



Herbert Bley

## Von der freien Lüftung zur maschinellen Be- und Entlüftung

Hauptkriterium für den Einsatz der Wohnungslüftung ist bislang die Forderung nach hygienischer Luftqualität in den Wohnungen; d. h. aufgrund der immer dichteren Außenhülle der Gebäude muß für einen Luftaustausch zur Abführung der Schadstoffe und des Wasserdampfes gesorgt werden. Dieser Luftaustausch kann aufgrund von

- freier Lüftung  
(z. B. Querlüftung entsprechend den Anforderungen nach der Landesbauordnung - LBO -)
- Schachtenlüftung nach DIN 18017
- maschineller Entlüftung nach DIN 18017 und
- maschineller Be- und Entlüftung nach VDI 2088

erfolgen. In diesen derzeit bestehenden Regelwerken wurden bislang nur Anforderungen an den Abluftvolumenstrom gestellt. In der demnächst als Entwurf erscheinenden DIN 1946 Teil 6 - Lüftung von Wohnungen - werden für alle Arten der Lüftung, beginnend mit der freien Lüftung in der einfachsten Form bis hin zur maschinellen Be- und Entlüftung, auch Anforderungen an den Zuluftvolumenstrom und die Zuluftzuführung gestellt.

### From natural to mechanical ventilation

Traditionally the main criterion for installing a ventilation system was the need for hygienic air in the living space, i. e. expelling noxious substances and moisture from structures with increasingly denser outer walls. An appropriate air exchange can be based on:

- natural ventilation (for example, cross-ventilation that complies with State Building Codes - LBO - Landesbauordnung)
- ventilation shafts in accordance with DIN 18017
- mechanical air exhaust per DIN 18017
- mechanical air exchange ventilation per VDI 2088

Prevailing ordinances stipulate exhaust volumes only. However, standards for air induction are included in the pending draft of DIN 1946, Part 6. „Ventilation of living spaces“, which covers all forms of ventilation, from the simplest type of natural ventilation to mechanical forced air systems.

### De l'aération naturelle à l'aération et ventilation mécaniques

Le critère principal pour l'utilisation d'aération dans les appartements était jusqu'à présent l'exigence d'une qualité d'air hygiénique, c'est-à-dire du fait de l'enveloppe toujours plus étanche des bâtiments, il faut veiller à un échange d'air pour l'évacuation des substances nocives et de la vapeur d'eau. Cet échange d'air peut être réalisé par

- aération naturelle (par exemple aération transversale d'après les règles de la LBO - Landesbauordnung),
- aération par conduites d'après DIN 18017,
- aération mécanique d'après DIN 18017 et
- aération et ventilation mécaniques d'après VDI 2088.

Les règlements actuels ne définissent jusqu'à présent que le volume d'air évacué. Dans la norme DIN 1946/6 - aération des appartements -, qui paraîtra prochainement sous forme de projet, seront également définis le volume et la conduite de l'air introduit. Cette norme traite toutes les formes de l'aération, à commencer par l'aération naturelle comme procédé le plus simple jusqu'à l'aération et la ventilation mécaniques.

### Wasserdampfanteil und erforderlicher Luftaustausch

Bei der Festlegung der erforderlichen Volumenströme in Abhängigkeit von Wohnungsgröße und Belegung ergaben die Untersuchungen, daß die Feuchteentwicklung in einer Wohnung neben den Emittenten, wie Kohlendioxyd, Körpergerüche, Tabakrauch, Radon, Formaldehyd, organische Substanzen u. a. der Hauptparameter zur Bestimmung des Luftaustausches ist. In Tabelle 1 ist die Feuchteabgabe in Wohnungen durch Menschen, Pflanzen und Trocknungsvorgänge sowie in Naßzellen aufgeführt. Es ist hierbei zu beachten, daß die Werte der Feuchteabgabe als verdunstende Wasserdampfmenge je Stunde angegeben sind. Bei Berechnungen basierend auf den Angaben dieser Tabelle sind Nutzungszeiten festzulegen und u. U. entsprechende Umrechnungen durchzuführen. Feuchtigkeitsmessungen im Rahmen von Forschungsvorhaben haben gezeigt, daß mit einem durchschnittlichen Wasserdampfanteil von ca. 5 bis 10 kg/d in einer Wohneinheit zu rechnen ist. Maximalwerte, berechnet anhand der Tabelle 1, gehen bis zu 14 kg Wasserdampf je Tag in einer Wohneinheit. In der Praxis sind exakte Bilanzierungen schwer durchzuführen, da derjenige Anteil des Wasserdampfes, der von den in der Wohnung befindli-

chen Materialien und freien Wandoberflächen absorbiert und gespeichert wird, kaum zu erfassen ist.

Der notwendige Luftaustausch zur Feuchteabfuhr dient zwar als Richtgröße für die Lufthygiene, ist aber grundsätzlich zur Vermeidung von Bauschäden erforderlich. Herr Professor Gertis [1] weist in seinen „kritischen bauphysikalischen und rechtlichen Anmerkungen zu einem Urteil des Oberlandesgerichts Hamm“ nach, daß ein Luftwechsel von  $\beta = 0.5$  bis  $0.8 \text{ h}^{-1}$  für eine Wohnung erforderlich ist, damit keine Feuchtigkeitschäden entstehen; denn bei der Festlegung der Anforderungen an das Mindestniveau der Wärmedurchgangskoeffizienten nach DIN 4108 - Wärmeschutz im Hochbau - ging man von derartigen Luftwechselzahlen aus. Außerdem ist damit sichergestellt, daß keine Feuchteschäden in Außenwanddecken auftreten. Seines Erachtens ist das Bestreben nach immer dichteren Fenstern eine Fehlentwicklung, und er warnt vor „hermetisch“ schließenden Fenstern, solange nicht andere Lüftungsmöglichkeiten entwickelt werden, die den erforderlichen Luftaustausch sicherstellen.

