

Effektiver arbeiten in gesundem Raumklima

Neue Forschungsergebnisse über den Zusammenhang zwischen Raumluftqualität und menschlichem Leistungsvermögen

Prof. P. Ole Fanger; Dr.-Ing. Pawel Wargocki



Prof. P. Ole Fanger

Drei neue, unabhängig voneinander durchgeführte Versuche zeigen, dass die Reduzierung gesundheitsbelastender Quellen sowie eine gute Luftversorgung die Arbeitsleistung im Büro erhöhen und somit zur Einsparung von Kosten beitragen können. Aus den Forschungsergebnissen lassen sich wichtige Folgerungen für Planung und Gestaltung von Gebäuden und dem HKL-Bereich ableiten. Die Untersuchungen sind Teil eines Forschungsprogrammes, welches das *International Centre for Indoor Environment and Energy* der *Technical University of Denmark* unterstützt vom *Danish Technical Research Council (STVF)* von 1998 bis 2007 durchführt.



Dr.-Ing. Pawel Wargocki

Ausgangssituation

Schlechtes Raumklima kann zur Entstehung von Gesundheits- und Befindlichkeitsstörungen beitragen, welche wiederum die Arbeitsleistung beeinträchtigen und so erhebliche finanzielle Verluste zur Folge haben können [1]. Dass bestimmte Bedingungen innerhalb der Wärme komfortzone die menschliche Arbeitsleistung um fünf bis 15 Prozent herabsetzen können, ist hinreichend nachgewiesen, doch weiß man nur wenig über die unmittelbaren Auswirkungen der Luftqualität auf die Leistung in Büro und Schule [2]. Bisher findet man nur in wenigen Studien Hinweise darauf, dass schlechte Luft die menschliche Arbeitsleistung beeinträchtigen könnte. Erhöhte Kohlendioxidwerte in Klassenzimmern, ein Indiz für eine zu geringe Lüftungsrate und schlechte Luftqualität, konnten als Ursache für verminderte Leistungsfähigkeit bei Schülern ausgemacht werden [3]. Es wurde nachgewiesen, dass sich in Büros mit einer Frischluftzufuhr von 12 L/s pro Person die Mitarbeiter häu-

figer für kurze Zeit krank meldeten als in Räumen, die mit 24 L/s pro Person belüftet werden [4], was zu einem Produktivitätsverlust führte, obwohl die Lüftungsrichtlinien eingehalten waren [5]. Drei neue, eng verwandte Versuche [6,7,8] zeigen ebenfalls, dass sich schlechte Luftqualität negativ auf die Leistung bei Büroarbeit auswirkt. Diese Versuche werden im vorliegenden Artikel zusammen mit ihrer Bedeutung für die Planung von Gebäuden und des HKL-Bereiches beschrieben.

Ergebnisse der Feldversuche

In drei unabhängigen, jedoch eng verwandten Feldversuchen wurde die Luftqualität in Durchschnittsbüros verändert und gleichzeitig Gesundheit, Wohlbefinden und Arbeitsleistung der dort Beschäftigten gemessen [6,7,8]. In zwei Büros, einem in Dänemark und einem in Schweden, variierte man die Luftqualität, indem man die Schadstoffmenge verringerte; dies geschah durch Entfernen der Schadstoffquelle bei konstanter Frischluftzufuhr von 10 L/s pro Person [6,7]. In dem Büro in

Dänemark wurde die Luftqualität zudem durch Erhöhen der Außenluftmenge von 3 auf 10 bzw. 30 L/s pro Person verändert, wodurch man die Luftwechselrate von 0,6 auf 2 bzw. 6 h^{-1} steigerte; dabei war stets die gleiche Schadstoffquelle vorhanden [8]. Eine Hauptverunreinigungsquelle war in allen drei Untersuchungen ein 20 Jahre alter Teppich aus einem Gebäude, in dem über lange Zeit Probleme im Zusammenhang mit dem Sick-Building-Syndrom (SBS) aufgetreten waren [9].

