

Wohnungslüftung, Feuchte und Schimmel in Wohnungen – ein neues Problem?

Werner Eicke-Hennig

1. Wohnhygieneprobleme – auch bei undichten Gebäuden

Schimmelschäden und hohe Schadstoffkonzentrationen würden durch „zu dichte Häuser“ verursacht und Niedrigenergiehäuser seien zu dicht, deshalb benötigten sie Lüftungsanlagen, so eine recht häufig gebrauchte These in der Diskussion um energiesparendes Bauen. Jedoch, nicht immer sind die einfachen Erklärungen die Besten.

Das folgende Zitat entstammt keinem neuzeitlichen Heft für „gesundes Wohnen“, sondern dem Jahr 1893: „Auf Schritt und Tritt trifft man heute noch Räume und ganze Gebäude in Verhältnissen, in denen sich kein Mensch wohlfühlen vermag. Zahlreiche Kasernen, deren schlechte Lüftung sich schon den Geruchsnerve der Vorübergehenden bemerkbar macht, gehören hierunter noch lange nicht zu den gesundheitswidrigsten Bauanlagen“ [Haase].

Pettenkofer beschrieb 1858 Krankheiten auf Grund bedenklicher Innenluftzustände, ohne dass aus dieser Zeit das Vorhandensein von dichten Fenstern mit Lippendichtungen bekannt wäre: „Einen fernern Grund, auf reine Luft in den Wohnungen strenge zu halten, haben wir in der Erfahrung, dass schlechte Luft die Quelle vieler chronischer Leiden ist, und das sie sicherlich einen großen Anteil an den Volksübeln: Scrofeln, Tuberkeln etc. hat. Wo also die natürliche Ventilation nicht ausreicht, die Vermehrung des Kohlensäuregehaltes der Luft in unsern Wohn- und Schlafräumen um 1 pro mille zu verhindern, dort hat künstliche Ventilation einzutreten“ [Pettenkofer].

Flügge beschreibt 1922 für den Gebäudetyp „Kleinhäuser“ (1–4 WE), den er zunächst aus hygienischer Sicht positiv gegen die Mietskaserne abhebt, trotz dieser Qualität, die folgenden damals bekannten Probleme der Innenluftzustände äußerst drastisch: „Verhältnismäßig selten wird die Frage erörtert, wie solche Kleinhäuser zu lüften sind (...) Den eigentlichen Anlaß zur Lüftung geben andere Veränderungen der Wohnungsluft.(...) Eine belästigende Ansammlung dieser Gerüche ist am häufigsten in den Schlafräumen zu beobachten ... die anhaltend 8 bis 10 Stunden besetzt sind, ohne daß irgendein Luftwechsel stattfand. Die üble Beschaffenheit der Luft in solchen Schlafräumen fällt jedem auf, der gegen Morgen den Raum betritt. Kommen Krankheiten oder Wochenbetten vor, so häufen sich noch mehr Gerüche und erregen bei

dem Eintretenden Ekelgefühl, das zu flacher Atmung und Widerwillen gegen Nahrungsaufnahme Anlaß gibt und sich bis zur Übelkeit steigern kann. (...) Auch in den Wohnräumen kommt es bei dauerndem Aufenthalt und in der Heizperiode, wo die Räume völlig geschlossen gehalten werden, zu einer erheblichen Ansammlung belästigender Gerüche. –Eine andere Art von Gerüchen entsteht in der Küche beim Kochen von Kohl und Rüben, beim Aufwaschen des Geschirrs usw., und da im Kleinhaus der Wohnraum in enger Verbindung mit Küche und Aufwaschraum zu stehen pflegt oder von diesem überhaupt nicht getrennt ist, muß Vorsorge getroffen werden, daß auch der Gehalt der Luft an so entstandenen riechenden Gasen nicht eine zu unangenehme Steigerung erfährt“ [Flügge 1922].

Mangelnde Innenluftqualität ist also kein neues Problem. Die Berichte über eine unbefriedigende Raumluftqualität gehen bereits mehrere Jahrhunderte zurück und lassen sich auf der Zeitachse noch bis in die Zeit der offenen (!) Hütten verfolgen. Damit soll nicht die bequeme Aussage gepflegt werden, die Probleme seien schon immer vorhanden gewesen und wir wären heute etwa nur empfindlicher geworden; das wäre trivial.

Vielmehr dürfen nicht die falschen „Lösungen“ verfolgt werden: Fugendundichtigkeiten in Außenbauteilen und auch das Material der Außenwände (im folgenden Zitat wahrscheinlich dünne Lehmwände) waren nie ein Beitrag zur Innenluftthygiene und sind es auch heute nicht. Der Luftwechsel durch Fugen und Ritzen reichte auch bei Fenstern ohne Lippendichtungen und offenen, nur verhängten Türöffnungen nie aus, um die Schadstoffe ausreichend zu verdünnen und abzuführen.

- „Die Benutzung offener Feuerstellen zur Beheizung und Speisenzubereitung in Hütten, wie sie für die ärmste Bevölkerung armer Länder typisch ist, führt nach *Sofoluwe* (1968) zu außerordentlich hohen Schadstoffkonzentrationen in der Raumluft, sowie zur Schwärzung der Wände...“ [Witthauer].
- Trotz offener Fenster- und Türöffnungen wurden bei der Untersuchung in afrikanischen Slumwohnungen hohe Konzentrationen an toxischen Gasen und aromatischen Kohlenwasserstoffen (bis zu 300 mg/m³) in der Raumluft festgestellt [Witthauer].
- Bei Kaminheizung in einem gut belüfteten Haus in einem norwegischen Reinluftgebiet wurden im aus der Raumluft extrahierten Staub die krebserzeugenden polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffe bis zu 150 ng/m³ gefunden [Witthauer, S. 45].

- Die starke Belastung der Innenluft durch Koheleöfen und Kamine bestätigten 1996 unverändert *Moriske* u. a. [*Moriske*].
- 1910 stellte *Nußbaum* in Deutschland bei Innenluftanalysen „...in gesammelten Staube aus städtischen Wohnhäusern bis zu 40 % von Pferdedungresten fest“ [*Körting* 1910].
- Weit außerhalb von Industrie- oder städtischen Verdichtungsgebieten wurden in Dörfern im Himalaya bei Ofenheizung, „hohe Belastung der Außen-, vor allem aber der Raumluft durch die Heizung mit niedrigkalorischen festen Brennstoffen..“ vorgefunden [*Wittauer*, S. 47].
- *Lessing* schreibt zum Problem der Innenluftqualität in der Heizperiode kurz und knapp 1778 in den Wolfenbütteler Schriften: „Wer das Feuer genießen will, muß sich den Rauch gefallen lassen“ [*Faber*, S. 43].
- Die sogenannten Rauchhäuser als Typus des ländlichen Wohnens werden in ganz Europa jahrhundertlang und nachweislich in ländlichen Gebieten Deutschlands auch bis in die fünfziger Jahre unseres Jahrhunderts hinein genutzt. Die Einführung des Schornsteines mit Abzug über Dach gelingt erst endgültig im 19. Jahrhundert. Im Rauchhaus zog der Rauch des offenen Herdfeuers durch die Diele und das ganze Haus zum Dach (Undichtheiten), durch das Giebelloch oder die offenstehenden Tore hinaus. An die Tenne mit offenen Feuer schlossen ohne Zwischenwände die Einstellboxen der Tiere an. Über der Tenne lagerten Heu und Stroh. *Faber* schreibt hierzu: „... die Herdstelle (ist) überwölbt, um auffahrende Funken zurückzuhalten. Das Feuer brennt auf einer 50 cm hohen gemauerten Platte, darüber wird auf dem Dreifuß in der Bratpfanne geschmort oder im Topf gekocht. Aus dem flach tonnengewölbten Funkenfang, einer schildartigen Kappe aus Stakengerippe mit Flechtwerk, das gut mit Lehm verstrichen und feuerfest gemacht ist, zieht der Rauch durch ein weites Loch in der Küchendecke ab. Der 2-3 m weite Rauchschtlot ist gegen den Dachboden oder die Kammern des Oberstocks durch Holzschalung abgeschlossen. Sofern er nur bis zum Dachboden reicht, füllt der Herdrauch den ganzen Raum; er kann sich nur allmählich durch ein Giebelloch oder die Lücken zwischen den Dachziegeln oder -schindeln verziehen. Im letztgenannten Falle wird mit der Zeit der ganze Dachstuhl mit Holzteer durchtränkt, der das Gestühl hart gegen Fäulnis, gegen den Holzwurm und Witterungseinfluß macht. (...) Solange noch der Hausrauch die Atmosphäre des Hauses bestimmte, konnte von angenehmen Wohnen und Leben keine Rede sein. Solange in dem einen und einzigen Raum des Hauses Mensch und Haustier, Kind, Kegel, Gast und Wirt sich um die einzige rauchende Feuerstelle sammelten, dort wirtschafteten, gibt es keine gehobene Wohnkultur weder in der sog. Gesellschaft noch beim einfachen Bürger und Bauern“ [*Faber*, S. 23/24, 40].
- Es gibt also jahrhundertlang eine negative Verbindung zwischen massiven Fugenundichtheiten und mangelhafter Heiztechnik mit Schadstofffreisetzung in das Gebäude hinein. Die Undichtheiten sind angesichts der massiven Schadstoffbelastung der Innenluft aus der Hausheizung völlig bedeutungslos für eine gesunde Raumluftqualität.
- Auch die „*Pettenkofer-Grenze*“ von 1-1,5% CO₂-Gehalt der Raumluft als Obergrenze ermöglicht die Bewertung früherer Raumluftzustände bei undichteren Gebäuden mit Fensterlüftung. Während *Pettenkofer* noch 1% als Obergrenze festlegte, werden heute 1,5% wegen der höheren CO₂-Außenluftkonzentration herangezogen:
 - Von Prof. *Pettenkofer* 1858 durchgeführte CO₂-Messungen in Innenräumen, (von äußerst undichten Gebäuden), zeigen kräftige Überschreitungen des von *Pettenkofer* entwickelten CO₂-Grenzwertes:
 - 3,8-4,9% CO₂-Gehalt der Luft in einem Münchner Lokal nach 1,5 Stunden bei 16-20 Personen-Belegung (6000 „Cubikfuß“),
 - 7,2% CO₂-Gehalt der Luft in einer Schule mit 70 Schülern nach 2 Stunden,
 - 2-3% CO₂-Gehalt der Luft in einem Münchner Gebärdhaus (mit schlecht funktionierender Schwerkraft-Entlüftungsanlage) [*Pettenkofer*].
 - *Heck* und *Schwarz* zeigen 1921/22 in Berliner Schulen, dass während des Unterrichts „... die von *Pettenkofer* geforderte Höchstgrenze von 1% leider stets überschritten wurde“ [*Schwarz*]. Am Ende des Unterrichts wurde ein CO₂-Gehalt der Luft bis zu 3,3% gemessen, wobei *Heck* durch Messungen fast ungewollt ein Problem alleiniger Fensterlüftung deutlich macht, das Fehlen eines gleichmäßigen und dauerhaften Luftaustausches: „Wurde die Luft untersucht, nachdem zwei Unterrichtsstunden ohne Pausenlüftung vergangen waren, so wurden 4% CO₂ gefunden, nach 5 Minuten dauernder Lüftung durch Offenhalten aller Fenster sank die Zahl wieder auf 0,93% ab; wurde dann nach 40 Minuten weiterer Unterrichtszeit wieder untersucht, ergaben sich Werte von 2,4%“ [*Heck*].
 - *Schimpke* zeigt 1911, daß der CO₂-Gehalt in den von ihm untersuchten Schulräumen bereits nach 30 Minuten über 2% lag [*Schimpke* in: *Schumacher*].
 - In einem modernen Schweizer Schulhaus wurden 1991/92 (!) trotz dichter Gebäude- und vor allem Fensterfugen keine anderen CO₂-Werte bei Fensterlüftung gefunden: Der Höchstwert lag bei 3,3%, in 70% der Zeit lag die CO₂-Konzentration der Klassenluft über 1,5%, wenn keine „überlegte“ Fensterlüftung durchgeführt wurde. Waren die Lehrer hinsichtlich des Lüftungsverhaltens instruiert, wurde die *Pettenkofergrenze* bei Fensterlüftung trotz dichter Fenster- und Gebäudefugen nur noch in 15% der Zeit überschritten [SIA D 090]. Interessant ist der Vergleich der Meßwerte bei ganz unterschiedlichen Dichtheitsstufen der Gebäudehülle und der Fenster, wie er angesichts der Messungen für Schulhäuser möglich ist (*Bild 1*). Es zeigen sich bei fenstergelüfteten Klassenräumen bei den historischen Messwerten höhere Konzentrationen, als bei den neueren Gebäuden aus den 30ziger und 60ziger Jahren. Am Besten schneidet daß Gebäude „Gumpenwiesen“ mit Zu-/Abluft-Lüftungsanlage ab. Der Wert könnte dann dem Grenzwert entsprechen, wenn die geförderte