Dieser Entwicklung wurde bei der Erarbeitung der oben erwähnten neuen DIN 1946 T. 6 Rechnung getragen. Für einzelne Woh-

**Tabelle 1** Feuchteabgabe in Wohnungen durch Menschen, Pflanzen, Trocknungsvorgänge sowie in Naßzellen [2] [3] [4]

Mensch, leichte Aktivität	30–60 g/h
mittelschwere Arbeit	120–200 g/h
schwere Arbeit	200–300 g/h
Bad	
Wannenbad	ca. 700 g/h
Duschen	ca. 2600 g/h
Küche	
Koch- und Arbeitsvorgänge	600–1500 g/h
im Tagesmittel	100 g/h
Zimmerblumen	
z.B. Veilchen (Viola)	5–10 g/h
Topfpflanzen	
z.B. Farn (Comptonia asplenifolia)	7–15 g/h
Mittelgroßer Gummibaum (Ficus elastica)	10–20 g/h
Wasserpflanzen	
z.B. Seerose (Nymphaea alba)	6–8 g/h
Freie Wasseroberfläche	ca. 40 g/m <sup>2</sup> h
Jungbäume (2 bis 3 m)	
z.B. Buche (Fagus)	2–4 kg/h
Ausgewachsene Bäume (25 m)	
z.B. Fichte (Picea)	2–3 m <sup>3</sup> /h
Trocknen der Wäsche (4,5-kg-Trommel) geschleudert trocknend	50–200 g/h
trocknend	100–300 g/h

**Tabelle 2** Außenluftfrate für einzelne Wohnungsgruppen ohne Berücksichtigung fensterloser Räume (Küche, Bad, WC)

Wohnungsgruppe	Wohnungsgröße m <sup>2</sup>	Geplante Belegung (Personen)	Grundlüftung (m <sup>3</sup> /h)	Zusatzlüftung (m <sup>3</sup> /h)	Gesamtlüftung (m <sup>3</sup> /h)
I	50	bis 2	60	–	60
II	80	bis 4	90	30	120
III	80	bis 6	120	60	180

nungsgruppen legte man Außenluftvolumenströme entsprechend Tabelle 2 in Abhängigkeit von Wohnungsgröße und durchschnittlicher Belegungsdichte fest. Hierbei wurde nach Grundlüftung und Zusatzlüftung unterschieden. Dabei soll es das Ziel der Grundlüftung sein, sicherzustellen, daß die bei Abwesenheit der anfallenden Nutzer Wasserdampfabgaben aus Oberflächenmaterialien (Putz, Handtücher usw.) und von konstanten Emittenten, wie z. B. Blumen, auch bei geschlossenen Fenstern abgeführt werden. Diese Grundlüftung schließt die Stoßlüftung z. B. durch Öffnen der Fenster bei Lastspitzen keinesfalls aus.

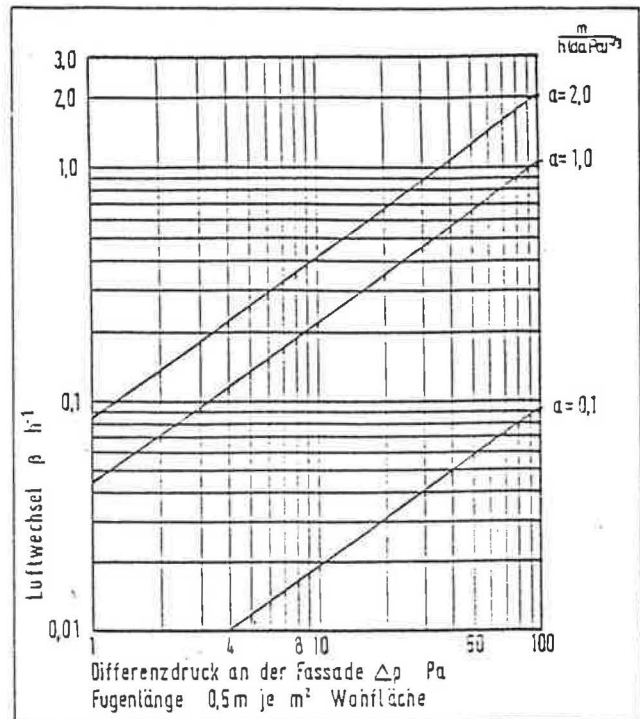
### Freie Lüftung und Infiltration

Der Luftwechsel einer Wohneinheit aufgrund freier Lüftung wird bestimmt durch

- die vorhandene Fensterfugenlänge
- den an der Fassade herrschenden Differenzdruck und
- den Fugendurchlaßkoeffizienten.

**Tabelle 3** Außenluftvolumenströme und Luftwechszahlen für Wohnungsgruppen nach Tabelle bei verschiedenen Differenzdrücken an der Fassade und unterschiedlichen Fugendurchlaßkoeffizienten

