

5. Schlussfolgerungen

Bei der Empfehlung von minimalen Lüftungsraten sind folgende Faktoren zu berücksichtigen:

- Raumnutzung
- Raumvolumen pro Person
- Tätigkeit der Personen

Anhand der Resultate aus der vorgestellten Untersuchung kann die Folgerung gezogen werden, dass in Räumen, in denen nicht geraucht wird, bei einem Raumvolumen von durchschnittlich 12–15 m³/Person ab einem Kohlendioxidgehalt (CO₂) von über 0,15 % mit einer erhöhten Belästigung durch Gerüche zu rechnen ist. Die Limite von 0,15 % CO₂ kann für Räume, in denen nur leichte körperliche Arbeit geleistet wird, bei einer Frischluftzufuhr (CO₂-Gehalt 0,03–0,04 %) von 15 m³ pro Stunde und Person eingehalten werden.

Für Räume, in denen geraucht wird, hat die hier gefundene Beziehung zwischen CO₂ und empfundener Geruchsintensität jedoch keine Geltung. Um in solchen Räumen eine einwandfreie Luftqualität zu gewährleisten, ist mit einem etwa doppelt so hohen Frischluftbedarf zu rechnen [8].

Zusammenfassung

In einer Klimakammer wurden Kohlendioxid und Geruchsintensität in Abhängigkeit der Belegung und der Lüftungsrate gemessen. Bei einer Frischluftzufuhr von 12–15 m³ pro Person und Stunde blieb der Kohlendioxidgehalt unter 0,15 %, und die Geruchsintensität wurde höchstens als «schwache Belästigung» beurteilt. Höhere Luftwechselraten sind notwendig bei körperlicher Aktivität sowie in Räumen, in denen geraucht wird.

Résumé

Qualité de l'air et ventilation

Dans une chambre climatisée, on a mesuré le dioxyde de carbone et l'intensité des odeurs en fonction du nombre de personnes présentes

et du taux de ventilation. Avec des quantités d'air frais compris entre 12 et 15 m³ par personne et par heure, la teneur en dioxyde de carbone restait inférieure à 0,15 % et l'intensité des odeurs était jugée tout au plus comme représentant une «faible gêne». Des taux de ventilation plus élevés sont nécessaires lors d'activités physiques ainsi que dans des pièces où l'on fume.

Summary

Air Quality and Ventilation

In a test chamber of 30 m³ the air pollutants caused by man were measured. Variables were: number of persons and their activities and the rate of the air change. During test sessions of two hours the temperature, the relative humidity, the carbon dioxide and the intensity of odors were measured. There was a significant correlation between the odor intensities and the concentrations of carbon dioxide—independent of the number of persons and the air change rate. At air change rates of 12–15 m³ per person and per hour, the carbon dioxide concentration was not higher than 0.15 % and the odor intensity was evaluated only as a slight annoyance. Further experiments were performed with physical activity and smoking.

Literatur

- [1] Wanner, H. U., Luftqualität in Wohn- und Arbeitsräumen, Sozial- und Präventivmedizin 25, 328–333 (1980).
- [2] Brunner, A., Russenberger, H. J., und Wanner, H. U., Keim- und Partikelstreuung in Abhängigkeit der Tätigkeit und Bekleidung, Chemische Rundschau 30, 7–10 (1977).
- [3] Borneff, J., Hygiene (Thieme Verlag, Stuttgart 1974), 320.
- [4] Rigos, E., CO₂-Konzentrationen im Klassenzimmer, Umschau 81, 172–174 (1981).
- [5] ASHRAE Standard 62-73R, Draft Revision, The American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Inc., New York 1980, 38.
- [6] Turiel, I., et al., Automatic Variable Ventilation Control Systems Based on Air Quality Detection, LBL-8893, Lawrence Berkeley Laboratory, University of California, 1979, 2.
- [7] Huber, G., Hangartner, M., und Gierer, R., Sensorische Geruchsmessung, Sozial- und Präventivmedizin 26 (1981); im Druck.
- [8] Weber, A., Passivrauchen, Luftqualität und Massnahmen, Sozial- und Präventivmedizin 26 (1981); im Druck.

