

Frank Schreiber
Klaus Fitzner

Elektronische Nasen zur Bewertung der empfundenen Luftqualität in Büroräumen

Die empfundene Luftqualität in Innenräumen wird zur Zeit von trainierten Versuchspersonen in der Einheit dezipol oder anderen Geruchseinheiten bewertet [1]. Diese Methode ist verhältnismäßig zeitintensiv, teuer und benötigt trainierte Personen. In der vorliegenden Arbeit wurden verschiedene Räume eines Bürogebäudes unterschiedlicher Geruchsqualitäten sowohl mit zwei elektronischen Nasen als auch mit der menschlichen Nase untersucht.

Aus den Messungen kann geschlossen werden, daß die elektronische Nase verwendet werden kann.

Electronic noses for the assessment of the perceived air quality in office rooms

The perceived air quality (PAQ) in indoor environments is presently assessed with trained judges in the unit decipol or other units [1]. This method is rather time-consuming, expensive and always requires trained judges.

In the presented work various rooms with different odor qualities are investigated in an office building with two electronic noses as well as the human nose.

For the used experimental setup in the investigated building it can be concluded that the electronic nose can be used.

Keywords: electronic nose, odor, office building, perceived air quality

Grundlagen

Der Mensch mit einem normalen Geruchssinn kann zwischen ungefähr 10 000 Gerüchen unterscheiden. Es existiert zur Zeit kein Meßgerät, das die empfundene Luftqualität direkt mißt.

Das menschliche Geruchsorgan bewertet die Gesamtheit eines Geruchs. Mit der elektronischen Nase wird versucht, diese Funktionalität zu simulieren. Durch die Kopie der Natur wurde eine Kombination aus Sensor und Computer-Technik entwickelt. Die Geruchszellen in den Schleimhäuten der menschlichen Nase werden durch eine Vielzahl von chemischen Sensoren repräsentiert. Anstelle des menschlichen Gehirns wird eine künstliche Intelligenz eingeführt, die als ein neuronales Netzwerk programmiert ist.

Elektronische Nasen beurteilen einen Geruch ganzheitlich. Die unterschiedlichen Sensoren geben unterschiedliche Signale ab. Die Signale werden zu einem charakteristischen Geruchsmuster zusammengefügt. Es gibt zwei elektronische Nasen am Hermann-Rietschel-Institut. Eine elektronische Nase, MOSES II, ist modular aufgebaut mit einem Eingangs-, einem Schwingquarz- und einem Metalloxid-Modul mit jeweils acht Sensoren [2]. Die andere elektronische Nase, genannt KAMINA, verwendet 38 Metalloxid-Sensoren [3]. Der Unterschied zwischen den Metalloxid-Sensortypen der zwei elektronischen Nasen besteht in der Art der Herstellung der Sensoren.

Das Metalloxid-Modul von MOSES II ist mit acht unterschiedlichen Zinnoxid-Sensoren ausgestattet. Das Material der Sensoren ist das Metalloxid SnO_2 . Die Dicke

des Materials beträgt zwischen 100 und 500 μm . Zur Steuerung der Empfindlichkeit und Selektivität der verschiedenen Sensoren werden nicht nur reine Metalloxide als sensitive Schichten verwendet, sondern verschiedene Katalysatormaterialien (Platin, Palladium) eingebracht. Zusätzlich wird die Empfindlichkeit durch den Betrieb der Sensoren bei unterschiedlichen Temperaturen beeinflusst.

Das Mikrosystem von KAMINA besteht aus einem Feld von 38 Mehrschicht-Elementen, die auf einem 100 mm² großen oxidierten Siliziumsubstrat aufgebracht sind. Sowohl SnO_2 als auch WO_3 werden als Metalloxid und SiO_2 als Membranmaterial verwendet. Wegen unterschiedlicher inhomogener SiO_2 -Beschichtungen von ein paar Nanometern und/oder einer inhomogenen Erhitzung nehmen die anfänglich uniformen Sensorelemente unterschiedliche Gasselektivität an.

