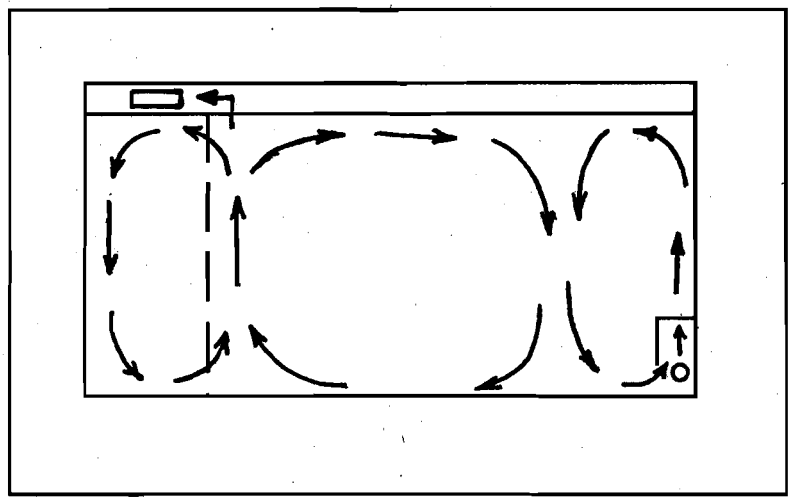
Anzahl Personen:
max. 11

Die Belegungsdichte ist mit min. 20 m^2/P sehr gering. Sie ist darüber hinaus starken Schwankungen unterworfen.

Wegen der Fassadenorientierung sowie der Anordnung der benachbarten Gebäude fällt nie direktes Sonnenlicht in den Raum. Während der Arbeitszeit sind die meisten Geräte in Betrieb.

Luftströmung im Raum

Strömungstyp:
Mischlüftung



Gittertyp Zuluft:
Brüstungsgeräte mit vertikaler Ausblasrichtung

Gittertyp Abluft:
durch Schlitz in der Doppeldecke

Luftmengen:

Primärluft:	505 m³/h
Sekundärluft:	2'015 m³/h
Total:	2'520 m³/h

Luftwechsel:

Aussenluft:	1.7 h^{-1}
Umluft:	6.7 h^{-1}
Total:	8.4 h^{-1}

Aussenluftmenge pro Person:
45 m³/hP

Raumdurchspülung
Die Primärluft gelangt mit Hochdruck in die Brüstungsgeräte, welche sich unter den Fenstern befinden. Die Primärluft tritt durch vertikal nach oben gerichtete Düsen in den Raum ein und induziert einen ca. vier Mal grösseren Sekundärluftstrom aus dem Raum. Diese Sekundärluft streicht im Brüstungsgerät an einem Wärmetauscher vorbei und wird dort den Bedürfnissen entsprechend geheizt oder gekühlt. Da die Sekundärluftmenge wesentlich grösser ist als die Primärluftmenge, wird die Zulufttemperatur vor allem durch die Behandlung der Sekundärluft definiert. Der gesamte Luftstrom steigt den Fenstern entlang zur Decke auf, wird dort umgelenkt und gelangt der Decke entlang in die Raumtiefe. Dadurch entsteht eine grosse Luftwalze.

Effektiv festgestellter Strömungsverlauf
Die sehr grossen Luftmengen führen dazu, dass die Zuluft nicht von der Decke umgeleitet und in die Raumtiefe geführt werden kann. Stattdessen prallt die Luft an der Decke ab und sinkt sofort wieder zu Boden. Dadurch bildet sich im Fensterbereich eine erste Luftwalze mit ca. 2 m Durchmesser.

Durch die abfallende Luft wird dahinter eine weitere Luftwalze induziert, welche bis in den Bereich der Abluftschlitze reicht. Hier würde gemäss Systemprinzip eine Zwischenwand stehen. In der untersuchten Zone wurde diese Wand jedoch entfernt und der dahinterliegende "Korridorbereich" zum Raum geschlagen. In diesem zusätzlichen Bereich entsteht eine dritte Walze, welche kaum noch mit Aussenluft versorgt wird.

Luftgeschwindigkeit, Probleme
Viele Arbeitsplätze befinden sich im Fensterbereich, d.h. im Grenzbereich zwischen primärer und induzierter Luftwalze. Dort, wo sich die Arbeitsplätze direkt im sinkenden Luftstrom befinden, wurde die Luftmenge des betreffenden Brüstungsgerätes zumindest gedrosselt.

Einflussmöglichkeiten der Benützer

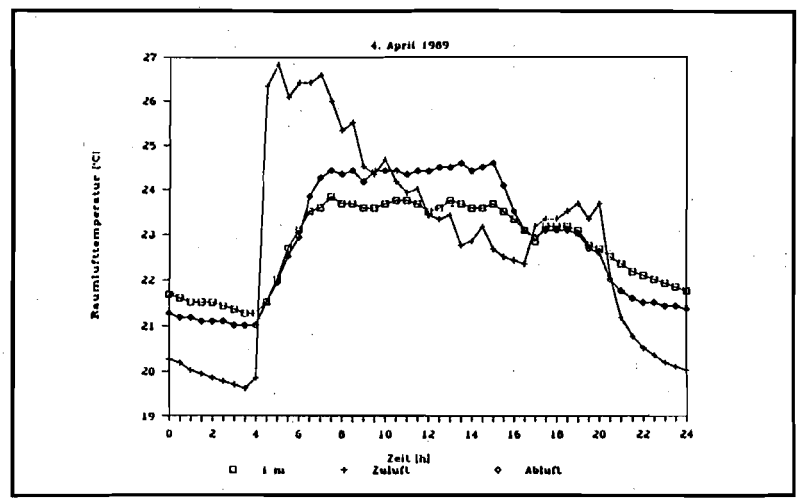
Der Sollwert der Raumlufttemperatur kann in jedem Raum separat eingestellt werden. Wie bereits erwähnt, kann an jedem Brüstungsgerät die Luftmenge manuell reduziert werden. Dies hat allerdings keinen Einfluss auf die zentrale Anlage, so dass das Reduzieren der Luftmenge an einem Gerät an allen andern Geräten eine Erhöhung der Luftmenge zur Folge hat.

Raumklima

Temperaturverlauf

Tagesverlauf der Temperaturen von Raumluft (1 m über Boden), Zuluft und Abluft

Messtag: 4.4.1989



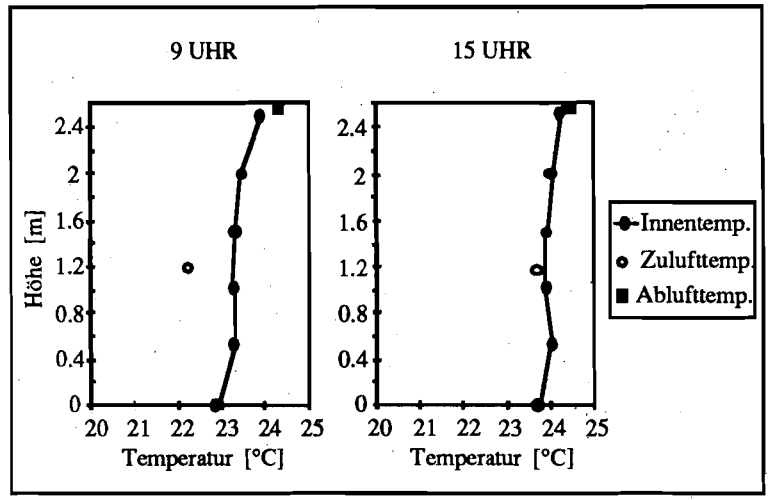
Dem Verlauf der Zulufttemperatur können die Betriebszeiten der Anlage entnommen werden: 4:00 - 20:00. Während der Nacht ist die Anlage ausgeschaltet. Um 4:00 beginnt die Aufheizung des Raumes auf Solltemperatur. Die Zulufttemperatur und die Raumlufttemperatur steigen deshalb rasch an.

Mit steigenden internen Lasten (Personen, Beleuchtung und Geräte) kann die Zulufttemperatur zurückgenommen werden, ohne dass die Raumlufttemperatur sinken würde. Die Raumlufttemperatur bleibt zwischen ca. 8:00 und ca. 15:00 praktisch konstant auf dem Sollwert von 24°C. Nach 15:00 nimmt die Temperaturdifferenz zwischen Zuluft und Abluft deutlich ab und deutet darauf hin, dass die internen Lasten wieder abnehmen. Um ein starkes Absinken der Raumlufttemperatur zu verhindern, muss die Zulufttemperatur entsprechend erhöht werden.

Vertikales Temperaturprofil

Das Temperaturprofil wurde im Bereich der mittleren Luftwalze aufgenommen.

Vertikales Temperaturprofil sowie Zuluft- und Abluft-temperatur



Die geringe Temperaturschichtung deutet darauf hin, dass in diesem Bereich des Raumes eine gute Durchmischung der Raumluft stattfindet.

Luftqualität

Gemessene Parameter:
CO_2, rel. Feuchte, Raumluft-temperatur

Messdatum:
10. Mai 1989 und 11. Mai 1989

Aufgrund der bei der Visualisierung der Luftströmungen festgestellten Strömungsverhältnisse wurde am 10. Mai die Raumluftqualität in zwei Profilen gemessen. Am 11. Mai wurden dann, wie bei den restlichen Fallbeispielen, die raumklimatischen Messungen in einem Profil und in der Abluft durchgeführt.

Vergleich des CO_2-Gehaltes der Raumluft in unterschiedlicher Distanz von den Lufteinlässen

10. Mai 1989
Profil Nr. 1 wurde in der Raummitte und Profil Nr. 2 in der Nähe der Lufteinlässe, ca. 2.5 m von der Fensterfront entfernt aufgenommen. In beiden Profilen wurde der Kohlendioxidgehalt kontinuierlich auf je 1.5 m und 2.0 m Höhe gemessen. Ferner wurden im Profil 1 auf einer Höhe von 1.7 m über dem Boden die relative Raumluftfeuchtigkeit und die Raumlufttemperatur gemessen.

Die Maximalwerte der Kohlendioxidgehalte beider Profile blieben innerhalb des Behaglichkeitsbereiches. Die Median-Werte der gemessenen Kohlendioxidgehalte lagen im Profil Nr. 1 (Raummitte) auf beiden gemessenen Höhen um ca. 40 ppm (8 %) höher als in Profil Nr. 2 (nahe bei den Luftauslässen). Diese Tatsache deutet wie die Visualisierung der Strömungsverhältnisse darauf hin, dass die Aussenluft nicht optimal in die Raumtiefe geführt wird.

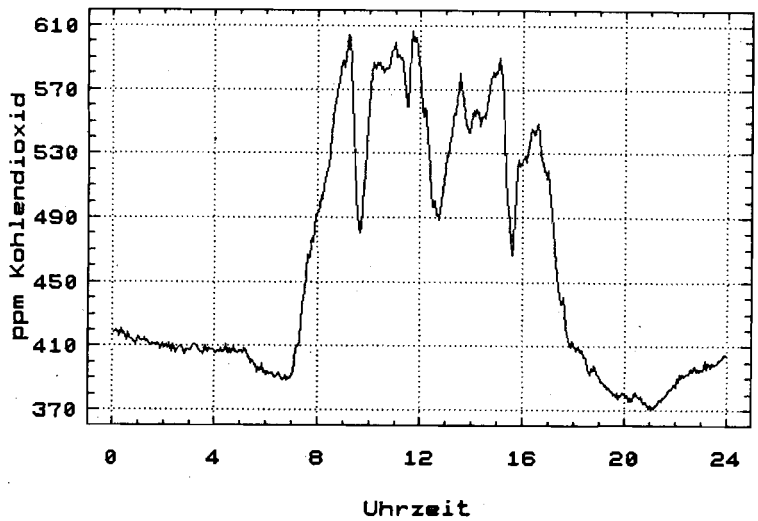
Luftqualität in der Raummitte

11. Mai 1989
In der Mitte des Raumes wurden auf einem Profil folgende Parameter kontinuierlich während 24 Stunden gemessen: Kohlendioxid (1.3 m, 1.8 m, 2.2 m), relative Raumluftfeuchtigkeit und Raumlufttemperatur (je 1.9 m). Ferner wurde der Kohlendioxidgehalt der Abluft ebenfalls kontinuierlich erfasst.

Die Maximalwerte der Kohlendioxidgehalte im gesamten Profil und in der Abluft blieben innerhalb des Behaglichkeitsbereiches. Die Median-Werte liegen zwischen 480 und 550 ppm. Die Momentaufnahmen des Raumprofils zeigen eine deutliche Zunahme des Kohlendioxidgehaltes mit zunehmender Höhe.

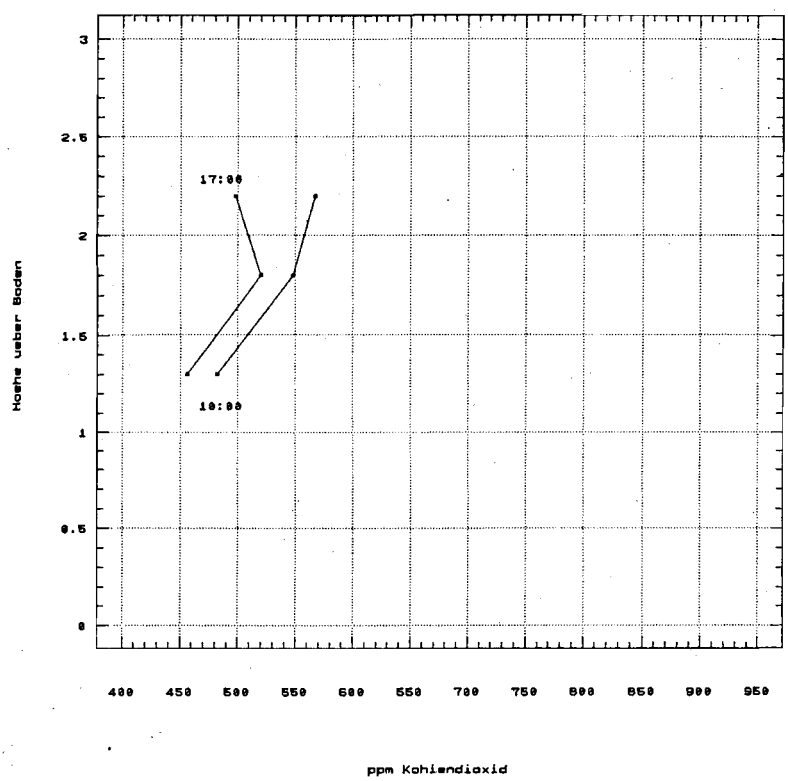
Verlauf der CO_2-Konzentration

Tagesverlauf des Kohlendioxidgehaltes (1.8 m über dem Boden)



Vertikales CO_2-Profil

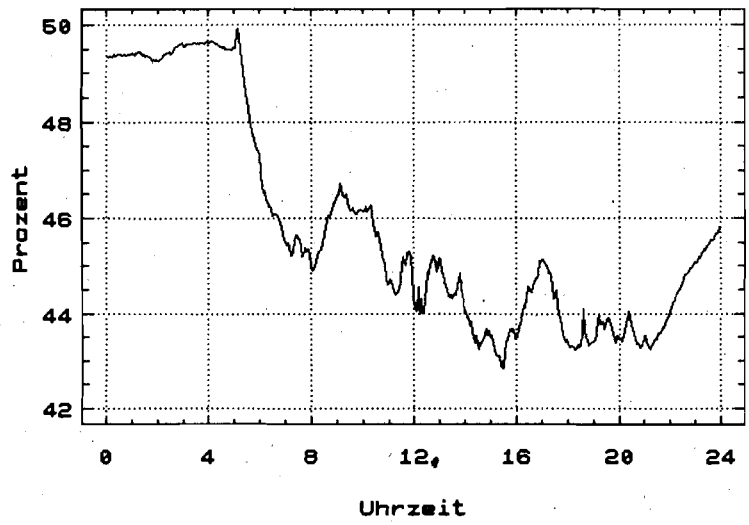
Momentaufnahmen der Kohlendioxidgehalte um 10:00 und um 17:00 Uhr



Relative Luftfeuchtigkeit und Raumlufttemperatur

Die relative Raumluftfeuchtigkeit (Median-Wert 45 %) und die Raumlufttemperatur (Median-Wert 24°C) lagen während der Messzeit ständig innerhalb des Behaglichkeitsbereiches und unterlagen keinen grossen Schwankungen.

Tagesverlauf der relativen Luftfeuchtigkeit (1.9 m über dem Boden)



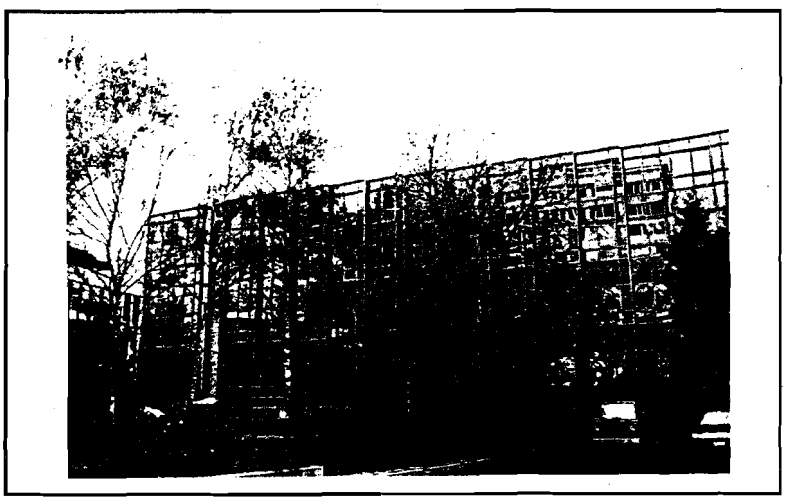
6.2.2 Aargauische Kantonalbank, Wohlen

Adresse:
Bahnhofstrasse
5610 Wohlen

Bauherrschaft:
Aarg. Kantonalbank

Architekt:
Fischer Architekten, Zürich

Anlageplaner:
Gähler & Partner, Ennetbaden
vormals Motor Columbus
Ingenieurunternehmung AG,
Baden



Baujahr:
1979-82

Energiebezugsfläche:
3'665 m²

Enegiekennzahlen (gemäss Angaben Planer):

Wärme:	375 MJ/m²
Elektrizität:	103 MJ/m²

Allgemeiner Objektbeschrieb

Gebäudenutzung

Hauptgebäude:	Büro
	Schalterhalle
Nebengebäude:	Cafeteria
	Wohnungen

Gebäudeform, Bauweise

Das 4-geschossige Bankgebäude weist eine kompakte, quaderförmige Form auf, wobei die Haupfassaden nach Südosten und Nordwesten orientiert sind. Der Eingang befindet sich in einem Vorbau in der Mitte der Südostfassade und führt in eine offene Schalterhalle. In einem anschliessenden Nebengebäude ist eine Cafeteria untergebracht.
Währenddem die Eingangshalle selber rundum normal verglast ist (2-IV), sind der Rest der Südostfassade sowie das Nebengebäude mit hinterlüfteten Granitplatten verkleidet und weisen nur einen geringen Fensteranteil auf (10 - 15 %).
Die Nordwestfassade weist einen Fensteranteil von ca. 50% auf.

Lage und Umgebung

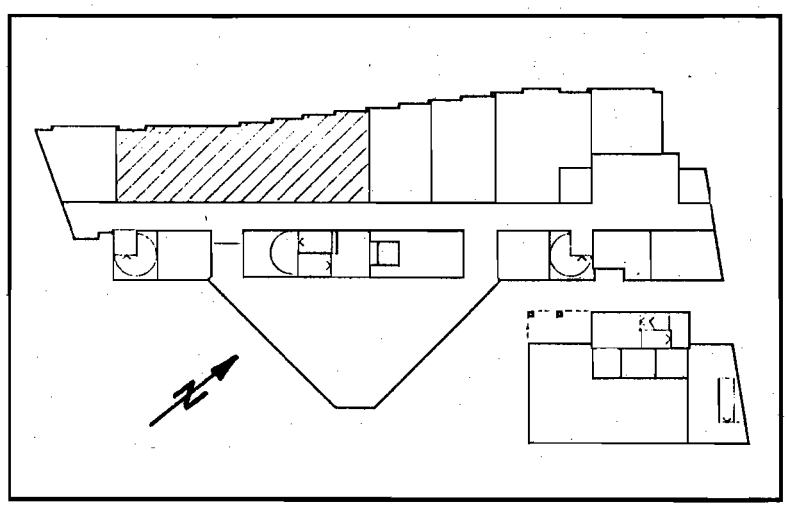
Das Gebäude liegt im Zentrum von Wohlen. Vor der Nordwestfassade liegt ein rundum von mehrstöckigen Gebäuden abgegrenzter Parkplatz.

Übergeordnete Ziele bei der Planung

Mit möglichst geringem Energieaufwand sollte ein behagliches Raumklima erreicht werden. Die Fenster sollten auf jeden Fall öffenbar sein. Ursprünglich wollte die Bauherrschaft gänzlich auf eine Klimatisierung verzichten und lediglich eine Heizung mit Fensterlüftung vorsehen.

Der planende Ingenieur konnte die Bauherrschaft dann aber davon überzeugen, dass eine mechanische Lüftung mit Wärmerückgewinnung energiesparender ist als eine Fensterlüftung. Auf eine konventionelle Kältemaschine sollte aber weiterhin verzichtet werden. Die zunehmende Luftverschmutzung im Raum Wohlen hat die Richtigkeit dieses Entscheides nachträglich bestätigt.

Grundriss des Gebäudes (2. OG) mit untersuchter Zone (schraffiert)



Wärmeversorgung

Wärmeerzeugung

Energieträger:
Öl / Gas

Die für die Beheizung des gesamten Gebäudes benötigte Wärme wird von einem Zweistoff-Brenner bereitgestellt.

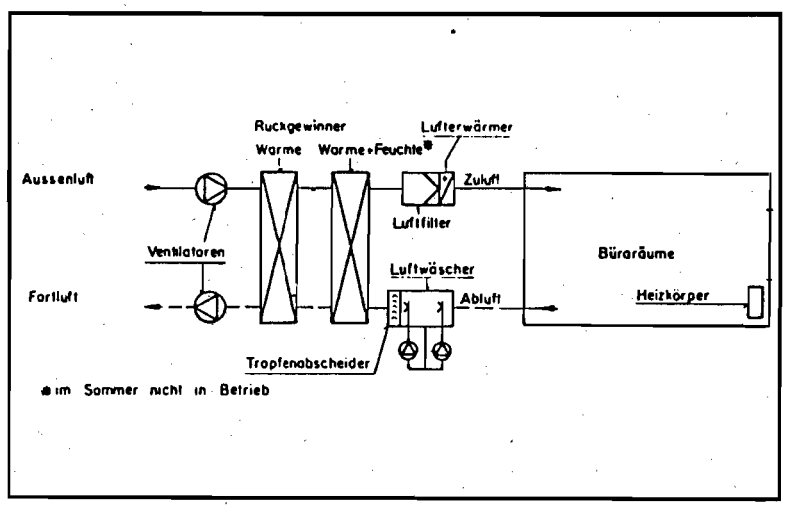
Wärmeabgabe und Aufteilung Heizung/Lüftung

Installierte Heizleistung:
absolut: 175 kW
spezifisch: 48 W/m2

Die in allen beheizten Räumen installierten Radiatoren decken die Grundlast des Gebäudes. Der zeitlich variable Lastanteil wird von der Lüftung übernommen.

Anlagebeschrieb Lüftung

Schema der Lüftungsanlage



Systemtyp:
Niederdruckanlage

Luftmenge:
6'000 m³/h

Aussenluftanteil:
100 %

Betriebszeiten:
Mo, Di, Mi, Fr: 4:00 - 18:00
Do: 4:00 - 19:30
Sommer: Nachtauskühlung

Lüftungssystem
Bei der installierten Anlage handelt es sich um ein Luft-Luft-Niederdrucksystem. Die Zuluft wird zentral aufbereitet und anschliessend in die einzelnen Räume transportiert.
Bei der Luftaufbereitung müssen zwei prinzipiell verschiedene Betriebsfälle unterschieden werden:
- Winter: Heizen und Befeuchten
- Sommer: adiabatische Kühlung

Wärme- und Feuchterückgewinnung
Die Wärme- und Feuchterückgewinnung geschieht durch zwei in Serie installierte rotierende Wärmetauscher. Der eine Rotor überträgt sowohl sensible Wärme als auch Feuchte, währenddem der andere lediglich sensible Wärme transportiert.
Die beiden Rotoren können separat in Betrieb genommen oder gesperrt werden.
Der Luftwäscher befindet sich im Abluftstrom. Die Befeuchtung der Zuluft geschieht über den Feuchterückgewinner.

Betriebsstrategie / Regelung
Die Luftmenge ist für alle Betriebzustände konstant.
Im Winter sind beide Wärmetauscher in Betrieb. Die Zuluft wird somit vorgewärmt und befeuchtet. Falls dies noch nötig ist, wird die Zuluft auf eine konstante Solltemperatur nachgeheizt.
Im Sommerbetrieb wird die Abluft im Luftwäscher adiabatisch gekühlt. Da der Feuchterückgewinner ausser Betrieb ist, wird die Zuluft lediglich gekühlt, ohne dass sie befeuchtet wird. Falls die Aussentemperatur während der Nacht um mehr als ca. 3 °C unter die Raumtemperatur sinkt, erfolgt eine Nachtauskühlung des Gebäudes mit unbehandelter Aussenluft.

Untersuchte Zone

Ausschnitt aus dem Büro für Buchhaltung und Zahlungsverkehr; 2. OG

Energiebezugsfläche:
120 m²

Raumvolumen:
350 m³

Raumnutzung, Möblierung

Die nachfolgend beschriebenen Untersuchungen und Messungen beziehen sich auf das Büro für Buchhaltung und Zahlungsverkehr, das sich im 2. Obergeschoss befindet. Wie praktisch alle Büroräume im Haus ist es nach Nordwesten orientiert.

Im Raum befinden sich Arbeitsplätze für 16 Personen. Die Möblierung besteht aus Schreib- und Ablagetischen sowie diversen Regalen und Schränken. Darüber hinaus berfinden sich noch etliche elektronische Geräte im Raum (Computer-Terminals, Drucker, Kopierer, Telex, etc.).

Raumumschliessungsflächen

k-Wert der Brüstung:
0.4 W/m²K

k-Wert der Fenster:
Verglasung: 1.7 W/m²K
Rahmen: 2.5 W/m²K

Die Fensterfront besteht aus getrennten Metallrahmen mit 2-facher Isolierverglasung mit Sonnenschutzbeschichtung (Infrastop). Ungefähr die Hälfte der Fensterfläche ist öffenbar. Ein mechanischer Sonnenschutz ist nicht vorhanden.

Die Brüstungselemente bestehen aus einer Leichtbau-Sandwich-Konstruktion mit folgendem Aufbau: Stahlblech, 9 cm Mineralwolle, 8 mm beschichtetes Floatglas im gleichen Farbton wie die Fensterverglasung.

Praktisch alle Innenwände sind mit Wandschränken belegt. Der massive Fussboden ist überall mit Spannteppich belegt. Die heruntergehängte Decke besteht aus perforierten Stahlblech-Platten. Die Deckenbeleuchtung aus nicht abgedeckten Leuchtstoffröhren ist in senkrecht zur Fassade verlaufende Bänder aufgeteilt.

Belastung der Raumluft

Anzahl Personen:
12 - 15

Rauchverbot

Thermische Lasten (intern):
35 W/m²

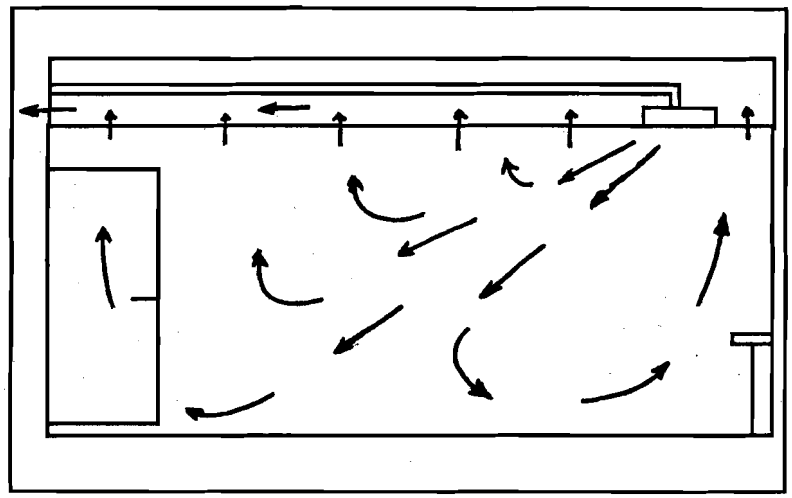
Die Belegungsdichte ist mit 8 - 9 m²/P durchschnittlich. Sie ist nur geringen Schwankungen unterworfen. In allen Räumen herrscht Rauchverbot.

Während der Arbeitszeit sind die Geräte alle in Betrieb (Bildschirme sogar während 24 h/Tag). Die thermischen Lasten betragen im Normalbetrieb ca. 35 W/m². Trotz der Sonnenschutzgläser ist im Sommer gegen Abend mit einer leichten Erwärmung zu rechnen.

Luftströmung im Raum

Strömung im Bereich der Verkehrsflächen

Strömungstyp:
Mischlüftung



Gittertyp Zuluft:
verstellbare Kugelauslässe an der Decke im Fensterbereich

Gittertyp Abluft:
durch Leuchten in die Doppeldecke

Luftmenge:
500 m³/h
35 - 40 m³/hP

Luftwechsel: 1.4 h^{-1}

Raumdurchspülung
Die Zuluft tritt über verstellbare Kugelauslässe, die nach den persönlichen Bedürfnissen der Benützer eingestellt werden können, in den Raum ein. Diese Düsen sind zu zweireihigen Schienen zusammen-gefasst, die ca. 1.5 m vom Fenster in die Doppeldecke eingelassen sind. Im Raum befinden sich 8 solcher Zuluftschienen. Die Luftgeschwindigkeit am Austritt der Düsen beträgt ca. 3 m/s.
Gemäss Empfehlungen des Planers sollte folgende Düseneinstellung gewählt werden:

- Arbeitsplatzbereich
  - 1/3 der Düsen mit einer Neigung von 40 - 50 ° von der Decke weg
  - 2/3 der Düsen parallel zur Decke
- Verkehrsflächen
  - alle Düsen 40 - 50 ° von der Decke weg

Die Abluft gelangt durch Löcher in den Leuchten in die Doppeldecke, wobei Kugelschienen und Leuchten seitlich versetzt sind. Von da wird die Abluft in die Kanäle abgesogen, welche im Korridorbereich verlaufen.

Effektiv festgestellter Strömungsverlauf
Bei einer Düsenstellung wie sie vom Planer empfohlen wird, stellt sich die Luftströmung den Erwartungen entsprechend ein (siehe obenstehende Skizze).
Die eintretende Luft hat eine induzierende Wirkung, welche auch zu einer Raumdurchspülung im Fensterbereich führt.

Luftgeschwindigkeit, Probleme, Klagen
Die Zufriedenheitsrate ist sehr hoch. Gemäss Bauherrschaft treten in diesem Gebäude unterdurchschnittlich wenige Klagen bezüglich Lüftungsanlage auf.

Einflussmöglichkeiten der Benützer
Von der Möglichkeit, die Düsenstellung zu verändern, wurde selten Gebrauch gemacht.
Auf den Betrieb der Anlage (Betriebszeiten, Sollwertein-

stellung, etc.) können die Benützer nicht direkt Einfluss nehmen. Die Regulierung der Anlage erfolgt durch den bauherrenseitigen Anlagebetreuer.
Die Möglichkeit des Fensteröffnens wird sehr geschätzt (Kaffeepause, Mittagspause).

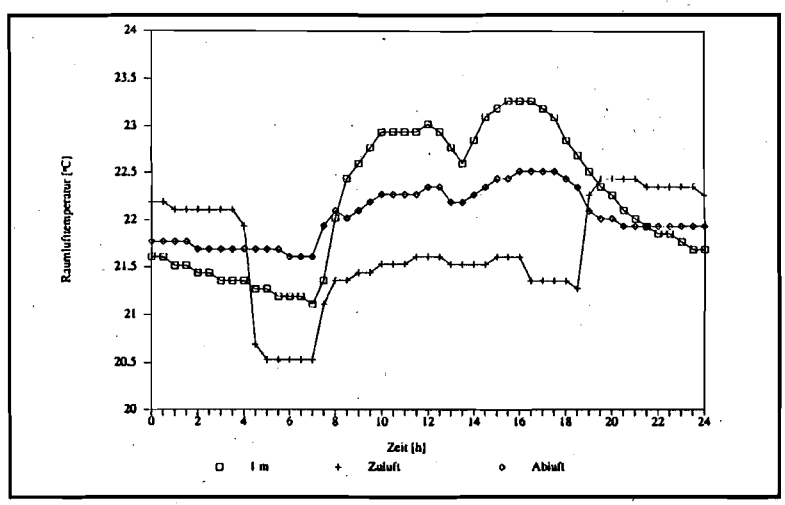
Raumklima

Temperaturverlauf

Tagesverlauf der Temperaturen von Raumluft (1 m über Boden), Zuluft und Abluft

Messtag: 19.4.1989

Max. Aussentemperatur am Messtag: 16 °C

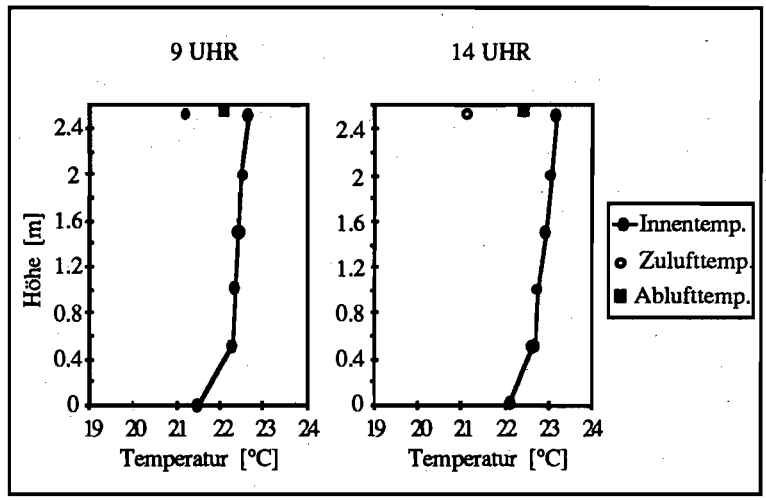


Der Verlauf der Zulufttemperatur gibt sehr klar Auskunft über die Betriebsweise der Anlage. Die Anlage ist zwischen 4:00 und 19:30 (verlängerte Schalteröffnungszeit!) in Betrieb. Während der Nacht ist die Anlage ausgeschaltet. Die Zulufttemperatur bleibt zwischen 8:00 und 19:00 ungefähr auf dem Sollwert von 21 °C.
Die Raumlufttemperatur steigt bereits kurz nach Arbeitsbeginn aufgrund der internen Lasten an. Gut sichtbar sind die Fensteröffnungen (wie z.B. über Mittag).
Die Ablufttemperatur folgt qualitativ der Raumtemperatur. Sie bleibt jedoch während der Betriebszeit immer darunter. Aufgrund der Temperaturschichtung und dem Absaugen der Abluft an der Decke sollte die Ablufttemperatur erwartungsgemäss mindestens gleichhoch wie die Raumlufttemperatur sein (siehe auch nachfolgende Temperaturprofile). Die tiefere Ablufttemperatur lässt sich möglicherweise durch die Abkühlung der Abluft im Zwischendeckenbereich erklären (thermische Masse der Betondeceke).