Sensorische Geruchsmessung

G. Huber, M. Hangartner und R. Gierer

Institut für Hygiene und Arbeitsphysiologie¹, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, ETH-Zentrum, 8092 Zürich

1. Einleitung

Gerüche spielen in der Umwelt deshalb eine grosse Rolle, da sie mit dem Sensorium «Nase» unmittelbar wahrgenommen werden können und dem Menschen somit als Gradmesser für Luftverunreinigungen dienen. Schon seit längerer Zeit stellte sich die Frage nach der objektiven Erfassung und Bewertung geruchsförmiger Luftverunreinigungen. Offensichtlich stellen Gerüche keine Stoffkonstanten dar, sondern beinhalten

ten eine «Wirkung», indem die Geruchswahrnehmung im Hirn interpretiert und aufgrund früherer Erfahrungswerte bewertet wird. So ist es naheliegend, für die Charakterisierung eines Geruches sensorische Methoden – das heisst Methoden unter Zuhilfenahme der menschlichen Nase – heranzuziehen, da auch analytische Konzentrationsangaben von Geruchsstoffen einen Wirkungsbezug brauchen.

Ein Geruch kann unter folgenden vier Aspekten betrachtet werden:

- Auffälligkeit oder Wahrnehmbarkeit
- überschwellige Intensität

¹ Direktor: Prof. Dr. med. Grandjean

- Lästigkeit
- Qualität

Die Quantifizierung der Geruchswahrnehmung ist bis jetzt am weitesten fortgeschritten. Die dabei entwickelten Verfahren bestimmen im allgemeinen die Verdünnungszahl, die durch Verdünnung des Geruches bis zur Wahrnehmungsschwelle erhalten wird.

Die Geruchsintensität spielt eine der wichtigsten Rollen bei der Reaktion des Menschen auf den Geruch. Mit Hilfe psychophysischer Skalierungsmethoden lässt sich eine Beziehung zwischen der empfundenen Intensität und der Geruchsstoffkonzentration herstellen.

Die Lästigkeit bzw. die Einstufung bezüglich angenehm - neutral - unangenehm ist die wichtigste qualitative Komponente der Geruchsempfindung.

Unter der Geruchsqualität versteht man die verbale Beschreibung des Geruchs. Eine einheitliche, widerspruchsfreie und reproduzierbare Systematik von Geruchsbezeichnungen existiert nicht.

2. Messapparatur

Abbildung 1 zeigt das Schema der Geruchsintensitätsmessapparatur GIMA, die am Institut für Hygiene und Arbeitsphysiologie entwickelt wurde. Die sensorischen Geruchsbestimmungen werden in einem Raum durchgeführt, der durch eine intensive Lüftung geruchsarm gehalten wird. Diese Raumluft wird durch einen mit Teflon beschichteten Ventilator über ein Rohrleitungssystem aus Glas zu einem Glaskolben geführt, an dem Riechöffnungen für zwei Testpersonen angebracht sind (siehe Abb. 2). Die Konstanz des Luftstromes wird durch einen Frequenzumrichter gewährleistet, der die Drehzahl des Drehstromkäfigankermotors reguliert. Der Volumenstrom beträgt 150 l/min; dadurch wird eine Luftaustrittsgeschwindigkeit an den Riechöffnungen von 0,85 m/s erreicht.

Den Testpersonen können über den einen Ansaugstutzen unverdünnte Gerüche, zum Beispiel aus einer Klimakammer, und über den andern Ansaugstutzen verschiedene Geruchskonzentrationen über Rotameter bzw. Referenzgerüche zugeführt werden. Zur Beurteilung der Geruchsreize wird den Testpersonen eine Zeitspanne von 5 Sekunden zugestanden, die visuell durch eine Lampe und akustisch durch ein Glockenzeichen begrenzt wird. Dann folgt jeweils eine Pause von 25 Sekunden um Adaptationseffekte bei den Versuchspersonen zu vermeiden und Konzentrationsfehler, bedingt durch die Trägheit der Apparatur, möglichst klein zu halten. Bei der Geruchsschwellenbestimmung wird dem Versuchsleiter die Ja-/Nein-Antwort über ein optisches Signal bekanntgegeben; bei der Geruchsintensitätsbestimmung wird die empfundene Intensität durch Schieben des Abgriffes eines 30 cm langen Potentiometers in Ohm übermittelt.

