

MENSCH UND RAUMLUFT



Teil 1: Luftqualitätsbewertung und -regelung

Prof. Dr.-Ing. Harald Loewer, Hamburg/Karlsruhe

1 Einleitung

Vor einigen Jahren wurde als Bezeichnung für das Fachgebiet »Lüftungs- und Klimatechnik« der Begriff »Raumlufttechnik« neu eingeführt und auch in den Titel des umfangreichen, zum großen Teil noch in der Planung befindlichen Regelwerks DIN 1946 aufgenommen. So sind beispielsweise in der DIN 1946 Raumlufttechnik, Teil 1, Grundlagen die Aufgaben Raumlufttechnischer Anlagen wie folgt beschrieben:

3 Raumlufttechnische Anlagen

3.1 Aufgaben Raumlufttechnischer Anlagen

Raumlufttechnische Anlagen werden eingesetzt, um ein angestrebtes Raumklima sicherzustellen. Dazu müssen je nach Anforderung folgende Aufgaben erfüllt werden:

- Abführen von Luftverunreinigungen aus Räumen: Geruchsstoffe, Schadstoffe, Ballaststoffe.
- Abführen sensibler Wärmelasten aus Räumen: Heizlasten, Kühllasten.
- Abführen latenter Wärmelasten aus Räumen: Befeuchtungslasten, Entfeuchtungslasten.

Die meisten Aufgaben nach a) werden normalerweise durch stetige Lüftererneuerung (Lüftung) und/oder eine geeignete Luftbehandlung (Filterung) gelöst. Die Aufgaben nach b) und c) werden im Regelfall durch eine geeignete thermodynamische Luftbehandlung erfüllt. Sie lassen sich in begrenztem Maße auch durch eine stetige Lüftererneuerung durchführen.

Die Aufgaben nach a) beschreiben ziemlich genau die heutigen und - vor allem - zukünftigen Schwerpunkte in der Raumlufttechnik: Dem Bemühen um die Qualität der Raumluft, um »Umweltschutz im Innenraum«. Dabei ist die »Luftqualität« im engeren Sinne gemeint, bestimmt durch die Konzentration von Verunreinigungen, verursacht durch:

- die Außenluft,
- die Personen im Raum,
- Einrichtungen und Geräte,
- Baustoffe.

Für viele »Klimatechniker« bedeutet das sicher ein gewisses Umdenken. Vielleicht auch eine Orientierungsänderung, die jedoch dringend geboten erscheint. Um das voll zu begreifen, erfordert es eine Rückbesinnung auf die geschichtliche Entwicklung der modernen »Lüftungs- und Klimatechnik«:

Der Beginn der modernen »Lüftungs- und Klimatechnik« (der Raumlufttechnik) war die Begründung der wissenschaftlichen Hygiene in der 2. Hälfte des 19. Jahrhundert mit Max von Pettenkofer und seinen Untersuchungen über Luftwechsel, Luftreinigung, Schadstoffgehalt der Luft und Kohlensäuremaßstab. Er lag also eindeutig bei der »Lüftungstechnik«!

Ich glaube nicht, dass schlechte Luft in Wohnungen direct krank mache, oder besser ausgedrückt, sogleich spezifische Krankheiten erzeuge, wie z. B. die Gifte; ich glaube mithin nicht, dass schlechte Luft geradezu ein Gift sey, sondern ich behaupte nur das, was von keiner einzigen Thatsache widersprochen und vor allen unterstützt wird, nämlich dass schlechte Zimmerluft die Widerstandsfähigkeit gegen jede Art von krankmachenden Agentien herabstimme und schwäche. Alle Einwürfe, welche man gegen die Bedeutung und die Wichtigkeit einer beständig reinen Luft machen und erdenken will, lassen sich von diesem Gesichtspunkte aus bescheiden.

So konnte damals Pettenkofer noch seine Lüftungsmaßnahmen begründen. Heute sind andere Belastungen der Raumluft hinzugekommen, die nicht allein von den Personen im Raum bzw. ihren Aktivitäten abhängen und von denen man im 19. Jahrhundert noch nichts geahnt hat. Neben dem Tabak-

rauch sind dies u. a. Schadstoffemissionen aus Verbrennungsvorgängen (Stickoxyde) und von Baustoffen (z. B. Formaldehyd) und Radon. Dazu tritt die große Veränderung der Qualität der Außenluft, die letztlich wichtiger Arbeitsstoff jedes Lüftungsvorgangs in Innenräumen ist.

Alles dies zusammen macht in den 80er Jahren des 20. Jahrhunderts eine veränderte Betrachtungsweise und eine differenziertere Bewertung der Raumluftqualität und entsprechende Luftbehandlung erforderlich. Dies erkennend muß dann die Frage gestellt werden: Sind alle Betroffenen mit dieser veränderten Situation vertraut? Sind die Zusammenhänge bekannt und kann die Anlagentechnik danach konzipiert werden?

Daß auch in der breiteren Öffentlichkeit diese Aufgabenverlagerung der Klima-/Lüftungstechnik (Raumlufttechnik) erkannt wird, zeigt folgende Nachricht aus dem Fachinstitut Gebäude-Klima:

Klimaanlagen wurden lange Zeit in der Öffentlichkeit als reine Kühleinrichtungen verstanden und dementsprechend selbst von meinungsbildenden Kreisen oft als entbehrliche Einrichtung für unsere Breitengrade eingestuft. Eine Infas-Umfrage vom August 1983 zeigt, daß dieses einseitige Image langsam zugunsten eines Bildes korrigiert wird, das den differenzierten Möglichkeiten der Klimaanlagen besser gerecht wird. Bei der Befragung von 777 Bundesbürgern beiderlei Geschlechts über die Hauptaufgaben einer Klimaanlage, setzten 57% die Funktion der Lüftererneuerung an die erste Stelle vor die Kühlung mit 55%. 22% ordneten der Klimaanlage noch das Be- und Entfeuchten zu, 21% das Heizen (vgl. Tabelle 1).

Tabelle 1: Aufgaben einer Klimaanlage

Merkmale	Die Aufgaben sind ...						
	Zahl der Befragten	Luft erneuern	Kühlen	Heizen	Be- und Entfeuchten	Anderes	Weiß nicht keine Angabe
	Abs.	%	%	%	%	%	%
Befragte insgesamt	777	57	55	21	22	1	10
Männer	356	61	53	25	29	2	7
Frauen	421	53	56	17	18	1	12
bis 24 Jahre	106	57	55	17	28	3	9
25-34 Jahre	129	60	64	19	16	1	4
35-49 Jahre	210	55	60	27	24	1	8
50-64 Jahre	171	66	50	22	20	2	8
65 Jahre u. älter	161	46	45	15	26	1	19
Volkssch. ohne Lehre	160	47	51	16	15	2	18
Volkssch. mit Lehre	312	63	54	24	24	1	4
Real-, Fachschule	201	54	61	21	23	1	7
Abitur, Studium	82	71	63	24	30	5	5
Freie Berufe	82	59	65	26	18	4	12
gehob. Angest./Beamte	73	64	50	21	33	3	5
übr. Angest./Beamte	196	57	62	22	16	2	6
Arbeiter	213	62	53	24	25	0	7
Rentner	132	46	50	14	18	1	15

Frage: Was sind Ihrer Meinung nach die Hauptaufgaben einer Klimaanlage (es waren Mehrfachnennungen möglich)

Quelle: Infas-Repräsentativerhebungen, Bundesgebiet ohne Westberlin, Befragte ab 18 Jahren, August 1983, Random-Auswahl

2 Zusammensetzung von Außenluft und Raumluft

Als Außenluft wird ein Gemisch gasförmiger Elemente bezeichnet, das die Erdkugel umgibt. Die Zusammensetzung dieses Gemisches ist in Bodennähe wegen der durch Luftbewegungen hervorgerufenen Durchmischung annähernd konstant.



Tabelle 2: Bestandteile reiner, trockener Luft

		Massen-%	Vol.-%
Sauerstoff	O ₂	23,01	20,93
Stickstoff	N ₂	75,51	78,10
Argon	Ar	1,286	0,9325
Kohlendioxid	CO ₂	0,04	0,03
Wasserstoff	H ₂	0,001	0,01
Neon	Ne	0,0012	0,0018
Helium	He	0,00007	0,0005
Krypton	Kr	0,0003	0,0001
Xenon	Xe	0,00004	0,00009

Neben den in Tabelle 2 aufgeführten Bestandteilen sind in der atmosphärischen Luft noch Wasserdampf und eine Anzahl gasförmiger und fester Stoffe enthalten, deren Mengen stark von Gegend, Klima, Jahreszeit, Wetter und anderen Faktoren abhängen. Es handelt sich dabei um »luftverunreinigende oder luftfremde Stoffe«, d. h. um Stoffe, die durch technische Vorgänge in die Atmosphäre gelangen und die natürliche Zusammensetzung der reinen Luft verändern. Die wichtigsten gasförmigen Verunreinigungen sind:

Ozon (O₃) und Wasserstoffsuperoxyd (H₂O₂), entsprechend aus elektrischen Entladungen und Oxydationsvorgängen, Kohlenoxyd (CO) durch unvollkommene Verbrennung, Schwefeldioxyd (SO₂) aus der Verbrennung von Kohle und Heizöl,

Ammoniak (NH₃) aus Fäulnis- und Zersetzungsvorgängen, Kohlendioxid (CO₂) und Stickoxyde.

Ein wichtiger gasförmiger Schadstoff ist das Kohlendioxid CO₂.

Die Zusammensetzung der Raumluft wird – abweichend von der Außenluft – bestimmt durch die möglichen Luftverunreinigungen, die in Aufenthaltsräumen insbesondere durch Ausdünstungen und durch die Atemluft der anwesenden Personen vorhanden sind. Bei gewerblichen Räumen kann hierzu noch die durch bestimmte Arbeitsprozesse hervorgerufene Luftverschlechterung kommen.

3 Anforderungen an den Luftzustand in Aufenthaltsräumen

Die gebäuchlichsten Parameter zur Beurteilung der durch den Menschen verursachten Belastungen der Raumluft sind das Kohlendioxid aus der Atemluft sowie die Gerüche. Jüngere Untersuchungen haben den zeitlich gleichförmigen Verlauf von CO₂-Konzentration und Geruchsintensität in Aufenthaltsräumen bestätigt (Bild 1).

Der MAK-Wert, die maximale Arbeitsplatzkonzentration als zulässiger Grenzwert für die CO₂-Konzentration (ohne gesundheitliche Schäden) bei auf etwa 8 Stunden begrenzte Exposition am Arbeitsplatz liegt bei 0,5 Vol.-%. CO₂-Konzentrationen, die ein körperliches Wohlbefinden ermöglichen und entsprechende Arbeitsleistungen erreichen lassen, liegen allerdings wesentlich darunter (Tabelle 3).

Bereits vor mehr als 100 Jahren hat Pettenkofer [2, 3] den CO₂-Gehalt der Raumluft als Maßstab für die gasförmigen Luftverunreinigungen eingeführt und aus umfangreichen Untersuchungen des CO₂-Pegels in verschiedenen Raum- und Gebäudearten im Verhältnis zur atmosphärischen Luft (Stand etwa 1870) den Schluß gezogen, daß 0,1% Kohlendioxid das brauchbare Kriterium für gute Raumluft sei. In die Neubearbeitung der DIN 1946, Teil 2, »Gesundheitliche Anforderungen« [4], ist dann der gegenüber der »Pettenkofer-Zahl« erhöhte Wert von 0,15 Vol.-% CO₂ mit folgendem Text eingegangen:

Für die Verschlechterung der Raumluft durch Geruchsstoffe und Ausdünstungen von Menschen wird der Kohlendioxidgehalt der Luft als Vergleichsmaßstab genommen. Der mittlere Volumengehalt an Kohlendioxid sollte 0,15% nicht überschreiten.

Tabelle 3: Maximale Arbeitsplatzkonzentrationen (Auszug aus der vom Bundesinstitut für Arbeitsschutz, Postfach 25, 4600 Dortmund-Marten, herausgegebenen MAK-Wert-Liste)

Stoff	MAK-Wert	
	cm ³ Stoff m ³ Luft	mg Stoff m ³ Luft
I. Schädliche Gase		
Ammoniak	50	35
Arsenwasserstoff	0,05	0,2
Blausäure	30	11
Chlor	2	3
Chlorwasserstoff	5	7
Kohlenmonoxid	50	55
Kohlendioxid	0,5	8000
Nitrose Gase (NO ₂)	5	3
Ozon	0,5	0,2
Phosgen	0,3	0,4
Phosphorwasserstoff	0,1	0,15
Schwefeldioxyd	5	13
Schwefelwasserstoff	10	15

Wenn man davon ausgeht, daß die vom Menschen abgegebene CO₂-Menge zwangsläufig von seinem Wärmeumsatz abhängt, so läßt sich für jeden Beschäftigungsgrad und für jeden Außenluftzustand der erforderliche stündliche Luftstrom pro Person mit Hilfe einer Bilanzgleichung bestimmen (Bild 2). Dabei ist die Menge des im Raum in der Zeiteinheit anfallenden schädlichen Stoffes *K* zuzügliche der mit der Außenluft zugeführten Schadstoffmenge dem Schadstoffgehalt der Abluft bzw. der Raumluft gleichzusetzen:

$$K + \dot{V} \cdot k_a = \dot{V} \cdot K_i$$

k_a = Schadstoffkonzentration der Außenluft in cm³/m³ oder mg/m³

k_i = erwünschte oder zulässige Schadstoffkonzentration im Raum

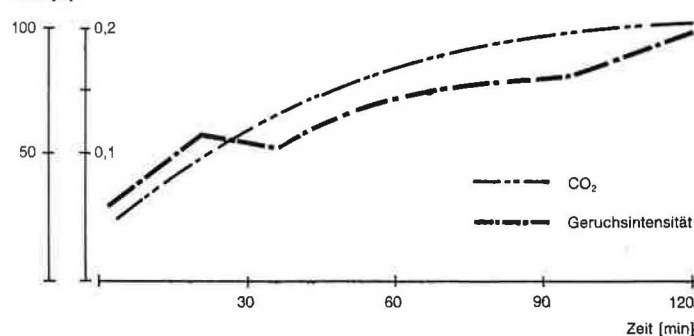
Daraus errechnet sich der erforderliche Außenluftstrom zu

$$\dot{V} = \frac{K}{k_i - k_a} \text{ in m}^3/\text{h (oder m}^3/\text{s).}$$

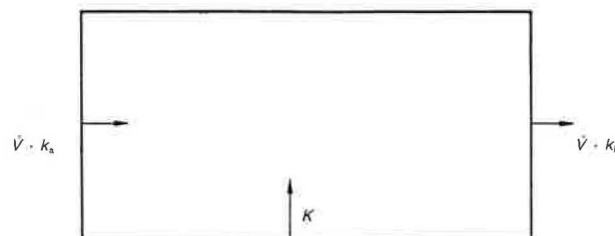
Daraus leitet sich die Außenluftfrate ab, die jeder Person mindestens zur Verfügung stehen sollte, wobei der ruhende bzw. mit normaler Trägigkeit beschäftigte Mensch in der Stunde etwa 0,5 m³ Luft mit 4 Vol.-% CO₂ veratmet:

$$K = 0,5 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 0,04 = 0,02 \text{ m}^3 \text{ CO}_2/\text{h.}$$

Einh. [%]



1 Zeitlicher Verlauf der Kohlendioxid-Konzentration und der empfundenen Geruchsintensität während eines zweistündigen Versuches in einer Klimakammer (nach [1])



2 Schadstoffbilanz an einem zu lüftenden Raum



Mit der erwünschten (oder zulässigen) CO₂-Konzentration im Raum von 0,15% ($k_i = 0,0015$) und einer angenommenen CO₂-Konzentration der Außenluft von 0,03% ($k_a = 0,0003$) berechnet sich der Außenluftstrom je Person zu

$$\dot{V} = \frac{0,02}{0,0015 - 0,0003}$$

$V = 16,7$ (aufgerundet 20 m³/h).