Vertikales Temperaturprofil

Das Temperaturprofil wurde im dem Teil des Raumes aufgenommen, wo die Zuluftdüsen gemäss den Angaben des Planers eingestellt waren.

Vertikales Temperaturprofil sowie Zuluft- und Abluft-temperatur



Es kann nur eine geringe Temperaturschichtung festgestellt werden. Die etwas tiefere Temperatur im Bodenbereich könnte darauf zurückzuführen sein, dass sich die unterste Sonde im Bereich des Zuluftstromes befand.
Die geringe Temperaturschichtung deutet darauf hin, dass in diesem Bereich des Raumes eine gute Durchmischung der Raumluft stattfindet.

Luftqualität

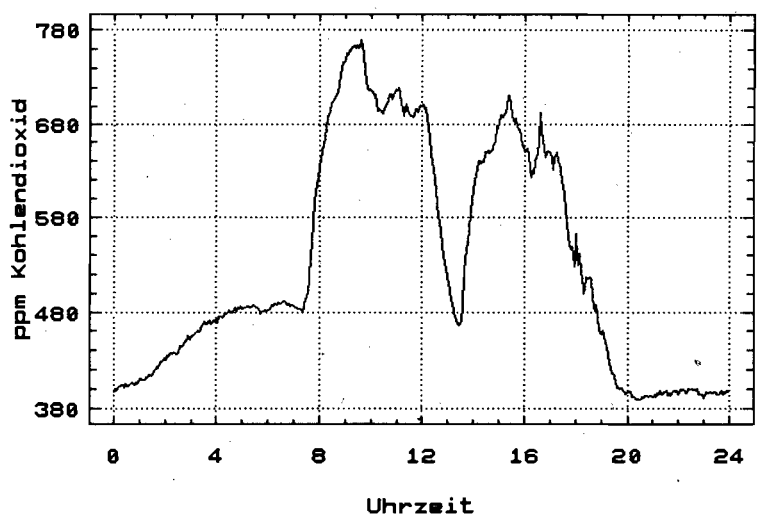
Gemessene Parameter: CO_2, rel. Feuchte, Raumluft-temperatur

In der Mitte des Raumes wurden auf einem Profil folgende Parameter kontinuierlich während 24 Stunden gemessen: Kohlendioxid (1.4 m, 2.0 m, 2.7 m), relative Raumluft-feuchtigkeit und Raumlufttemperatur (je 1.9 m). Ferner wurde der Kohlendioxidgehalt der Abluft ebenfalls kontinuierlich erfasst.

Verlauf der CO_2-Konzentration

Tagesverlauf des Kohlen-dioxidgehaltes (1.4 m über dem Boden)

Messdatum: 19. Mai 1989

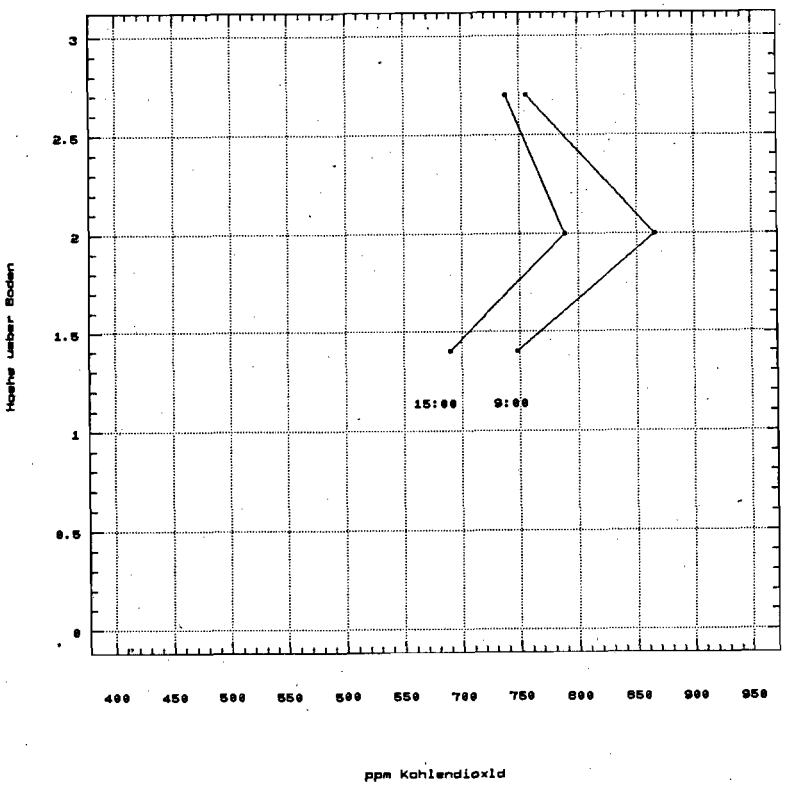


Anzahl anwesende Personen während der Messung:
12 - 15 Personen, sitzende Tätigkeit

Die Maximalwerte der Kohlendioxidgehalte im gesamten Profil und in der Abluft blieben innerhalb des Behaglichkeitsbereiches. Die Median-Werte lagen zwischen 770 und 900 ppm.

Vertikales CO_2-Profil

Momentaufnahmen der Kohlendioxidgehalte um 9:00 und um 15:00 Uhr

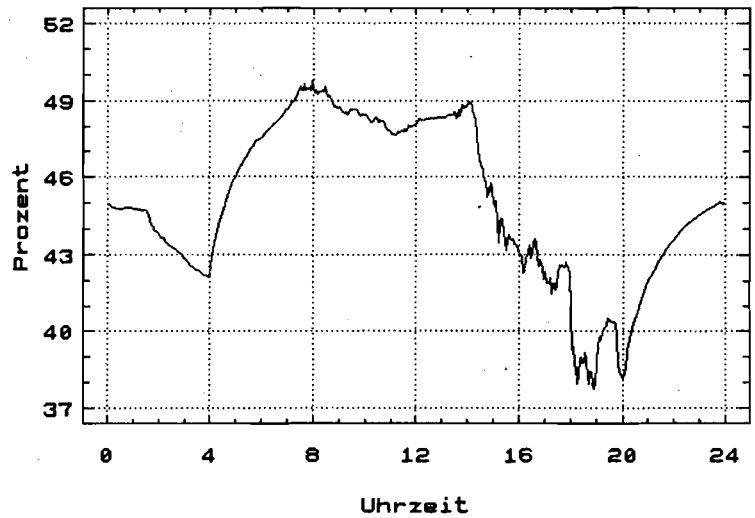


Die Momentaufnahmen des Raumprofils zeigen eine deutliche Zunahme des Kohlendioxidgehaltes auf 2 m Höhe. Die Konzentrationen verbleiben aber auch in dieser Raumhöhe innerhalb des Behaglichkeitsbereiches.

Relative Luftfeuchtigkeit und Raumlufttemperatur

Die relative Raumluftfeuchtigkeit (Median-Wert 48%) und die Raumlufttemperatur (Median-Wert 24 °C) lagen während der Messzeit ständig innerhalb des Behaglichkeitsbereiches. Die Raumlufttemperatur stieg im Laufe des Arbeitstages kontinuierlich an, folgte somit dem Anstieg der Aussenlufttemperatur während des Tages und wurde ausserdem sicherlich durch die Abwärme der elektronischen Geräte im Raume mitbeeinflusst.

Tagesverlauf der relativen Luftfeuchtigkeit (1.8 m über dem Boden)



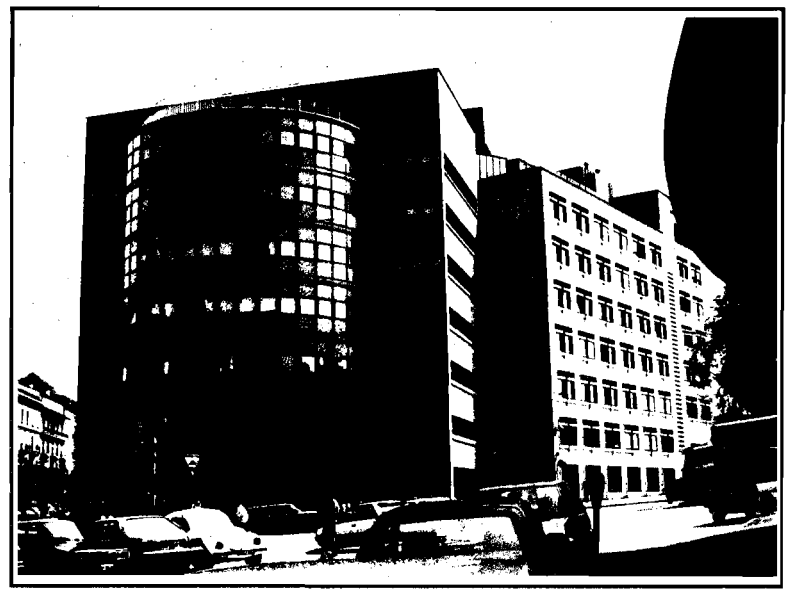
6.2.3 Banque de l'Etat de Fribourg (BEF)

Adresse:
Bd. de Perolles 1-3
Fribourg

Bauherrschaft:
BEF

Architekt:
Mario Botta, Lugano
G. Schaller und C. Schröter,
Fribourg

Lüftungsanlageplaner:
Ing. Büro P. Chuard,
Fribourg



Baujahr:
1981

Energiebezugsfläche:
15'000 m²

Allgemeiner Objektbeschrieb

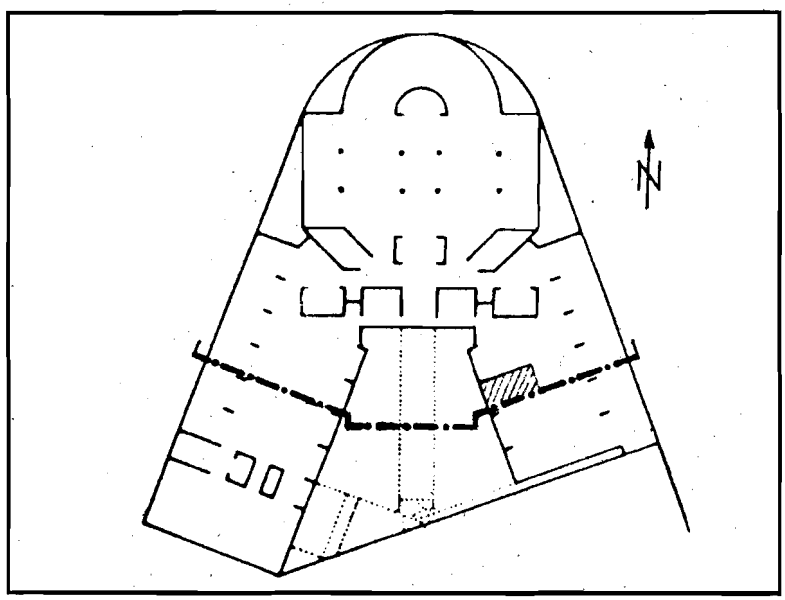
Gebäudenutzung:
Büro
Schalterhalle
Restaurant
Dancing

Gebäudeform, Bauweise
Das Gebäude besteht aus einem rechteckigen Gebäudetrakt, dem ein halbkreisförmige Vorbau angegliedert ist (nordseitig). Hinter diesem Haupttrakt verlaufen zwei Flügeltrakte parallel zu den beiden Strassen. Der Vorbau besitzt einer belüftete Fensterfassade (dreifaches Isolierglas mit Alurahmen). Die übrigen Fassaden können als schwere Bauweise bezeichnet werden: Beton armiert, 8 cm Isolation und zum Teil aussen mit Granitplatten verkleidet. Ungefähr 30 Prozent dieser Fassaden bestehen aus Fenstern (ebenfalls dreifach verglast) die alle geöffnet werden können.
Das Gebäude besteht aus 6 Ober- sowie aus 4 Untergeschossen (Dancing, Parking usw.).
Der vordere Gebäudeteil inklusive Vorbau ist vollklimatisiert. Die beiden Flügeltrakte sind hingegen nur mechanisch belüftet (nur Heizung und Befeuchtung). In diesem Teil wurden auch unsere Versuche gemacht.

Lage und Umgebung
Das Gebäude liegt mitten in der Stadt Fribourg, im Bereich zweier V-förmig zusammenkommenden Strassen. Die Lärmemissionen sind relativ hoch. Aus diesem Grund kam auch die Dreifachverglasung und eine mechanische Lüftung zur Anwendung.

Übergeordnete Ziele bei der Planung
Von Anfang an wurde grosses Gewicht auf einen möglichst geringen Energieverbrauch gelegt. Deshalb wurde bereits vor der Planung eine Studie betreffend Isolation, Wärme- und Kälteproduktion gemacht. Selbstverständlich (für Banken) war auch die Gewährleistung eines hohen Komfortes sehr wichtig. Bezüglich der Wahl eines Lüftungssystems spielte die Einfachheit (bezüglich Unterhalt etc.) des gewählten Systems eine grosse Rolle.

Grundriss des Gebäudes mit untersuchter Zone



Wärmeversorgung

Wärmeerzeugung und -verteilung

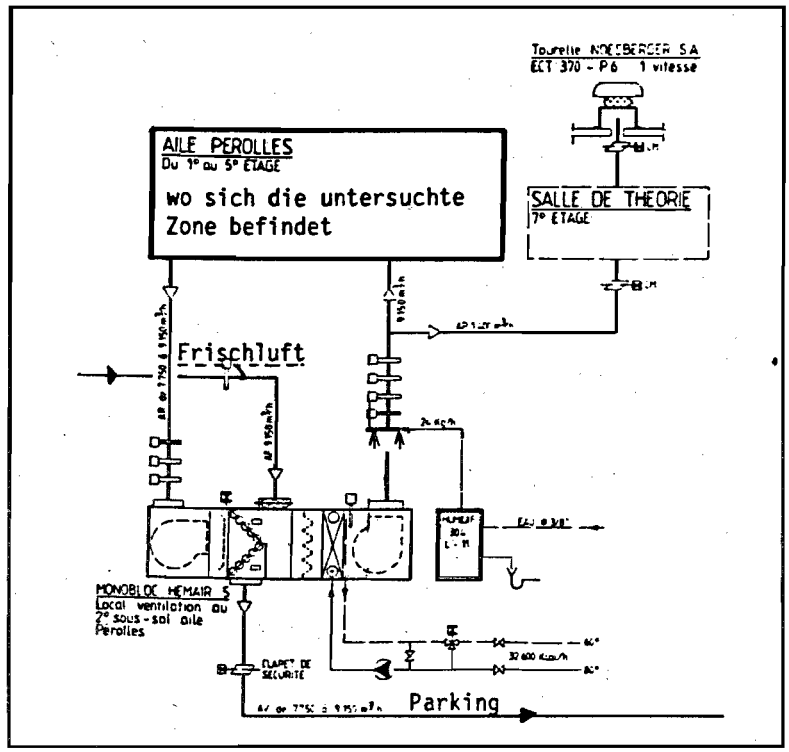
Energieträger:
Erdöl

Leistung der Heizkessel:
Total 2.7 MW

Zwei Heizkessel von ungefähr je 1.3 MW erzeugen die Wärme für das ganze Gebäude. Der Wärmebedarf kann auch im Winter fast vollständig von einem Kessel abgedeckt werden. Der zweite Kessel dient als Spitzenlastdeckung sowie als Notreserve.
Das Leitungsnetz für die Lüftung ist auf Temperaturen von 80°C/60°C ausgelegt..

Wärmeabgabe und Aufteilung Heizung/Lüftung
In jedem Büro wird hauptsächlich mit den Konvektoren geheizt. Die durch die mechanische Lüftung eingeblasene Luft wird mit Hilfe der Abluft vorgeheizt (Wärmerückgewinnung) und durch das Heizungsnetz auf die erforderliche Temperatur gebracht.

Anlagebeschrieb Lüftung



Systemtyp:
Niederdruckanlage

Luftmenge für Flügeltrakt "Perolles":
ursprünglich: 9'000m³/h
heute: ca. 6'000m³/h

Aussenluftanteil:
100%

Betriebszeit:
06:00 - 22:00 Uhr

Lüftungssystem

Das Lüftungssystem ist ein Luft-Luft Niederdrucksystem. Das Gebäude ist in mehrere Zonen aufgeteilt. Die Luftmenge kann zweistufig reguliert werden (100% und ca. 80% der Nominalluftmenge). Im Betrieb wurde die Luftmenge gegenüber den Planungsunterlagen um ca. 1/3 reduziert. In den beiden Flügeltrakten "Perolles" und "Arsenaux" wird die Luft erwärmt und befeuchtet, nicht aber gekühlt.

Wärmerückgewinnung

Mit der Abluft wird die Aussenluft über eine Wasser-Glykol-Batterie vorgewärmt. Die abgekühlte Abluft wird anschliessend zur Lüftung des Parkings verwendet.

Untersuchte Zone

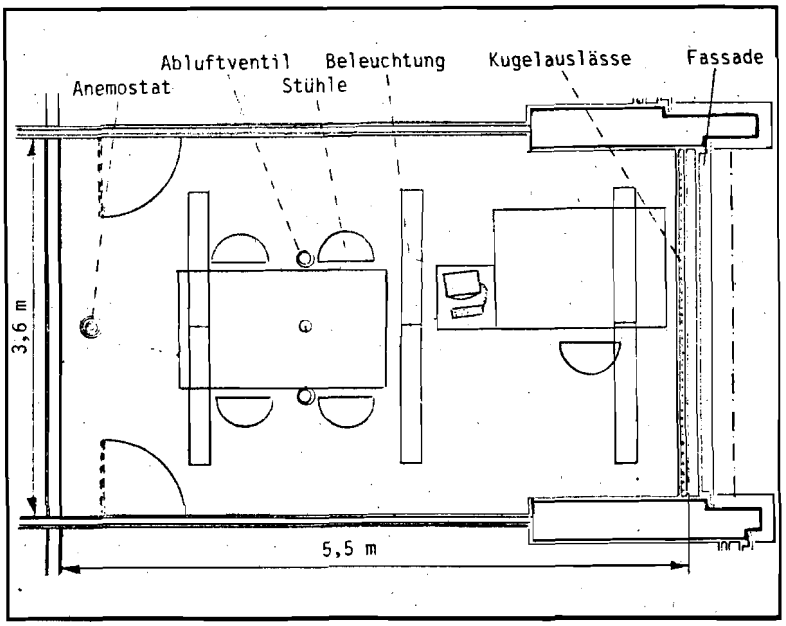
Energiebezugsfläche:
20 m²

Raumvolumen:
53 m³

Raumnutzung, Möblierung

Die untersuchte Zone betrifft ein Büro für ein bis zwei Personen. Die geometrischen Abmessungen betragen: 3.6 m x 5.5 m x 2.6 m Höhe. Ein Büro dieses Grundrisses ist in allen Stockwerken zu finden. Je nach Abteilung sind pro Raum 1-2 Bildschirme installiert.
Die Möblierung ist wie in den meisten Büros: 2 Pulte, einige Büchergestelle und Wandkästen, ein Konferenztisch für max. 4 Personen.

Grundriss des untersuchten Büros



Raumumschliessungsflächen
Die Innenwände sind vorfabrizierte Gipswände (Gips-Isolation-Gips) von 8 cm Dicke (Typ Hausermann). Die Fenster sind 3-fach verglast (Lärm) und können durchwegs geöffnet werden. Als Sonnenschutz dienen manuell zu betätigende, aussenliegende Lamellenstoren.
Der Fussboden ist überall mit Spannteppich belegt. Die heruntergehängte Decke (Doppeldecke) ist luftdicht ausgeführt (Gips, glatt).
Die künstliche Beleuchtung besteht aus drei gleichmässig verteilten Doppelreihen von Fluoreszenzröhren.

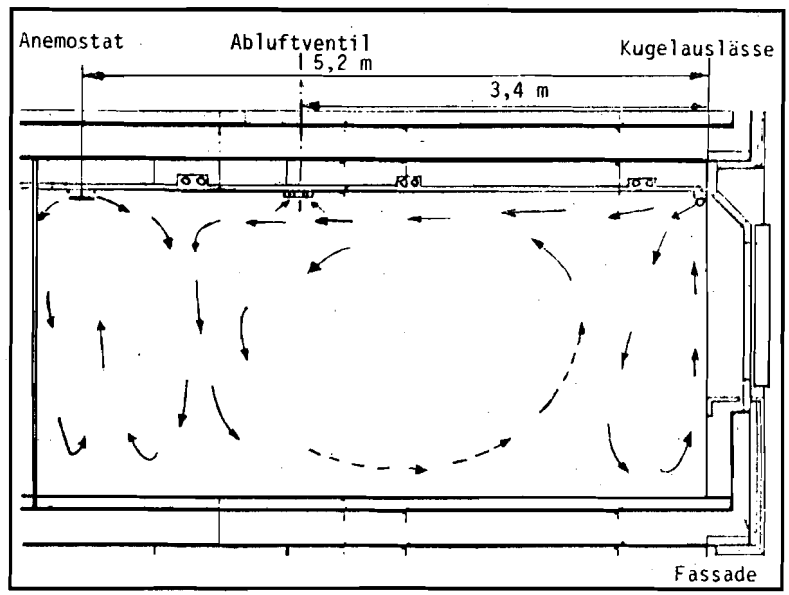
Anzahl Personen:
1-2

Interne thermische Lasten:
max. 40 W/m2

Belastung der Raumluft
Die inneren thermischen Lasten sind bei Normalbesetzung (eine Person) relativ tief (ca 25 W/m2). Bei starker Sonneneinstrahlung und/oder bei grösserer Personenpräsenz (Sitzungen) steigt die Raumlufttemperatur hingegen an. In diesem Fall werden die Fenster meist geöffnet. Probleme bezüglich Raumluft-qualität gibt es keine (siehe CO_2-Messungen).

Luftströmung im Raum

Strömungstyp:
Mischlüftung



Gittertyp Zuluft:
a) verstellbare Kugelauslässe über den Fenstern
b) zusätzlich Anemostat bei tiefen Räumen

Gitteryp Abluft:
Abluftventil

Luftmenge:
ca. 90 m³/h
ca. 45m³/Person

Luftwechsel:
ca 1.8 h^{-1}

Raumdurchspülung
Die verstellbaren Kugelauslässe sind oberhalb der ganzen Fensterfassade installiert. Sie sind bezüglich der Decke auf ca. 40° eingestellt. In etwa 4 m Entfernung befinden sich die in der Decke eingebauten Abluftauslässe. Da das untersuchte Büro eine grössere Raumtiefe aufweist als die meisten anderen Büros dieses Gebäudes, wurde nahe an der Innenwand noch ein Anemostat (zusätzliche Zuluft) installiert. Dies bewirkt eine bessere Luftdurch-spülung im hinteren Teil des Raumes.

Effektiv festgestellter Strömungsverlauf
Je nach Temperaturdifferenz zwischen Zuluft und Raumluft fällt ein grösserer oder kleinerer Anteil der über die Kugelauslässe eingebrachte Zuluft direkt Richtung Boden. Bei isothermen Verhältnissen fiel sehr wenig Luft direkt zu Boden. Wenn die Zuluft um ca. 2-3 K kälter ist als die Raumluft bildet sich in Fensternähe bereits eine erste kleine Walze. Diese Luft ereicht die Kopfhöhe einer sitzenden Person bereits in 1 -1.5 m Distanz vom Fenster (typischer Ort, wo Schreibtische aufgestellt sind). Aufgrund dieses Phänomens mussten auch die Zuluftmengen reduziert werden.
Der nicht sofort absinkende Rest der Zuluft bewegt sich der Decke entlang und löst sich erst, wenn sie auf die hinten eingeblasene Zuluft aufprallt (ungefähr auf der Höhe der hintersten Lampenreihe). Dort sinkt die Luft senkrecht nach unten und formt eine Walze im mittleren Raumbereich. Aufgrund des kleinen Luftwechsels war dies in den Rauchversuchen praktisch nicht mehr sichtbar. Im hintersten Bereich des Raumes formt sich nochmals eine kleine Walze (siehe obenstehende Skizze).

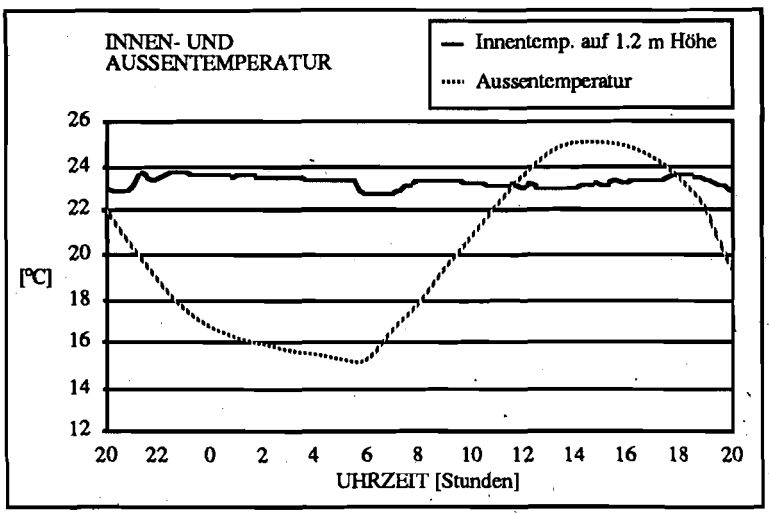
Luftgeschwindigkeit, Probleme, Klagen
Dank der Reduktion der Luftmenge sind die Luftgeschwindigkeiten in einer gewissen Distanz des Luftaustrittes sehr gering. Auch die Rauchversuche haben gezeigt, dass sich die Luft nur sehr langsam im Raum bewegt. So wie die Lüftungsanlage heute eingestellt ist, gibt sie zu keinen Klagen der Benützer mehr Anlass. Die knapp ausgelegte Zuluftmenge hat zur Konsequenz, dass die Wärmeabfuhr während den Sommermonaten nicht mehr genügt. Unsere Beobachtungen haben ergeben, dass während dieser Zeit viele Fenster offen sind. Der zusätzliche Lärm scheint als kleineres Übel akzeptiert zu werden.

Einflussmöglichkeiten der Benützer
Die Einblasrichtung kann dank den Kugelauslässen verstellt werden. Diese Auslässe sind in der ursprünglichen Einstellung anzutreffen.
Wie bereits erwähnt, ist es in allen Büros möglich, die Fenster zu öffnen. Davon wird vorallem im Sommer Gebrauch gemacht.
Auf die Lüftungsanlage selbst (Luftmenge etc.) hat der Benützer aber keinen direkten Einfluss.

Thermische Verhältnisse

Temperaturverlauf

Tagesverlauf der Temperaturen von Raumluft (1.2 m über Boden) sowie Aussenluft

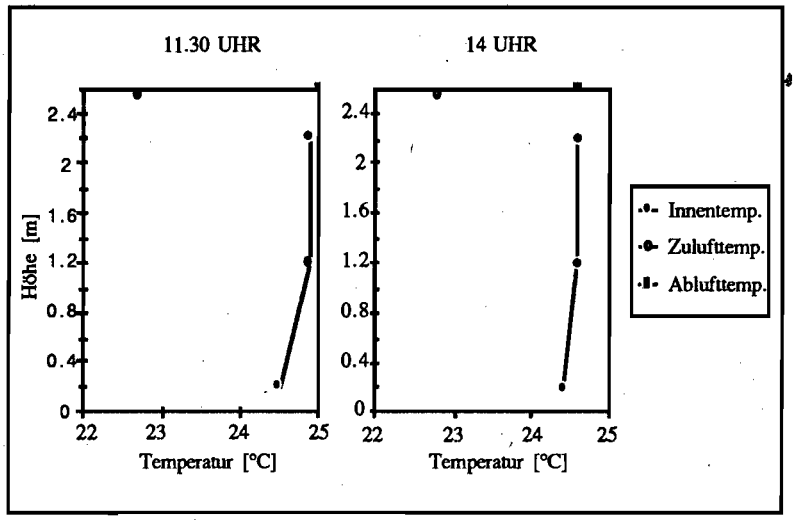


Sollwert der Raumlufttemperatur während der Betriebszeit:
20-24°C = f(Saison)
gemessen: 23-24 °C

Die Raumlufttemperatur bewegt sich während den gemessenen 24 Stunden (Ende Mai) zwischen 23 und 24 °C. Am Morgen steigt die Temperatur relativ schnell an, da das Büro auf der Ostseite liegt. Dieser Anstieg wäre noch stärker ausgefallen, wenn nicht die Fenster geöffnet worden wären. Die Lüftungsanlage wird nachts abgestellt und es findet keine richtige Nachtabsenkung der Raumlufttemperatur statt.

Vertikales Temperaturprofil

Vertikales Temperaturprofil sowie Zuluft und Abluft-temperatur



Temperaturdifferenz Decke-Boden:
maximal: 1 K
meist: 0.2 - 0.5 K

Wie die obenstehenden Graphiken zeigen, ist keine richtige Temperaturschichtung festzustellen. Der Temperaturunterschied zwischen Decke und Boden liegt meist zwischen 0.2 und 0.5 K. Das Temperaturprofil wurde ungefähr in der Mitte des Raumes gemessen, also dort, wo gemäss den Rauchversuchen der grösste Temperaturunterschied sein sollte (in der Mitte der grossen Walze). Trotz des reduzierten Luftwechsels findet also eine gute Durchmischung der Raumluft statt.

Luftqualität

Gemessene Parameter:
CO_2, rel. Feuchte, Raumlufttemperatur

In der Mitte des Raumes wurden auf einem Profil folgende Parameter kontinuierlich während 24 Stunden gemessen: Kohlendioxid (1.3 m, 1.8 m, 2.3 m), relative Raumluftfeuchtigkeit und Raumlufttemperatur (je 1.8 m). Ferner wurde der Kohlendioxidgehalt der Abluft bzw. der Zuluft ebenfalls kontinuierlich bzw. durch eine Stichprobe erfasst.

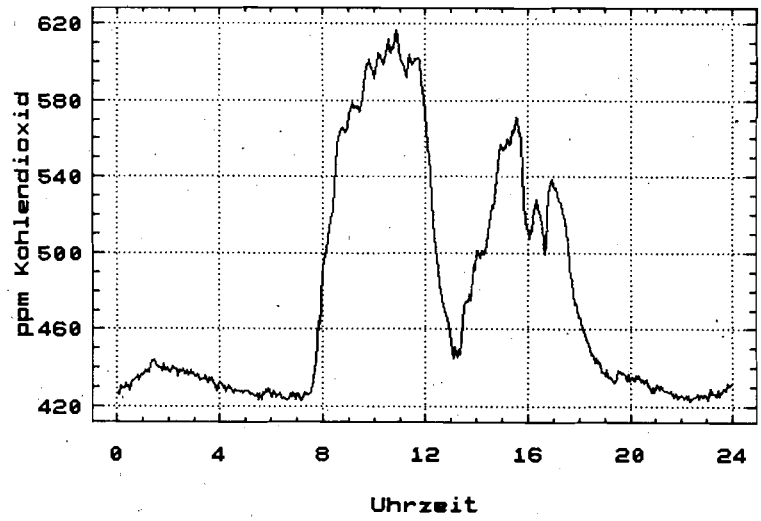
Verlauf der CO_2-Konzentration

Anzahl anwesende Personen während der Messung:
2 Personen, sitzende Tätigkeit

Die Maximalwerte der Kohlendioxidgehalte im gesamten Profil und in der Abluft stiegen nie über 670 ppm. Dies kann zum Teil damit erklärt werden, dass die Raumbenutzer die Fenster oft während längerer Zeit geöffnet hielten. Die Median-Werte bewegen sich für das gesamte Profil zwischen 480 und 530 ppm und für die Abluft 500 ppm.