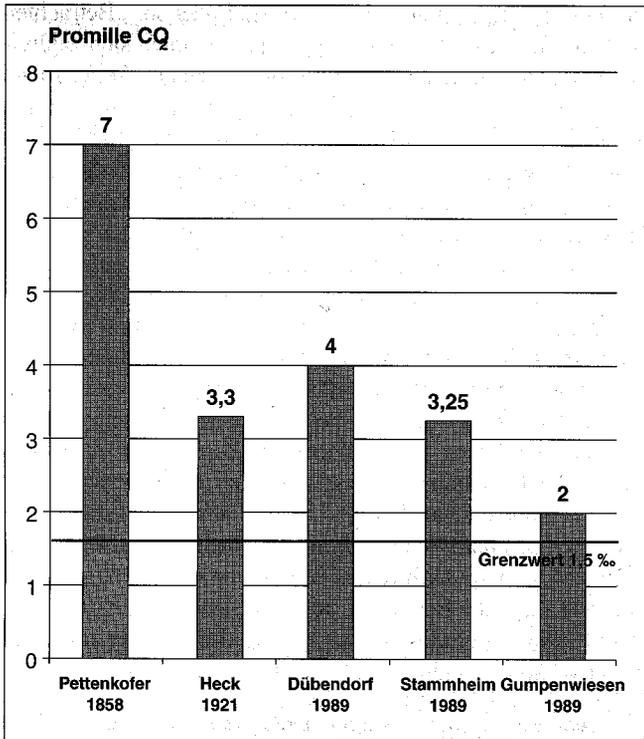


Bild 1. CO₂-Messung in Klassenräumen von 1858–1991.

Luftmenge leicht erhöht würde. Das Gebäude hat einen n_{50} -Wert von $1,0 \text{ h}^{-1}$.

Undichte Bauteile waren also noch nie eine Garantie für einen hinreichenden Luftwechsel. Ganz im Gegenteil wurden bereits vor 140 Jahren bei undichten Fenstern und Türen problematische Innenluftzustände gemessen. Wer sich bei der Luftqualität auf Fugenundichtigkeiten verlässt, wird in einem ungesunden Raumklima leben müssen. Eine gute Raumluftqualität braucht mehr als den bequemen Glauben, bautechnische „Nachlässigkeiten“ – und ein solches sind Fugen und Ritzen in Außenbauteilen – würden es schon richten.

2. Die Mängel der Fugenlüftung

In den seit 1858 gemessenen Lüftungsdaten und CO₂-Konzentrationen bei geschlossenen Fenstern (Fugenlüftung) wird empirisch nachgewiesen: Der Luftwechsel durch Fugen und Ritzen ist keine ausreichende Größe für eine gute Raumluftqualität. Dieser Tatbestand wurde auch in dem BMFT Forschungsprojekt Lüftung im Wohnungsbau an 3 Mehrfamilienhäusern, Baujahr 1975/76, 40/56/44 Wohneinheiten messtechnisch und rechnerisch verifiziert [Bley 1986]: „Die Berechnungen und Messungen haben gezeigt, dass die reine Fugenlüftung in allen Gebäuden die Anforderungen des hygienisch erforderlichen Luftwechsels nicht erfüllen.“ Eine messtechnische Untersuchung in der Schweiz zeigt Luftwechselraten in Neubauwohnungen bei geschlossenen Fenstern (2-Zimmerwohnungen, Lage: 6./7. Stock eines Mehrfamilienhauses, bei schwachem Wind, Temperaturdifferenzen um 15°C) von nur 0,13–0,15 h⁻¹ und bestätigt damit wiederum die auch in anderen Untersuchungen gemessenen zu geringen Luftwechselzahlen durch Undichtigkeiten [EMPA a 1977]. Die selbe Untersuchung enthält auch Untersuchungsergebnisse einer Attikawohnung (exponierte Windlage) mit starker Befensterung und damit großen Fugenlängen. Hier werden bei geschlossenen Fenstern (Windstärke 2,5–4,5 m/s) Luftwechselraten zwischen 0,64 und 0,68 h⁻¹ ermittelt, ein 10 cm geöffnetes Fenster oder eine um 45° geöffnete Balkontür im Wohnzimmer erhöhen die Luftwechselrate bei Windgeschwindigkeiten von 1,0 bis 1,5 m/s auf 1,2–2,3 h⁻¹. Der Bericht weist bei solchen Werten in Wohnungen in windexponierter Lage auf „... Klagen über Zegerscheinungen in Attikawohnungen..“ hin. Ein Beleg dafür, dass hier Fugen- wie Fensterlüftung keinen Raumkomfort sichern können und die Fensterlüftung an Tagen mit Windbelastung letztlich unterbleiben wird (siehe unten: Taggart 1913).

Für die Unzulänglichkeit der Fugenlüftung gibt es physikalische Ursachen, insbesondere die mangelhaften Antriebskräfte und die Ungerichtetheit der Luftströmungen im

Tabelle 1. Gemessene und gerechnete Luftwechselraten durch Fugenundichtigkeiten (ohne aktives Lüftungsverhalten).

Autor/Quelle	n pro Stunde	Jahr	Bedingung
Ilzhöfer	0,13–1,4 Ø 0,52	1931	CO ₂ -Messung, schwacher Wind, Windstille und EG-Whng. 0,32
Hauser, Gertis	0–0,5	1979	Fenster, Türen zu
Hausladen	0,1–0,6	1979	Wohnräume, Windgeschwindigkeit 2 m/s
Derselbe	0,1–0,4	1979	Schlafräume
Derselbe	<0,2	1979	Wertunterschreitung 50% der Heizperiode
Flügge/Wolpert	0,33/0,19/0,31	1937	in „Kleinhäusern“
Kißkalt	0,97	1937	bei Windstärke 7
Georgii	0,36	1954	2,3–2,7 m/s Wind; Aerosolmessungen
Gorgii	Absinken von 0,62 auf 0,30 h ⁻¹ durch Linoleum auf Holzdielen (Luftwechsel von Raum zu Raum durch Holzbalkendecke) Interessant für Pettenkofers Versuch 2, s. u.	1954	2 ähnliche Räume, jedoch in einem Fußboden aus Linoleum. Selbstlüftung halbiert sich.
Wellner	0,5–0,6	1932	165 Messungen, CO ₂ -Messungen
Hausladen	0,3	1978	Wellner-Werte, umgerechnet auf Aerosolmessung (realistischere Werte)
Hausladen	0–0,2	1978	5-geschossiges Gebäude
Panzhauser	0,24–0,36	1985	Massivbauten Holzfenster

Haus. Der unkontrollierbare Luftwechsel durch Fugen und Ritzen in der Umfassungsfläche herkömmlich errichteter Gebäude ist im Volumen nicht ausreichend (im Mittel max. $0,1-0,2 \text{ h}^{-1}$) und ungleichmäßig auf Tage mit starkem Windanfall oder hohen thermischen Auftrieb beschränkt. Das Strömungsmuster in Wohngebäuden bedingt, daß hierdurch Wohnräume in Obergeschossen oder auf der Windsogseite ihre Zuluft als verbrauchte Abluft aus den Untergeschossen oder aus Räumen der Winddruckseite erhalten. Aus der Diskussion von Hygienikern ist bekannt, dass die Strömungsmuster in undichten Mehrfamilienhäusern, z.B. in Hochhäusern zur Konzentration von Erkältungskrankheiten in den oberen Stockwerken führen können, weil diese Stockwerke ihre „Frisch“luft aus der verbrauchten und keimbelasteten Luft der unteren Stockwerke beziehen [Oeter 1975; Lauter 1990].

Fugen und Ritzen in der Gebäudehülle sind aus Gründen der Energieeinsparung, des Wohnkomforts (Gefahr der Zugluft an windstarken Tagen) und der Gefahr von Bauschäden (konvektiver Wasserdampftransport von innen nach außen) zu vermeiden. Die sogenannte „freie Lüftung“ muss aus diesen Gründen als eine hygienisch nicht ausreichende und nicht dauerhaft wirksame Methode der Wohnungslüftung eingestuft werden. Aufgegeben werden muss die Illusion, Fugen und Ritzen seien ein Beitrag zur Frischluftversorgung von Wohngebäuden. Sie sind eher ein Beitrag zur Erzeugung von Bauschäden durch Tauwasserausfall.

