#738

Sozial- und Präventivmedizin Médecine sociale et préventive 25, 328 – 332 (1980)

AIC 368

#738

Luftqualität in Wohn- und Arbeitsräumen

von H. U. Wanner
Institut für Hygiene und Arbeitsphysiologie der ETH-Z

Die Luftqualität in Wohn- und Arbeitsräumen ist für das Wohlbefinden und die Gesundheit der Menschen von entscheidender Bedeutung. Die heutigen Bestrebungen durch eine reduzierte Lüftung Wärme einzusparen wirft neue Probleme der Luftqualität auf, die im vorliegenden Artikel eingehend diskutiert werden.

1. Einleitung

Gegenüber Verunreinigungen der Luft im Innern von Gebäuden ist man meist weniger kritisch als gegenüber stinkenden Abgasen und rauchenden Kaminen, welche die Aussenluft verschmutzen. Dies ist eigentlich erstaunlich – verbringen gemäss neueren Erhebungen die Menschen lediglich 30% ihrer Zeit am Arbeitsplatz oder im Freien, 70% jedoch zu Hause oder in öffentlichen Gebäuden wie Schulen, Geschäften, Verkehrsmitteln oder Restaurants.

Heute ist aus folgenden Gründen eine besondere Beachtung der Luftfremdstoffe im Innern von Gebäuden dringend erforderlich: Infolge der Einschränkung der natürlichen und künstlichen Belüftung zur Einsparung von Heizenergie ist mit einer generellen Verschlechterung der Luftqualität zu rechnen. Hier stellt sich die Frage nach den minimalen Lüftungsraten, um die wünschbare Luftqualität sicherzustellen und um Beeinträchtigungen der Gesundheit und Leistungsfähigkeit zu vermeiden. Der zweite Grund ist die Verwendung neuartiger Baustoffe, Möbelausstattungen und Verbraucherprodukte, die verschiedene Schadstoffe an die Raumluft abgeben können. Die damit verbundenen Auswirkungen auf die Gesundheit – vor allem bei längeren Einwirkungen – sind noch wenig bekannt. Hier geht es vor allem darum, durch strenge Vorschriften für die Zulassung von Materialien und Produkten sowie durch vermehrte Kontrollen das Risiko gesundheitlicher Gefährdungen möglichst niedrig zu halten.

Im folgenden soll ein Überblick gegeben werden über die in der Raumluft vorkommenden Verunreinigungen und über die Möglichkeiten zu deren Beseitigung. Die wichtigsten Grundlagen dazu lieferten die an einem Internationalen Symposium über «Indoor climate» vorgetragenen Referate [10], der Arbeitsbericht eines Seminars der Weltgesundheitsorganisation über Gesundheitsaspekte der Luftgüte im Innern von Gebäuden [18], Fachtagungen über Energiersparmassnahmen [8, 9] sowie gezielte Untersuchungen über Vorkommen und Auswirkungen von Schadstoffen in der Raumluft.

2. Quellen und Art der Verunreinigungen

In der *Tabelle 1* sind die wichtigsten Verunreinigungen der Raumluft zusammengestellt. Je nach Ort, Benützung und Belegung sind die Anteile und Konzentrationen verschieden, und deshalb für Gesundheit und Wohlbefinden auch von unterschiedlicher Bedeutung. Im folgenden wird insbesondere auf diejenigen Verunreinigungen hingewiesen, welche die Luftqualität massgebend beeinflussen, und nach denen sich Art und Häufigkeit der Lüftung richten.

2.1 Quellen ausserhalb von Gebäuden

Bisherige Studien über die Beziehung zwischen Aussen- und Raumluftverunreinigungen zeigen, dass die in der Aussenluft vorhandenen Schadstoffe die Raumluftqualität wesentlich beeinflussen [2, 5]. Massgebende Faktoren für die jeweiligen Anteile der Aussenluftverschmutzungen sind die Art der Lüftung (Fensterlüftung, Klimaanlagen), der stündliche Luftwechsel sowie die Art der Verunreinigung. In der Regel ist bei den nichtreaktiven Gasen (z.B. Kohlenmonoxid –

Tabelle 1. Verunreinigungen der Raumluft. Die Aufstellung zeigt die wichtigsten Quellen in Wohnräumen. Massgebend für die Luftqualität sind vor allem Gerüche, Bestandteile des Tabakrauches, Kohlendioxid, sowie Verunreinigungen von Materialien.