WFL	V	I	$\Delta P = 4 \text{ Pa}$						$\Delta P = 8 \text{ Pa}$						$\Delta P = 50 \text{ Pa}$					
			a = 2,0		a = 1,0		a = 0,1		a = 2,0		a = 1,0		a = 0,1		a = 2,0		a = 1,0		a = 0,1	
			V	$\beta$	V	$\beta$	V	$\beta$	V	$\beta$	V	$\beta$	V	$\beta$	V	$\beta$	V	$\beta$	V	$\beta$
m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	m	m <sup>3</sup> /h	h <sup>-1</sup>	m <sup>3</sup> /h	h <sup>-1</sup>	m <sup>3</sup> /h	h <sup>-1</sup>	m <sup>3</sup> /h	h <sup>-1</sup>	m <sup>3</sup> /h	h <sup>-1</sup>	m <sup>3</sup> /h	h <sup>-1</sup>	m <sup>3</sup> /h	h <sup>-1</sup>	m <sup>3</sup> /h	h <sup>-1</sup>	m <sup>3</sup> /h	h <sup>-1</sup>
50	125	25	27,1	0,22	13,6	0,11	1,4	0,01	43,1	0,34	21,5	0,17	2,2	0,02	146,2	1,17	73,1	0,58	7,3	0,06
80	200	40	43,4	0,22	21,7	0,11	2,2	0,01	68,9	0,34	34,5	0,17	3,5	0,02	233,9	1,17	117,0	0,58	11,7	0,06
100	250	50	54,3	0,22	27,1	0,11	2,7	0,01	86,2	0,34	43,1	0,17	4,3	0,02	292,4	1,17	146,2	0,58	14,6	0,06

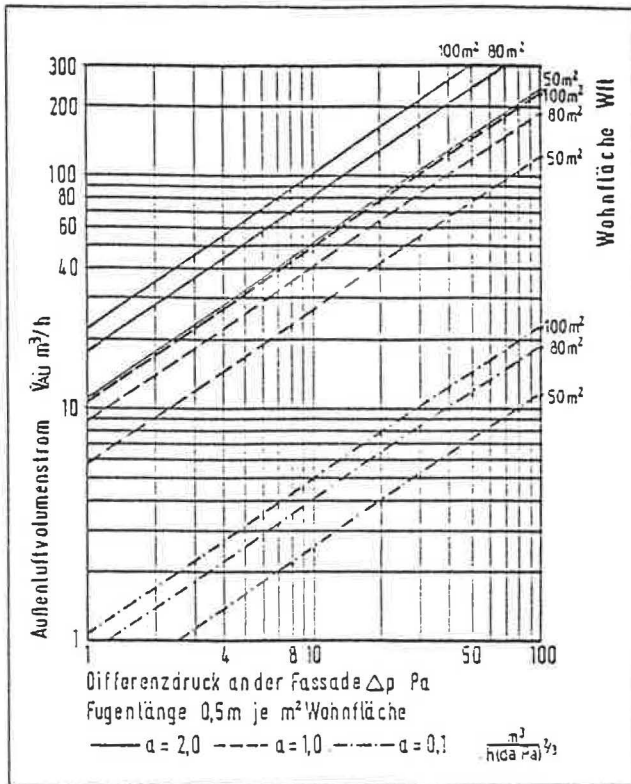


**Bild 1:** Luftwechszahlen in Abhängigkeit vom Fugendurchlaßkoeffizienten und dem Differenzdruck an der Fassade

Durchgeführte Untersuchungen des Instituts für Fenstertechnik hinsichtlich der in Wohnungen vorkommenden Fensterfugenlänge haben gezeigt, daß man im Mittel von 0,5 m Fugenlänge je Quadratmeter Wohnfläche ausgehen kann. Legt man diesen Wert zugrunde, kann man den zu erwartenden Luftwechsel einer Wohnung in Abhängigkeit vom Fugendurchlaßkoeffizienten und dem Differenzdruck an der Fassade bestimmen. Die Ergebnisse einer derartigen Betrachtung sind in Bild 1 zusammenfassend dargestellt. Der Luftwechsel stellt aber nur einen Richtwert dar, der hinsichtlich der Volumenströme von der jeweiligen Wohnungsgröße abhängig ist. Aus diesem Grunde sind in Bild 2 ergänzend zu Bild 1 für die Wohnungsgruppen aus Tabelle 2 die rechnerischen Außenluftvolumenströme in Abhängigkeit von den verschiedenen Fugendurchlaßkoeffizienten dargestellt. Aus Tabelle 3 sind die einzelnen Berechnungswerte für unterschiedliche Differenzdrücke zu ersehen. Die Differenzdruckwerte von  $\Delta p = 4 \text{ Pa}$  für windschwache und  $\Delta p = 8 \text{ Pa}$  für windstarke Gegenden wurden in Anlehnung an die Anforderungen zur Bemessung von DIN 1946 Teil 6 gewählt. Geht man entsprechend DIN 1055 Teil 4 – Lastnahme für Bauten – von den ungünstigsten Voraussetzungen aus, d. h. die aerodynamischen Druckbeiwerte betragen auf der Luv-Seite +0,8 und auf der Lee-Seite - 0,5 wie in Bild 3 dargestellt – und vernachlässigt die internen Widerstände durch Flurtüren, entsprechen den Druckdifferenzen folgende Windgeschwindigkeiten:

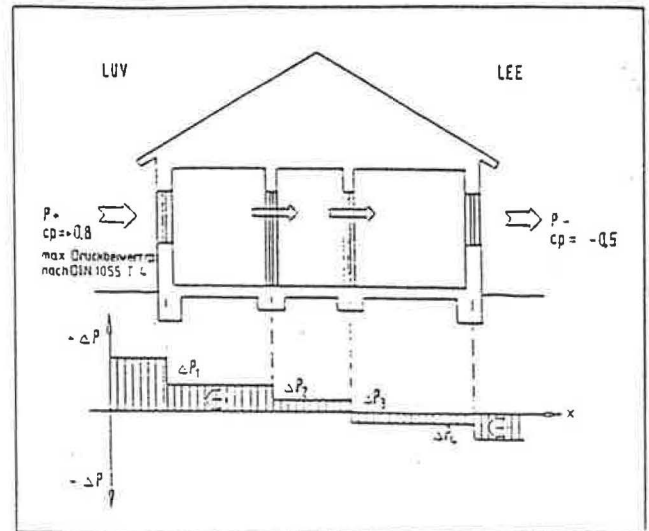
$$4 \text{ Pa} \cong w \text{ 3,2 m/s}$$