Tagesverlauf des Kohlendioxidgehaltes (1.3 m über dem Boden)

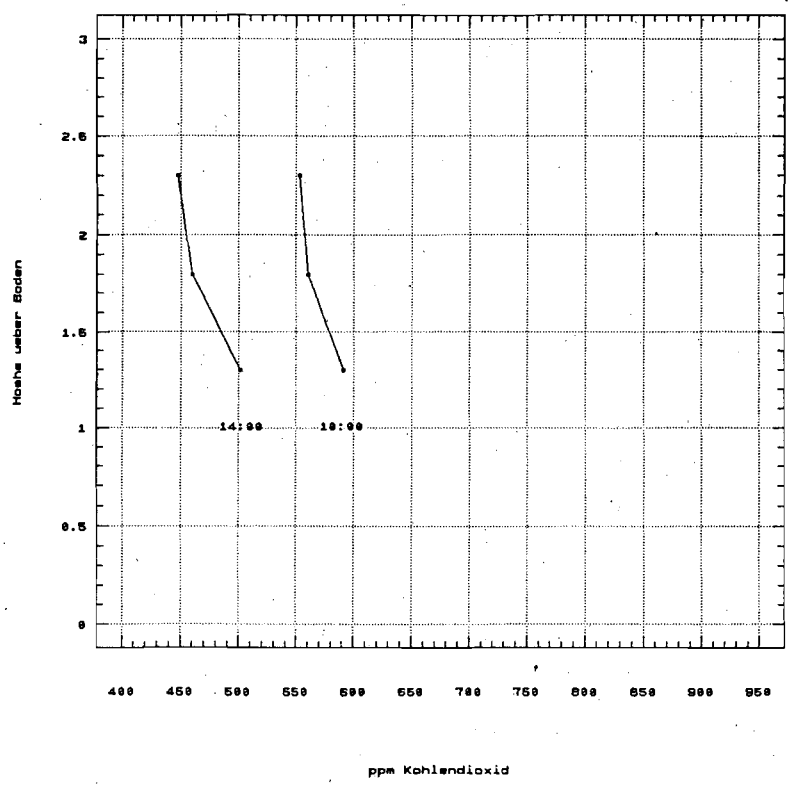
Messdatum: 8. Juni 1989



Vertikales CO_2-Profil

Wie die zwei Momentaufnahmen des Kohlendioxidgehaltes zeigen, ist der Kohlendioxidgehalt innerhalb des Profils auf 1.3 m Höhe (Kopfhöhe bei sitzender Tätigkeit) jeweils am höchsten und nimmt nach oben ab (Differenz: ca. 50 ppm).

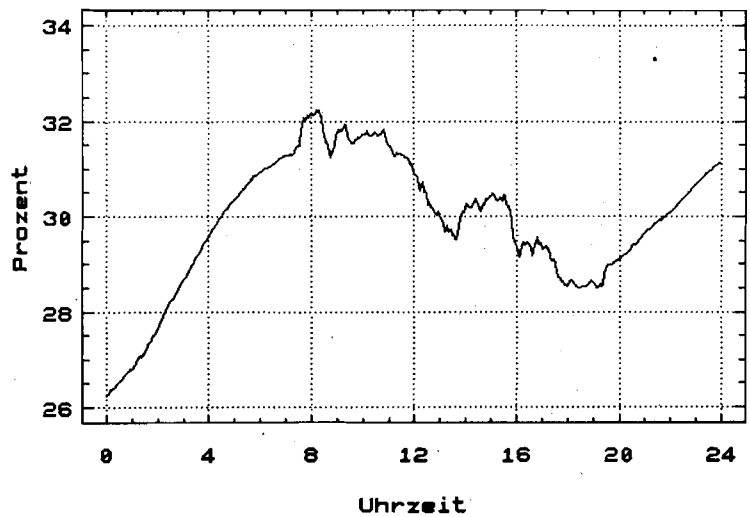
Momentaufnahmen der Kohlendioxidgehalte um 9:00 und um 15:00 Uhr



Relative Luftfeuchtigkeit und Raumlufttemperatur

Die relative Raumluftfeuchtigkeit unterschritt zeitweise die untere Behaglichkeitsgrenze. Da es sich aber einerseits nur um kurzzeitige und minime Unterschreitungen handelte (Median: 30.5%) und andererseits die relative Aussenluftfeuchtigkeit am Nachmittag ebenfalls niedrige Werte aufwies, sollte diesem Umstand nicht zuviel Beachtung zukommen. Die relativ niedrigen Feuchtigkeitswerte der Raumluft können ebenfalls durch die Erwärmung der Aussenluft auf Raumtemperatur entstehen, wenn die Luft nicht zusätzlich befeuchtet wird.

Tagesverlauf der relativen Luftfeuchtigkeit (1.8 m über dem Boden)



Die Raumlufttemperaturen lagen innerhalb des Behaglichkeitsbereiches (Median: 23 °C).

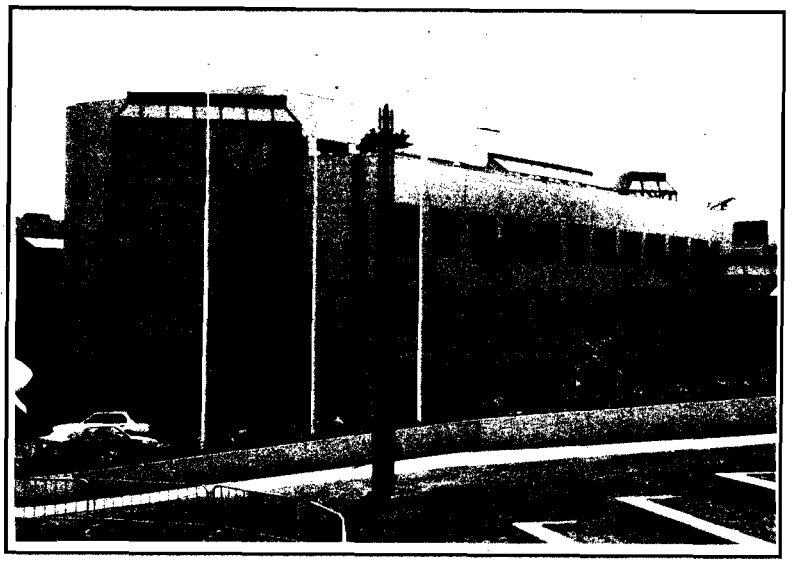
6.2.4 Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, 2. Etappe

Adresse:
EPFL
Dep. Elektrotechnik
Gebäude B
Ecublens (VD)

Bauherr:
Amt für Bundesbauten
Bureau pour l'EPF Lausanne

Architekt:
Bernard Vouga &
Réalisations scolaires et sportives (VRS),
Prilly (VD)

Anlageplaner:
Bureau P. Chuard,
Lausanne



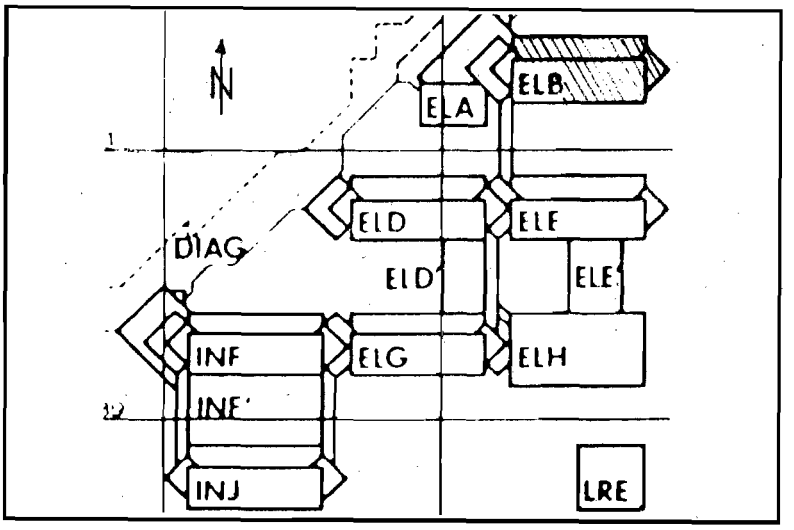
Allgemeiner Objektbeschrieb

Baujahr:
1986

Energiebezugsfläche:
3'600 m²

Gebäudenutzung:
Büro
Laboratorium
Seminarräume
u.a.

Grundriss des Gebäudekomplexes der Elektrotechnikabteilung mit dem untersuchten Gebäude (ELB)



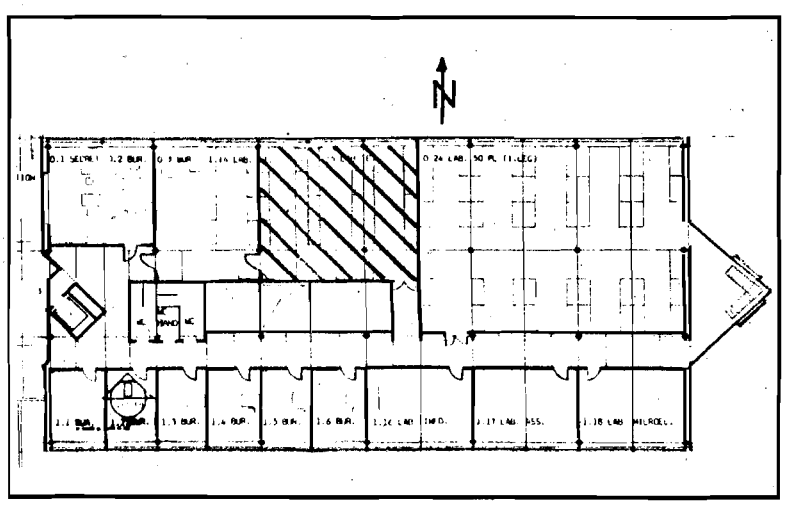
Gebäudeform, Bauweise
Das Gebäude ELB gehört zu einem Gebäudekomplex von 8 Bauten, die bis auf zwei Gebäude (ELA und ELH) ähnliche Grundrisse haben. Der Grundriss des Gebäudes ist ungefähr rechteckig, wobei es auf der Westseite mit den andern Bauten verbunden ist. Auf der Südseite des dreistöckigen

Gebäudes befinden sich mehrheitlich Büros, während auf der Nordseite meist Labors anzutreffen sind.
Die Fassade ist gut isoliert und kann als schwere Bauweise eingestuft werden. Die mittlere Wärmedurchgangszahl k beträgt 0.5 W/m²K (inkl. Fenster). Der Fensteranteil liegt etwas unter 50 %. Die Fenster sind doppelverglast (Klimaplus) und weisen einem k-Wert von k = 1.6 W/m² auf. Etwa ein Viertel der Fenster sind öffenbar. Als Sonnenschutz dienen auf der Südseite aussen montierte Lamellenstoren, die manuell betätigt werden.
Während die Büros natürlich belüftet sind, sind alle Labos und Seminarräume mechanisch belüftet. Die Aussenluftzufuhr ist dort temperiert (ca. 20 °C). Zusätzlich zur Lüftungsanlage sind Brüstungsgeräte installiert (getrenntes System), die bei grossem Wärmelastanfall eingeschaltet werden können. In einem solchen Labor wurden auch unsere Messungen gemacht, siehe Plan des Gebäudes.

Lage und Umgebung
Der Gebäudekomplex der EPFL liegt etwa 6 km ausserhalb des Stadtzentrums von Lausanne. Die Lage kann allgemein als ruhig bezeichnet werden. Die Schadstoffimissionen können als mittel eingestuft werden (Autobahn, Kantonsstrasse und einige Industrieunternehmen in nicht allzugrosser Distanz).

Übergeordnete Ziele bei der Planung
In Bezug auf Energieverbrauch sollte die zweite Etappe gegenüber der ersten nochmals verbessert werden. Auch die passive Sonnenenergie wurde in die Konzepte einbezogen. Es wurde ein Mandat für ein Energiekonzept vergeben. Was die Lüftung betrifft, wurde auf eine Klimatisierung der Büros verzichtet. Es wurden verschiedene Lüftungskonzepte miteinander verglichen und es wurde ein Prototyp gebaut, um die Luftführung im Raum zu testen. Das Hauptziel war dabei ein niedriger Energieverbrauch bei einer sehr grossen Flexibilität (vorallem was die sehr unterschiedlichen Wärmelasten betrifft).

Grundriss des Gebäudes mit untersuchter Zone



Wärmeversorgung

Wärmeerzeugung und -verteilung

Energieträger:
Gas, Heizöl, Elektrizität

installierte Heizleistung:
7 MW für ganze EPFL

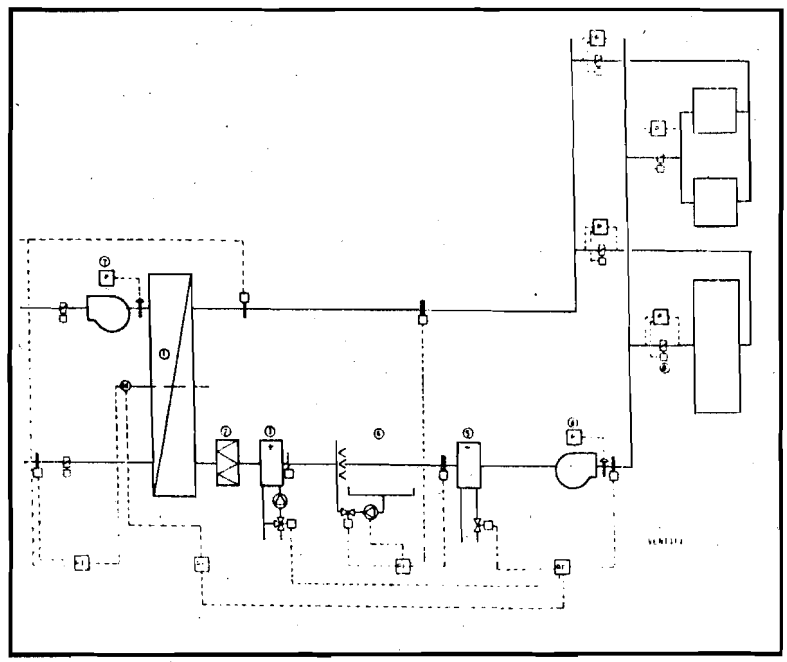
Die Heizung des untersuchten Gebäudes ist an das EPFL-interne Fernwärmenetz angeschlossen. Die Wärme wird durch ein Blockheizkraftwerk (Wärme-Kraftkoppelung mit Turbine) und durch eine elektrische Wärmepumpe geliefert. Das Primärheizungsnetz für die 2. Etappe ist auf 50°C/35°C (bei -10°C) ausgelegt. In jedem Gebäude befindet sich eine Wärmeverteilzentrale ohne Wärmetauscher. Im untersuchten Gebäude B wird die Wärme wie folgt aufgeteilt: Sektor Nord, Sektor Süd, Lüftung.

Wärmeabgabe

Die Räume werden durch Konvektoren geheizt. Für jede halbe Modulbreite (3.6 m) ist ein Konvektor installiert.

Anlagebeschrieb Lüftung

Schema des Luft-Luft Systems (System a)



Lüftungssystem

Systemtyp:
getrenntes System:

a) Luft-Luft System Niederdruck (1 Zone)
b) Wasser-Luft System Niederdruck (Brüstungsgerät)

Luftmenge:
a) total: 34'500 m³/h
Aussenluftanteil: 100%
b) 600-940 m³/h pro Fan coil
Aussenluftanteil: 0%

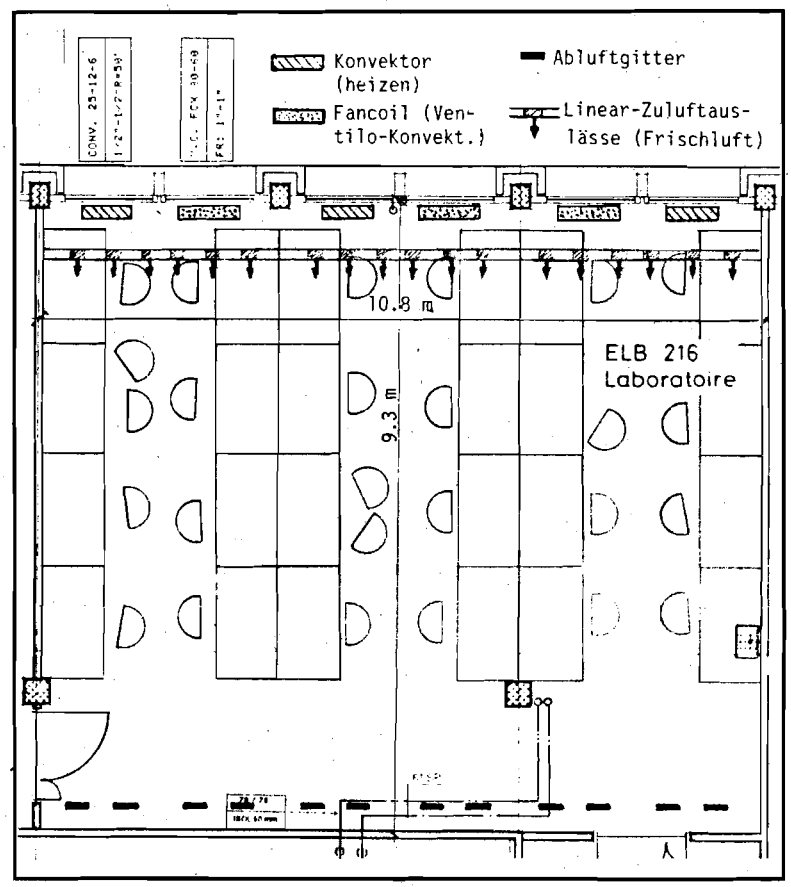
Das Lüftungssystem ist ein getrenntes System. Das eine System (a) ist ein Luft-Luft Niederdrucksystem. Es garantiert die notwendige Aussenluftzufuhr für die Labor- und Seminarräume. Die Zulufttemperatur beträgt das ganze Jahr ca. 20 °C. Im Sommer können damit kleine interne Lasten abgeführt werden. Im Sommer wird die Luft mit Seewasser abgekühlt (Wärmetauscher).
Das andere Lüftungssystem (b) ist ein dezentrales Wasser-Luft-System: 2 Brüstungsgeräte (2-Leiter) pro Gebäudeachse. Dieses System dient nur der Abführung der Wärmelasten in den Labors. Steigt die Raumluft über 24 °C an können die Brüstungsgeräte eingeschaltet werden. Es ist ein reines Umluftsystem. Die Ventilatorgeschwindigkeit kann manuell dreistufig eingestellt werden.

Betriebszeit:
a) tagsüber
b) je nach Nachfrage (manuell)

Wärmerückgewinnung
Das zentrale Lüftungssystem (a) ist mit einer Wärmerückgewinnung ausgerüstet. Sie besteht aus einem rotierenden Wärmetauscher, der nach Herstellerangaben einen Wirkungsgrad von ca. 80% hat.

Untersuchte Zone

Grundriss des untersuchten Labors



Energiebezugsfläche:
100 m²

Raumvolumen:
271 m³

Raumnutzung, Möblierung
Die untersuchte Zone besteht aus einem Laborraum für Elektrotechnik-Praktika. Die geometrischen Abmessungen betragen: 10.8 m x 9.3 m x 2.7 m Höhe. Der Raum beinhaltet vier Reihen Labortische, mit 24 Arbeitsplätzen. An jedem Arbeitsplatz hat es verschiedene elektrische Messinstumente (KO usw.). Der Raum ist nur während zwei bis drei Nachmittagen pro Woche voll besetzt. In der übrigen Zeit sind nur wenige Personen anzutreffen.

Raumumschliessungsflächen
Das untersuchte Labor befindet sich auf der Nordseite des Gebäudes. Auf der ganzen Raumbreite befinden sich Fenster, die nur alle halbe Modulbreite (3.6 m) durch tragende Betonsäulen unterbrochen sind. Die Fenster beginnen über den Brüstungsgeräten und nehmen die ganze sichtbare Höhe ein. Sie sind doppelverglast (Klimaplus) und der Rahmen besteht aus Holz-Aluminium.

Die hinterlüftete Fassade hat folgenden Aufbau: tragende Betonmauer, Isolation, ein Luftspalt (4 cm) sowie mit Kacheln verkleidete Betonplatten. Die Fassade hat eine Wärmedurchgangszahl von 0.31 W/m²K und besitzt eine relativ grosse thermische Masse. Ein Sonnenschutz ist auf dieser Seite des Gebäudes nicht notwendig.
Auf dem Betonboden ist ein Holzboden installiert. Die Innenwände sind leichte Modulwände: Gips-Isolation-Gips von 12 cm Dicke. Überall wurde eine akkustische Doppeldecke eingebaut, die aber nicht luftdicht ausgeführt ist. In dieser Doppeldecke sind auch die Fluoreszenzröhren für die künstliche Beleuchtung montiert.

Belastung der Raumluft

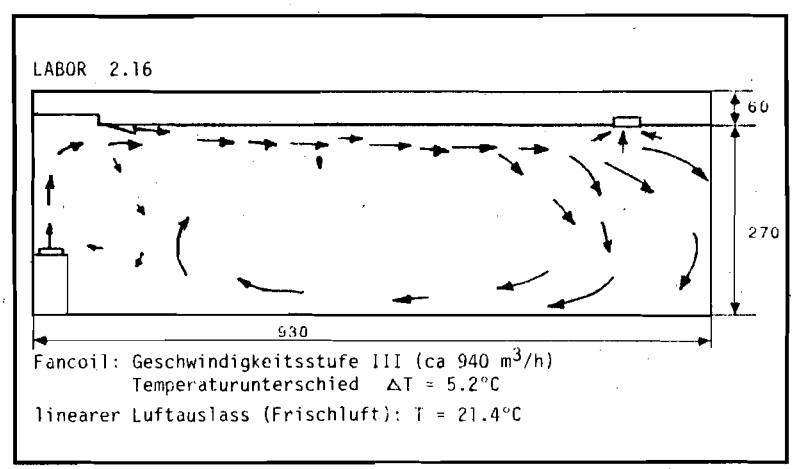
Anzahl Personen:
0-24 Personen

Thermische Lasten:
max 115 W/m²

Da in der Elektrotechnik selten Versuche gemacht werden, bei welchen Schad- oder Geruchsstoffe anfallen, muss die Lüftungsanlage vorallem die notwendige Aussenluftmenge für die Personen liefern. Aus Flexibilitätsgründen wurde eind Luftwechsel von 5 h^{-1} gewählt. Die Abführung der inneren und äusseren Wärmelasten wird durch die Brüstungsgeräte garantiert. Die tatsächlich anfallenden Wärmelasten sind jedoch meist viel tiefer als die Auslegungswerte. Ausser an einigen Nachmittagen ist das Labor sehr schwach besetzt und auch die Abwärme der elektrischen Geräte ist fast immer tiefer als der maximal mögliche Wert. Die Brüstungsgeräte werden nach Aussagen der Benützer sehr selten eingeschaltet. Während eines Praktikumnachmittages ist die Zeit schon fast um, wenn die Temperatur höhere Werte erreicht.

Luftströmung im Raum

Strömungstyp:
Mischlüftung



Raumdurchspülung

Die Zuluft wird der Decke nach eingeblasen. Die Luft soll sich erst Ende des Raumes von der Decke lösen und dadurch eine einzige grosse Walze bilden, um eine gute Durchspülung zu gewährleisten. Wenn zusätzlich zur Zuluftanlage die Brüstungsgeräte eingeschaltet werden, soll sich das Strömungsbild nicht ändern. Die gekühlte Luft

a) Aussenluftzufuhr
Gittertyp Zuluft:
Linearauslass (Luft parallel zur Decke)

Gitteryp Abluft:
Abluftgitter in der Decke

Luftmenge:
ca. 1'200 m³/h

Luftwechsel:
ca. 5 h⁻¹

Aussenluftmenge:
100%

b) Kühlung
Brüstungsgerät:
Gittertyp:
Linearauslass (vertikal nach oben)

Luftmenge pro Brüstungsgerät:
0 / 600 / 770 / 940 m³/h

Anzahl Brüstungsgeräte: 3

wird dem Fenster entlang nach oben geblasen und vermischt sich dann mit der Zuluft. Bei den Versuchen mit dem Prototyp gab es Probleme, da bei allen handelsüblichen linearen Zuluftgittern ein grosser Teil der Kaltluft gleich wieder Richtung Boden abgelenkt wurde. Erst mit einer spezielle Anpassung der Zuluftgitter (Entwickung Prototyp) konnte das Problem gelöst werden.

Effektiv festgestellter Strömungsverlauf
Die Visualisierung der Luftbewegung mit Hilfe einer Rauchmaschine wurde unter verschiedenen Bedingungen durchgeführt:
- mit / ohne elektrische Beleuchtung
- Brüstungsgeräte: 0 / 600 / 740 / 900 m³/h
- niederer bis mittlerer Wärmelastanfall

Das Strömungsbild sah in den meisten Fällen recht ähnlich aus. Ein ganz kleiner Teil der Kaltluft fällt gleich vor dem Fenster nach unten, während sich sonst eine sich über das ganze Rauminnere ausdehnende Walze bildet. Der Kaltluftabfall wurde vorallem bei der kleinsten Ventilatorengeschwindigkeit (grösste Temperaturdifferenz zwischen Raumluft und Austritt Brüstungsgerät) beobachtet, während bei der grössten Geschwindigkeit praktisch keine Luft nach unten fiel. Es ist auch anzunehmen, dass bei grösserem Wärmelastanfall (über 30 W/m²) keine Kaltluft mehr abfällt. Allgemein scheint dieses getrennte System unter verschiedenen Bedingungen eine gute Durchmischung zu garantieren, siehe auch gemessenes Temperaturprofil.

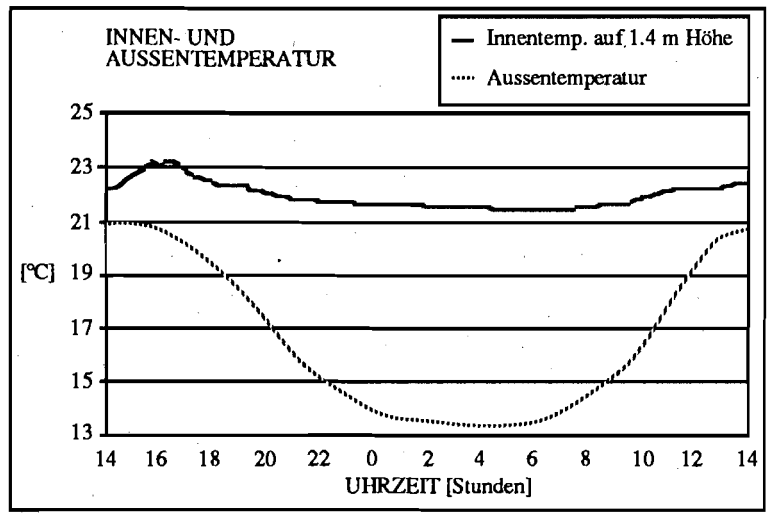
Luftgeschwindigkeit, Probleme, Klagen
Die Luftgeschwindigkeiten wurden nur bei den Zuluft- und Abluftauslässen gemessen. Dabei gab sich eine gute Übereinstimmung der Luftmengen mit den Planungswerten.
Gemäss Aussagen von verschiedenen Benützern gibt das Lüftungssystem nicht zu Klagen Anlass. Luftzug wurde nirgens festgestellt. Bestätigt wurde hingegen, dass die Brüstungsgerät recht selten im Betrieb stehen. Das Grundgeräusch des Lüftungssystem ist hörbar, stellt anscheinend aber kein Problem dar.

Einflussmöglichkeiten des Benützers
Die Fenster (etwa ein Viertel der Fensterfläche) können geöffnet werden. Sonst besteht keine Einflussmöglichkeit auf die Aussenluftzufuhr. Die Temperatur kann aber in jedem Lokal eingestellt werden (Thermostatregler) und bei grosser Wärme (ab 24°C) können in den Labors die Brüstungsgeräte manuell eingeschaltet werden. Die Geschwindigkeit des Ventilators kann ebenfalls individuell geregelt werden dreistufig.

Raumklima

Temperaturverlauf

Tagesverlauf der Aussentemperatur und Raumlufttemperatur (1.4 m über Boden)



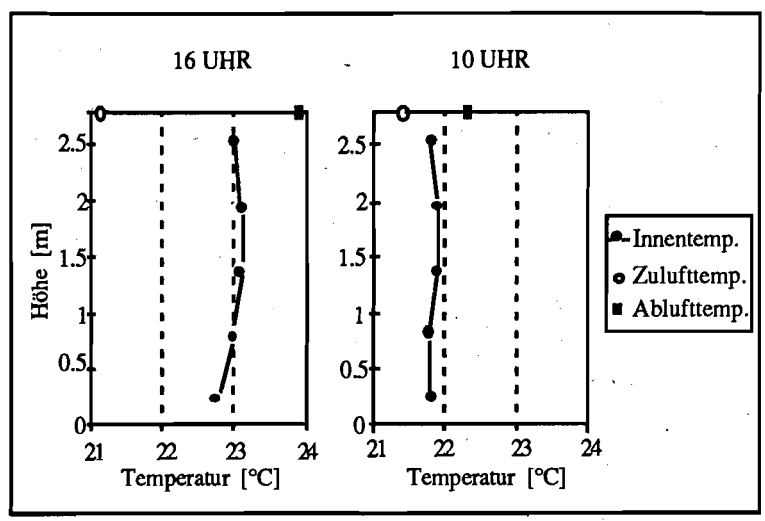
Sollwerte der Raumlufttemperatur während der Betriebszeit:

Winter: 20 °C ± 1 K
Sommer: max 26 °C bei 32 °C Aussentemp.
gemessen: 21.5 - 23.2 °C

Raumlufttemperatur wurde während 24 Stunden gemessen. Sie lag zwischen 21.5 °C (frühen Morgen) und gut 23 °C (Nachmittag). Am Nachmittag des ersten Tages fand ein Praktikum mit ca. 15 Studenten statt. Obschon die Brüstungsgeräte nicht eingeschaltet wurde, stieg die Raumlufttemperatur nur schwach an. Die Aussentemperatur lag aber nur knapp über 20 °C. Die Messungen wurden Mitte Mai gemacht.

Vertikales Temperaturprofil

Vertikales Temperaturprofil sowie Zuluft- und Abluftemperatur



Temperaturdifferenz Decke-Boden: < 1 K

Temperaturdifferenz Abluft-Zuluft: 3-4 K

Die gemessenen Temperaturen zeigen , dass praktisch keine Stratifikation vorhanden ist. Die maximalen gemessenen Temperaturunterschiede liegen bei 0.2 - 0.3 K, was im Genauigkeitsbereich der Messonden liegt. Das Temperaturprofil wurde ungefähr in der Mitte des Raumes gemessen, also in der Mitte der bei den Rauchversuchen beobachteten grossen Walze. Diese Messungen bestätigen deshalb, dass eine gute Raumluftdurchmischung stattfindet. Die Ablufttemperatur lag am ersten Nachmittag (Praktikum) um 3 - 4 K höher als die Zulufttemperatur. Es bestätigt sich also, dass auch mit dem zentralen Lüftungssystem bis zu einem gewissen Niveau die inneren Lasten abgeführt werden können.

6.2.5 Hasler AG, Winterthur

Adresse:
Grüzefeldstr. 47
8401 Winterthur

Bauherrschaft:
Hasler & Co. AG,
Winterthur

Architekt:
Max Lutz, Winterthur

Anlageplaner:
Sulzer, Winterthur

Baujahr:
1987

Enegiekennzahlen:
(nur 5. und 6. OG)
Wärme: 170 MJ/m²
Elektrizität: 192 MJ/m²

Allgemeiner Objektbeschrieb

Gebäudenutzung
Büros für verschiedene eingemietete Firmen

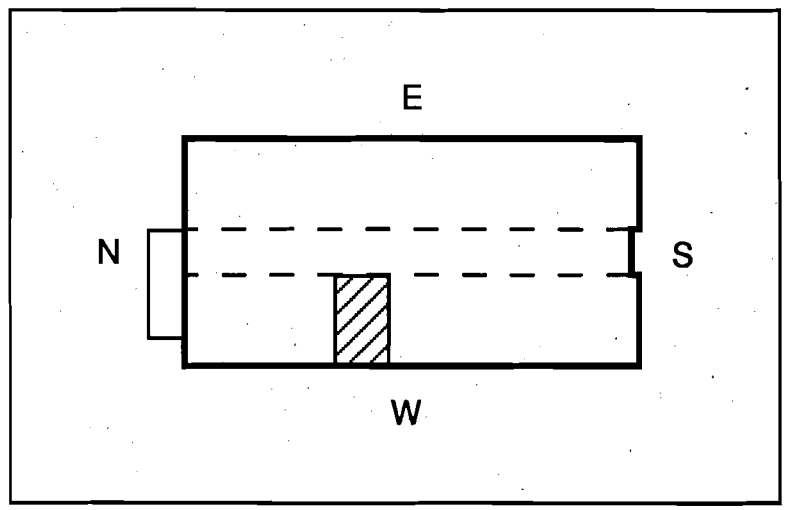
Gebäudeform, Bauweise
Das sechsgeschossige Bürogebäude weist eine quaderförmige Form auf, wobei die beiden oberen Etagen (5. und 6. OG) mit einer HIT-Fassade (Hochisolationstechnologie) versehen sind. Die beiden Hauptfassaden sind gegen Osten und Westen gerichtet.
Jeweils auf der Nord- und Südseite des Gebäudes sind die Treppenhäuser untergebracht. Auf der Südseite ist zum Treppenhaus hin noch eine Vorhalle mit zwei Lüftungsanlagen eingegliedert. Die Büros, welche alle den Hauptfassaden entlang angeordnet sind, durch einen zentral gelegenen Korridor erschlossen. Die Abmessungen des Gebäudes betragen ungefähr 15 x 30 x 20 Meter.
Die Nord- und Südseite ist ausser dem Treppenhaus fensterlos. Auf der West- und Ostseite beträgt der Fensteranteil ca. 55 %.