Quelle	Verunreinigung
Aussenluft	
Heizungen Motorfahrzeuge Industrien	Schwefeldioxid Stickoxide Kohlenmonoxid Oxidantien Kohlenwasserstoffe Schwebestaub Blei
Raumluft	
Mensch	Gerüche Kohlendioxid Wasserdampf Partikeln
Tabakrauch	Kohlenmonoxid Aldehyde Partikeln
Verbraucherprodukte Sprays Reinigungsmittel	Gerüche Lösungsmittel Organische Verbindungen
Verbrennen von Gas zum Heizen und Kochen	Kohlenmonoxid Stickoxide Partikeln
Materialien Spanplatten Baustoffe Farbanstriche	Aldehyde Radon Asbest Lösungsmittel Organische Verbindungen

Adresse des Autors: PD Dr. sc. nat. H.U. Wanner
Institut für Hygiene u. Arbeitsphysiologie
ETH-Zentrum
8092 Zürich

1981 – Jubiläumsjahr

1981 wird für Solothurn ein besonderes Jahr. 500 Jahre Zugehörigkeit zur Eidgenossenschaft feiert der Stand Solothurn.

75 Jahre ihres Bestehens feiern die Vogt-Schild AG, Druck und Verlag, Solothurn. Wir blicken auf eine Zeit zurück, die gekennzeichnet war durch technologische und gesellschaftspolitische Umwälzung. Es galt, durch ständiges Anpassen und Vorausdenken technisch, redaktionell und konzeptionell Schritt zu halten.

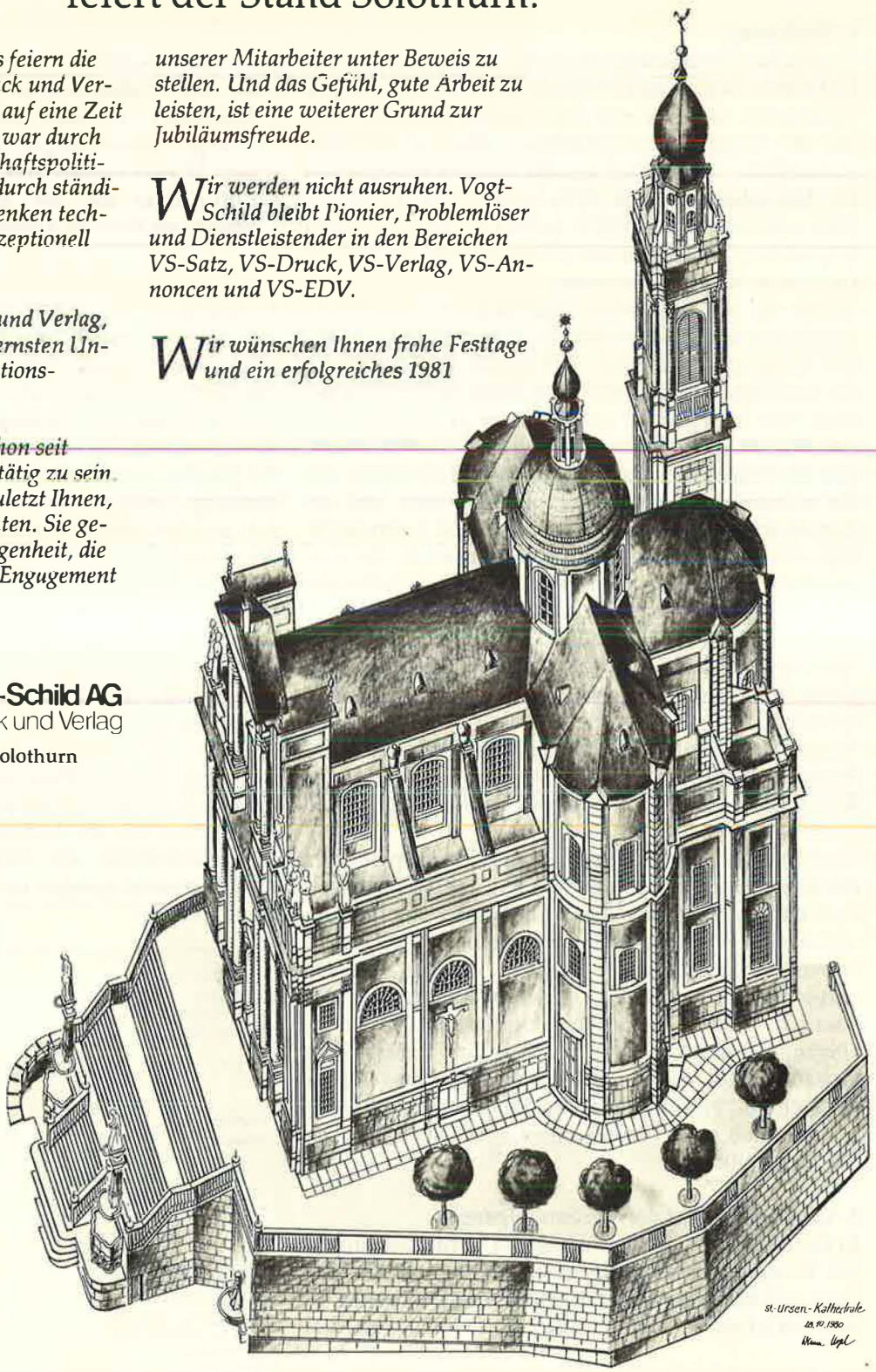
Vogt-Schild AG, Druck und Verlag, zählt heute zu den modernsten Unternehmen der Kommunikationsbranche.

