

Moderne energieeffiziente Lüftungsanlagen für gesundes Wohnen



Baden-Württemberg

LANDESGEWERBEAMT

Impressum

Herausgeber:

Landesgewerbeamt Baden-Württemberg
Informationszentrum Energie
Haus der Wirtschaft
Postfach 102963, 70025 Stuttgart
Fax: 0711 / 123-2649
E-Mail: ortrud.stempel@lgabw.de
Internet: www.lgabw.de/ie

1. Auflage: Juni 2004

Inhaltliche Bearbeitung:

Prof. Dr.-Ing. Martin Dehli

Fachhochschule Esslingen (FHTE) -
Hochschule für Technik,
Fachbereich Versorgungstechnik und
Umwelttechnik

Dipl.-Ing. Dieter Bouse

Landesgewerbeamt Baden-Württemberg, Stuttgart

in Zusammenarbeit mit dem Landesarbeitskreis
„Innovative Energienutzung in Gebäuden“,
Stuttgart

Hugo Binkert (Obmann)

Binkert GmbH, Heizungs-, Lüftungs- und
Sanitärtechnik, Albrück-Birndorf

Wolfgang Becht

HLS-Ingenieure Lehmann & Becht, Hördt

Dieter Bouse, Claus Mayer

Landesgewerbeamt Baden-Württemberg, Stuttgart

Gunther Claus

Universität Stuttgart, Lehrstuhl für Heiz- und
Raumluftechnik

Eduard Dreher

Firma Dreher, Flaschnerei, Sanitär, Heizung,
Sigmaringen

Klaus Harter

Karlsruhe

Fritz Hertweck

Friedrich Hertweck GmbH
Heizung/Lüftung/Sanitär, Niedernhall

Prof. Dr.-Ing. Siegmund Hesslinger

Steinbeis Transferzentrum Energie-, Umwelt- und
Reinraumtechnik, Offenburg

Claus Händel (Gast)

Fachinstitut Gebäude-Klima e.V.,
Bietigheim-Bissingen

Jörg Knapp, Dietmar Zahn

Fachverband Klima-Sanitär-Heizung
Baden-Württemberg, Stuttgart

Markus Schetter

Wilhelm Schetter GmbH Haustechnik,
Kernen-Stetten

Franz Mayerl (Gast)

Fachverband Elektro- und Informationstechnik
Baden-Württemberg, Stuttgart

Karl-Roland Schübel

Stuttgart

Hans Schröck

Schröck - Wärme und Wasser,
Pforzheim-Huchenfeld

Heinz Wieland

Technische Beratungen, Waldenburg

Ernst Wagner

Firma Brüstle GmbH, Heizung, Sanitär,
Flaschnerei, Selbst-Bau-Markt, Illingen

Titelseite:

Rolf Ellwanger

Grafisches Konzept, Gestaltung und Produktion
Landesgewerbeamt Baden-Württemberg
Gestaltergruppe Referat 22

Satz und Druck:

Pfitzer Druck GmbH, Renningen

Schutzgebühr: 3 €

Vorwort

Der sorgsame Umgang mit Energie geht uns alle an: Nicht nur Industrie, Gewerbe und öffentliche Einrichtungen sind hier gefordert, sondern natürlich auch jeder Einzelne in seinem täglichen Lebensumfeld. Dazu gehört neben dem Verkehr vor allem auch der Wohnungsbereich: Hier können die Bürger in eigener Verantwortung viel fürs Energiesparen tun.

Ein kritischer Bereich ist die Wohnungslüftung. Bei der wärmetechnischen Sanierung bestehender Wohngebäude sowie beim Bau neuer Wohngebäude kommt ihr eine wachsende Bedeutung zu.

Ziel der vorliegenden Informationsschrift ist es, Hausbesitzer, Bauherren, Architekten und ingenieurtechnische Fachplaner über die Notwendigkeit der Wohnungslüftung im Zusammenhang mit luftdichten Gebäuden und die sich hier eröffnenden Möglichkeiten zu informieren.

Der Leser wird zunächst mit den Grundlagen von Hygiene und Gesundheit beim Wohnen vertraut gemacht. Weiter werden die Möglichkeiten und Grenzen der natürlichen Lüftung aufgezeigt. Der Hauptteil der Informationsschrift stellt die verschiedenen technischen Systeme der mechanischen Wohnungslüftung sowie deren Komponenten vor. Für den Fachmann von Interesse ist die Darstellung des Auslegungsbeispiels einer Wohnungslüftungsanlage. Schließlich wird ausführlich auf vorbildliche Lösungen der Wohnungslüftung bei neuen Wohngebäuden sowie sanierten älteren Wohngebäuden eingegangen.

Als Einrichtung des Landes Baden-Württemberg für die Mittelstandsförderung möchte das Landesgewerbeamt dazu beitragen, dass Nutzen und Technik von Wohnungslüftungssystemen weiter vorangebracht werden.

Allen bei der Erstellung der Informationsschrift Beteiligten möchte ich meinen Dank aussprechen: besonders dem Autor, Herrn Prof. Dr.-Ing. Martin Dehli, Dekan des Fachbereichs Versorgungstechnik und Umwelttechnik der Fachhochschule Esslingen (FHTE) - Hochschule für Technik, und den Mitgliedern des Landesarbeitskreises „Innovative Energienutzung in Gebäuden“ unter der Leitung des Obmannes Hugo Binkert für ihre kompetente fachliche Begleitung. Daneben danke ich den Firmen, die durch Informations- und Bildmaterial zum Gelingen dieser Informationsschrift beigetragen haben.

Stuttgart, im Juni 2004



Rose Köpf-Schuler
Stellv. Präsidentin
des Landesgewerbeamts
Baden-Württemberg

Kurzfassung

Bei der wärmetechnischen Sanierung bestehender Wohngebäude sowie beim Bau neuer Wohngebäude kommt den Fragen der Wohnungslüftung inzwischen eine wachsende Bedeutung zu.

Die vorliegende Informationsschrift soll Hausbesitzer, Bauherren, Architekten und Fachingenieure auf die Notwendigkeit von Wohnungslüftungsanlagen bei luftdichten Gebäuden aufmerksam machen: Zur Vermeidung von Bauschäden und Schimmelpilzbildung sowie aus hygienischen und gesundheitlichen Gründen erweisen sich dabei mechanische

Wohnungslüftungsanlagen häufig als notwendig, weil die natürliche Lüftung nicht ausreicht. Daneben tragen sie wirksam zur Energieeinsparung bei.

Wohnungslüftungssysteme können bedarfsgerecht an die jeweiligen baulichen und nutzerbezogenen Belange angepasst werden: Der Markt bietet zahlreiche leistungsfähige Systeme an, die hohen anlagen-, bau- und energietechnischen Ansprüchen genügen sowie den Gesichtspunkten von Hygiene und Gesundheit gerecht werden.

Die vorliegende Informationsschrift beschreibt die verschiedenen technischen Systeme der mechanischen Wohnungslüftung. Diese lassen sich sowohl in

bestehende als auch in neue Gebäude gut integrieren. Daneben wird auf Komponenten von Wohnungslüftungsanlagen eingegangen. Für den Fachmann von Interesse ist darüber hinaus die Beschreibung eines Auslegungsbeispiels einer Wohnungslüftungsanlage.

