



## Indoor-Air-Quality – Neue Aspekte zur Verbesserung der empfundenen Luftqualität\*

Heinz Brockmeyer, München; Diotima von Kempfski, Düsseldorf

Der Raumluftqualität sind einerseits durch Quantität und Qualität der Zuluft sowie andererseits durch raumbedingte Verunreinigungen technische und wirtschaftliche Grenzen gesetzt. Im vorliegenden Beitrag wird auf die duftmäßige Nachbehandlung in raumlufttechnischen Anlagen eingegangen und über erste Ergebnisse einer Verbesserung der empfundenen Raumluftqualität durch Zuführung von Duftstoffen berichtet.

### Indoor-Air-Quality – New approaches to enhancing perceived air quality

Technical and economic limitations to indoor air quality are set by the quantity and quality of the perceived air and by pollutants specific to the room itself. Systems for deodorizing indoor air are discussed along with the initial results of efforts to enhance perceived air quality through the introduction of aromatic substances.

### Indoor-Air-Quality: nouveaux aspects de l'amélioration de la qualité de l'air, telle qu'elle est ressentie

La qualité de l'air ambiant est soumise à des limites techniques et économiques par la quantité et la qualité de l'air amené d'une part et par les impuretés dues aux conditions de la pièce d'autre part. Le présent article aborde le problème du post-traitement embaumé dans les installations techniques d'air ambiant et expose les premiers résultats d'une amélioration d'air ambiant par l'adjonction d'agents embaumés.

### Schlüsselwörter – Keywords

Indoor-Air-Quality, empfundene Raumluftqualität, Vitalisierung der Luft, Zuführung von Duftstoffen, Verbesserung der Raumluftqualität

Indoor-Air-Quality, perceived air quality, revitalization of air, introduction of aromatics, improvement of indoor air quality.

### 1. Einleitung

Der Schwerpunkt der modernen Heiz- und Raumluftechnik hat sich in den vergangenen Jahren von den überwiegend apparativen und thermodynamischen Systemlösungen, mit den in der Zwischenzeit hoch entwickelten Rechenverfahren, z. B. der dynamischen Last- und Verbrauchsermittlung, zu den bisher noch nicht befriedigend gelösten nutzer- und raumbezogenen Qualitätsproblemen der Raumluft am Arbeitsplatz verlagert.

Bei den Aufgaben der raumlufttechnischen Anlagen handelt es sich prinzipiell um Transportprobleme im Zusammenhang mit Raumlasten, d. h. der Wärme- und Stoffaustausch vollzieht sich im Transport von Heiz- und Kühl- bzw. von Feuchte- und Verunreinigungslasten. Dabei bereiten die Kühl- und die Verunreinigungslasten im Hinblick auf die physiologischen Randbedingungen besondere Probleme.

Diese auf den ersten Blick verfahrenstechnisch leicht lösbaren Aufgaben werden sehr schnell dadurch problematisch, daß es sich nicht nur um technische und quantitative Probleme handelt, sondern nichttechnische und qualitative Kriterien eine bedeutende Rolle spielen.

Zusätzliche Randbedingungen setzt der Mensch mit dem sehr komplexen Zusammenspiel seiner fünf Sinne, wobei lange Zeit die Klagen über Gesundheits-, Befindlichkeits- und Behaglichkeitsstörungen am Arbeitsplatz von der Industrie auf psychologische Faktoren zurückgeführt wurden, zumal dann, wenn in den fraglichen Gebäuden die Anlagen dem derzeitigen technischen und physikalischen Wissensstand entsprachen (1,2).