Wir freuen uns, nun schon seit 75 Jahren erfolgreich tätig zu sein. Das verdanken wir nicht zuletzt Ihnen, unseren Lesern und Inserenten. Sie geben uns immer wieder Gelegenheit, die Leistungsfähigkeit und das Engagement unserer Mitarbeiter unter Beweis zu stellen. Und das Gefühl, gute Arbeit zu leisten, ist eine weiterer Grund zur Jubiläumsfreude.

Wir werden nicht ausruhen. Vogt-Schild bleibt Pionier, Problemlöser und Dienstleistender in den Bereichen VS-Satz, VS-Druck, VS-Verlag, VS-Annoncen und VS-EDV.

Wir wünschen Ihnen frohe Festtage und ein erfolgreiches 1981

75 JAHRE **Vogt-Schild AG**
Druck und Verlag
Solothurn



CO) das Verhältnis Raumluft/Aussenluft höher als bei den reaktiven Gasen (z.B. Schwefeldioxid – SO_2). Die niedrigeren Anteile dürften darauf zurückzuführen sein, dass reaktive Gase durch die Wände und Inneneinrichtungen absorbiert werden. Somit vermögen zum Beispiel kurzfristige SO_2-Spitzen in der Aussenluft die Raumluftkonzentrationen nicht in dem Mass zu beeinflussen, wie dies bei CO der Fall ist.
Messungen in der Stadt Zürich mit gleichzeitigen Probenahmen innerhalb und ausserhalb von Räumen haben ergeben, dass ein hoher CO-Gehalt in der Aussenluft (etwa 13 ppm) zu einem deutlichen Anstieg des CO in der Raumluft führt. Bereits niedrige Aussenluft-Konzentrationen (1–2 ppm) dürften jedoch den CO-Gehalt in der Raumluft kaum mehr beeinflussen; vielmehr dürften hier andere Quellen (u. a. Tabakrauch) massgebend sein. Beim Stickstoffdioxid (NO_2) waren die Konzentrationen in den Räumen duchwegs niedriger als in der Aussenluft. Auffallend waren die zum Teil ziemlich hohen Formaldehyd-Werte innerhalb der Gebäude, während an den Strassen durchwegs niedrige Konzentrationen gemessen wurden. Formaldehyd stammt somit vorwiegend von den bereits erwähnten Quellen in den Räumen.