Der Teppich dünstete eine typische Mischung von Chemikalien aus, wie sie in Feldstudien in Bürogebäuden weltweit vorgefunden wird. Das Teppichstück wurde hinter einem Schirm angebracht; seine Größe entsprach der Fläche des Büros, in dem der jeweilige Versuch stattfand. In den Büros gab es noch andere Belastungsquellen, und zwar die Baustoffe, den Bodenbelag und die Einrichtungsgegenstände - alles relativ harmlose Materialien - sowie menschliche Bioeffluente. Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit, Umluftgeschwindigkeit

Geprüft und für gut befunden:
LindabFireProtect
Entrauchungskomponenten aus Stahlblech

ACHTUNG!

Laut Bauregelliste A Teil 2 dürfen für Entrauchungsleitungen, an die keine Anforderungen an die Feuerwiderstandsdauer gestellt werden, nur noch Entrauchungskanäle mit Prüfzeugnis eingesetzt werden.



Geprüft nach DIN V 18232-6 und prEN 1366-9.
Mit allgemeinem bauaufsichtlichem Prüfzeugnis P-TUM-414.



® Lindab GmbH · Carl-Benz-Weg 18 · 22941 Bargteheide
Tel.: 04532/2859-0 · Fax: 04532/5666 · e-mail: Lindab@Lindab.de
Berlin · Frankfurt · Kassel · Köln · Mannheim · München · Neumarkt · Weimar

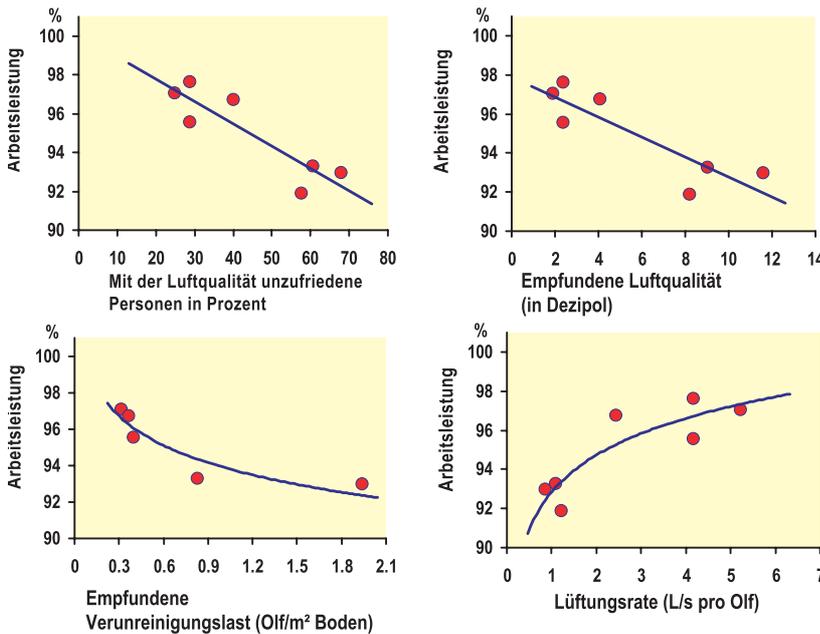


Abb.2 Arbeitsleistung im Büro in Abhängigkeit von Luftqualität, Verunreinigungslast und Lüftungsrate

und Geräuschpegel wurden unabhängig von dem Versuch konstant gehalten. Man setzte 90 weibliche Personen – in jeder Untersuchung 30 – unterschiedlichen Luftqualitäten aus (Abb.1). Sie sahen weder, ob die Schadstoffquelle vorhanden war, noch konnten sie Veränderungen des Geräuschpegels oder der Luftbewegung beim Variieren der Luftzufuhr wahrnehmen; außerdem blieben sie wärmeneutral, indem sie ihre Kleidung den Temperaturbedingungen anpassten. In allen drei Untersuchungen wurden die Probandinnen 4,5 Stunden lang stufenweise unterschiedlicher Luftqualität ausgesetzt, während sie typische Büroarbeiten wie Textverarbeitung, Korrekturlesen und kaufmännische Kalkulation ausführten. Sie bewerteten auch die von ihnen empfundene Luftqualität sowie die Stärke ihrer SBS-Symptome.