### 2. Wärme- und Stoffaustausch

Während der Wärme- und Stoffaustausch in Räumen überwiegend von der thermodynamischen Seite betrachtet wurde, wird es

in Zukunft zum Stand der Technik gehören, in die Massenstrombestimmung bei raumlufttechnischen Anlagen beliebige Raumlasten einzubeziehen, die in vielfältiger Form Einfluß auf die Zielgrößen Gesundheit und Komfort als primäre Aufgabe von Heizungs- und Raumluftechnik Anlagen haben (3):

$$\sum P_n = \sum \dot{m}_{\text{Luft}} (k_n \text{ Abluft} - k_n \text{ Zuluft})$$

$\sum P_n$  Summe der Raumlasten, Art n  
 $k_n$  Konzentrationsmittelwert, Art n  
 $\sum \dot{m}_{\text{Luft}}$  Summe der den Raum durchsetzenden Luftmassenströme

Die praktische Anwendung dieser Gleichung stößt jedoch sowohl meßtechnisch/experimentell als auch hinsichtlich der physiologisch/subjektiven Bewertung speziell bei den Parametern auf Schwierigkeiten, die aus heutiger Sicht für eine Reihe von Gesundheits- und Befindensstörungen in Gebäuden – ob konventionell beheizt oder raumlufttechnisch behandelt – verantwortlich gemacht werden können.

Überwiegend muß dabei mit statistisch abgesicherten Befragungsmethoden gearbeitet werden, wie sie auch in vielen anderen wissenschaftlichen und kommerziellen Gebieten, z. B. in der Werbung erfolgreich eingesetzt werden.

### 3. Physiologische Randbedingungen

Die Behaglichkeitsaussage des Körpers ist das Ergebnis eines extrem komplexen Prozesses zwischen exogenen und endogenen Vorgängen, die im wesentlichen vom zentralen Nervensystem gesteuert werden. Der menschliche Körper registriert und bewertet die Umwelt durch seine fünf Sinnesorgane:

#### Auge

Das Auge ist nicht nur in der Lage, hell und dunkel zu unterscheiden, sondern bewertet auch die spektrale Zusammensetzung des Lichtes. Für den subjektiven Lichteindruck ist darüber hinaus das Absorptions- und Reflexionsverhalten des Umfeldes von Bedeutung. Die meßtechnische Erfassung ist möglich. Grundlagen hier-

Dr.-Ing. Heinz Brockmeyer, CBP CRONAUER BERATUNG PLANUNG Beratende Ingenieure GmbH, München  
 Diotima von Kempfski, DVK, Düsseldorf  
 \* Manuskript eingereicht im Juli 1992

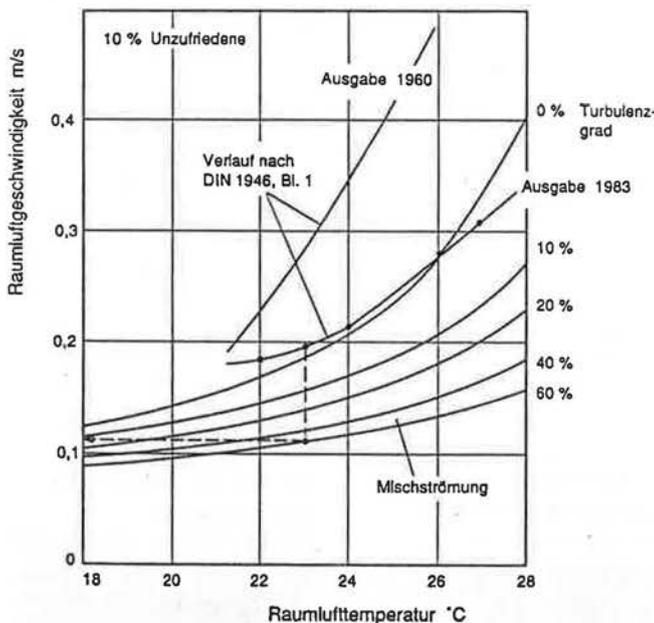
für wurden durch subjektive Befragung geschaffen. Gesundheits- und Befindensstörungen sind erfassbar und quantifizierbar.

## Ohr

Eine weitgehende Analogie ergibt sich bei dem zweiten Sinnesorgan, dem Ohr, das ebenfalls nicht nur laute und leise Geräusche differenziert, sondern in erheblichem Maße deren Frequenzverteilung. Auf den subjektiven Höreindruck ist darüber hinaus das Absorptions- und Reflexionsverhalten des Umfeldes von Bedeutung, die meßtechnische Erfassung ist möglich. Grundlagen hierfür wurden auch durch Befragung gewonnen. Gesundheits- und Befindensstörungen sind erfassbar und quantifizierbar.