Die Mängel der Fugenlüftung im Überblick:

- Die Antriebsmotoren für den Fugenluftwechsel sind der Wind und der thermische Auftrieb im Gebäude. Diese Antriebsfaktoren sind nicht immer und in sehr unterschiedlicher Intensität vorhanden.
- Daraus resultiert: Die erzielbaren Außenluftfraten schwanken je nach Jahreszeit, Witterung, Lage der Fugen und Fugengeometrie sehr stark.
- Soll das gleitende 10-Tagesmittel der Außenluftfrate $0,4 \text{ h}^{-1}$ nicht unterschreiten, muss das Gebäude äußerst undicht geplant werden, bei 50 Pa Unterdruck müsste eine Luftwechselrate von 20 h^{-1} in Kauf genommen werden. Bei solch großen Undichtigkeiten sind Bauschäden unvermeidbar. Bei stärkerem Wind würden sich reale Luftwechselzahlen bis 11 h^{-1} ergeben und damit starke Zugescheinungen in der Heizperiode [Feist].
- Der Heizenergiebedarf würde sich bei Wind um bis zu 80% erhöhen und Probleme mit der Heizleistung entstehen.
- Die Richtung der Luftströmungen im Haus ist willkürlich. Je nach Winddruck- und -sogverhältnissen werden Luftverunreinigungen z.B. erst quer durch die Wohnung „gedrückt“, bevor sie das Gebäude verlassen.
- Zusätzliche Gefahr: Tauwasserschäden in den Fugen.

3. Fensterlüftung ist Zufallslüftung

Bisher werden Wohnungen fast ausschließlich über die Fenster gelüftet. Fensterlüftung kann man mit einem gewissen Recht als Zufallslüftung bezeichnen [Mürmann 1994]. Die bisher in Wohngebäuden einzig mögliche freie Lüftung ist nicht geeignet, einen ausreichenden Luftwechsel in Wohnungen sicherzustellen. Auch dieser Tatbestand ist an sich nicht neu, wohl aber

in Vergessenheit geraten. 1913 liest sich das so: „Betrachten wir nun die Fensterlüftung. In Räumen, in denen sich zahlreiche Menschen aufhalten, bedeutet sie bei kaltem Wetter soviel wie keine Ventilation, denn in den meisten Fällen werden die Insassen die Fenster nicht offenhalten“ [Taggart 1913]. Dies bestätigt Flügge 1922: „Aber im ganzen wird von der Querlüftung, auch wenn sie durch gegenüberliegende Fenster sich leicht herstellen läßt, doch sehr selten Gebrauch gemacht. In den Kleinhäusern der Arbeiterstadt Staaken bei Spandau, wo durchgehend Fensterquerlüftung vorgesehen ist, ergab eine Umfrage, daß diese nur Ausnahmsweise, meist kaum ein- oder zweimal im Jahr, in Gang gesetzt wird. Der Grund liegt darin, daß während einer solchen Lüftung das Zimmer nicht bewohnt werden kann wegen der stark belästigenden Zugescheinungen (...) Fensterlüftung in der Form der Zuglüftung macht das Zimmer unbewohnbar und ist daher nur ausnahmsweise für kurze Zeit anwendbar“ [Flügge 1922]. Diesen Tatbestand zeigt auch die oben bereits angeführte Untersuchung von 3 Mehrfamilienhäusern im Auftrag des BMFT, wenn vorsichtig formuliert wird: „... die Bewohner (müssen) den erforderlichen Frischluftbedarf durch Öffnen der Fenster decken. Der sich dann in den jeweiligen Räumen einstellende Luftwechsel liegt zwischen 1,8- und 2,5-fach pro Stunde und damit auch hinsichtlich der Frischluftfrate erheblich über den Anforderungen“ [Bley 1986].

In Schweden wurden 1992 u.a. die Lüftungsraten (Fugen + Fensterlüftung) in 90 Gebäuden über einen Monat näher untersucht. Die Ergebnisse zeigten einen Luftaustausch zwischen $0,2$ und $0,38 \text{ Liter/sec./m}^2$ Wohnfläche, entsprechend ca. $0,26-0,5$ Luftwechsel pro Stunde, wobei Mehrfamilienhäuser einen höheren Luftwechsel als Einfamilienhäuser aufwiesen. Die Ergebnisse sind insgesamt nicht unbefriedigend, jedoch liegt die „... Lüftungsrate bei mehr als 80% aller Ein- und mehr als 50% aller Mehrfamilienhäuser niedriger (.) als $0,35 \text{ l/s pro m}^3$ oder $0,5 \text{ l/h}$ “ [Kronvall 1995; Norlen 1993]. Die schwedische Untersuchung schließt bereits einen hohen Anteil von Gebäuden mit Lüftungsanlagen ein, so dass die Werte nicht ohne weiteres auf Deutschland zu übertragen sind. Sie geben damit einen Hinweis darauf, daß über Fensterlüftung ein ausreichender Raumluftwechsel von Wohnungen in der Regel nicht zu erwarten ist.

Die Fensterlüftung ist von der Disziplin der Bewohner abhängig, wird zyklisch immer nur nach spürbarer Verschlechterung der Raumluftqualität ergriffen (Gerüche, beschlagene Scheiben), häufig genug unterlassen (s.o.), kann wegen äußerer Lärmbelastung in vielen Wohnungen nicht oder nur tageszeitlich eingeschränkt vorgenommen werden, ist für Berufstätige oder z.B. nachts in Schlafräumen oder wegen Einbruchgefahr (EG-Wohnungen bei Abwesenheit) kaum im erforderlichen Umfang realisierbar. Streng genommen müßte bei Fensterlüftung die Grundrissorganisation und die Lage der Wohnungen darauf abgestimmt werden, Querlüftung müsste immer möglich sein; keine einseitig orientierten Grundrisse etc. [hierzu schon Sitte in: Flügge 1922].

Mängel der Fensterlüftung

- Lüftungsdisziplin nach jahreszeitlich variablen Tagesplan erforderlich.
- Bei Abwesenheit der Bewohner keine Abfuhr von Feuchte, Emissionen aus Möbeln, Baustoffen etc.).

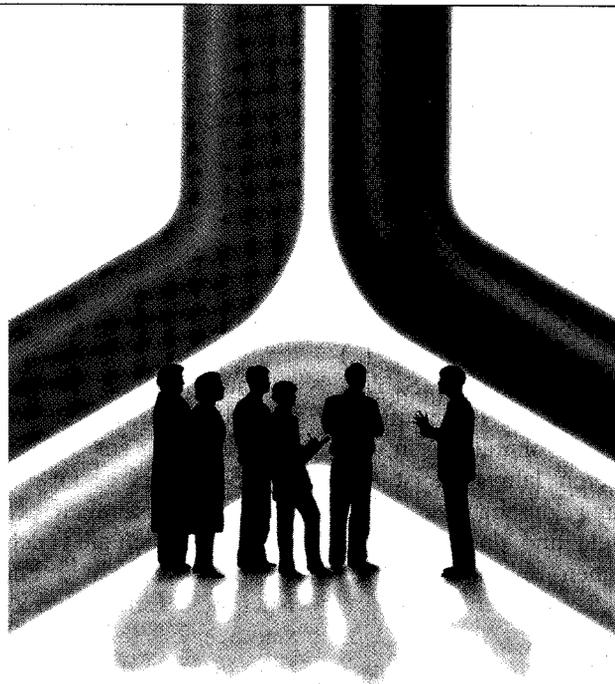
- Keine dauerhafte Lüfterneuerung (Qualitätsschwankungen).
- Keine gleichmäßige Durchlüftung aller Räume, z. T. keine Querlüftung möglich (gefangene Räume).
- Lüftung von Schlafräumen nachts schwer möglich.
- Der Aufwand ist hinderlich (z. T. abräumen der Fensterbänke erforderlich).
- EG-Wohnungen und Einbruchgefahr.
- Geruchsausbreitung im Haus möglich.
- Die Räume in oberen Stockwerken beziehen verbrauchte Luft von unteren Stockwerken (thermischer Auftrieb).
- Bei manchen Nutzungen (Schulen, Krankenhäusern, Büros) ist Fensterlüftung nutzungsstörend (Zugluft im Unterricht in Fensternähe etc.).

- Der Wind als Antriebskraft ist nicht immer vorhanden, in exponierten Lagen oder bei hohen Gebäuden ist Wind häufig störend für die Fensterlüftung.
- Zugluft bei starkem Wind und zu undichten Fenstern.
- Schimmelschäden auf Wänden und in äußeren Raumecken sind auch in Wohnungen mit undichten Fenstern anzutreffen. Stärkere Undichtigkeiten im Leibungsbereich können Auskühlung der Leibungsflächen verstärken (Oberflächenkondensat).

4. Wohnungslüftungsanlagen 1920 ff.

Das Lüften von Gebäuden ist unverzichtbar. Ein hygienisch einwandfreier Luftzustand erfordert unter anderem die Freiheit von Luftschadstoffen, die Begrenzung

**Und was
gibt's
bei Ihnen
Neues?**



SHKG Berlin 2000

3.-7. Mai

Messe für Sanitär-Heizung-
Klima - Gebäudeautomation

Kommen Sie zur SHKG 2000 nach Berlin, um **Erfahrungen auszutauschen** und **Kontakte zu knüpfen**. Die SHKG Berlin ist Ihre Fachaussstellung in den neuen Bundesländern. Hier treffen sich die **Fachleute aus Handwerk, Handel und Industrie**. Hier finden Sie das komplette Produktangebot und die neuesten Entwicklungen.

Herzlich willkommen
zur SHKG Berlin 2000!



Messegelände Berlin · 9-18 Uhr



der relativen Luftfeuchte auf einen physiologisch und bauphysikalisch vertretbaren Bereich sowie die Begrenzung der Raumluftbelastung mit Kohlendioxid, Staubteilchen und Mikroorganismen. Über erste Lüftungsanlagen in öffentlichen Gebäuden, insbesondere Krankenhäusern und Gefängnissen, berichtet *Corbin* für das Jahr 1736. Hier war der Antriebsmotor noch Wasserkraft oder in der Regel schlecht funktionierend: der thermische Auftrieb. Ab Mitte des 19. Jahrhunderts werden in öffentlichen Gebäuden verstärkt Lüftungsanlagen eingebaut und wiederum verschiedene Antriebsmotoren erprobt [*Corbin*]. *Flügge* ging schon 1922 für Wohnungen davon aus, dass sich Lüftungsanlagen zur Verbesserung der Luftqualität „bald“ durchsetzen würden: „Im übrigen haben in der letzten Zeit gesundheitliche Bedürfnisse auch in den breiteren Bevölkerungsschichten rasche Fortschritte gemacht und man kann damit rechnen, daß in absehbarer Zeit derartige Einrichtungen (Lüftungsanlagen der Verf.) gern gebraucht und von den Bewohnern dann unmittelbar gefordert werden.“ Entsprechend der technischen Vorstellungsmöglichkeiten der damaligen Zeit fordert er: „Der vorhandene Temperaturunterschied, der während der Heizperiode zwischen Außen- und Innenluft besteht, läßt sich durch eine Zufuhr von vorgewärmter Frischluft ausnützen, wenn ein einfaches Blechrohr von außen an den Heizkörper herangeführt wird (Bild 2). (...) Für die Lüftung der Schlaf- räume und als Dauerlüftung für die Wohnräume in der wärmeren Jahreszeit ist Absaugung durch über Dach gehende und dort mit einer einfachen Bekrönung versehene Rohre wünschenswert. Auch für den Abort ist Unterdrucklüftung vorgesehen“ [*Flügge* 1922]. Heute wissen wir, dass eine solche Technik ohne elektromotorischen Antrieb nicht hinreichend funktioniert, auf dem Hintergrund der *Flüggeschen* Zeit war der Einsatz von Strom für eine solche Anwendung im Haushalt jedoch aus Kostengründen nicht denkbar. Wichtiger aber ist: hier wurden bereits Lüftungsanlagen als notwendig erkannt, obwohl die Umfassungsflächen der Gebäude alles andere als den heutigen Dichtigkeitsstandard aufwiesen.