Neuronales Netzwerk

Das menschliche Zentralnervensystem besteht aus ungefähr 10^{12} Neuronen und besitzt aus diesem Grund eine sehr große Komplexität. Das Ziel der künstlichen Nachbildung ist die teilweise Simulation der Funktionalität des biologischen neuronalen Informationsprozesses. Biologische neuronale Netzwerke bestehen aus einem Netzwerk untereinander verknüpfter Neuronen. Künstliche neuronale Netzwerke zeigen eine ähnliche Organisation in einem entsprechenden Computerprogramm.

Die Struktur eines neuronalen Netzwerkes ist entweder vorwärts oder rückwärts verkettet (Bild 1), wobei die Information zurück zum Anfang geleitet wer-

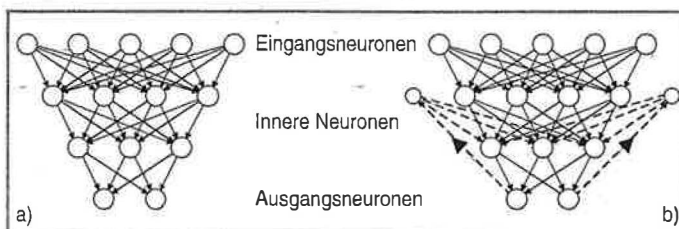


Bild 1
Aufbau von neuronalen Netzwerken
a: vorwärts verkettetes Netzwerk
b: rückwärts verkettetes Netzwerk

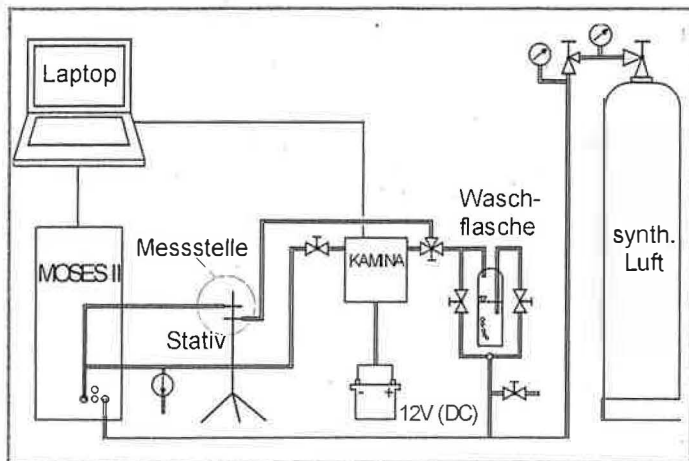


Bild 2 Experimenteller Aufbau der Innenraum-Bewertung mit den elektronischen Nasen [6]

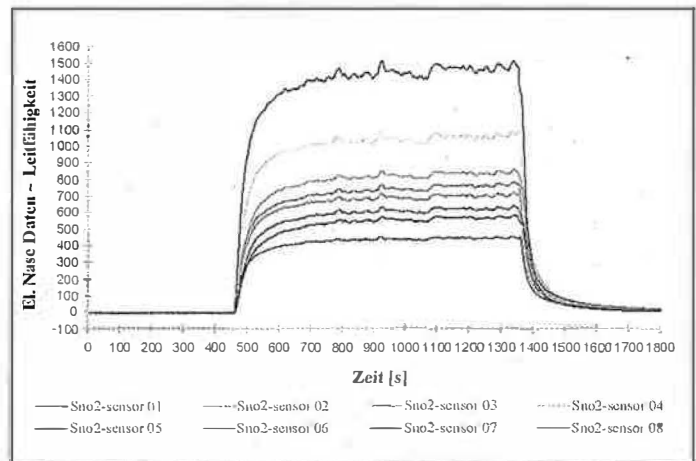


Bild 3 Verlauf der MOSES-II-Metalloxid-Sensoren für Raum TEL 1303

den kann. In der vorliegenden Arbeit wurde ein rückwärts verkettetes Netzwerk verwendet.

Neuronale Netzwerke können durch ein Training an ihre momentane Aufgabenstellung angepaßt werden. Definierte Paare von Eingabe- und Ausgabewerten werden dem Netzwerk präsentiert. Um sie zu trainieren, werden in dem vorliegenden Forschungsvorhaben gefilterte Parameter der Sensorwerte und die Bewertungen des menschlichen Versuchspersonals in dezibel eingegeben, um die empfundene Luftqualität in dezibel [4] nach Fanger [1] bewerten zu können. Wegen des Einflusses der relativen Luftfeuchte auf die Sensoren der elektronischen Nasen [5] wurden die Daten der relativen Luftfeuchtigkeit und auch der Temperatur neben den Sensorwerten in das Training des neuronalen Netzwerkes einbezogen.