## Haut

Bei den weiteren Sinnesorganen werden die Verhältnisse sehr viel komplexer, d. h., die Haut als drittes Sinnesorgan registriert nicht nur warm und kalt, sondern bewertet diesen Wärmeaustausch danach, ob er überwiegend durch Konvektion, Verdunstung oder Strahlung erfolgt. Ferner ist die Kleidung und der jeweilige Aktivitätsgrad von Bedeutung. Gesundheits- und Befindensstörungen sind teilweise erfassbar und nur teilweise quantifizierbar. Wird das Gleichgewicht nur geringfügig verschoben, so treten Behaglichkeitsstörungen auf, wobei der menschliche Körper gerade auf einen Bilanzanteil sehr empfindlich reagiert, nämlich wenn der konvektive Teil der Wärmeabgabe durch Raumluftgeschwindigkeiten beeinflusst wird, die nur geringfügig über der Eigenkonvektionsströmung an der Körperoberfläche liegen (4).



**Bild 1** Grenzwerte zulässiger Raumluftgeschwindigkeiten.

Sollten sich die derzeitigen Erkenntnisse bestätigen, daß die als bisher gültig anzusehenden Grenzwerte von Raumluftgeschwindigkeiten nahezu um den Faktor 2 zu hoch liegen (Bild 1) und die zulässigen Raumluftgeschwindigkeiten in die Größenordnung der natürlichen Konvektionsströmung zurückgeführt werden müßten, hätte dieses einen erheblichen Einfluß auf die Konzeption raumlufttechnischer Anlagensysteme.

## Nase/Mund

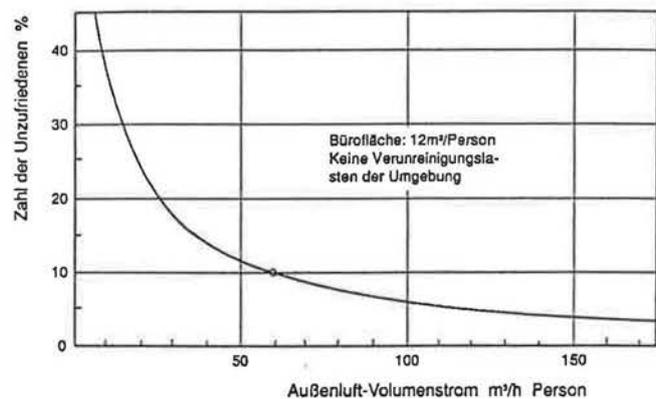
Faßt man die zwei letzten Sinnesorgane Nase und Mund zusammen – in der Regel sprechen auch diese gemeinsam an – so ist hier eine meßtechnische Bewertung zur Zeit – abgesehen von toxikologischen Grenzwerten – nicht möglich. Grundlage sind derzeit

ausschließlich Befragungen, um Gesundheits- und Befindensstörungen zu erfassen und zu quantifizieren.

## 4. Beurteilung der Indoor-Air-Quality

Bei der Beurteilung der Luftqualität ist man lange von der bereits von Pettenkofer im Jahre 1858 vorgeschlagenen CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Luft ausgegangen (5).

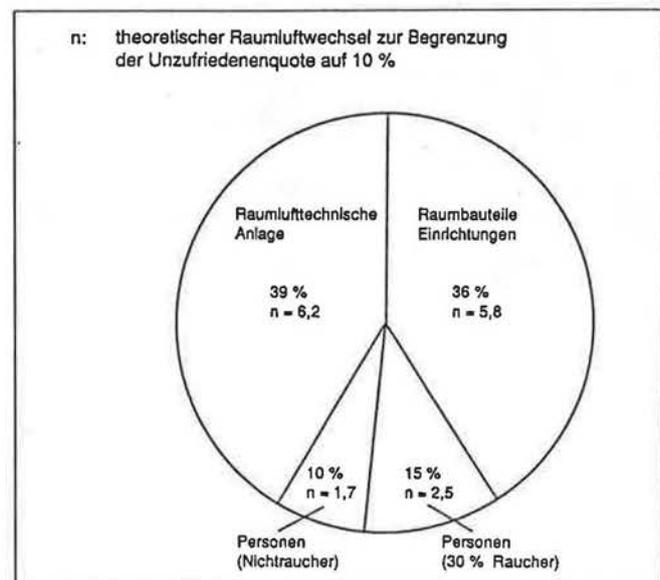
Dieses ist jedoch aufgrund der heutigen Kenntnisse kein ausreichendes Kriterium für die Raumluftqualität, sondern der Katalog der Schadstoffbelastung muß erheblich erweitert werden. Zu diesem Thema sind umfangreiche Untersuchungen von Prof. Fanger und seinen Mitarbeitern im Institut für Heizung und Klimatechnik der Technischen Universität von Dänemark/Kopenhagen durchgeführt worden (6, 7). Eine zusammenfassende Darstellung dieser Problematik wird in (8) gegeben, wobei Fanger erstmalig Ansätze zur Erfassung der Verunreinigungslasten (Olf) und zur empfundenen Luftqualität (Decipol) entwickelt hat.