3. Bestimmung der Geruchsschwelle

Bei der Bestimmung der Geruchsschwelle - zum Beispiel nach dem Limitverfahren - geht man so vor, dass man den Geruch mit Reinaluft so verdünnt, dass Verdünnungsreihen in aufsteigender Geruchskonzentration

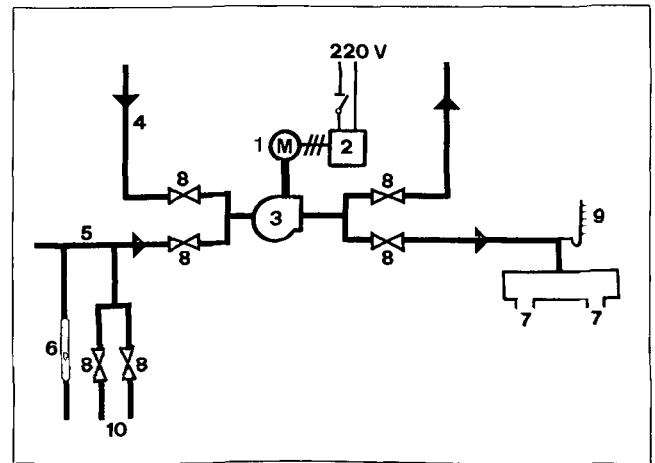


Abb. 1. Schema der GIMA-Geruchsintensitätsmessapparatur: 1) Antriebsmotor; 2) Frequenzumrichter; 3) Ventilator; 4) Geruchsstrom unverdünnt; 5) Geruchsstrom verdünnt; 6) Rotameter; 7) Riechöffnungen; 8) Ventile; 9) Manometer; 10) Referenzgeruch.

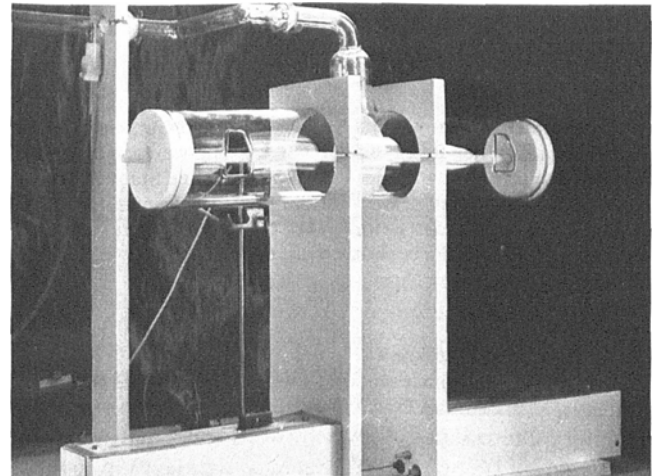


Abb. 2. Riechöffnungen an der Gima. Unten sind die Potentiometer zur Angabe der Intensitätsempfindung zu sehen.

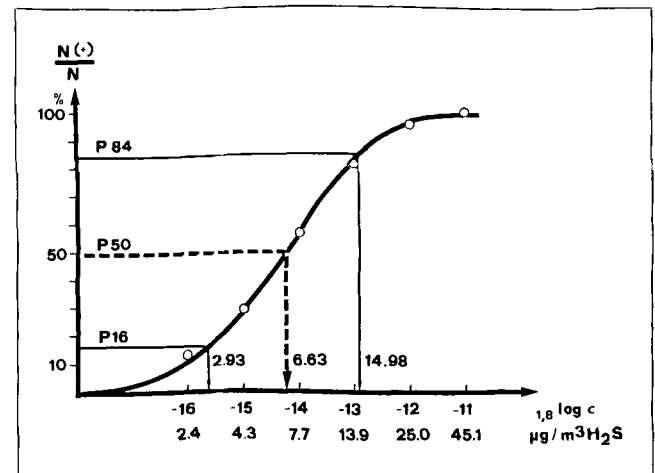


Abb. 3. Geruchsschwellenkennlinie des 42-Personen-Kollektivs für Schwefelwasserstoff. Das 50-Perzentil P_{50} ergibt die Geruchsschwelle von 6,65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