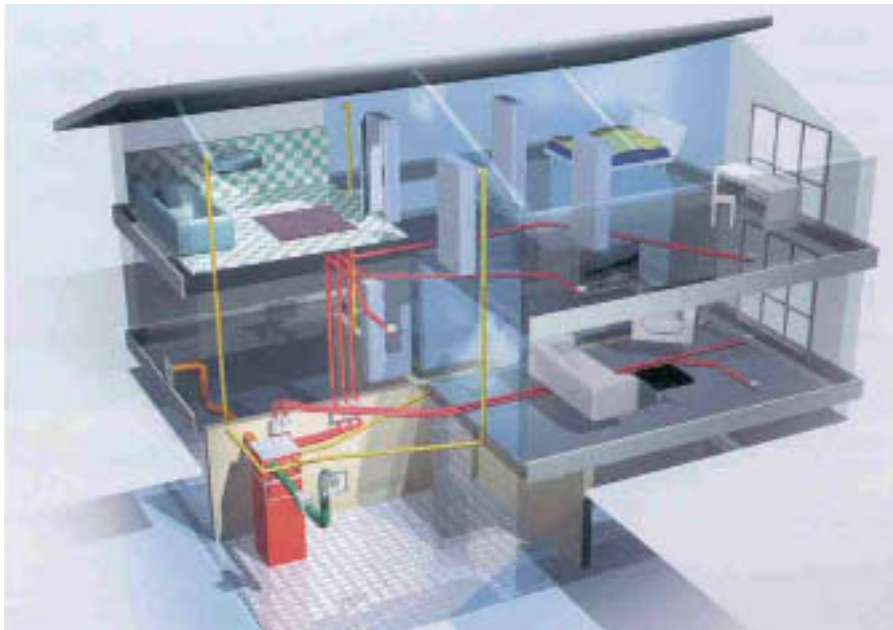
Nicht zuletzt wird in der Informationsschrift auf beispielhafte Lösungen bei neuen Wohngebäuden sowie bei sanierten älteren Wohngebäuden eingegangen, in denen besonderes Augenmerk auf eine wirksame und komfortable Wohnungslüftung gerichtet wurde. Dies zeigt, dass facheinschlägige Firmen und Handwerksbetriebe bereitstehen, um die Aufgaben der mechanischen Wohnungslüftung qualifiziert zu lösen.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	3
Kurzfassung	3
1. Wohnungslüftung - Luxus oder Notwendigkeit?	5
1.1 Gute Gründe für die Wohnungslüftung	5
1.2 Kohlendioxid als Indikator für die Raumlufthqualität	6
1.3 Empfundene Raumlufthqualität	7
1.4 Feuchtebelastung	8
1.5 Zusammenfassende Bewertung zum Thema "Lüftung".....	9
2. Der Energiebedarf von Wohngebäuden und der Einfluss der Lüftung	9
2.1 Ein Qualitätsmerkmal von Wohngebäuden: Der Energiebedarf	9
2.2 Der Wärmebedarf von Wohngebäuden	10
3. Möglichkeiten und Grenzen der natürlichen Lüftung	12
3.1 Fugenlüftung	12
3.2 Fensterlüftung	13
3.3 Schachtlüftung	14
3.4 Bauschäden und Schimmelpilzbildung	14
4. Mechanische Lüftung	15
4.1 Überblick	15
4.2 Dezentrale Abluftsysteme ohne Wärmerückgewinnung	16
4.3 Dezentrale Zuluft-/Abluftsysteme mit Wärmerückgewinnung	17
4.4 Zentrale Abluftsysteme ohne Wärmerückgewinnung	18
4.5 Zentrale Abluftsysteme mit Wärmerückgewinnung	18
4.6 Zentrale Zuluft-/Abluftsysteme mit Wärmerückgewinnung	20
4.7 Passivhäuser und Wohnungslüftung	23
5. Komponenten von Lüftungsanlagen	24
5.1 Ventilatoren	24
5.2 Wärmeübertrager zur Wärmerückgewinnung	25
5.2.1 Rekuperatoren	25
5.2.2 Regeneratoren	26
5.3 Wärmepumpen in Lüftungsanlagen	26
5.4 Rohrleitungen und Kanalnetze	27
5.5 Konstant-Volumenstromregler	29
5.6 Luftfilter	29
5.7 Schallschutzmaßnahmen	30
6. Auslegungsbeispiel für eine Lüftungsanlage	31
6.1 Aufgabenstellung	31
6.2 Luftvolumenstrom	31
6.3 Geräteauswahl und Raumlufthmengen	31
6.4 Rohrleitungsführung, Rohrleitungszubehör	32
6.5 Druckverluste	32
7. Erfahrungen mit der Wohnungslüftung: Ausgeführte Anlagen	34
7.1 Förderprogramm Passivhäuser in Baden-Württemberg	34
7.2 Niedrigenergiehäuser mit Wohnungslüftung	36
7.3 Bauliche Sanierung einer Wohnsiedlung	38
7.4 Erneuerung eines Sechsfamilien-Wohnhauses	40
7.5 Sanierung eines Wohngebäudes	41
7.6 Älteres Wohnhaus: Auf Passivhaus-Standard umgebaut	42
7.7 Umbau eines Plattenbaus zur Senioren-Residenz	46
7.8 Niedrigenergiehaus-Standard für drei Großgebäude mit 375 Mietwohnungen	45
7.9 Richtungsweisende Energiespar-Techniken für ein Mehrfamilienhaus	46
7.10 Komfortabel belüftet: Neues energiesparendes Wohnhaus	47
8. Quellenverzeichnis	48
9. Staatliche Förderung und Informationsstellen in Baden-Württemberg	50

1. Wohnungslüftung - Luxus oder Notwendigkeit?

1.1 Gute Gründe für die Wohnungslüftung



Lüften in Haus und Wohnung: Eine Frage von Hygiene und Behaglichkeit - und bauphysikalisch sinnvoll [F1]

In hochindustrialisierten Staaten wie etwa Deutschland, die durch differenzierte Arbeits- und Lebensweisen geprägt sind und die zugleich eine eher kühlere Witterung aufweisen, halten sich die Menschen in durchschnittlich etwa 90 Prozent ihrer Zeit in Gebäuden auf.

Die Raumluft, die sie dort einatmen, bestimmt in erheblichem Umfang ihr Behaglichkeitsgefühl wie auch ihre Gesundheit. Bisher ist jedoch das Bewusstsein für die Güte der Atemluft in Deutschland deutlich weniger ausgeprägt als etwa das Bewusstsein für die Qualität von Lebensmitteln oder von Wasser, die ebenfalls entscheidend für Wohlbefinden und Gesundheit der Menschen sind. Demgegenüber wird z.B. in Skandinavien, in den Niederlanden, in Frankreich und in

den USA der Luftqualität in Gebäuden mehr Bedeutung beigemessen.

Ob Luft "sauber" ist, kann objektiv festgestellt werden: Die Konzentration von Schadstoffen und Geruchsstoffen in der Raumluft kann gemessen und mit Grenzwerten verglichen werden, für die eine gesundheitliche Unbedenklichkeit nachgewiesen ist. Gesundheitlich negative Auswirkungen von Raumluftverunreinigungen werden teilweise als klar erkennbare "akute" Erkrankungen, teilweise als chronische Erkrankungen festgestellt.

So fasst die Weltgesundheitsorganisation (WHO) Aspekte der Raumluftqualität wie Luftschadstoffe, Geruchsbelästigungen und deren Folgen auf Wohlbefinden und Gesundheit mit den Begriffen "Sick Building Syndrom" und "Building Related Illness" zusammen - Begriffe, die jedoch klärungsbedürftig sind (vgl. z.B. [1]).

Eine der umfassendsten Untersuchungen über die Luftqualität in Räumen, die unter der Bezeichnung "ProKlimA" von sieben namhaften deutschen Forschergruppen über mehrere Jahre hinweg erarbeitet wurde, liegt inzwischen vor; sie weist u.a. einen Zusammenhang zwischen der Raumluftqualität und den Verfahren der Lüftung aus (vgl. [2]).

Inzwischen gibt es auch Untersuchungen, in denen die Auswirkungen von zu großer Feuchte in Räumen auf die Bau-

substanz sowie die Bildung von Schimmel erfasst sind. Die dabei nachgewiesenen Bauwerksschäden sowie gesundheitlichen Folgen legen auch hier nahe, dem Gesichtspunkt der Lüftung stärkere Aufmerksamkeit zu widmen [3,4].

Tabelle 1.1 gibt eine Übersicht über mögliche Schadstoffe, Verunreinigungen und Belästigungen in Räumen sowie deren Herkunft. Jüngere Untersuchungen haben gezeigt, dass etwa 8000 verschiedene raumluftbelastende Stoffe erfasst werden können [5]. Von Bedeutung ist auch, dass in den letzten Jahrzehnten die Anfälligkeit für Allergien gestiegen ist, die von - teilweise jahreszeitlich verstärkt auftretenden - Stoffen in der Luft wie beispielsweise bestimmten Pollenarten herrühren.

Wie lässt sich eine gute Raumluftqualität sicherstellen? - Eine wirkungsvolle Strategie hierzu sollte die folgenden Maßnahmen umfassen:

- die Vermeidung von Schadstoffen, Verunreinigungen und belästigenden Stoffen in Räumen
- das Herausfiltern von Schadstoffen, Verunreinigungen und belästigenden Stoffen aus Außenluft und Raumluft
- die wirkungsvolle Abfuhr von Schadstoffen, Verunreinigungen und belästigenden Stoffen
- eine hinreichende Verdünnung dieser Stoffe im Gebäude

Nach welchem Maßstab soll die hygienisch und gesundheitlich erforderliche Zufuhr von Außenluft festgelegt werden? Für den Wohnungsbereich eignen sich dafür das Ausmaß der Kohlendioxid-Belastung, die empfundene Raumluftqualität und die vorhandene Feuchtebelastung. Im folgenden wird auf diese Faktoren näher eingegangen.



Raumluftqualität ist messbar. Sie wird durch Kohlendioxid, Schadstoffe und Geruchsstoffe beeinflusst.