Lage und Umgebung
Das Gebäude liegt am östlichen Rand von Winterthur an einer in den Hauptverkehrszeiten viel befahrenen Hauptstrasse (Zubringer Industriegebiet). Auf der Ostseite des Gebäudes liegt ein Parkplatz. Die Lärmimissionen sind während der Hauptverkehrszeit relativ hoch, ausserhalb eher gering.

Übergeordnete Ziele bei der Planung
Um einen möglichst energiesparenden Betreib zu erreichen, sollte die HIT-Bauweise mit einer passenden Haustechnikanlage ergänzt werden. Es wurde eine Lüftungsanlage ge-

plant, die in jedem Büro individuell gesteuert (Volumen, Temperatur) werden kann.
Da die Transmissionsverluste im Winter kleiner sind als die internen Lasten (Maschinen, Menschen), wurde auf eine statische Heizung gänzlich verzichtet.
Im Sommer wird die Luft nicht gekühlt, sondern man gibt den Benutzern die Möglichkeit, die Fenster zu öffnen.

Grundriss des Gebäudes mit untersuchter Zone



Wärmeversorgung

Wärmeerzeugung

Energieträger:
Heizöl / Elektrizität

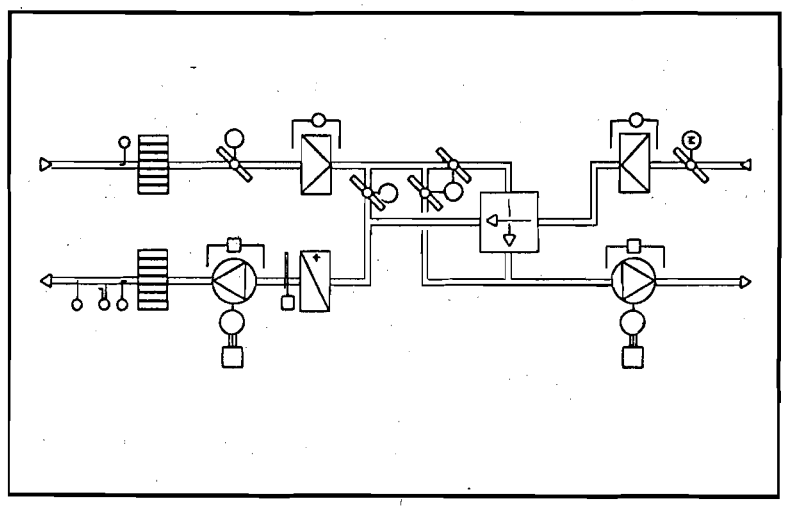
Die für die Luftaufbereitung benötigte Wärme wird von einem Ölbrenner geliefert (Warmwasser für den installierten Lufterhitzer). Falls dies nötig ist, kann die Zuluft elektrisch nachgewärmt werden.

Wärmeabgabe

maximale Wärmeabgabe:
Vorwärmer (Öl): 34.3 kW
Nachwärmer (El.): 16.2 kW

Die Wärmeabgabe erfolgt vollständig duch die Zuluft (Alluft-System). Die Zulufttemperatur kann raumweise eingestellt werden.

Anlagebeschrieb Lüftung



Systemtyp:
Luft-Luft Niederdrucksystem mit variabler Luftmenge

Luftmenge:
maximal 6'720 m³/h

Aussenluftanteil:
100 %

Betriebszeiten:
Montag bis Freitag
05:00 - 18:30 Uhr

Wochenend- und Nachtbetrieb: je nach Aussentemperatur

Lüftungssystem

Das Lüftungssystem arbeitet auf dem Verdrängungsprinzip. Die Luft wird in der Steigzone mit Mitteldruck in das 5. und 6. OG geblasen. Von dort gelangt die Luft via Volumenregler in die Büros.

Wärmerückgewinnung

Die Anlage ist mit einem Plattenwärmetauscher und einer Bypass-Regulierung ausgerüstet.

Regulierung

Die Anlage läuft im Aussenluftbetrieb allenfalls mit Wärmerückgewinnung und, falls nötig, mit zentraler Lufterwärmung (19 °C). Die weitere Regelung geschieht im Büro selber: Ist der Sollwert der Raumtemperatur erreicht, so wird die Zuluft mit minimalem Volumen (aus hygienischen Gründen) eingeblasen. Wird der Sollwert des Raumes unterschritten, so wird die Luftmenge erhöht und ein elektrischer Nachwärmer kommt in Betrieb. Ist die Temperatur gegenüber dem Sollwert zu hoch, so wird die Luftmenge ebenfalls erhöht, um einen erhöhten Lasttransport zu gewährleisten. Der Nachwärmer ist dann ausser Betrieb. Der Sollwert des Raumes kann in jedem Büro mit ± 3 K individuell verstellt werden.
Steigt die Aussentemperatur über 22 °C, so wird die Lüftung ausgeschaltet.
Im übrigen gibt es zwei Betriebsarten:

- Normalbetrieb ta < 22°C
- Nacht- und Wochenendbetrieb:
  Temperaturüberwachung bei ta < 12°C
  Free-Cooling möglich bei ta > 12°C

Untersuchte Zone

Energiebezugsfläche:
ca. 26 m²

Raumvolumen:
ca. 62 m³

k-Wert der Fassade:
0.68 W/m²K

k-Wert der Glases:
0.65 W/m²K

inst. Beleuchtung:
15 W/m²

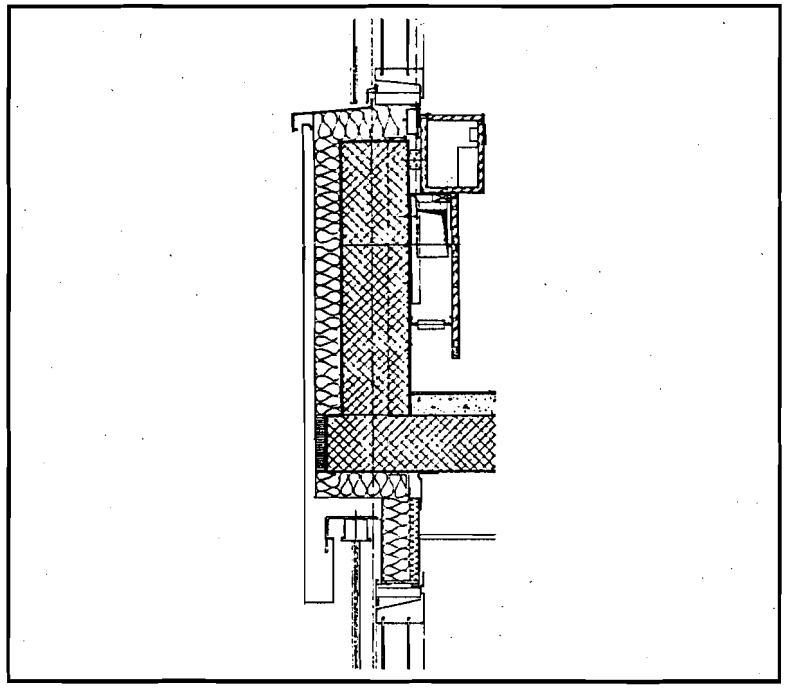
Raumnutzung, Möblierung

Bei der untersuchte Zone handelt es sich um ein Büro auf der Westseite des Gebäudes. Der Raum wird als Einzelbüro genutzt. Die geometrischen Abmessungen betragen 6.2 x 3.6 m und 2.8 m Höhe. Die Möblierung umfasst einen Schreibtisch am Fenster und drei Ablageflächen, wobei eine Ablagefläche mit einem PC und einem Drucker belegt ist.

Raumumschliessungsflächen

Das untersuchte Büro befindet sich auf der Westseite des Gebäudes und hat links und rechts davon zwei gleichwertige Büros. Die Fenster nehmen die ganze Raumbreite ein. Die Fensterfront wird in der Mitte durch eine tragende Betonsäule unterbrochen.
Der Fussboden ist überall mit Spannteppichen belegt. Die heruntergehängte Decke besteht aus Metall-Paneelen, deren Abstand von der Betondecke ca. 30 cm beträgt. Auf der ganzen Etage ist eine Beleuchtung von ca. 15 W/m² installiert.

Schnitt der Fassade



Thermische Lasten (intern):
max. 30 W/m²

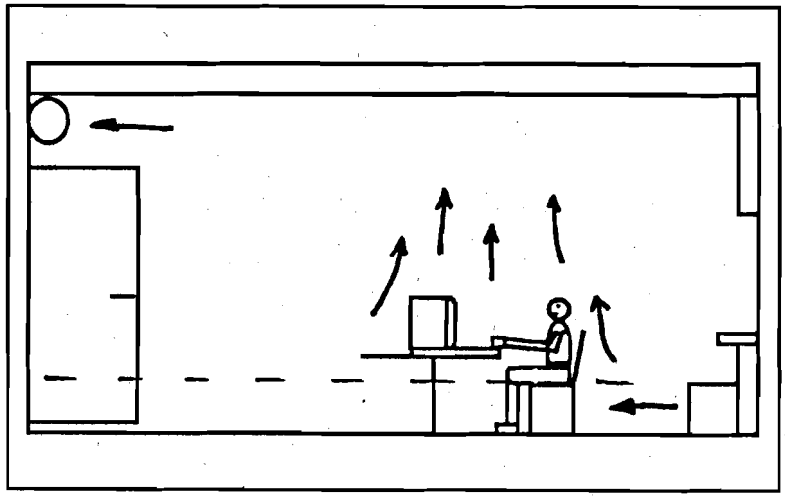
Belastung der Raumluft
Da dieses Büro in unserem Beispiel nur durch eine Person belegt wurde, halten sich die internen Lasten in Grenzen:

-	Licht	max. 15 W/m²
-	Personen	3 W/m²
-	Geräte	max. 12 W/m²
	Total	max. 30 W/m²

Dank wirksamer Aussenstoren ist nie mit einer erhöhten Sonneneinstrahlung zu rechnen.

Luftströmung im Raum

Strömungstyp:
Verdrängungslüftung mit laminarer Lufteinführung



Luftaustrittsgeschwindigkeit:
0.05 - 0.2 m/s

Raumdurchspülung

Die Zuluft tritt unterhalb des Fensters unmittelbar über dem Boden in den Raum ein. Da die Zulufttemperatur immer etwa 2-3 K unter der Raumtemperatur liegt (Zulufttemperatur 19 °C), bildet sich im Raum ein Frischluftsee. Die Austrittsgeschwindigkeit ist gering, d.h. je nach Betriebsart ca. 0.05 - 0.2 m/s. Es findet praktisch keine Induktion der verbrauchten Raumluft statt, sodass die aus der Brüstung austretende Frischluft unvermischt in die Tiefe des Raumes gelangt. Im Bereich von Wärmequellen (Personen, Geräte, etc.) steigt die Luft durch Konvektion auf und wird anschliessend durch ein Abluftgitter über der Türe erfasst und abgesaugt.

Luftmenge:
max. gemessen 290 m³/h
Soll 240 m³/h

Luftwechsel:
max. 4.6 h^{-1}

Luftgeschwindigkeit, Probleme, Klagen

Da die Austrittsgeschwindigkeit der Frischluft sehr niedrig und die Oberflächentemperatur der Fenster im Winter nicht spürbar niedriger als die Raumtemperatur ist (kein Kaltluftabfall), sind die Betreiber der Anlage zufrieden. Auch ist die Tatsache wichtig, dass die Lüftung bei Aussentemperaturen über 22 °C abgestellt wird, da sonst wahrscheinlich Reklamationen betreffend "Aufheizung" des Gebäudes auftreten könnten. Der Umstand, dass die Benützer einen Einfluss auf die Raumtemperatur nehmen können, wirkt sich sicher positiv auf die Gefühle und das Wohlbefinden der Personen aus.

Effektiv festgestellter Strömungsverlauf

Im normalen Betriebsfall (Zuluft ca. 2 K kälter als Raumluft) konnte durch die Rauchversuche sichtbar gemacht werden, wie die Zuluft in Bodennähe in die Raumtiefe gelangt und über Wärmequellen aufsteigt.
Um den Heizfall zu simulieren, wurde während längerer Zeit das Fenster geöffnet (Aussentemperatur ca. 10 °C). Bei den anschliessenden Rauchversuchen wurde festgestellt, dass die Zuluft bereits im Fensterberich zur Decke hochstieg. Wegen der sehr geringen Transmissionsverluste tritt jedoch eine so starke Unterkühlung des Raumes bei normalen Betriebsbedingungen der Lüftungsanlage nie auf.

Einflussmöglichkeiten der Benützer

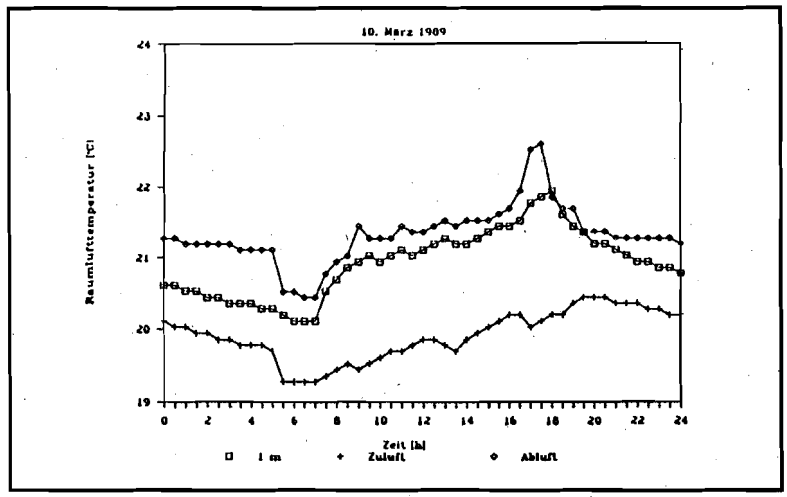
Wie bereits erwähnt, haben die Benutzer die Möglichkeit, die Raumtemperatur der Büros um ±3 K zu verstellen. Ist die Anlage jedoch ausgeschaltet (ta > 22 °C) werden z.T. die Fenster geöffnet, um eine Lufterneuerung zu erreichen.

Raumklima

Temperaturverlauf

Tagesverlauf der Zuluft-, Abluft- und Raumtemperatur (1 m über Boden)

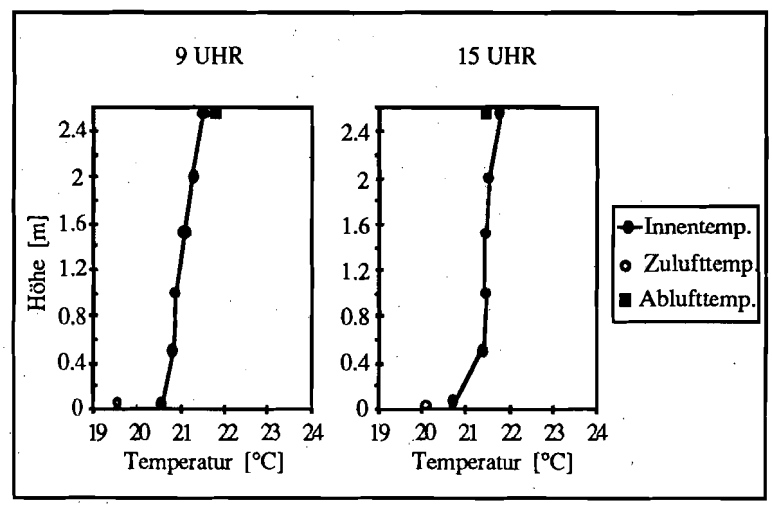
Messtag: 10.3.1989



Die Raumtemperatur bewegt sich während den Bürozeiten von 7:00 - 18:00 Uhr zwischen 20.4 °C und 22.5 °C.
Deutlich zu erkennen im Temperaturverlauf: Die Ablufttemperatur ist im Schnitt etwa 0.3 K höher als die Raumlufttemperatur auf einem Meter Höhe.
Die durchschnittliche Differenz zwischen Zuluft- und Ablufttemperatur liegt um 1.6 K. Die festgestellte Temperaturschichtung ist stark abhängig von der Personenbelegung des Raumes. Bei stärkeren Belegungen als während der Messperiode, würde sich eine stärkere Temperaturschichtung einstellen.
Zwischen 9:00 und 15:00 Uhr bleibt die Ablufttemperatur relativ konstant, während sie dann bis gegen 17:00 Uhr ansteigt. Dies ist vermutlich die Folge der direkten Sonneneinstrahlung, welche um diese Zeit einfällt, da es sich um ein nach Westen orientiertes Büro handelt.

Vertikales Temperaturprofil

Vertikales Temperaturprofil sowie Zuluft- und Ablufttemperatur



Die Messungen fanden in der Mitte des Raumes statt. Obwohl die Boden- und Deckenraumtemperaturdifferenz sehr klein ist (1 K), sieht man im Profil die Auswirkung des laminaren Luftauslasses sehr gut: zwischen 50 cm Höhe und Boden ist die grösste Temperaturdifferenz vorhanden.

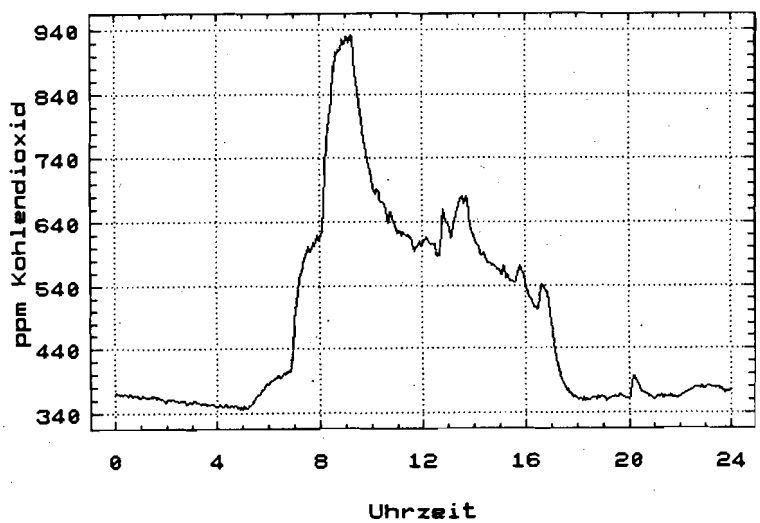
Luftqualität

Gemessene Parameter:
CO_2, rel. Feuchte, Raumlufttemperatur

In der Mitte des Raumes wurden auf einem Profil folgende Parameter kontinuierlich während 24 Stunden gemessen: Kohlendioxid (1.2 m, 1.7 m, 2.4 m), relative Raumluftfeuchtigkeit und Raumlufttemperatur (je 1.8 m). Ferner wurde der Kohlendioxidgehalt der Abluft ebenfalls kontinuierlich erfasst.

Verlauf der CO_2-Konzentration

Tagesverlauf des Kohlendioxidgehaltes (1.7 m über dem Boden)



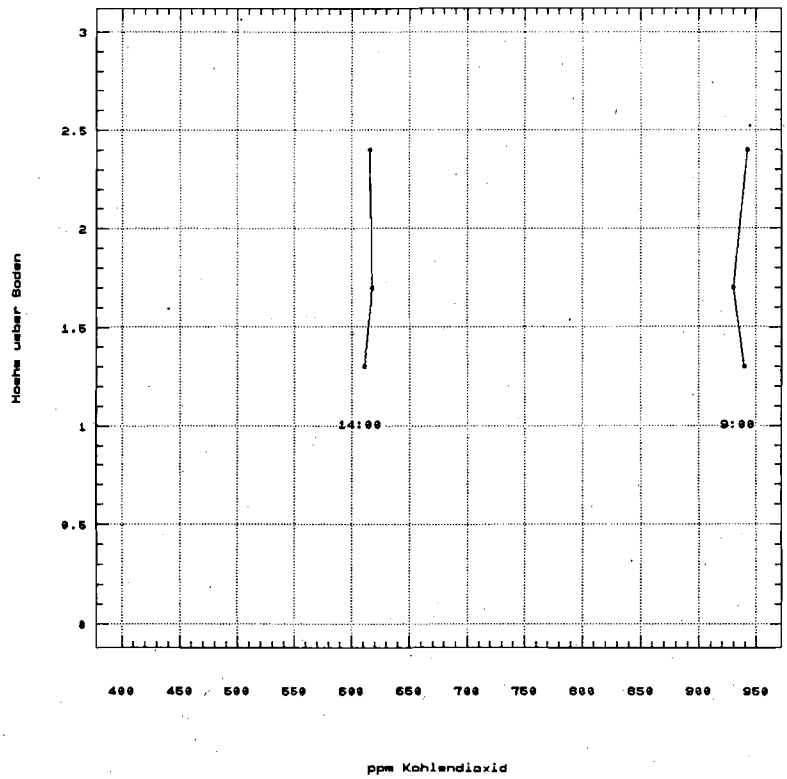
Anzahl anwesende Personen während der Messung:
1 Person, 8:00 und 9:15 Uhr
3 Personen; sitzende Tätigkeit

Während der kurzzeitigen Belegung des Raumes mit 3 Personen stieg der Kohlendioxidpegel bis auf maximal 970 ppm (unter der Decke) an. Im Aufenthaltsbereich stieg der Pegel gleichzeitig knapp über 900 ppm. Bei der Belegung des Raumes mit einer Person, lagen die Kohlendioxidpegel um 550 - 600 ppm. Fenster und Türen blieben in diesem Raum ständig geschlossen.

Vertikales CO_2-Profil

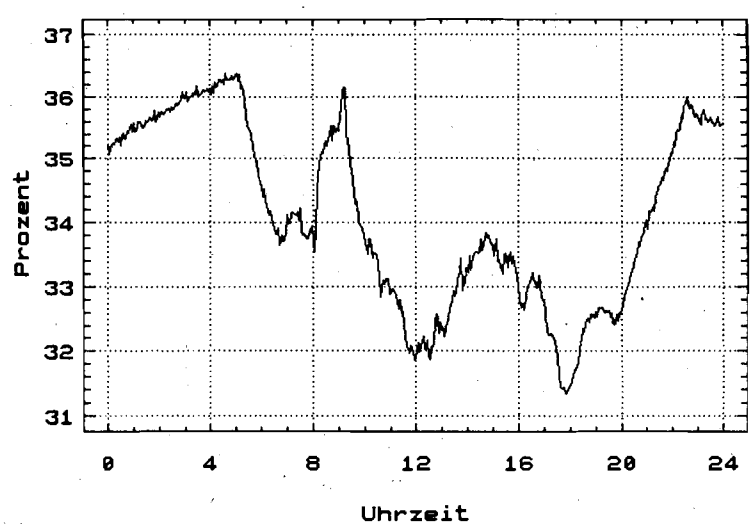
Wie die zwei Momentaufnahmen des Raumprofils des Kohlendioxidgehaltes zeigen, war der Kohlendioxidgehalt innerhalb des Profils relativ regelmässig verteilt. Während der Belegung des Raumes mit 3 Personen, konnte im Kopfbereich (sitzend) und im Bereich unter der Decke ein leicht erhöhter Pegel registriert werden.

Momentaufnahmen der Kohlendioxidgehalte im Raumprofil um 09:00 und um 14:00 Uhr



Relative Luftfeuchtigkeit und Raumlufttemperatur
Die relative Raumluftfeuchtigkeit lag während der Messzeit im unteren Bereich (Median 33 %) des Behaglichkeitsintervalls von 30 - 70 %. Dies kann durch die Erwärmung der Aussenluft auf Raumlufttemperatur bei gleichzeitig ungenügender Befeuchtung in der Lüftungsanlage und/oder der relativ niedrigen Aussenluftfeuchtigkeit erklärt werden. Die Raumlufttemperaturen (Median 22.8 °C) lagen ständig innerhalb des Behaglichkeitsbereiches.

Tagesverlauf der relativen Luftfeuchtigkeit (1.8 m über dem Boden)



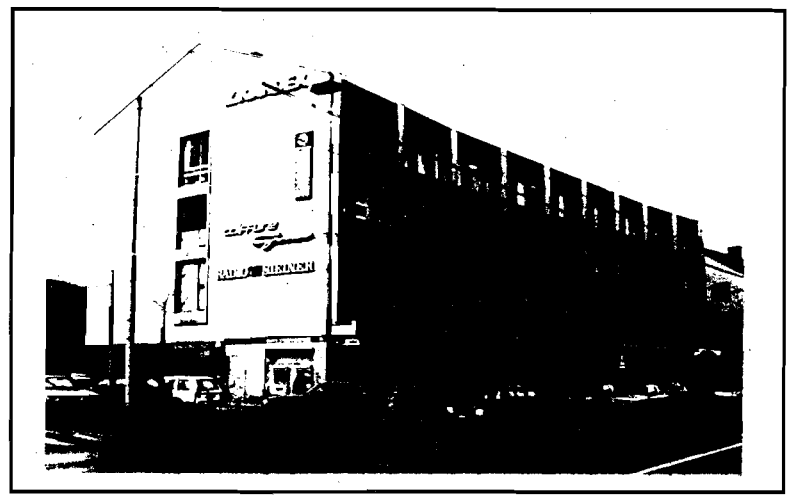
6.2.6 Schweizerische Kreditanstalt, Zürich

Adresse:
Badenerstrasse 697
8048 Zürich

Bauherrschaft:
Schweiz. Kreditanstalt

Architekt:
W. Heimgartner, Zürich

Anlageplaner:
Gebr. Sulzer AG, Zürich



Allgemeiner Objektbeschrieb

Umbau der Lüftungsanlage:
1988

Energiebezugsfläche (mit RED ausgerüstet):
340 m²

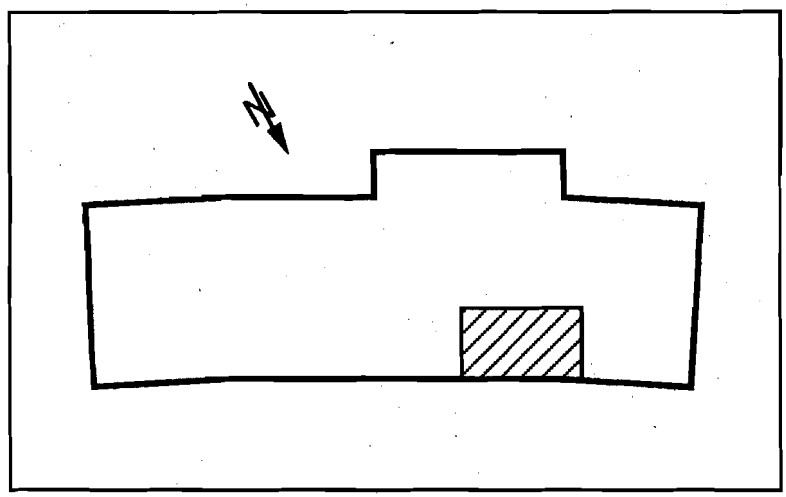
Gebäudenutzung
Büro
Schalterhalle
Besprechungszimmer

Gebäudeform, Bauweise
Das untersuchte 3-geschossige Gebäude weist einen praktisch rechteckigen Grundriss auf, wobei die Hauptfassaden nach Südosten und Nordwesten orientiert sind. Der Eingang befindet sich in der Mitte der Südostfassade und führt direkt in die Schalterhalle.
Die Gebäudekonstruktion weist eine lediglich mässige Wärmedämmung auf und ist mit doppelverglasten Fenstern mit Holzrahmen ausgerüstet. Der Fensteranteil beträgt ca. 50 %.
Lediglich die Räume im 1. Obergeschoss sind mit dem RED-Lüftungssystem ausgerüstet (RED: **R**aum-**E**igen-**D**ynamisch). Alle übrigen Räume werden mit konventionellen Systemen mechanisch belüftet.

Lage und Umgebung
Das Gebäude liegt im zürcher Quartier Altstetten direkt an einer sehr stark befahrenen Einfallsachse. Die Lärmimmissionen sind entsprechend hoch und verunmöglichen das Öffnen der Fenster.

Übergeordnete Ziele bei der Planung
Bei der untersuchten Anlage handelt es sich um eine der ersten realisierten RED-Anlagen. Die bestehende konventionelle Mehrzonenanlage wurde im Bereich des ersten Obergeschosses nachträglich durch das RED-System ersetzt. Dadurch erhofft man sich eine Verbesserung des Komfortes sowie eine Senkung des Energieverbrauches.

Grundriss des Gebäudes (1. OG) mit untersuchter Zone (schraffiert)



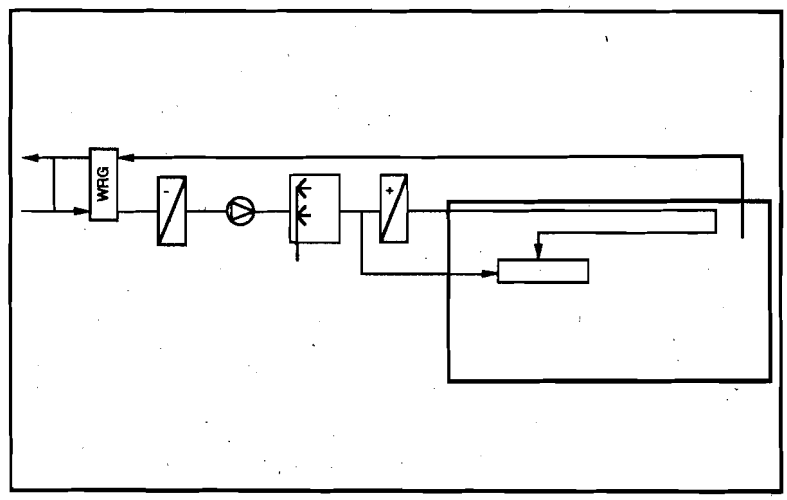
Wärmeversorgung

Wärmeerzeugung
keine Angaben

Wärmeabgabe und Aufteilung Heizung/Lüftung
Der Grundbedarf an Wärme wird durch die längs der Brüstung verlaufenden Heizrohre gedeckt. Die Zuluft wird durch WRG vorgewärmt und durch Nacherwärmer in den Volumenstromreglern auf die benötigte Solltemperatur erwärmt.

Anlagebeschrieb Lüftung

Schema der Lüftungsanlage



Systemtyp:
Luft-Luft Niederdrucksystem mit variabler Luftmenge

Luftmenge:
max. 5'200 m³/h

Aussenluftanteil:
variabel

Betriebszeiten:
5:00 - 19:00

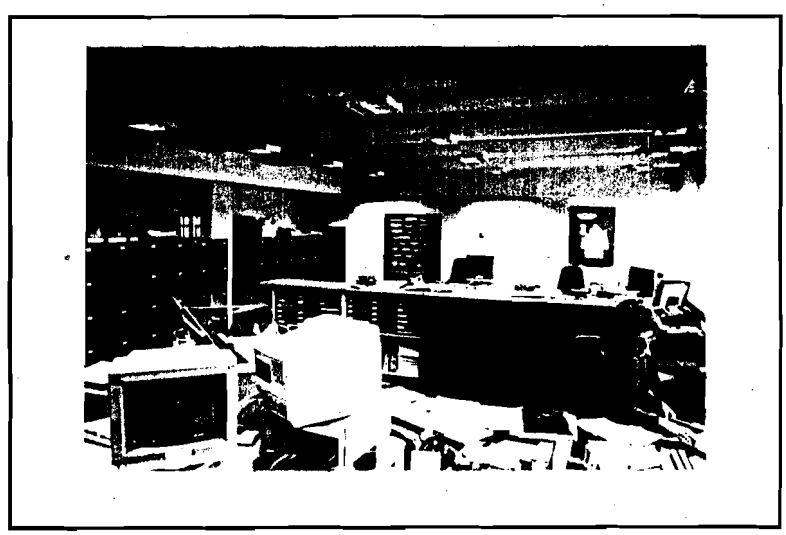
Lüftungssystem
Bei der installierten Anlage handelt es sich um ein Luft-Luft-Niederdrucksystem. Die Zuluft wird zentral aufbereitet (inkl. Lüftungsanlage EG) und anschliessend in die einzelnen Räume transportiert.
Ein Teil der Zuluft durchströmt einen in Raum befindlichen Deckenbalken und mischt sich kurz vor dem Luftauslass mit dem Rest der Zuluft. Die Zuluft strömt turbulenzarm von der Decke nach unten, wo sie sich über dem Boden ausbreitet.

Wärmerückgewinnung
Die gesamte Abluft wird zentral über einen Rotations-Wärmetauscher geleitet und wärmt die Aussenluft vor.

Betriebsstrategie / Regelung
Die Zuluftmenge ist variabel. Ein Volumenstromregler stellt die Luftmenge entsprechend der im Raum anfallenden Wärmelast ein. Die in den Raum eintretende Luft weist gegenüber der Raumluft in jedem Betriebsfall eine leichte Untertemperatur auf.
Heizfall: Die Primärluft wird zentral auf mindestens 12 °C vorgewärmt. Raumabhängig wird derjenige Zuluftteil, der durch den Deckenbalken strömt, auf Übertemperatur nachgeheizt. Der Deckenbalken wirkt dabei als statische Heizfläche. Im Heizfall wird eine minimale Aussenluftmenge gefördert.
Kühlfall: Im Sommer wird die Primärluft auf 14 °C gekühlt. Ein Teil der Zuluft durchströmt wiederum den Deckenbalken, der jetzt als statische Kühlfläche dient.

Untersuchte Zone

Kredit-Sekretariat; 1. OG



Raumnutzung, Möblierung

Energiebezugsfläche:
60 m²

Raumvolumen:
160 m³

Die nachfolgend beschriebenen Untersuchungen und Messungen beziehen sich auf das Kredit-Sekretariat, das sich im 1. Obergeschoss befindet. Die Fensterfront ist gegen Nordosten orientiert..
Im Raum befinden sich 7 Arbeitsplätze, welche jedoch von maximal 4 Personen belegt werden. Die Möblierung besteht aus Schreib- und Ablagetischen sowie diversen Regalen und Schränken. Darüber hinaus berfinden sich noch etliche elektronische Geräte im Raum (Computer, Drucker, etc.).