$$8 \text{ Pa} \cong w \text{ 4,5 m/s}$$



**Bild 2:** Außenluftvolumenströme in Abhängigkeit von Wohnungsgröße, Fugendurchlaßkoeffizienten und Differenzdruck an der Fassade

was in etwa den mittleren Windgeschwindigkeiten von wind-schwachen und windstarken Gegenden entspricht. Wie aus Bild 2 zu ersehen ist, werden die Anforderungen hinsichtlich der Grundlüftung gemäß Tabelle 2 allein durch die Fensterfugen nicht erfüllt: insbesondere dann nicht, wenn man Fenster mit Fugendurchlaßkoeffizienten von  $a = 0,3 \text{ m}^3/\text{h m (daPa)}^{2/3}$  zugrunde legt, wie sie heute bei Fenstern mit umlaufender Dichtung durchaus üblich sind. Ginge man ausschließlich nur davon aus, daß die Grundlüftung durch die Undichtigkeit der Fensterfugen erbracht werden muß und würde man die Infiltration in Form eines unvermeidlichen Luftaustausches, aufgrund von Undichtigkeiten, wie z.B. Anschlußfugen, Rolladenkästen, Außentüren usw., vernachlässigen, würde man der Praxis in keiner Form gerecht. Vergleiche nationaler und internationaler Untersuchungen haben gezeigt, daß trotz hoher Fensterfugendichtigkeit während des größten Teils des Jahres mit einem Luftwechsel von  $\beta = 0,17 \text{ h}^{-1}$  bei Querlüftung aufgrund von Infiltration, bezogen auf den fensterbelüfteten Raum, gerechnet werden kann. Hierbei wurde zugrunde gelegt, daß ca. 30 % einer Wohneinheit, wie z.B. Flure, nicht an der Außenwand liegen. Aufgrund dieser Voraussetzung ist der Infiltrationswert für die gesamte Wohneinheit um 30 % niedriger als für den Raum mit Außenwand und Fenster (Faktor 0,7). Bezogen auf die gesamte Wohnung beträgt die Infiltration bei Querlüftung  $\beta = 0,7 \cdot 0,17 \text{ h}^{-1} = 0,12 \text{ h}^{-1}$ , sofern der Fugendurchlaßkoeffizient den obigen Anforderungen entspricht. Bei der Festlegung dieser Werte war man sich auch dessen bewußt, daß die Infiltration durch natürliche Kräfte wie Thermik im Gebäude und jeweils herrschende Windkräfte am Gebäude bewirkt wird und deswegen ständige Schwankungen aufweist. Ferner wurde auch bedacht, daß bei Windstille und isothermen Zuständen keine Infiltration stattfindet, was z.B. während der Sommermonate der Fall sein kann. Während der Wintermonate ist zumindest aufgrund der Thermik mit Infiltration zu rechnen. Ferner ist bei der Querlüftung zu bedenken, daß der gesamte Außenluftvolumenstrom, bedingt durch Infiltration, nur auf einer Seite (Luv-Seite) der Wohnung zuströmt und auf der anderen



**Bild 3:** Druckverteilung im Gebäude unter Windbelastung

(Lee-Seite) wieder abströmt, wobei davon ausgegangen werden kann, daß die Undichtigkeiten auf beiden Seiten gleichmäßig verteilt sind. Für die freie Lüftung (Querlüftung) hat dies zur Folge, daß die erforderliche Grundlüftung bereits von einer Fassaden-seite erbracht werden muß; d.h. theoretisch sind für diesen Fall die Angaben für Luftwechsel und Außenluftvolumenstrom in den Bildern 1 und 2 zu halbieren.

Bei Wohnungen mit Schachtlüftung geht man davon aus, daß in der entlüfteten Wohneinheit ein ständiger Unterdruck herrscht. Hierdurch ist sichergestellt, daß ständig über die gesamte Außenfläche Außenluft aufgrund von Undichtigkeiten (Infiltration) nachströmt. Der Infiltrationswert hierfür wurde mit  $\beta = 0,5 \text{ h}^{-1}$  festgelegt, bezogen auf den Raum mit Fenstern, deren  $a$ -Wert  $< 0,3 \text{ m}^3/(\text{h m (daPa)}^{2/3})$  beträgt. Bezogen auf die gesamte Wohneinheit beträgt die Infiltration bei Schachtlüftung  $\beta = 0,7 \cdot 0,5 \text{ h}^{-1} = 0,35 \text{ h}^{-1}$ .

## Zuluftdurchlässe

Auch wenn man die Infiltration mit berücksichtigt, zeigen diese Ausführungen, daß es sehr schwer ist, einen ausreichenden Luftaustausch aufgrund vorhandener Undichtigkeiten sicherzustellen. Zur Erfüllung der Anforderungen nach Tabelle 2 werden oftmals zusätzliche Öffnungen in der Außenwand erforderlich sein. Bei der Anordnung derartiger Luftdurchlässe sind dann folgende Anforderungen zu beachten:

- Die Zuluftdurchlässe sind allein oder mit einem Fenster verbunden gleichmäßig auf die Außenwände der Wohn- und Aufenthaltsräume zu verteilen.
- Die Bauteile müssen auch im geöffneten Zustand nach DIN 18055 gegen Schlagregen dicht sein.
- Der Außenluftvolumenstrom ist so einzubringen, daß eine möglichst geringe Zugbelastung in den Wohn- und Aufenthaltsbereichen entsteht.
- Vorgegebene Anforderungen an die Schalldämmung des Fensters müssen von der Kombination Fenster und Luftdurchlaß auch in der Grundstellung erfüllt werden. Bei Einbau des Zuluftdurchlasses in die Wand muß die Kombination Wand und Luftdurchlaß die vorgenannte Anforderung erfüllen.
- Die Bauteile sollen von innen leicht zu warten und zu reinigen sein.
- Die Bauteile müssen gegen das Eindringen von Insekten geschützt sein.
- Die Bauteile sollen eine Einrichtung zur Veränderung des freien Querschnitts haben, wobei die Einstellbarkeit des Mindestquerschnitts sichergestellt sein muß. Ist eine von Hand



verstellbare Einrichtung vorhanden, so muß die jeweilige Stellung angezeigt werden können. Es sind die gesetzlichen Vorschriften (Wärmeschutzverordnung, Bauordnungsrecht der Länder) zu beachten.