**Bild 2** Einfluß der Außenlufttrate auf die Zahl der Unzufriedenen.

Klammert man zunächst jede Stoffbelastung der Raumluft durch Umwelteinflüsse mit Ausnahme der Personen aus, so zeigt sich als Untergrenze bei einer Unzufriedenen-Quote von 10 % ein erforderlicher schadstofffreier Außenluftvolumenstrom von ca. 60 m<sup>3</sup>/h Person. Dieser entspricht, bezogen auf eine übliche Büronutzung, etwa einem Raumluftwechsel von n = 1,7 l/h.

In Bild 3 sind Untersuchungen an ausgeführten Anlagen ausgewertet (2), bei denen Stoffbelastungen, die durch Raucher, Raumumschließungsflächen und Einrichtungsgegenstände sowie



**Bild 3** Beispiel für Verunreinigungslasten.

durch raumluftechnische Anlagen in den Raum gelangen, über subjektive Bewertungen relativiert wurden. Bezugsgröße ist dabei die über Nase und Mund wahrnehmbare Belastung, die von einer sitzenden Person freigesetzt wird, d. h. alle übrigen Raumlasten dieser Kategorie sind Vielfache dieser Bezugsgröße ( $n = 1,7$ ).

Wird mit einem Raucheranteil von 30 % gerechnet, erhöht sich bereits der erforderliche Raumlftwechsel von 1,7 bei Nichtraucherern um 2,5.

Die Stoffbelastung durch Wände und Einrichtungsgegenstände des Raumes erhöht den erforderlichen Luftwechsel um 5,8, die Belastung aus der raumluftechnischen Anlage selbst noch einmal um 6,2.

Der hieraus resultierende Gesamtlftwechsel von etwa  $n = 16$  ist mit den Gesichtspunkten eines wirtschaftlichen Anlagenbetriebes auch unter Berücksichtigung der oben besprochenen Problematik der Raumlftgeschwindigkeit nicht zu vereinbaren.

Neben den zusätzlichen Stofflasten, die von den Umschließungsflächen des Raumes und seinen Einrichtungen abgegeben werden, geben die Belastungen zu denken, die von raumluftechnischen Anlagen selbst herrühren. Dabei handelt es sich um Belastungen, die die Luft bei ihrem langen Weg durch die Anlage beginnend mit der Außenluftansaugung über die höchst kritischen Filterstufen heutiger Bauart, das Zentralgerät und das sehr verzweigte Kanalnetz bis hin zu den Luftdurchlässen aufnimmt.

Speziell der Filterproblematik muß mehr Aufmerksamkeit gewidmet werden. Lange Standzeiten und hohe Speicherfähigkeit lassen sich nicht mit dem umfassenden Begriff der Indoor-Air-Quality vereinbaren.

Als zusätzliches Bewertungskriterium muß hier die Verunreinigungslast mit herangezogen werden, die die Luft erfährt, wenn ihr im Filter einerseits die natürlichen Duftstoffe entzogen und andererseits Geruchsbelastungen aus dem gespeicherten Staubvolumen in den Filterstufen übertragen werden.