Gute Luft: Nicht immer selbstverständlich

Herkunft von Luftbestandteilen wie z.B. Schadstoffen, Verunreinigungen und Belästigungen	Luftbestandteile wie z.B. Schadstoffe, Verunreinigungen und Belästigungen
Außenluft - Biosphäre - Feuerungsanlagen, Verkehr, Industrie	- Pollen, Insekten - Kohlendioxid, Kohlenmonoxid, Schwefeldioxid, Stickoxide, Kohlenwasserstoffe, Geruchsstoffe, Ruß, Staub, Aerosole, Wasserdampf
Schlechte raumlufttechnische Anlagen	- Geruchsstoffe, Stäube, Luftkeime, Aerosole
Mensch - Stoffwechsel - Tätigkeiten - Kochen mit Gas, Heizen mit Gas-Einzelfeuerstätten bzw. offenen Kaminen	- Kohlendioxid, Körpergerüche, Wasserdampf - Tabakrauch, Staub, Stoffe aus Haushaltsprodukten (Reinigungsmitteln, Körperpflegemitteln), Lösungsmittel und andere organische Verbindungen, Wasserdampf, Emissionen aus Kochvorgängen - Kohlendioxid, Kohlenmonoxid, Stickoxide, Wasserdampf, Staub, Ruß
Pflanzen, Tiere	- Kohlendioxid, Wasserdampf, Gerüche, Körperausscheidungen, Pilzsporen, Bakterien, Viren, Ausscheidungen von Hausstaubmilben
Gebäudematerialien - Wärmedämmstoffe - Spanplatten - Farbanstriche, Ölbilder - Klebematerialien - Heimtextilien - Gebäudeumfassung - Erdreich	- Organische Verbindungen, Formaldehyd - Formaldehyd - Lösungsmittel, Schwermetalle, organische Verbindungen - Lösungsmittel - Lösungsmittel, Faserbehandlungsmittel - Radon, Asbest, Holzschutzmittel - Radon

Tabelle 1.1: Luftbestandteile wie z.B. Schadstoffe, Verunreinigungen und Belästigungen in Räumen sowie deren Herkunft

1.2 Kohlendioxid als Indikator für die Raumlufthqualität

Kohlendioxid (CO₂) ist ein geruchloses, ungiftiges Spurengas in der Luft. Es gelangt durch natürliche Vorgänge - z.B. bei Vulkanausbrüchen - in die Atmosphäre; daneben entsteht CO₂ bei der Verbrennung von Stoffen, die Kohlenstoff



Kohlendioxid-Konzentration in der Luft: Indikator für die Luftqualität

enthalten, z.B. bei der Verbrennung von Kohle, Mineralölprodukten und Erdgas, aber auch bei den Stoffwechselvorgängen von Lebewesen wie etwa dem Menschen. In der Außenluft ist Kohlendioxid im Umfang von rund 0,0375 % enthalten (375 ppm, d.h. 375 Teilchen auf 1 Million Teilchen); in Gebäuden kann die Konzentration von Kohlendioxid als Folge der sich darin aufhaltenden Menschen auf ein Mehrfaches ansteigen.

Tätigkeit	Aktivitätsgrad	CO ₂ -Abgabe (l/h)	Atemluftbedarf (m ³ /h)
Schlafen		12	0,300
Lesen oder Schreiben	I	15	0,375
Sehr leichte körperliche Tätigkeit im Sitzen oder Stehen	II	23	0,575
Körperliche Tätigkeit	III	30	0,750

Tabelle 1.2: CO₂-Abgabe und Atemluftbedarf eines Menschen



Allergieauslöser: Hausstaubmilbe (Bild stark vergrößert)

Der Naturforscher und Arzt Max von Pettenkofer, der sich ausgiebig mit Fragen der Hygiene und Gesundheit befasste, veröffentlichte bereits im Jahr 1858 Beobachtungen, nach denen sich Personen in Räumen mit CO₂-Konzentrationen unter 0,1 % behaglich, in Räumen mit CO₂-Konzentrationen über 0,2 % unbehaglich fühlten und sich über "schlechte Luft" beklagten. Die CO₂-Konzentration allein ist dabei jedoch nicht ausschlaggebend, sondern sie stellt lediglich einen Indikator für andere, behaglichkeitsbeeinträchtigende Spurenstoffe in der Atemluft dar.

Pettenkofer benannte darauf als Grenzwert für eine gute Raumlufthqualität einen CO₂-Wert von 0,1 %. Dieser Wert, Pettenkofergrenze genannt, gilt auch heute noch als Maßstab für den Grad der Luftbelastung in Aufenthaltsbereichen wie etwa Büroräumen und Wohnungen. Er ist in der deutschen Norm DIN 1946, in der Fragen der Raumlüftung behandelt werden, für Büroräume festgelegt ([7], [8]). Neuere Untersuchungen haben ergeben, dass bei Innenräumen eine CO₂-Grenze von 0,15 % nicht überschritten werden sollte [5], um eine gute Raumlufthqualität sicherzustellen.

In **Tabelle 1.2** ist die mittlere CO₂-Abgabe und der mittlere Atemluftbedarf eines Menschen bei verschiedenen Aktivitätsgraden angegeben. Mit einem Außenluftvolumenstrom von 30 Kubikmetern pro Stunde (m³/h), bezogen auf eine Person, wird die Pettenkofergrenze bei einem

Aktivitätsgrad II eingehalten, bei einem schlafenden Menschen reichen 20 m³/h. Als Lüftungstechnische Kenngröße wird der "Luftwechsel" herangezogen. Geht man z.B. von einer Wohnung mit einer Grundfläche von 96 m² aus, die ständig von 4 Personen bewohnt wird, so führt ein Außenluftvolumenstrom von 30 m³/h je Person zu einem gesamten Außenluftvolumenstrom von 120 m³/h. Die Wohnung weist bei einer Raumhöhe von 2,5 m ein Gesamtvolumen von 240 m³ auf. Somit ergibt sich ein stündlicher Luftwechsel von $120 \text{ m}^3/\text{h} / 240 \text{ m}^3 = 0,5 \text{ 1/h}$. Die Hälfte der Luft in der Wohnung wird innerhalb einer Stunde ausgetauscht [9].

Übrigens werden in Räumen, in denen Schadstoffe aus Produktionsanlagen zu einer Beeinträchtigung der Luftqualität führen, für unterschiedliche Schadstoffe (z.B. für Aceton, Formaldehyd, Methanol, Schwefeldioxid, Nikotin u.a.) höchstzulässige Grenzwerte (MAK-Werte: Werte für die maximale Arbeitsplatzkonzentration von Arbeitsstoffen) angegeben. Dabei wird der höchstzulässige Wert von CO₂ mit 5000 ppm (0,5 %) entsprechend 9100 mg/m³ angegeben, durch den sichergestellt wird, dass keine Beeinträchtigungen zu erwarten sind. CO₂ ist also auch in Konzentrationen von mehr als 0,15 % - z.B. von 0,5 % entsprechend dem MAK-Wert - nicht schädlich.

Erst oberhalb von rund 1 % ist mit Beeinträchtigungen wie Kopfschmerzen und Müdigkeit zu rechnen. MAK-Werte können also zur Beurteilung der Luftqualität in Produktionsräumen, nicht jedoch zur Beurteilung der Luftqualität in Wohnungen herangezogen werden.

1.3 Empfundene Raumlufthqualität

Die Frage nach der empfundenen Raumlufthqualität und die große Zahl von etwa 8000 verschiedenen raumlufthbelastenden Stoffen hat in den letzten Jahren dazu geführt, dass ein Verfahren zur objektiven, summarischen Erfassung der Raumlufthqualität entwickelt wurde, bei dem der damit verbundene Aufwand begrenzt bleibt. Dabei wird die empfundene Raumlufthqualität durch geschulte Testpersonen beim Eintreten in einen Raum ermittelt. Als Geruchsmaßstab dienen

Region	Luftqualität (decipol)
Meer, Gebirge	0,05
Stadt, hohe Luftqualität	0,1
Stadt, mittlere Luftqualität	0,2
Stadt, geringe Luftqualität	0,5

Tabelle 1.3: Empfundene Außenluftqualität in decipol nach DIN 1946 [7]

definierte Referenzgerüche (Azetonlösungen mit abgestufter Konzentration). Die ermittelte Raumlufthqualität wird mit den Referenzgerüchen verglichen und mit einer Größeneinheit der empfundenen Raumlufthqualität - dem "decipol" - bewertet. Auch die Qualität der Außenluft kann auf diese Weise bewertet werden (vgl. die **Tabellen 1.3 und 1.4**; [10], [11]).

Die Stärke der Geruchsquellen bzw. Emissionsquellen wird ebenfalls mit einer eigenen Größeneinheit - dem "olf" - beschrieben. Die Quellstärke "1 olf" ist durch eine Standard-Person festgelegt, die sich mit einem Aktivitätsgrad I in einem sonst schadstoff- sowie geruchstofffreien Raum aufhält und etwa alle

anderthalb Tage ein Bad nimmt. Wird dieser Raum mit einem Volumenstrom von 10 Litern je Sekunde (entsprechend 36 m³ je Stunde) mit reiner Außenluft belüftet, die frei ist von Schadstoffen und Geruchsstoffen, so ergibt sich eine empfundene Raumlufthqualität von 1 decipol. Auch andere in einem Raum vorhandene Geruchs- und Schadstoffquellen wie Tiere, Möbel, Teppichböden u.ä. können hinsichtlich ihrer Emissionsstärke in "olf" bewertet werden (**Tabelle 1.5**; [10], [11]).

Empfundene Luftqualität und Emissionen (decipol)	Unzufriedene Personen (%)
Hoch	0,7
Mittel	1,4
Niedrig	2,5

Tabelle 1.4: Empfundene Luftqualität und Emissionen nach DIN 1946 sowie Grad der Unzufriedenheit [7]

Verunreinigungsquelle	Emissionsstärke (olf/m²)
Personen mit 20 % Raucheranteil	1 - 2,5
Personen mit 40 % Raucheranteil	6
Teppichboden Wolle	0,2
Teppichboden Kunstfaser	0,4
PVC, Linoleum	0,2
Marmor	0,01
Mittlere Lüftungsanlage	0,25
Gute Lüftungsanlage	0,1

Tabelle 1.5: Emissionsstärke von Personengruppen und von Stoffen [5]

Wenn alle Emissionsquellen mit ihrer Quellstärke erfasst sind, so lässt sich in Abhängigkeit der Außenluftqualität der erforderliche Außenluftbedarf angeben, um eine gewünschte Raumlufthqualität sicherzustellen. Dieses Verfahren ist in der Norm DIN 1946 festgehalten. Gemäß dieser Norm kann die Raumlufthqualität mit dem Anteil unzufriedener Personen korreliert werden, die sich im Raum befinden, und demgemäß in die drei Gruppen "hoch", "mittel" und "niedrig" der Raumlufthqualität eingeteilt werden [7].