D. h. in geschlossenem Zustand dürfen die Luftdurchlässe die Anforderungen an die a-Werte der Wärmeschutzverordnung nicht überschreiten.

- h) Übersteigt der Bedarfsvolumenstrom die Anforderungen an den Mindestluftwechsel nach DIN 4701 Teil 1, so ist der zusätzliche Volumenstrom bei der Wärmebedarfsberechnung für das Gebäude zu berücksichtigen.

## Maschinelle Be- und Entlüftung – Ein Beitrag zum Umweltschutz

Die bisherigen Darstellungen zeigen, daß sowohl eine Querlüftung als auch eine Entlüftung keine befriedigende und zeitgemäße, dem heutigen Stand der Technik entsprechende Lösung darstellt. Durch sie wird der erforderliche Luftaustausch nur bedingt gewährleistet und das in der Abluft enthaltene Energiepotential nicht genutzt. Mittels maschineller Be- und Entlüftungssysteme mit Wärmerückgewinnung kann ein kontrollierter Luftaustausch sichergestellt werden und diese Systeme können mit zur Beheizung herangezogen werden. Aufgrund der Nutzung des Energiepotentials aus der Abluft ist man in der Lage, den Nutzenergieverbrauch zu 100 % dem Primärenergieeinsatz anzupassen, wie die nachfolgenden Ausführungen basierend auf den Erkenntnissen aus Messungen zeigen.

Seit Juli/September 1988 gibt es von Bundesbauminister Oscar Schneider unter der Fragestellung: „Wie muß das Wohngebäude für das Jahr 2000 franziert werden?“ die Empfehlungen „Wege zum Niedrigenergiehaus“. Sie wurden unter Beteiligung von o. Prof. Dr.-Ing. habil. Karl Gertis, Prof. Dr.-Ing. Gerd Hauser, Dr.-Ing. Gerhard Hausladen, Prof. Dr.-Ing. Lothar Rouvel, Prof. Dr.-Ing. Steimle und Prof. Dipl.-Ing. Heinrich Trümper erarbeitet. Ziel dieser Empfehlungen zum Niedrigenergiehaus ist es, den Heizenergieverbrauch von derzeit ca. 100 bis 180 kWh pro Jahr um Quadratmeter Wohnfläche für Wohngebäude, die den Anforderungen der Wärmeschutzverordnung entsprechen, um 50 % auf ca. 50 bis 90 kWh pro Jahr und Quadratmeter Wohnfläche zu reduzieren. Grund für diese Bemühungen zur Energieeinsparung ist das erklärte Ziel, zukünftig einen wesentlichen Beitrag zum Umweltschutz zu leisten; denn so Schneider: „Nicht verbrauchte Energie ist der beste Umweltschutz.“ Nach seiner Aussage werden in der Bundesrepublik Deutschland nach wie vor ca. 50 % des gesamten privatwirtschaftlichen Energiebedarfs für die Gebäudeheizung verwendet, was eine Schadstoffbelastung von ca. 1,5 Mio. t pro Jahr zur Folge hat (siehe auch Bild 4).

Unbedingte Voraussetzung für derartige Verbrauchswerte ist eine erhöhte Wärmedämmung und ein auf den daraus resultierenden

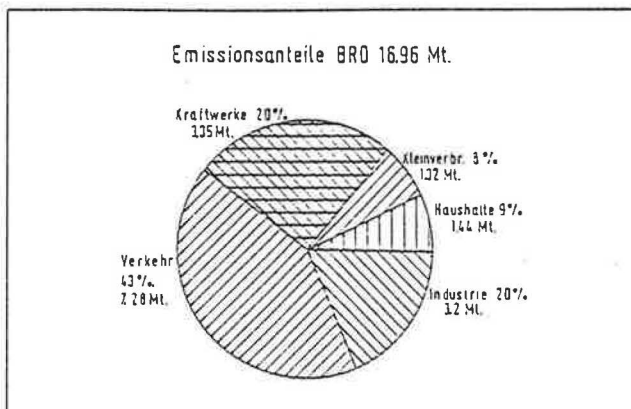


Bild 4: Emissionsverteilung in der Bundesrepublik Deutschland

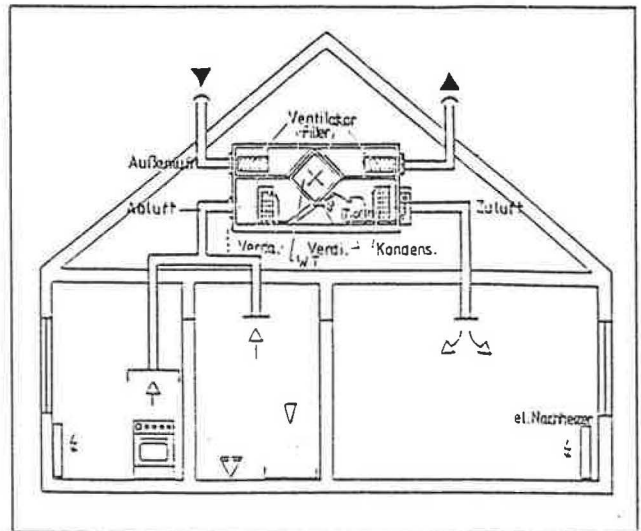


Bild 5: Maschinelles Be- und Entlüftungssystem mit Kreuzstromwärmetauscher, nachgeschalteter Wärmepumpe und elektrischer Zusatzheizung