2.2 Quellen innerhalb von Gebäuden

Der *Mensch* selber beeinträchtigt die Luftqualität in einem Raum durch die kontinuierliche Abgabe von Wärme, Feuchtigkeit, Kohlendioxid, Partikeln, Mikroorganismen und Ausdünstungen. Temperaturanstieg und Konzentrationen der verschiedenen Verunreinigungen sind von der Belegung des Raumes sowie auch von der Aktivität der einzelnen Personen abhängig. Die gebräuchlichsten Parameter zur Beurteilung der durch den Menschen verursachten Belastungen der Raumluft sind das *Kohlendioxid* (CO_2) sowie die *Gerüche*. Richtwert für eine noch zumutbare Luftqualität ist in der Regel eine CO_2-Konzentration von 0,1% bis 0,15%.
Bei der *subjektiven Beurteilung der Luftqualität* spielen die jeweilige Raumtemperatur sowie die Luftfeuchtigkeit eine wesentliche Rolle. Befragungen in einem Hörsaal bei verschiedenen raumklimatischen Bedingungen haben ergeben, dass bei Temperaturen über 21,5°C, die von den Studenten mehrheitlich als «zu warm» eingestuft wurden, auch die Luftqualität vermehrt als «schlecht» beurteilt wurde. Bei den als «zu warm» bezeichneten Temperaturen wurde die Luft auch vermehrt als «zu trocken» beruteilt, obwohl die relative Luftfeuchtigkeit nie unter 45–50% lag [12].
Das *Rauchen von Zigaretten, Zigarren und Pfeifen* gehört zu den wichtigsten Verunreinigungsquellen, welche die Qualität der Raumluft unmittelbar beeinflussen. Je nach Intensität des Rauchens sowie der Grösse und Lüftung des Raumes können die Schadstoffe Konzentrationen erreichen, die nicht nur zu Belästigungen führen, sondern bei empfindlichen Personen – wie Herz-, Kreislaufkranken und Kindern – gesundheitliche Schädigungen zur Folge haben können. Bisherige Untersuchungen haben gezeigt, dass in Raucherräumen vor allem der Gehalt an *Kohlenmonoxid, Aldehyden* und *partikulären Verunreinigungen* zu beachten sind [7, 17]. So kann bei unzureichender Lüftung der Kohlenmonoxidgehalt Werte erreichen, die sogar über dem für Dauerbelastungen geltenden Grenzwert von 9 ppm liegen. Zur Beurteilung der für einen Nichtraucher noch zumutbaren Konzentrationen muss aber vor allem das Kriterium der *Belästigung* herangezogen werden. (Vergleiche dazu auch die in diesem Heft veröffentlichte Arbeit von Weber-Tschopp und Fischer).
Sehr unterschiedlich sind die Verunreinigungen, welche durch die *Tätigkeiten* verursacht werden. Im Wohnbereich sind es vor allem Staubaufwirbelungen bei den täglichen Arbeiten, Gerüche vom Kochen und Tabakrauch. Zu beachten sind auch Dämpfe von *Reinigungs- und Lösungsmitteln,* denen man bei Haushaltarbeiten exponiert ist. In den meisten Fällen führen solche Verunreinigungen zu unmittelbaren Belästigungen. Die Folgen bei wiederholter Einwirkung sind noch wenig untersucht; bei der heutigen Vielfalt von Verbraucherprodukten ist jedoch mit einem erhöhten Risiko für gesundheitliche Schädigungen zu rechnen.
Bei der *Verbrennung von Gas oder Öl* – für Heiz- oder Kochzwecke sowie zur Wassererhitzung – entstehen bei ungenügender Verbrennung Stickoxide und Kohlenmonoxid, die je nach Konzentration und Expositionsdauer akute wie chronische gesundheitliche Schädigungen zur Folge haben. In diesem Zusammenhang ist auch die Staubversengung zu erwähnen: darunter versteht man die Erhitzung und Verbrennung des Staubes – wie dies zum Beispiel bei Warmluft- oder Elektrospeicherheizungen vorkommt. Untersuchungen haben ergeben, dass bei den üblichen Betriebsbedingungen verschiedene Reaktionsprodukte entstehen (u. a. Kohlenmonoxid, Kohlendioxid, Stickoxide und Ammoniak); die auch bei starker Staubbelastung auftretenden Konzentrationen haben jedoch keine gesundheitsgefährdenden Wirkungen [13].
Gewisse *staubförmige Verunreinigungen* können auch zu Allergien führen; hier bestehen allerdings grosse individuelle Unterschiede bezüglich der Empfindlichkeit, und die genauen Ursachen lassen sich oft nur schwer ermitteln. Bekannte Allergene sind *Milben,* die sich vor allem bei relativen Luftfeuchtigkeiten über 50–55% entwickeln können. Zu beachten sind auch die *mikrobiellen Verunreinigungen,* wie sie beim Betrieb von Aerosol- und Zerstäubergeräten auftreten; meist handelt es sich hier um Pilze, die ebenfalls allergische Reaktionen auslösen können [16].
Noch wenig bekannt sind die möglichen Verunreinigungen durch *Baustoffe, Möbelausstattungen, Bodenbeläge* sowie *Isoliermaterialien, Klebestoffe* und *Anstrichmittel.* Die durch diese Quellen verursachten Verunreinigungen sind unabhängig vom Verhalten und von den Aktivitäten der Bewohner. Als Beispiel seien hier die *Spanplatten* erwähnt, wie sie in Möbeln sowie zur Ausstattung von Räumen verwendet werden. Rückstände von aldehydhaltigen Produkten, die

bei der Herstellung von Spanplatten eingesetzt werden, können die Raumluft kontinuierlich verunreinigen und in der Folge Reizungen der Augen und Atemorgane verursachen.
In der *Tabelle 2* sind einige Formaldehydkonzentrationen aufgeführt, die bei kürzlich in Dänemark in neueren Wohnräumen durchgeführten Messungen festgestellt wurden [3]. Quelle dieser zum Teil beträchtlichen und über dem noch tolerierbaren Wert von 0,1 mg/m³ liegenden Formaldehydkonzentrationen waren eindeutig die in den Wohnräumen verwendeten Spanplatten. Ähnliche Kontaminationen wurden in Schulräumen gemessen, verursacht durch mit Harnstoff-Formaldehydharzen gebundene Deckenplatten sowie auch durch Möbel [6]. Offen bleibt die Frage, ob neben Formaldehyd noch weitere organische Lösungsmittel abgegeben werden. Auf alle Fälle sind zukünftige Prüfungen von Baumaterialien durch Teste auf Rückstände von Lösungsmitteln zu überprüfen. Entsprechende Vorschriften sind in Vorbereitung – unter anderem durch das deutsche Bundesgesundheitsamt in Berlin.