Für den Übergang auf Lüftungsanlagen zur kontrollierten Wohnungslüftung sprechen gute Argumente.

Die Vorteile der kontrollierten Wohnungslüftung

- Garantie eines dauerhaften hygienischen Grundluftwechsels, von Windeinflüssen und dem Bewohnerverhalten unabhängig.
- Dauerhafte Lufterneuerung auch nachts und bei Abwesenheit der Bewohner (Stichworte: Badezimmerentfeuchtung, Schlafzimmerentlüftung).
- Optimale Raumluftfeuchte, damit Vorbeugung vor Feuchte-Schimmelschäden.
- Geringere Schadstoffkonzentration der Raumluft (Emissionen aus Möbeln, Klebstoffen, Haushaltschemikalien; jedoch erste Regel: Schadstoffeinbringung in die Räume vermeiden).
- Die Fenster können geschlossen bleiben (weniger Lärm, Abgase, Insekten, Pollen), müssen es aber nicht.
- Ein Beitrag zum „allergiefreien Haus“. Mit Wärmerückgewinnungsanlagen werden Staub, Pollen, Allergene aus der Luft weitgehend herausgefiltert.
- Möglicher Einsatz zur sommerlichen Wohnungskühlung (kältere Nachtluft).
- Optimale Verbindung von erwünschter Energieeinsparung und erforderlicher Innenluftthygiene.

5. Schimmelschäden durch Energieeinsparung ?

Worauf beruhen Schimmelschäden in Wohnungen? Die schnellsten Antworten sind nicht immer richtig: Die Energieeinsparung sei Schuld, der Austausch der Fenster für den Schimmel verantwortlich. Diese Aussage beschreibt nicht die Gesamtheit der Zusammenhänge. Es ist zwar richtig, daß sich die Feuchte- und Schimmelschäden in der Bundesrepublik in 2 Phasen gehäuft feststellen lassen: Nach dem Einbau von Zentralheizungsanlagen Ende der fünfziger Jahre und in Folge der verstärkten Fenstererneuerung (4,35-Mrd-Bund-Länder-Förderprogramm) Ende der siebziger Jahre. Die erste Phase hat nichts mit der Heizenergieeinsparung zu tun, in ihrer Folge steigt der Heizenergieverbrauch sogar an (Komforterhöhung). Die 2. Phase (Fenster austausch) führt zu einer Erhöhung der Raumluftfeuchtigkeit in vielen Wohnungen mit nunmehr dichteren Fensterfugen. Letztlich problemverursachend ist hier, dass die übrigen Außenbauteile in ihrem wärmetechnisch schlechten oder ungünstigen Zustand verbleiben, da das 4,35-Mrd.-Programm fast ausschließlich zur Fenstererneuerung und Heizanlagenmodernisierung genutzt wurde. Nicht „die“ Energieeinsparung führt zu Schimmelschäden, sondern das nicht auf die Gebäudeerfordernisse abgestimmte Vorgehen in der Ausnutzung des 4,35-Mrd.-Förderprogramms. Betrachtet man die Literatur über Schimmelschäden in Wohnungen genauer, zeigen sich verblüffende Tatbestände. Die Schilderungen über ungesunde und feuchte Wohnverhältnisse gehen weit in der Menschheitsgeschichte zurück. Die älteste Quelle ist die Bibel, die für Lehmhütten einen Schimmelschaden beschreibt und Abhilfemaßnahmen nennt: z. Z. des Alten Testaments sind die Priester die Gesundheitspolizei. Im Einzelnen aus einer zusammenfassenden Quelle des Jahres 1913.

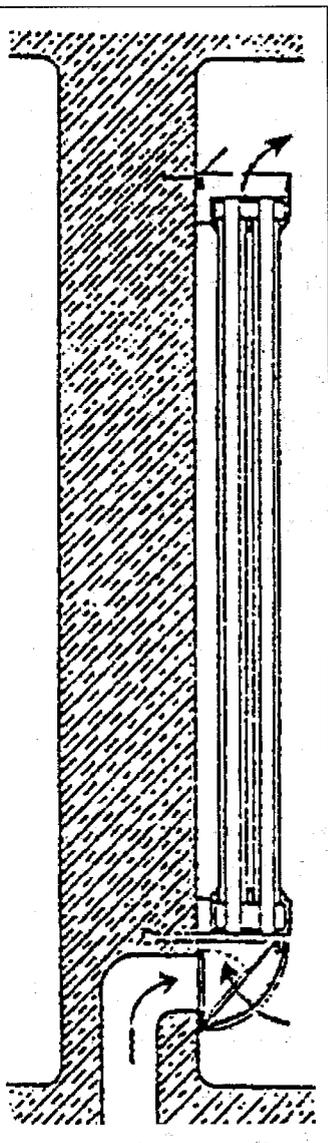


Bild 2.

Schon die Bibel berichtet über Wohnungsschimmel

„So finden wir im dritten Buch *Mose* Kapital 14 in V. 34–48 eine ausführliche und anschauliche Schilderung der Vorstellungen, die man sich machte über die Beziehungen zwischen der Aussatzkrankheit und dem Hause. So wird das Auftreten gewisser gelblicher und rötlicher Pilzwucherungen (Grüblein) an den Wänden eines solchen lepraverdächtigen Hauses beschrieben. Wenn natürlich auch diese Schimmelwucherungen nach unserem heutigen Kenntnisstand nichts mit dem Erreger der Lepra zu tun haben, so ist es immerhin bemerkenswert, dass in so früher Zeit schon eine Beziehung zwischen gewissen pflanzlichen, ausserhalb des Menschenkörpers vorhandenen Organismen und einer bestimmten Menschenkrankheit vorausgesetzt wurde. – Folgerichtig wurden dann an der angeführten Stelle auch Massnahmen angegeben, um solche Leprahäuser zu assanieren (...). Diese Vorstellungen, dass die Krankheitskeime an den Häusern sässen, sind auch zu verschiedenen anderen Zeiten der Geschichte zum Ausdruck gekommen (...).

Besonders gründliche Studien und Erhebungen über Wohnungsfeuchtigkeit haben *Woltersdorf* und später *Abel* in sehr lesenswerten Abhandlungen vorgenommen.

Nach ihnen ist die Wohnungsfeuchtigkeit einer der allhäufigsten Wohnungsschäden. Auch in Neubauten und älteren Gebäuden wird sie sehr häufig beobachtet. Das ist eine altbekannte Tatsache. *Abel* führt aus den sehr sorgfältigen Wohnungsaufnahmen der Stadt Bern aus dem Jahre 1896 an, dass daselbst 3,9%, also fast 4% sämtlicher in der Stadt vorhandenen Zimmer als feucht bezeichnet werden mussten und weiter war zugleich 1% feucht und baulich mangelhaft. In der Stadt von 47 000 Einwohnern warten also 5% sämtlicher Zimmer feucht, d. h. unter 35 000 Zimmern waren 1705 feucht! Unter den Zimmern, die nicht von Hauseigentümern bewohnt wurden, fanden sich sogar 6,4% Feuchte, und von den Schlafzimmern der unteren Volksschichten wurden nicht weniger als 11,2% mit anderen Worten jedes neunte Zimmer, als feucht befunden. Wohnungsstatistiken anderer Städte zeigen ähnliche Bilder und auch die neueste Wohnungsenquête über Berlin von *Albert Kohn* aus dem Jahre 1910 zeigt, dass auch in der wegen ihrer Hygiene so berühmten Metropole noch in neuester Zeit die Wohnungsfeuchtigkeit kein seltener Befund ist.

Die Ursachen der Wohnungsfeuchtigkeit sind mannigfache. *Abel* teilt sie ein in dauernd wirksame und vorübergehend in Kraft tretende (...).

Eine der allhäufigsten Ursachen für die Wandfeuchtigkeit ist der Umstand, dass die Fundamente und die unter Terrain liegenden Gebäudeteile gegen die Bodenfeuchtigkeit nicht genügend geschützt sind (...).

Eine weitere sehr häufige Ursache der Wandfeuchtigkeit ist der Regen, namentlich das vom Boden beim Regen gegen die unteren, mangelhaft geschützten Teile des Hauses schlagende Spritzwasser. Dann aber werden auch die Mauern an der Wetterseite nass, wenn sie nicht gut geschützt sind.

Dünne Mauern werden schneller durchtränkt als dicke; aber ein Durchdringen des Wassers durch die Mauern ist

zur inneren Wandfeuchtigkeit gar nicht mal notwendig, weil Mauern, die von außen feucht und nass geworden sind, sich beim Verdunsten des Wassers schnell abkühlen, die Kälte auf die Innenwand leiten, die nun dadurch ihrerseits feucht wird, dass die Luftfeuchtigkeit der Wohnung sich an den kalten Mauerstellen kondensiert und so die kalte Wand allmählich von innen durchfeuchtet. So kann es kommen, dass Wände, die sonst nur durch Luftzug abgekühlt werden, durch Kondenswasser aus der Wohnungsluft stark durchfeuchtet werden, ebenso verhalten sich Wände aus gut leitenden, nicht porösen Baumaterialien. Diese kühlen sich schnell ab und rufen Wasserkondensation auf der Innenseite hervor“ (...).

Eine weitere Ursache wird in den Mauersalzen gesehen. „Diese Salze sind stark hygroskopisch und ziehen bei feuchtem Wetter Wasser an. Dann entstehen nasse Flecken an der Wand, die bei trockenem Wetter wieder verschwinden, da dann das Wasser an die trockene Luft wieder abgegeben wird. Der wechselnde Zustand von Nässe und Trockenheit führt nun einen meist reparierbaren Schaden der Mauern herbei, der als Mauerfrass bezeichnet wird und mit einer Auswitterung von Salzkristallen einhergeht, die den Mörtelbewurf zerstören, es sind dabei in den organischen Stoffen reichen Massen auch Bakterien mittätig“ (...).

„Eine weitere Quelle vorübergehender Wohnungsfeuchtigkeit entsteht durch das Wohnen und Wirtschaften in den Räumen selbst. Schon der Aufenthalt vieler Menschen in einem nicht ausreichend ventilierten Zimmer macht die Wohnungsluft übermässig feucht, denn erstaunlich groß sind ja die Wassermengen, die durch die Atmung und die Wasserverdunstung von der Haut aus dauernd vom Menschen an die umgebende Luft abgegeben werden. Sind Wände und Fenster kühl, so kondensiert sich an Ihnen Wasserdampf der Luft. Dasselbe ereignet sich natürlich, wenn in eine Wohnung mit kühlen Wänden beim Lüften von außen wärmere, mit Feuchtigkeit gesättigte Außenluft einströmt. Namentlich aber werden die Wohnungen feucht, wenn in den Wohnräumen gekocht, gewaschen, getrocknet, geplättet wird usw., ohne dass für einen hinreichenden Abzug des Wasserdampfes gesorgt wird“ (...).