Dies ist die Luftrate von 20 m³/h je Person, die in der Neufassung der DIN 1946 bei der Auslegung von RLT-Anlagen für die meisten Raumarten mit Rauchverbot zugrunde gelegt wurde (vgl. Tabelle 4).

Tabelle 4: Mindestaußenluftstrom nach DIN 1946, Teil 2

Raumart	Mindestaußenluftstrom je Person m ³ /h
Einzelbüro	30
Großraumbüro	50
Theater, Konzertsaal	20
Kantine	30
Konferenzraum	30
Kino	20
Festsaal	20
Ruheraum	30
Pausenraum	30
Klassenraum	30
Lesesaal	20
Hörsaal	30
Messehalle	20
Verkaufsraum	20
Museum	20
Gaststätte	40
Turn- und Sporthalle mit Zuschauerplätzen	20

In diesem Zusammenhang ein wichtiger Hinweis (als Anregung): Die Luftvolumenströme sollten von m³/h auf m³/s umgestellt werden! Als Begründung hierfür gilt vor allem, daß bei Rechnungen mit diesen Strömen (z. B. bei Berechnung der Leistung in kW) der Umrechnungsfaktor 3600 entfallen kann, was die Berechnung erleichtert und das Rechenergebnis sicherer macht. Außerdem wird im Ausland, insbesondere in den angelsächsischen Ländern bei der Umstellung direkt umgestellt auf SI-Einheiten mit der Sekunde als Zeiteinheit. Dem sollten wir uns anschließen zur besseren internationalen Verständigung!

Bei den oben durchgeführten Berechnungen der Außenluft-rate wurde die CO₂-Belastung der Außenluft mit 0,03 Vol.-% angenommen, einem Wert, der heute nicht mehr für alle Außenluftverhältnisse gilt. Bekanntlich zeigt der CO₂-Gehalt der Außenluft steigende Tendenz, wobei durchaus Konzentrationen bis zu 0,08 Vol.-% und höher erreicht werden können.

Würde bei der Ermittlung der Außenluftströme der jeweilige Standort des Gebäudes mit entsprechend veränderten CO₂-Konzentrationen der Außenluft berücksichtigt – was schon häufig vorgeschlagen und ernsthaft erwogen wurde –, so müßte mit ansteigendem CO₂-Gehalt in der Außenluft die Luftleistung der RLT-Anlage ansteigen. Allerdings ist dabei folgende Frage zu berücksichtigen: Ist CO₂ in der Raumluft nur »Pilotstoff«, wie es *Pettenkofer* vorgesehen hat und auch von *Liese* [5] bestätigt wurde oder kommt es schon bei diesen relativ niedrigen Konzentrationen zu einer »Giftwirkung« des Kohlendioxids in der Raumluft?

Nur für den Fall der toxikologisch notwendigen Begrenzung des CO₂-Gehaltes der Raumluft, die durchaus von Hygienikern und Toxikologen behauptet wird – mit welchem Grenzwert auch immer –, wäre die oben durchgeführte Luftleistungsberechnung nach dem Schadstoffanfall korrekt und richtig. Hat aber CO₂ nur Indikator-Charakter für die Belastung der Raumluft mit verschiedenen, von Menschen freigesetzten Schadstoffen, dann kann nicht der absolute Wert des CO₂-Gehaltes die Raumluftqualität beschreiben, sondern nur

die Differenz zwischen den CO₂-Konzentrationen in der Außenluft und in der Raumluft. Das würde bedeuten: Die CO₂-Differenz ist Maßstab für die Raumluftqualität, was je nach Zusammensetzung der Außenluft zwar zu unterschiedlich hohen CO₂-Pegeln im Raum führen würde, jedoch bei gleichbleibender Luftqualität.

Diese Fragen bedürfen noch einer eindeutigen Klärung. Sowohl in den USA als auch in einigen europäischen Ländern sind entsprechende Diskussionen und Aktivitäten im Gange [6].

4 Zusätzliche Luftverunreinigungen in Aufenthaltsräumen

Als zusätzliche Luftverunreinigungen sind solche zu verstehen, die nicht durch die Anwesenheit von Personen im Raum hervorgerufen werden, sondern die Folge bestimmter Aktivitäten dieser Personen (z. B. des Rauchens) sind oder vom Gebäude selbst oder von einzelnen Bauteilen herrühren.

Tabakrauch stellt dabei sicher eine ganz wesentliche Luftverunreinigung im Sinne erhöhter Belästigung und gesundheitlicher Beeinträchtigungen dar, die nach der deutschen Norm (DIN 1946) mit einer Erhöhung des Außenluftstromes um 20 m³/h je Person berücksichtigt wird (nach der alten DIN 1946 waren es 10 m³/h).

Die entsprechende amerikanische Richtlinie [7, 8] macht einen wesentlichen größeren Unterschied zwischen den Luftraten für Räume mit und ohne Raucherlaubnis; und das sicher nicht ganz unberechtigt, wenn man berücksichtigt, daß Tabakrauch als besonders lästige und schwer zu entfernende Luftverunreinigung angesehen werden muß. Nach der ASHRAE-Richtlinie werden die Mindestluftströme für Räume mit Raucherlaubnis bis zum 5fachen Wert derjenigen mit Rauchverbot erhöht (Tabelle 5).

Tabelle 5: Mindestaußenluftstrom nach DIN und ASHRAE

Raumart	Mindestaußenluftstrom in m ³ /h je Person			
	nach DIN 1946		nach ASHRAE	
	Raucher	Nichtraucher	Raucher	Nichtraucher
Theater, Konzertsaal	40	20	60	12
Konferenzraum	50	30	60	12
Klassenraum	50	30	43,5	8,5
Gaststätten	60	40	60	12

Allerdings ist zu den in der ASHRAE-Richtlinie geforderten Werten für die Außenluftströme festzustellen, daß sie für Räume mit Rauchverbot teilweise erheblich niedriger liegen als die entsprechenden Werte in der DIN 1946, Teil 2, und damit wohl schon einen einseitigen Verzicht auf Luftqualität zugunsten der Energieeinsparung darstellen. Diese Zahlenwerte werden deshalb z. Z. in den USA diskutiert und voraussichtlich bald erhöht.

Die Luftverunreinigung durch Tabakrauch und ihre Konsequenzen auf die Raumlüftung wurden in jüngster Zeit ziemlich genau am Institut für Hygiene und Arbeitsphysiologie der Eidgenössischen Technischen Hochschule (ETH) in Zürich untersucht [9, 10]. Dabei wurden erstmalig die notwendigen Luftwechselraten in verschiedenen großen Raucherkollektiven wissenschaftlich ermittelt.

Ergebnis dieser Untersuchungen sind folgende Empfehlungen für die Lüftung von Räumen mit unterschiedlicher Belegung, um den oberen Grenzwert von 2 ppm tabakrauchbedingtem CO nicht zu überschreiten:

- für kleines Kollektiv (5 Personen): 43 m³/h Außenluft je Person,
- für ein mittleres Kollektiv (10 Personen): 33 m³/h Außenluft je Person,



● für ein großes Kollektiv (100 Personen): 23 m³/h Außenluft je Person.

Um den strengeren Grenzwert von 1,5 ppm CO einzuhalten, liegen die entsprechenden Werte bei 65 bzw. 55 bzw. 35 m³/h je Person.

Art und Umfang der Luftverunreinigung durch Zigarettenrauch haben auch *Lundquist* und Mitarbeiter in Aarhus/Dänemark untersucht. Dabei wurde die Abhängigkeit der Luftverunreinigung von der Einwirkungszeit und der Zahl der Luftwechsel gemessen. Es zeigt sich, daß eine Rate von 60 bis 80 m³/h Außenluft pro gerauchte Zigarette je nach Raumgröße und Oberflächenbeschaffenheit erforderlich ist, um den Zigarettenrauch zu eliminieren, bevor er vom Raum absorbiert wird.

Angesichts der ansteigenden Energiekosten sind diese Lüftungsraten eindeutig als hoch zu bezeichnen. Deshalb sollte vermehrt nach anderen Möglichkeiten zum Schutze der Passivraucher gesucht werden. Die extremste dieser Möglichkeiten ist sicher in der Forderung enthalten, das Rauchen – zumindest in beheizten, aber auch gleichermaßen in gekühlten Räumen – vollständig zu unterlassen. Diese Forderung wird mit folgender Rechnung begründet:

Wird in zwei Dritteln aller Aufenthaltsräume und Haushalte geraucht, was wahrscheinlich ist, erhält man in der Bundesrepublik Deutschland den Jahresbedarf von etwa 4,8 Mrd. l Heizöl für die Rauchbeseitigung. Weltweit betrachtet werden Energiemengen mit astronomischen Ziffern für die Rauchbeseitigung benötigt.

(Quelle: SHT Sanitär- und Heizungstechnik 1980, Nr. 9, S. 695).

Der Tabakrauch ist nun nicht die einzige zusätzliche Quelle von Luftverunreinigungen, wie die Untersuchungen von *Wanner* [9] zeigen. Weitere mögliche Quellen von Schadstoffen in der Raumluft sind bestimmte Baustoffe, Möbelausstattungen, das Verbrennen von Gas zum Heizen und Kochen (Stickoxyde) und die Anwendung von Haushaltsprodukten. Gesundheitliche Gefährdungen entstehen vor allem durch Schadstoffe, die kontinuierlich von Inneneinrichtungen abgegeben werden. Solche Belastungen sind entweder durch Begrenzung der Emissionen oder durch entsprechende Raumlüftung zu vermeiden.

Formaldehyd ist ein häufig vorkommender Schadstoff in der Raumluft. Mögliche Quellen dieser Verunreinigungen sind für Möbel, Decken und Wände verwendete Spanplatten oder auch Formaldehyd-Harnstoffschäume für Wärmedämmungen. Die Belastungen durch Formaldehyd sind zwar als bedenklich erkannt, über das Ausmaß und die Folgen dieser Belastungen liegen aber bislang nur spärliche Angaben vor. Es werden zunächst lediglich strenge Beurteilungskriterien gefor-

dert, da die Langzeitbelastungen unabhängig vom Verhalten der Bewohner auftreten – im Gegensatz zu den durch ihre individuellen Tätigkeiten bedingten Verunreinigungen (Bild 3).

Zu erwähnen ist, daß die amerikanische Lüftungsnorm als maximal zulässigen Grenzwert 0,1 ppm angibt und vorschreibt, die Lüftrate entsprechend zu bemessen. Dieses Bemessungsverfahren dürfte allerdings z. Z. noch kaum anwendbar sein, da die inneren Schadstoffquellen in Räumen, wie z. B. der Formaldehydanfall, quantitativ nur schwer erfassbar sind. Dieser Grenzwert von 0,1 ppm wird zunächst auch in Deutschland mangels genauerer Forschungsergebnisse als Grenzwert für Formaldehyd in der Innenraumluft empfohlen.

Radon und dessen kurzlebige Zerfallsprodukte wurden erstmals vor einigen Jahren als möglicherweise gefährliche Luftverunreinigung in Aufenthaltsräumen erkannt. 1978 befaßte sich zunächst eine Untersuchung aus Schweden mit der Radiumstrahlung in Gebäuden mit dem beruhigenden Ergebnis, daß die aus hygienischen Gründen erforderlichen und festgelegten Mindestluftwechselraten ausreichen, um den Strahlungsanteil unter der zulässigen Schwelle zu halten.

Inzwischen liegen neuere und offensichtlich auch genauere Untersuchungsergebnisse vor, die in bestimmten Fällen Anlaß zur Sorge geben [11, 12, 13]. Radon kann nach mehrjähriger Einwirkung Lungenkrebs hervorrufen, und dieses Risiko wird in gut abgedichteten Gebäuden größer.

Messungen in den USA, in Schweden und in der Schweiz [12] zeigten in vielen Fällen erschreckend hohe Konzentrationen. Das Risiko ist am größten in Häusern, die direkt auf dem Boden errichtet sind oder einen Keller besitzen, in den das Radon durch Risse aus dem umgebenden Erdreich eindringen kann. Im Vergleich hierzu ist die Emission von Radon aus Steinen und Beton von untergeordneter Bedeutung.

Das Freiwerden von Radon hängt von dem Radiumgehalt des Erdbodens ab, welches sich an verschiedenen geographischen Orten erheblich ändern kann. Manche Orte können einen hohen Radongehalt im Grundwasser haben und dies kann bei Regenfällen einen erschreckenden Anstieg der Radonkonzentration im Haus bewirken. – Ein bedeutender Einflußfaktor auf die Höhe der Radonkonzentration ist die Luftaustauschrate [14].

In den USA ist die Luftqualität in Innenräumen seit einigen Jahren ein Forschungsschwerpunkt und immer wiederkehrendes Vortragsthema bei Tagungen und Kongressen (z. B. bei den ASHRAE-Tagungen). Dabei beschäftigt die Amerikaner besonders das Problem, daß der Gesamteinfluß aller Luftverunreinigungen auf die Gesundheit z. Z. noch schwer abzuschätzen ist und noch intensiver Forschung bedarf. Es gibt zwar in den USA eine Vielzahl von Erkenntnissen über die Schädlichkeit einzelner Schadstoffe, es fehlen jedoch Untersuchungen über die Summschädlichkeit von mehreren gleichzeitig einwirkenden Schadstoffen.