Die Ergebnisse der drei Untersuchungen zeigten, dass nach Entfernen der Schadstoffquelle bzw. Erhöhen der Lüftungsrate die Qualität der Luft als höher empfunden wurde, die Stärke der SBS-Symptome wie Kopfschmerzen oder Konzentrationsschwierigkeiten nachließ und sich die Leistung bei der Büroarbeit verbesserte. Leistungsverbesserungen traten nur bei ver-

ringerter Intensität der SBS-Symptome auf, was auf einen Zusammenhang schließen lässt. Quantitative Beziehungen wurden gefunden zwischen Luftqualität, empfundener Verunreinigungslast, Lüftungsrate und der Arbeitsleistung im Büro, welche zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit herangezogen werden kann (vgl. Abb.2). Im Einzelnen ergaben sich folgende Werte: Die Arbeitsleistung erhöhte sich immer um 1,1 Prozent, wenn 10 Prozent weniger Versuchspersonen mit der Luftqualität unzufrieden waren, respektive stieg die Arbeitsleistung jeweils um 0,5 Prozent, wenn eine Abnahme der Luftbelastung um ein Dezipol festgestellt werden konnte; eine Leistungszunahme um 1,6 Prozent ergab sich immer dann, wenn die Schadstoffmenge um das Doppelte abnahm, und bei jeder Verdoppelung der Lüftungsrate konnte ein Anstieg der Arbeitsleistung um 1,8 Prozent verzeichnet werden. „Dezipol“ ist eine Maßeinheit für die empfundene Luftqualität, die auf der Grundlage von sensorischen Tests

(Empfindungstests) gebildet wurde, während „Olf“ die empfundene Verunreinigungslast bezeichnet, welche identisch ist mit der von einer „Normperson“ empfundenen Verunreinigungslast [10,11,12].

Bedeutung für die Bauplanung und die Planung des HKL-Bereiches

Die oben dargestellten neuen Versuchsergebnisse [6,7,8] belegen, dass eine Verbesserung der Luftqualität durch Herabsetzen der Menge an Schadstoffen bzw. durch Erhöhen der Außenluftmenge positive Auswirkungen auf Gesundheit, Wohlbefinden und Leistungsfähigkeit hat. Die vorliegenden Werten zeigen, dass durch eine Verbesserung der Raumluftqualität von mittlerer Qualität, wie man sie heute in vielen Gebäuden findet [13,14], auf ein hohes Qualitätsniveau die Produktivität um mehr als fünf Prozent gesteigert werden kann; dieser Effekt ist mit der Auswirkung der Wärmeverhältnisse auf die menschliche Leistung zu vergleichen [2]. Die Forschungsergebnisse liefern einen starken wirtschaftlichen Anreiz, bei der Planung von Innenräumen eine Versorgung mit Luft von höherer Qualität, als dem in den



Abb.1 Feldversuch: Personen bei der Büroarbeit

geltenden Lüftungsrichtlinien vorgesehenen Minimum zu berücksichtigen. Die DIN 1946 [5] beispielsweise schlägt drei Kategorien für die Luftqualität in Gebäuden vor – hoch, mittel

Mehr Zeit für Ihre Wünsche!



Ein Zentralgerät in nur vier Schritten auslegen? Eine garantierte Lieferzeit von 14 Tagen? Eine schnelle Installation mit verwechslungssicheren Anschlüssen und handlichen Modulen?

Eine Vollausstattung für höchste Effizienz und Wirtschaftlichkeit serienmäßig? Eine Regelung, die Ihnen Wartungsempfehlungen z.B. per SMS auf Ihr Handy schickt?

Auslegung, Ausstattung, Lieferzeit, Montage und Wartung von Zentralgeräten: *Mit dem GEA COM4 wird Ihr Leben ab sofort einfacher - damit Sie mehr Zeit für Ihre Wünsche haben!*

**Starke Lösungen
für alle gibt's bei...**

GEA GEA Happel
Klimatechnik

GEA Happel Klimatechnik GmbH
Südstraße 48 · D-44625 Herne
Telefon (0 23 25) 4 68-00
Telefax (0 23 25) 4 68-2 22
www.gea-happel.de