Tabelle 2. Formaldehyd-Konzentrationen in Wohnräumen (Feldmessungen in 25 Wohnungen mit Spanplatten nach [3]).

Objekt Nr.	Alter des Hauses Monate	Luftwechsel h^{-1}	Formaldehydkonz. mg/m^3
10	5	1.2	0.71
12	29	1.3	0.08
19	37	0.3	0.49
22	56	0.3	0.42

Eine ebenfalls unerwünschte Verbindung in Baumaterialien ist *Radon:* Radonhaltige Backsteine oder Beton mit radonhaltigen Gesteinen können – je nach Zusammenhang – bei reduzierter Lüftung zu einer erhöhten Radioaktivität der Raumluft führen [18]. Messungen von Radon-Emissionen wurden bisher vor allem in Schweden und in den USA durchgeführt. Die WHO-Arbeitsgruppe, die sich mit Fragen der Raumluftqualität befasst, erachtet weitere Messungen der Radon-Emissionen verschiedener Baumaterialien als notwendig sowie auch eine Beurteilung des Risikos der bei reduzierter Belüftung auftretenden Belastungen. Ein weiterer gesundheitsgefährdender Stoff ist *Asbest,* das in verschiedenen Baumaterialien und bei Isolationen verwendet wird und in bestimmten Fällen die Raumluft in einem nicht mehr zulässigen Mass belastet [18].

3. Beseitigung der Verunreinigungen

Alle Verunreinigungen, welche die Raumluftqualität beeinträchtigen, sind soweit möglich an ihrer Quelle zu beseitigen, bzw. zu reduzieren. Massnahmen zur *Reduktion der Emissionen* sind vor allem bei den Verunreinigungen, die von Materialien und Installationen kontinuierlich in die Raumluft gelangen, notwendig. Dazu sind strenge Zulassungsvorschriften sowie vermehrte Kontrollen notwendig. Auch die Belastungen durch Tabakrauch, zu dessen Entfernung meist ein langes Lüften notwendig ist, sind wenn möglich auf wenige Räume zu beschränken – vor allem in öffentlichen Gebäuden.
Zur Beseitigung der durch den Menschen und seine Aktivitäten verursachten Verunreinigungen ist eine *ausreichende Lüftung* erforderlich. Da die dazu notwendige Fensterlüftung nicht immer möglich ist – vor allem nicht in Räumen, die dauernd belegt sind, oder bei störendem Aussenlärm und starker Verschmutzung der Aussenluft – sind *mechanische Lüftungen* erforderlich. In Frage kommt das Absaugen der Luft mittels Ventilatoren, wie sie zum Beispiel in Küchen und Toilettenräumen gebräuchlich sind. Gute Dienste leisten auch Lüftungsgeräte, welche gleichzeitig die Raumluft absaugen und Frischluft zuführen, wobei diese zusätzlich erwärmt oder gekühlt werden kann.
In Räumen mit hohen Anforderungen an den Reinheitsgrad der Luft – wie zum Beispiel in Operationssälen oder pharmazeutischen Laboratorien – sind Klimaanlagen erforderlich. Mit der Belüftung können die im Raum anfallenden Verunreinigungen kontinuierlich entfernt werden. Dabei haben die Anzahl Luftwechsel pro Stunde sowie die Art der Luftführung einen wesentlichen Einfluss auf die Luftqualität. Wird die Abluft klimatisierter Räume mittels wirksamer Filter gereinigt, so kann diese wieder als Umluft dem Raum zugeführt werden – vermischt mit einem genügend grossen Anteil von Frischluft.
Beim Betrieb von Klimaanlagen ergeben sich zahlreiche *hygienische Probleme,* die bei der Planung, beim Bau und beim Betrieb zu beachten sind. So wurden bei verschiedenen Untersuchungen Verschmutzungen in den Befeuchteranlagen und Luftkanälen sowie auch ungenügende Abdichtungen bei den Filtern festgestellt [15]. Solche Mängel führen zu Verschmutzungen der Raumluft, die besonders in Spitälern schwerwiegende Folgen haben können. Es sind auch Fälle von Allergien bekannt, die durch Verunreinigungen in Klimaanlagen verursacht wurden. Nur sorgfältig geplante und während des Betriebes regelmässig kontrollierte Klimaanlagen können den gewünschten Nutzen bringen.
In Räumen, in denen die natürliche Fensterlüftung erschwert ist und der Einbau von Ventilatoren und Klimaanlagen aus Platz- oder Kostengründen nicht in Frage kommt, kann mit *Luftreinigungsapparaten* die Qualität der Raumluft verbessert werden. Solche Geräte können in stark belegten Räumen, bei Verunreinigungen durch Zigarettenrauch sowie auch bei gewissen Aussenluftverschmutzungen (Staub, Pollen) gute Dienste leisten. Massgebende Kriterien für die Wirkung sind das Rückhaltevermögen der Filter für staub- und gasförmige Verunreinigungen sowie die Anzahl der stündlichen Luftumwälzungen [11].
Zur Verbesserung der Qualität der Raumluft werden unter anderem auch *chemische Mittel* empfohlen. Damit können Geruchstoffe neutralisiert, zerstört oder maskiert werden; ferner lassen sich auch sogenannte