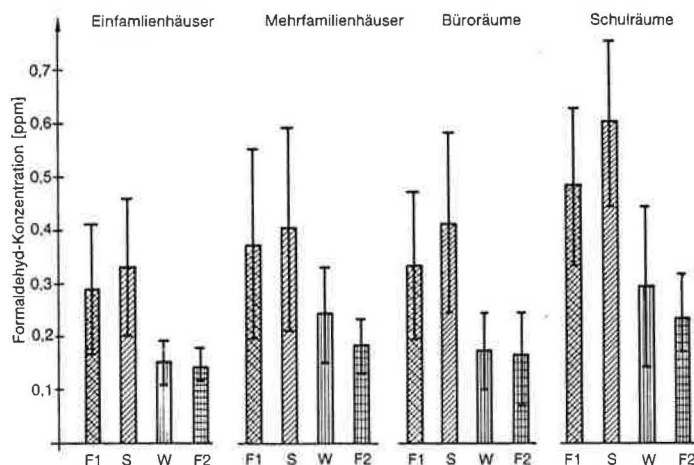
5 Lüftungstechnische Maßnahmen

Nach der Definition der an den Luftzustand in Aufenthaltsräumen zu stellenden Anforderungen erhebt sich nun die Frage, mit welchen Mitteln diese Anforderungen erfüllt werden können:

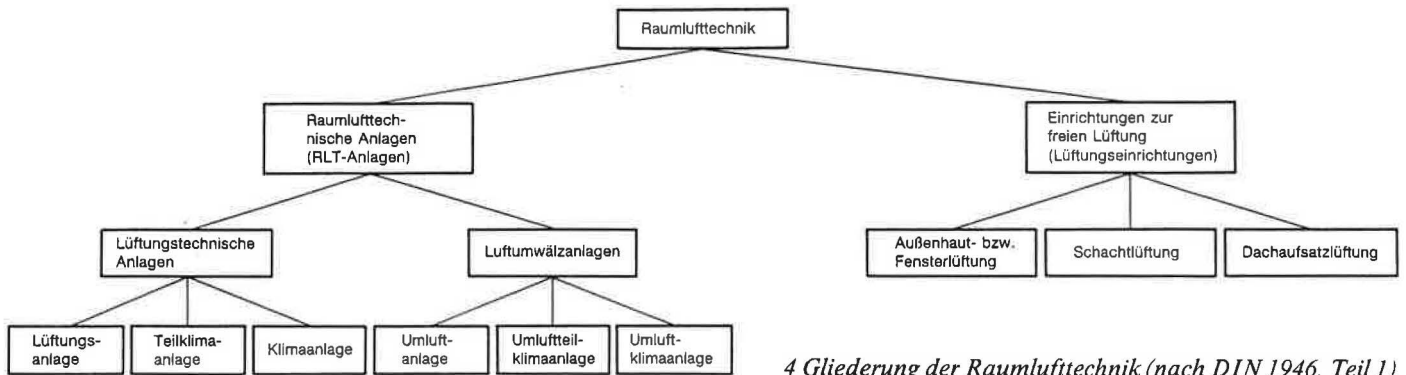
- Welche lüftungstechnischen Maßnahmen sollten in den bestimmten Anwendungsfällen eingesetzt werden?
- Wie müssen gegebenenfalls die Anlagen oder Einrichtungen ausgelegt werden?
- Wie sind die Anlagen und Einrichtungen zu betreiben?

Bei der Beantwortung dieser Fragen sollte auf jeden Fall die Gesamtwirtschaftlichkeit berücksichtigt werden, d. h. Investitionsaufwand und Aufwand für den Betrieb der Anlagen/Einrichtungen, wobei insbesondere der Energieaufwand mit einer steigenden Kostentendenz besonders zu beachten ist.

In der neuen DIN 1946, Teil 1, wird unterschieden zwischen der



3 Formaldehydgehalt in der Raumluft von Neubauten (nach [9]); Meßergebnisse im Frühjahr kurz nach Fertigstellung des Gebäudes (F1), im gleichen Sommer (S), im darauffolgenden Winter (W) und 1 Jahr nach Fertigstellung (F2)



4 Gliederung der Raumluftechnik (nach DIN 1946, Teil 1)

- Raumluftechnische Anlage, als einer Anlage mit maschineller Luftförderung zur Sicherstellung eines angestrebten Raumlufzustandes, und der
- Einrichtung zur freien Lüftung, als einer Funktionseinheit zur freien Lüftung ohne maschinelle Luftförderung («Lüftungseinrichtung»).

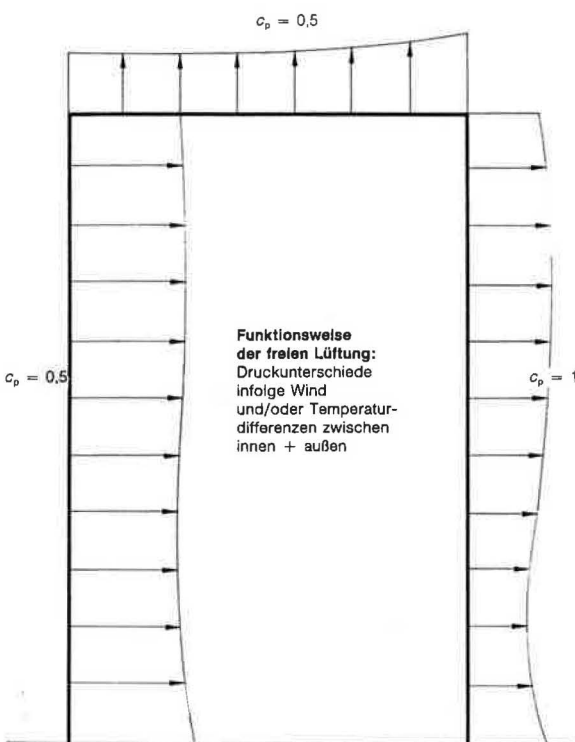
Entsprechend dem Klassifikationsschema (Bild 4) ist die Lüftungsanlage eine der möglichen Arten Raumluftechnischer Anlagen, und zwar eine »ohne oder mit nur einer thermodynamischen Luftbehandlungsfunktion« (gemeint ist damit die mögliche Erwärmung der Außenluft im Winterbetrieb).

Als Einrichtungen zur Freien Lüftung (Lüftungseinrichtungen) gelten im wesentlichen

- Fensterlüftung
- Schachtlüftung
- Dachaufsatzlüftung.

Die Förderung der Luft erfolgt dabei ausschließlich durch Druckunterschiede infolge Wind und/oder Temperaturdifferenzen zwischen innen und außen (Bild 5). Die Wirkung der Freien Lüftung ist daher nicht kontinuierlich und hängt insbesondere ab von

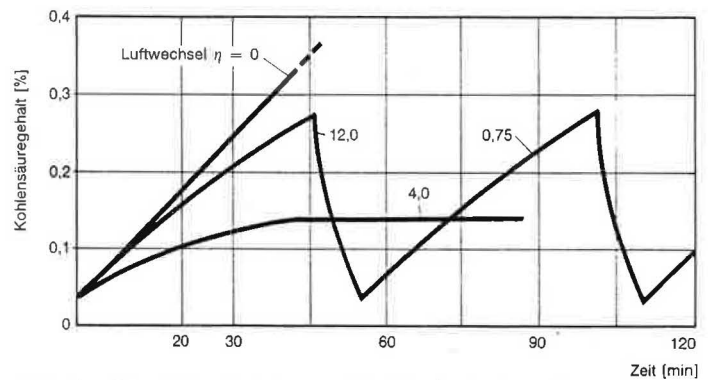
- den geometrischen Abmessungen des Gebäudes,
- der Umgebung des Gebäudes,
- der Anströmrichtung und Stärke des Windes,
- den Temperaturverhältnissen.



5 Druckverteilung an einem Gebäude

Die Einrichtungen zur Freien Lüftung sind somit – und darin liegt ihr wesentlicher Nachteil – nicht kontrolliert (regelbar) einzusetzen im Sinne eines geregelten Raumlufzustandes (CO₂-Pegel) und eines sparsamen Energieverbrauchs.

Als Beispiel für den Einsatz verschiedener Lüftungsmaßnahmen möge ein mit 40 Schülern besetzter Klassenraum von 200 m³ Inhalt gelten, für den der CO₂-Gehalt der Raumluf über einen Zeitraum von 2 Stunden aufgetragen ist (Bild 6).

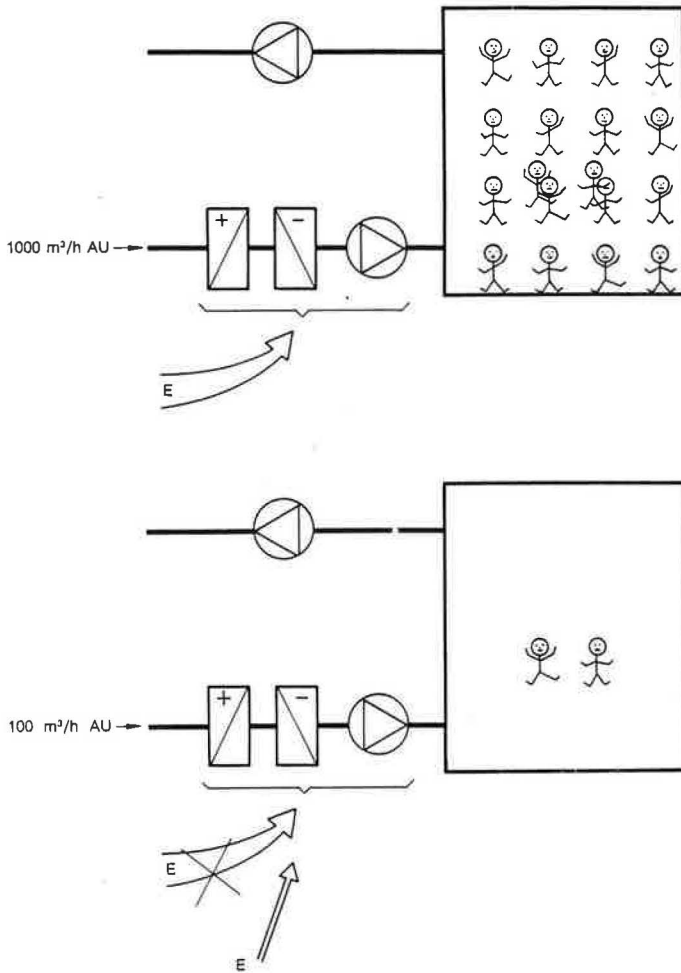


6 Verlauf des CO₂-Gehaltes als Maßstab für die Luftverschlechterung in einem Klassenraum bei unterschiedlichen Luftwechseln; als Parameter treten die Luftwechselzahlen auf, und zwar $n = 0$ als theoretisch ungünstigster Grenzfall, $n = 0,75$ bei Fugenlüftung durch geschlossene Fenster und Türen, $n = 4$ bei Betrieb einer Lüftungsanlage, $n = 12$ bei Öffnen der Fenster während der Pausen

Die Darstellung läßt folgendes erkennen: Bei geschlossenen Fenstern mit Fugenlüftung ($n = 0,75$) wird der Grenzwert von 0,1 Vol.-% CO₂ bereits nach etwa 10 Minuten erreicht. Dabei ist zu berücksichtigen, daß die hier angesetzte Luftwechselzahl von 0,75 wegen der relativ dichten Belegung des Raumes einer Lüfrate von etwa 4 m³/h je Person gleichzusetzen ist.

Wird der Raum nach einer 45 Minuten dauernden Schulstunde jeweils für mindestens 10 Minuten durch Öffnen der Fenster gelüftet (Stoßlüftung), so kann der Ausgangswert für den CO₂-Gehalt der Raumluf wieder erreicht werden. Im Mittel ergibt sich dabei über den Zeitraum einer Schulstunde eine Lüfrate von etwa 14 m³/h je Person. Nur bei einer konstanten Außenluftzufuhr mit $n = 4,0$, was einer Lüfrate von 20 m³/h je Person entspricht, ist der CO₂-Pegel unter 0,15 Vol.-% zu halten. Diese Luftwechselzahl von 4,0 kann prinzipiell durch entsprechende Fensterstellungen erreicht werden, ist aber »kontrolliert« nur mit einer Lüftungsanlage mit konstantem Außenluftstrom einstellbar.

Diese Forderung nach einer Lüftungsanlage mit definiertem Außenluftstrom gilt natürlich in erster Linie für große Versammlungsräume (Hörsäle, Theater), bei denen allerdings schon aus baulichen (oder anderen) Gründen auf die Anordnung von Fenster verzichtet wird. Hier stellt sich in vielen Fäl-



7 Funktionsweise der Luftqualitätsregelung bei unterschiedlicher Raumbelastung

len ein Problem besonderer Art, das den wirtschaftlichen Betrieb der Lüftungsanlage betrifft: Die wechselnde Personenbelegung solcher Räume, der die Außenluftversorgung aus energiewirtschaftlichen Gründen möglichst weitgehen angepaßt werden sollte. Das läßt sich erreichen mit einer sogenannten Luftqualitätsregelung.

6 Luftqualitätsregelung

Der Begriff »Luftqualität« kann zweifach definiert sein (vgl. Tabelle 6). In diesem Zusammenhang soll die Definition im engeren Sinne gelten. Unter »Luftqualitätsregelung« sind Maßnahmen zu verstehen, mit denen die Zusammensetzung der Raumluft (als »Luftqualität«) in bestimmten Grenzen konstant gehalten werden kann, unabhängig von der im Raum vorhandenen Schadstoffbelastung. Bezogen auf die Wirkungsweise der Lüftungsanlage läuft das letztlich hinaus auf einen in Abhängigkeit von einer bestimmten Schadstoffkonzentration veränderten Außenluftstrom. Dabei wird – zur Erreichung eines möglichst wirtschaftlichen Betriebs der Anlage – ausgehend von der Luftleistung im Auslegungszustand in erster Linie eine Reduzierung der Luftleistung bei entsprechend reduzierter Raumbelastung angestrebt (Bild 7).

Der Luftqualitätsregelung hat man sich in den letzten Jahren in den USA besonders im Zusammenhang mit der Neubearbeitung der ASHRAE-Lüftungsnorm angenommen [15, 16, 17]. Den entsprechenden Forschungs- und Entwicklungsarbeiten liegt die Erkenntnis zugrunde, daß die CO₂-Konzentration immer noch einen der besten Indikatoren für die Luftqualität und für deren Regelung darstellt, insbesondere für dichtbelegte Versammlungsräume.