Raumumschliessungsflächen

k-Wert der Brüstung:
ca. 1 W/m²K

k-Wert der Fenster:
ca. 2.6 W/m²K

Die genaue Konstruktion der Aussenwände ist nicht bekannt. Bereits durchgeführte Untersuchungen haben jedoch ergeben, dass die Wärmedämmung ungenügend ist.
Die Fenster weisen eine 2-fach Isolierverglasung mit Holzrahmen auf. Als Sonnenschutz sind Lamellenstoren installiert.
Es sind weder Doppelboden noch heruntergehängte Decke vorhanden.

Belastung der Raumluft

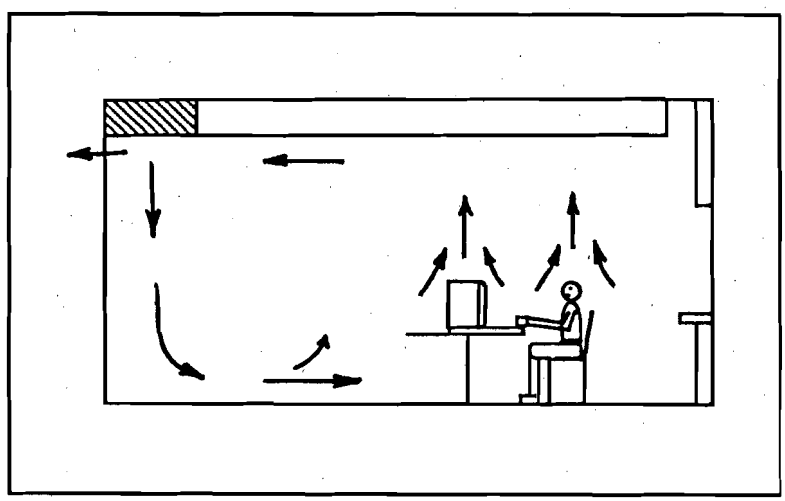
Anzahl Personen: max. 4

Thermische Lasten (intern):
35 W/m²

Im untersuchten Raum sind 3 Personen ständig anwesend. Zeitweise arbeitet auch noch ein Lehrling im gleichen Raum. Daraus ergibt sich mit 15 -20 m²/P eine sehr geringe Belegungsdichte.
Während der Arbeitszeit sind die vorhandenen Geräte (PC, Drucker) sowie die Beleuchgtung (Energiesparlampen) meistens in Betrieb. Die internen Lasten betragen im Normalbetrieb ca. 35 W/m². Wegen der Fassadenorientierung (NE) ist nicht mit einer nennenswerten Sonneneinstrahlung zu rechnen.

Luftströmung im Raum

Strömungstyp:
Quellüftung



Gittertyp Zuluft:
Laminar-Flow

Gittertyp Abluft:
Schlitz in der Decke
(korridorseitig)

Luftmenge:
min. 320 m³/h
max. 700 m³/h

Luftwechsel: 2.0 - 4.4 h^{-1}

Raumdurchspülung
Die mit leichter Untertemperatur in den Raum einströmende Zuluft sinkt zu Boden und bildet einen "Frischluftsee" im Bodenbereich. Die Zuluftgitter befinden sich im Bereich von Verkehrsflächen. Im Raum vorhandene Wärmequellen (Personen, Geräte) verursachen Auftriebsströmungen, welche sich aus dem "Frischluftsee" bedienen.

Die Abluft gelangt durch Schlitze in der Decke in einen korridorseitigen Sammelkanal, welche die Abluft zur Wärmerückgewinnung führt.

Effektiv festgestellter Strömungsverlauf
Anhand von Rauchversuchen konnten das turbulenzarme Absinken der Zuluft sowie die Ausbreitung im Bodenbereich sehr gut sichtbar gemacht werden.

Luftgeschwindigkeit, Probleme, Klagen
Die Benützer sind im allgemeinen mit der Lüftungsanlage sehr zufrieden. Wegen der schlechten Fassadenkonstruktion vermag die Lüftungsanlage jedoch bei tiefen Aussentemperaturen insbesondere die Eckräume nur ungenügend aufzuheizen.

Einflussmöglichkeiten der Benützer
Auf den Betrieb der Anlage (Betriebszeiten, Sollwerteinstellung, etc.) können die Benützer nicht direkt Einfluss nehmen. Die Regulierung der Anlage erfolgt durch den Anlagebetreuer.

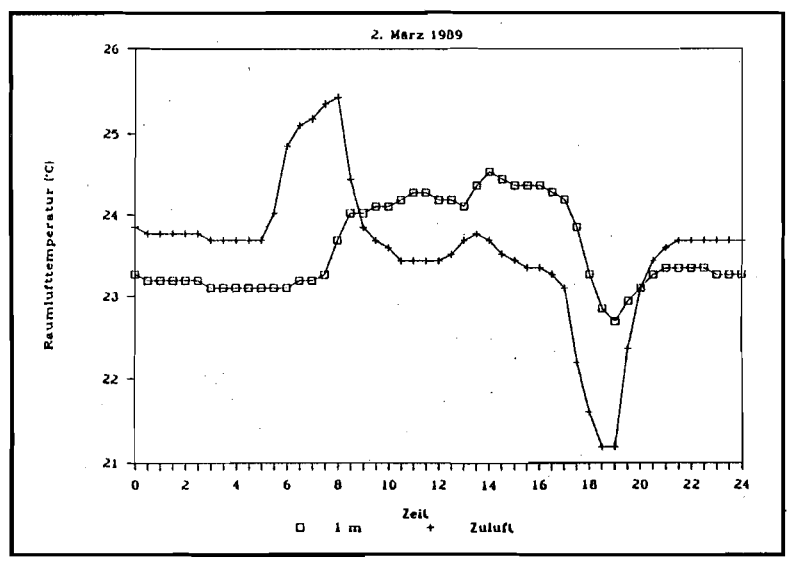
Raumklima

Temperaturverlauf

Tagesverlauf der Temperaturen von Raumluft (1 m über Boden) und Zuluft am Zuluftauslasss

Messtag: 2.3.1989

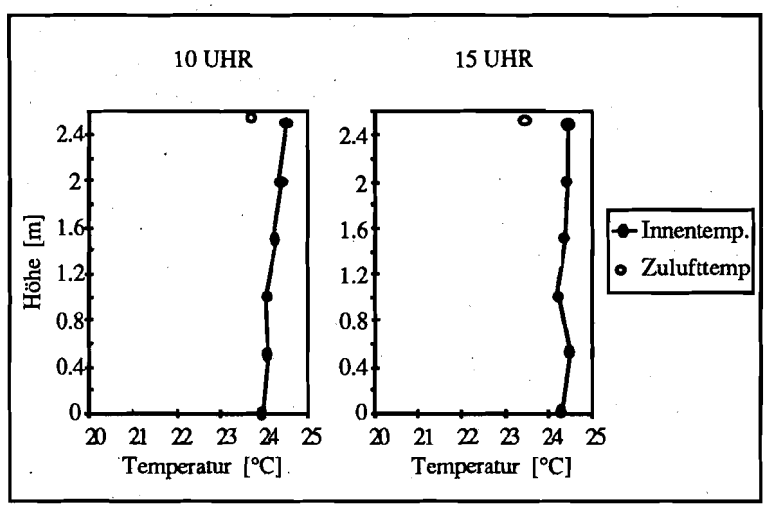
Max. Aussentemperatur am Messtag: 14 °C



Aus dem Verlauf der Zulufttemperatur können die Betriebszeiten der Lüftungsanlage sowie des Heizregisters abgelesen werden. Die Lüftungsanlage ist zwischen 5:00 und 19:00 in Betreib. Die Zuluft wird jedoch nur bis um 17:00 auf die normale Solltemperatur nachgeheizt. Nach 17:00 sinkt die Zulufttemperatur deutlich ab. Nach dem Ausschalten der Lüftungsanlage um 19:00 gleich sich die vom Zuluftsensor erfasste Temperatur wieder der Raumtemperatur an.
Während der Arbeitszeit ist die Raumlufttemperatur wegen der internen Lasten trotz niedriger Zulufttemperatur deutlich höher als während der Nacht.

Vertikales Temperaturprofil

Vertikales Temperaturprofil sowie Zuluft- und Abluft-temperatur



Das vertikale Temperaturprofil wurde in der Mitte des Raumes aufgezeichnet.
Während des ganzen Tages ist nur eine sehr geringe Temperaturschichtung festzustellen.

Luftqualität

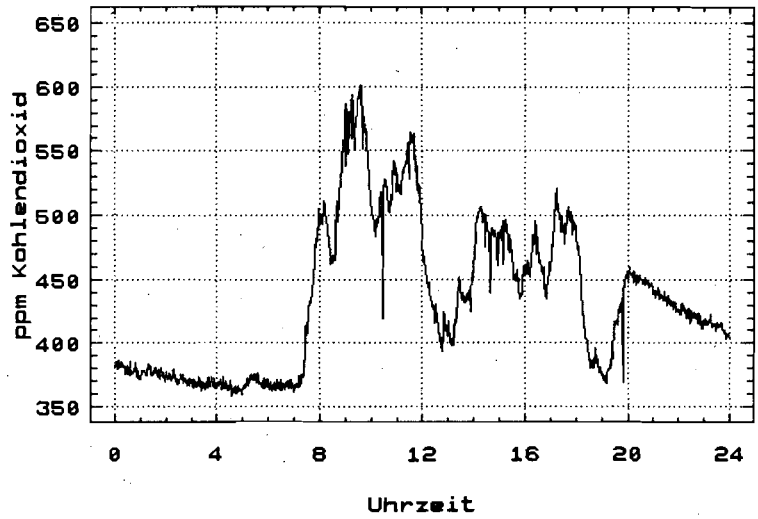
Gemessene Parameter:
CO_2, rel. Feuchte, Raumluft-temperatur

In der Mitte des Raumes, ca. 1.2 m von der Fensterfront enfernt, wurden auf einem Profil folgende Parameter kontinuierlich während 24 Stunden gemessen: Kohlendioxid (1.3 m, 1.8 m, 2.3 m), relative Raumluftfeuchtigkeit und Raumlufttemperatur (je 1.7 m). Ferner wurde der Kohlendioxidgehalt der Abluft bzw. der Zuluft ebenfalls kontinuierlich bzw. durch eine Stichprobe erfasst.

Verlauf der CO_2-Konzentration

Tagesverlauf des Kohlendioxidgehaltes (1.8 m über dem Boden)

Messdatum:
6. April 1989

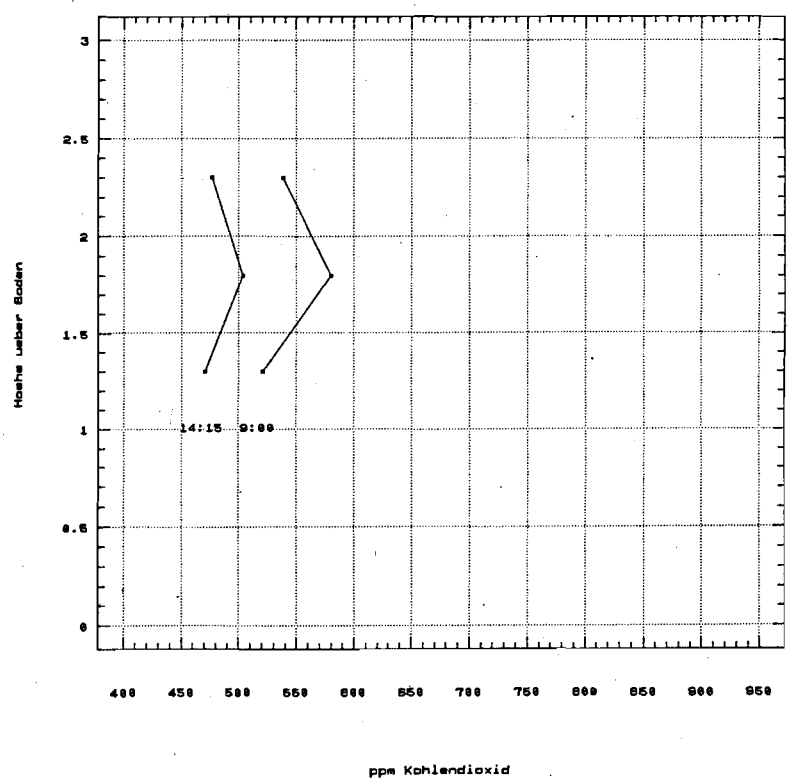


Anzahl anwesende Personen während der Messung:
4 Personen, sitzende Tätigkeit

Die Maximalwerte der Kohlendioxidgehalte im gesamten Profil und in der Abluft stiegen nie wesentlich über 600 ppm. Dies kann zum Teil damit erklärt werden, dass die Raumbenutzer die Fenster oft während längerer Zeit geöffnet hielten und die Türe zum Korridor immer offenstand. Die Median-Werte bewegen sich für das gesamte Profil zwischen 450 und 490 ppm und für die Abluft 490 ppm.

Vertikales CO_2-Profil

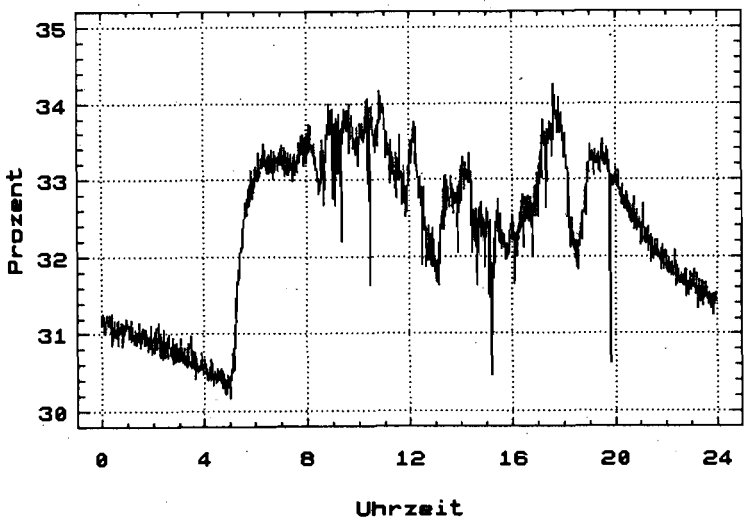
Momentaufnahmen der Kohlendioxidgehalte um 9:00 und um 14:15 Uhr



Die zwei vertikalen Profile des Kohlendioxidgehaltes zeigen, dass der Kohlendioxidgehalt innerhalb des Profils auf 1.8 m Höhe (Kopfhöhe) jeweils am höchsten ist.

Relative Luftfeuchtigkeit und Raumlufttemperatur

Tagesverlauf der relativen Luftfeuchtigkeit (1.7 m über dem Boden)



Die relative Raumluftfeuchtigkeit lag während der Messzeit im unteren Bereich des Behaglichkeitsintervalls (Median-Wert 33 %). Dies kann durch die Erwärmung der Aussenluft auf Raumlufttemperatur (offene Fenster) und/ oder ungenügender Befeuchtung in der Lüftungsanlage erklärt werden. Die Raumlufttemperaturen (Median 24.4 °C) lagen eher im oberen Bereich des Behaglichkeits-intervalls von 19 - 24 °C (für Heizperiode).

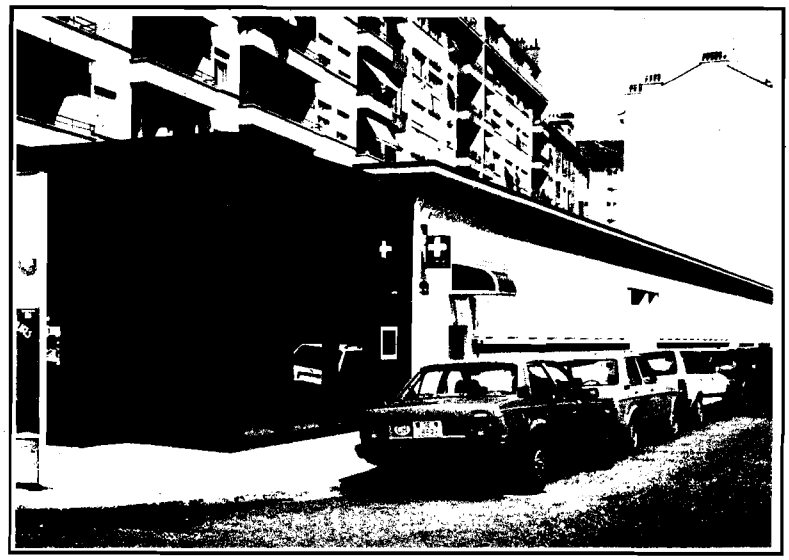
6.2.7 Postbüro Plainpalais, Genf

Adresse:
Rue Pictet-de-Bock 4
1205 Genf

Bauherrschaft:
Kreispostdirektion
1211 Genf 1

Architekt:
PTT Generaldirektion
Direction bât. et immeubles
Sect. de constructions ouest
1000 Lausanne 22

Lüftungsanlage:
PTT, Direktion Hochbau
Sekt. Gebäudeinstallationen
3030 Bern
und
Bureau R. Delieutraz
Rue Marziano 10
1227 Carouge GE



Allgemeiner Objektbeschrieb

Baujahr:
Neubau: 1959
Umbau: 1987

Energiebezugsfläche:
1'202 m²

Gebäudenutzung
Büro
Schalterhalle
Halle für Briefträger
Garage / Warenumschlagplatz

Gebäudeform, Bauweise
Das Gebäude wurde 1959 gebaut. 1987 wurde der vordere Teil umgebaut (Schalterhalle), sowie sämtliche technische Anlagen ersetzt. Der vordere Teil besteht aus einer isolierten Metallfassade, dessen Fensteranteil bei ca. 70 % liegt. Im hinteren Teil des langgezogenen, durchwegs einstöckigen, Gebäudes wurde die Nord-Ostfassade nicht renoviert. Der Fensteranteil beträgt etwa 20 % (Doppelverglasung). Die Mauern sind dort aus Backstein, innen und aussen verputzt. Alle übrigen Wände grenzen direkt an andere Gebäude an, sind also keine Aussenfassaden. Das Gebäude ist ca. 76 m lang und mit einem Flachdach versehen.
Alle Räume mit Ausnahme der Einzelbüros werden mechanisch belüftet. Das kombinierte Deckenkühlsystem ist nur in der Schalterhalle und im Briefträgerlokal (Ort unserer Versuche) installiert.

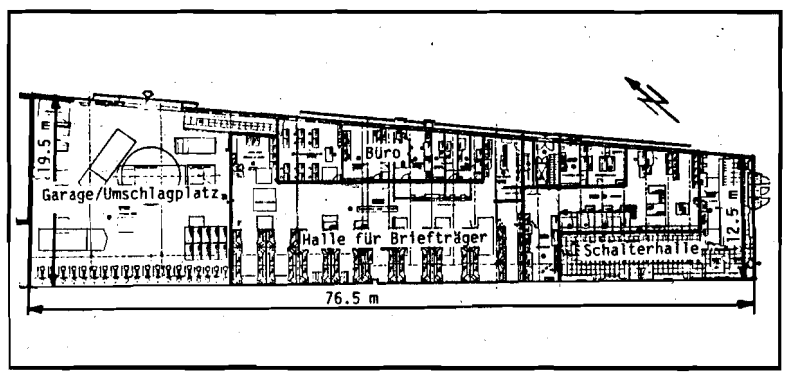
Lage und Umgebung

Das Gebäude liegt mitten im Zentrum der Stadt Genf. Es grenzt aber an zwei Nebenstrassen, sodass Lärm und Schadstoffimmissionen nicht übermässig hoch sind.

Übergeordnete Ziele bei der Planung

Es war ein allgemeines Anliegen, den Energieverbrauch möglichst tief zu halten. Dies hatte insbesondere einen Einfluss auf die Wahl des Lüftungssystems (Luft-Wasser-System). Die Analge wurde nicht für den maximalen Lastfall dimensioniert, da dieser nur während ca. 2 Stunden pro Tag auftritt. Während dieser Zeit befinden sich alle Briefträger im Raum und sortieren die zu verteilende Post. Das kombinierte Deckenkühl-Zuluftsystem wurde auch gewählt, weil die für die Lüftung veranwortlichen Personen der PTT damit Erfahrungen sammeln wollten, ohne dabei grössere Risiken einzugehen: Bei eventueller Kondensation können in diesen Lokalen keine grössere Schäden entstehen.

Grundriss des Gebäudes mit Halle der Briefträger (untersuchte Zone)



Wärmeversorgung

Wärmeerzeugung und -verteilung

Energieträger:
Erdöl / (Gas)

Ein Heizkessel mit Zweistoffbrenner Gas/Heizöl mit einer Leistung von 174 kW gewährleistet die Wärmeerzeugung.

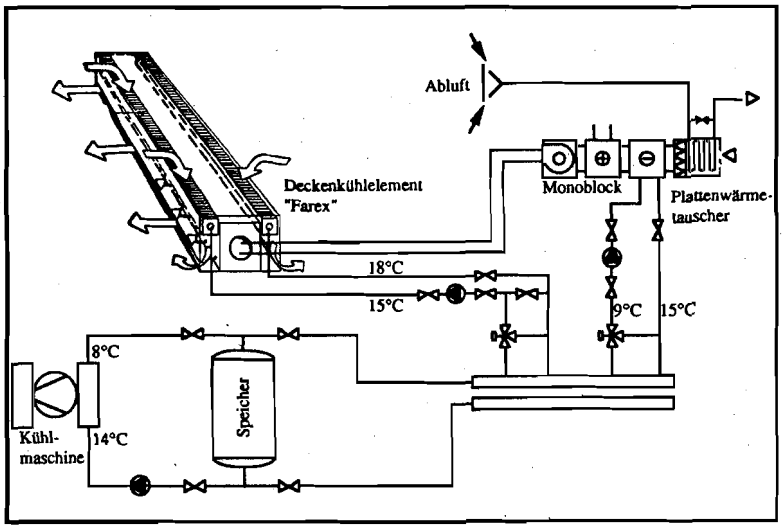
Leistung des Heizkessels:
174 kW

Wärmeabgabe und Aufteilung Heizung/Lüftung

In allen Räumen sind Radiatoren installiert. In den mechanisch belüfteten Räumen erfolgt ungefähr 2/3 der Wärmeabgabe über die Radiatoren. Die Zuluft der mechanisch belüfteten Räume wird im Winter ebenfalls vorgewärmt.

Anlagebeschrieb Lüftung

Vereinfachtes Schema der Kälteproduktion in Verbindung mit dem kombinierten Deckenkühlsystem



Systemtyp:
Luft-Wasser-Niederdrucksystem (kombinierte Deckenkühlung)

Luftmenge:
4'600 m³/h

Aussenluftanteil:
100%

Betriebszeit:
6:00 -19:00

Lüftungssystem

Die Zuluft wird in einem Lüftungsgerät aufbereitet (Kühlung, Befeuchtung, Erwärmung) und danach in den Raum geführt. In der Schalterhalle sowie in der Halle für Briefträger sind 4 Reihen von Deckenkühlelementen installiert. Diese sind an das Kaltwassernetz angeschlossen (15°/18°C). Dadurch wird die Zuluft noch etwas abgekühlt. Im weiteren kann sich auch die obere Raumluft dank den Deckenkühlelementen abkühlen. Ein Teil der durch die Beleuchtung freiwerdende Wärme kann direkt mit dem Wasser abgeführt werden.
Die Abluft wird nahe der Fassade (Nord-Ost) durch Abluftventile abgeführt.

Wärmerückgewinnung

Zwischen der Abluft und der Aussenluftansaugung ist ein Plattenwärmetauscher mit By-Pass installiert (siehe obenstehendes Schema.

Untersuchte Zone

Energiebezugsfläche:
368 m²

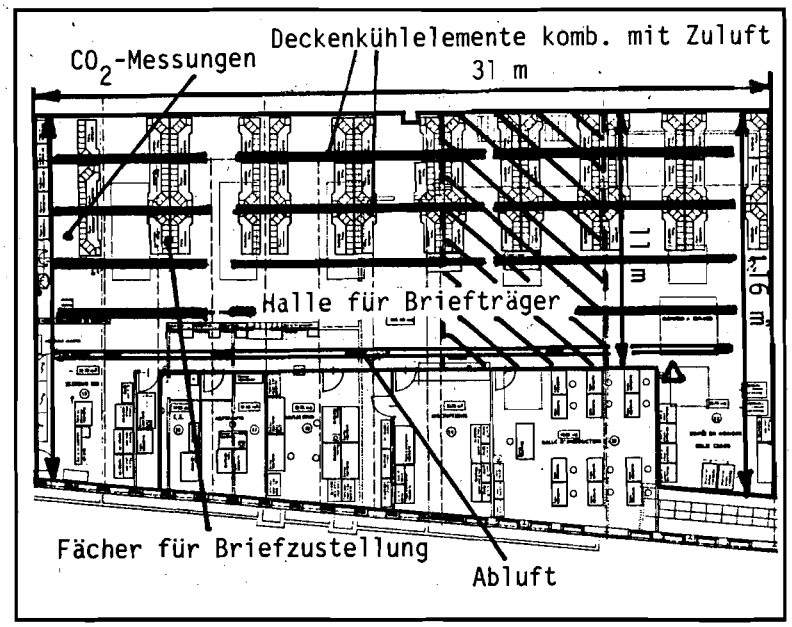
Raumvolumen:
1'104 m³

Raumnutzung, Möblierung

Als untersuchte Zone wurde die Halle für die Briefträger gewählt. Die geometrischen Abmessungen betragen 11 m resp. 15 m x 31 m x 3 m Höhe. In diesem Raum bereiten die Briefträger die Postzustellung vor. Im Raum stehen deshalb mehrere Reihen von Brieffächern, die auf beiden Seiten bedient werden können. Am frühen Morgen, vorallem zwischen 6 und 8 Uhr arbeiten bis zu 70 Personen in diesem Raum. Danach ist dieses Lokal am Morgen nur noch schwach besetzt, bevor gegen Mittag die Anzahl Personen wieder ansteigt (ohne das Maximum von 70 je wieder zu erreichen). Am Nachmittag sind nur noch wenige Leute anzutreffen.

Das künstliche Licht ist zumindest teilweise meist eingeschaltet, da der Fensteranteil recht klein ist. Es sind keinerlei technische Geräte in diesem Raum installiert.

Grundriss des untersuchten Lokals (Δ....Ort, wo Temperaturprofil gemessen wurde)



Raumumschliessungsflächen

Weniger als 10% der den Raum umschliessenden Flächen sind Aussenwände. Fast alles sind innere Zwischenwände leichter Bauweise oder Mauern (Backstein), die direkt an ein anderes Gebäude angebaut sind. Die wenigen Fenster sind doppelverglast und weisen keinen Sonnenschutz auf, da nur am frühen Morgen etwas Sonne eindringen kann (Nord-Ost-Fassade). Die Fenster sind aussen vergittert, können aber geöffnet werden. Es ist eine nicht luftdichte Doppeldecke eingebaut, in der das Lüftungssystem (Dekkenkühlelemente) und die Beleuchtung (Fluoreszenzröhren) integriert sind.

Anzahl Personen:
max. 70

Max. Belegungsdichte:
5 m^2/P

Interne thermische Lasten:
max. 35 W/m^2

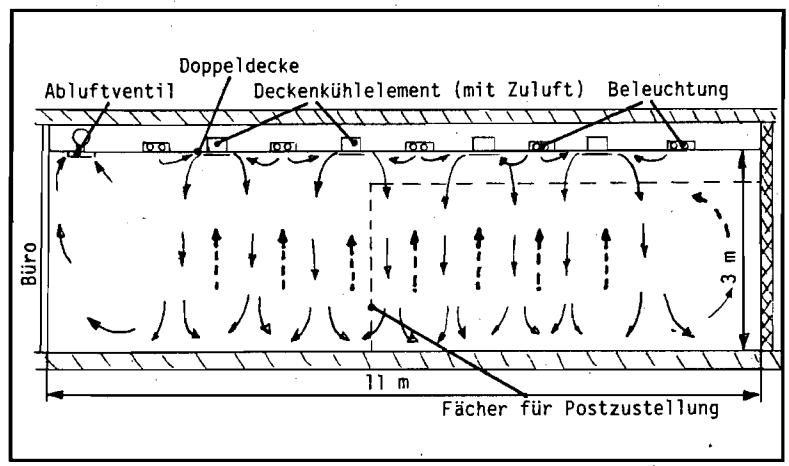
Max. Wärmeabfuhr:
20 W/m^2

Belastung der Raumluft

Was die thermische Belastung betrifft, tragen praktisch nur die Beleuchtung und die anwesenden Personen etwas dazu bei. Bei Vollbesetzung führt das Lüftungssystem nicht die gesamte Wärmelast (ca. 35 W/m^2) ab, sondern hilft nur mit, den Raum zu temperieren. Die Dauer der maximalen Personenbesetzung (ca. 70 Personen), beträgt aber nur ungefähr 2 Stunden. Danach liegt der Wärmelastanfall zwischen 10 und 30 W/m^2.
Der Schadstoff- und Geruchsanfall wird praktisch nur durch die anwesenden Personen verursacht. Es besteht kein Rauchverbot. Auch bei Maximalbesetzung stehen 34 m^3/h Aussenluft pro Person zur Verfügung, sodass die Raumluftqualität sichergestellt sein sollte (vgl CO_2-Messungen).

Luftströmung im Raum

Strömungstyp:
Mischlüftung



Gittertyp Zuluft:
"Farex Kombi"
(kombiniert mit Deckenkühlung)

Gitteryp Abluft:
Abluftventil

Luftmenge:
2'400 m³/h
(nur Aussenluft)
min. 34 m³/Person

Luftwechsel:
2.2 h⁻¹

Raumdurchspülung

Die Zuluft wird unter der Decke rechtwinklig zu den Deckenelementen horizontal über kleine Löcher eingeblasen. Diese haben einen Durchmesser von ca. 2 mm und sind regelmässig (ca. jeden cm) auf die ganze Länge der Kühlelemente verteilt. Die Zuluft hat eine induzierende Wirkung auf die Raumluft, so dass diese zwischen den wassergekühlten Lamellen zirkuliert. Die eingeblasene Luft ist meist kühler als die Raumluft. Dadurch sinkt diese Luft und gestattet eine Vermischung mit der Raumluft (Mischlüftung). Der Abluftkanal ist längs der Fassade beziehungsweise längs der Zwischenwand (zwischen Büro und untersuchtem Raum) installiert. In regelmässigen Abstand sind daran Abluftventile angeschlossen (8 Stück mit je 300 m³/h). Die Raumluft bewegt sich also Richtung Fassade, wobei die durchschnittliche Luftgeschwindigkeit unter 0.4 m/s beträgt.

Effektiv festgestellter Strömungsverlauf

Die Rauchversuche zeigen, wie die Luft horizontal der Decke entlang herausströmt, sich aber sehr schnell von der Decke löst und senkrecht nach unten sinkt. Wenn die Luft den Fussboden erreicht hat, verteilt sie sich gleichförmig. An verschiedenen Orten steigt sie wieder etwas auf, wobei keine ausgeprägten Walzen beobachtet werden konnten. Deshalb sind im oberen Schema die aufsteigenden Pfeile gestrichelt gezeichnet. Nach unseren Beobachtungen ist die Strömung keine typische Mischlüftung. Durch die ständige Bewegung der Briefträger wird eine gute Mischung der Raumluft gewährleistet.

Foto der durch Rauch visualisierten Luftführung: Zuluft strömt aus einem Deckenelement heraus und sinkt senkrecht nach unten

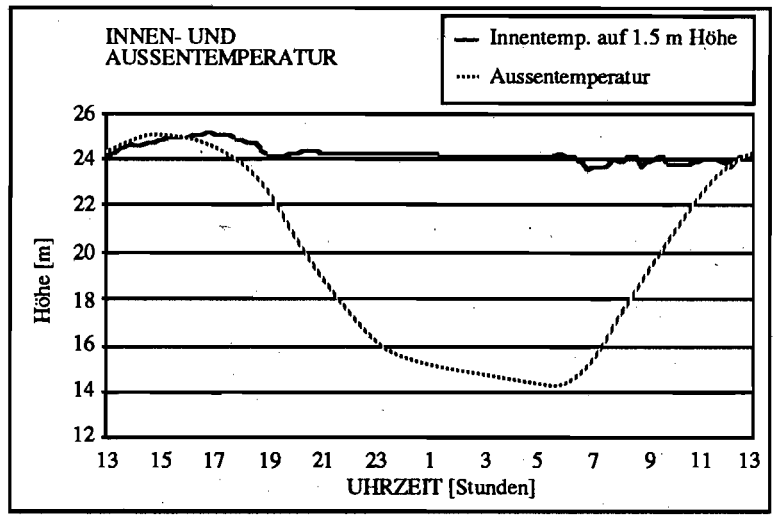
Luftgeschwindigkeit, Probleme, Klagen
Die Luftgeschwindigkeit liegt praktisch im ganzen Raum und sogar nahe der Zuluftelementen unter 0.4 m/s. Die Zuluft sinkt langsam nach unten und die allgemeine Luftbewegung Richtung Abluftventil ist dort am grössten, wo sich keine Personen über längere Zeit aufhalten: im Korridor. Von den Benutzern wurden keinerlei Klagen bezüglich Luftzug laut. Auch über den Lärm der Lüftungsanlage beklagte sich niemand. Dank den relativ kleinen Luftaustrittsgeschwindigkeiten ist praktisch kein Geräusch hörbar. Hingegen waren einige Benützer der Meinung, die Raumlufttemperatur sei zu hoch. Die Briefträger sind während ihrer Anwesenheit ständig in Bewegung und kämen wahrscheinlich auch bei viel tieferen Raumtemperaturen ins Schwitzen. Unabhängig vom Typ der Klimaanlage wäre es aus dem energetischen Standpunkt eher unverhältnis-mässig, aufgrund zwei Stunden intensiver Benutzung die Raumlufttemperatur im Sommer viel tiefer anzusetzen.