Ob dieses Problem allein durch bessere Wartung und hygienische Kontrolle zu lösen ist, oder nicht besser durch grundlegend neue Konzepte raumluftechnischer Anlagen und ihrer Bauelemente gelöst werden müßte, wird eine Aufgabe der weiteren Forschung und Entwicklung sein.

Durch die Neubearbeitung der DIN 1946, Teil 2, Raumlfttechnik, Gesundheitstechnische Anforderungen (VDI-Lftungsregeln) wird der Diskussion der Vergangenheit über die Bedeutung der Raumlftqualität für das Wohlbefinden und die Gesundheit des Menschen nunmehr auch in einem technischen Regelwerk Rechnung getragen (9). Man hat bisher vergeblich versucht, das Problem einer ausreichenden Raumlftqualität vor allem durch die Zufuhr von Frischluft zu lösen. Ausgangspunkt der Überlegung war bisher die Tatsache, daß das Wohlbefinden des Raumnutzers in erheblichem Maße sinkt, wenn sich in der Luft Schadstoffe befinden, deren dauernde Zuführung zu Gesundheitsbeeinträchtigungen der im Raum befindlichen Menschen führt. Die Grenzwerte werden teilweise in der sog. MAK-Wertliste (MAK = maximale Arbeitsplatzkonzentration) erfaßt, die die Konzentrationen von gas-, dampf- oder staubförmigen Arbeitsstoffen angibt, von der aufgrund entsprechender toxikologischer und pharmakologischer Untersuchungen zu erwarten ist, daß sie auch bei achtstündiger gleichmäßiger Einwirkung die Gesundheit der im Arbeitsraum Beschäftigten nicht beeinträchtigen.

### 5. Verbesserung der empfundenen Raumlftqualität

Mit der Gesundheitsbeeinträchtigung durch Schadstoffe ist jedoch nur ein Teil der Raumlftqualität erfaßt. Untersuchungen haben gezeigt, daß auch bei einer Luft, die keine die Gesundheit beeinträchtigenden Verunreinigungen enthält, das Wohlbefinden der Raumnutzer erheblich eingeschränkt sein kann. Aus diesem

Grund wird als weiterer Maßstab für die Luftqualitätsbewertung die Forderung gestellt, daß die jeweilige Luft von dem Raumnutzer als frisch und angenehm und nicht als abgestanden und muffig empfunden werden darf. Wie die Untersuchungen von Fanger zur Bewertung der Raumlftqualität gezeigt haben, führen Gerüche, die sowohl von Personen als auch vom Raum selbst und seiner Ausstattung ausgehen, zu negativen Empfindungen bei den Raumbenutzern.

Ungeklärt blieb allerdings bisher das Problem, wie eine als negativ empfundene Luftqualität von mehreren Decipol entsprechend verbessert werden kann. Der üblichen Methode, einen erhöhten Anteil von Außenluft zuzuführen, sind enge Grenzen gesetzt. Diese ergeben sich einmal aus Investitions- und Betriebskostengesichtspunkten und zum anderen aus der Tatsache, daß gerade in Innenstädten auch die Außenluft mit erheblichen als negativ empfundenen Gerüchen behaftet ist. Das ideale Geruchsklima, wie es sich beispielsweise im Gebirge oder am Meer findet und das mit 0,05 Decipol bewertet werden kann, findet sich nicht in unseren geruchsbelasteten Städten. Ebenso ist einer erhöhten Außenluft-rate durch die bereits angesprochene zulässige Raumlftgeschwindigkeit eine weitere Grenze gesetzt.

An diesem Punkt setzen Überlegungen ein, die von der Grunderkenntnis ausgehen, daß es nicht nur Gerüche gibt, die negativ auf das psychische Befinden der Menschen einwirken, sondern daß es umgekehrt auch Geruchsstoffe gibt, die den Menschen positiv beeinflussen können. Führt man diese natürlichen Geruchsstoffe in einer speziellen Behandlungsstufe der Raumlft zu (Vitalisierung), führt dies bei sonst gleichen Randbedingungen zu einer Verbesserung der empfundenen Raumlftqualität.