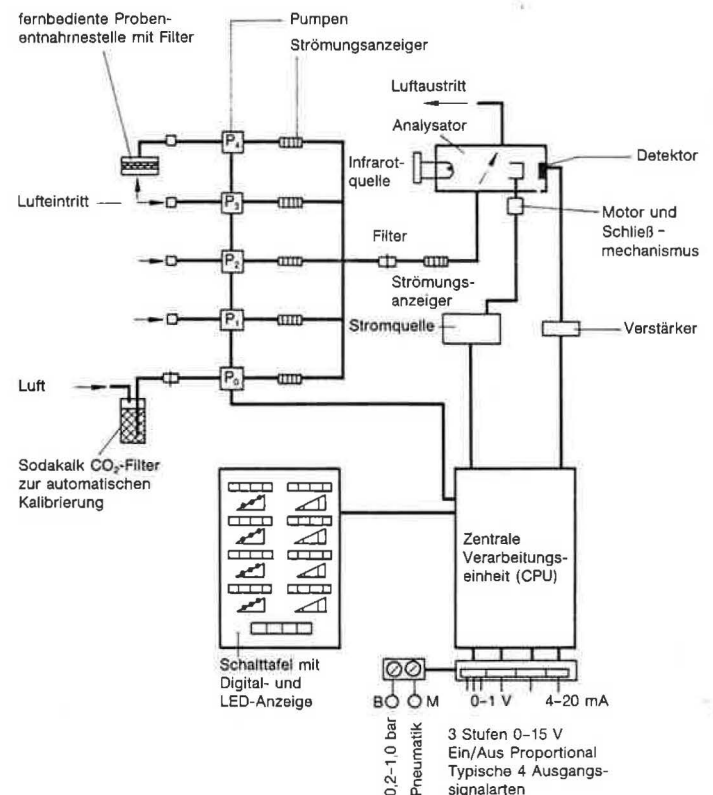
Tabelle 6: Definition des Begriffes »Luftqualität«

Luftqualität	Luftqualität
Indikator für alle Raumluftkonditionen, wie	bestimmt durch die Konzentration von Verunreinigungen, verursacht durch
○ Thermische Luftkonditionen	○ die Außenluft
○ CO ₂ -Konzentrationen + Gerüche	○ Personen im Raum
○ Konzentration von Gasen, Dämpfen und radioaktiven Stoffen	○ Einrichtungen und Geräte
	○ Baustoffe
Definition im weiteren Sinne	Definition im engeren Sinne

CO₂-Analysegeräte, die die nichtstreuende Infrarotanalyse nutzen, geben eine gute Istwert-Erfassung. Industrielle Geräte dieser Art sind seit langem verfügbar. Sie sind allerdings komplex aufgebaut, entsprechend teuer und kompliziert zu bedienen. Für die Anwendung in der Raumlufttechnik stellte sich somit die Aufgabe, ein CO₂-Spürgerät zu entwickeln, das folgende Anforderungen erfüllt:

- es soll billig sein und eine geringe Amortisationszeit erlauben,
- es soll einfach in der Bedienung und möglichst wartungsfrei sein,
- es soll im Bereich der gewünschten Grenzwerte eine Genauigkeit der Meßwerterfassung von ±10% ermöglichen,
- es soll eine vielseitige Anwendungsmöglichkeit bieten, damit das Gerät möglichst in allen Gebäudearten mit den üblichen elektrischen, elektronischen oder pneumatischen Regelsystemen auch nachträglich installiert werden kann.

Das in Bild 8 im Schema dargestellte CO₂-Regelgerät erfüllt im wesentlichen diese Forderungen. Es kann an 4 verschiedenen Orten die CO₂-Konzentration der Luft messen, und auf 4 unabhängige Regelsysteme wirken. Die Probenentnahmen erfolgen mit getrennten Pumpen in Folgesteuerung in halbstündigem Abstand an jedem Punkt. Zur automatischen Eichung des Gerätes entnimmt die Kalibrierpumpe alle 2 Stunden eine Probe (Nullpunkteinstellung).



8 Schaltschema einer CO₂-Regleinrichtung nach [15]



Das Meßprinzip beruht auf der Absorption der von einer Infrarotquelle ausgesandten Strahlung proportionale zum CO_2 -Gehalt der Probe. Der Detektor der Meßzelle registriert die Änderung und gibt ein entsprechendes Ausgangssignal an eine zentrale Datenverarbeitungseinheit, die für die Reihenfolge der Operation programmiert ist.

Ein in der Schweiz entwickeltes Gerät arbeitet nach dem photoakustischen Gasetektionsprinzip [18]. Dabei wird mit einem Mikrophon das Schallfeld erfaßt, das in einer verschlossenen Glasküvette unter Absorption von intensitätsmodulierter Lichtstrahlung entsteht (Bild 9). Der gemessene Schalldruck ist proportional zur absorbierten Lichtleistung und steht damit in einem direkten Verhältnis zur Gaskonzentration. Dieses CO_2 -Überwachungsgerät liegt in Form eines Funktionsprototyps vor. Langzeit-Messungen laufen z. Z. Nach Herstellerangaben läßt sich mit relativ geringem Aufwand eine Meßgenauigkeit von 35 ppm erreichen.

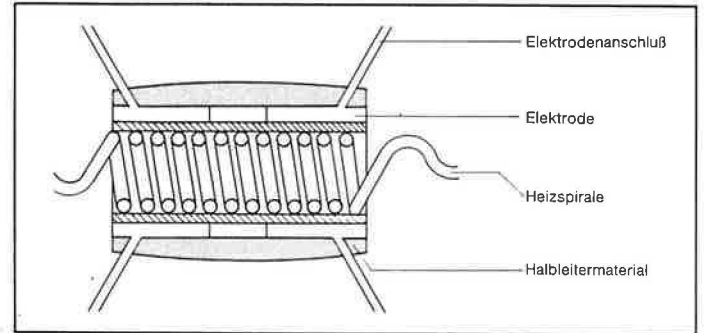
Im Zusammenhang mit der Messung von Luftverunreinigungen muß auf folgendes besonders hingewiesen werden:

Für Räume mit Raucherlaubnis muß zusätzlich zur CO_2 -Messung die Kohlenmonoxid-Konzentration erfaßt werden. Als Regelgröße muß sie Vorrang erhalten vor der von der CO_2 -Messung beeinflussten Lüftungsregelung. Insofern sind die oben beschriebenen Luftqualitätsregelsysteme für Räume mit Anfall von Tabakrauch nicht oder nur bedingt einsetzbar.

Das war ein wesentlicher Grund für die Entwicklung einer Luftqualitätsregelung, die als Maßstab für die hygienische Be-

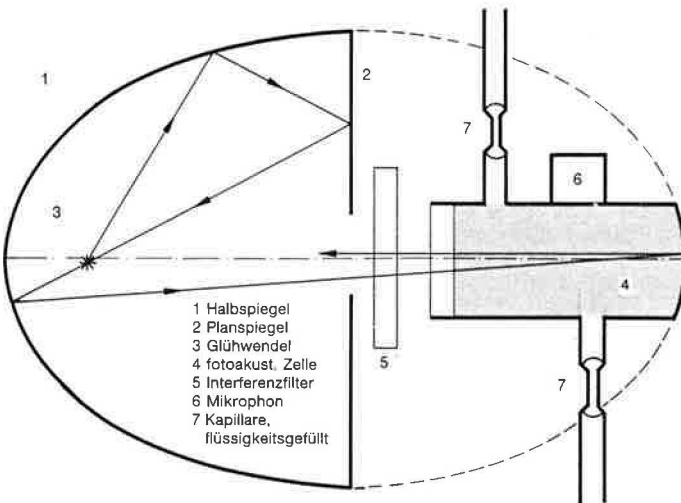
lastung der Raumluft die im Raum anfallenden Gerüche verwendet, die bereits in sehr geringer Intensität von einem Luftqualitätsfühler wahrgenommen werden [19]. Die gesamte Regeleinrichtung (Bild 10) besteht aus diesem Fühler, einem elektronischen Regler, einem beliebigen Stellglied und gegebenenfalls einem externen Sollwertgeber.

Das Funktionsprinzip des Luftqualitätsfühlers beruht auf der Erkenntnis, daß im Humanklimabereich mit der Abnahme der Luftqualität die Anteile verbrennbarer (nicht oxydierter) Gase in der Raumluft zunehmen. Solche Gase entstehen durch Ausdünstungen des Menschen (Ammoniak, Methan, Fettsäuren), durch Zigarettenrauch, Küchendämpfe usw.

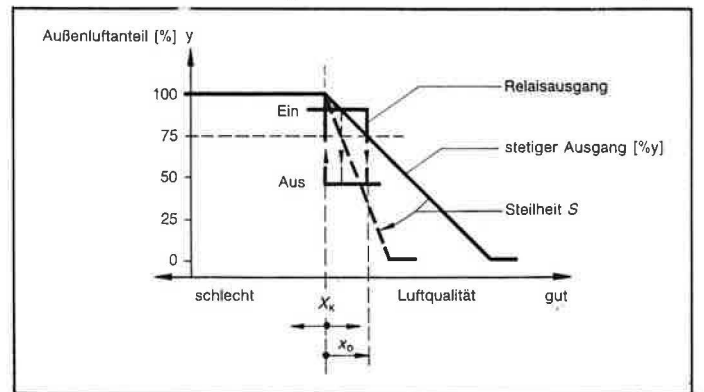


11 Schematische Darstellung des Gassensors der in Bild 10 gezeigten Luftqualitätsregelung (nach [20])

Der Sensor dieser Luftqualitätsregelung (Bild 11) besteht im wesentlichen aus einem Halbleiterrohr (Zinndioxid) und einer innenliegenden Heizung. Das Halbleitermaterial ist porös und hat deshalb eine sehr große Oberfläche. Daran werden oxydierbare Gase gebunden. Bei dieser Adsorption werden Elektronen frei, die die Leitfähigkeit des Halbleiter erhöhen. Der Prozeß ist reversibel. Bei Abnahme der Konzentration diffundieren die Gase wieder aus dem Halbleiter. Der Fühler reagiert sehr schnell, innerhalb weniger Sekunden. Er wird auch nach Aussage des Herstellers nicht abgenutzt, ist also nach Jahren noch funktionsfähig. Er spricht auf verschiedene Gase an wie Wasserstoff, Kohlenmonoxid, Alkohole, Ester, Benzol, wobei jedoch beträchtliche Empfindlichkeits-Unterschiede auftreten. Außerdem reagiert der Sensor auf Wasserdampf.



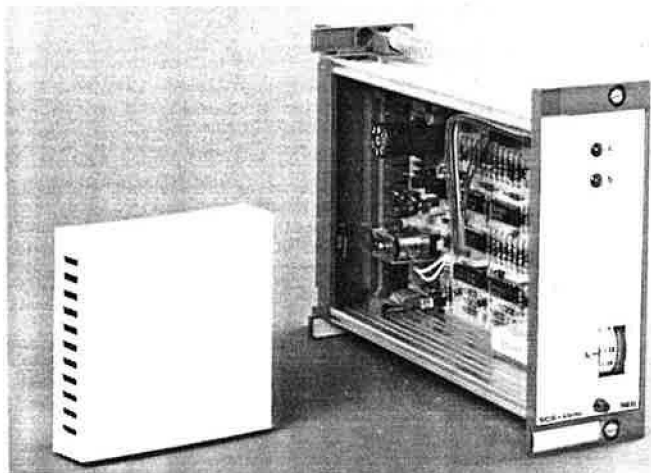
9 Photoakustische Gasetektions-Vorrichtung (nach [18]), H Halbspiegel P Planspiegel, G Glühwendel, C Photoakustische Zelle, M Mikrophon, K Kapillare, flüssigkeitsgekühlt



12 Sequenzbild der Luftqualitätsregelung nach Bild 10 (nach [19])

Eine wesentliche Eigenschaft des Meßelementes besteht darin, daß es nicht selektiv wirkt, sondern bei mehreren, gleichzeitig auftretenden Gasen die Summe der Gaskonzentrationen erfaßt. Für die Anwendung als »Geruchsfühler« ist dies eine willkommene Eigenschaft: Die Empfindlichkeit des Fühlers stimmt hierin in großen Zügen mit dem Geruchssinn des Menschen überein, bzw. erfaßt in der Summe alle schädlichen Luftverunreinigungen, wie z. B. CO aus dem Tabakrauch.

Wie das Sequenzbild der Regelung (Bild 12) zeigt, entspricht der Sollwert dem Punkt auf der Bewertungsskala, von



10 Luftqualitätsregelung mit Regler und Fühler

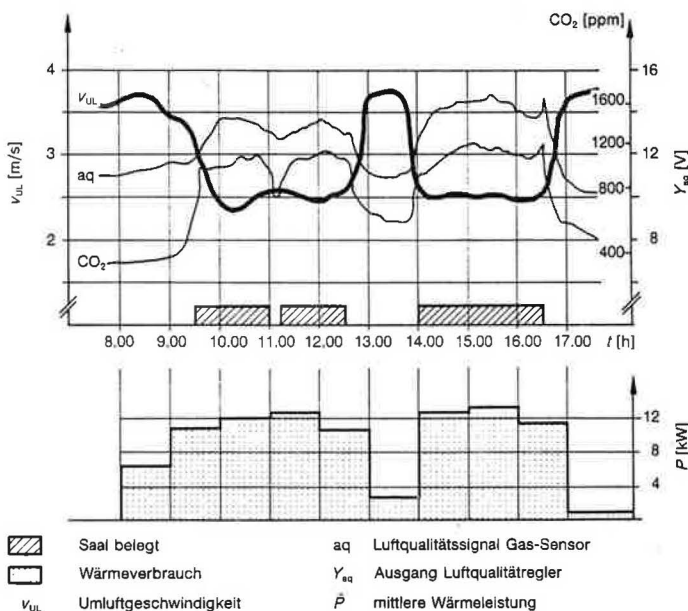


dem ab dem Raum bei schlechter werdender Luftqualität 100% Außenluft zugeführt werden soll (die Außenluftklappe ist in Maximalstellung, das Ausgangsrelais schaltet ein). Wenn die Luftqualität besser wird, drosselt der Regler die Außenluftzufuhr entsprechend der eingestellten Steilheit S. Das Relais fällt ab.