„Die Feuchtigkeit in geringem Grade in der Wohnung macht sich bemerkbar durch nasse Flecken an Decken und Wänden, in höherem Grade werden die Wände weithin nass. Auf der Tapete tritt Schimmel auf, der Putz fällt von der Wand ab. Die Holzdielen verfaulen, der Füllboden haucht modrige Gerüche aus, die Betten in einer feuchten Wohnung, ebenso die Kleider und Schuhe werden feucht und fangen an zu schimmeln. Die Holzmöbel werden krumm und verbiegen sich, eiserne Gegenstände werden rostig usw. Die Luft in einer solchen Wohnung ist dumpf und feucht.

Dass feuchte Wohnungen gesundheitsschädlich sind, nimmt das jeder Laie und jeder Arzt an“ (...). So wirkt die Wohnungs-nässe auf mannigfache Art für den Körper wärmeentziehend und ist also ein Anlass zur Entstehung von starken Abkühlungen, führt also zu Erkältungen (...). Die Erkältung bildet aber vielfach die Grundlage für die Krankheiten, die besonders oft bei den Bewohnern feuchter Wohnungen zur Beobachtung kamen; das sind nach

allgemeiner Übereinstimmung Rheumatismen in Form von Muskel- und Gelenkrheumatismen, dann aber auch Neuralgien und mannigfache Katarrhe, die den ganzen Respirationstraktus betreffen. Die Störung der ganzen Wärmeökonomie des Körpers in einer feuchten Wohnung legt also den Grund zu diesen genannten Erkältungskrankheiten. Da aber die Störung der Wärmebilanz eine schwere Schädigung des Körpers und seiner Widerstandskraft darstellt, so verstehen wir vollkommen, wie ein so geschwächter Körper nun auch andern krankheitserzeugenden Momenten, namentlich Infektionsstoffen gegenüber nur eine geringe Widerstandskraft entgegensetzt (...). Die Störung der Wärmeregulierung durch die nasse Wohnung erklärt es nun auch, wie die immer von neuem einsetzenden Erkältungen rheumatische Erkrankungen in feuchten Wohnungen so sehr schwer zur vollen Heilung kommen lassen. Für den Rheumatiker ist daher das Verlassen seiner feuchten Wohnung das wirksamste und notwendigste Heilmittel.

Da in einer feuchten Wohnung alle Gegenstände in einem mehr oder weniger starken Zersetzungsprozess begriffen sind, so erklärt sich hierdurch die Tatsache, dass die Luft in einer feuchten Wohnung nicht nur selbst stark feucht ist, sondern nun auch mit gasigen Zersetzungsstoffen aller Art durchsetzt ist. Solche verdorbene, mit den verschiedensten üblen Gerüchen durchsetzte Luft kann, wenn sie dauernd eingeatmet wird, für den Körper nicht gesundheitsgemäss sein (...).

Neben zahlreichen Schimmelpilzen tritt dann in feuchten Wohnungen auch sehr häufig der Hausschwamm (*Merulius lacrymans*) auf“ (Mosse; Tugendreich, S. 47–59).

Schimmelschäden in Wohnungen sind also keine neue Erscheinung. In den zwanziger und fünfziger Jahren des 20. Jahrhunderts wurden sie sehr intensiv in der Bauforschung dargestellt und die Ursachen und Abhilfemaßnahmen diskutiert. Die Gebäudeausstattung damals: vergleichsweise undichte, einscheibenverglaste Fenster, Ofenheizung, schlechte Fugendichtungstechniken. Vor 70 Jahren las sich das so: „In solchen Wohnungen wird es (...) zu einer starken Auskältung des Fußbodens und der unteren Wandteile kommen; und an diesen Stellen, ebenso an den dort befindlichen Möbeln, Betten usw. muß sich fortgesetzt Wasserdampf aus der für höhere Temperaturgrade gesättigten Luft niederschlagen. Allmählich entsteht auf diese Weise eine Durchfeuchtung der kältesten Wand und der in ihrer Nähe befindlichen Gebrauchsgegenstände; von den Möbeln lösen sich Fourniere ab, die Betten nehmen einen muffigen Geruch an, Stiefel und Tapeten zeigen Schimmelbildung – kurz es bilden sich die Charaktere der „feuchten Wohnung“ aus“ [Flügge].

Die Alten bauten nicht besser

1974 fand im Freilichtmuseum Cloppenburg ein bemerkenswerter Heizversuch in einem „Rauchhaus“ (Bild 3) statt, bei dem die historische Nutzung mit 14 Kühen, einem bis zum Kehlbalke heugefüllten Dachboden und der offenen Feuerstätte (ohne Schornsteinverluste) nachgestellt wurde. Das Hallenhaus ist jener kompakte Gebäudetyp, bei dem ohne Prüfung stets das Zusammenleben von Mensch und Vieh sowie die Heueinlage im Dach als



Bild 3. Rauchhaus

„eine auf lokale klimatische Einflüsse ausgerichtete regionale Architektur“ dargestellt wird, unter dem Motto: „Die Alten bauten besser“ [Faskel]. Der Versuch zeigt, dass dies alles nicht reicht, um Behaglichkeit in den Häusern herzustellen und bei den gemessenen Temperaturen Tauwasser, Reif und Schimmel vorherrschen mußten.

Der Herd (mit Rauchabzug ins Haus) wurde über 3 Monate von Dezember bis Februar in Betrieb gehalten und die sich einstellenden Innentemperaturen gemessen. Facit: „Die thermischen Ergebnisse dieses Versuchs, im Zeitraffersystem zusammengetragen, erbrachten das bemerkenswerte Resultat, dass es im alten niederdeutschen Hallenhaus während des Winters trotz der ständigen „Wärmeausstrahlung“ von Vieh und Herd und trotz eingelagerter Erntevorräte auf dem Dachboden, nur 4–6 Grad wärmer war als die jeweilige Außentemperatur. Dementsprechend war in einem solchen Haus im Winter relativ schnell der Gefrierpunkt erreicht. Die Kälte im Haus, eine der Ursachen für die weitverbreiteten rheumatischen Erkrankungen, wurde durch mehrere Faktoren verursacht: Die Fachwerk-Lehmwände waren dünn und kaum wärmedämmend, der Fußboden war nicht isoliert und leitete Kälte und Feuchtigkeit nach oben, die Türen schlossen nicht dicht; zwischen Wänden und Dach, Holzwerk und Füllungen waren Spalten und Risse, durch die der Wind hindurchzog. Einzig die direkte Strahlungshitze des Herdfeuers vermochte die ringsum Versammelten zu erwärmen. Der Großraum von Diele und Herdraum konnte in den Wintermonaten aber nicht durch Herdfeuer und aufgestalltes Vieh warm und in diesem Sinne behaglich gestaltet werden. Sicher können wir nun die Raumtemperatur nicht mit unseren heutigen Wärmebedürfnissen vergleichen, doch wissen wir aus zeitgenössischen Berichten, dass auch die Menschen damals in ihren Häusern gefroren haben“ (Kaiser, Hervorhebung durch Verf.).

In den fünfziger Jahren wurde bei der Untersuchung von 700 ungedämmten Wohnungen mit Fenstern ohne Dichtungen in 30 % der Fälle Schimmel nachgewiesen und der schlechte Wärmeschutz der Außenbauteile dafür verantwortlich gemacht [Schüle 1957; Reiher 1958]. In den achtziger Jahren zeigt eine Untersuchung von Wohnungen mit Schimmelschäden: in 17% der Wohnungen mit Schimmelfall gibt es noch einscheibenverglaste, unge-

dichtete Fenster. Hier wurde die Ofen- durch Zentralheizung ersetzt und die entfeuchtende Verbrennungsluftzufuhr fiel weg [Erhorn 1988].

Bei Neubauten sind, trotz dichter Fenster, nur in seltenen Ausnahmefällen Schimmelschäden zu beobachten, wenn Wärmebrücken reduziert oder vermieden werden.

Wie kommt es während der Heizperiode zur Schimmelbildung auf den Innenoberflächen von Außenwänden und in Raumecken und Fensterleibungen ?

- Es ist eine Nährstoffgrundlage vorhanden, sie liegt in jeglichem kohlenstoffhaltigen Material vor.
- Es liegt eine höhere Feuchte der Innenraumluft – meist deutlich über 65% r.F. – vor, es sind insbesondere Feuchträume (Küchen, Bäder) oder schlecht belüftete und teilbeheizte Räume (Schlafzimmer) betroffen.
- Die Wände und Decken weisen als Ganzes oder in Teilen (Betonstürze, Ringanker etc.) einen geringen Wärmeschutz auf, die k-Werte liegen über $1,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Damit kühlen sie stark aus und weisen bei kalten Außentemperaturen (-10°C) Innenoberflächentemperaturen von nur noch $13\text{--}15^\circ\text{C}$ auf, während die Innenluft $20\text{--}22^\circ\text{C}$ warm ist.

Die Faktoren müssen stets zusammen auftreten: Trifft feuchtwarme Innenluft auf zu kalte Bauteile, kann sie soweit abkühlen, dass überschüssige Feuchtigkeit auf den kalten Oberflächen als Tauwasser ausgeschieden wird. Dieser Vorgang ist von der Einscheibenverglasung her bestens bekannt und kann mit jeder aus dem Kühlschrank entnommenen Flasche „nachgestellt“ werden. Ein Kubikmeter 20°C warme Luft kann bis zu 17,3 Gramm Wasser als Dampf enthalten, kühlt solcherart wasserdampfgesättigte Luft beim Entlangstreichen an kalten Bauteiloberflächen auf z.B. 15°C ab, scheidet sie 4,5 Gramm Tauwasser/ m^3 aus, bei 10°C sind es 7,9 Gramm/ m^3 . Schimmelpilzsporen brauchen zum Wachstum flüssiges Wasser, sie finden in diesem Tauwasser auf Wänden und Decken ihre ideale Lebensbedingung.