Tatsächlich haben neueste Untersuchungen (10) gezeigt, daß durch die Zuführung geeigneter Duftstoffe eine signifikante Verbesserung der empfundenen Raumlftqualität bei sonst gleichen Randbedingungen erreicht werden kann. Diese Untersuchungen basieren auf einem von der Fa. *DVK-Düsseldorf* entwickelten Verfahren, das die Grundlage des sog. Air-Vitalizing-Systems bildet und das sich wiederum der Forschungsergebnisse der Aromawissenschaft bedient. Die hierfür eingesetzten Anlagen führen gleichmäßig und in einer Dosierung knapp oberhalb der Wahrnehmbarkeitsschwelle komplexe Duftkompositionen auf natürlicher Basis, die gezielt auf die Aktivitäten im Raum abgestimmt sind, der raumluftechnischen Anlage zu.

Bild 4 zeigt ein Gerät zur Vitalisierung der Raumlft im Versuchsaufbau zur Bestimmung des Luftdurchsatzes, der Eigendruckverluste und der Geräuschentwicklung.

Wie unter anderem die Versuchsreihen der Fa. *IFF International Flavours and Fragrances* und der *Yale Universität* sowie die Forschungen der *Universität von Cincinnati* zeigen, können mit

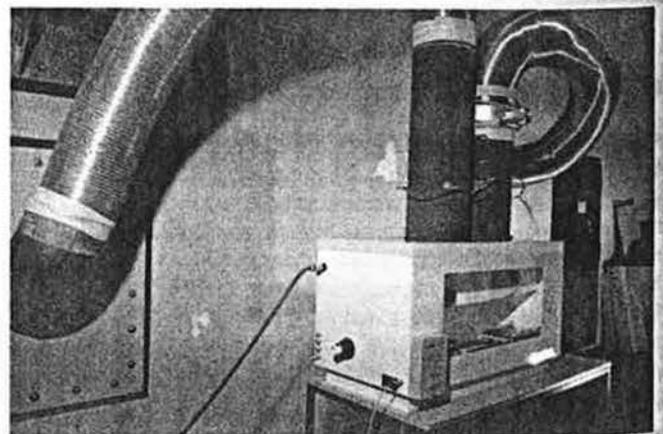


Bild 4 Gerät zur Vitalisierung der Raumlft im Laborversuch. Werkphoto: DVK DIOTIMA VON KEMPSKI, Air-Vitalizing-System, Düsseldorf

bestimmten Duftkompositionen in erheblichem Maße das Wohlbefinden der Menschen gesteigert und Streßsymptome abgebaut werden (11, 12).

Dieses deckt sich mit den Erkenntnissen von Fanger, daß Gerüche die Psyche von Raumnutzern und die Zufriedenheit mit der Raumluftqualität beeinflussen.

Da der Mensch als eine wesentliche Quelle negativ empfundener Gerüche jedoch nicht ausgeschaltet werden kann und der raumlufttechnischen Verbesserung durch erhöhte Außenluftzufuhr technische und wirtschaftliche Grenzen gesetzt sind, kann durch die Umsetzung der in den Aromawissenschaften schon lange bekannten und in Forschungsreihen belegten Erkenntnissen über die positive Beeinflussung des Menschen durch bestimmte Duftkompositionen ein entscheidender Schritt bei der Verbesserung der Raumluftqualität gemacht werden.

Bild 5 zeigt für drei verschiedene Geruchsbelastungen bei verschiedenen Duftkonzentrationen der Type 22 den Verlauf der empfundenen Raumluftqualität (Decipol).

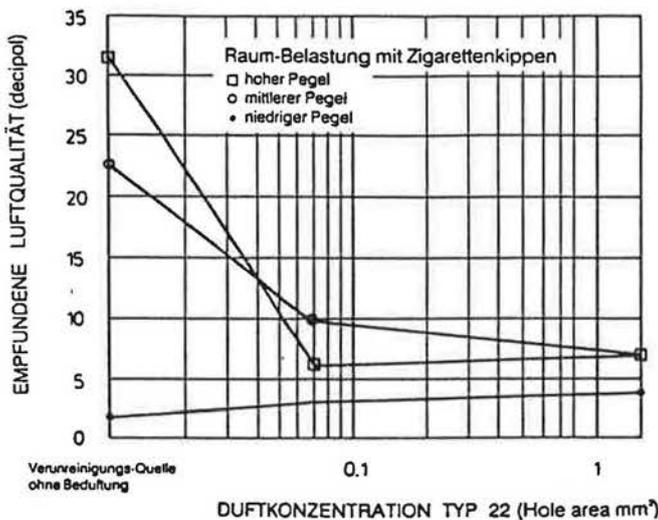


Bild 5 Empfundene Raumluftqualität bei unterschiedlichen Duftkonzentrationen.