sources à l'intérieur des bâtiments. L'homme contamine l'air par du dioxide de carbone, des odeurs, vapeurs et particules. Les sources de pollution les plus fréquentes sont dues à la fumée de tabac (particules, aldéhyde et monoxyde de carbone), au produits de consommation (composés organiques), au matériel de construction et de décoration (aldéhyde) ainsi qu'à la combustion de gaz pour cuire et pour le chauffage (oxyde d'azote, monoxyde de carbone).
Les effets de ces polluants nuisibles à la santé gagnent de l'importance depuis que la ventilation est réduite afin d'économiser de l'énergie. En tenant compte des dommages et ennuis causés à la santé, les effets de longue durée sont à considérer en première ligne; il faut surtout penser à la sensibilité des enfants, des malades et des personnes âgées.
Les aspects de santé sont un critère décisif pour l'élaboration de recommandations dans le domaine de la construction et sur les taux minima de ventilation.

Summary
Air quality in living and working places
The air quality inside of buildings depends on the contamination of the air outside as well as on the air pollution inside the room. The human being contaminates the air through carbon dioxide, odors, vapors and particulates. The most important sources of pollution are tobacco smoke (especially particulate matter, aldehydes and carbon monoxide), consumer materials (organic solvents), building materials and furniture fittings (Formaldehyd), as well as the use of gas for cooking and heating purposes (nitrogen oxides, carbon monoxide).
More importance has to be attributed to the injurious effects of the various contaminants because of the reduced ventilation rate in order to save energy. When estimating the possible health damages and annoyances, the long-term effects have to be considered, thereby the increased sensibility of children, of ill and old people have to be taken into account.
The health aspects are therefore a decisive criterium for guidelines concerning construction and minimum ventilation rates.