Gerüche können bewertet werden.

Kohlendioxid (CO₂), Raumlufthqualität und Geruchsbelastung

"Die wesentlichsten Ausscheidungsstoffe unserer Lungen und unserer Haut, so weit sie in die Luft übergehen, sind Kohlensäure (*früher als Bezeichnung für Kohlendioxid CO₂ verwendet*) und Wasser. Gleichzeitig mit diesen geht stets noch eine geringe Menge flüchtiger organischer Stoffe in die Luft über, die sich bei einiger Anhäufung durch den Geruch bemerkbar machen. ... Für empfindsame Geruchsnerven wird jedes bewohnte Zimmer mehr oder weniger Geruch haben, so dass wir uns nach einem Maßstab umsehen müssen, der uns gewisse Grade der Luftverderbnis ohne Mitwirkung subjektiver Empfindungen zu bestimmen erlaubt.

... Somit bleibt uns kein anderer Anhaltspunkt als die Kohlensäure, deren Gehalt in der freien Luft durchgehend nur gering ist. ... Der Kohlensäuregehalt allein macht die Luftverderbnis nicht aus, wir benutzen ihn bloß als Maßstab, wonach wir auch noch auf den größeren oder geringeren Gehalt an anderen Stoffen schließen, welche zur Menge der ausgeschiedenen Kohlensäure sich proportional verhalten."

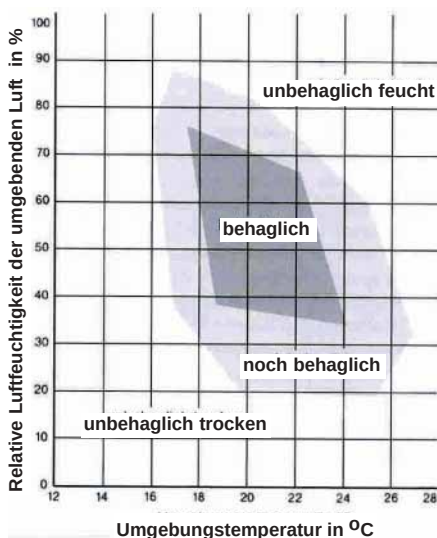
Max von Pettenkofer 1858

1.4 Feuchtebelastung

Um ein behagliches Raumklima zu schaffen oder zu erhalten, ist nicht nur eine entsprechende Raumtemperatur sowie eine hinreichend "saubere" Luft erforderlich, sondern auch eine bestimmte relative Feuchte - also ein bestimmter Gehalt an Wasserdampf in der Luft. In der Regel wird Luft mit einer relativen Feuchte zwischen etwa 35 und 70 % als behaglich empfunden. Zu trockene Luft führt zu einer Austrocknung der Schleimhäute und zu erhöhter elektrostatischer Aufladung von Teilchen in der Luft. Zu hohe Luftfeuchtigkeit erweckt oft ein Gefühl beklemmender Schwüle.

Weiter kann eine zu hohe Luftfeuchtigkeit dazu führen, dass sich an kälteren Flächen in der Wohnung - an Fenstern, an Außenwänden, an Wärmebrücken in Ecken sowie an Fugen - Tauwasser niederschlägt: Dort wird das - von der Raumluft dampfförmig getragene - Wasser durch Entzug der Kondensationswärme verflüssigt. Bildet sich Tauwasser während längerer Zeiträume, so kann es zu einer Durchfeuchtung der Gebäudehülle und damit zu Bauwerksschäden kommen. Daneben fördert eine relative Luftfeuchte von 65 bis 100 % im Grenzbereich von Wänden die Bildung von Schimmelpilzen, diese verschlechtern die Raumluftqualität [11]. Bauwerksschäden und die Bildung von Schimmelpilzen als Folge einer unzureichenden Feuchteabfuhr gehören inzwischen zu den häufigsten bautechnischen Problembereichen in Deutschland.

Wie kommt die Feuchte in die Raumluft?
- Meist wird Wasser in Form von Wasser-



Die Behaglichkeit hängt von der relativen Luftfeuchte und von der Umgebungstemperatur ab.

dampf, zum Teil aber auch als flüssiges Wasser in die Raumluft eingebracht: Die Bewohner geben Wasser beim Ausatmen und über die Haut ab; daneben sind Vorgänge wie Wäschewaschen, Kochen, Geschirrspülen, Putzen, Baden, Duschen sowie weitere Maßnahmen zur Körperpflege mit der Abgabe von Feuchtigkeit verbunden; auch Pflanzen geben Wasser an die Raumluft ab (vgl. **Tabelle 1.6**).

Der Umfang des Feuchteintrags in die Raumluft hängt stark vom individuellen Verhalten der Personen ab, die sich in einer Wohnung aufhalten. Eine gewisse Rolle hinsichtlich der Feuchtebelastung der Raumluft spielt dabei auch die Fähigkeit von Oberflächenmaterialien zur Feuchtespeicherung. Bei Wohnungen mit einer durchschnittlichen haushaltsüblichen Nutzung wird von einer

Quelle	Wasserdampf-abgabe
Schlafender Mensch	40 - 50 g/h
Mensch bei Hausarbeit	90 g/h
Mensch bei körperlich anstrengender Arbeit	175 g/h
Topfpflanzen	7 - 15 g/h
Mittelgr. Gummibaum	10 - 20 g/h
Wäschewaschen (Waschmaschine)	200 - 350 g je Waschgang
Trocknende Wäsche (4,5 kg, geschleudert)	50 - 200 g/h
Braten	600 g/h
Kurzzeitgericht	400 - 500 g/h
Langzeitgericht	450 - 900 g/h
Geschirrspülmaschine	200 g je Spülgang
Wannenbad	1100 g je Bad
Duschbad	1700 g je Bad

Tabelle 1.6: Eintrag von Feuchtigkeit als Wasserdampf in Wohnungen [5]

durchschnittlichen Feuchteproduktion von etwa 140 Gramm Wasser je Stunde und Person ausgegangen. Ein Vier-Personen-Haushalt kommt hiernach auf eine Feuchteproduktion von rund 13,5 Kilogramm Wasser je Tag.

Soll die Raumluftfeuchtigkeit in den Grenzen der Behaglichkeit gehalten werden, muss beachtet werden, dass der Feuchtegehalt der Außenluft sehr stark von der Temperatur - und damit von der Tageszeit und der Jahreszeit - abhängt (**Tabelle 1.7**). Soll beispielsweise die Raumluft bei 20 °C auf einem Niveau von 60 % relativer Luftfeuchte (entsprechend einem Feuchtegehalt von 10,4



Feuchteschimmel in einem Schlafzimmer

g/m³) gehalten werden, so kann z.B. mit 1 m³ zugeführter Außenluft von angenommenen 60 % relativer Luftfeuchte bei einer Außentemperatur von - 10 °C etwa 9,1 g, bei 0 °C noch etwa 7,5 g und bei 10 °C nur noch etwa 4,8 g Feuchtigkeit aufgenommen werden; bei Außenluft mit 20 °C Temperatur ist keine Feuchtigkeitsaufnahme mehr möglich.

Im allgemeinen reicht zum Entfeuchten einer beheizten Wohnung während der Heizperiode ein Volumenstrom von rund 30 m³/h je Person aus. Dieser Volumenstrom-Wert stimmt mit dem erforderlichen Volumenstrom überein, der wegen der Pettenkofergrenze für die CO₂-Konzentration und weitere belastende Stoffe einzuhalten ist. Bei Außentemperaturen um und unter 0 °C genügt auch ein verminderter Außenluftvolumenstrom.

Übrigens werden höhere Luftfeuchten bei höheren Außenlufttemperaturen, wie sie außerhalb der Heizperiode auftreten, von den Bewohnern häufig als "normal" eingestuft. Auch ist dann das Problem der Taupunktunterschreitung und der dabei auftretenden Feuchteausscheidung durch Kondensation eher begrenzt:



Feuchtigkeit gelangt bei vielen alltäglichen Vorgängen in die Raumluft.

Außenlufttemperatur (°C)	Mittlerer Feuchtegehalt der Außenluft (g/m³) bei einer relativen Luftfeuchte von			
	40 %	60 %	80 %	100 %
- 15	0,6	0,8	1,1	1,4
- 10	0,9	1,3	1,8	2,2
- 5	1,3	1,9	2,5	3,2
+ 0	1,9	2,9	3,9	4,9
+ 5	2,7	4,1	5,5	6,8
+ 10	3,7	5,6	7,5	9,4
+ 15	5,1	7,7	10,3	12,8
+ 20	6,9	10,4	13,9	17,3
+ 25	9,3	13,9	18,5	23,1
+ 30	12,1	18,2	24,3	30,4

Tabelle 1.7: Mittlerer Feuchtegehalt der Außenluft (bei 40, 60, 80 und 100% Luftfeuchtigkeit) in g/m³, abhängig von der Außentemperatur

Hier ist nicht so sehr mit Bauwerkschäden zu rechnen wie bei niedrigeren Außenlufttemperaturen in der Heizperiode - etwa im Herbst und im Frühjahr.