Bild 5 zeigt diesen Zusammenhang am Beispiel einer Außenwanddecke eines Versuchshauses (von insgesamt 30 Versuchshäusern) in Holzkirchen, auf dem ein Streifen mit einer Nährlösung (Magermilch-Roggenmehl-Kleister) gestrichen wurde. Links ist der Versuch im Ausgangszustand zu sehen, der Nährlösungsstreifen ist noch schimmelfrei. Rechts ist nach ca. 8 Wochen ein voller Myzelrasen auf einer Wand mit geringer Wärmedämmung zu erkennen. Die Wand-k-Werte der Versuchshäuser liegen zwischen 0,9 und $1,41 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Die Versuchsbedingungen: Bei realem Holzkirchener Außenklima während der Heizperiode wurden unterschiedliche Beheizungs- und Innenluftfeuchtezustände simuliert, wie sie bei normaler Wohnnutzung auftreten (Feuchteintrag durch Kochen, Wohnzimmernutzung, unterbrochener Heizbetrieb etc.). „Tatsächlich beginnt sofort ein optimales (Schimmelpilz-d. Verf.) Wachstum auf der bestrichenen Fläche, sobald eine dafür ausreichende Feuchtigkeit auf der Putzoberfläche auftritt. Wandschimmelsporen sind in der Luft in ausreichender Menge immer vorhanden. Acht Wochen nach Beginn der künstlichen Bewohnung der Häuser zeigten sich schon beträchtliche Unterschiede in der Schim-

Bild 4. 1958: Schimmelbildung unter einer ungedämmten Betondecke – trotz undichter Fensterfugen.

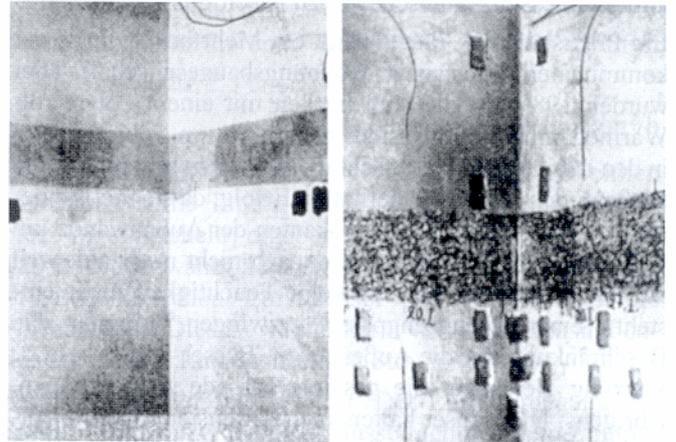


Bild 5. Wandschimmeltest 1955.

melentwicklung auf dem Innenputz, und zwar weitgehend abhängig von den wärme- und feuchtigkeitstechnischen Zuständen (...). Weil die Ecken die tiefsten Temperaturen aufweisen, tritt hier am meisten Schwitzwasser auf. Dieser Zustand spiegelt sich ausnahmslos wieder im Schimmelfall: Hier trat zuerst und am üppigsten Myzel- und Sporenbildung auf. *Je kleiner die Wärmedämmung des Wandmaterials war, desto weiter breitete sich die Schimmelbesiedlung von der Ecke auf die Wandmitte aus*, was der Feuchtigkeitsverteilung auf der Wandfläche entspricht.“[Reiher 1958, Hervorhebung durch Verf.] Die Oberflächentemperaturen während des Versuchs gingen in Wandmitte bis auf $4,8^\circ\text{C}$ herunter (12.3.1953). (Quelle Bild 4 und 5: H. Wandersleb, Neuer Wohnbau, Ravensburg 1958).

Dichte Fenster haben also nur dann einen Einfluss auf den Schimmelfall in Räumen, wenn die Außenbauteile schlecht gedämmt sind. Auf den Punkt gebracht: Es sind insbesondere die ungedämmten, gemeinhin als „atmend“ bezeichneten Außenwände, die am Schimmelfall beteiligt sind, weil sie zu kalte Innenoberflächentemperaturen aufweisen. Ihr vermeintliches „Atmungsvermögen“ ist schon überfordert, wenn Tauwasser von der Innenoberfläche abgeführt werden soll. Da heute auch niemand mehr die Unbehaglichkeit eines einscheibenverglasten Fensters ohne Dichtungen tolerieren würde und dieses, wie die historischen Erfahrungen zeigen, auch keinen Schutz gegen Schimmelfall bieten würde, müssen andere Lösungen gefunden werden.

Sicherheit bietet nur ein Weg, der im obigen Wandversuch von 1955 bereits anklingt: nicht nur die Fenster, sondern

auch der Dämmstandard der übrigen Außenbauteile ist Schritt für Schritt zu verbessern. Wärmedämmung bringt die Wand und die übrigen Außenbauteile in den „warmen Bereich“, sie hebt die Innenoberflächentemperatur der Außenbauteile je nach Ausgangszustand um 2–5 °C an. Gedämmte Außenbauteile „schwitzen“ deshalb nicht, auf ihrer Innenoberfläche kann normalerweise kein Tauwasser mehr ausfallen, eine höhere Innenluftfeuchte bis zu 95 % wird bei k-Werten unter 0,3 W/(m²K) toleriert.

Dämmung beseitigt Schimmelpilzbefall

Viele Wohnungsbaugesellschaften setzen Dämmmaßnahmen gezielt ein, um in Mehrfamilienhäusern hartnäckig auftretende Schimmelschäden zu beseitigen.

Ein Praxisbeispiel: *Bild 6* zeigt ein Mehrfamilienhaus der kommunalen Konstanzer Wohnungsbaugesellschaft. Hier wurden 1989 nur die Außenecken mit einem Polystyrol-Wärmedämmverbundsystem gedämmt, um Schimmelpilz in den dahinterliegenden Schlafzimmern zu beseitigen. Die Maßnahmen bringen dauerhaften Erfolg, da sie die Temperatur in den Innenecken und -kanten der Außenwände um 5 °C anheben. Schimmel tritt danach nicht mehr auf, weil auf den wärmeren Flächen keine Feuchtigkeit mehr entsteht. Finanzierungsengpässe erzwingen mitunter die Beschränkung auf die Außenecken. Besser wäre, die gute Wirkung gleich auf die gesamte Fassade zu übertragen. Übrigens: Die Häuser hatten noch Altfenster ohne Lippen-dichtungen; trotzdem kam es zu dem Schimmelbefall.



Bild 6. Außeneckendämmung gegen Schimmelbefall in Konstanz.

Ganz nebenbei entsteht auch eine höhere Wohnbehaglichkeit durch die höheren Innenoberflächentemperaturen der Außenbauteile nach der Dämmung.

Gleichwohl ist damit nicht gesagt, daß auch in nachträglich gedämmten Gebäuden nicht auch noch Schimmel auftreten kann, wenn die Bewohner eine extreme Teilbeheizung und dabei z. B. die abendliche Schlafzimmertemperatur mit feuchtwarmer Luft aus dem Wohnbereich beibehalten, wenn Wärmebrücken verbleiben, z. B. Leibungen nicht mitgedämmt werden, oder der Kellersockel aus Beton besteht und keine Maßnahmen ergriffen werden etc. Dies spricht jedoch nicht gegen die Tendenz: Die Schimmelfahr nimmt mit Verbesserung des Dämmstandards im Gebäudebestand und stärker noch bei Neubauten ab.

6. Atmende Außenwände – ein Irrtum und seine Folgen

Auch der Luftdurchgang durch massive Außenbauteile wird durch Dämmmaßnahmen nicht verändert. Er hat ohnehin bereits einen kaum messbaren Anteil am Luftaustausch eines Gebäudes.

- Niemand glaubt daran, Toilettengerüche durch die Wand abführen zu können,
- auch die Wasserdampfschwaden beim Duschen können nicht durch die (zudem z. T. gekachelte) Außenwand entweichen,
- die Luft im Schlafzimmer ist, wird mit geschlossenem Fenster geschlafen, am Morgen verbraucht, Wasserdampf und Körpergerüche sind keinesfalls durch die Außenwand verschwunden.
- Auch Schadstoffe werden nicht durch die Wand abgeführt. Dies belegten tragischerweise die Schadensfälle durch Holzschutzmittel im Innenausbau: nach Entfernung der kontaminierten Holzteile traten die Gesundheitsprobleme der Bewohner erneut auf. Untersuchungen zeigten, PCB und andere Gifte hatten sich durch Sorption in den ersten Millimetern aller Möbel und des Putzes der Wände und Decken eingelagert und wurden nun nicht nach außen, sondern wieder an die Raumluft abgegeben.

Wer das Thema Luftqualität in Innenräumen ernst nimmt, muss sich neben schadstofffreiem Innenausbau vor allem auch über die kontrollierte Wohnungslüftung Gedanken machen. Durch Außenwände kann kein Luftaustausch nachgewiesen werden, es sei denn, man baut sie entsprechend undicht und nimmt Zugluft bei Windangriff und Bauschäden (Feuchte) in Kauf, was kein Bauherr tolerieren würde. Nachdem bereits 1928 nachgewiesen wurde, dass verputzte Wände (ohne Dämmung) praktisch luftdicht sind [Raisch 1928], sollte die Aussage, Dämmung mache Häuser zu dicht, heute endlich aufgegeben werden.

Luftdurchgang durch Außenwände – Bereits 1902 und 1928 widerlegt

Die „atmende Außenwand“ ist eine Metapher, die durchaus seit 1858 gepflegt wird. Sie geht zurück auf einen Versuch *M. v. Pettenkofer's*, der vor seinen Studenten im Hör-

saals durch eine Putzprobe (in anderen Quellen: ein Ziegelstein) hindurch eine Kerze ausblies und einen weiteren seiner Versuche, in dem er die Fenster- und Zimmertürfugen seines Studierzimmers abklebte und durch CO₂-Messungen trotzdem noch einen beträchtlichen Luftwechsel feststellte. *Pettenkofer* übersah den Einfluss des Ofens im Raum und die Durchlässigkeit der Dielen und der Verankerungslöcher im Deckenverputz. Zur Ehrenrettung *Pettenkofer*s muss gesagt werden, dass er nie daran glaubte, dass die Porenventilation für einen hinreichenden Luftaustausch sorgen könne, dies wurde erst in der späteren Rezeptionsphase der *Pettenkofer*-Schriften irrtümlich unterstellt – der Gedanke ist auch verlockend bequem.

Flügge weist 1902 auf Untersuchungen zur Luftdichtheit hin und widerlegt die *Pettenkofer*sche These der „Porenventilation“, insbesondere die beiden von *Pettenkofer* ab 1850 in seinen Vorlesungen immer wieder vorgeführten Versuche: „Die Existenz einer solchen Porenventilation wurde durch zwei Experimente bewiesen; erstens wurde gezeigt, dass der Luftwechsel in einem Zimmer, dessen Fugen, Ritzen und sonstige Undichtigkeiten sorgfältig verklebt werden, immer noch sehr beträchtlich ist, obwohl er sich nunmehr nur durch die Poren der Begrenzungen des Zimmers vollziehen kann – derselbe Versuch ist indess später vielfach mit anderem Erfolg wiederholt worden. Sorgt man für dauernd dichten Verschluss aller Ritzen und Fugen und dichtet außerdem noch Fußboden und Decke des Zimmers, so sinkt der Luftwechsel auf 0 herab. Nur bei sehr heftigen Winden ist eine geringfügige Ventilation nachweisbar.“

Das zweite Experiment bestand darin, dass eine Glasröhre auf die beiden gegenüberliegenden Seiten eines Backsteines aufge kittet und dann die übrige Fläche des Backsteins mit Paraffin oder Teer gedichtet wurde. Es gelingt dann durch Einblasen von Luft in das Glasrohr durch den Backstein hindurch z. B. ein Licht auszublase n – Nun beträgt aber der Expirationsdruck beim Blasen leicht 10–20 cm Quecksilber = 1300–2600 kg pro 1 qm Fläche. Mässiger Wind liefert dagegen nur einen Druck von 1–5 kg, starker Wind einen Druck von 20 kg, Sturm einen solchen von 100 kg pro 1 qm, so dass also aus diesen an einem sehr kleinen Querschnitt angestellten Experiment noch keine Folgerungen für den unter Winddruck oder durch Temperaturdifferenzen bewirkten Luftdurchgang durch den Stein zu ziehen sind.