Versuchsdurchführung

In 47 Büroräumen des Telefunken-Hochhauses der Technischen Universität Berlin wurden Luftqualitätsuntersuchungen mit den elektronischen Nasen durchgeführt [6]. Das menschliche Geruchspanel, bestehend aus 10 trainierten Personen, und die elektronischen Nasen bewerteten die Luft parallel. Die Mitglieder des Panels wurden trainiert gemäß dem in [7] angegebenen Verfahren. Die Temperaturen und die relative Luftfeuchtigkeit lagen zwischen 20 und 26 °C bzw. zwischen 30 und 55 %. Der experimentelle Aufbau für die elektronischen Nasen kann Bild 2 entnommen werden. Die Raumluft für die elektronischen Nasen wird mit einem Schlauch aus Teflon in einer Höhe von 1,60 m angesaugt, um einen Vergleich mit einer stehenden Person zu ermöglichen.

Die elektronischen Nasen sind direkt mit einem Personalcomputer verbunden. Über zwei getrennte Kanäle werden die Sensoren abwechselnd mit dem Referenzgas (synthetische Luft) und dem Testgas (Raumluft) beaufschlagt. Das Referenzgas für die elektronische Nase KAMINA wird zusätzlich mit destilliertem Wasser befeuchtet, bevor es über die Sensoren geleitet wird. Die Beaufschlagung der Sensoren mit synthetischer Luft vor der Messung der Raumluft war notwendig, um uniforme Anfangsbedingungen für eine Reproduzierbarkeit der Messungen zu gewährleisten und um die Sensoren vor jeder Messung zu reinigen.

Beide elektronische Nasen bewerteten die Luft jedes Raumes zur selben Zeit (Bild 3 und 4).

Bild 3 zeigt ein Diagramm, das den Verlauf der Sensoren von MOSES II für eine Luftprobe während einer Gesamtmesung zeigt. Die Werte unterliegen einer Nullpunktkorrektur. Zur Auswertung wurden die Differenzen zwischen maximalen und minimalen Werten der einzelnen Sensoren einer Messung als aussagekräftige Ergebnisse der Bewertung heran-

gezogen. Für die Innenraumluftbewertung mit KAMINA wurden nur jeweils die Mittelwerte der einzelnen Sensoren der letzten 200s einer Untersuchung verwendet, nachdem sich die Werte im Beharrungszustand befanden (Bild 4).

Ergebnisse

Es wurde in [8] vermutet, daß die Bewertungen einer Innenraumprobe mit MOSES II genauer werden, je mehr Zuweisungen für das Training des neuronalen Netzwerkes verwendet werden. Um diese Annahme zu verifizieren, wurden Untersuchungen in 47 Büroräumen des Telefunken-Hochhauses der Technischen Universität Berlin durchgeführt. Die Ergebnisse wurden als Funktion der Anzahl der Proben (Räume) für das Training des neuronalen Netzwerkes interpretiert und mit den Ergebnissen aus früheren Untersuchungen verglichen [8]. Bild 5 zeigt die Abhängigkeit der Genauigkeit von der Anzahl der Daten für das Netzwerk für die alten Messungen [8] und die Messungen im Telefunken-Hochhaus [6]. Die Standardabweichung nimmt erwartungsgemäß mit der Anzahl der Messungen für das Training ab.