Einflussmöglichkeiten des Benützers
Die Benutzer haben keinerlei direkten Einfluss auf die Lüftungsanlage. Hingegen ist es möglich, die Fenster zu öffnen. Davon wird vorallem am Morgen Gebrauch gemacht. Der leichte Temperaturrückgang um ca. 8 Uhr ist darauf zurückzuführen.

Raumklima

Temperaturverlauf

Tagesverlauf der Temperaturen von Raumluft (1.5 m über Boden) und Aussenluft

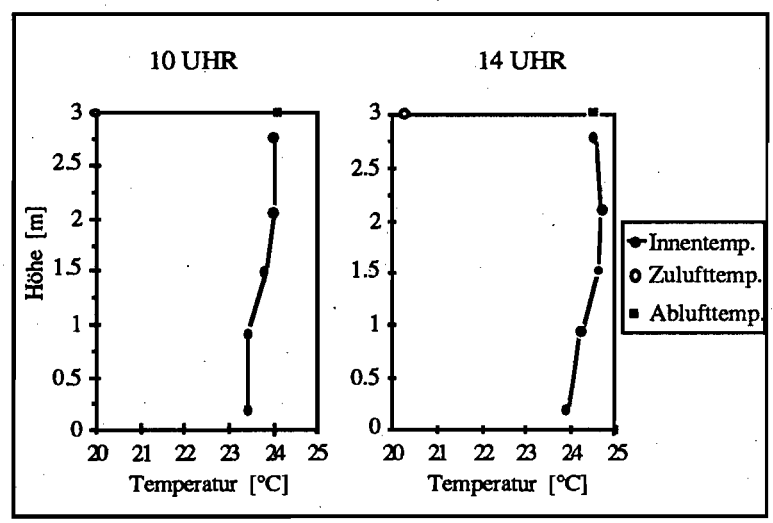


Raumlufttemperatur während der Betriebszeit:
20 - 26 °C = f(Saison)
gemessen: 23.5 - 25 °C

Mit dieser Installation wird der erforderliche Luftwechsel sichergestellt. Zur Verhinderung einer Überhitzung (max. 26°C) wird ein Teil der internen Lasten übernommen. Letztere fallen nur punktuell und während der Arbeitszeit (ca. 2 h pro Tag) an. Die Spitzentemperaturen werden durch die Trägheit des Raumes aufgefangen.

Temperaturprofil

Vertikales Temperaturprofil sowie Zuluft- und Abluft-temperatur



Temperaturdifferenz Decke-Boden:
maximal: 2.2 K
meist: 0.5 - 1 K

Die Temperaturdifferenz zwischen Decke und Boden liegt meist bei ungefähr 0.5 - 1 K. Die höchste Temperatur wird meist nicht direkt unter der Decke gemessen, sondern etwa 70 - 80 cm unterhalb, siehe Temperaturprofil um 14 Uhr. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die kältere Zuluft der Decke entlang eingeblasen wird, und dass die Decke selbst wassergekühlt ist. Diese Beobachtung wurde gemacht, obschon das Temperaturprofil in einem Abstand von

mindestens 3 m vom nächsten Kühlelement gemessen wurde.
Die maximale Temperaturdifferenz zwischen Decke und Fussboden wurde zwischen 6 und 8 Uhr gemessen. In dieser Zeit sind am meisten Personen im Raum anzutreffen. Die Temperaturdifferenz kann zu dieser Zeit über 2 K betragen.

Luftqualität

Gemessene Parameter: CO_2, rel. Feuchte, Raumlufttemperatur

Im hinteren Teil des Raumes wurden die Parameter Kohlendioxid (1.4 m, 1.8 m, 2.4 m), Raumlufttemperatur (1.8 m) sowie die relative Raumluftfeuchtigkeit (1.8 m) während 24 Stunden kontinuierlich gemessen. Ferner wurde kontinuierlich der Kohlendioxidgehalt der Abluft erfasst. Die Kohlendioxidkonzentration der Zuluft wurde lediglich stichprobenweise gemessen.

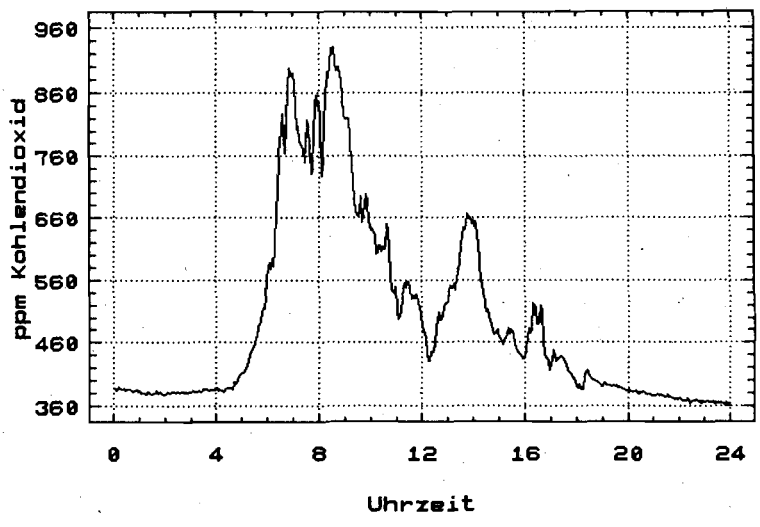
Verlauf der CO_2-Konzentration

Anzahl anwesende Personen während der Messung: stark variabel, stehende Arbeitsweise

Die Maximalwerte des Kohlendioxidgehaltes stiegen während der Messperiode im Aufenthaltsbereich nie über 1000 ppm und blieben damit innerhalb des Behaglichkeitsbereiches. Die Maximalwerte des Kohlendioxidgehaltes unter der Decke und in der Abluft (1028 ppm resp. 1205 ppm) überschritten diese Schwelle geringfügig, sind aber, da ausserhalb der Aufenthaltszone liegend, nur von sekundärer Bedeutung. Die Median-Werte bewegten sich für das gesamte Profil zwischen 520 und 560 ppm. Der Median-Wert der Abluft betrug 600 ppm.

Tagesverlauf des Kohlendioxidgehaltes (1.4 m über dem Boden)

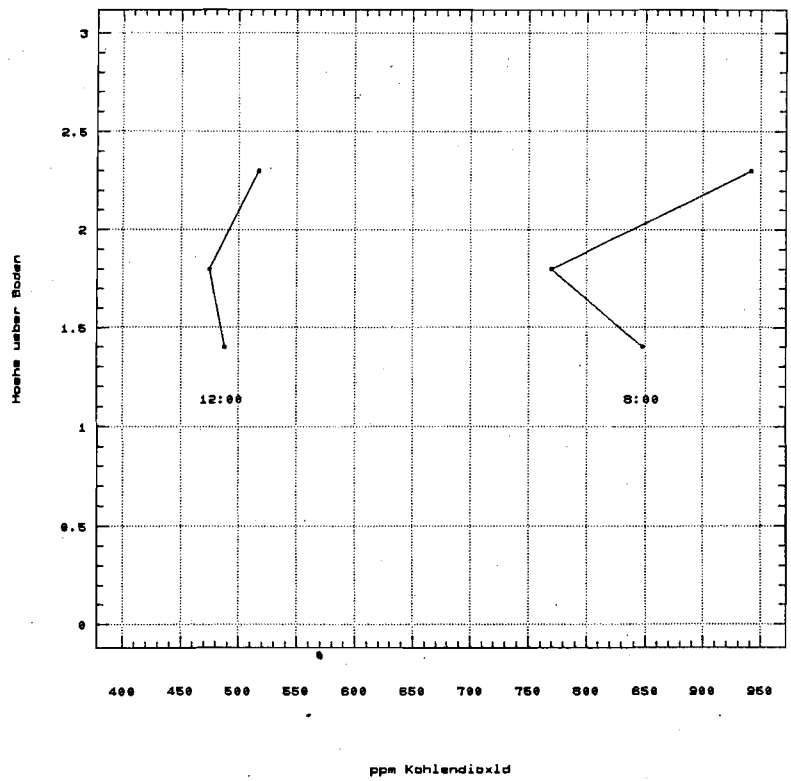
Messdatum: 27. Juni 1989



Vertikales CO_2-Profil

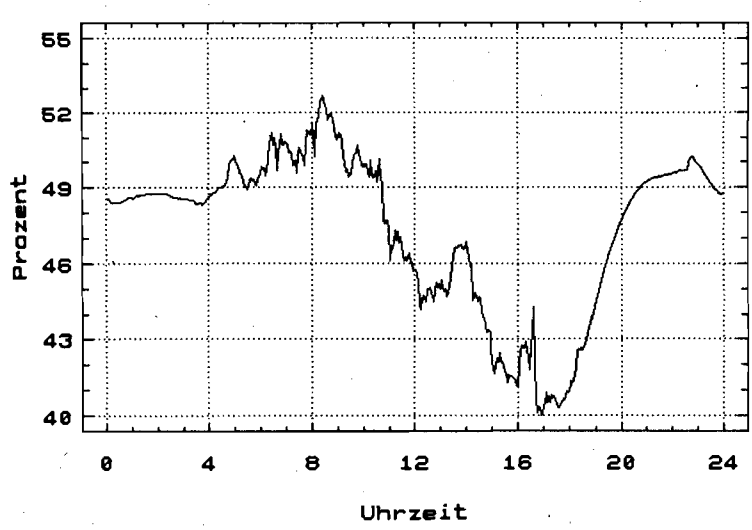
Die zwei Momentaufnahmen des Raumprofils des Kohlendioxidgehaltes lassen eine deutliche Schichtung der Raumluft während der Hauptbelegungszeit erkennen, wobei der Messpunkt auf Kopfhöhe (1.8 m) den niedrigsten Kohlendioxidgehalt aufweist (Analogie zum vertikalen Temperaturprofil).

Momentaufnahmen der Kohlendioxidgehalte um 8:00 und um 12:00 Uhr



Relative Luftfeuchtigkeit und Raumlufttemperatur

Tagesverlauf der relativen Luftfeuchtigkeit (1.8 m über dem Boden)



Die relative Raumluftfeuchtigkeit und die Raumlufttemperatur bewegten sich ebenfalls innerhalb des Behaglichkeitsbereiches. Die eher hohen Raumlufttemperaturen entsprechen den relativ hohen Aussenlufttemperaturen am Messtag und sind für sog. "Hitzetage" zulässig. Die Mediane betragen 47% für die relative Raumluftfeuchtigkeit und 26 °C für die Raumlufttemperatur. Die Abnahme der Raumluftfeuchtigkeit während des Tages kann mit der entsprechenden Zunahme der Lufttemperatur erklärt werden. Nach dem Aussschalten der Lüftung stieg die relative Luftfeuchtigkeit durch Aussenluftinfiltration wieder an.

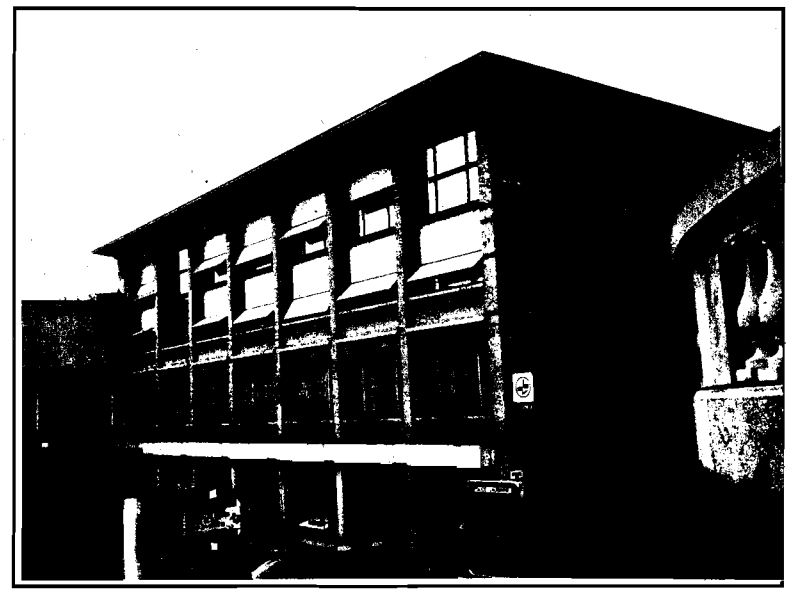
6.2.8 Banque Cantonale Vaudoise (BCV), Lausanne

Adresse:
Rue de la Grotte
Lausanne

Bauherrschaft:
BCV, Secteur Immobilier,
Lausanne

Architekt und
Lüftungsplanung:
BCV, Secteur Immobilier,
Lausanne

Ausführung Lüftung:
Caloritec Nikles SA.,
Lausanne



Baujahr:
Gebäude: 1947
Lüftungsanlage: 1988

Energiebezugsfläche:
ca. 4'000 m^2 (Gebäude B)

Allgemeiner Objektbeschrieb

Gebäudenutzung
Büro
Grossraumbüro mit vielen Konsolen (Börse)
Computerräume

Gebäudeform, Bauweise
Das Gebäude (B) gehört zu einem aus fünf Bauten bestehenden Gebäudekomplex der BCV-Direktion. Das Gebäude besitzt einen rechteckigen Grundriss und ein Flachdach. Es besteht aus vier Stockwerken (inkl. Erdgeschoss) und aus drei Untergeschossen. Auf der Südostseite ist es an ein anderes Gebäude (C) angebaut.
Das Gebäude wurde bereits in den Vierzigerjahren gebaut. Innen wurden aber 1988 gewisse Änderungen vorgenommen, wobei in verschiedenen Räumen auch ein neues Lüftungssystem eingebaut wurde.
Die Fassaden weisen einen Fensteranteil von über 50 % auf. Die Fenster sind doppelverglast und haben einen Wärmedurchgangskoeffizienten von 2.6 W/m^{2}K.
Die Fassade kann als mittelschwere Konstruktion bezeichnet werden.

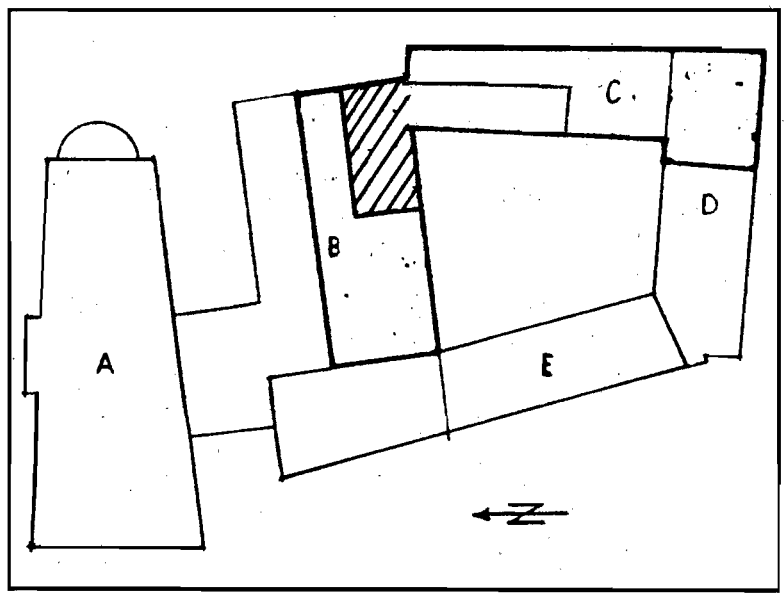
Lage und Umgebung
Das Gebäude liegt mitten im Zentrum der Stadt Lausanne (unterhalb Place St. François). Die Lärmbelastung ist recht hoch, während der äussere Schadstoffanfall als mittel eingestuft werden kann.

Übergeordnete Ziele bei der Planung

Die bei der Planung angestrebten Ziele sind heute nicht bekannt. In den vierziger Jahren dürfte aber der Energieverbrauch keine grosse Bedeutung gehabt haben.
Was das Lüftungssystem betrifft, welches erst vor Kurzem eingebaut wurde, hatte das Abführen der sehr hohen Wärmelasten bei einer grossen Flexibilität (vorallem bezüglich Möblierung) erste Priorität bei der Systemwahl. Daneben waren auch der Komfortanspruch und der Unterhalt (Einfachheit und Energieverbrauch) wichtige Entscheidungskriterien. Hingegen spielten die Investitionskosten der Anlage eine untergeordnete Rolle.

Grundriss des Gebäudekomplexes mit untersuchter Zone (schraffiert)

Im Gebäude C: Raum mit gleichem Lüftungssystem und gleicher Ausrüstung (offen gegen untersuchte Zone)



Wärmeversorgung

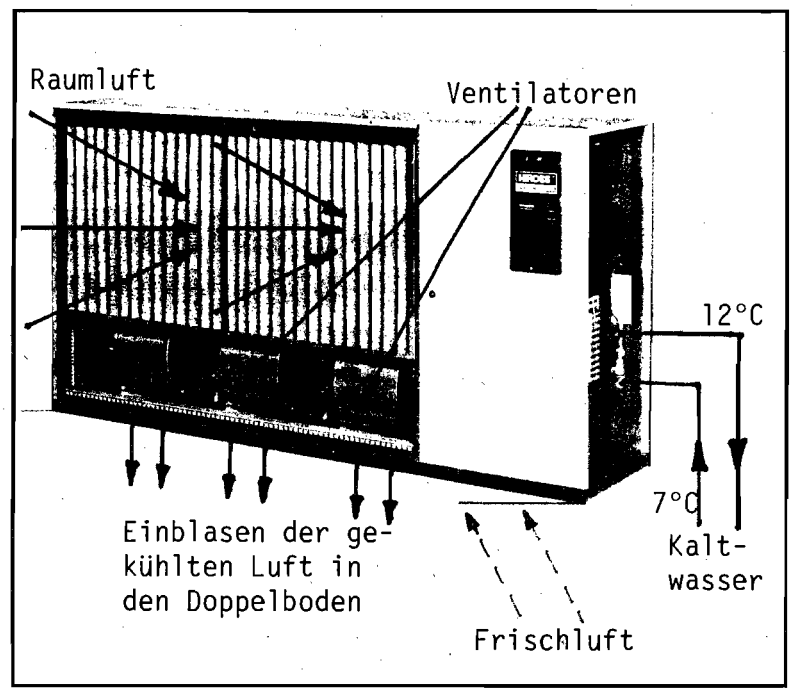
Wärmeerzeugung, -verteilung und -abgabe

Energieträger:
Erdöl

Das Gebäude wird mit einem Ölkessel geheizt. Die Wärmeabgabe erfolgt über eine Wärmestrahlungsdecke. Wegen der grossen inneren Wärmelasten (ca. 100 W/m²) ist dieses Heizungssystem aber nicht von sehr grosser Bedeutung (meistens Kühlbedarf).

Anlagebeschrieb Lüftung

Einer der beiden im Lokal B01 aufgestellten Klimaschränke



Systemtyp:
Luft-Luft-Niederdruckanlage

Luftmenge (Lokal B01)
7'700 m³/h (Umluft)
+ 750 m³/h (Aussenluft)

Aussenluftanteil:
ca. 10%

Betriebszeit:
5:45 - 21:00

Lüftungssystem

Die Zuluft gelangt durch Bodenauslässe in den Raum. Die Aussenluft stellt nur einen geringen Anteil der Zuluft dar (ca. 10 %) und wird direkt in den Zwischenboden geführt. Die Umluft wird in zwei im Raum aufgestellten Klimaschränken gefiltert und gekühlt sowie, je nach Bedarf, entfeuchtet. Danach gelangt die Umluft ebenfalls in den Zwischenboden, wo sie sich mit der Aussenluft vermischt, bevor sie wieder in den Raum eintritt.

Wärmerückgewinnung

Das zentrale Lüftungssystem besitzt keine Wärmerückgewinnung. Für unsere Untersuchungen, welche v.a. die Luftführung betreffen, ist diese Tatsache nicht von Bedeutung.

Untersuchte Zone

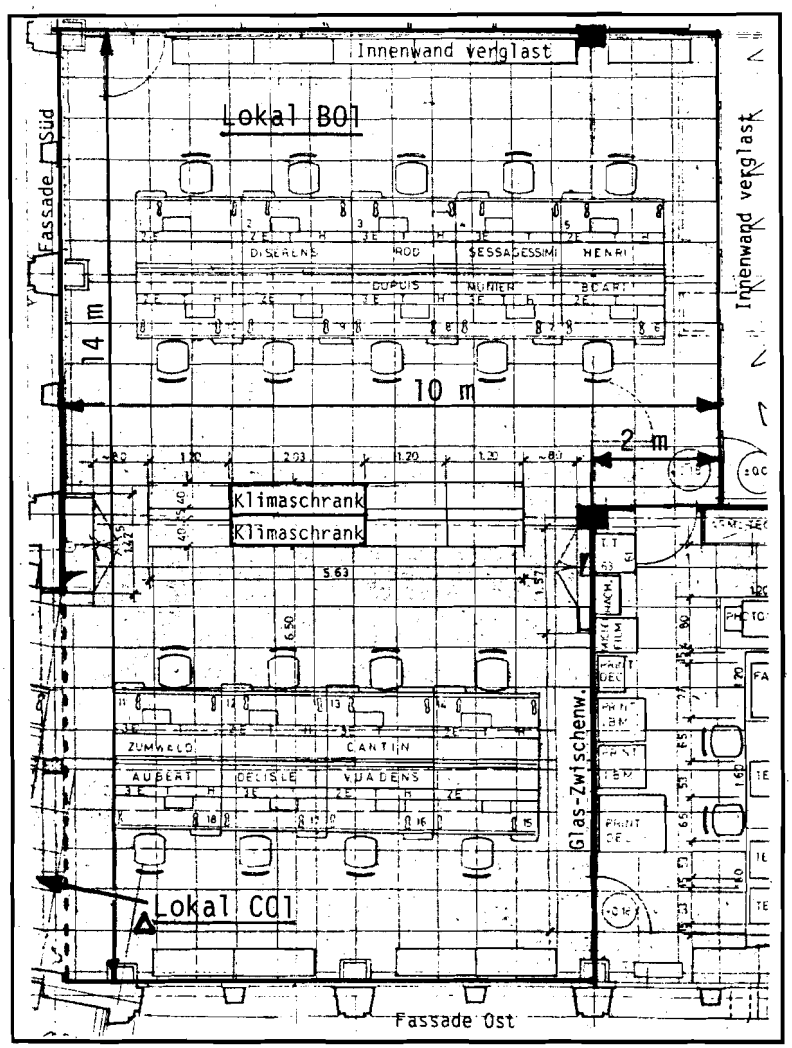
Energiebezugsfläche:
126 m²

Raumvolumen:
330 m³

Raumnutzung, Möblierung

Als untersuchte Zone wurde ein Grossraumbüro für ca. 20 Personen gewählt. Die geometrischen Abmessungen betragen: 8m resp. 10 m x 14 m x 2.6 m Höhe. In diesem, sowie auch im angrenzenden Büro des andern Gebäudes C (C01) werden die Börsengeschäfte der BCV abgewickelt. Es sind deshalb sehr viele Bildschirme installiert. Die Arbeitsplätze mit den Konsolen sind in zwei Reihen fest eingebaut (nicht verschiebbar). Die Klimaschränke befinden sich zwischen den beiden Reihen.

Grundriss des untersuchten Büros (Δ...Temperaturmessstelle)



Raumumschliessungsflächen

Auf der Ostseite sowie einem Teil der Südseite ist der Raum durch die Aussenfassade begrenzt. Über 50 Prozent dieser Fassaden bestehen aus doppelverglasten Fenstern, die aus Sicherheitsgründen nicht geöffnet werden können (nur mit Schlüssel). Die Fenster sind mit Gummidichtungen ausgerüstet.

Die Innenwände sind fast alle verglast. Sie sind schall- und luftdicht ausgeführt.

Als Sonnenschutz dienen aussenliegende Storen. Zusätzlich sind in einigen Räumen (inkl. der untersuchten Zone) auf der Innenseite noch vertikale Lamellen als Blendschutz angebracht.

An der ursprünglichen Doppeldecke wurde nichts geändert, hingegen wurde zusätzlich ein Doppelboden eingebaut. Dieser ist für das Luftführungssystem notwendig, ist aber auch sehr nützlich für die Verbindungen und Anschlüsse der Computer. Der Doppelboden steht bei eingeschalteter Lüftungsanlage unter Überdruck. Die Luft wird über Drallauslässe in den Raum gebracht. Der Boden ist mit Spanntepich belegt.

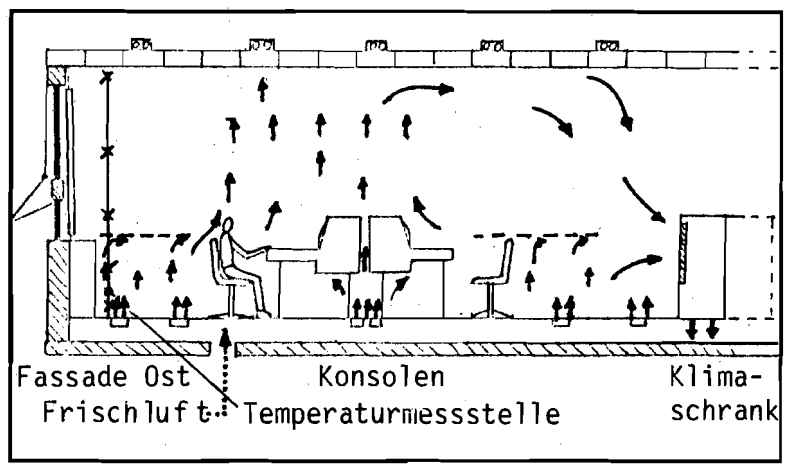
Anzahl Personen:
ca. 20

Thermische Lasten:
max. 100 W/m²K (total)

Belastung der Raumluft
Jeder Arbeitsplatz dieses Raumes ist mit 3-4 Bildschirmen ausgerüstet. Die inneren Wärme-lasten sind deshalb sehr hoch und betragen schon ohne Personen, aber inklusive künstliche Beleuchtung ungefähr 80 W/m². Bei Vollbesetzung des Raumes kommen noch fast 20 W/m² dazu. Diese Wärmelast muss im Sommer vom Lüftungssystem abgeführt werden. Der Schadstoff- und Geruchsanfall wird praktisch nur durch die anwesenden Personen verursacht. Obschon kein Rauchverbot herrscht, ist die Aussenluftmenge von ca. 30 m³/ Person respektiv 2.3 h⁻¹ genügend.

Luftströmung im Raum

Strömungstyp:
Verdrängungs- resp. Mischlüftung



Gittertyp Zuluft:
Drallauslässe im Boden
Anzahl: ca. 120

Luftmenge pro Gitter:
ca. 70 m³/h

Gittertyp Abluft:
grosses Linear-Gitter

Luftmengen:
Umluft: 7'700 m³/h

Aussenluft: 750 m³/h
ca. 30 m³/h Person

Luftwechsel:
Umluft:
23 h⁻¹

Aussenluft:
2.3 h⁻¹

Raumdurchspülung
Die Luftzufuhr erfolgt von unten durch Drallauslässe, welche direkt im Doppelboden montiert sind. Drallauslässe wurden gegenüber Freistrahlauslässen vorgezogen, weil die Eindringhöhe der Zuluft bei Drall-Luftauslässen kleiner ist. Der Strahl ist breiter gefächert, vermischt sich besser mit der Umgebungsluft und gibt deshalb bei gleicher Luftmenge weniger zu Luftzugbeschwerden Anlass. Die von unten eintretende Zuluft vermischt sich bereits im Bodenbereich mit der Raumluft. Aus Konstruktionsgründen wurden die Abluftgitter direkt über dem Klimaschrank und nicht in der Doppeldecke montiert. Dadurch wird eine reine Verdrängungslüftung verhindert.

Effektiv festgestellter Strömungsverlauf
Die Rauchversuche haben gezeigt, wie die Luft aus den Drallauslässen herausströmt, sich recht schnell mit der Raumluft vermischt und im unteren Raumbereich bis ca. 80 cm eine "Kaltluftzone" bildet. Die Temperaturdifferenz zwischen oben und unten ist jedoch sehr klein. An Orten, wo Wärmelasten anfallen, steigt die Luft auf. Dies wurde über den Konsolen und unter den Fluoreszenzröhren beobachtet. Wenn die Arbeitsplätze durch Personen besetzt sind, wird dieses Phänomen noch verstärkt. Da sich die

Klimaschränke in der Mitte des Raumes befinden, verschiebt sich die Luft von der Ostfassade langsam gegen die Mitte. Diese Luftbewegung ist aber trotz des grossen Luftwechsels nur sehr schwach.

Foto der durch Rauch visualisierten Luftführung

Luftgeschwindigkeit, Probleme, Klagen

Die gemessene Luftgeschwindigkeit bei den Auslässen lag bei 1.8 m/s, 10 cm darüber nur noch bei 0.8 m/s und 20 cm über den Auslässen bei weniger als 0.4 m/s.

Trotz des hohen Luftwechsels war im ganzen Raum nirgends ein Luftzug spürbar. Die Benützer sind zufrieden mit der Lüftungsanlage. Dabei spielt die Position der Luftauslässe eine wichtige Rolle. In unserem Beispiel waren wegen den grossen Wärmelasten viele Auslässe direkt unter den Konsolenreihen installiert. Die anderen sind alle hinter den Personen eingebaut. Da die Stühle sehr breite und geschlossene Rückenlehnen haben, ist die austretenden Luft für die Benützer in diesem Fall trotzdem nicht spürbar.

Die Lüftungsanlage verursacht ein im Raum hörbares Geräusch. Dies ist aber nur darauf zurückzuführen, dass die Klimaschränke im selben Raum aufgestellt sind.

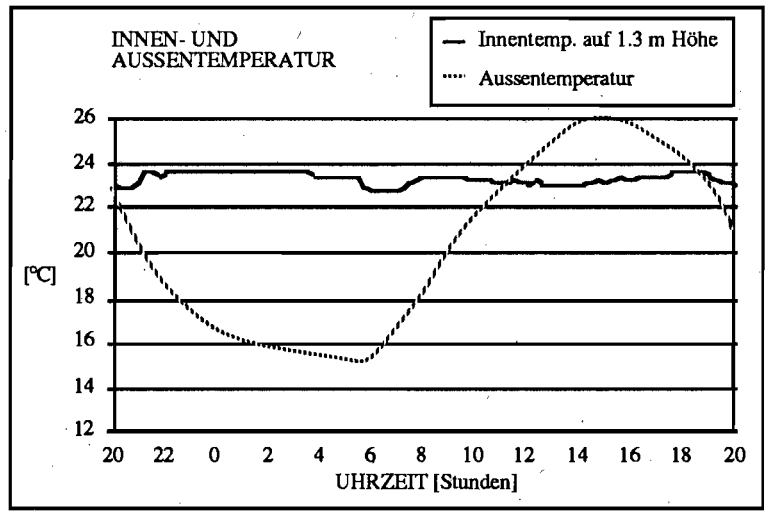
Einflussmöglichkeiten des Benützers

Die Benützer haben keine direkte Einflussmöglich-keiten. Nach verschiedenen Diskussionen zwischen Benützern und Anlagebetreuern scheint sich eine variable Temperatureinstellung der Klimaschränke durchzusetzen. Das heisst, die Raumtemperatur kann im Sommer auch mal etwas höhere Werte erreichen als gerade 22 °C.

Raumklima

Temperaturverlauf

Aussentemperatur und Raumtemperatur auf 1.3 m Höhe



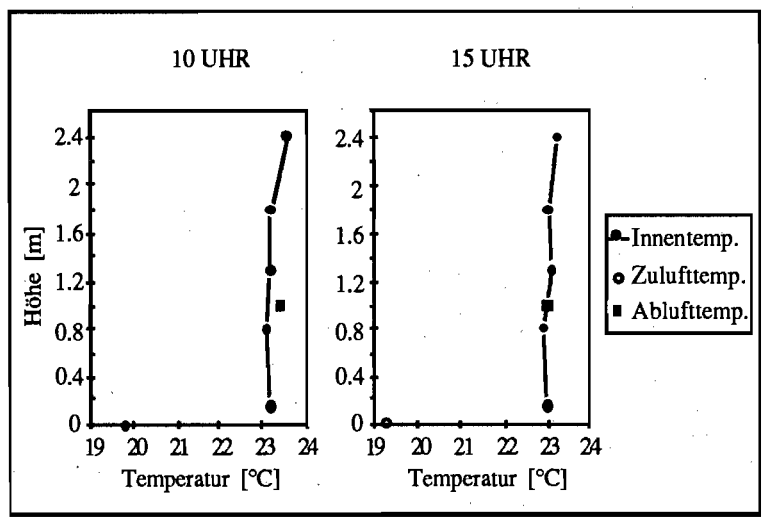
Raumlufttemperatur während der Betriebszeit:
Sollwert: 21 - 24°C = f(Saison)

gemessen: 22.7 - 23.7°C

Der Innentemperaturverlauf varierte während den gemessenen 24 Stunden (Mitte Juni) nur sehr wenig, siehe obenstehende Graphik. Die Lüftungsanlage war nachts abgestellt. Das Einschalten der Anlage kurz vor sechs Uhr machte sich durch einen leichten Temperaturrückgang (knapp 1 K) bemerkbar.

Vertikales Temperaturprofil

Vertikales Temperaturprofil (Momentaufnahme) sowie Zuluft und Ablufttemperatur



Temperaturdifferenz Decke-Boden:
maximal: 1.1 K
meist: 0.3 - 0.5 K

Das Temperaturprofil wurde in einer Ecke des raumes aufgenommen. In diesem Bereich befinden sich weder Luftauslässe noch thermisdche Lasten. dadurch ergibt sich eine geringe Temoperaturschichtung. Direkt über Luftauslässen und Wärmequellen wäre die vertikale Temperaturdifferenz jedoch wesentlich höher ausgefallen.
Die Zuluft lag während den Messungen bei 19 - 20 °C, die Differenz zur Ablufttemperatur betrug 3 - 4 K. Wegen dem

hohen Luftwechsel beträgt diese Differenz auch bei maximalem Wärmelastanfall kaum je über 4 Kelvin. Die Messungen zeigen im Weiteren, dass sich die Zuluft dank den Drallauslässen sofort mit der Raumluft vermischt.