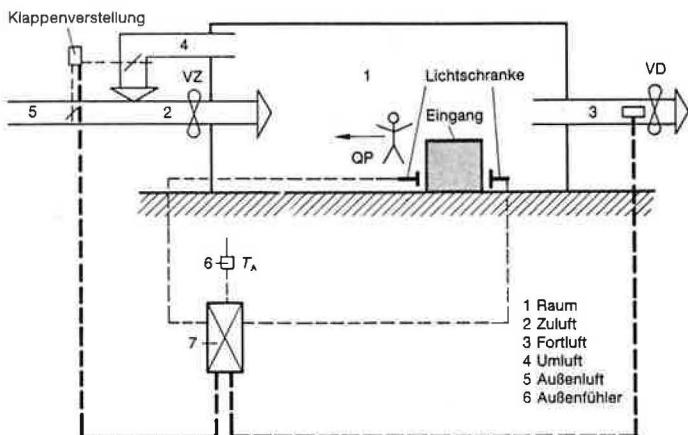
Bild 13 zeigt Ergebnisse verschiedener Meßgrößen an einem mit Luftqualitätsregelung ausgestatteten Hörsaal.

Für den Einsatz in Warenhäusern, Supermärkten und Gebäuden mit ähnlicher Nutzung werden Verfahren zur personenabhängigen Regelung des Außenluftstromes vorgeschlagen [21, 22]. Dabei werden über eine Zählleinrichtung in der Eingangszone die in den Raum eintretenden Personen erfasst und unter Verzicht auf eine Ausgangszählung ein elektrisches oder pneumatisches Steuersignal gewonnen, das als Minimalbegrenzungssignal für den Außenluftanteil einer Lüftungsanlage verwendet wird. Hiermit sollen Heizenergiekosten von 30 bis 40% eingespart werden (Bild 14).

In der o. a. Patentschrift [21] werden auch andere Verfahren der Luftqualitätsregelung beschrieben, so z. B. die Messung der Personenbelegung in einem Raum durch Bestimmung der Feuchtedifferenz. Ein anderer Hersteller von Regelanlagen bietet einen CO₂-Detektor in Verbindung mit seinem Energiemanagement-Programm an [22]. Dieser Detektor mißt nach



13 CO₂-Konzentration, Luftqualitätssignal und Umluftstrom, gemessen in einem Hörsaal (nach [20])



14 Messung der Personenbelegung eines Raumes durch Zählung der den Raum betretenden Personen (nach [21]); E Eingang, L', L'' Lichtschranke, KM Klappenverstellung, 1 Raum, 2 Zuluft, 3 Fortluft, 4 Umluft, 5 Außenluft, 6 Außenfühler, 7 Regler

dem Prinzip der Infrarot-Spektroskopie die CO₂-Konzentration der Raumluft und meldet über einen Relaiskontakt und eine rote Leuchtdiode das Überschreiten eines einstellbaren Grenzwertes (Bild 15).



15 Luftqualitätsregler

Für die hier beschriebenen Verfahren und Systeme der Luftqualitätsregelung ist ein Vergleich bezüglich Wirtschaftlichkeit und anderer Beurteilungskriterien wegen der noch nicht ausreichend fortgeschrittenen Entwicklung kaum möglich. Wichtig ist aber festzustellen, daß mit der Luftqualitätsregelung – welcher Art auch immer – eine wesentliche Energieersparnis nur dann zu erreichen ist, wenn auch das Lüftungssystem dem möglicherweise aufwendigen und genauen Regelsystem angepaßt ist. Das Lüftungssystem sollte auf jeden Fall so ausgebildet sein, daß es sich Veränderungen in der Luftqualität – bedingt durch das Raumbelegungs-/Aktivitäts-Niveau – möglichst kontinuierlich mit entsprechenden Luftströmen anpassen kann.

Literatur

- [1] Huber, G. und Wanner, H. U.: Raumluftqualität und minimale Lüftungsraten; Ges.-Ing. 103 (1982), S. 207–210
- [2] Pettenkofer, M.: Über den Luftwechsel in Wohngebäuden; Literarisch-Artistische Anstalt der J. G. Cotta'schen Buchhandlung, München, 1858, 125 Seiten
- [3] Pettenkofer, M.: Über das Verhalten der Luft zum Wohnhause des Menschen; aus: Populäre Vorträge von M. v. Pettenkofer, I. Heft; Verlag von F. Vieweg und Sohn, Braunschweig 1877
- [4] DIN 1946, Teil 2, »Raumlufttechnik – Gesundheitstechnische Anforderungen«; Januar 1983
- [5] Liese, W.: Nachdenkliches zur »Pettenkoferzahl«; Ges.-Ing. 101 (1980) Nr. 11, S. 319/320
- [6] Position Statement on Indoor Air Quality; herausgegeben von der American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), Juli 1982; übersetzt ins Deutsche von DKB und FGK mit dem Titel »Statusbericht zur Problematik der Raumluftqualität in Aufenthaltsräumen«
- [7] ASHRAE 62–1981: Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality; The American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Atlanta USA
- [8] Leaderer, B. P. und Cain, W. S.: Air Quality in Buildings during Smoking and Nonsmoking Occupancy; Vortrag ASHRAE-Tagung Washington Juni 1983 (ASHRAE-Transactions 1983, Vol. 89, Part 2)
- [9] Wanner, H. U.: Luftqualität in Innenräumen; TAB Technik am Bau 1983, Nr. 8, S. 645–648
- [10] Weber, A.: Luftverunreinigung durch Tabakrauch; CCI 1983, Nr. 9, S. 2
- [11] Fanger, P. O.: Verunreinigungen in geschlossenen Räumen – Luftqualität und Anforderungen an Lüftungssysteme; KI Klima–Kälte–Heizung 10 (1982), Nr. 2, S. 63–64
- [12] Weber, R.: Radioaktivität in Wohnhäusern unterschätzt; VDI-Nachrichten 17. 6. 1983, S. 6
- [13] Strahlenbelastung durch Radon; HLH Heizung–Lüftung–Haustechnik 1983, Nr. 2, S. 40
- [14] Urban, M.: Radon in Wohnhäusern und im Freien; KI Klima–Kälte–Heizung 12 (1984), Nr. 12, S. 507–512
- [15] Presser, G. S.: Die neue ASHRAE-Lüftungsnorm 62–1981; KI Klima–Kälte–Heizung 11 (1983), Nr. 4, S. 179–182
- [16] Liptak, B. G.: Savings through CO₂-based Ventilation; ASHRAE-Journal 21 (1979), Nr. 7, S. 38–41
- [17] Turiel, I. und Rudy, J. V.: Occupant-Generated CO₂ as an Indicator of Ventilation Rate; Vortrag ASHRAE-Tagung Houston Januar 1982 (ASHRAE Transactions 1982, Vol. 88, Part 1)
- [18] Oehler, O.: CO₂-Gehalt als Führungsgröße; Kontrolle der Raumluftqualität in klimatisierten Räumen; CCI 1983, Nr. 10, S. 42
- [19] Specker, C.: Lüftungsverluste senken durch Luftqualitätsregelung; KI Klima–Kälte–Heizung 11 (1983), Nr. 9, S. 355–357
- [20] Geeris, J.: Luftqualitätsregelung – Messungen und Erfahrungen; SCS-okay Nr. 5, 1984
- [21] Deutsches Patent OS 27 25 457: Verfahren zur indirekten Messung der Personenbelegung in gelüfteten Räumen und zur Regelung des Luftanteils in Abhängigkeit von dieser Messung; ITT Regelungstechnik GmbH, Essen und Stinnes Haustechnik GmbH, Mülheim; OT 14, 12, 78
- [22] Frischluft vom Computer dosiert; CCI 1984, Nr. 7, S. 27
- [23] Warren, B. F.: Energy saving in buildings by control of ventilation as a function of indoor carbon dioxide concentration; Building Services Engineering Research and Technology 3 (1982), Nr. 1, S. 4–12



MENSCH UND RAUMLUFT

Teil 2: Lüftung in wenig belegten Räumen (Teil 1 in TAB 6/85)

Prof. Dr.-Ing. Harald Loewer, Hamburg/Karlsruhe

Der Begriff des »wenig belegten Raumes« soll für diejenigen Räume gelten, die bezüglich der Personenbelegung mindestens eines der folgenden Kennzeichen aufweisen:

- Der Raum besitzt eine auf die Fläche oder das Raumvolumen bezogene geringe Belegungsdichte im Sinne einer kleinen Personenzahl.
 - Der Raum hat eine zeitlich stark veränderliche und u. U. zeitweise vollständig unterbrochene Personenbelegung.
- Beide der hier beschriebenen Kennzeichen können auch für einen bestimmten Raum zusammenreffen.

Es handelt sich bei den hier als »wenig belegt« definierten Räumen in erster Linie um Wohnräume (im Sinne aller Räume einer Wohnung), aber auch um Einzelbüros, Hotelzimmer und Räume mit ähnlicher Nutzung. Wegen ihrer besonderen Nutzungsart sind diese Raumarten von den Versammlungsräumen im eigentlichen Sinne, die ja eine dichte Belegung aufweisen, zu trennen. In Fragen der Heizung und Lüftung sind sie unterschiedlich zu betrachten und zu behandeln.

7 Zusammenhang zwischen Raumheizung und -lüftung

Aufgabe einer Raumheizung ist die Deckung des Wärmebedarfs durch entsprechende Wärmelieferung. Dabei muß die Wärmeabgabe der Heizquelle im Raum den wärmephysiologischen Ansprüchen der Rauminsassen genügen und eine möglichst gleichmäßige Empfindungstemperatur in den beheizten Räumen herstellen. Unterschiedliche und zeitlich veränderliche Betriebsbedingungen im Raum und witterungsbedingt veränderliche Lasten sind zu berücksichtigen.

Aufgabe einer Raumlüftung ist die Erneuerung der Luft in geschlossenen Räumen mit dem Ziel, Verunreinigungen der Raumluft zu beseitigen und den Reinheitsgrad der Luft in bestimmten Grenzen zu halten. In Aufenthaltsräumen, also allen dem Aufenthalt von Personen dienenden Räumen, werden diese Grenzen festgelegt durch die vom Menschen an die Luftqualität zu stellenden Ansprüche unter Berücksichtigung von Gesundheit, Wohlbefinden und Leistungsfähigkeit.

Heizung und Lüftung sind somit Verfahren der Raum-Klimatechnik, die prinzipiell jeder Aufenthaltsraum erfordert, unabhängig davon, ob es sich um dicht belegte Versammlungsräume (Theater, Hörsaal etc.) oder Räume mit weniger dichter Belegung (Wohnraum, Büro etc.) handelt.

In den wenig belegten Räumen, insbesondere in denen des Wohnbereiches werden diese beiden Verfahren bislang vortzugsweise getrennt behandelt und eingesetzt, wobei die Raumheizung eindeutig im Vordergrund steht. In Zukunft wird zunehmend eine integrierte Betrachtungsweise erforderlich werden bedingt durch

- steigende Energiekosten,
- veränderte Bauweise mit u. a. verbesserter Wärmedämmung der Bauteile und dichter Fenstern,
- Verschiebung der Anteile von Transmissions- und Lüftungswärmebedarf am Gesamtwärmebedarf eines Gebäudes,
- wachsende Schadstoff-Belastungen von Außenluft und Raumluft,
- wachsende Komfort-Ansprüche.

Heizen und Lüften von Aufenthaltsräumen sind damit wegen ihrer zunehmenden Wechselwirkungen kaum noch voneinander zu trennen. Für die Praxis bedeutet das in der Konsequenz, daß sich auch der Heiztechniker mit den Problemen der Lüftungstechnik und ihren Grundlagen beschäftigen und auseinandersetzen muß.

8 Lüftung im Wohnbereich

Wohngebäude werden hierzulande überwiegend von sog. »Einrichtungen zur freien Lüftung« (vgl. Definition nach DIN 1946, Teil 1), d. h. im wesentlichen über Fenster bzw. Fensterfugen gelüftet. Eine weitgehend genaue Dosierung des Außenluftstromes im Sinne einer guten »Luftqualitätsregelung« (Erfüllung der hygienischen Anforderungen) einerseits ist mit diesem Lüftungsverfahren kaum möglich. Diese Probleme werden z. Zt. intensiv diskutiert und auch im Rahmen zahlreicher Forschungs- und Entwicklungsprojekte behandelt.

Nach einer Untersuchung von Hausladen [24] ergeben sich für die einzelnen Räume einer etwa 70 m² großen Dreizimmer-Wohnung aus der Berechnung des Lüftungswärmebedarfs nach DIN 4701 für Fenster mit verschiedenen Fugendurchlaßkoeffizienten die in Tabelle 7 aufgeführten Luftwechselzahlen. Betrachtet man in dem angeführten Beispiel Fenster mit einem Fugendurchlaßkoeffizienten von $a = 0,5$, so ergibt sich für jeden Raum ein Luftwechsel, der wesentlich kleiner ist als 0,5.

Zu ähnlichen Ergebnissen kommt auch eine im Auftrag des Bundesbauministeriums durchgeführte Untersuchung [25]: Messungen des Luftwechsels in Wohnungen mit fugendichten Fenstern ergaben eine Häufung der Luftwechselzahl von etwa 0,3, also eine Außenluftzufuhr weit unter dem hygienischen Mindeststandard.

Dazu kommt die Problematik, die sich aus den örtlichen und zeitlichen Schwankungen der Windgeschwindigkeiten und aus der Thermik des jeweiligen Gebäudes ergeben (Bild 16 und 17). Dies kann einerseits zu extrem niedrigen und damit hygienisch bedenklichen, andererseits zu extrem hohen und unwirtschaftlichen Außenluftströmen führen. Die Darstellungen unterschiedlicher Strömungsverhältnisse in Wohngebäuden ohne und mit Abluftanlagen innenliegender Sanitärräume zeigen besonders deutlich, wie wenig die Raumlüftung in derartigen Gebäuden »kontrolliert«, d. h. mit eindeutig vorgegebenen Volumenströmen eingestellt werden kann. Für Gebäude mit Abluftanlagen ist hiernach – insbesondere im unteren Ge-

Tabelle 7: Luftwechselzahlen bei verschiedenen Fugendurchlaßkoeffizienten (nach [24])

Raum	Wohnfläche (m ²)	Raumvolumen (m ³)	Außenwandfläche (m ²)	Fensterfläche (m ²)	Fugenlänge (m)	Luftwechsel h^{-1} bei einer Fugendurchlässigkeit			
						($a = 0,1$)	($a = 0,5$)	($a = 1$)	($a = 2$)
Wohnzimmer	23,0	57,5	17,0	3,75	14	0,03	0,16	0,31	0,62
Küche	8,5	21,5	7,4	1,90	7,5	0,04	0,22	0,43	0,86
Schlafzimmer	12,5	31,0	10,0	2,90	11,5	0,06	0,30	0,61	1,20
Kinderzimmer	11,5	29,0	8,5	2,00	8	0,04	0,17	0,35	0,70
Bad/WC	5,0	12,5	4,5	1,00	4,5	0,05	0,23	0,46	0,93
Flur/Abst.R.	9,0	22,5	–	–	–	–	–	–	–
Summe:	69,5	174,0	47,5	11,55	45,5				

Die Hauskenngröße ist dabei mit $H = 0,41$ angesetzt.