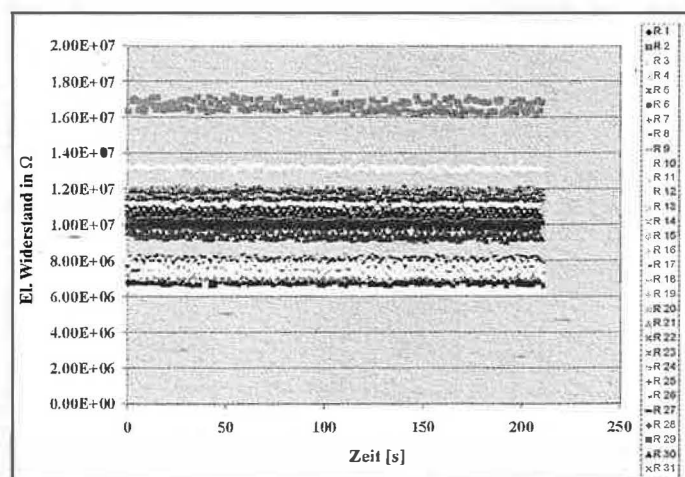


Bild 4 Verlauf der 38 KAMINA-Metalloxid-Sensoren für Raum TEL 1303

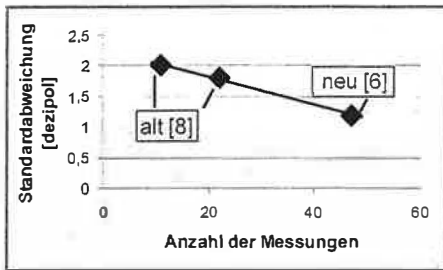


Bild 5 Standardabweichung als Funktion der Anzahl der Messungen für das Training [6]

Es kann geschlossen werden, daß ein erweitertes Training mit Sätzen von Referenzdaten zu einer genaueren Bewertung führt. Für Testzwecke wurden in einer neuen Untersuchung acht zufällig ausgewählte Büroräume im Telefunken-Hochhaus mit den elektronischen Nasen und dem menschlichen Geruchspanel nochmals untersucht. Die absoluten Abweichungen zwischen den Bewertungen der menschlichen Nase und der elektronischen Nasen MOSES II und KAMINA in der Einheit dezipol können den Bildern 6 und 7 entnommen werden.

Die Bewertungen der empfundenen Luftqualität mit den elektronischen Nasen wurden mit den Trainings- und Auswahlkriterien für ein Mitglied des menschlichen Geruchspanels verglichen. Ein individueller Leistungsfaktor (individual performance factor (IPF)) wurde eingeführt, der den bewerteten zum erlaubten Fehler, definiert in [7], ins Verhältnis setzt. Um als Geruchspanel-Mitglied ausgewählt zu werden, darf eine Bewertung außerhalb der +2- und -2-IPF-Grenzen (Bild 6 und 7) liegen, eine von vier Bewertungen ist akzeptiert in den Flächen zwischen den gepunkteten Linien und den +2- und -2-IPF-Grenzen, und der Rest muß in der Fläche +1- bis -1-IPF liegen.

Wie aus Bild 6 ersichtlich ist, erfüllt die elektronische Nase MOSES II diese Kriterien in den Tests und wäre als Panelmitglied ausgewählt worden. Auch die elektronische Nase KAMINA erfüllt die oben erwähnten Kriterien (Bild 7). Die Genauigkeit in den durchgeführten Untersuchungen ist jedoch nicht so gut wie bei MOSES II.

Diskussion

Die durchgeführte Untersuchung repräsentiert einen weiteren Schritt, ein Meßgerät zur Bewertung der empfundenen Luftqualität in Innenräumen zu entwickeln.

Es muß jedoch eingeräumt werden, daß die Daten der elektronischen Nasen nur für den verwendeten experimentellen Aufbau gültig sind. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt können sie nicht auf Daten von unterschiedlichen Versuchsaufbauten übertragen werden. Um ein eindeutiges Meßgerät für die Bewertung der empfundenen Luftqualität zu erhalten, muß eine Datenbank mit einer Vielzahl von Messungen aus unterschiedlichen Gebäuden für das Training des neuronalen Netzwerkes aufgebaut werden, da die chemische Zusammensetzung der Luft unterschiedlich sein kann, obwohl die menschlichen Versuchspersonen die empfundene Luftqualität als identisch betrachten.

Im untersuchten Gebäude kann für die gestellte Aufgabenstellung die elektronische Nase mit dem neuronalen Netzwerk menschliche Geruchspersonen ersetzen. Der menschliche Geruchssinn kann jedoch trotz des o. a. Ergebnisses wegen seiner Leistungsfähigkeit, der parallelen Signalverarbeitung und Subjektivität mit einer elektronischen Nase nur ansatzweise simuliert werden. Eine Reihe von

Problemen, wie olfaktorische Signalverarbeitung, Detektion von Gerüchen mit chemischen Sensoren mit sehr niedrigen Geruchsschwellen, Addition von unterschiedlichen Gerüchen oder Verbesserung der künstlichen Intelligenz müssen noch gelöst werden, um eine menschliche Nase in Zusammenarbeit mit dem Gehirn vollständig zu ersetzen.