6.2.9 Einfamilienhaus Ahlgren, Lully

Adresse:
Chemin Saugey
Lully (VD)

Bauherr:
Anders Ahlgren

Architekt:
Atelier d'Architecture de Lully
J. et A. Strauss, Lully

Lüftungsanlageplaner:
Eco-Confort SA.,
Ch. Jolliet, Morges

Allgemeiner Objektbeschrieb

Baujahr:
1988

Energiebezugsfläche:
317 m²

Energiekennzahl:
total (Wärme, Warmwasser, Elektrizität) ca. 400 MJ/m²

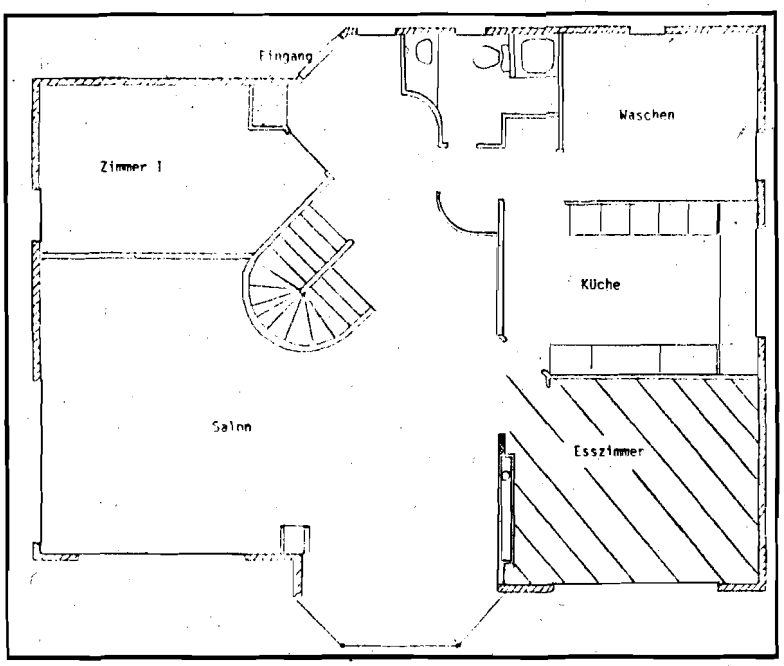
Gebäudenutzung:
Einfamilienhaus

Gebäudeform, Bauweise
Das Gebäude ist ein mittelgrosses Einfamilienhaus, das aus zwei Etagen und einem bewohnbaren Estrichzimmer besteht. Auch der Keller soll ausgebaut werden (Sauna etc.), wobei diese Arbeiten noch nicht beendet sind. Der Grundriss des Gebäudes ist rechteckig, mit Ausnahme der Seite des Salons, wo eine trapezförmige Glasfassade vorgebaut ist. Allgemein ist auf dieser Seite (Südseite) des Erdgeschosses der Fensteranteil sehr gross. Die Fenster des ganzen Hauses sind zweifach verglast (Thermopan) mit Holzrahmen und Gummidichtungen. Aussen sind überall Lamellenstoren montiert.
Weil das Dach, das mit 12 cm Steinwolle isoliert ist, bis auf die Höhe der Erdgeschossdecke heruntergezogen ist, ist in einigen Zimmern des ersten Stockes die Dachschräge sichtbar.
Das Haus ist recht gut isoliert: Der mittlere Wärmedurchgangskoeffizient k beträgt laut den Berechnungen des Architekten 0.49 W/m²K
Das ganze Haus ist mechanisch belüftet. Die Zuluft wird durch die Abluft vorgeheizt (Plattenwärmetauscher).

Lage und Umgebung
Das Gebäude liegt etwas erhöht ausserhalb des Dorfkernes von Lully. Die Lage ist deshalb sehr ruhig und die Schadstoffimissionen entsprechen denjenigen, wie sie in ländlichen Gebieten anzutreffen sind.

Übergeordnete Ziele bei der Planung
Die Prioritäten des Bauherren lagen von Anfang an bei einem möglichst kleinen Energieverbrauch. Auch das Bedürfnis nach genügend Aussenluft war sehr ausgeprägt, wobei sicher seine schwedische Abstammung einen gewissen Einfluss hatte. Ebenfalls sehr wichtig war die Möglichkeit der individuellen Steuerung der Raumtemperatur (programmierbare Steuerung für 8 verschiedene Zonen). Auch für den Lüftungsanlageplaner ist Energiesparen sehr wichtig. Der Grossteil seiner recht zahlreichen Verwirklichungen mit mechanischer Belüftung ist aus Kostengründen mit elektrischen Heizungen ausgerüstet (zusätzlich zur Wärmerückgewinnung).
Wegen der elektrischen Heizung ist der Bauherr schon vom Gesetz her verpflichtet, sein Haus gut zu isolieren.

Grundriss des Gebäudes mit untersuchter Zone (schraffierte Fläche)



Wärmeversorgung

Wärmeerzeugung und -verteilung

Energieträger:
Elektrizität

Mit der Abluft wird die Zuluft vorgeheizt (Plattenwärmetauscher). Die Nacherwärmung der Luft erfolgt elektrisch.

installierte Heizleistung:
ca. 15 kW

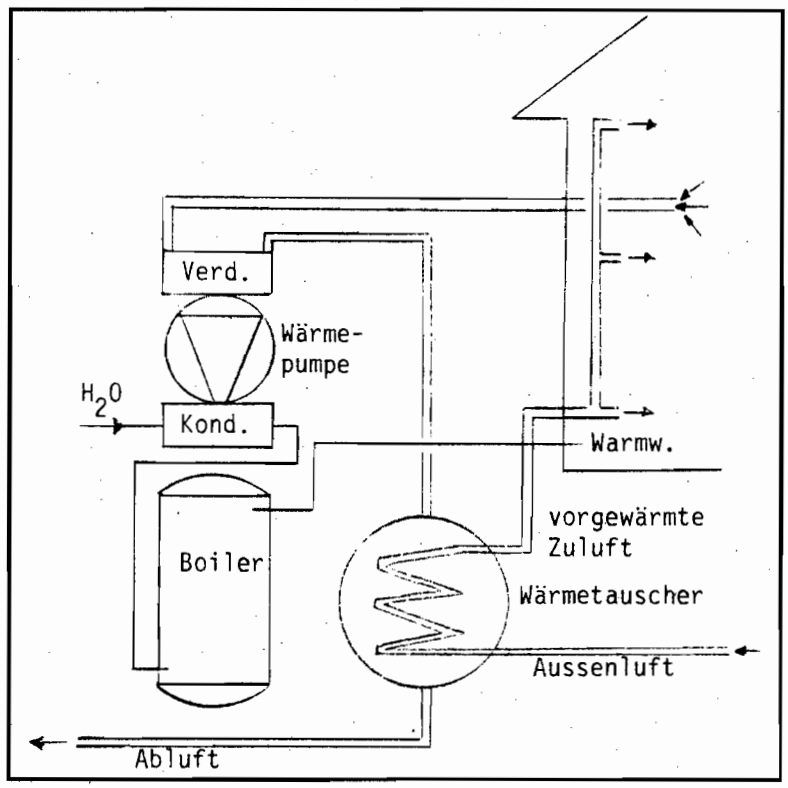
Das Warmwasser wird mit Hilfe einer Wärmepumpe erwärmt. Die Wärmepumpe kühlt die Abluft vor dem Wärmetauscher um ca. 10 K ab. Liegt also die Aussentemperatur über 10 °C, so wird bei in Betrieb stehender Wärmepumpe die Zuluft mit der kalten Abluft abgekühlt, da kein By-pass vorhanden ist (aus Kostengründen).

Warmwasser:
Wärmepumpe

Wärmeabgabe
In allen Räumen sind elektrische Radiatoren oder Konvektoren installiert. Hinter den Konvektoren befinden sich die Zuluftauslässe. Die Zuluft wird also entweder durch die

Konvektoren oder aber mit elektrischen Widerständen, die in den Zuluftgittern eingebaut sind, auf die erforderliche Temperatur gebracht.
Zusätzlich sind an einigen Orten (Salon, Küche usw) noch elektrische Widerstandsleitungen im Betonboden eingegossen.

Anlagebeschrieb Lüftung



Systemtyp:
Niederdruckanlage

Luftmenge total :
300m³/h bzw. ca. 150m³/h

Aussenluftanteil:
100%

Betriebszeit:
Ganztags

Lüftungssystem

Das Lüftungssystem ist eine Einzonen-Niederdruckanlage mit einem kleinen Ventilator (ca. 70 W). Die Luftmenge kann zweistufig reguliert werden, wobei auch bei der grösseren Ventilatorengeschwindigkeit der Luft-wechsel nur ca. 0.5 h^{-1} beträgt. Die Zuluftkanäle (Plastikschläuche) sind direkt in den Betonboden eingegossen. In jedem Stockwerk sind ein bis zwei Abluftventile installiert (in Küche, Badzimmer, WC usw.). Im Gegensatz zur Raumlufttemperatur kann die Luftmenge nur zentral für das ganze Haus geregelt werden.

Wärmerückgewinnung

Die Aussenluft wird durch die Abluft vorgeheizt. Der Plattenwärmetauscher hat eine Fläche von 22 m² und besitzt nach Herstellerangaben einen Wirkungsgrad von ca. 60 %. Da die Abluft zuerst die Wärmepumpe passiert, wird die vom Plattenwärmetauscher nutzbare Abwärme künstlich

verringert. Der Wärmetauscher kann somit in der Zwischensaison sogar eine kontraproduktive Wirkung haben (Abkühlung der Zuluft). Wegen Vereisungsgefahr des Verdampfers der Wärmepumpe musste die Wärmepumpe dem Wärmetauscher vorangeschaltet werden. Messungen wären in diesem Zusammenhang sehr interessant und würden zeigen, ob sich der Mehraufwand für eine Bypass-Disposition lohnen würde.

Untersuchte Zone

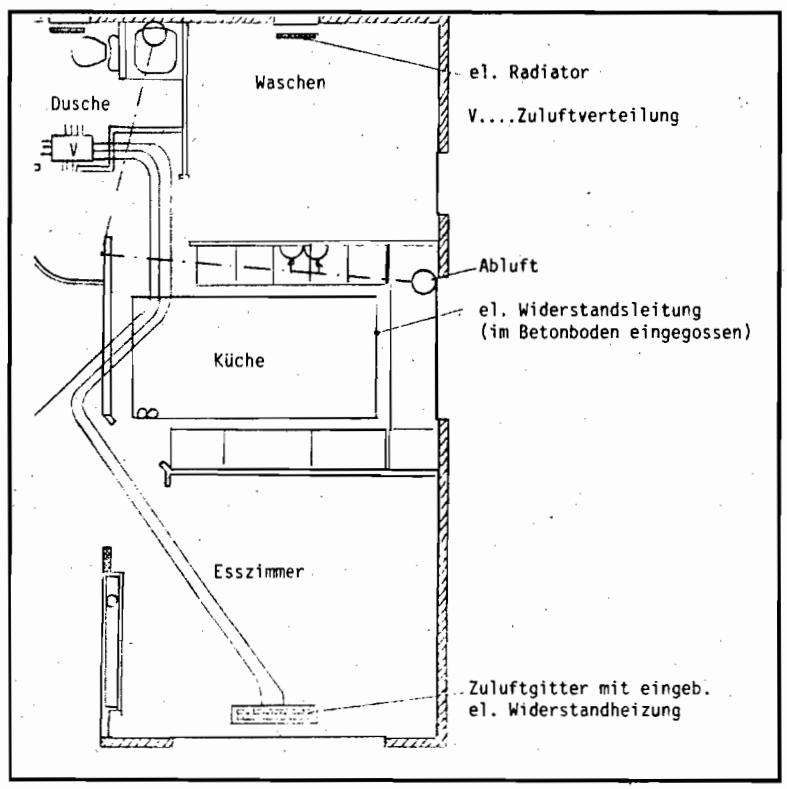
Raumnutzung, Möblierung

Energiebezugsfläche:
17 m²

Raumvolumen:
40 m³

Als untersuchte Zone wurde das Esszimmer des Hauses gewählt. Die geometrischen Abmessungen betragen: 4.5 m (Fensterfassade) x 3.7 m x 2.4 m Höhe. Der Raum ist gegen die Küche und gegen den Salon offen (Bar resp. Theke).
Zur Zeit der Messungen war der Raum nicht möbliert.

Grundriss der untersuchten Zone



Raumumschliessungsflächen

Die Ostseite des Esszimmers ist ohne Fenster. Die Aussenwände bestehen aus Betonziegeln, Isolation (10 cm) und Verputz ("Placoplatre"). Die Innenwände bestehen aus Gips, Backstein und Gips. Die Südseite des Zimmers weist einen fensteranteil von ca. 60% auf (öffenbare Schiebefenster). Als Sonnenschutz dienen aussenliegende Lamellenstoren mit elektrischem Antrieb. Der Fussboden besteht aus Steinplatten (Kacheln).

Anzahl Personen:
0 - 2 Personen

Thermische Lasten:
sehr gering

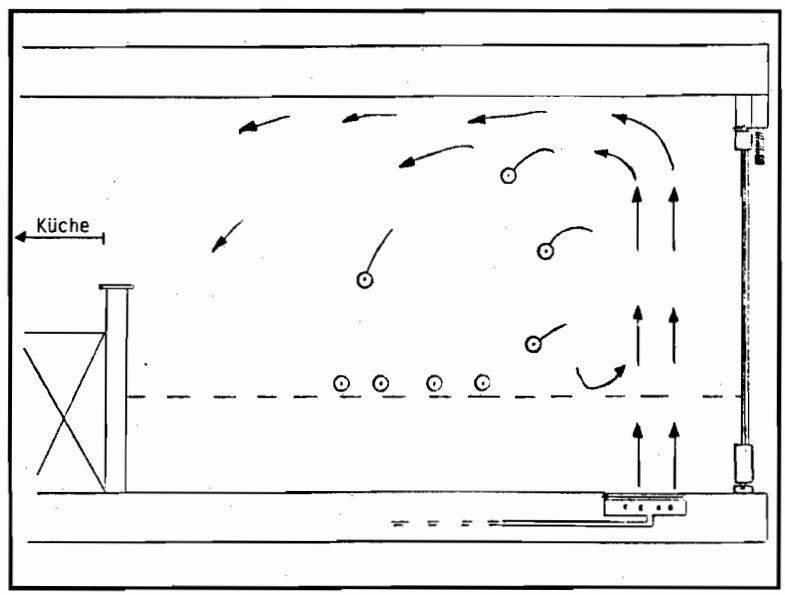
Belastung der Raumluft
Die Lüftung soll genügend Aussenluft zuführen und die Luftqualität im Raum verbessern. Gemäss Aussagen des Besitzers läuft die Lüftungsanlage den grösseren Teil des Tages mit der kleineren Geschwindigkeit. Auch bei erhöhtem Belegungsgrad (z.B. eingeladene Gäste) hat es bisher nie Schadstoff- oder Geruchsprobleme gegeben .

In diesem Objekt wurden keine CO_2-Messungen durchgeführt.

Luftströmung im Raum

Strömungstyp:
Mischlüftung

⊙ *Strömungsrichtung rechtwinklig zur Schnittebene*



Gittertyp Zuluft:
im Boden eingebettete Gitter oder Auslässe hinter den Konvektoren

Gitteryp Abluft:
Abluftventil

Luftmenge:
ca. 20-30 m³/h

Luftwechsel:
max. 0.5 h^{-1}

Raumdurchspülung
Die Zuluftauslässe befinden sich auf der Seite der Aussenwände. Die Richtung des Luftaustritts zeigt immer gegen oben. Die Luft steigt also der Wand oder in unserem Fall dem Fenster entlang auf. Die Abluftgitter befinden sich in den Nassräumen (Küche, Dusche).

Effektiv festgestellter Strömungsverlauf
Die Visualisierung der Raumluftbewegung mit Hilfe von Rauch hat gezeigt, dass die Luft vom Gitter senkrecht nach oben steigt. Die Geschwindigkeit der nach oben steigenden Luft ist grösser wenn geheizt wird (el. Widerstand im Zuluftgitter).

Erst unter der Decke bewegt sich dann die Luft in Richtung Rauminneres. Aufgrund des kleinen Luftwechsels (0.5 h^{-1}) ist die Luftbewegung sehr, sehr langsam und in einer gewissen Distanz zum Zuluftgitter kaum mehr sichtbar. Die Luftbewegung Richtung Küche (Abluftventil) konnte nicht beobachtet werden. Die Luftbewegung wird von thermischen Faktoren oder von sich bewegenden Personen stärker beeinflusst. Aufgrund unterschiedlicher Temperaturen in

Esszimmer und Salon konnte zum Beispiel die Bewegung eines Teils der Luftmassen in Richtung Salon beobachtet werden.

Luftgeschwindigkeit, Probleme, Klagen
Die gemessene Luftgeschwindigkeit am Austrittes des Zuluftspaltes (im Zuluftgitter) beträgt 0.6 m/s. Unmittelbar nach dem Gitter (Fläche ca. 0.2 m2) nimmt die Geschwindigkeit der Luft rapide ab. Im ganzen Raum ist bei der grösseren Ventilatorengeschwindigkeit zu keiner Zeit ein Luftzug spürbar.
Auch das Geräusch der im Vollbetrieb stehenden Lüftungsanlage ist vom Menschen praktisch nicht wahrnehmbar.
Der Besitzer ist mit der Lüftungsanlage sehr zufrieden und hat zu keinerlei Klagen Anlass.

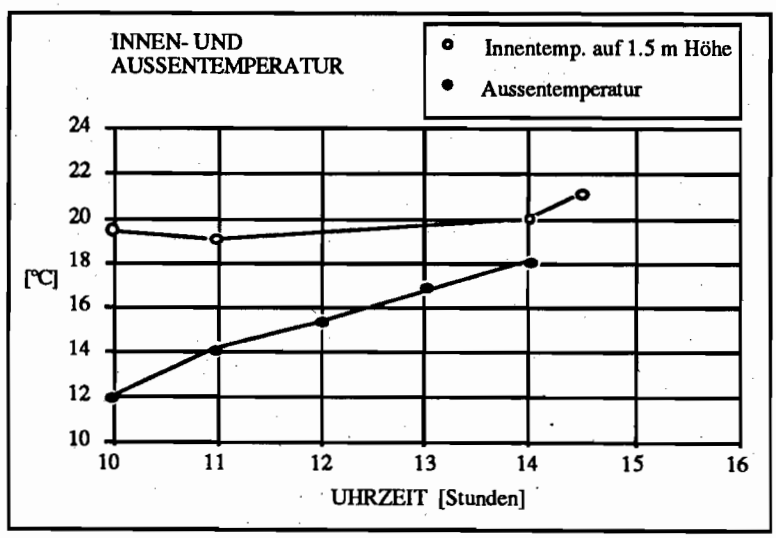
Einflussmöglichkeiten des Benützers
Wie bereits früher erwähnt, kann die Lüftung je nach Nutzung mit halber oder auf ganzer Ventilatorenleistung laufen. Dies ist neben der Temperatureinstellung der verschiedenen Zonen die einzige Einflussmöglichkeit der Benutzer. Die Fenster sind überall öffenbar, wobei nach Aussagen des Benutzers davon fast nicht Gebrauch gemacht wird (ausser verglaste Schiebetüren, die in den Garten führen).

Raumklima

Temperaturverlauf

Aussentemperatur und Raumtemperatur auf 1.5 m Höhe

Messtag: Anfangs Mai

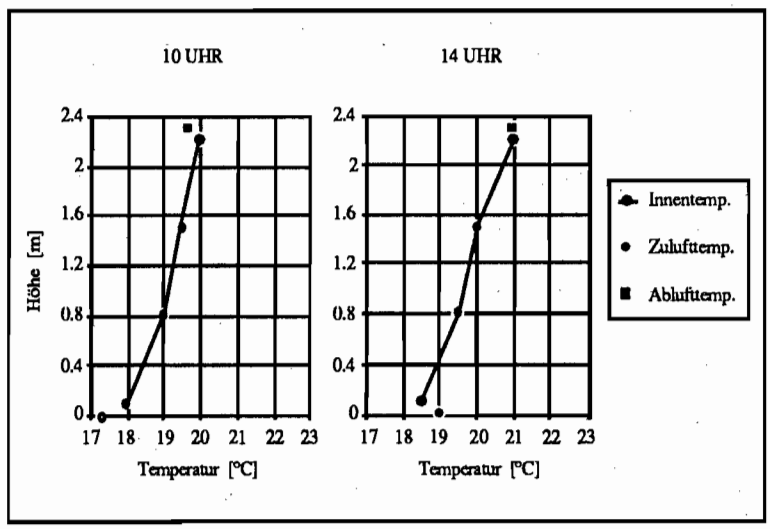


Raumlufttemperatur: je nach Einstellung des Benützers (8 Zonen individuell regelbar)

Raumlufttemperatur wurde nur tagsüber gemessen. Sie lag zwischen 19 °C (Morgen) und gut 20 °C (Nachmittag). Zwichen 14 und 15 Uhr stieg die Temperatur an, weil aus Versuchszwecken die Heizung eingeschaltet wurde.

Temperaturprofil

Vertikales Temperaturprofil (Momentaufnahme) sowie Zuluft und Ablufttemperatur



Temperaturdifferenz Decke-Boden:
ca. 2 - 2.5 K

Die gemessene Temperaturdifferenz zwischen Boden und Decke liegt zwischen 2 und 2.5 K. Dies ist bedeutend mehr als bei einer richtigen Mischlüftungund kann durch den niedrigen Luftwechsel erklärt werden.

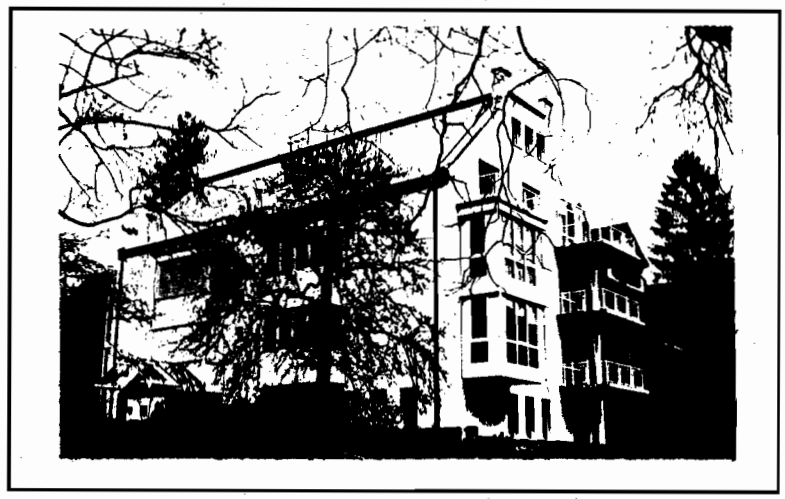
Die Ablufttemperatur lag zeitweise tiefer als die Temperatur unter der Decke im gemessenen Raum. Dies hängt damit zusammen, dass das Abluftventil auf der Nordseite des Gebäudes liegt (Dusche) und in diesem Bereich die Raumluftemperatur allgemein um 1-2 K tiefer ist.

6.2.10 Mehrfamilienhaus Herzogstrasse, Zürich

Adresse:
Herzogstrasse 7
8044 Zürich

Bauherrschaft:
Dr. B. Slongo, K. Uster und Partner

Architekt und Anlageplaner:
Lämmler & Szikszay, Baar



Baujahr:
1988

Allgemeiner Objektbeschrieb

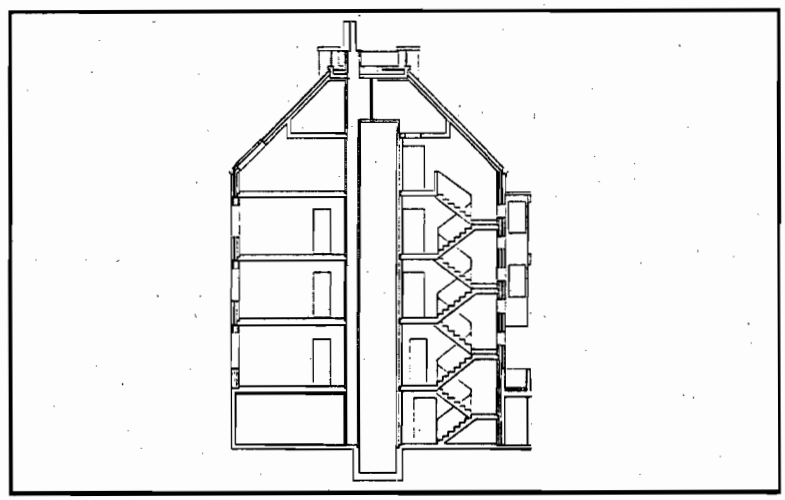
Gebäudenutzung
Wohnungen
Büro

Gebäudeform, Bauweise
Das Gebäude weist einen rechteckigen Grundriss auf und hat 1 Untergeschoss sowie 4 Obergeschosse. Im 2. und 3. Obergeschoss befinden sich verschiedene angebaute Erker. Das 4. Obergeschoss ist in die Dachschräge integriert.
Die Fassaden bestehen aus einem Doppelschalenmauerwerk. Die äussere Schale ist hinterlüftet. Einzig die Erker sind als Leichtbaukonstruktion (Metall-Sandwichelemente) ausgeführt. Die Dachschrägen weisen grosse verglaste Flächen auf.
Der Wärmeschutz des Gebäudes ist sehr gut. Die Fassaden wurden mit 10 cm, das Dach mit 20 cm isoliert. Alle Fenster sind mit 2-fach Isolierverglasung mit Wärmeschutzbeschichtung versehen

Lage und Umgebung
Das Gebäude befindet sich an erhöhter Lage in der Nähe des Zürcher Zoos. Die angrenzende Quartierstrasse ist sehr wenig befahren, in der Nähe verlaufen jedoch zwei Hauptachsen mit relativ grossem Verkehrsaufkommen.
Für stadtzürcherische Verhältnisse muss die Lage als ruhig und von Luftschadstoffen wenig belastet eingestuft werden.

Übergeordnete Ziele bei der Planung
Bei der Planung stand vor allem das Bestreben im Vordergrund, die Luftqualität in den Innenräumen zu verbessern. Dies kann nur durch eine kontrollierte Lüftung mit entsprechender Filtrierung der Aussenluft erfolgen.
Die durch die Wärmerückgewinnung erzielten Energieeinsparungen spielten nur eine untergeordnete Rolle.

Schnitt durch das Gebäude:



Wärmeversorgung

Wärmeerzeugung

Energieträger:
Gas

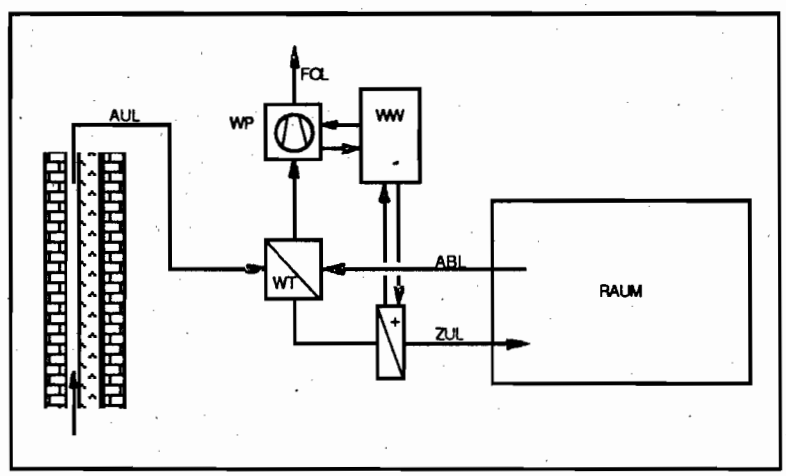
Die Wärme für das Heizsystem wird zentral von zwei Gas-Kondensationskesseln erzeugt.
Die zum Nachheizen der Zuluft benötigte Wärme wird dezentral über ein Wärmepumpensystem erzeugt.

Installierte Heizleistung:
2 x 20 kW

Wärmeabgabe und Aufteilung Heizung/Lüftung

Die Wärmeabgabe geschieht im ganzen Gebäude über ein Bodenheizungssystem. Die Bodenheizung deckt die Transmissionsverluste des Gebäudes. Zusätzlich kann auch die Zuluft geheizt werden und deckt dann die Lüftungsverluste.

Anlagebeschrieb Lüftung



Systemtyp:
Niederdruckanlage

Luftmenge:
max. 180 m³/h

Aussenluftanteil:
100 %

Betriebszeiten:
dauernd

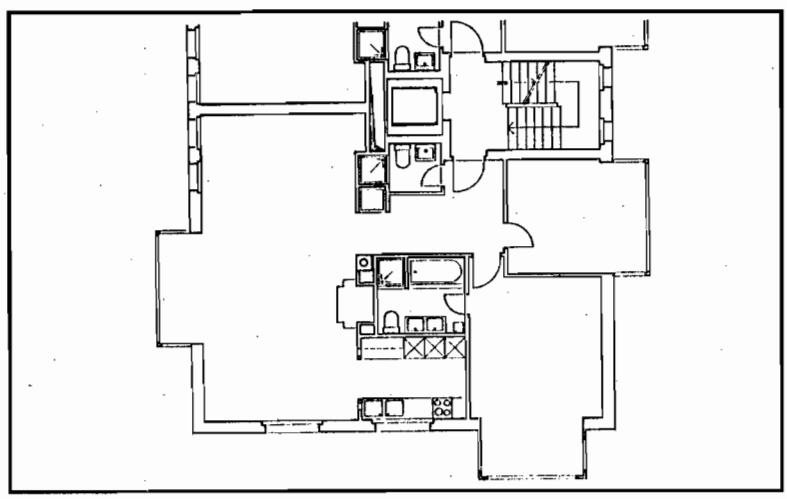
Lüftungssystem
Bei der installierten Anlage handelt es sich um ein Luft-Luft Niederdrucksystem. Die Zuluft wird für jede Wohneinheit separat aufbereitet.

Wärmerückgewinnung
Die Aussenluft wird über die Hinterlüftung der Fassaden und der Dachschrägen angesogen und nimmt so einen teil der Transmissionsverluste auf. Der effektive k-Wert dieser Bauteile wird dadurch reduziert.
Die aus dem Rauminneren abgezogene Abluft gelangt zuerst auf einen Plattenwärmetauscher, wo sie die Aussenluft vorwärmt. Die Restwärme der Abluft wird anschliessend in einer Wärmepumpe für die Brauchwassererwärmung ausgenutzt. Plattenwärmetauscher und Wärmepumpe sind zusammen mit dem Warmwasserspeicher zu einer Einheit verbunden. Im Korridor jeder Wohnung ist ein solches Modul in einem Wandschrank eingebaut.
Reicht die Vorwärmung im Plattentauscher nicht aus, wird die Zuluft über eine Heizschlange aus dem Warmwasserspeicher nachgeheizt.

Betriebsstrategie / Regelung
Die Lüftungsanlage ist dauernd in Betrieb.
Die Luftmenge kann von 75 bis 200 m³/h variiert werden. Die Temperatur von Brauchwarmwasser und Zuluft können ebnfalls frei gewählt werden. Aufgrund des Kühlmittels der Wärmepumpe ist die Brauchwarmwasser-Temperatur auf max. 55 °C limitiert.

Untersuchte Zone

Grundriss einer Wohnung



Energiebezugsfläche:
110 m²

Raumvolumen:
260 m³

Raumnutzung, Möblierung
Bei der hier genauer untersuchten Zone handelt es sich um eine 3-Zimmer-Wohnung im 2. Obergeschoss. Es handelt sich um Wohnungen mit gehobenem Ausbaustandard. Dies beinhaltet z.B. ein Cheminée sowie zwei Toiletten mit getrennten Badezimmer/Dusche. Die Möblierung der Wohnungen ist selbstverständlich sehr unterschiedlich.

k-Wert der Fassade:
< 0.4 W/m²K

k-Wert der Fenster:
Verglasung: 1.6 W/m²K
Rahmen: ca. 2.0 W/m²K

Raumumschliessungsflächen

Die Fenster bestehen aus Kunststoffrahmen mit 2-facher Isolierverglasung mit Wärmeschutzbeschichtung. Die gesamte Fensterfläche ist öffenbar. Als mechanischer Sonnenschutz dienen aussenliegende Lamellenstoren.
Die Erkerelemente bestehen aus einer Leichtbau-Sandwich-Konstruktion mit ca. 9 cm Wärmedämmung.
Die Fassade bestehen aus einem hinterlüfteten Zweischalenmauerwerk: Backstein, Wärmedämmung, Luftspalt, Kalksandstein.
Im Korridorbereich und in den Nassräumen ist die Decke abgesenkt, um für die Lüftungskanäle Platz zu schaffen.