Die Hauskenngröße berücksichtigt die am Ort des Gebäudes herrschenden Windverhältnisse.



bäudeteil – ein unwirtschaftlicher Lüftungsbetrieb mit zu hohen Luftwechselzahlen zu erwarten (Bild 17). Bei knapper Auslegung der Heizanlage (nach DIN 4701 mit einem Lüftungswärmebedarf für 0,5fachen Luftwechsel) kann es zudem vorkommen, daß die Auslegungstemperaturen in diesem Gebäudebereich – zumindest zeitweise – nicht erreicht werden.

Für den Fall extrem niedriger Außenluftströme, wie für das Beispiel in Tabelle 7 errechnet und für den Fall des Wohnhauses ohne Abluftanlage in Bild 16 dargestellt, kann unter Beibehaltung der Fugenlüftung als Problemlösung nur die sog. Stoßlüftung angeboten werden. Diese wird wie folgt definiert:

»Stoßlüftung ist das kurzzeitige Fensteröffnen mit entsprechender Fensterstellung und damit einer gegenüber der Grundlüftung erhöhten Außenluftzufuhr.«

Bei Anwendung der Stoßlüftung bleibt allerdings die Frage offen, wie diese mit der Dauer des Fensteröffnens und der Fensterstellung den Witterungsbedingungen und baulichen Gegebenheiten so angepaßt werden kann, daß der Außenluftbedarf sowohl hygienisch als auch energiewirtschaftlich optimal gedeckt werden kann.

Diese Problematik zeigt sich auch in den Faustregeln, die Wanner [9] empfiehlt als Antwort auf die Frage »Wie oft, wie lange und wann soll in Gebäuden mit Fensterlüftung gelüftet werden?«:

- In Wohn- und Arbeitsräumen 3 bis 5 Minuten Fenster öffnen (Stoßlüftung)!
- Häufigkeit je nach Belegung und Nutzung des Raumes (12 bis 15 m³/h je Person). Bei Rauchen und körperlicher Arbeit öfter!
- An stark befahrenen Straßen möglichst in verkehrsarmen Zeiten lüften!
- In Schlafräumen während der Nacht einen Fensterspalt offenhalten (Begrenzung des CO₂-Pegels)!

Hieraus läßt sich eigentlich nur der Schluß ziehen, daß die »Stoßlüftung« keine kontrollierte Lüfterneuerung darstellen und sich zu einer solchen auch nicht entwickeln lassen kann.

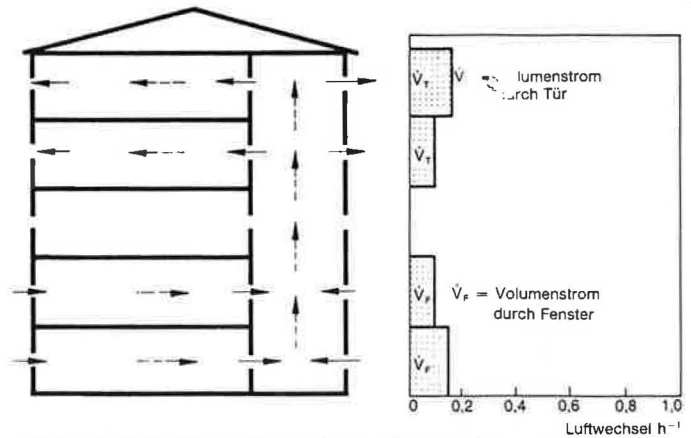
Wie groß die Unsicherheit ist, zeigen auch die Empfehlungen, die zu der Frage »Wie heize und lüfte ich richtig?« die Arbeitsgemeinschaft der Verbraucher e. V., Bonn, gibt (vgl. Verbraucher Rundschau 4/85 zum Thema »Energiesparen im Haushalt«):

- Für ausreichende Erneuerung der Raumluft sorgen; dabei den Lüftungsvorgang möglichst kurz halten: Bei Durchzug wird die verbrauchte Raumluft in 5 bis 10 Minuten durch kältere Außenluft ersetzt.
- Kein Dauerlüften, etwa durch Kippen eines Fensters; das bringt wenig Luftaustausch und verschwendet Energie. Beim Lüften die Heizkörperventile stets verschließen.
- Größere Dampfungen, etwa beim Kochen oder Baden, stets sofort nach außen abführen.

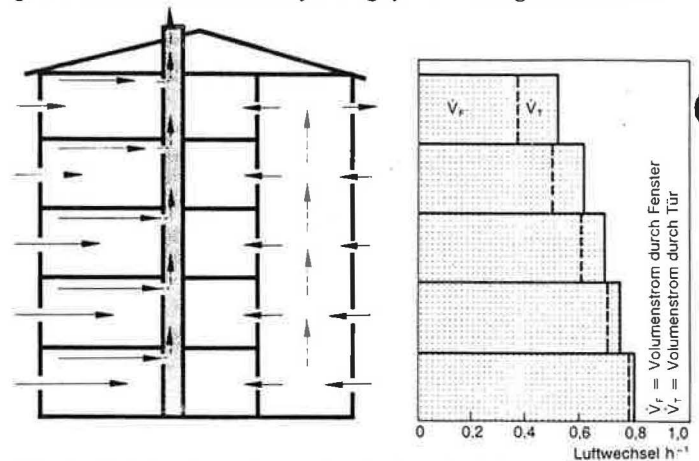
Nur eine kontrollierte Lüfterneuerung ermöglicht die Erfüllung der hygienischen Erfordernisse in Aufenthaltsräumen, ohne daß zuviel Luft zu- bzw. abgeführt und damit gleichzeitig Energie verschwendet wird. Dies erscheint umso bedeutsamer, als die steigenden Anforderungen an die Wärmedämmung der Bauteile zu erheblicher Reduzierung des Transmissionswärmebedarfs geführt haben und der Lüftungswärmebedarf damit einen wachsenden Anteil am Gesamtwärmebedarf des Gebäudes (bis zu 50 %) einnimmt und in zunehmendem Maße Größe und regeltechnische Ausstattung der Heizanlage beeinflusst.

Die kontrollierte Lüfterneuerung ist somit offensichtlich nur mit Hilfe von Lüftungstechnischen Anlagen (im Sinne der DIN 1946, Teil 1) möglich. Ohne diese kann es keine geregelte Raumlüftung unter Anpassung an wechselnde Außenzustände geben (Bild 18).

Um die Möglichkeit des Einsatzes von mechanischen Lüftungsanlagen im Wohnungsbereich zu erkunden, wurden verschiedene Untersuchungen durchgeführt, teilweise mit öffent-



16 Einfluß der Thermik auf den Luftwechsel eines 5-geschossigen Wohnhauses ohne Abluftanlage für innenliegende Räume



17 Einfluß der Thermik auf den Luftwechsel eines 5-geschossigen Wohnhauses mit Abluftanlage ohne Ventilator

licher Förderung. Wesentliches Ergebnis dieser Untersuchungen ist zunächst die Erkenntnis, daß nur die Kombination von zentralen oder dezentralen Lüftungsanlagen mit einer Wärmerückgewinnung zu einem reduzierten Lüftungswärmeverlust in wirtschaftlich vertretbarem Ausmaß führen kann.

Im Rahmen eines vom Bundesministerium für Forschung und Technologie geförderten Forschungsprogramms »Lüftung im Wohnungsbau« wurden experimentelle Vergleichsuntersuchungen mit verschiedenen Lüftungssystemen an zwei Experimentierhäusern gleicher Größe und Bauart unter natürlichen Klimabedingungen durchgeführt [26]. Dabei wurden verschiedene Lüftungssysteme im Hinblick auf folgende Kriterien untersucht:

- Erzielbare Luftaustauschraten und Luftwechsel,
- Lüftungswärmeverluste,
- Betriebsverhalten und Schwachstellen,
- Hilfsenergiebedarf.

Wesentliches Ergebnis dieser Untersuchungen ist zunächst die Erkenntnis, daß nur die Kombination von zentralen oder dezentralen Lüftungsanlagen mit einer Wärmerückgewinnung zu einem reduzierten Lüftungswärmeverlust in wirtschaftlich vertretbarem Ausmaß führen kann.

Eine auf der Grundlage dieser Untersuchungen durchgeführte Übersichtsrechnung der Energie- und Kosteneinsparung führt zu folgenden Ergebnissen:

Annahmen

Wohnungsgröße	100 m ²
mittl. Temperaturdifferenz $t_a - t_i$	15 K
Luftwechselzahl	1,0
Heizölpreis	0,80 DM/l
mittl. Heizungswirkungsgrad	75 %



Ergibt mit Wärmerückgewinnung:

Energieeinsparung	650 kWh/Monat
Energiekostensparnis	70 DM/Monat
bzw. ca.	500 DM/Jahr

bei Annahme einer 7 Monate langen Heizperiode

Investitionskosten:

Entweder 4 dezentrale Einzelgeräte von je etwa DM 1000 = DM 4000
 oder Kosten der zentralen Anlage für ein Einfamilienhaus je nach Fabrikat zwischen DM 5000 und DM 10000.

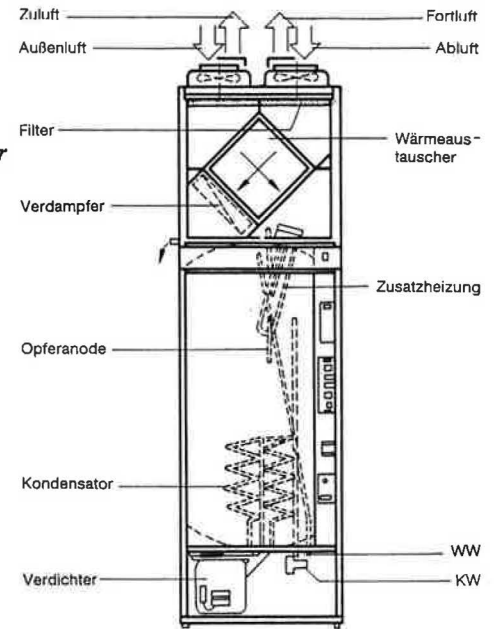
Zu beachten ist, daß in dieser Rechnung keine Betriebs- und Wartungskosten enthalten sind.

Das Ergebnis dieser und ähnlicher Wirtschaftlichkeitsberechnungen läßt erkennen, daß der Einsatz der Wohnungslüftung mit Wärmerückgewinnung bei den z. Zt. geltenden Energiepreisen in günstigen Fällen eine etwa 10jährige Amortisation des eingesetzten Kapitals möglich macht.

Der Einsatz von sog. »Lüftungswärmepumpen« (anstelle einfacher rekuperativer Wärmerückgewinner) würde zwar eine größere Energieersparnis ermöglichen, andererseits aber auch den Kapitaleinsatz erhöhen. Hier bieten sich allerdings die Möglichkeiten, daß die rückgewonnene Wärme entweder zur Außenlufterneuerung oder für die Warmwassererwärmung genutzt wird (Bild 18 bis 20).

Im Gegensatz zur Bundesrepublik Deutschland hat sich in Skandinavien und Frankreich die kontrollierte Lüftung bereits weitgehend durchgesetzt. In etwa 17000 der im Jahr 1980 in Schweden errichteten Einfamilienhäuser wurden Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung eingebaut. Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, daß in Schweden seit 1975 nach der Bauordnung eine Auflage für den Einbau der Wohnungslüftung in Wohngebäuden mit mehr als 2 Wohneinheiten besteht. Aus Frankreich ist bekannt, daß bei der Wohnungsbelüftung die rekuperative Wärmerückgewinnung weitgehend ausreichend ist zur erforderlichen Anwärmung der Zuluft.

20 Wärmerückgewinnung mit Wärmepumpe zur Warmwasser-Erwärmung bei der Wohnungslüftung (RWE)



Wie bereitwillig in der Bundesrepublik Deutschland der Nutzer die kontrollierte Lüftung jetzt oder in Zukunft akzeptiert, wird davon abhängen, ob es der Technik gelingt, auf die Benutzeranforderungen einzugehen und überzeugende Konzeptionen anzubieten. Dabei werden vermutlich die Bedingungen für eine weitgehende Realisierung weniger in weiteren Anlagenentwicklungen und -verbesserungen als vielmehr in geeigneten haus- und bautechnischen Systemintegrationen bestehen.

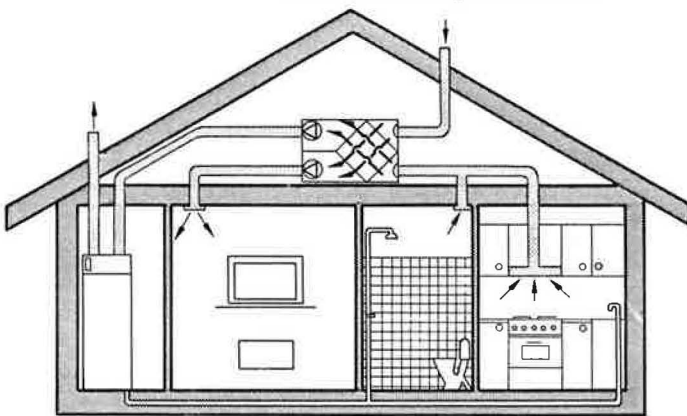
Wegen der engen Verknüpfungen zwischen der Wohnungslüftung und der Raumheizung wird letztlich eine wirtschaftliche Lösung für die kontrollierte Wohnungslüftung nur durch die integrierte Behandlung der Heizungs- und Lüftungsfrage zu finden sein, z. B. in der Luftheizung.

9 Luftheizung und kontrollierte Wohnungslüftung

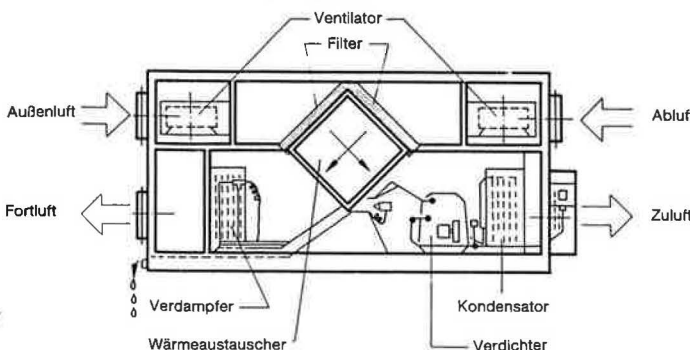
Luftheizungen werden praktisch schon seit den Anfängen der Heizungs- und Lüftungstechnik installiert. Neben den Vorteilen der trägheitsarmen Aufheizung, Verzicht auf Rohrleitungen und Heizkörper, Möglichkeit von Außenluftbeimischung, Luftfilterung, Luftbefeuchtung und Luftkühlung ist als Vorteil die wirtschaftliche Betriebsweise zu nennen. In verschiedenen Ländern, z. B. in den USA haben Luftheizungen einen hohen Anteil an den im Wohnhausbereich installierten Heizanlagen. In der Bundesrepublik ist die Verbreitung der Luftheizung noch relativ gering [27].