1.5 Zusammenfassende Bewertung zum Thema "Lüftung"

Die Wohnungslüftung ist eine Notwendigkeit: Fragen der Hygiene, Behaglichkeit und Gesundheit, aber auch bauphysikalische Gründe sprechen für die Lüftung von Wohngebäuden und Wohnungen. Um die Belastung der Raumluft durch Kohlendioxid (CO₂), Gerüche, Feuchte, allergieauslösende Substanzen und Schadstoffe zu vermindern, die von Baustoffen, Teppichen und Möbeln herühren, aber auch zur Vermeidung von Bauschäden muss gelüftet werden.

Als Richtwert für einen hygienisch notwendigen Luftvolumenstrom gilt der Wert von 30 m³ je Person und Stunde. Dieser Wert wird insbesondere auch in der deutschen Norm DIN 1946 einer Dimensionierung zugrundegelegt. Dies führt - je nach Größe der Wohnfläche und der sich dort dauerhaft aufhaltenden Personen - zu Werten für den notwendigen Luftwechsel von ungefähr 0,3 bis 0,8 je Stunde.

Ein solcher Luftwechsel kann grundsätzlich entweder durch natürliche (freie) Lüftung oder durch mechanische Lüftung erreicht werden. Ob auf eine natürliche Lüftung oder eine mechanische Lüftung zurückgegriffen werden sollte, hängt davon ab, wie wirksam die damit erreichte Lüftung ist, und wie sich die jeweilige Art der Lüftung auf den Energiebedarf eines Wohngebäudes oder einer Wohnung auswirkt.

2. Der Energiebedarf von Wohngebäuden und der Einfluss der Lüftung

2.1 Ein Qualitätsmerkmal von Wohngebäuden: Der Energiebedarf

Bei Kraftfahrzeugen ist es schon lange üblich, einen Norm-Verbrauch anzugeben. So wird heute unter reproduzierbaren Bedingungen ein EU-Normverbrauch in Litern je 100 km (l/100 km) ermittelt. Dabei werden Fahrzyklen simuliert, die einem innerstädtischen sowie einem außerstädtischen Betrieb entsprechen, und dabei der Verbrauch gemessen; hieraus wird ein Gesamtverbrauch ermittelt; zusätzlich werden damit die zugehörigen CO₂-Emissionen in Gramm je Kilometer (g/km) bestimmt. Ob ein Fahrer diesen Normverbrauch erreicht oder ihn unterschreitet bzw. überschreitet, hängt von seiner Fahrweise ab.

Genauso sinnvoll ist es, für Wohngebäude bzw. Wohnungen einen Primärenergiebedarf in Kilowattstunden je Quadratmeter Nutzfläche und Jahr (kWh/m² a) unter Normbedingungen anzugeben. Wie weit dieser Primärenergiebedarf erreicht oder unterschritten bzw. überschritten wird, hängt vom Benutzerverhalten ab - und z.B. auch davon, welche klimatischen Außenbedingungen über das Jahr gesehen herrschen. Allerdings ist die Ermittlung dieses Primärenergiebedarfs ziemlich kompliziert: Hier ist die Güte der Wärmedämmung von Außenwänden, Fenstern, Dach und Keller sowie die Gebäudedichtheit entscheidend - und auch z.B. das Vermögen, Wärme zu speichern und die Fähigkeit,

mit den Fenstern über das Jahr hinweg Sonnenenergie einzufangen.

Außerdem ist Energie nicht gleich Energie: Dabei geht es nicht nur um die Wärme, die letztlich für die Trinkwassererwärmung und fürs Heizen benötigt wird, sondern auch darum, mit welchem Aufwand aus welcher Endenergie und mit welcher Anlagentechnik diese Wärme erzeugt wird. Es kommt also auf die eingesetzten Endenergien wie Erdgas, leichtes Heizöl, Strom, Holzpellets oder Kohle an - und auf die Güte von Kesselanlagen, Heizverteilsystemen, Regelungstechniken, Anlagen zur Trinkwassererwärmung, Systemen zur Belüftung und und und ...

Doch mit der hieraus ermittelten Endenergie ist es noch immer nicht getan: Denn die jeweils genutzte Endenergie muss erst einmal aus der sogenannten Primärenergie - also einem unveredelten Energieträger in seinem "Rohzustand" - erzeugt werden: So müssen z.B. Erdgas und Heizöl erst einmal gefördert, veredelt und dann über bestimmte Transportentfernungen zum Verbraucher gebracht werden - dazu ist zusätzliche Energie erforderlich. Und Strom - eine Endenergie, die bei der häuslichen Wärmeversorgung manchmal nicht so recht wahrgenommen wird, aber praktisch überall mit von der Partie ist - muss erst einmal in Kraftwerken erzeugt und



Neue Wohngebäude haben einen niedrigen spezifischen Energiebedarf [F9].

über Leitungsnetze zum Verbrauchsort gebracht werden, was natürlich ebenfalls nicht ohne Energieverluste abgeht. Der Fachmann spricht in diesem Zusammenhang von Aufwandszahlen, die angeben, welcher energetische Aufwand letztlich vom Anfang bis zum Ende der jeweiligen Prozesskette getrieben werden muss, um zu einem gewünschten energetischen Nutzen zuhause zu kommen.

Die Energieeinsparverordnung aus dem Jahr 2002 [13] schreibt zur Ermittlung des Primärenergiebedarfs ganz genaue Vorgehensweisen vor, um zu möglichst objektiven Aussagen zu kommen ([13] - [18]). Ein solcher Vergleich lohnt sich - weil Energiesparen auf Dauer nicht nur den Geldbeutel des Nutzers schont, sondern zugleich auch die wertvollen Energievorräte. Und außerdem wird die Umwelt von einem unnötigen Ausstoß von Schadstoffen und klimawirksamen Gasen wie z.B. CO₂ entlastet.

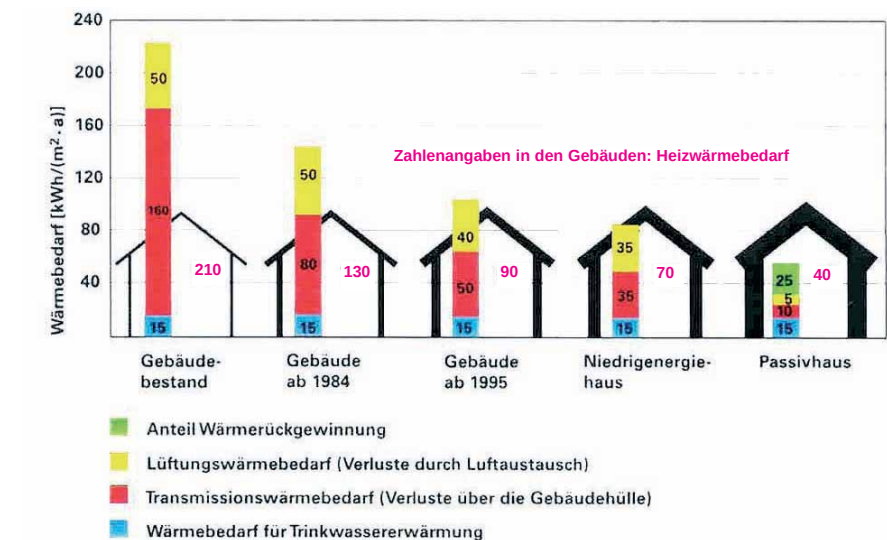
2.2 Der Wärmebedarf von Wohngebäuden

Den Wärmebedarf von Wohngebäuden und Wohnungen kann man danach unterteilen, für welche Aufgabenbereiche die Wärme benötigt wird

- den Wärmebedarf für die Trinkwassererwärmung
- den Wärmebedarf, der die Wärmeverluste ausgleicht, die durch den Wärmeabfluss über Außenwände, Fenster, Dach und Keller auftreten (Transmissionswärmebedarf)
- den Wärmebedarf der die Wärmeverluste ausgleicht, die durch den Wärmeabfluss beim Luftaustausch auftreten (Lüftungswärmebedarf)

Betrachtet man die Entwicklung des Wärmebedarfs genauer, dann spielt dabei der Gebäude- bzw. Wohnungstyp eine wichtige Rolle. Vor dem Jahr 1984 gab es in Deutschland hierzu keine Rahmenbedingungen, mit denen der Wärmebedarf gezielt eingeschränkt worden wäre. 1984 hat der Gesetzgeber eine Wärmeschutzverordnung erlassen, mit welcher der Wärmebedarf für Neubauten begrenzt wurde; diese Wärmeschutzverordnung wurde 1995 verschärft. Seit dem Jahr 2002 gilt die Energieeinsparverordnung (EnEV), die eine weitere Verringerung des Wärmebedarfs für Neubauten vorschreibt; wobei zum ersten Mal nicht auf den Wärmebedarf selbst, sondern auf den dadurch ausgelösten Primärenergiebedarf abgehoben wird.

In der oberen Grafik auf dieser Seite ist dargestellt, wieviel Kilowattstunden Wär-



So unterschiedlich kann der Wärmebedarf beim Wohnen je Quadratmeter Nutzfläche und Jahr sein: Beim Bestand älterer Wohngebäude liegt er im Mittel über siebenmal so hoch wie bei einem - auf extreme Sparsamkeit getrimmten - modernen Passivhaus [19]

schen Standards - ein mittlerer Wärmebedarfswert für ein neues Passivhaus genannt: Mit ungefähr 30 kWh/(m² a) liegt er an der Untergrenze des bautechnisch praktisch sinnvoll Machbaren.