Literatur

[1] *Adamson B.:* New Swedish Building Regulations in Order to Conserve Energy. Lund Institute of Technology, Department of Building Science. Report BKL 1977.
[2] *Andersen I.:* Relationships between outdoor and indoor air pollution. Atmospheric Environment *6,* 275–278 (1972).
[3] *Andersen, I.B., Lundquist G.R. and Mølhave L.:* Indoor air pollution due to chipboard used as a construction material. Atmospheric Environment *9,* 1121–1127 (1975).
[4] *ASHRAE:* Standards for Natural and Mechanical Ventilation, 62–73. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. (1973).
[5] *Benson F.B. et al.:* Indoor-Outdoor Air Pollution Relationships; A Literature Review. U.S. Environmental Protection Agency Publ. No. AP-112 (Aug. 1972).
[6] *Deimel M.:* Erfahrungen über Formaldehyd-Raumluftkonzentrationen in Schulneubauten. In «Organische Verunreinigungen in der Umwelt», S. 416–427; K. Aurand et al. (Herausgeber), Erich Schmidt Verlag, Berlin, 1977.
[7] *Fischer T., Weber-Tschopp A. und Grandjean E.:* Ausmass und Wirkung der Luftverunreinigung durch Tabakrauch unter experimentellen Bedingungen und in Gaststätten. Schweiz. Blätter für Heizung und Lüftung *45,* 3–8 (1978).
[8] *Hollowell C.D., Berk J.V., Lin Ch. and Turiel I.:* Indoor Air Quality in Energy-Efficient Buildings. Second International CIB Symposium on Energy Conservation in the Built Environment, Copenhagen, 1979.
[9] *Hollowell C.D., Berk J.V. and Traynor G.W.:* Impact of Reduced Infiltration and Ventilation on Indoor Air Quality in Residential Buildings. ASHRAE Symposium on Air Infiltration, Philadelphia, 1979.
[10] Indoor Climate, Effects on human comfort, performance and health. Edited by P.O. Fanger and O. Valbjørn. Danish Building Research Institute, Copenhagen 1979.
[11] *Klotz F. und Wanner U.H.:* Die Wirkung von Luftreinigungsapparaten auf die Qualität der Raumluft. Zbl. Bakt. Hyg. I Abt. Orig. A *227,* 559–563 (1974)
[12] *Nemecek J., Wanner H.U. und Grandjean E.:* Psychophysiologische Untersuchungen im Versuchsauditorium der ETH Zürich. Gesundheits-Ingenieur *92,* 232–237 (1971).
[13] *Satish J. und Wanner H.U.:* Emissionen bei der Versengung von Raumluftstaub. Zbl. Bakt. Hyg. I. Abt. Orig. B. *160,* 499–508 (1975).
[14] *Satish J. und Wanner H.U.:* Source et importance de la pollution de l'air à l'intérieur des bâtiments. Sozial- und Präventivmedizin *21,* 124–125 (1976).
[15] *Wanner H.U.:* Der Keimgehalt in der Luft von Operationssälen in Abhängigkeit des Belüftungsverfahrens. Immunität und Infektion *2,* 118–122 (1974).
[16] *Wanner H.U.:* Hygienische Aspekte der Luftbefeuchtung. Chem. Rundschau *28,* (6), 6 (1975).
[17] *Weber-Tschopp A., Fischer T. und Grandjean E.:* Objektive und subjektive physiologische Wirkungen des Passivrauchens. Int. Arch. Occup. Environ. Hlth. *37,* 277–288 (1976).
[18] World Health Organisation, Regional Office for Europe. Report of the Working Group on Health Aspects Related to Indoor Air Quality. Symposium in Bilthoven 1979.

antagonistische Gerüche erzeugen, die weniger belästigend wirken. Solche modifizierten Geruchstoffe müssen jedoch ebenfalls eliminiert werden und deshalb ist eine Lüftung des Raumes nicht zu umgehen. Zu beachten sind auch allfällige toxische Nebenwirkungen von Desodorierungsmitteln – wie zum Beispiel *Ozon*. Die Wirkungen des Ozons zum Abbau geruchsaktiver Komponenten sind zwar unbestritten, doch müssen dazu – wie auch für eine wirksame Reduktion der Mikroorganismen in der Luft – Konzentrationen angewendet werden, die beim Menschen Kopfweh, Reizerscheinungen in Rachen und Hals sowie Atembeschwerden verursachen können. Es besteht auch die Gefahr, dass bei einem längeren Aufenthalt – vor allem in kleinen Räumen – ein Ansteigen der Ozonkonzentration in der Luft nicht wahrgenommen werden kann und deshalb der zulässige Ozonspiegel überschritten wird. Die künstliche Ozonisierung von Wohn- und Arbeitsräumen ist abzulehnen, da Ozon bei den für den Menschen erträglichen Konzentrationen keine hygienische Bedeutung hat und bei höheren Konzentrationen gesundheitliche Schädigungen auftreten können.

Mit *negativen Ionen* kann eine gewisse Reduktion des Staubgehaltes in der Raumluft erzielt werden. Umstritten sind die angeblich positiven Wirkungen negativer Ionen auf das Leistungsvermögen, die Gesundheit und das Wohlbefinden; die vorliegenden Berichte über die biologischen Wirkungen sind widersprüchlich und vielfach fehlen die für eine objektive Beurteilung notwendigen Angaben.

4. Minimale und wünschenswerte Frischluftzufuhr

Die heute verfügbaren Empfehlungen für den Frischluftbedarf im Wohnbereich basieren weitgehend auf Erfahrungen der Praxis.

Wird die Luftqualität in erster Linie durch den Menschen beeinträchtigt, so richtet sich der Luftbedarf nach den feststellbaren *Gerüchen*. Dies ist das empfindlichere Kriterium als der Anstieg des Kohlendioxides; noch später erfolgen Beeinträchtigungen durch den Anstieg der Temperatur und des Wasserdampfes, und schliesslich durch die Abnahme des Sauerstoffgehaltes. In *Arbeitsräumen* können die durch die jeweiligen Arbeiten bedingten Verunreinigungen das massgebende Kriterium für die notwendige Frischluftzufuhr sein. Soweit möglich sind jedoch solche Verunreinigungen an der Quelle zu erfassen, ohne dass der ganze Raum damit belastet wird.