sehr niedrigen Wärmebedarf abgestimmtes Heizsystem, wobei der Lüftung eine besondere Bedeutung zukommt, da der Anteil des Lüftungswärmebedarfs am gesamten Wärmebedarf bei derartig hochgedämmten Gebäuden mindestens 50 % beträgt. Aus diesem Grund wird für Niedrigenergiehäuser als praktikable und wirtschaftliche Lösung ein Heizsystem in Form einer Kombination aus Wohnungslüftung mit Wärmerückgewinnung und zusätzlicher elektrischer Nachheizung empfohlen (System Bild 5). Hierbei besteht die Komponente Wohnungslüftung aus einem Kompaktgerät mit einem Kreuzstromwärmetauscher und nachgeschalteter kleinen Luft/Luft-Wärmepumpe. Diese Lüftungseinheit ist unter Nutzung der internen Wärmequellen allein in der Lage, den Wärmebedarf als Grundheizung bis zu einer Außenlufttemperatur von +4°C zu decken. Die Leistungsaufteilung für Plattenwärmetauscher, Wärmepumpe und elektrische Nachheizung ist in Abhängigkeit von der Außenlufttemperatur in Bild 6 dargestellt.

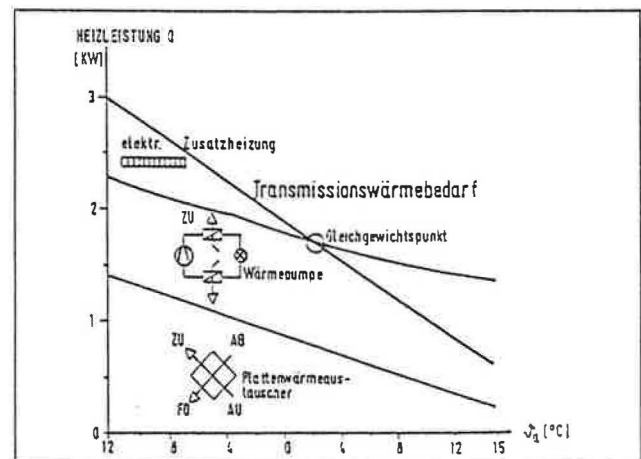


Bild 6: Leistungsaufteilung für Plattenwärmetauscher, Wärmepumpe und elektrische Nachheizung in Abhängigkeit von der Außenlufttemperatur für das System nach Bild 5

Der Gleichgewichtspunkt für derartige Systeme wird durch den entsprechenden Transmissionswärmebedarf (hier 3 kW) bestimmt, da der Energieaufwand für den Lüftungswärmebedarf bereits vom System gedeckt wird. Ist der Transmissionswärmebedarf größer, liegt der Gleichgewichtspunkt bei entsprechend höheren Temperaturen. Trotz des Einsatzes von elektrischer Energie ist es derzeit nur mit solchen Heizsystemen möglich, den Primär(!)energieaufwand dem erforderlichen Nutzenergiebedarf

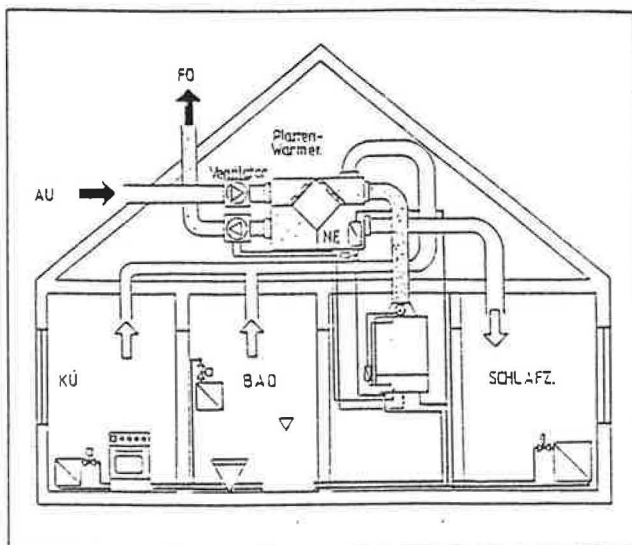


Bild 7: Maschinelles Be- und Entlüftungssystem mit Kreuzstromwärmeaustauscher in Verbindung mit einer Gasheizung

für Heizzwecke gleichzusetzen (siehe auch Bild 9). Begründet ist dies darin, daß elektrische Heizsysteme eine sehr schnelle Regelcharakteristik besitzen und ihre Antriebsform für Wärmerückgewinnungssysteme am geeignetsten ist. Herr Prof. Gertis prognostizierte in diesem Zusammenhang: „Je mehr Energie wir sparen wollen, desto mehr Strom werden wir brauchen.“

Aber nicht nur unter Einsatz von Elektroenergie kann Energie eingespart werden, sondern auch bei Einsatz von Gasheizung in Kombination mit Wohnungslüftung. Das zeigen Ausführungen der Fa. Vaillant (System Bild 7). Anhand der Meßergebnisse einiger Pilotanlagen mit kontrollierter Be- und Entlüftung und Wärmerückgewinnung aus Abluft und Abgas ist nachgewiesen worden, daß hiermit ca. 30 % Heizenergie eingespart werden können. So kann auch mit derartigen Systemen der Nutzenergieverbrauch zu 100 % dem Primärenergieeinsatz angepaßt werden (siehe auch Bild 9). Diese Heizsystemkombination kann momentan nur mit Sondergenehmigungen betrieben werden, da besondere Sicherheitseinrichtungen - Ketten - erforderlich sind. Zur Zeit werden mehrere derartige Anlagen im Ein- und Mehrfamilienhausbereich näher untersucht, um weiter Erfahrungen zu sammeln und die zukünftigen Zulassungen zu erleichtern.