tration mit einer geometrischen Schrittweite von 1,5–2 entstehen. Diese Verdünnungsreihen werden den Versuchspersonen mehrmals angeboten. Die individuelle Geruchsschwelle wird definiert als Umschlagspunkt dieser Konzentrationsreihen, also dem geometrischen Mittel der Konzentrationen der letzten negativen und der ersten positiven Antwort. Als relatives Mass der Konzentration unbekannter Geruchsstoffe wird die Geruchseinheit verwendet. Sie ist definiert als reziproker Wert des Verdünnungsgrades bis zur Geruchsschwelle.

Abbildung 3 zeigt die Geruchsschwellenkennlinien von 42 Personen für Schwefelwasserstoff. Dazu werden die Summenhäufigkeit $N(+)/N$ der positiven Antworten gegen den logarithmischen Verdünnungsgrad sowie den dazugehörigen Konzentrationswerten aufgetragen. Als Geruchsschwelle dieser Kollektive gilt der 50%-Wert P_{50} , bei dem 50% der Personen einen Geruch wahrnehmen. Aus dem dazugehörenden $\log c$ kann der Verdünnungsgrad abgeleitet werden. In unserem Beispiel beträgt er 1:4370; die relative Geruchskonzentration des Ausgangsgemisches somit 4370 Geruchseinheiten. Im Fall des Schwefelwasserstoffes als definiertem Geruchsstoff lässt sich aus den Geruchseinheiten und analytischen Konzentrationsbestimmungen die Geruchsschwelle von $6,63 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für dieses Kollektiv berechnen.

4. Geruchsintensität

Die Einstufung der Geruchsintensität kann nach verschiedenen Skalierungsverfahren erfolgen. Die empfundenen Intensitäten werden verbalen Kategorien oder willkürlich gewählten Zahlen zugeordnet. Eine weitere Methode besteht im gekreuzten Vergleich, das heisst in der Erzeugung einer weiteren Intensitätsempfindung über andere Sinneswahrnehmungen wie Helligkeit, Lärm oder Entfernung. In unseren Versuchen werden die Geruchsintensitäten in Distanzen auf einem linearen Potentiometer umgesetzt.

Der Zusammenhang zwischen der empfundenen Intensität und der Geruchsstoffkonzentration wird nach heutiger Auffassung am besten mit der Stevenschen Potenzfunktion beschrieben:

$$I = k \cdot c^n \text{ oder logarithmiert: } \log I = \log k + n \cdot \log c$$

Dabei bedeuten I : Intensitätsempfindung
 c : Geruchsstoffkonzentration
 k : Stoffkonstante

Der Exponent n ist eine geruchsspezifische Konstante und variiert im allgemeinen von 0,2 bis 0,8. In unseren Untersuchungen mit Pyridin an 55 Personen wurde ein Wert von 0,46 gefunden. Dies bedeutet, dass für eine Reduktion der Geruchsintensität des Pyridins auf die Hälfte die Geruchsstoffkonzentration um das 4,5fache verkleinert werden muss. Für jeden Geruch lässt sich dieser Exponent n bestimmen. Daraus leiten sich Konsequenzen für den Technolgen ab: Je kleiner der

Exponent n ausfällt, um so weitgehender muss die Emissionsminderung sein, bis der Geruch nicht mehr belästigend in der Umgebung wirkt.