Die minimalen Frischluftraten, die sich aus amerikanischen und schwedischen Richtlinien [1, 4] ableiten lassen, liegen in der folgenden Grössenordnung: Für die minimale Frischluftzufuhr in Wohnräumen gilt eine Zuluftrate von 15–20 m³ pro Person und Stunde; wünschenswert sind 30 m³, bei körperlicher Aktivität oder wenn geraucht wird 40–50 m³ pro Person und Stunde. Berücksichtigt man das pro Person zur Verfügung stehende Raumvolumen, so wird bei einem Raumvolumen von 15 m³ pro Person eine Frischluftzufuhr von 15–30 m³ pro Stunde empfohlen, und bei einem Raumvolumen von 10 m³ pro Person 20–40 m³ pro Stunde. Mit kleinerwerdenden Raumvolumen pro Person steigt somit die erforderliche Lüftungsrate an.

Im Zusammenhang mit den Energiesparmassnahmen interessiert vor allem die Frage ob der erforderliche Frischluftbedarf durch den *natürlichen Luftwechsel* – also auch bei geschlossenen Fenstern – sichergestellt wird. Als Berechnungsgrundlage dienen die stündlichen Luftwechselraten: In der Regel liegen die Werte in Altbauten – bei schlechter Fensterkonstruktion – zwischen 1 und 1,5 Luftwechsel pro Stunde, in Neubauten – mit gut abgedichteten Fenstern – zwischen 0,3 und 0,7. In einem Wohnraum mit einem Rauminhalt von 50 m³ gelangen bei einer stündlichen Luftwechselrate von 0,6 30 m³ Frischluft – also ausreichend für den stündlichen Bedarf von 2 Personen – hinein.

Die Notwendigkeit einer *zusätzlichen Fensterlüftung* richtet sich nach Grösse und Belegung des Raumes sowie auch nach dessen Nutzung (z.B. Kochen, Reinigungsarbeiten). Beim Lüften ist zu beachten, dass in der Regel mit einem kurzen «Durchzug» von wenigen Minuten die Raumluft bedeutend rascher erneuert wird als durch ein längeres, jedoch nur teilweises Öffnen eines Fensters. Dadurch können auch unnötige Abkühlungen der Wände, Decken und Möbel vermieden werden. Eine kontinuierliche, auch nur geringe Frischluftzufuhr empfiehlt sich in Schlafzimmern während der Nacht – vor allem in Neubauten mit niedrigen Luftwechselraten; dazu genügt das Offenhalten einer Fensterklappe oder eines Fensterspaltes.

Im Gegensatz zu den Kenntnissen über optimale Raumtemperaturen bestehen bezüglich der Luftqualität noch zahlreiche Lücken. Vor allem sollten noch vermehrt Grundlagen erarbeitet werden, um für den *Luftbedarf* möglichst konkrete, den jeweiligen Bedürfnissen angepasste Empfehlungen geben zu können. Damit wird es möglich sein, alle energiesparenden Massnahmen optimal zu nutzen.

5. Zusammenfassung

Die Luftqualität im Innern von Gebäuden ist von den Verunreinigungen in der Aussenluft sowie von verschiedenen Verunreinigungsquellen innerhalb der Gebäude abhängig. Der Mensch belastet die Luft durch Kohlendioxid, Gerüche, Wasserdampf und Partikeln.

Häufigste Quellen von Schadstoffen sind Tabakrauch (vor allem Schwebestaub, Aldehyde und Kohlenmonoxid), Verbrauchermaterialien (u.a. organische Lösungsmittel), Baustoffe und Möbelausstattungen (u.a. Formaldehyd) sowie das Verbrennen von Gas zum Heizen und Kochen (Stickoxide, Kohlenmonoxid).

Die gesundheitsschädigenden Wirkungen der verschiedenen Schadstoffe erhalten infolge der reduzierten Lüftungsraten, wie sie zur Einsparung von Energie gefordert werden, eine vermehrte Bedeutung. Bei der Beurteilung der möglichen gesundheitlichen Schädigungen sowie der Belästigungen sind in erster Linie die langfristigen Auswirkungen zu beücksichtigen; dabei ist vor allem auf die erhöhte Empfindlichkeit von Kindern sowie von Kranken und alten Menschen zu achten.

Die gesundheitlichen Aspekte bilden somit ein wesentliches Kriterium bei der Festlegung von Bauvorschriften und minimalen Lüftungsraten.

Résumé

La qualité de l'air dans les habitations et les places de travail

La qualité de l'air à l'intérieur des bâtiments dépend de la pollution de l'atmosphère ambiante ainsi que de celle provenant de diverses