Die obere Grafik zeigt, dass bei allen Gebäudetypen von einem gleich großen mittleren Trinkwasserwärmebedarf ausgegangen wird; der genannte Wert von 15 kWh/(m² a) ist übrigens in der Energieeinspar-Verordnung 2002 mit 12,5 kWh/(m² a) festgelegt worden.

Große Unterschiede gibt es jedoch beim durchschnittlichen Heizwärmebedarf, der je nach Gebäudetyp mit 210, 130, 90, 70 und 40 kWh/(m² a) angegeben ist. Dieser Heizwärmebedarf wird in den Transmissionswärmebedarf und den Lüftungswärmebedarf unterteilt.

Beim Transmissionswärmebedarf ergibt sich folgendes Bild: Entsprechend der unterschiedlichen Güte der Gebäude-Wärmedämmung, die in der oberen Grafik für den Gebäudebestand als dünne Umrandung, für das Passivhaus als dicke Umrandung symbolisch angedeutet ist, sind je nach Gebäudetyp Werte von 160, 80, 50, 35 und 10 kWh/(m² a) angegeben. Es zeigt sich, dass mit dem Passivhaus-Standard eine Grenze erreicht ist, die sich mit vertretbarem Aufwand praktisch kaum mehr unterschreiten lässt.

Der mittlere Lüftungswärmebedarf wird für den Gebäudebestand mit 50 kWh/(m² a) angegeben; beim Niedrigenergiehaus werden 35 kWh/(m² a) genannt. Beim Passivhaus ist der Lüftungswärmebedarf



Ältere Wohngebäude - hier ein über vierzig Jahre altes Sechsfamilienwohnhaus - werden heute häufig wärmetechnisch saniert, um wertvolle Energie zu sparen. Dabei sollte geprüft werden, ob nicht zugleich auch der Einbau einer mechanischen Lüftung ratsam ist.

von zunächst 30 kWh/(m² a) auf nur noch 5 kWh/(m² a) vermindert; dies ist durch den Einsatz eines zentralen Lüftungssystems möglich, mit dem 25 kWh/(m² a) zurückgewonnen und damit eingespart werden. Deshalb sinkt der mittlere gesamte Wärmebedarf des Passivhauses auf ein Minimum: auf nur noch etwa 30 kWh/(m² a).

Es wird sichtbar, dass bei sehr guter Wärmedämmung der Trinkwasserwärmebedarf und der Lüftungswärmebedarf anteilig stark an Bedeutung gewinnen; wer also konsequent aufs Energiesparen setzt und den Lüftungswärmebedarf verringern möchte, kommt an einem Lüftungssystem mit Wärmerückgewinnung nicht vorbei.

In der unteren Grafik auf dieser Seite sind für neue Wohngebäude die möglichen Bandbreiten des Heizwärmebedarfs und des Primärenergiebedarfs dargestellt. Auf der rechten Seite des Bildes

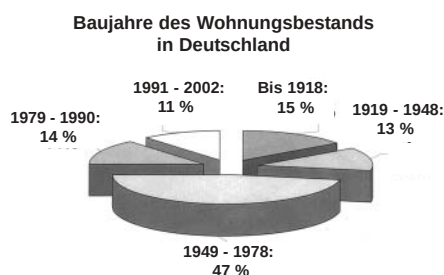
ist das Niedrigenergiehaus aufgeführt; damit kann den Anforderungen der Energieeinsparverordnung des Jahres 2002 Rechnung getragen werden. Beim Niedrigenergiehaus ist eine Warmwasser-Zentralheizung - etwa mit einem Erdgas-Brennwertkessel, einem Heizöl-Brennwertkessel, einem Holzpelletkessel oder einer elektrischen Wärmepumpe - weiterhin notwendig. Wird zusätzlich hierzu ein zentrales Zuluft-/Abluftsystem mit Wärmerückgewinnung eingesetzt, kann die Wärmedämmung der Außenhülle des Gebäudes weniger aufwendig ausfallen.

Wird der Wärmeschutz gegenüber dem Niedrigenergiehaus weiter verbessert, so spricht man vom Energiesparhaus oder 3-Liter-Haus: Hier liegt der Jahresheizwärmebedarf bei 30 kWh/(m² a) und weniger. Dies entspricht in erster Näherung einem Heizölbedarf von etwa 3 Litern je Quadratmeter und Jahr. Auch hier kann eine Warmwasser-Zentralheizung notwendig sein. Daneben ist man gut be-

raten, zusätzlich ein zentrales Zuluft-/Abluftsystem mit Wärmerückgewinnung zu betreiben.

In der unteren Grafik links ist das Passivhaus aufgeführt. Hier ist der Jahresheizwärmebedarf so gering, dass ohne Komfortverlust auf eine Warmwasser-Zentralheizung verzichtet werden kann. Stattdessen genügt ein zentrales Zuluft-/Abluftsystem mit Wärmerückgewinnung zum Heizen: Hier kommt zu den Vorzügen eines hygienischen Wohnens, der Vermeidung von Feuchteschäden und einer konsequenten Energieeinsparung hinzu, dass das Lüftungssystem quasi nebenbei auch noch eine komfortable Luftheizung darstellt.

Die wärmetechnische Sanierung bestehender Wohngebäude gehört zu den vordringlichen volkswirtschaftlichen Aufgaben: Damit kann wirksam Energie eingespart und gleichzeitig der Ausstoß von Luftschadstoffen und klimawirksamen Gasen vermindert werden. Mit einer erheblichen Absenkung der Kosten für die Wärmeversorgung des Gebäudes ist damit häufig auch ein beträchtlicher betriebswirtschaftlicher Nutzen verbunden.



Viele Gebäude in Deutschland haben ein stattliches Alter. Oft ist eine Sanierung angesagt.

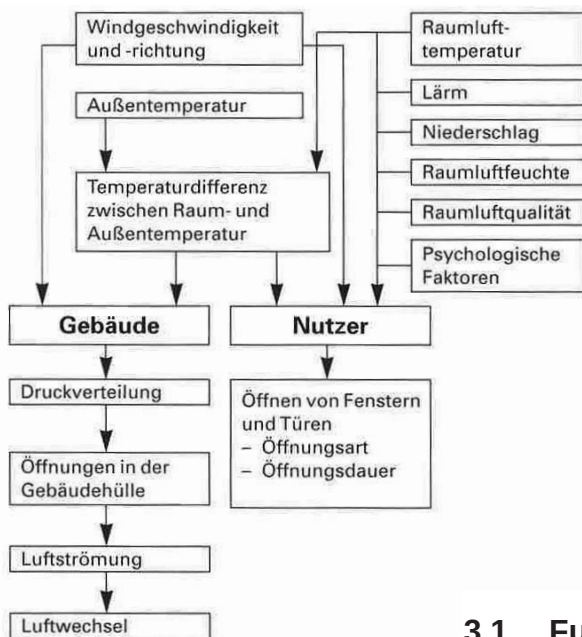
Wärmetechnisch sanierte Wohngebäude erreichen - je nach Aufwand bei der Sanierung - Wärmebedarfswerte, die z.B. zwischen 130 und 90 kWh/(m² a) liegen können; damit werden Wärmedämmqualitäten erzielt, die ohne weiteres den Wärmebedarfswerten von in den Jahren 1984 bis 2002 errichteten Neubauten entsprechen können. Geht man von einem mittleren Wärmebedarfswert vor der Sanierung von ca. 210 kWh/(m² a) und nach der Sanierung von rund 105 kWh/(m² a) aus, dann wird sichtbar, dass sich der Wärmebedarf durchaus halbieren lässt. Die Sanierungsbeispiele in Kapitel 7 dieser Informationsschrift zeigen, dass sogar noch bessere Werte erreicht werden können (vgl. z.B. auch [20]). Dies hat allerdings Konsequenzen auf die Art der Belüftung, wie in Abschnitt 4.4 ausführlich erläutert wird.



Heizwärmebedarf und Primärenergiebedarf verschiedener Gebäudetypen. Der Heizwärmebedarf ist deutlich geringer als der Primärenergiebedarf: Zunächst ist noch der Trinkwasserwärmebedarf hinzuzurechnen; dann müssen noch die Umwandlungsverluste bei Veredelung, Transport und Umwandlung der jeweiligen Energie berücksichtigt werden [19].

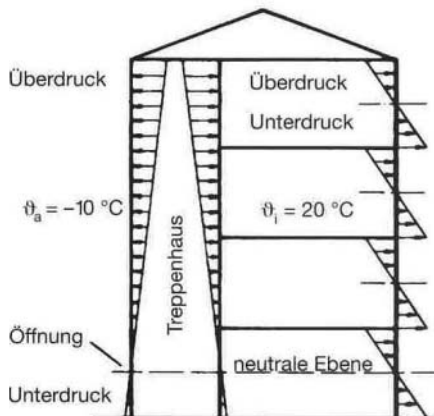
3. Möglichkeiten und Grenzen der natürlichen Lüftung

Als natürliche oder freie Lüftungstechniken werden solche Techniken verstanden, bei denen die Lüftung nicht mechanisch unterstützt wird. Zu ihnen gehören die Methoden der "klassischen" Lüftung durch die Bewohner, wie sie bisher in vielen bestehenden Wohngebäuden gebräuchlich sind. Bei der natürlichen Lüftung müssen Grenzen der Wirksamkeit und Leistungsfähigkeit in Kauf genommen werden: Der sich einstellende Luftwechsel in einem Raum bzw. in einer Wohnung ist nämlich nicht konstant, sondern hängt von einer ganzen Reihe äußerer und innerer Einflüsse ab, wie das untenstehende Bild zeigt.