GEA COM4™

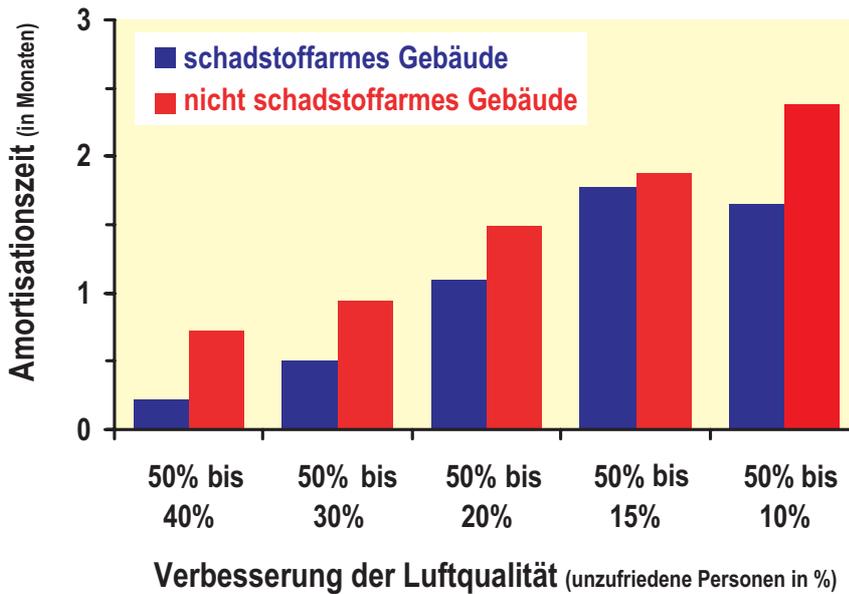


Abb.3 Amortisationszeit der zur Verbesserung der Luftqualität erforderlichen Investitionskosten im HKL-Bereich

und niedrig – entsprechend 10, 20 oder 30 Prozent mit der Luftqualität unzufriedenen Personen. Die vorliegenden Werte zeigen, dass eine Verbesserung der Luftqualität von „niedrig“ auf „hoch“ die Leistungsfähigkeit bei Büroarbeit um mehr als zwei Prozent erhöhen würde. Hohe Luftqualität hat nicht nur eine Produktivitätssteigerung zur Folge, sondern dient auch der Gesundheit und dem Wohlbefinden der Mitarbeiter. Bei intelligenter Planung des Gebäudes und des HKL-Bereichs sowie sorgfältiger Auswahl der Bau- und Einrichtungsmaterialien muss die Versorgung mit Luft von guter Qualität nicht unbedingt Mehr-

kosten oder zusätzlichen Energieverbrauch verursachen. Die Senkung der Schadstoffmenge in Innenräumen ist folglich eine sehr wirksame Methode zur Verbesserung der Raumluftqualität.

Durch die Verwendung von schadstoffarmen Bau- und Einrichtungsmaterialien kann man die Menge an belastenden Stoffen verringern. Diese Methode wird von der **CEN CR 1752** [15] sehr empfohlen, da sie nicht notwendigerweise zusätzliche Kosten mit sich bringt, besonders, wenn man sie bereits bei der Planung eines Gebäudes berücksichtigt. Die in diesem Aufsatz vorgestellten Untersuchungser-

gebnisse zeigen, dass eine Senkung der empfundenen Verunreinigungslast in einem nicht-schadstoffarmen Gebäude (0,2 Olf/m² Boden) auf die Werte in einem schadstoffarmen Gebäude (0,1 Olf/m² Boden), wie sie die CEN CR 1752 [15] empfiehlt, die Produktivität bei Büroarbeit um 1,5 Prozent steigern würde.

Die Erhöhung der Lüftungsrate bringt zusätzliche Kosten mit sich. Die Mehrkosten sind jedoch gering im Vergleich zu dem finanziellen Nutzen durch die Produktivitätssteigerung, die sie zur Folge haben, zumal die Gesamtbetriebskosten im HKL-Bereich gewöhnlich weit weniger als ein Prozent der Arbeitskosten ausmachen.