Eine wichtige Voraussetzung für die verstärkte Einführung der Luftheizung kombiniert mit der Wohnungslüftung ist sicher, daß die Investitionskosten für die Luftheizung ein der Niedertemperatur-Warmwasserheizung angepaßtes Niveau erreichen. Das ist nur durch exakte Planung und rationelle Fertigung möglich, wofür im Einfamilienhausbereich das Fertighaus durchaus Möglichkeiten bietet, wie bereits ausgeführte Beispiele zeigen (Bild 21) [28].

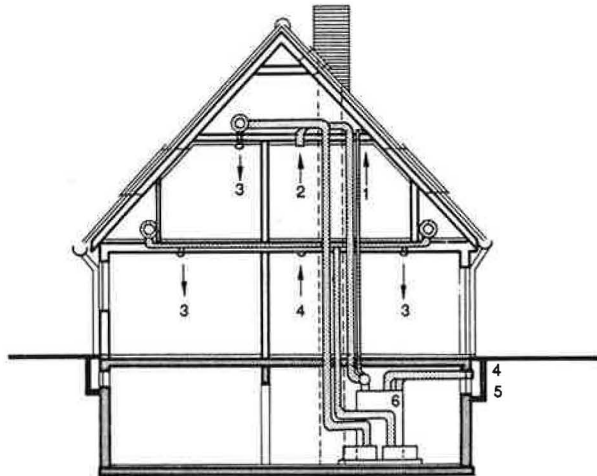
Aber auch im Mehrfamilienhaus sollte es Einsatzmöglichkeiten für die Luftheizung geben, wie einige u. a. in Skandinavien und Frankreich ausgeführte Systeme zeigen (Bild 22). Wesentlich ist dabei allerdings die Beschränkung der Abmessungen innerhalb des Gebäudes geführter Luftleitungen auf eine minimale Größe, die möglichst nur dem Transport der zu Lüftungszwecken erforderlichen Außenluft dienen sollten.



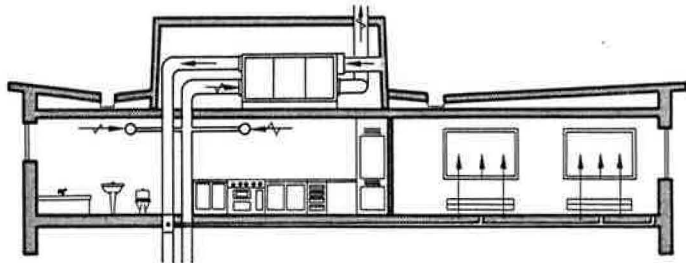
18 Prinzipdarstellung der kontrollierten Wohnungslüftung (hier mit Brauchwasserwärmepumpe)



19 Wärmerückgewinnung mit Wärmepumpe zur Lufterwärmung bei der Wohnungslüftung (RWE)

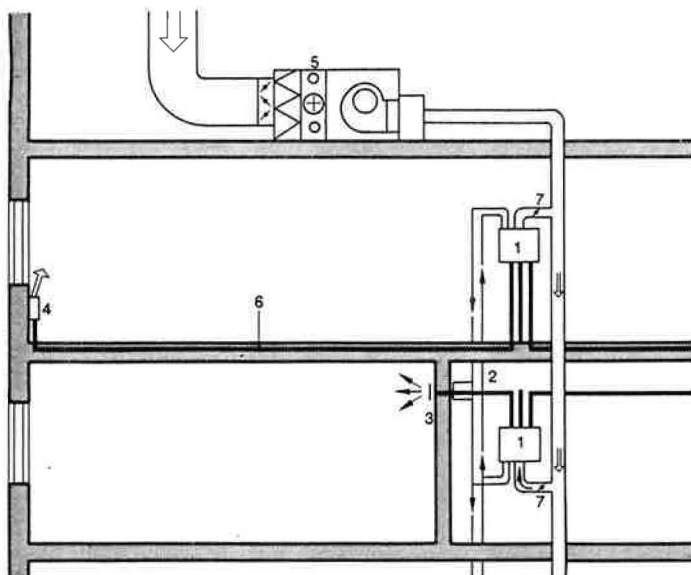


21 Luftheizung im Niedrig-Energie-Fertighaus; 1 Abluft, 2 Rückluft, 3 Zuluft, 4 Fortluft, 5 Außenluft, 6 Luftheizgerät



22 Lüftungs- und Luftheizanlage mit Zuluft- und Abluftführung und Wärmerückgewinnung für ein mehrgeschossiges Wohnhaus

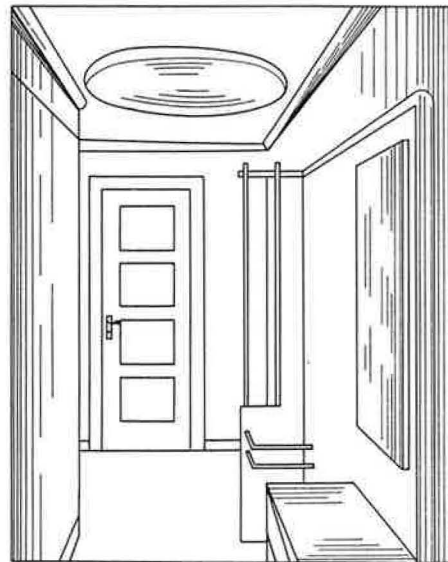
Da ein Luftvolumenstrom in der Größenordnung des benötigten hygienischen Luftwechsels ohne Rücksicht auf die Raumheizung notwendig ist, ist es naheliegend, diesen Luftvolumenstrom zur Grundheizung der Räume zu nutzen. Dieses System wird in Schweden »Frischluftheizung« genannt (Bild 23). Es gibt dort Ausführungen im sozialen Wohnungsbau, bei denen Wohnungen nur mit diesem Frischluftsystem mit einer maximalen Einblasttemperatur von rund 65 °C beheizt werden. Diese genannte maximale Temperatur setzt jedoch voraus, daß der spezifische Wärmebedarf für Raumheizung in ei-



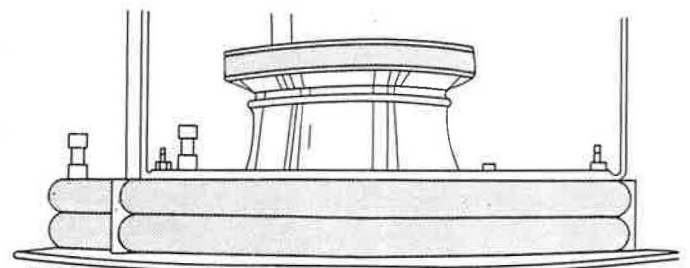
23 Luftheizanlage für ein mehrgeschossiges Wohnhaus (Frischluftheizung); 1 Wohnungs-Nachheizgerät, 2 Schalldämpfer, 3 Zuluft-Auslaß, 4 Zuluftkasten, 5 Zentralgerät, 6 Doppelrohr, 7 Kanalsystem

ner Größenordnung von rd. 40 Watt/m² liegt, und das bedeutet eine extreme Wärmedämmung der Gebäudehülle und der Fensterflächen.

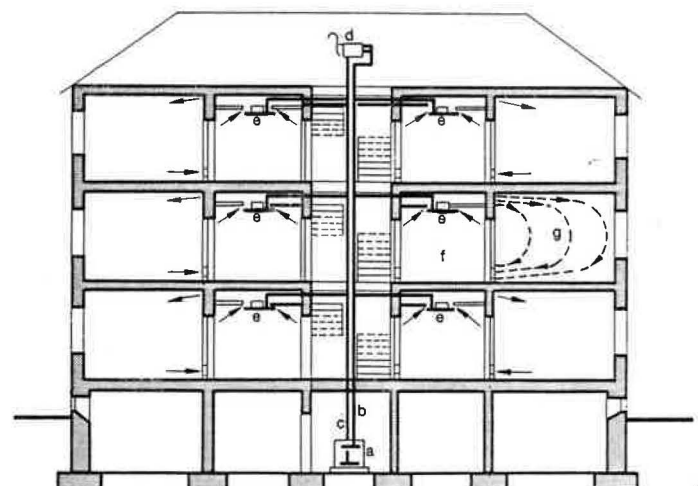
In diesem Zusammenhang muß an eine über 30 Jahre alte Entwicklung einer Luftheizung besonderer Art erinnert werden, die Domothermheizung, einer seinerzeit im Mehrfamilienhaus eingesetzten Zentralheizung mit zentraler Wärmeerzeugung und Wärmeversorgung im Gebäude und dezentraler Luftaufbereitung in den einzelnen Wohneinheiten. Als Beschreibung von Aufbau und Funktionsweise dieses Heizsystems möge der folgende Auszug aus dem Forschungsbericht von Raiß [29] dienen:



24 Ansicht eines Wohnungsflurs und Domotherm-Heizgerät an der Decke (nach [29])



25 Ansicht eines Domotherm-Heizgerätes mit einer Nennleistung von etwa 5 kW (nach [29])



26 Strangenschema einer Domotherm-Anlage (die Pfeile deuten die Luftströmung an): a) Heizkessel, b) Vorlauf (Steigleitung), c) Rücklauf (Falleitung), d) Ausdehnungsgefäß, e) Domotherm-Heizgerät, f) Flur, g) Wohnraum (nach [29])

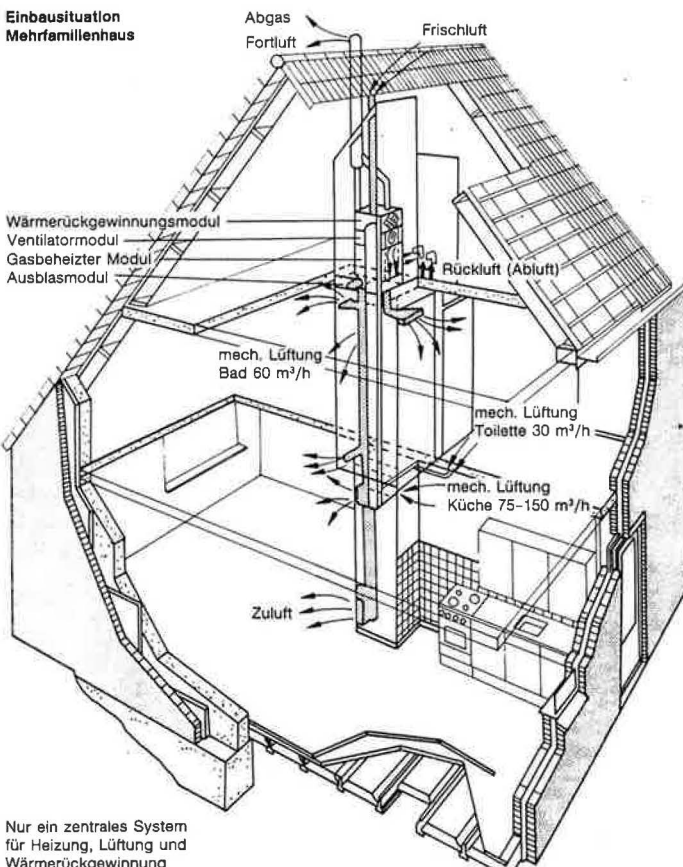


Die Domothermheizung ist eine Luftheizung. In einer zweiten Decke im Flur jeder Wohnung wird ein Luftheizgerät angeordnet (Bild 24). Das Heizgerät besteht aus einem spiralförmigen Lamellenheizkörper und einem verdeckten Lüfter (Bild 25). Es wird an das Rohrnetz einer Zentralheizung angeschlossen. Der Flur wird durch die untergehängte Decke in zwei Lufträume geteilt, die beide mit den angrenzenden Räumen der Wohnung durch verstellbare Lufklappen verbunden sind.

Die Wirkungsweise der Domothermheizung ist folgende (Bild 26):

Der Lüfter des Heizgerätes saugt aus dem Flur Luft an und drückt sie in den Hohlraum über der Zwischendecke. Hierbei erwärmt sich die Luft an der Heizspirale. Die Luft gelangt über die oben gelegene Klappe in den zu beheizenden Raum und wird aus diesem Raum durch eine untere Rückluftklappe wieder in den Flur geleitet. Die Warmluftklappe sitzt also stets oben im Raum, zumeist über der Tür, die Rückluftklappe wird möglichst tief (im allgemeinen unten in der Tür) angeordnet. Soll ein Raum beheizt werden, so werden dessen Warm- und Rückluftklappe geöffnet; in den nicht zu beheizenden Räumen bleiben die Klappen geschlossen. Bei entsprechender Auslegung des Heizgerätes können mehrere Räume gleichzeitig beheizt werden. Eine schnelle Lufterneuerung im Raum ist bei geöffnetem Fenster und geschlossener Rückluftklappe möglich. Das Domothermgerät wird durch einen normalen elektrischen Schalter ein- und ausgeschaltet. In den Stromkreis ist ein elektrischer Zähler eingebaut, der die Betriebsstunden des Ventilators anzeigt. Da das Heizgerät bei Stillstand des Lüfters nur einen Bruchteil seiner normalen Wärmeleistung abgibt, ist die Laufzeit als Verrechnungsgrundlage für die Heizkosten geeignet. Der Mieter wird dadurch ange-regt, im eigenen Interesse möglichst sparsam zu heizen.