Die natürliche Lüftung hängt von vielen Einflüssen ab [5].

Bei der natürlichen Lüftung spielen im wesentlichen die witterungsabhängigen Druckunterschiede zwischen außen und innen eine Rolle, die ständig wechseln



Die Luftdruckverteilung als Folge der Temperaturen von innen und außen beeinflusst die natürliche Lüftung [5].

können. Bei Wind ergibt sich auf der windangeströmten Gebäudeseite (Luv) ein höherer Luftdruck als auf der windabgewandten Seite (Lee); hierdurch wird eine Luftbewegung durch das Gebäude verursacht. Wechseln Windgeschwindigkeit und Windrichtung, so verändert sich auch die Lüftungswirkung.

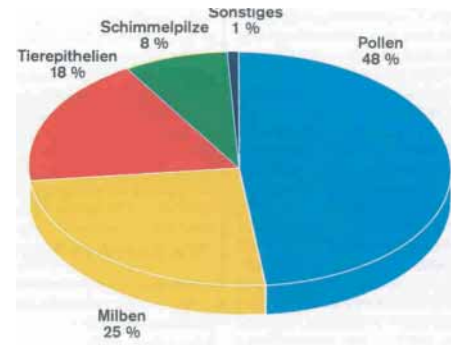
Ebenfalls wichtig ist die Außentemperatur: Im Winter hat die warme Raumluft gegenüber der kalten Außenluft eine niedrigere Dichte. Dichteunterschiede führen zu thermischen Auftriebskräften und Druckunterschieden. Die für die Lüftungswirkung ursächlichen Druckunterschiede zwischen außen und innen entstehen dadurch, dass der äußere Luftdruck über der Gebäudehöhe stärker abnimmt als der Luftdruck im Innern des Gebäudes; mit größerer Gebäudehöhe wächst diese Druckdifferenz. Die Luftströmungen, die zur Lüftungswirkung führen, hängen von der Größe der Öffnungen in der Gebäudehülle ab.

Bei der natürlichen Lüftung werden meist drei Arten der Lüftung unterschieden: die Fugenlüftung, die Fensterlüftung sowie die Schachtlüftung.

3.1 Fugenlüftung

Die durch Lüftungsfugen bewirkte Strömung ist häufig schwierig zu beherrschen; sie kann örtlich sehr verschieden sein, rasch umschlagen, stärker werden oder auch zurückgehen. Wer das Thema "Fugenlüftung" näher betrachtet, weiß:

Ältere Wohngebäude weisen oft erhebliche Fugen - vor allem an Fenstern, Türen und Dächern - auf, durch die nicht kontrollierbare und in ihrer Größe stark veränderliche Luftströme hindurchtreten. Werden ältere Gebäude nachträglich saniert und dabei neue, dichte Fenster- und Türkonstruktionen eingebaut sowie Dächer und Außenwände wärmegeklämt, so verringert sich die natürliche Lüftungswirkung entscheidend. Bei Neubauten ist eine entsprechende Gebäude-dichtheit von vornherein vorgeschrieben, um den Lüftungswärmebedarf niedrig zu halten; deshalb ist hier die natürliche Fugenlüftung sehr gering.



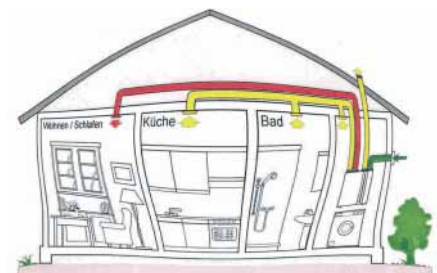
Etwa die Hälfte aller Allergien wird durch Pollen in der Außenluft ausgelöst. Dies setzt der natürlichen Lüftung Grenzen [32].



Neue Gebäude müssen in Deutschland der Anforderung der Luftdichtheit genügen. Damit wird Heizenergie eingespart, weil Lüftungswärmeverluste vermindert werden [F15].

Konstruktiv bewusst vorgesehene Fugen, etwa im unteren Bereich von Fensterrahmen, zur sogenannten Querlüftung bieten keine ausreichende Lösung des Lüftungsproblems.

Ein ausreichend großer Luftwechsel als Folge von - möglicherweise eher zufällig an der Gebäudehülle angebrachten - Fugen unterschiedlichen Querschnitts



Neubauten sind praktisch "luftdicht"; deshalb ist die Wirkung der Fugenlüftung sehr gering [19].

muss nicht zu einer quantitativ sinnvollen Durchlüftung aller Räume führen. Die Strömungsrichtung kann häufig ungünstig sein: Im Erdgeschoss kommt es wegen des thermischen Auftriebs zu Zugerscheinungen, etwa wenn das Toilettenfenster im Erdgeschoss ständig geöffnet ist. Dann steigt die bereits belastete Luft über das Treppenhaus in die höhergelegenen Räume und strömt z.B. durch Fugen in der Dachkonstruktion ins Freie. Dort können Bauschäden als Folge feuchter Luft auftreten.

Von innen nach außen durchströmte Fugen sind anfällig für Bauschäden, weil dort der Wasserdampf in der abströmenden Luft auskondensieren kann. Dies führt unter Umständen dazu, dass Bauteile dauerhaft durchfeuchtet werden. Schimmelpilzbildung und ggfs. Fäulniserscheinungen könnten die Folge sein.

Der jahreszeitliche Verlauf der Fugenlüftung entspricht ebenfalls nicht den Erfordernissen: In der kalten Jahreszeit ist der thermische Auftrieb am größten, wodurch sich ein unnötig hoher Luftwechsel einstellen kann. Im Hinblick auf die Entfeuchtung von Wohnungen wäre ein hoher Luftwechsel jedoch vor allem in der Übergangsjahreszeit wünschenswert, da in dieser Zeit die Außenluft wesentlich weniger Feuchte aufnehmen kann als die meist trockene Außenluft im Winter. Auch in sommerlichen Hitzeperioden ist während der kühlen Nacht- und Morgenstunden zur Kühlung der Wohnung ein höherer Luftwechsel wünschenswert. Eine Fugenlüftung kann dem nicht gerecht werden.

Bei kalten Außentemperaturen und starkem Wind sind erhebliche Zugerscheinungen in Kauf zu nehmen, die von Bewohnern als unzumutbar erlebt werden. Früher praktizierte Behelfe - z.B. das zeitweise Zuziehen zusätzlicher schwerer Vorhänge oder das zeitweilige Verschließen von Fugen - sind den Nutzern heute nicht mehr zuzumuten.

Zu hohe Luftwechselraten bei Wind haben bei niedrigen Außentemperaturen eine sehr trockene, als unangenehm empfundene Luft in den Räumen zur Folge.

Im Winter führt die Fugenlüftung insbesondere bei windigen Wetterlagen zu überhöhtem Luftwechsel. Dadurch kühlen die Räume aus, weil üblich dimensionierte Heizkörper der Zentralheizung nicht mehr zu einer vollständigen Beheizung ausreichen. Daneben muss mit einem überhöhten, unnötigen Energieverbrauch gerechnet werden.



In Städten schränken Verkehrslärm und Autoabgase die Möglichkeiten der natürlichen Lüftung oftmals sehr erheblich ein.

3.2 Fensterlüftung

Von wesentlicher Bedeutung für den Umfang der natürlichen Lüftung ist das Nutzerverhalten. Dabei ist entscheidend, wie oft und wie lange die Bewohner Fenster und Türen öffnen, und in welcher Weise diese geöffnet sind (z.B. in Kippstellung von Fenstern oder ganz geöffnete Fenster).

Bei der natürlichen Lüftung spielt auch die Raumlufttemperatur eine Rolle: Eine "überheizte" Wohnung wird in der Regel stärker gelüftet als eine "ausgekühlte" Wohnung. Weiter wird bei äußeren Lärmquellen - etwa hervorgerufen durch den Straßenverkehr oder durch laute Nachbarn - verständlicherweise deutlich weniger gelüftet als in ruhigen Wohnlagen. Auch hat der Niederschlag einen Einfluss auf das Lüftungsverhalten: Bei Regenwetter wird im allgemeinen weniger gelüftet als bei trockenem Wetter.

Raumluftfeuchte und Raumluftqualität beeinflussen ebenfalls das Lüftungsverhalten. Weiter haben psychologische Faktoren sowie der Lebensrhythmus eine Auswirkung auf das Lüftungsverhalten.

Fensterstellung	Luftwechsel in älteren Häusern
Fenster und Türen ganz geschlossen	0,1 - 0,3
Fenster gekippt, Rolladen zu	0,3 - 1,5
Fenster gekippt, kein Rolladen	0,8 - 4,0
Fenster halb offen	5 - 10
Fenster ganz offen	9 - 15
Gegenüberliegende Fenster offen	40 und mehr

Tabelle 1.8: Luftwechsel in älteren Gebäuden abhängig von der Fensterstellung [5]

halten. Ein berufstätiges Ehepaar muss sich meist auf ein morgendliches und abendliches Fensterlüften beschränken, während bei ständig anwesenden Bewohnern ein häufigeres Lüften zu beobachten ist.