Simulationen der jährlichen Energiekosten und der Investitionskosten im HKL-Bereich in klimatisierten Bürogebäuden mittlerer Größe in der gemäßigten Klimazone zeigten, dass der jährliche Gewinn durch die aus der verbesserten Luftqualität resultierende Leistungssteigerung (welche wiederum durch Verringerung der Schadstoffe bzw. Erhöhung der Außenluftmenge erzielt wird) um ein Vielfaches größer ist als die jährlichen Zusatzkosten für Energie und Wartung; daneben erwies sich die Amortisationszeit der zur Luftverbesserung erforderlichen Investitionskosten im HKL-Bereich als kürzer als 3 Monate (vgl. Abb.3) [16]. Durch leistungsfähige Energierückgewinnungssysteme

Komponenten aus:

- ↪ Stahlblech
- ↪ Edelstahl
- ↪ Aluminium
- ↪ Kupfer

LUFTECHNISCHER NORMBAU GMBH



LUFLEITSYSTEME UND GERÄTEBAU

für Anlagenbau Industrie Verfahrenstechnik Innenausbau

Am Erlberg 3 · 85570 Markt Schwaben · ☎ (0 81 21) 93 20-0 · 📠 (0 81 21) 93 20-20 · E-Mail: s.nadler@luteno.de

kann der zum Erhöhen der Lüftungsrate nötige zusätzliche Energieverbrauch oft auf ein Minimum begrenzt werden.

Hohe Luftqualität setzt voraus, dass die von den RLT-Anlagen abgegebene Luft von guter Qualität ist, da die Anlagen selbst manchmal eine Verschmutzungsquelle sein können [17]. Folglich ist eine effektive Wartung und Reinigung der RLT-Anlagen von grundlegender Wichtigkeit. Die HKL-Technik steht nun vor der Aufgabe, Klimatisierungs- und Reinigungsverfahren zu entwickeln, durch die die Luft als sehr sauber wahrgenommen werden kann; daneben müssen Methoden gefunden werden, wie die Luft dann in den Atembereich jedes Einzelnen gebracht werden kann, ohne sich mit der Raumluft zu vermischen.

Zusammenfassung

Die neuen Versuchsergebnisse zeigen, dass die Arbeitsleistung im Büro von der Luftqualität abhängt. Sie belegen den wirtschaftlichen Nutzen durch die Versorgung mit Raumluft von höherer Qualität als dem in den geltenden Lüftungsrichtlinien vorgesehenen Minimum, wodurch nicht nur die Produktivität gesteigert wird, sondern auch Gesundheit und Wohlbefinden der Mitarbeiter gefördert werden. Die neuen Forschungsergebnisse legen nahe, dass Neubauten energiesparend und schadstoffarm sein sollten, was durch die richtige Auswahl von Bau- und Einrichtungsmaterialien, neue Methoden zur Filtrierung und zur Verteilung der Luft aus den RLT-Anlagen verbunden mit einer leistungsfähigen Wärmerückgewinnung von Abluft erreicht werden kann.

*Prof. P. Ole Fanger; Dr.-Ing. Pawel Wargocki
International Centre for Indoor Environment
and Energy
Technical University of Denmark
Lyngby, Dänemark*

LITERATUR:

- [1] Fisk, W. J. and Rosenfeld, A. H. (1997) "Estimates of improved productivity and health from better indoor environments", *Indoor Air*, 7, 158-172. (Errata: *Indoor Air* 1998, 8, 301.)
- [2] Wyon, D. P. (1996) "Indoor environmental effects on productivity", *Proceedings of IAQ '96 Paths to Better Building Environments*, USA, ASHRAE, 5-15.
- [3] Myhrvold, A. N., Olsen, E. and Lauridsen, Ø. (1996) "Indoor environment in schools – pupils health and performance in regard to CO₂ concentrations", *Proc. Indoor Air '96*, Vol. 4, 369-374.
- [4] Milton, D. K., Glencross, P. M. and Walters, M. D. (2000) "Risk of sick leave associated with outdoor air supply rate, humidification and occupant complaints", *Indoor Air*, 10, 212-221.
- [5] **DIN 1946** (1991) *Raumlufttechnik. Gesundheitstechnische Anforderungen (VDI-Lüftungsregeln). Teil 2*, Berlin, DIN Deutsches Institut für Normung e.V.
- [6] Wargocki, P., Wyon, D. P., Baik, Y. K., Clausen, G. and Fanger, P. O. (1999) "Perceived air quality, Sick Building Syndrome (SBS) symptoms and productivity in an office with two different pollution loads", *Indoor Air*, 9, pp. 165-179.
- [7] Wargocki, P., Lagercrantz, L., Witterseh, T., Sundell, J., Wyon, D. P. and Fanger, P. O. (2002) "Subjective perceptions, symptom intensity and performance: a comparison of two independent studies, both changing similarly the pollution load in an office", *Indoor Air*, 12, (in press).
- [8] Wargocki, P., Wyon, D. P., Sundell, J., Clausen, G. and Fanger P. O. (2000) "The effects of outdoor air supply rate in an office on perceived air quality, Sick Building Syndrome (SBS) symptoms and productivity", *Indoor Air*, 10, 222-236.
- [9] Pejtersen, J., Brohus, H., Hyldgaard, C. E., Nielsen, J. B., Valbjørn, O., Hauschildt, P., Kjærgaard, S. K. and Wolkoff, P. (2001) "Effect of renovating an office building on occupants' comfort and health", *Indoor Air*, 11, 10-25.
- [10] Fitzner, K. (2000/2001) "Empfundene Luftqualität in Innenräumen. Verfahren zur ihrer Ermittlung", IHKS, Fachjournal Heizung, Klima, Sanitär, Gebäudeautomation, 16-26.
- [11] Recknagel, H., Sprenger, E., Schramek, E. R. (2000) *Recknagel-Sprenger-Schramek Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik*, München, R. Oldenbourg Verlag.
- [12] Fanger, P. O. (1988) "Introduction of the olf and the decipol units to quantify air pollution perceived by humans indoors and outdoors", *Energy and Buildings*, 12, 1-6.
- [13] Kruppa, B., Bischof, W., Brasche, S., Bullinger-Naber, M., Mayer, E., Gebhardt H. (1999) "Befindlichkeitsstörungen in Bürogebäuden – Ergebnisse aus dem Proklima Forschungsprojekt", *DKV-Tagungsbericht Berlin, Band 4*, 234-248.
- [14] Bluysen, P. M., de Oliveira Fernandes, E., Groes, L., Clausen, G., Fanger, P. O., Valbjørn, O., Bernhard, C. A. and Roulet, C. A. (1996) "European indoor air quality audit project in 56 office buildings", *Indoor Air*, 6, 221-238.
- [15] **CEN CR 1752** (1998) *Ventilation for buildings: Design criteria for the indoor environment*, Brussels, European Committee for Standardization.
- [16] Djukanovic, R., Wargocki, P. and Fanger, P. O. (2002) "Cost-benefit analysis of improved air quality in an office building", In: *Proceedings of Indoor Air 2002, The 9th International Conference on Indoor Air Quality and Climate*, Monterey, USA (in press).
- [17] Wargocki, P., Sundell, J., Bischof, W., Brundrett, G., Fanger, P. O., Gyntelberg, F., Hanssen, S. O., Harrison, P., Pickering, A., Seppänen, O. and Wouters, P. (2002) "Ventilation and Health in Nonindustrial Indoor Environments. Report from a European Multidisciplinary Scientific Consensus Meeting", *Indoor Air*, 12, (in press).





Kälteträger,
Wärmeträger:

® PEKASOL L
GLYKOSOL N
® PEKASOL 2000

... und es läuft!



pro KÜHLSOLE GmbH
Maurerstraße 46
52477 Alsdorf
Tel.: +49 24 04 67650
Fax: +49 24 04 6765 10
www.prokuehsole.de

© www.fbee.de

Die Welt ist keine Scheibe - Ihre Anzeigen auch nicht [...]



innovatools

Werkzeuge für den Erfolg

Fach.**Journal**

Fachzeitschrift für Erneuerbare Energien & Technische Gebäudeausrüstung

[Hier mehr erfahren](#)



innovapress

*Innovationen publik machen
schnell, gezielt und weltweit*

Filmproduktion | Film & Platzierung | Interaktive Anzeige | Flankierende PR | Microsites/Landingpages | SEO/SEM | Flashbühne