5. Anwendung

Wenn Geruchsemissionen Anlass zu Belästigungen in der Umgebung einer industriellen Anlage geben, stellt sich sofort die Frage nach technologischen Kontroll- und Minderungsmaßnahmen. Diese sind nur durchführbar über die Messung von Gerüchen – und dazu ist bis heute die menschliche Nase der einzige Detektor. Sensorisch ermittelte Geruchsparameter unterliegen jedoch einer grossen Streuung, trotz Einhaltung von Rahmenbedingungen für Olfaktometersysteme [1]. Der Grund dafür sind die grossen Empfindlichkeitsunterschiede von Mensch zu Mensch. Ausserdem spricht der einzelne Mensch auf verschiedene Gerüche unterschiedlich an, dadurch wird die Auswahl von Riechern anhand von Standardgerüchen sehr erschwert.

Diese Schwierigkeiten werden stark reduziert, wenn es nur darum geht, relative Geruchsschwellenwerte zu bestimmen, zum Beispiel bei der Überprüfung des Wirkungsgrades einer Abluftreinigungsanlage. Dabei genügen im allgemeinen vier Riecher, um recht genaue Aussagen über eine Geruchsminderungsmaßnahme zu machen.

Absolute Geruchsschwellenwerte als Richtwerte für die Emissionsbegrenzung in Geruchseinheiten, die für die Bevölkerung repräsentativ sein sollen, werden auch in Zukunft nur schwer zu bestimmen sein.

Aus der Dosis-Wirkungs-Beziehung von Gerüchen können Hinweise auf eine Belästigungsschwelle gewonnen werden. Im allgemeinen wirken Gerüche bei der blossen Wahrnehmung nicht als störend, sondern erst bei einer gewissen überschwelligen Intensität. In weiteren Untersuchungen [2] wurde versucht, eine Belästigungsschwelle für Raumluft in Abhängigkeit des Luftwechsels und der Raumbelastung in Korrelation mit dem Kohlendioxidgehalt abzuleiten.

Für Aussenluftprobleme lassen solche Labordaten jedoch noch keine fundierte Aussage über das Belästigungsproblem zu, vielmehr muss die betroffene Bevölkerung durch Befragung miteinbezogen werden [3].

Zusammenfassung

Die quantitative Charakterisierung von Gerüchen ist zum heutigen Zeitpunkt nur über den Einsatz der menschlichen Nase zu erreichen. Eine Apparatur wird beschrieben, die erlaubt, Schwellenwerte und überschwellige Intensitätsfunktionen von Gerüchen zu erfassen. Die Anwendbarkeit der sensorischen Methoden ist durch die grossen individuellen Empfindlichkeiten der Menschen eingeschränkt.

Résumé

Méthodes sensorielles de mesure des odeurs

La caractérisation quantitative d'odeurs n'est actuellement possible que par l'intermédiaire du nez humain. Un appareil est décrit, permettant de mesurer des valeurs de seuil ainsi que des fonctions d'intensités supraliminaire d'odeurs. La grande variabilité, au niveau individuel, de la sensibilité de l'homme restreint l'utilité pratique des méthodes sensorielles.

Summary

Sensoric Methods of Odour Measurement

Quantitative measurement of odours can be done nowadays only with the help of the human nose. An apparatus is described, which allows to determine odour thresholds and intensities. The applicability of sensoric methods is restricted by the large individual sensibility of man.

Literatur

- [1] VDI Richtlinie 3881: Olfaktometrische Technik der Geruchsschwellen Bestimmung (Entwurf Oktober 1980).
- [2] Huber, G., und Wanner, H. U., Raumluftqualität und Lüftung, Sozial- und Präventivmedizin 26 (in diesem Heft).
- [3] Hangartner, M., Belästigung durch Geruchsimmissionen, Sozial- und Präventivmedizin 25, 188–189 (1980).

Passivrauchen, Luftqualität, Massnahmen

Annetta Weber

Institut für Hygiene und Arbeitsphysiologie der Eidgenössischen Technischen Hochschule, CH-8092 Zürich

Die seit mehreren Jahren durchgeführten Laboruntersuchungen und Felderhebungen [1, 2, 3] haben zum Ziel, den Tabakrauch als Faktor der Verunreinigung der Raumluft genau zu erfassen und zu bewerten. Dazu wurden tabakbedingte Fremdstoffe in der Raumluft quantitativ bestimmt und gleichzeitig die akuten Reizwirkungen und Belästigungen auf den Menschen ermittelt. Die Resultate sollten Grundlagen liefern für eine zuverlässige Abschätzung der noch zumutbaren Rauchbelastung und eine darauf ausgerichtete Bemessung der Raumlüftung.