In den Bildern 8 und 9 sind die Energiebilanzen konventioneller Heizanlagen denjenigen von Wohnungslüftungssystemen mit Wärmerückgewinnung gegenübergestellt. Bei allen Systemen wurde der Nutzenergieanteil mit 100 Teilen angesetzt. Die eingetragenen Verluste bei der Primärenergie sind Umwandlungs-, Fackel- und Leitungsverluste. Grundlage dieser Betrachtung ist das Energieflußbild der Bundesrepublik Deutschland aus dem Jahre 1986. So wurde der Stromerzeugung derjenige Umwandlungsverlust zugrunde gelegt, der sich als Mittelwert aus allen Arten der Stromerzeugung ergibt. Die bei Gas und Öl aufgeführten Verluste zur Erzeugung von Endenergie beziehen sich auf Raffinerie- und Transportverluste. Bei der Umwandlung von Endenergie zur Nutzenergie wurde für die Ölheizung ein Gesamtjahresnutzungsgrad von  $\eta_{ges. \text{ Öl}} = 0,80$  und für Gas von  $\eta_{ges. \text{ Gas}} = 0,85$  berücksichtigt. Diese Aufstellungen zeigen, daß bei konventionellen Anlagen der Primärenergieaufwand für Raumwärme (Nutzenergie) um mindestens 30 bis 40 Prozent höher liegt als bei den Anlagen mit Wohnungslüftungssystemen und nachgeschalteter Wärmerückgewinnung.

Bei der Gasheizung in Kombination mit einer Wohnungslüftung werden ca. 15 Einheiten aus dem Abluftvolumenstrom der Wohnung zurückgewonnen. Weitere 13 Anteile werden dem Abgasvolumenstrom entnommen, wobei sechs Anteile sensible und sieben

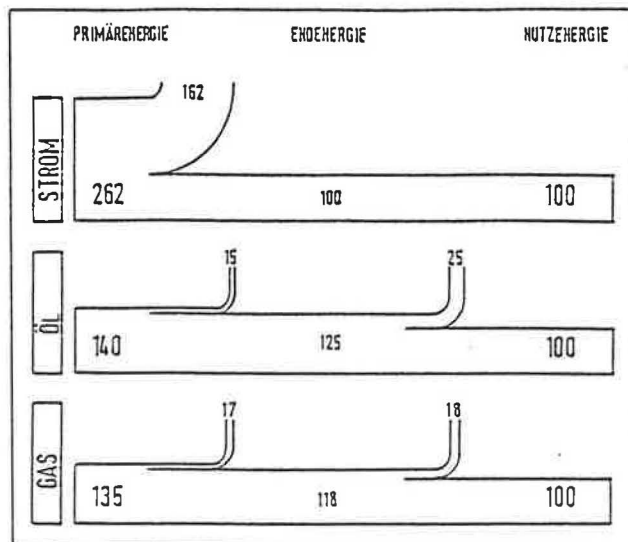


Bild 8: Energiebilanz konventioneller Heizsysteme

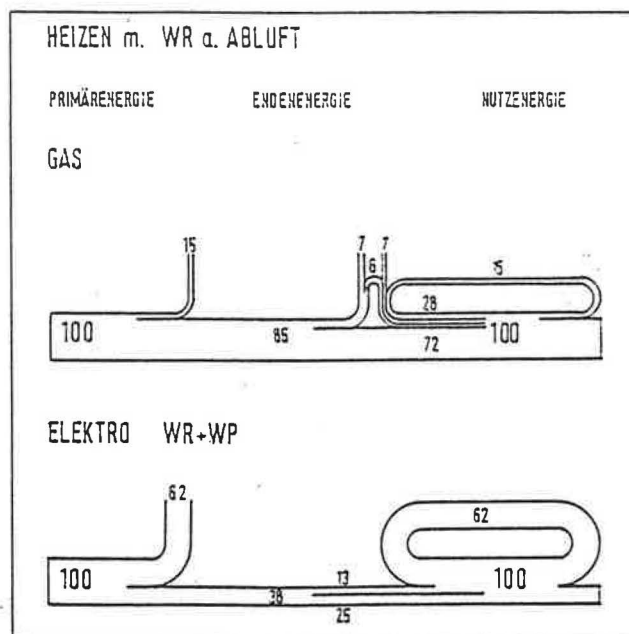
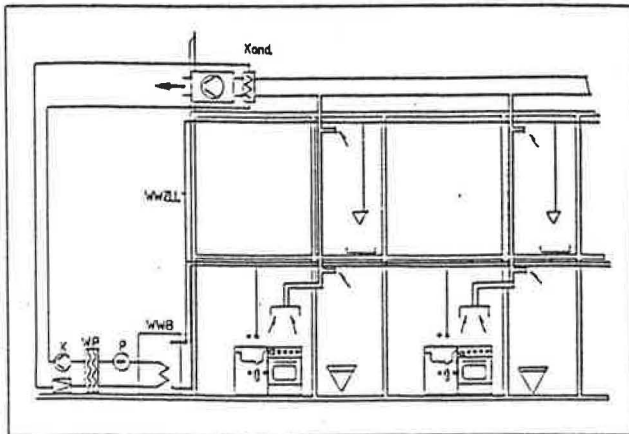


Bild 9: Energiebilanz von Heizsystemen mit maschineller Be- und Entlüftung und Wärmerückgewinnung