Literatur

- [1] Fanger, P. O.: Hidden olfs in sick buildings, ASHRAE journal (1988) Nov., S. 40–43
- [2] MOSES II Gebrauchsanleitung, Lennartz Electronic GmbH: Tübingen (1998)
- [3] KAMINA Gebrauchsanleitung, Karlsruhe Forschungszentrum (1999)
- [4] Posselt, J.; Schreiber, F.; Fitzner, K.: Bewertung der empfundenen Luftqualität von Azeton mit einer elektronischen Nase, HLH (1999) 7, S. 60
- [5] Schreiber, F.: Untersuchung des Feuchteverhaltens der chemischen Sensoren der elektronischen Nasen MOSES II und KAMINA, Hermann-Rietschel-Institut, Technische Universität Berlin, unveröffentlicht (1999)
- [6] Neun, W.: Elektronische Nase: Experimentelle Untersuchung der empfundenen Luftqualität mit den elektronischen Nasen MOSES II und KAMINA in Büroräumen, Diplomarbeit, Hermann-Rietschel-Institut, Technische Universität Berlin (2000)
- [7] Bluysen, P. M. et al.: Final Research Manual of European Audit Project to Optimize Indoor Air Quality and Energy Consumption in Office Buildings, Technical University of Denmark and TNO-Building and Construction Research, Niederlande (1993)
- [8] Schreiber, F. W.; Fitzner, K.: Electronic Nose: Investigation of the Perceived Air Quality in Indoor Environments, Indoor Air '99, Edinburgh, 8.–13. 08. 1999, Vol. 2, pp. 624–629

Schlüsselwörter

Bürogebäude
Elektronische Nase
Empfundene Luftqualität
Geruch

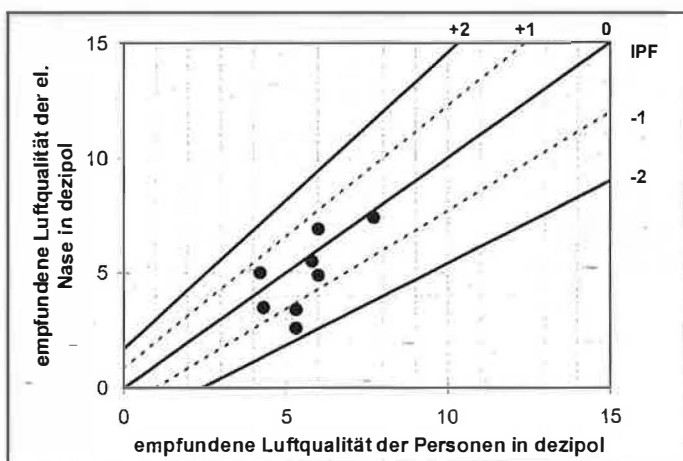


Bild 6 Vergleich der Bewertungen von MOSES II und menschlichen Versuchspersonen [6]

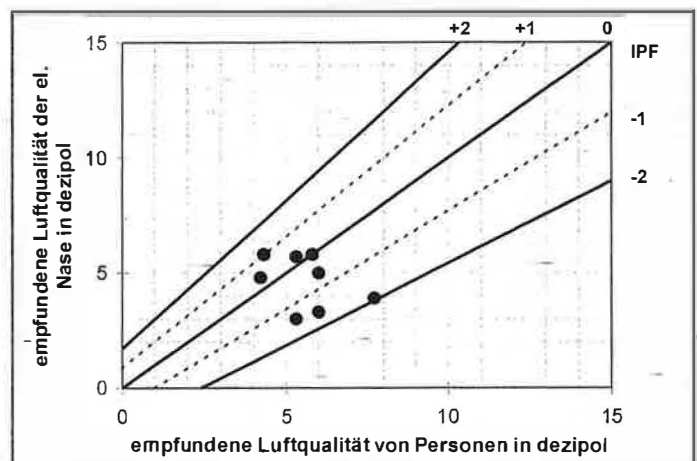


Bild 7 Vergleich der Bewertungen von KAMINA und menschlichen Versuchspersonen [6]