Die empfundene Raumluftqualität wurde ohne Duftbeimischung beim hohen und mittleren Decipol-Pegel mit 32 bzw. 23 Decipol bewertet. Diese Pegel sinken bei entsprechender Duftzuführung auf 10 bzw. 6 Decipol ab. Dabei ist es nicht Ziel, daß Duftstoffe zugeführt werden, um Verunreinigungen mit einem Gesundheitsrisiko zu maskieren, sondern sie sollen eingesetzt werden, um das Wohlbefinden zu verbessern.

Auch wenn primäres Ziel bei der Verbesserung der Raumluftqualität zunächst die Reduktion der Verunreinigungsquelle bleibt, so sind hier jedoch – wie auch bei der Bemessung der Zuluftrate – technische und wirtschaftliche Grenzen gesetzt.

Die neuen Aspekte der Duftzuführung können hier einen entscheidenden Fortschritt bilden und müssen in Zukunft bei der Forschung und Entwicklung bzw. Konzeption und Auslegung von raumlufttechnischen Anlagen weiterverfolgt und mit einbezogen werden.

### Literatur

- [1] Kröling, P.: Gesundheits- und Befindensstörungen in klimatisierten Gebäuden, W. Zuckerschwert-Verlag, München
- [2] Fanger, P. O.: A solution to the sick-building-mystery Proc. of indoor air 87, Vol. 4
- [3] Esdorn, H.: Zur einheitlichen Darstellung von Lastgrößen für die Auslegung Raumlufttechnischer Anlagen, HLH 30 (1979) Nr. 10
- [4] Fanger, P. O.: Airturbulenz and sensation of draught, energy and buildings 12 (1988)
- [5] Pettenkofer, M. V.: Über den Luftwechsel in Wohngebäuden, München 1988
- [6] Fanger P. O. – Introduction to the Olf and the Decipol Units to quantify Air Pollution Perceived by Humans Indoors and Outdoors, Energy and Buildings, 12 (1988)
- [7] P. O. Fanger, J. Lauridsen, P. Bluysen und G. Clausen – Air Pollution Sources in Offices and Assembly Halls, Quantified by the Olf Unit, Energy and Buildings 12 (1988)
- [8] Loewer H. – Die Raumluftqualität in der Raumlufttechnik. CCI 6, 9, 11 und 13/1991
- [9] DIN 1946, Raumlufttechnik (VDI-Lüftungsregeln), Teil 1, Oktober 1988, Teil 2, August 1991
- [10] M. Daniewska, P. Wargoeki, H. N. Knudsen and P. O. Fanger – Modification of perceived indoor air quality by addition of fragrances, Institutsbericht Juli 1991, Laboratory of Heating and Air Conditioning Technical University of Denmark
- [11] Olfaction Research at the University of Cincinnati, Soap, Cosmetics, Chemical Specialities, May 1989
- [12] J. S. Warm und W. M. Dember – Effects of Fragrances on Vigilance Performance and Stress, Perfume & Flavorist Jan./Feb. 1990



Alle Beiträge und Fachaufsätze der Zeitschrift

**Ki Klima Kälte Heizung**

können wir Ihnen als **Sonderdruck** mit einer nach Ihren Wünschen gestalteten Titelseite liefern.

Gern informieren wir Sie, bitte rufen Sie uns an:

Brigitte Niggemeyer (Herstellung)      Tel. 0721/91220-32  
 Ursula Kühlewein (Redaktion Ki)      Tel. 0721/91220-21

Verlag C. F. Müller GmbH · Amalienstr. 29 · 7500 Karlsruhe 1 · Tel. 0721/91220-0 · Fax 0721/9122020