Später ist dann die Durchlässigkeit der Steine für Luft genauer quantitativ geprüft. Dabei stellte es sich heraus, dass je nach dem Material bei einem Druck von 1 mm Wasser oder von 1 kg pro Quadratmeter nur 5–50 Liter Luft pro Stunde und pro Quadratmeter Wandfläche passieren; dies macht für ein Zimmer mit 14 qm Außenwand und für mittleren Wind von 3 kg Druck 0,2–2,0 cbm stündlicher Luftzufuhr, während der Luftbedarf für ein solches Zimmer mindestens 60 cbm pro Stunde beträgt. Außerdem fand sich, dass die Bekleidung der inneren Wandfläche noch in wechselndem, meist aber sehr erheblichen Grade die Durchlässigkeit herabsetzt; und zwar schon ein Anstrich mit Kalk- oder Leimfarbe, noch mehr ein Tape tenüberzug und wiederum mehr ein Oelfarbanstrich. Ferner wird die Durchlässigkeit wesentlich geändert durch Befeuchtung des Steins; je nach der Feinheit der Poren tritt hier eine Abnahme um 15–90% ein“ [*Flügge*].

Raisch bewies durch Messungen an einem Wand-Ver suchsaufbau, dass der Luftdurchgang durch Außenwände keinen nennenswerten Beitrag zum Luftaustausch dar stellt. Er wies nach, daß zwar die Mauerwerksfugen nicht luftdicht sind, der Innenputz jedoch die luftdichtende Wirkung bringt. Die These von der „Porenlüftung“ durch Wände war in den zwanziger Jahren sehr modern (sie ist es auch heute wieder) und wurde mit der Dissertation von *Raisch* endgültig widerlegt. Die Ergebnisse, umgerechnet auf normale Luftdruckverhältnisse:

- Einzelner Ziegelstein: Luftdurchgang 0,001 m³/m²/h
- Ziegelwand 37 cm, Spritzbewurf
und Innenputz 1,5 cm: Luftdurchgang 0,05 m³/m²/h
- Nur Innenputz 2,5 cm: Luftdurchgang 0,025 m³/m²/h
- Nur Innenputz 2,5 cm,
geweißt: Luftdurchgang 0,003 m³/m²/h

Die gemessenen Werte von 1928 für einen geweißten Innenputz (keine Tapete, keine Dispersion, kein Außenputz, keine Kacheln) ergeben für ein Einfamilienhaus mit 130 m² Außenwandfläche einen Luftaustausch von 0,4 m³ = ca. 0,002-fachen Luftwechsel pro Stunde über die Außenwände. Dies ist weit entfernt von dem anzustrebenden 0,5-fachen Luftwechsel pro Stunde (0,4%).

Raisch stellt sehr bildhaft fest: Der Luftdurchgang pro Stunde durch ein einziges Schlüsseloch in einem Zimmer ist 50 mal größer als durch 1 m² Außenwandfläche. Ganz nebenher zeigte die Untersuchung auch: Der einzelne Ziegelstein ist luftdichter, als die gesamte Wand, da die Fugen nicht luftdicht ausgeführt werden können (Haarrisse, nur Teilvermörtelung aus Materialersparnis). Auch dies hat noch heute Bedeutung: Bei gemauerten Massivwänden ist letztlich der Innenputz die luftdichtende Schicht.

Die Mode-These von der atmenden Wand als Luftdurchgang begriffen, lässt noch ein weiteres Problem unberücksichtigt, das schon 1877 benannt wurde und heute angesichts der o.g. Probleme der Schadstoffspeicherung im Innenputz von kontaminierten Räumen nach wie vor aktuell ist: „Die natürliche Ventilation (durch Wände d. Verf.) .. geht nicht so stürmisch von Statten; aber auch wenn dies der Fall wäre, und wenn sie auch wirklich diesen Transport durch die Poren der Baumaterialien übernehmen könnte, so wäre dies gar nicht wünschenswerth. Es wäre da zu befürchten, dass diese Luftwege, mit solchen Keimen zum Theile angefüllt und bei dem zum Wachstum günstigen Umstände, dass die Mauern bald trocken bald nass werden, zu Brutstätten für Infectionskrankheiten aller Art werden möchten“ [*Lang* 1877], was uns wieder auf die Aussagen über den „Aussatz der Häuser“ im 3. Buch *Mose*, Vers 14 zurückführt und auch heute noch ein Problem bei der Sanierung von kontaminierten Räumen ist.

Mängel bei Bauweisen mit schlechtem Wärmeschutz

- Kategorien
 - Bauschäden in der Konstruktion.
 - Feuchteschäden, Schimmelbildung in Wohnungen (Gesundheit, Ästhetik).
 - Unbehagliche Wohnverhältnisse während kalter Winterperioden.

- Hohe, vermeidbare Umweltbelastungen.
- Erscheinungsformen
- Feuchteschäden in Dächern, um Dachflächenfenster durch Fugen und Ritzen.
- Tauwasser auf kalten Innenoberflächen von Außenbauteilen und in Raumecken.
- Schimmelbildung auf kalten, nassen Innenoberflächen von Außenwänden.
- Schimmelbildung in Fensterlaibungen, auf Ringankern etc. (Wärmebrücken).
- Erhöhte Wärmeverluste über Wärmebrücken.
- Zugluft durch Undichtigkeiten in Außenbauteilen und undichten Fensterrahmen.
- Zugluft (Kaltluftabfall) an kalten Außenwänden und an Fenstern mit geringem Wärmeschutz (Einscheibenverglasung, Verbundfenster, großflächige Isolierverglasungen).
- Zugluft durch undichte Dachdämmungen, Steckdosen, Fensterfugen, Estrichrandstreifen etc. an windstarken Tagen.
- Fußkälte in Erdgeschoßwohnungen.
- Unbehagliche Kältezonen in Zimmern während kalter Winterperioden (Raumecken, Fensterbereich).
- Erfordernis hoher Raumlufttemperaturen (22–24 °C), um geringe Oberflächentemperaturen der raumumschließenden Bauteile auszugleichen (unbehagliches Wärmestrahlungsklima).
- Stärkere Raumluftumwälzung durch höhere Heizmitteltemperaturen (Staub).
- Durchfeuchtungen und Stockflecken im Sommer bei zweischaligem Mauerwerk.
- Sommerliche Überhitzungen unter Flach- und Steildächern mit mäßigem Wärmeschutz; sommerliche Aufheizung aller massiven Außenbauteile.
- spürbare Heizkostenunterschiede zwischen Dach-, Eck- und Mittelwohnungen im Mietwohnungsbau.
- Rissebildung in Außenwandbereichen durch thermische Spannungen.
- Thermische Aufheizung und Längenänderungen von Stahlbetonflachdächern, Ringankern, einbindenden Betondecken etc.
- Erhöhter Schadstoffausstoß der Heizanlagen, vermeidbarer Energieverbrauch.

Literatur/Quellen

- Abel, Prof. Dr.:* Die Entwicklung der Gesundheitstechnik während der letzten 50 Jahre und ihre Einwirkungen auf die Gesundheitsverhältnisse in Deutschland. In: *Gesundheits-Ingenieur*, H. 53 (1927).
- AGÖF: *Ökologische Gebäudesanierung II*, Bonn 1993.
- Aurand u.a.:* *Luftqualität in Innenräumen*, Verlag Stuttgart/New York 1982.
- Beckert u.a.:* *Gesundes Wohnen*, Düsseldorf 1986.
- Behounek, F.:* Der Gehalt der Luft an Ionen und Staub bei Klimaanlagen, in: *Gesundheits-Ingenieur*, H. 18 (1939).
- Bischof, Dompke, Schmid, Sick:* *Building Syndrome*, Karlsruhe 1993.
- BMFT: *Tagungsbericht, Lüftung im Wohnungsbau*, Köln 1984.
- Corbin, A.:* *Pesthauch und Blütenduft – Eine Geschichte des Geruchs*, Berlin 1996.
- Daler, R.:* Freie Lüftung, In: *BBauBI H. 5* (1983).
- Diel, F.:* Innenraum-Belastungen, Wiesbaden 1993.
- Döring, W.:* Schadstoffe aus Möbeln. In: *AGÖF, Ökologische Gebäudesanierung II*, Bonn 1993.
- Eberle, Prof.:* Versuche über die Luftdurchlässigkeit und den Wärmeverlust von Fenstern, in: *Gesundheits-Ingenieur*, H. 35, (1928).
- ebök, IWU: *Meßtechnische Überprüfung und Dokumentation von Wohnungslüftungsanlagen in hessischen Niedrigenergiehäusern* (Hess. Ministerium für Umwelt, Energie, Jugend, Familie und Gesundheit Hrsg.), Darmstadt/Wiesbaden 1995.
- EMPA: *Luftwechsellmessungen in nichtklimatisierten Räumen unter dem Einfluß von Konstruktions- und Klimaparametern*, Bericht Nr. 34'020, Dübendorf 1977.
- EMPA: *Luftwechsellmessungen in nichtklimatisierten Räumen unter dem Einfluß von Konstruktions- und Klimaparametern*, Bericht Nr. 36'630, Dübendorf 1978.
- EMPA: *Langzeit-Untersuchungen betreffend Luftdurchlässigkeit und Luftwechsel eines Einfamilienhauses*, Dübendorf 1981.
- EMPA: *Fenster-Lüftungsverhalten der Bewohner zweier Mehrfamilienhäuser in Abhängigkeit vom Außenklima*, Dübendorf 1981.
- Erhorn, H.:* Schäden durch Schimmelpilzbildung im modernisierten Mietwohnungsbau, *Bauphysik 10* (1988).
- Faskel, B.:* *Die Alten bauten besser*, Frankfurt 1982.
- Feist, W.:* *Das Passivhaus*, Dissertation, Darmstadt 1995.
- Feist, W.:* (Hrsg.), *Passivhaus-Bericht Nr. 10, Luftqualität im Passivhaus*, IWU, Darmstadt 1995.
- Fischer, M.:* Strategien zur Sicherung der Raumluftqualität im internationalen Vergleich. In: *Humanökologie*, Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene, Stuttgart 1985.
- Flügge, C.:* „Untersuchungen über Lüftungseinrichtungen in Kleinhäusern“, in: *Zeitschrift für Hygiene und Infektionskrankheiten*, 96. Band, Berlin 1922.
- Flügge, C.:* „Grundriss der Hygiene“, Fünfte, sechste und verbesserte Ausgabe, Leipzig 1902.
- Frank, W.:* Raumklima und Thermische Behaglichkeit. In: *Berichte aus der Bauforschung*, H. 104, Berlin 1975.
- Faber, A.:* *Häusliche Heizung*, o. O., 1957.
- Formánek, E.:* Ueber die Giftigkeit der Außenatmungsluft. In: *Archiv für Hygiene*, Nr. 38, München 1900.
- Georgii, H.-W.:* Untersuchung über den Luftaustausch zwischen Wohnräumen und Außenluft. In: *Archiv für Meteorologie, Geophysik und Bioklimatologie, Serologie*, B 5 (1954).
- Grandjean, E.:* *Wohnphysiologie*, Zürich 1973.
- Grimm, Dr.:* Lungenerkrankungen und feuchte Wohnungen. In: *Gesundheits-Ingenieur H. 21* (1927).
- Haase, F.H.:* *Die Lüftungsanlagen*, Stuttgart 1893.
- Ohne Autor: *Ausreichender Luftwechsel allein reicht nicht aus*. In: *Heizung und Lüftung 1* (1983).
- Hauser, G.:* Einfluß der Lüftungsform auf die Lüftungswärmeverluste von Gebäuden. In: *HLH 30* (1979).
- Hausladen, G.:* *Luftwechsel in Wohnungen*, in: *HLH 29* (1978).
- Hausladen/Krüger:* *Zum Problem der Wohnungslüftung*. In: *HLH 30* (1979).
- Heck, H.:* *Hygienische Untersuchungen in Berliner Barackenschulen*. In: *Zeitschrift für Hygiene und Infektionskrankheiten*, 93. Band, Berlin 1921.
- Hinz, E. und Feist, W.:* *Forschungs- und Demonstrationsgebäude Niedrigenergiehaus Schrecksbach, Abschlußbericht*, IWU Darmstadt 1992.
- Hirsch, M.:* *Grundsätze zeitgemäßer Lüftung*. In: *Gesundheits-Ingenieur*, H. 34, 1928.
- Ilzhöfer, H.:* *Untersuchungen über natürliche und künstliche Lüftung von Wohngebäuden*. In: *Archiv für Hygiene und Bakteriologie*, Nr. 105 (1931).
- Kaiser, H. und Ottenjahn H.:* *Museumsdorf Cloppenburg*, Niedersächsisches Freilichtmuseum, Cloppenburg 1998.

- Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIBN, Luftverunreinigung in Innenräumen, Düsseldorf 1994.
- Korff-Petersen, A.: Zur Hygiene des Wohnungswesens, in: Der Gesundheitsingenieur, 1921, S. 209.
- Korff-Petersen, A.: Der Einfluß von Wandkonstruktion und Heizung auf die Wärmeökonomie von Gebäuden in hygienischer und wirtschaftlicher Beziehung. In: Zeitschrift für Hygiene und Infektionskrankheiten, 93. und 96. Band, Berlin 1922.
- Korff-Petersen, A.: Laboratoriumsuntersuchungen und praktische Erfahrungen über hygienische Eigenschaften sogenannter Ersatzbauteile, in: Gesundheits-Ingenieur, H. 51 (1924).
- Korff-Petersen, A.: Hygienische und wirtschaftliche Anforderungen an die Temperaturregelung der Wohnräume. In: Gesundheits-Ingenieur, 38 (1924).
- Körting, J.: Heizung und Lüftung, Leipzig 1910.
- Künzel, H.: Müssen Außenwände atmungsfähig sein? In: wksb H. 11 (1980).
- Künzel, H.: Repräsentativumfrage über die Heiz- und Lüftungsverhältnisse in Wohnungen. In: Gesundheits-Ingenieur, H. 9 (1979).
- Künzel, H.: Müssen Wände und Decken absorptionsfähig für Wasserdampf sein? In: Bauen mit Kunststoffen H. 2 (1972).
- Kronvall/Bomann: Lüftungsdaten und Luftdichtheitswerte im schwedischen Hausbestand. In: EUZ Baufachtagung, Gute Luft – weniger Energie, Springe-Eldagsen 1995.
- Lang, C.: Ueber natürliche Ventilation und die Porosität von Baumaterialien, Stuttgart 1877.
- Lauter, H.: Gesundes Wohnen. In: db 9, 1990.
- Liese, W.: Behaglichkeit – hygienische Bedeutung und klimatechnisches Normativ, in: Gesundheits-Ingenieur, H. 4 (1970).
- Liese, W.: Zur jahreszeitlichen Anpassung des Menschen, in: Deutsche Medizinische Wochenschrift, Nr. 36 (1942).
- Liese, W.: Hygienische Fortschritte durch moderne Lüftungs- und Klimatechnik, in: Gesundheits-Ingenieur, H. 1/2, 1956.
- Lübke, P.: Belüftung von Wohneinheiten im internationalen Vergleich. In: HLH, 35 (1984).
- Meixner, H.A.: Der Einfluß der Luftelektrizität bei Lüftungs- und Klimaanlageanlagen. In: Gesundheits-Ingenieur, H. 52 (1937).
- Moriske, E. u. a.: Untersuchungen zur Innenraumluftbelastung durch verschiedenen Heizsysteme. In: Gesundheits-Ingenieur H. 1 (1996).
- Mosse, M. und Tugendreich G.: Krankheit und soziale Lage, Berlin 1913.
- Mürmann H.: Wohnungslüftung, Heidelberg 1994.
- Norlén U. und Andersson K.: The indoor climate in the Swedish housing stock, Stockholm 1993.
- Nußbaum, H. Chr.: Zentralheizung und Wärmeschutz der Gebäude, in: Gesundheits-Ingenieur, 15 (1924).
- Oeter, D.: Wohnung und Morbidität. In: Aurand und Ising (Hrsg.), Siedlungshygiene und Stadtplanung, Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden und Lufthygiene, Stuttgart 1975.
- Panzhauser, E.: Die Luftwechselzahlen in Österreichischen Wohnungen, Wien, o.J. (1985?).
- Pettenkofer, M.: Ueber den Unterschied zwischen Luftheizung und Ofenheizung in ihrer Einwirkung auf die Zusammensetzung der Luft der beheizten Räume. In: Polytechnisches Journal, Stuttgart 1851.
- Pettenkofer, M.: Luftwechsel in Wohngebäuden, München 1858.
- Pettenkofer, M.: Beziehungen der Luft zu Kleidung, Wohnung und Boden, Braunschweig 1873.
- Raisch, E.: Die Luftdurchlässigkeit von Baustoffen und Baukonstruktionsteilen. In: Gesundheits-Ingenieur, 30 (1928).
- Reiher, H., Künzel, H. und Soden, D.v.: Wärme- und Feuchtigkeitsschutz in Wohnbauten – Reihen-Vergleichs-Versuche an künstlich bewohnten Versuchsbauten der Freiland-Versuchsstelle bei Holzkirchen/Obb., Berlin 1958.
- Schäcke, W.: Feuchtigkeitsregelung durch Innenputze. In: Gesundheits-Ingenieur Nr. 23/24, 1956.
- Schüle, W.: Feuchtigkeitschäden in Wohnungen, FBW, Stuttgart 1957.
- Schulz, L.: Der jahreszeitliche Gang der Temperaturempfindung des Menschen anhand einer zehnjährigen Beobachtungsreihe. In: Archiv für Physikalische Therapie 12, Leipzig 1960.
- Rat von Sachverständigen für Umweltfragen, Sondergutachten Energie und Umwelt, Bonn 1981.
- Rat von Sachverständigen für Umweltfragen, Sondergutachten Luftverunreinigungen in Innenräumen, Bonn 1987.
- Schumacher, H.: Heizung und Lüftung in Schulen. In: Gesundheits-Ingenieur, München 31 (1911).
- sia Dokumentation D 090: Energiegerechte Schulbauten, Handbuch für Planer, Zürich 1992.
- Schwarz, W.: Der Einfluß der Luftbeschaffenheit auf die geistige Leistungsfähigkeit der Schüler. In: Zeitschrift für Hygiene und Infektionskrankheiten, 95. Band, Berlin 1922.
- Schumacher, H.: Heizung und Lüftung von Schulen. In: Gesundheits-Ingenieur Nr. 31 (1911).
- Taggart C.: Fensterlüftung mit Gebläselüftung zusammenwirkend, in: Gesundheitsingenieur Nr. 9, (1913).
- Usemann, K.: Entwicklung von Heizungs- und Lüftungstechnik zur Wissenschaft, München 1993.
- Wandersleb, H.: Neuer Wohnbau, Ravensburg 1958.
- Witthauer/Horn/Bischof: Raumluftqualität, Karlsruhe 1993.
- Wellner, P.: Untersuchungen über die Größe des natürlichen Luftwechsels in Wohnungen älterer und neuerer Bauweise, Dissertation Dresden 1932.
- Wegner, J.: Untersuchungen des natürlichen Luftwechsels in ausgeführten Wohnungen, die mit sehr fugendichten Fenstern ausgestattet sind. In: gi Gesundheits-Ingenieur 1 [1983].

Messen, Ausstellungen, Kongresse, Tagungen, Lehrgänge 2000

(ohne Gewähr und kein Anspruch auf Vollständigkeit)

- | | |
|------------------------|--|
| 10. bis 11. April 2000 | Aachen: 26. Bausachverständigentage. Inf.: AIGBau, Theresienstr., Aachen |
| 11. bis 12. April 2000 | Düsseldorf: Seminar „Rechtssichere Ausführung von haustechnischen Vorhaben, für Fachplaner TGA und ausführende Unternehmen“. Inf.: VDI-Bildungswerk, Düsseldorf |
| 11. bis 14. April 2000 | Zürich (Schweiz): Hilsa, Intern. Fachmesse für Heizung, Lüftung, Sanitär und Spenglereibedarf |
| 12. bis 16. April 2000 | Baltimore (USA): Messe und Kongreß „Intern. Window Coverings Expo“. Inf.: Messe Frankfurt/M. |
| 13. April 2000 | München: Seminar „VOB-Intensiv-Seminar für Praktiker – Neueste Rechtsprechung.“ Inf.: Fachverband Sanitär-, Heizungs- u. Klimatechnik Bayern, Reutterstr. 26, 80678 München. |
| 13. April 2000 | Schönaich: Seminar „Regelkonforme Planung und Ausschreibung der Gebäudeautomation“. Inf.: VDI-Bildungswerk, Düsseldorf |
| 13. bis 14. April 2000 | Düsseldorf: Seminar „Wand- und Deckendurchführung unter schall- und brandschutztechnischen Gesichtspunkten“. Inf.: VDI-Bildungswerk, Düsseldorf. |
| 14. bis 15. April 2000 | Dresden: 3. Intern. Konferenz „Ökologie im Bauwesen“. Inf.: TU Dresden, EIPOS, 01309 Dresden |