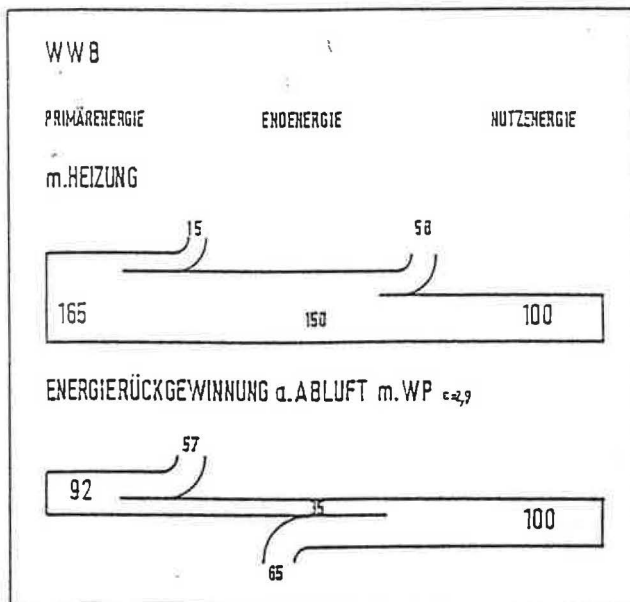
Anteile latente Wärme aufgrund der Kondensation des Wasserdampfes im Abgas sind.

Etwas anders verhält es sich beim Einsatz elektrischer Energie. Hierbei ist es für den günstigen Energieverbrauch entscheidend, daß eine Klein-Wärmepumpe dem Wärmeaustauscher nachgeschaltet ist, damit das Energiepotential der Abluft entsprechend genutzt wird. Der elektrische Energieaufwand für alle Motoren wie Lüfter, Wärmepumpe usw. beträgt 13 Einheiten. 25 Einheiten sind für die elektrische Nachheizung erforderlich. Bei der sich hier ergebenden hohen Arbeitszahl wurde der Nutzungsgrad des Kreuzstromwärmeaustauschers mitberücksichtigt. Diese Bilanz beruht auf Meßergebnissen derartig ausgerüsteter Wohnungen der VEW Dortmund.

Falls doch keine maschinellen Be- und Entlüftungssysteme eingesetzt werden, soll abschließend als Anregung eine Möglichkeit zur Nutzung der Energie aus der Abluft von Entlüftungsanlagen unter Einsatz einer Luft/Wasser-Wärmepumpe zur Warmwasserbereitung dargestellt werden. Bei einem Forschungsvorhaben in Ingolstadt wurde zur Versorgung von zwölf Wohneinheiten eine derar-



**Bild 10:** Warmwasserbereitung mittels Luft/Wasser-Wärmepumpe und Energierückgewinnung aus der Abluft



**Bild 11:** Energiebilanz der Warmwasserbereitung konventionell und mittels Wärmepumpe

tige Anlage, wie sie als System in Bild 10 dargestellt ist, eingesetzt und vermessen. Die Messungen zeigten, daß mit diesem System der Energieaufwand für die Warmwasserbereitung voll gedeckt

wird. In Bild 11 ist hierzu, basierend auf den Meßergebnissen, die Energiebilanz für die Warmwasserbereitung auf konventionelle Art derjenigen mit Energierückgewinnung aus der Abluft mittels Wärmepumpe gegenübergestellt. Die Ursache für den hohen Primärenergieverbrauch bei der Warmwasserbereitung in Verbindung mit einem Heizkessel ist der schlechte Nutzungsgrad der Anlage während der Sommermonate, wenn keine Heizenergie gefordert wird. Es zeigt sich, daß eine Wärmepumpenanlage trotz mäßiger Arbeitszahl primärenergetisch erhebliche Einsparungen aufweist. Die Messungen haben aber auch gezeigt, daß trotz der sehr günstigen Energiebilanz noch Erfahrungen hinsichtlich Auslegung und Regelung gesammelt werden müssen. Zudem sollte zukünftig mit untersucht werden, ob derartige Systeme durch Einbindung in das Heizsystem noch weiter optimiert werden können.

### Zusammenfassung

Die Betrachtungen zeigen, daß mit freier Lüftung und auch Entlüftungssystemen aufgrund der dichten Gebäudehülle kein ausreichender Luftaustausch zur Sicherung hygienischer Luftzustände und Vermeidung von Bauschäden gewährleistet werden kann. Werden zusätzliche Außenluftdurchlässe in die Gebäudehülle eingesetzt, so müssen die Anforderungen der Wärmeschutzverordnung berücksichtigt werden. Nur mittels maschineller Be- und Entlüftungssysteme mit nachgeschalteter Wärmerückgewinnung sind wir in der Lage, kontrollierte Luftzustände zu erreichen, und leisten zudem, aufgrund der Energieeinsparung, einen wesentlichen Beitrag zum Umweltschutz: da mit derartigen Systemen der Nutzenergieverbrauch zu 100 % dem Primärenergieaufwand entspricht. Voraussetzung hierfür ist, daß die Gebäude gut gedämmt sind und daß der Anteil des Lüftungswärmebedarfs am Gesamtwärmebedarf mindestens 50 % beträgt. Daß es sich hierbei nicht um Utopien handelt, beweisen über 3000 in Betrieb befindliche Anlagen.

### Literatur

- [1] Prof. Dr.-Ing. habil. K. Gertis, Prof. Dr. jur. Carl Soengel: Tauwasserbildung in Außenwanddecken. DAB 15 (1983), H. 10, S. 1045-1050
- [2] Dipl.-Ing. H. Esdorn: Mindestwärmeschutz und Mindestluftwechsel aus bauphysikalischer Sicht. VDI-Berichte 593 - Erfolgreiche Strategien in der Haustechnik
- [3] Fanger, P. O.: Thermal comfort. Mac Graw-Hill Book Company, New York (1973)
- [4] Biasin, K., und Krumma, W.: Die Wasserverdunstung in einem Innenschwimmbad. Elektrowärme 11 (1974), H. 32, S. 85-99