Die Laboruntersuchungen zeigten, dass

- die subjektiven und objektiven akuten Reizerscheinungen und die Belästigungen mit zunehmender Rauchkonzentration steigen;
- eine Rauchkonzentration, die einem tabakbedingten CO-Gehalt in der Raumluft von 5 ppm entspricht, mit Sicherheit zu hoch ist, da bei dieser Rauchbelastung nach einer Stunde 17% der Personen deutliche Augenreizungen aufweisen und 32% den Raum verlassen möchten.

Felduntersuchungen an Arbeitsplätzen und in Gaststätten ergaben, dass 30 bis 70% der gemessenen Fremdstoffkonzentrationen in der Raumluft (Kohlenmonoxid, Stickstoffmonoxid, Partikeln) vom Tabakrauch stammen. Das Ausmass der durch Tabakrauch verursachten Luftverunreinigung in den 44 untersuchten Arbeitsräumen ist in *Tabelle 1* angegeben. Dabei wurde der tabakbedingte Anteil der Luftverunreinigung durch die Differenzwerte (= Fremdstoffkonzentration im belegten Raum minus Kontrollkonzentration im unbelegten Raum) erfasst.

Die Ergebnisse der Befragung von 472 Arbeitnehmern aus den untersuchten Arbeitsräumen sind in *Abbildung 1* dargestellt. Daraus geht hervor, dass das Wohlbefinden der Beschäftigten durch das Passivrauchen erheblich beeinträchtigt wird, wobei die Nichtraucher signifikant mehr belästigt werden als die Raucher.

Fremdstoff	Anzahl Luftproben	Mittelwert	Maximalwert
CO (ppm)	353	1,1	6,5
NO (ppb)	348	3,2	280
Partikeln (g/m ³)	429	133	962
Nikotin (g/m ³)	140	0,9	13,8

Tab. 1. Tabakrauchbedingte Luftverunreinigung in 44 Arbeitsräumen (Δ -Werte = Konzentration im belegten Raum minus Konzentration im unbelegten Raum).

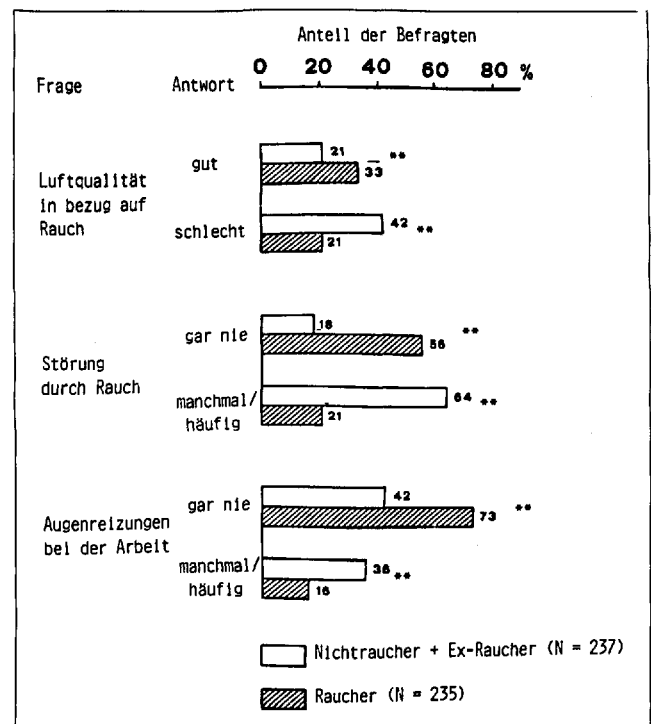


Abb. 1. Vergleich der Antworten der Nichtraucher und Raucher bezüglich Luftqualität und Wirkungen des Tabakrauches am gegenwärtigen Arbeitsplatz. (Die mittleren Antworten wurden weggelassen.) (** $p < 0.01$; χ^2 -Test)