Anzahl Personen:
1 - 2

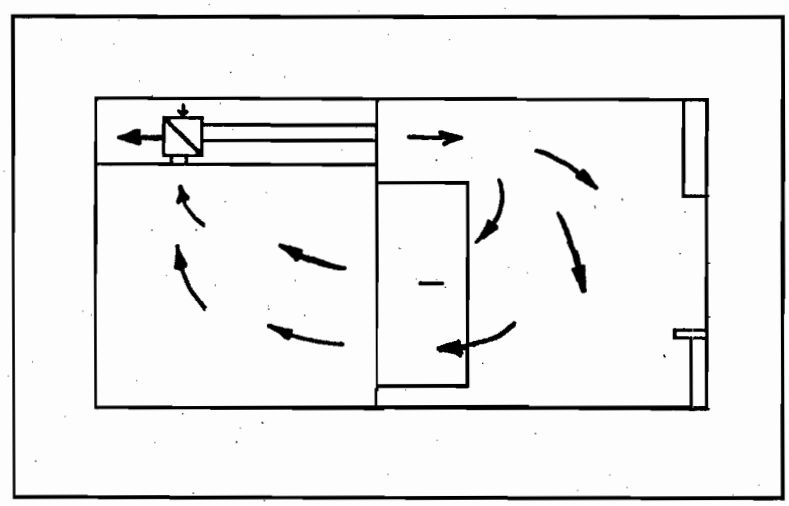
Thermische Lasten (intern):
sehr gering

Belastung der Raumluft

Die Belegungsdichte ist sehr gering. Eine gewisse Belastung der Raumluft ist lediglich in Bereich von Küche und Toiletten zu erwarten.
Die Abluft der Toiletten wird über das erwähnte Wärmerückgewinnungssystem geführt, währenddem die Küchenabluft separat ins Freie geführt wird.

Luftströmung im Raum

Strömungstyp:
Mischlüftung



Gittertyp Zuluft:
Blechscheibe mit gestanzten Schlitzen

Gittertyp Abluft:
Tellerventile

Raumdurchspülung

Die Zuluft tritt unter der Decke je an einer Stelle in Wohn- und Schlafzimmer ein. Die Abluft wird im Korridor sowie in den Nassräumen an der Decke wieder abgesogen.
Gemäss den Vorstellungen des Planers sollte die Zuluft 1 bis 2 °C unter Raumlufttemperatur in den Raum eintreten. Durch das Absinken der "kühlen" Zuluft sowie das Aufsteigen der von der Bodenheizung erwärmten Raumluft sollte ein guter Durchmischungsgrad erreicht werden.

Luftmenge:
max. 180 m³/h

Effektiv festgestellter Strömungsverlauf

Leider konnten in diesem Gebäude wegen der Beeinträchtigung der Mieter weder Rauchversuche noch Messungen

Luftwechsel: 0.3 - 0.7 h^{-1}

vorgenommen werden. Der oben prinzipiell dargestellte Strömungsverlauf konnte deshalb weder erhärtet noch widerlegt werden. Insbesondere konnte nicht untersucht werden, wie die Räume durchspült werden, falls die Zulufttemperatur über der Raumlufttemperatur liegt.

Luftgeschwindigkeit, Probleme, Klagen
Die befragten Bewohner waren mit dem Lüftungssystem sehr zufrieden.

Einflussmöglichkeiten der Benützer
Die Benützer können folgende Grössen individuell einstellen: Warmwasser-Temperatur, Zuluft-Temperatur und Luftmenge.
Zusätzlich kann die Raumlufttemperatur auch über die Bodenheizung reguliert werden.

Raumklima

Wie bereits erwähnt konnten in diesem Gebäude keine Messungen durchgeführt werden. Anlässlich der Gebäudebesichtigung im Dezember 88 betrug die Raumlufttemperatur ca. 25 °C.

Das Gebäude wurde erst im Herbst 1988 bezogen, es liegen also noch keine fundierten Angaben zum Energieverbrauch vor. Es ist jedoch anzunehmen, dass die gewählte Konstruktion mit sehr gutem Wärmeschutz im Zusammenspiel mit dem beschriebenen Lüftungssystem mit Wärmerückgewinnung zu einem geringen Energieverbrauch führen wird. Dies trotz der überdurchschnittlichen Komfortansprüche der Bewohner.

6.3 Ergebnis der Untersuchungen zur Kostenstruktur und zum Energieverbrauch

6.3.1 Kostenstruktur für lüftungstechnische Anlagen

Problemstellung

Der Komfort in einem Gebäude hängt im wesentlichen von folgenden Faktoren ab:

- Architektonische Konzeption des Gebäudes
- Massnahmen an der Gebäudehülle (Wärmedämmung, Sonnenschutz, etc.)
- Leistungsfähigkeit des Heizungssystems und der raumlufttechnischen Anlagen
- Nutzung des Gebäudes bzw. der einzelnen Raumtypen

Das Energiekonzept eines Gebäudes ist demzufolge als technisch-wirtschaftliche Optimierung zu verstehen. Es steht ganz im Spannungsfeld zwischen Investitionen zugunsten der Gebäudehülle und der anfallenden Betriebskosten für die technischen Anlagen.

In dieser Betrachtungsweise unterscheidet man fixe Elemente wie die Tragstruktur des Gebäudes, welche nichts mit der energetischen Optimierung zu tun haben und variable Elemente wie Wärmedämmung u.a. mehr, welche einen direkten Einfluss haben. Die Grösse, welche es zu minimieren gilt, sind die Jahreskosten für die variablen Elemente. Die raumlufttechnische Anlage eines Gebäudes ist ein solches Element.

Aus der obigen Betrachtung geht auch klar hervor, dass ein Vergleich von Jahreskosten für unterschiedliche raumlufttechnische Anlagen in verschiedenen Gebäuden nicht sinnvoll ist. Gerade die Nutzungsart und das Benutzerverhalten beeinflussen die energetische Komponente in erheblichem Masse.

Vorgehen

Die wirtschaftliche Analyse beschränkte sich deshalb auf die Ermittlung der jährlich anfallenden Kosten für die raumlufttechnischen Anlagen, welche sich aus Annuitäten und Betriebskosten zusammensetzen. Bei den Investitionen sind zu betrachten:

- Direkte Kosten: Anlagekosten, Installationskosten, elektrische Anlagen
- Indirekte Kosten: Planung und Projektierung, Überwachung der Installation, bauherrenseitige Leistungen, Verzinsungen, Teuerung

Zu den Betriebskosten sind zu rechnen:

- Salär des Betriebspersonals, Unterhaltsmaterial, Serviceleistungen Dritter, Verschiedenes

Ergebnisse für untersuchte Fallbeispiele

Die Datenerhebung gestaltete sich äusserst schwierig, lediglich für die Banque de l'Etat de Fribourg konnte ein vollständiger Datensatz erhoben werden. Zwecks Ergänzung dieser spärlichen Daten entschloss man sich, am Neubau der EPFL in Ecublens ebenfalls eine Erhebung durchzuführen. Im Anhang B sind die detaillierten Daten für diese beiden Gebäude aufgeführt. Weitere Angaben findet man im Bericht "Analyse économique des systèmes de ventilation et d'aération dans les bâtiments" des Laboratoire de Systèmes Energétiques (LASEN) der EPFL, welches diese Studie durchgeführt hat.

Zusammenfassend sind hier folgende Daten von Interesse:

Bâtiment ELB de l'EPFL

Jahreskosten für raumlufttechnische Anlagen

- im Verhältnis zur Zahl der Personen im Gebäude: 970 - 2'180 Fr./Person • Jahr
- im Verhältnis zur beheizten Fläche: 48 Fr./m^2 • Jahr
- im Verhältnis zu den Jahresgesamtkosten des Gebäudes: 28 %

Banque de l'Etat de Fribourg

Jahreskosten für raumlufttechnische Anlagen

- im Verhältnis zur Zahl der Personen im Gebäude: 715 Fr./Person • Jahr
- im Verhältnis zur beheizten Fläche: 14 Fr./m^2 • Jahr
- im Verhältnis zu den Jahresgesamtkosten des Gebäudes: 10 %

Die angegebenen Werte sind vorsichtig zu interpretieren und geben höchstens Anhaltspunkte über die Grössenordnungen. Immerhin ist festzustellen, dass die raumlufttechnischen Anlagen in vielen Gebäuden einen wesentlichen Anteil an den Gesamtjahreskosten ausmachen.

6.3.2 Energieverbrauch der raumlufttechnischen Anlagen

Da in keinem der untersuchten Fallbeispiele der Energieverbrauch nach Verwendungszweck erhoben werden konnte, ist auch hier auf das Gebäude ELB der EPFL zurückgegriffen worden.

Zusammenfassend ist hier lediglich der hochgerechnete Energieverbrauch für Elektrizität, Wärme und Kälte aufgeführt:

Energie	Jahresverbrauch	
	kWh/Jahr	kWh/m^2 • Jahr
Strom	82'658	23,0
Wärme	57'666	16,0
Kälte	181'380	50,4

Weitergehende Daten für die zweimonatige Erhebungsperiode vom Mai 1989 bis Juli 1989 findet man im Bericht des Laboratoire de Systèmes Energétiques (LASEN).

6.4 Zusammenfassung und Grenzen der Untersuchungen

6.4.1 Zusammenfassung

Luftströmungen im Raum

Das Hauptaugenmerk der Untersuchungen richtete sich auf die im Raum effektiv festgestellten Luftströmungen. Durch die Rauchversuche konnten die prinzipiell unterschiedlichen Luftführungsarten sehr gut sichtbar gemacht werden.

Es hat sich gezeigt, dass die effektiven Luftströmungen in den meisten Fällen gut mit den Vorstellungen des Anlageplaners übereinstimmten. Die vermuteten Schwachpunkte einzelner Systeme konnten durch die Visualisierung bestätigt werden (z.B. mangelnde Lüftungswirksamkeit der Induktionslüftung, besonders bei tiefen Räumen). Die so gewonnenen Erkenntnisse über die Luftströmungen konnten direkt für die Plazierung der Messonden für Raumlufttemperatur und Luftqualität ausgenutzt werden.

Raumlufttemperaturen

Die durchgeführten Temperaturmessungen zeigten in allen Fällen eine nur unwesentliche Temperaturschichtung. Die gemessenen Unterschiede zwischen der Raumlufttemperatur an der Decke und derjenigen am Boden erreichte nur selten 2 K. Dies gilt sowohl für Systeme, welche eine Durchmischung der Raumluft anstreben, als auch für solche, welche die Erzeugung einer ausgeprägten Schichtung zum Ziel haben (Quellüftung). Die geringen Temperaturunterschiede sind jedoch darauf zurückzuführen, dass die untersuchten Räume eher geringe thermische Lasten aufwiesen und dass die Untersuchungen vor allem im Winter/Frühling (Heizfall oder praktisch isotherme Verhältnisse), und nicht im Sommer (Kühlfall) durchgeführt wurden.

Die gemessenen Raumlufttemperaturen sind generell als ziemlich hoch einzustufen (häufig im Bereich von 23-24°C). In einigen Fällen war auch während der Nacht kaum eine Absenkung festzustellen.

Luftqualität

Die Raumluft wurde in allen untersuchten Räumen lediglich durch die im Raum befindlichen Personen belastet. Die Messungen in bezug auf Luftqualität gaben in keinem der Gebäude Anlass zu Bedenken. Dies ist nicht weiter erstaunlich, denn die Aussenluftmengen wurden meistens für die Abführung der thermischen Lasten festgelegt und liegen wegen der teilweise geringen Personenbelegung der Räume überall deutlich über den als Minimalwert geltenden 10 - 20 m^3h^{-1} Pers.$^{-1}$. Die CO_2-Werte stiegen nirgends über die Behaglichkeitsgrenze von 1'500 ppm (gemessene Werte < 950 ppm).

6.4.2 Grenzen der Untersuchungen

Die Beschreibung der zehn Gebäude und ihrer Lüftungssysteme ist im Sinne einer Bestandesaufnahme zu verstehen. Eine abschliessende Beurteilung des Systemtyps an sich oder gar ein Vergleich zwischen den dargestellten Systemen war nicht Ziel dieser Untersuchungen und ist aus verschiedenen Gründen nicht zulässig:

Unterschiedliche bauliche Umgebung

Das energetische Verhalten eines Gebäudes hängt ausser vom Klima von zwei wichtigen Faktoren ab, welche sich gegenseitig stark beeinflussen: Gebäudestruktur und Haustechnikanlagen. Die Funktionsweise ein und desselben Lüftungssystems kann in Abhängigkeit von der baulichen Umgebung sehr stark variieren. Die zehn untersuchten Gebäude können in bezug auf Gebäudehülle, architektonische Konzeption, Intensität und Flexibilität der Raumnutzung, Komfortansprüche der Bauherrschaft und der Benützer sowie Anlagegrösse nicht verglichen werden. Auch innerhalb des Bereichs "Haustechnik" sind unter den verschiedenen Fallbeispielen grosse Unterschiede sichtbar. So kann in Gebäuden mit neuartiger Fassadentechnologie der gesamte Wärmebedarf des Gebäudes über die Lüftungsanlage gedeckt werden, während die Wärmeabgabe in anderen Gebäuden mindestens teilweise über Radiatoren und/oder über eine Bodenheizung erfolgt.

Unterschiedliche klimatische Randbedingungen

Die Messungen in den einzelnen Gebäuden wurden während der Zeitperiode März - Juni 1989 durchgeführt. Diese zeitliche Streuung hat zur Folge, dass die Messungen unter sehr unterschiedlichen thermischen Bedingungen erfolgten. Während im März teilweise Aussentemperaturen um den Gefrierpunkt herrschten, waren im Mai und Juni bereits eigentliche Hitzetage zu verzeichnen. Die Unterschiede beeinflussen sowohl das Verhalten des Gebäudes und des Lüftungssystems (Heizen/Kühlen) als auch dasjenige der Benützer (Fensteröffnen).

Beschränkte Messdauer

Die Luftmengenmessungen und Strömungsvisualisierung an den einzelnen Systemen erfolgten meistens an einem einzigen Tag. Lediglich die Temperatur- und CO_2-Messungen erfolgten über eine Messdauer von 2-3 Tagen. Die anlässlich der Messungen angetroffenen Betriebsbedingungen (Wetter, Personenbelegung, in Betrieb stehende Geräte) sind somit rein zufällig und erlauben keine Aussagen über die Verhältnisse bei anderen Betriebsbedingungen.

Beschränkte Anzahl Messgrössen

Es wurden lediglich solche Grössen ermittelt, welche für eine prinzipielle Beschreibung des Systems notwendig sind. Zusätzlich zu den bereits erwähnten Grössen Lufttemperatur, Luftmenge, Luftfeuchtigkeit und CO_2-Gehalt wurde auch die Luftgeschwindigkeit im Raum punktuell gemessen. Die einfache Messapparatur lässt jedoch keine fundierte Auswertung der Resultate zu. Eine vertiefte Systemanalyse, wie sie in der zweiten Phase dieses Projektes vorgesehen ist, muss zwingend folgende zusätzliche Grössen berücksichtigen: Verlauf der Luftbelastung (interne und externe thermische Lasten, Personenbelegung, etc.), Lüftungswirksamkeit (ventilation efficiency), Turbulenzgrad der Raumluft, Verhalten bei veränderten Betriebsbedingungen und Energieverbrauch.

Fehlende Daten zur Wirtschaftlichkeit und zum Energieverbrauch

Lediglich in zwei Fällen standen genügend Daten zur Verfügung, um die wirtschaftlichen Aspekte zu studieren. Es kam deutlich zu Tage, dass es nicht sinnvoll ist, Kosten für raumlufttechnische Anlagen für unterschiedliche Systeme in verschiedenen Gebäuden zu vergleichen, da zuviele andere Faktoren mitspielen. Es wurde festgestellt, dass auch in neueren Bauten der Energieverbrauch nicht systematisch erhoben wird.

7. Schlussfolgerungen und Ausblick

7.1 Anforderungen an zukünftige Systeme

Lüftungsstrategie der Zukunft

In der Komfortklimabranche ist vieles in Bewegung geraten. Das immer häufigere Auftreten von "Sick Buildings" hat die Branche verunsichert. "Lüftung wozu" wurde vielerorts gefragt. Wir müssen uns auch fragen "Was ist das Problem" und "Was wollen wir erreichen". Aus all den Diskussionen der letzten Jahre scheint sich nun als Antwort auf obige Fragen etwa folgende Lüftungsstrategie herauszukristalisieren (vgl. J. Brunsell und E. Skaret, 1989):

Hauptaufgabe der Lüftung ist das Bereitstellen eines gesunden Innenklimas unter Einhaltung der von Fanger definierten Komfortanforderungen. Dabei wird zu berücksichtigen sein, dass

- die gesetzlichen Anforderungen an das Gebäude, an die Materialien und an die im Gebäude erlaubten Tätigkeiten zunehmen werden. Deklarationspflicht für Baumaterialien (Dämmstoffe, Farbanstriche, etc.) sind eingeführt worden,
- dem Benutzer mehr Eingriffsmöglichkeiten in den Betrieb einer Anlage zugestanden werden müssen, z.B. Einzelraumregelung,
- aus energetischen Gründen die bedarfsgeregelte Lüftung an Bedeutung gewinnen wird,
- sich die Kenngrössen "Luftaustauschwirkungsgrad" und "Lüftungswirksamkeit" für die Qualitätskontrolle durchsetzen werden.

Neue Lösungsansätze

Die oben genannten Anforderungen führen dazu, dass die zur Diskussion stehenden, zeitgemässen Lösungen im Gegensatz zu den herkömmlichen Systemen folgende Eigenschaften haben werden:

Sie sind das Ergebnis einer integralen Planungsphilosophie, welches die Gebäude als interdisziplinäre Entwicklung zwischen Architektur, Hygiene und Arbeitsphysiologie, Haustechnik, optimaler Raumluftströmung und sparsamer Energienutzung versteht. Im einzelnen heisst dies:

- Sie nutzen die energieoptimierte **Architektur** und Gebäudemasse aus.
- Sie wissen zwischen **Hygienelüftung** und Luft als Medium zum **Abführen von Kühllasten** zu unterscheiden. Für die Hygienelüftung werden die von IEA Annex 9 geforderten Minimalluftmengen Anwendung finden. Hohe thermische Lasten werden getrennt abzuführen sein.
- Sie profitieren vom Einsatz **schadstoffarmer Materialien** und von einer aufgeklärteren, gesünderen Lebensweise der Benutzer (Trennung Raucher/-Nichtraucherzonen).
- Sie gehen von einem toleranteren **Komfortanspruch** (maximal zumutbare Raumlufttemperaturen) aus.
- Sie zeichnen sich durch **Flexibilität** in bezug auf Ausstattung der Räume und Zahl der Rauminsassen aus.
- Sie sind einem **sparsamen Einsatz der Energie**, insbesondere der elektrischen Energie verpflichtet.

Versuch eines Vergleichs

Einer kürzlich erschienen Publikation (H. Laux, 1988) ist folgende Zusammenstellung (Figur 7.1) entnommen. Der Autor geht in seiner Bewertung auf einige der vorgenannten Kriterien ein. Versteht man die Bewertung mehr im Sinne einer Charakterisierung der aufgelisteten Systeme, so kann man sich den Überlegungen von H. Laux ohne weiteres anschliessen. Die Darstellung ist also nicht als "Warentest" gedacht, sondern zeigt lediglich Tendenzen auf. Die Wertigkeiten können sich je nach Gebäudekonzeption und Anlagenausführung verschieben

Anlagen-Nr.	Lüftungsart	Hauptaufgaben: ▽ Lüftung von oben nach unten; △ Lüftung von unten nach oben; Tangentiallüftung; Luft-Wasser-Systeme		Thermische Lasten				Behaglichkeit				Betriebskosten		
		System	Luftzufuhr	Heizlast	Kühllast	Standheizung	Lastunterschiede	Luftnutzung	Zugbeschwerden	individuelle Regelbarkeit	Flexible Raumgestaltung	Energiekosten	Investitionskosten	Wartung
1	Mischung ▽	Zentralanlage	Deckenauslass	+	-	-	-	o	o	-	+	-	-	+
2	Mischung	Einkanalanlage mit Nacherwärmung	Deckenauslass	+	-	-	o	o	o	o	+	-	-	+
3	Mischung	Zweikanalanlage	Deckenauslass	+	-	-	+	o	o	o	+	-	-	+
4	Mischung	Variabel-Volumenstrom-Anlage (VVS)	Deckenauslass	+	-	-	o	-	o	o	+	+	o	+
5	Mischung ▽	Variabel-Volumenstrom-Anlage (VVS)	Deckenauslass mit Strahllenkung	+	o	-	o	o	-	o	o	+	o	+
6	Mischung	Induktionsanlage	Tangentialauslass (Fenstergitter)	+	+	+	+	o	-	+	o	+	+	-
7	Mischung ▽	Induktionsanlage	Deckenauslass (Schlitzdiffusor)	+	-	-	o	o	+	+	+	+	+	o
8	Verdrängung △	Doppelboden	Bodenauslass	+	+	-	-	+	o	-	-	o	-	+
9	Verdrängung	Doppelboden	Bodenauslass+Klimadrant	+	+	-	-	+	o	o	-	o	-	+
10	Verdrängung	Doppelboden	Teppichboden	+	+	-	-	++	+	-	+	o	-	o
11	Verdrängung	Quellüftungsanlage	Seitenwand (Laminarauslass)	o	+	-	-	++	+	-	o	+	o	+
12	Verdrängung △	Quelluft-Induktionsanlage	Seitenwand (Laminarauslass)	+	+	+	+	++	+	+	o	++	+	o

Fig. 7.1 Funktionsmerkmale von Klimaanlagen (Laux 1988)

7.2 Ausblick

Die breitabgestützte Bestandesaufnahme zu den heutigen Lüftungssystemen hat es ermöglicht, die Anforderungen an zukünftige Systeme festzulegen und unter den neueren Systemen jene zu erkennen, welche diesen Anforderungen am ehesten gerecht werden. Bemerkenswert ist die Feststellung, dass sowohl Systeme auf der Basis des Verdünnungsprinzips (Mischlüftung) als auch solche des Verdrängungsprinzips in die Kategorie der zeitgemässen Systeme fallen, welche den neuen Anforderungen genügen. Die vieldiskutierte Quellüftung wird nicht in allen Fällen die Antwort zu den Lüftungsproblemen sein, die Mischlüftung wird auch in Zukunft in vielen Anwendungen ihren Platz haben.

In der vorgesehenen zweiten Phase des Projekts sollen gezielt offene Fragen bezüglich Raumluftströmung, Kühlkapazität und Energieverhalten der Systeme, etc. im Labor und durch Rechengänge mittels anspruchsvoller Rechenprogramme angegangen werden.

Die wissenschaftlichen Fragestellungen werden sich nach dem Planungsablauf für zeitgemässe Lüftungssysteme zu richten haben.

8. Literaturhinweise

8.1 Systeme

Adam J. (1986): Klimabeschwerden; TAB 5/1986 S. 329-334

Adam J. (1987).: Beschwerdefreie Büroraumlüftung; TAB 3/1987, S. 197-208

Adam J. (1989): Vergleich zwischen Boden- und Deckenlüftung; TAB 2/1989, S. 117-118

Aération des bâtiments (1989): Office Fédéral des Questions Conjoncturelles, Berne, 1989

Affolter P., Verstraete P. (1989): Analyse économique des systèmes de ventilation et d'aération dans les bâtiments, 1989

Basler & Hofmann (1985): Forschungs- und Umsetzungsbedürfnisse der öffentlichen Hand im Bereich "Rationelle Energienutzung in Gebäuden", 1985

Bach H., Detzer R.: Reduzierter Energieeinsatz für RLT-Anlagen bei Verwendung einer Luftführung von unten nach oben; Bundesministerium für Forschung und Technologie, Forschungsbericht T 82-023

Bach H., Detzer R., u.a. (1981): Einfluss der Luftführungsart auf den Energieeinsatz bei raumlufttechnischen Anlagen; HLH 32/7/1981, S. 253-255

Barcol Air: Dokumentation zu "Raum-Eigendynamisches Luftführungssystem", BARCOL-AIR AG, 8712 Stäfa

Bewer B., Klaus H. (1987): Kontrollierte Wohnungslüftung; TAB 5/1987, S. 387-391

Bley H. (1987): Entwicklungen in der Raumlufttechnik; HLH 38/6/1987, S. 277-280

Brunsell J.T., Skaret E. (1989): Infiltration and ventilation developments in Norway; 10th AIVC-Conference, Finland, 1989

Colthrope M.K. (1989): A Review of Building Airtightness and Ventilation Standards; AIVC, Draft-Repot 1989

Detzer R. (1986): Raumlufttechnik in der Diskussion; HLH 37/7/1986, S. 347-350

Dütz A. (1988): Lüftung im Wohnungsbau; TAB 12/1988, S. 963-974

FAREX: Dokumentation zu Deckenkühlsystemen, FAREX INTER AG, 6006 Luzern

Fitzner K. (1988): Impulsarme Luftzufuhr durch Quellüftung; HLH 39/4/1988, S. 173-181

Geiger B., Rouvel L. (1987): Lüftung im Wohnungsbau; HLH 38/4/1987, S. 185-190

Hartmann K. (1988): Betriebskostenvergleiche von Klimasystemen; TAB 5/1988, S. 391-398

HLH (1988): Mechanische Einzellüftung von Wohneinheiten; HLH 4/1988, S. 197

Laux H. (1988): Raumluftverbesserung trotz Luftwechselbegrenzung; HLH 39 /4/1988, S. 183-192
Kröling P. (1985): Gesundheits- und Befindungsstörungen in klimatisierten Gebäuden; W. Zuckschwerdt Verlag München, Bern, Wien, 1985

Manto (1984): ETH Forschungsprojekt "Bauliche Ressourcen und ihre Benützung"; Lagebeurteilung und mögliche Veränderungspotentiale, Zürich, 1984

Mathisen H.M. (1989): Analysis and evaluation of displacement ventilation; Dissertation NTH, Trondheim, 1989

Meyringer V., Trepte L.: Lüftung im Wohnungsbau; Verlag C.F. Müller, Karlsruhe

Mürmann H. : Wohnungslüftung; Verlag C.F. Müller, Karlsruhe

Radke W. (1981): Einflüsse der Luftführungsart auf den Energieverbrauch sowie die Investitionen und Betriebskosten raumlufttechnischer Anlagen; HLH 32/8/1981, S. 327-337

Radke W., Rakoczy T. (1981): Zuschrift: Einflüsse der Luftführungsart auf den Energieverbrauch sowie die Investitionen und Betriebskosten raumlufttechnischer Anlagen; HLH 32/12/1981, S. 483-484

Radke W. (1988): Anforderungen an Klimaanlagen; TAB 1/1988 S.43-117

Recknagel, Sprenger, Hönmann (1990/91): Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik 90/91, Oldenbourg Verlag

Reichel W. (1989): Klimakomponente Kühldecke; TAB 4/1989, S. 325-327

Skåret E., Mathisen H.M. (1985): Test procedures for ventilation effectiveness field measurements; CIB, Trondheim, 1985

Skistad H. (1989): Deplacerande Ventilation; Handbokserien H1, VVS-Tekniska Föreningen

Steinemann U., Hartmann P. (1984): Planungshilfsmittel zur Kontrolle des Luftaustausches in Gebäuden; Schweizerischer Ingenieur und Architekt 33/34/1984, S. 613-617

Steinemann U., Hartmann P. (1986): Angepasste Luftdurchlässigkeit der Gebäudehülle bei Wohnbauten; Schweizerischer Ingenieur und Architekt 24/1986, S. 602-604

Steinemann U. (1986): Lüftungsstatistik, unveröffentlicht

Thiel D. (1984): Vergleich verschiedener Heiz- und Lüftungssysteme mit einer Klimaanlage; HLH 35/10/1984, S. 505-509

Trepte L. (1985): Noch lüften die Deutschen meist über's Fenster; CCI 9/1985

Usemann K.W. (1985): Kosten und Erfahrungen beim Betreiben von raumlufttechnischen Anlagen; Gesundheitsingenieur 106/5/1985, S. 240-246

8.2 Raumklima

AIVC (1988): Air Infiltration and Ventilation Centre. Inhabitant Behaviour with Respect to Ventilation - a Summary Report of IEA Annex VIII; Technical Note AIVC 23, March 1988

ASHRAE (1972): Handbook of Fundamentals: Physiological Principles, Comfort and Health, New York 1972

Burkart W. (1988): Die Strahlenbiologie der Lunge. In Radon und Strahlenbiologie der Lunge, Zusammenstellung der Vorträge anlässlich einer strahlenbiologischen Fortbildungstagung am Paul Scherrer Institut, November 1988; PSI-Bericht Nr. 22, Januar 1989, pp. 17 - 29

Fanger P.O. (1970): Thermal Comfort; Danish Technical Press, Kopenhagen 1970

Fanger P.O. (1974): Beurteilung der thermischen Behaglichkeit des Menschen in der Praxis; Arbeitsmedizin-Sozialmedizin-Präventivmedizin 12/1974, pp. 265 - 269

Fanger P.O. (1988/1): Introduction of the olf and decipol units to quantify air pollution perceived by humans indoors aud outdoors; Energy and Buildings 12/1988, pp. 1 - 6

Fanger P.O., Lauridsen J., Bluyssen P., Clausen G. (1988/2): Air pollution sources in offices and assembly halls, quantified by the olf unit; Energy and Buildings 12/1988, pp. 7 - 19

Fanger P.O., Melikov A.K., Hanzawa H., Ring J. (1988/3): Air Turbulence and Sensation of Draught; Energy and Buildings 12/1988, pp. 21 - 39

Fanger P.O. (1988/4): A Comfort Equation for Indoor Air Quality and Ventilation; Healthy Buildings '88, Volume 1/1988, pp. 39 - 51

Fecker I. (1987): Frischluftbedarf und Regelung der Lüftung in klimatisierten Räumen, Dissertation ETH Nr. 8361, 1987

Frank W. (1975): Raumklima und thermische Behaglichkeit; Berichte aus der Bauforschung, Heft 104, Ernst und Sohn Berlin 1975

Gagge A.P., Burton A.C., Bazett H.C. (1941): A practical system of units for the description of the heat exchange of man with his environment; Science Vol. 94, pp. 428 - 430, Nov. 1941

Grahneis H., Horn K. (1967): Taschenbuch der Hygiene; Verlag Volk und Gesundheit, Berlin, 1967

Grandjean E. (1973): Wohnphysiologie: Grundlagen gesunden Wohnens; Verlag für Architektur Artemis Zürich 1973

Huber G. (1982): Minimale Lüftungsraten in Wohn- und Arbeitsräumen; Dissertation ETH Nr. 7008, 1982

IEA (1987): Annex IX: Minimum ventilation rates; International Energy Agency (IEA), Final report of working phases I and II, Nov. 1987

Kröling P. (1985): Gesundheits- und Befindensstörungen in klimatisierten Gebäuden. Vergleichende Untersuchungen zum "building illness"-Syndrom; Zuckschwerdt Verlag Bern, 1985

Madsen Th.L. (1974): Direkte Messung der thermischen Behaglichkeit - Ein neues Messgerät für die Praxis; Arbeitsmedizin-Sozialmedizin-Präventivmedizin 12/1974, pp. 269 - 273

McIntyre D.A. (1980): Indoor Climate; Applied Science Publishers LTD London, 1980

Mayer E. (1989): Thermische Behaglichkeit in Räumen. Neue Beurteilungs- und Messmöglichkeiten; Gesundheitsingenieur (GI) 110/1989 Heft 1, pp. 35 - 43

Olesen B.W. (1986): Die Bewertung einer gemässigt-thermischen Umgebung; In Klima und Luft, Messtechnisches Taschenbuch für den Betriebspraktiker, Wirtschaftsverlag Bachem Köln 1986, pp. 63 - 93

Pöhn H.P. (1979): Legionellose; Bundesgesundheitsblatt 25/1979, pp. 457 - 461

Schlatter J., Wanner H.U. (1987): Tobacco Smoke. In: Annex IX: Minimum ventilation rates; International Energy Agency (IEA), Final report of working phases I and II, Nov. 1987, pp. 38 - 54

Schlatter J., Wanner H.U. (1988): Raumluftqualität und Lüftung in Schweizer Bauten; Schriftenreihe des Bundesamtes für Energiewirtschaft, Studie Nr. 44, 1988

Wanner H.U. (1982): Belästugungen durch Strassenverkehrs- und Fluglärm; Sozial- und Präventivmedizin 27/1982, pp. 115 - 119

Wanner H.U. (1983/1): Tobacco Smoke. In Annex IX: Minimum ventilation rates; International Energy Agency (IEA), Final report of phase I, Aug. 1983, pp.21 - 34

Wanner H.U. (1983/2): Microorganisms. In: Annex IX: Minimum ventilation rates; International Energy Agency (IEA), Final report of phase I, Aug. 1983, pp.82 - 90

Wanner H.U. (1986): Luftqualität in Wohn- und Arbeitsräumen; In Klima und Luft, Messtechnisches Taschenbuch für den Betriebspraktiker, Wirtschaftsverlag Bachem Köln 1986, pp. 133 - 148

Wanner H.U. (1988): Exigences de l'homme en matière de limitation des emissions des matériaux de construction; In Berglund B., Lindvall Th.: Healthy Buildings '88, State of the art reviews, Swedish Council for Building Research, Stockholm, Sweden, June 1988, pp. 139 - 148

Weber A., Fischer T., Grandjean E. (1979): Passive smoking in experimental and field conditions; Environ. Research 20/1979, pp. 205 - 216

Normen:

ASHRAE Standard 55-81: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), Atlanta, 1981

ASHRAE Standard 62-1981R: Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), Atlanta, Ausgabe Juli 1986 (Draft)

DIN 1946 Teil 2: Raumlufttechnik, Gesundheitstechnische Anforderungen (VDI-Lüftungsregeln); Deutsches Institut für Normumg (DIN), Berlin, 1983

ISO 7730-1984: Moderate Thermal Environments - Determination of the PMV and PPD Indices and Specification of the Conditions for Thermal Comfort; International Standards Organisation (ISO), Geneva, 1984

SIA (1988): SIA Norm 180, Ausgabe 1988: Wärmeschutz im Hochbau; Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich, 1988

SIA (1989): SIA Empfehlung V 382/1 (Entwurf): Lüftungstechnische Anlagen. Technische Anforderungen; Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich, 1989