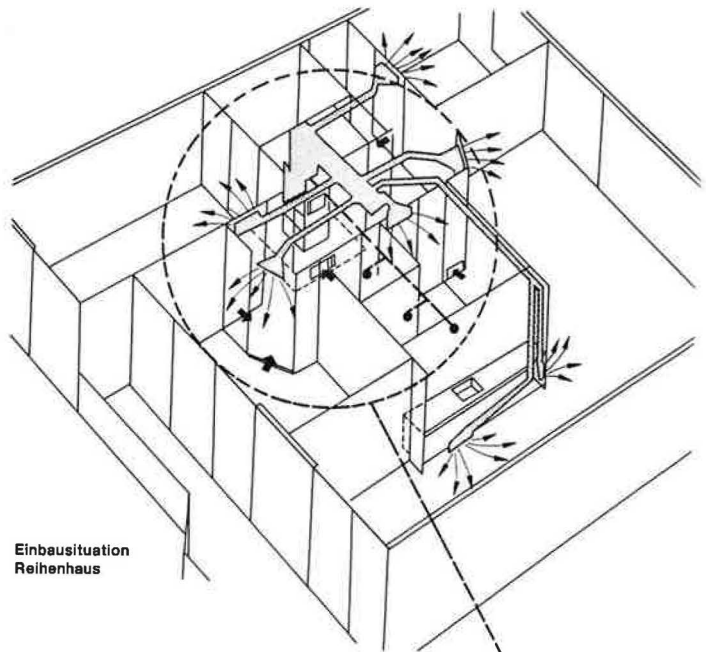
Einbausituation Mehrfamilienhaus



Nur ein zentrales System für Heizung, Lüftung und Wärmerückgewinnung

27 Integriertes Luftheizungs- und Lüftungssystem mit Wärmerückgewinnung. Einbaubeispiel mit Zu- und Abluftkanalführung in zentralem Versorgungsschacht zwecks Kostenoptimierung der gesamten Haustechnik (nach [30])

Sicher entspricht diese Konzeption nicht in allen Punkten den Ansprüchen an moderne Anlagen der Raumheizung. Auf ihrem Grundkonzept aufbauend sollte es aber möglich sein, Systeme zu entwickeln, mit denen sowohl die Aufgabe der Raumheizung als auch die der kontrollierten Lüftung wirtschaftlich erfüllt werden können. Ansätze dafür sind durchaus vorhanden, wie Beispiele aus den Niederlanden zeigen [30]. Dabei handelt es sich um integrierte Luftheizungs-Lüftungssysteme sowohl für das Einfamilien-Reihenhaus (Bild 27) als auch für das Mehrfamilienhaus (Bild 28). Bei dem letztgenannten System ist eine Ähnlichkeit mit der Domotherm-Heizung unverkennbar.



Einbausituation Reihenhaus

28 Einbaubeispiel für ein Kompakt-Luftheizungs-Lüftungs- und Wärmerückgewinnungssystem in einem Mehrfamilienhaus. Kanalführung im Flurbereich in abgehängter Decke. Wärmerückgewinnung der Lüftungswärmeverluste für jede Wohnung separat (nach [30])

10 Heizen und Lüften in Abhängigkeit von der Raumnutzung

Um einen wirtschaftlichen Energieeinsatz für die Raumheizung und -lüftung zu erreichen, sollten Aufenthaltsräume möglichst nur dann geheizt und gelüftet werden, wenn sie auch tatsächlich genutzt werden, d. h. wenn sich Personen in diesen Räumen aufhalten. Dies führt zu einer sog. Bedarfsheizung bzw. -lüftung anstelle der heute - vorwiegend im Wohnbereich - üblichen Bereitschaftsheizung/-lüftung. Darauf hat Keller [31] hingewiesen und vorgeschlagen bei der energetischen Bewertung von Heizanlagen eine neue Kenngröße mit einzubeziehen, die er als »Raumnutzungszahl« definiert.

Wesentliche Energieersparnisse lassen sich mit einer Bedarfsheizung/-lüftung außerhalb des Wohnbereichs in bestimmten Raumarten erreichen, die nur an wenigen Tagen der Woche und dann auch nur für wenige Stunden genutzt werden. Hierzu gehören u. a. Klassenräume in Schulen, Hörsäle, Büros und Hotelräume.

Sicher kann die echte Bedarfsheizung - mehr noch als die Bedarfslüftung - lediglich Entwicklungsziel und langfristige Perspektive der Heiztechnik sein, da sie nur anwendbar ist, wenn auch das Gebäude mit dieser Zielrichtung geplant und gebaut wird. Mit Hilfe der Regeltechnik ist es aber schon heute möglich, Heizung und Lüftung bestimmter, hierfür geeigneter Räume bedarfsabhängig zu beeinflussen.



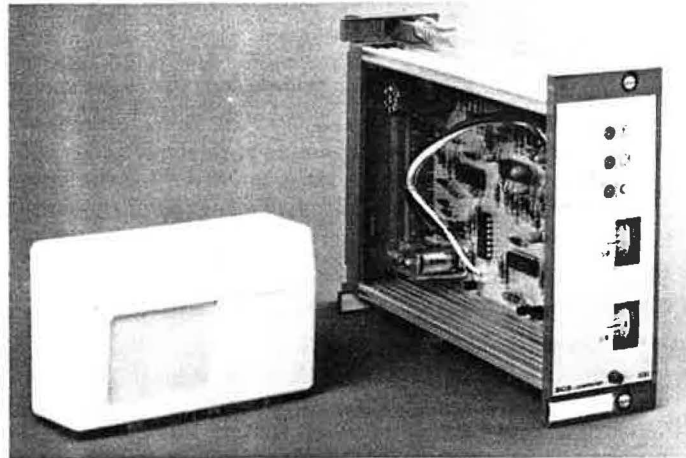
So wurde von einem Hersteller ein Raumthermostat mit Geräuschmelder entwickelt [32], der sämtliche Geräusche im Zimmer registriert und davon ausgeht, daß bei einem fehlenden Lärmpegel sich niemand im Raum aufhält. In diesem Falle gibt es ein entsprechendes Signal an den Regler, und der wiederum reduziert die Leistung der Heizungsanlage. Das System bietet sich für Verwaltungsgebäude an mit nur teilweise besetzten Räumen, beispielsweise bei Abwesenheit wegen einer Besprechung. Aber auch das Hotelzimmer ist eine sinnvolle Anwendung dieser Anwesenheitssteuerung.

Die Präsenzsteuerung eines anderen Herstellers erfaßt ebenfalls automatisch die Anwesenheit von Personen im Raum und macht dadurch unabhängig von Eingriffen von Hand in die Funktion einer heizungs- oder raumlufttechnischen Anlage [33]. Die Steuerung umfaßt einen Präsenzfühler und ein Steuergerät (Bild 29).

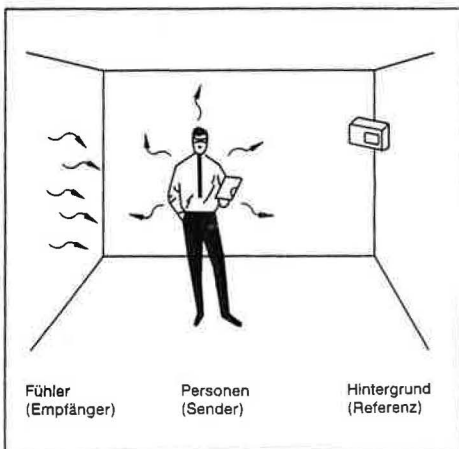
Der Präsenzfühler arbeitet als Infrarot-Empfänger. Er mißt die von warmen Oberflächen (z. B. vom menschlichen Körper) ausgehende Infrarotstrahlung und vergleicht sie gegen einen Referenzhintergrund (Bild 30). Damit der Fühler nicht auf ruhende Gegenstände (Computer, Radiatoren usw.) anspricht und dadurch Fehlschaltungen vornimmt, werden verschiedene vertikal und horizontal versetzte Sektoren abgetastet.

Wenn eine Person den Raum betritt bzw. sich im Raum bewegt, stellt der Empfänger eine schnelle Änderung der in den entsprechenden Sektoren einfallenden Infrarotwärme fest und löst ein Signal aus. Zur Aktivierung des Fühlers genügen bereits minimale Bewegungen einer am Schreibtisch arbeitenden Person.

Die Anzahl erforderlicher Fühler ist abhängig von der Raumgröße, der Raumform und der Anordnung der Arbeitsplätze. Im Normalfall genügt ein einzelner Fühler. Der Prä-



29 Präsenzsteuerung mit Fühler und Steuergerät (Werkbild SCS)



30 Funktionsprinzip des Präsenzfühlers

senzfühler hat eine Einschaltverzögerung von 3 Minuten und eine Ausschaltverzögerung von 10 Minuten. Kürzere Belegungspausen führen somit nicht zur Unterbrechung der Raumkonditionierung.

11 Schlußbemerkung

Das Thema »Mensch und Raumluft« hat in jüngster Zeit besonders im Zusammenhang mit der zunehmenden Schadstoffbelastung der Raumluft und der gleichzeitigen Forderung nach wirtschaftlichem Energieeinsatz in der Raumlufttechnik Anlaß zu vielfältiger Diskussion gegeben. Diese wird sich in der nahen Zukunft in verstärktem Maße fortsetzen.

Aus den Ausführungen dieses Beitrages sollte deutlich geworden sein, daß sich dieser Komplex der Gebäudetechnik erst am Anfang einer sicher interessanten Entwicklung befindet, zu der Architekten, Bauphysiker, Ingenieure, Toxikologen, Mediziner und Hygieniker gleichermaßen – jeder für sich und in Kooperation – wesentliche Beiträge leisten können.

Literatur

- [24] Hausladen, G.: Luftwechsel in Wohnungen. HLH Heiz. – Lüft. – Haustechn. 29 (1978), Nr. 1, S. 21–28.
- [25] Wegner, J.: Untersuchung des natürlichen Luftwechsels in Wohnungen mit fugendichten Fenstern. Forschungsberichte des Instituts für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Bundesgesundheitsamtes Berlin 1982 (vgl. auch G. Keller: Energiesparen führt zu bedenklicher Luftqualität. CCI 1982, Nr. 11, S. 15).
- [26] Werner, H.: Zwillingshäuser des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik – Untersuchung energiesparender Maßnahmen. TAB Technik am Bau 1983, Nr. 1, S. 15–19.
- [27] KI-Forum »Wird die Verbreitung der Wärmeluftheizung behindert?« KI Klima – Kälte – Heizung 11 (1983), Nr. 12, S. 483–490.
- [28] Serienmäßig mit Luftheizung. SHT Sanitär- und Heizungstechnik 1983, Nr. 3, S. 283–284.
- [29] Raib, W.: Die Domothermheizung. Neuzzeitliche Heizungsanlagen im Wohnungsbau, S. 3–36. Verlag W. Ernst u. Sohn, Berlin 1956. (vgl. auch Zeitschrift Klimatechnik 1963, Heft 2).
- [30] Wacker, H. U.: Luftheizung – Ein System zum Heizen und Lüften. KI Klima – Kälte – Heizung 13 (1985), Nr. 4, S. 151–155.
- [31] Keller, G.: Die Raumnutzungswahl und ihre Konsequenzen auf die Raumheizung. KI Klima – Heizung – Heizung 11 (1983), Nr. 5, S. 219–222.
- [32] Bei Stille schaltet die Heizung aus. SHT Sanitär- und Heizungstechnik 1984, Nr. 9, S. 556.
- [33] Schnyder, P.: Die Präsenzsteuerung: Neue Möglichkeiten der Energieeinsparung in HLK-Anlagen. Publikation der Fa. Stäfa Control System »Energie beherrschen – Mittel und Wege (1)« 1984, S. 3–7.

Literatur zum Thema »Wohnungslüftung«

- Vierzehn Regeln für die Wohnungslüftung; CCI 1976, Nr. 1, S. 24.
- Wiedenhoff, R.: Die Stoßlüftung von Wohnräumen aus energetischer Sicht; HLH Heiz. – Lüft. – Haustechn. 28 (1977), Nr. 12, S. 439–444.
- Gertis, K. u. G. Hauser: Energieeinsparung durch Stoßlüftung? HLH Heiz. – Lüft. – Haustechn. 30 (1979), Nr. 3, S. 89–93.
- Krüger, W. u. G. Hausladen: Zum Problem der Wohnungslüftung; HLH Heiz. – Lüft. – Haustechn. 30 (1979), Nr. 11, S. 425–432.
- Trümper, H.: Wird die Wohnungslüftung in der BRD Standard? TAB Technik am Bau 1980, Nr. 3, S. 157.
- Mürmann, H.: Neuzzeitliche Wohnungslüftung. Die Kälte und Klimatechnik 1980, Nr. 5, S. 194–200.
- Urbanek, A.: Wohnungslüftung, Wärmerückgewinnung, Wärmeluftheizung. Sonnenenergie und Wärmepumpe 6 (1981), Nr. 5, S. 17–23.
- Polenske, G.: Lüftung von Wohnbauten. HLH Heiz. – Lüft. – Haustechn. 32 (1981), Nr. 11, S. 447–449.
- Mürmann, H.: Wohnungslüftung. Band 50 der Reihe KWK Aktuell, C. F. Müller Verlag Karlsruhe, 2. Aufl. 1982, 161 Seiten.
- Wegner, J.: Fazit: Überbelegte Räume; Sanitär- und Heizungstechnik 1982, Nr. 12, S. 857–860.
- Rákoczy, T.: Natürliche und/oder mechanische Lüftung; KI Klima – Kälte – Heizung 10 (1982, Nr. 2, S. 71–80).
- Kirsten, D.: Die kontrollierte Wohnungslüftung mit zentraler Frischluftzufuhr in Verbindung mit Wärmepumpen; Temperatur-Technik 20 (1982), Nr. 4, S. 18–23.
- KI-Forum »Lohnt sich die Wärmerückgewinnung in Wohngebäuden?« KI Klima – Kälte – Heizung 10 (1982), Nr. 2, S. 65–69.
- Henseler, H.-J. und L. Trepte: Energiesparende Lüftungsmaßnahmen in Wohngebäuden; KI Klima – Kälte – Heizung 10 (1982), Nr. 7/8, S. 275–278.
- Eckener, U.: Mehr Erfahrungswerte für die Praxis-Forschungsprogramm Lüftung im Wohnungsbau; SHT Sanitär- und Heizungstechnik 1982, Nr. 10, S. 677–678.
- Mürmann, H.: Wohnungslüftungssysteme der Zukunft. Die Kälte- und Klimatechnik 35 (1982), Nr. 12, S. 518–523.
- Gilli, P. G.: Dauerlüftung oder Stoßlüftung? Ein Beitrag zur Frage nach der besten Art der Fensterlüftung. HLH Heiz. – Lüft. – Haustechn. 34 (1983), Nr. 1, S. 8–13.
- Hering, G.: Die lüftungstechnische Konzeption von Wohngebäuden als gemeinsame Aufgabe von Städteplaner, Bauingenieur und Lüftungsingenieur. Luft- und Kältetechnik (DDR) 1983, Nr. 3, S. 141–146.
- Werner, H.: Den CO₂-Gehalt der Raumluft messen. Vergleich von verschiedenen Lüftungseinrichtungen. Sanitär- und Heizungstechnik 1983, Nr. 8, S. 667–670.
- Kolloquium »Wohnungslüftung/-heizung in Zukunft«. Dokumentation des Bundesministeriums für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau, Bonn 1983, 300 Seiten.
- Bleß, H.: Angewandte Wohnungslüftung. KI Klima – Kälte – Heizung 13 (1985), Nr. 5, S. 205–210.