Die Wirkung der Fensterlüftung zeigt **Tabelle 1.8**. Wird eine Wohnung mehrmals am Tag kurzzeitig durch das vollständige Öffnen von Fenstern kräftig gelüftet, spricht man von "Stoßlüftung". Werden zwei - in der Wohnung einander gegenüber angeordnete - Fenster geöffnet, entsteht eine "Querlüftung". Energetisch sehr ungünstig und deshalb nicht zu empfehlen ist das ständige Offenlassen von Fenstern - etwa in Kippstellung - während der Heizperiode, weil dann unnötig viel erwärmte Luft unkontrolliert ins Freie gelangt.



Fenster sind wesentliche Bestandteile der Gebäudehülle. Bei Neubauten stößt die Fensterlüftung aus energetischer Sicht an Grenzen [F14].

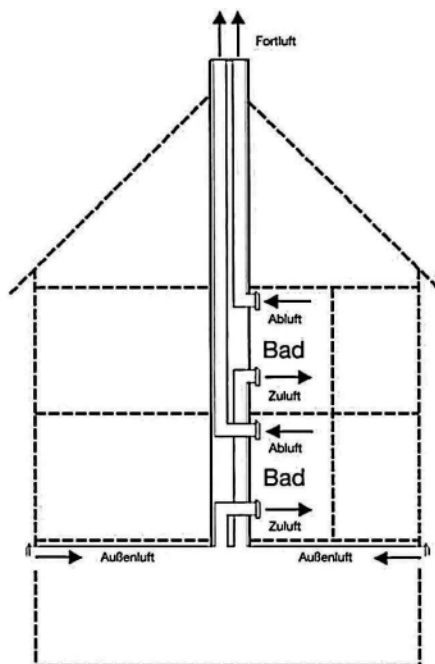
3.3 Schachtlüftung

Ein Sonderfall der natürlichen Lüftung ist die Entlüftung über Schächte ohne mechanischen Antrieb. Dabei werden über Druckunterschiede erzeugte Auftriebskräfte genutzt. Die Schachtlüftung wird häufig zur Entlüftung von innenliegenden Sanitärräumen - also von Bad und Toilette - verwendet; auch Küchenbereiche (Dunstabzugshauben) können an eine Schachtlüftung angeschlossen sein. Die Schachtlüftung ist oft in mehrgeschossigen Wohngebäuden mit übereinander liegenden Sanitärräumen anzutreffen.

Je nach System strömt im allgemeinen die Zuluft entweder über Undichtigkeiten in der Gebäudehülle oder über einen dafür vorgesehenen Zuluftkanal in die zu belüftenden Ablufträume der einzelnen Wohnungen. Die Belüftung der übrigen Wohnräume wird nicht gezielt vorgenommen, sondern über Mischströmungsvorgänge zwischen den verschiedenen Räumen und über eine Fensterlüftung.

Es werden u.a. die folgenden Arten der Schachtlüftung unterschieden:

Früher wurde die sogenannte *"Hamburger Lüftung"* in Mehrfamilienhäuser eingebaut, bei der ein Sammelschachtsystem installiert wurde; die Zuluft wurde über Undichtigkeiten in der Gebäudehülle zugeführt. Nachteilig war dabei die fehlende oder unzulängliche akustische Entkopplung und geruchsbezogene Entkopplung der einzelnen Wohnungen. Für



In vielen Mehrfamilienhäusern wird über Schächte entlüftet [5].



Nach einer wärmetechnischen Gebäudesanierung kann Schimmelpilzbildung zum Problem werden.

Wohngebäude wird sie heute nicht mehr vorgesehen.

Die sogenannte *"Berliner Lüftung"* sieht in Mehrfamilienhäusern jeweils einen eigenen Abluftschacht je Wohnung vor; die Zuluft wird über Undichtigkeiten in der Gebäudehülle eingebracht. Durch eine wirksame akustische wie auch geruchsbezogene Entkopplung der Sanitärräume der einzelnen Wohnungen weist die Berliner Lüftung gegenüber der Hamburger Lüftung deutliche Vorzüge auf.

Eine weitere Verbesserung stellte die *"Kölner Lüftung"* dar, bei der ebenfalls ein Einzelschachtsystem verwirklicht wird; dort sind - zusätzlich zu den separierten Abluftschächten - je Wohnung eigene Zuluftschächte verwirklicht. Nachteilig bei dieser Schachtlüftung ist, dass in der Praxis die Nutzer bei windstarken Wetterlagen mit einer verstärkten Sogwirkung und folglich mit erheblichen Zugerscheinungen konfrontiert sind.

Bei den genannten Arten der Schachtlüftung können die Nutzer im allgemeinen kaum Einfluss auf das System und damit auf den Umfang des Luftwechsels nehmen. Die Leistungsfähigkeit der jeweiligen Schachtlüftung hängt erheblich von der Schachthöhe, den Gebäudeundichtigkeiten und von der Wetterlage ab und ist jahreszeitlich sehr unterschiedlich. Im Winter muss in den tiefer gelegenen Geschossen mit zu hohen Luftwechseln gerechnet werden; im Sommer treten zu geringe Luftwechsel auf. In den oberen Geschossen ist meist mit einem zu geringen Luftwechsel zu rechnen. Eine ganzjährige, bedarfsbezogene und ausreichende Lüftung lässt sich mit Schachtlüftungssystemen ohne mechanische Unterstützung nicht erreichen.

3.4 Bauschäden und Schimmelpilzbildung

Die beschriebenen Zusammenhänge zeigen, dass die natürliche Lüftung von vielen Faktoren abhängt, die ein eher zufälliges, wenig systematisches und den hygienischen und gesundheitlichen Anforderungen oft nicht angemessenes Lüftungsverhalten ergeben.

Die Unzulänglichkeiten einer natürlichen Lüftung verschärfen sich vor allem dann, wenn ältere Wohnungen oder Wohngebäude saniert werden und dabei neue, dicht schließende Fenster und eine verbesserte, dichte Gebäudehülle erhalten. Die bisherige Fugenlüftung geht dann stark zurück, und hygienische sowie Feuchtheitprobleme mit möglicherweise gesundheitlichen Folgen und Bauwerkschäden können auftreten.

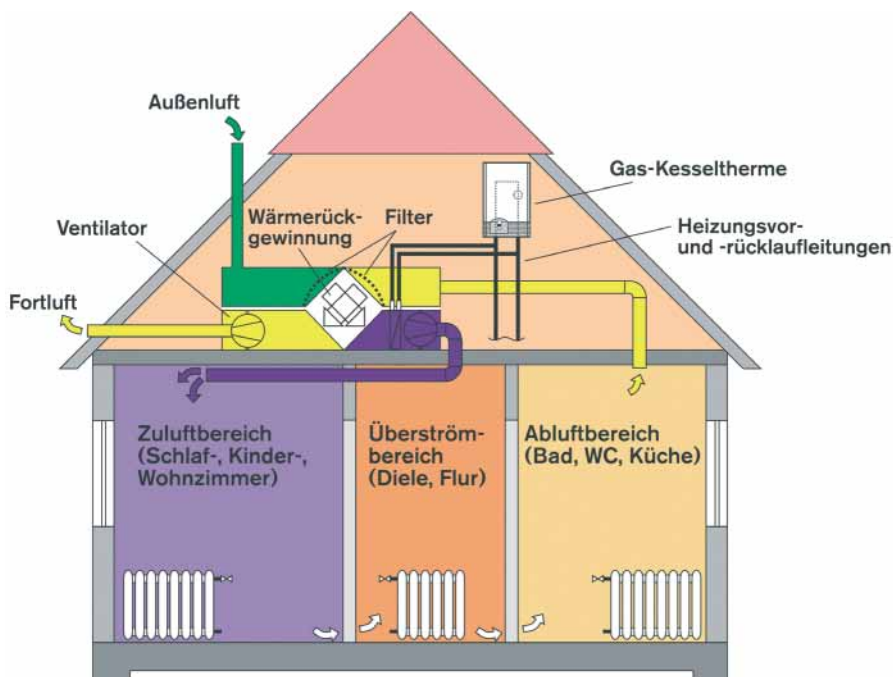
Entsprechende Erfahrungen hierzu auf der Grundlage einer Vielzahl sanierter Wohnungen und Wohngebäude liegen inzwischen vor. So weist der 3. Bauschadensbericht der Bundesregierung unterschiedliche Schadenstypen aus; mit 12,8 % aller erfassten Schäden liegt der Schadenstyp *"Schimmelpilzbildung nach Fensteraustausch"* an der Spitze der Schadenshäufigkeit (vgl. z.B. [3]).

Dies zeigt, dass die - aus energetischen Gesichtspunkten gebotene - wärmetechnische Sanierung älterer Wohngebäude, bei der insbesondere undichte und schlecht wärmedämmende Fenster ausgetauscht sowie ein nachträglicher Wärmeschutz angebracht wird, im Zusammenhang mit der Frage einer ausreichenden Lüftung gesehen werden muss. Wegen der verbesserten Dichtheit sanierter Wohnungen und Gebäude genügt dabei oftmals eine natürliche Lüftung nicht mehr, und es erweist sich eine mechanische Lüftung als notwendig.

Bei Wohn-Neubauten muss im Hinblick auf Gesichtspunkte der Energieeinsparung ohnehin eine dichte Gebäudehülle verwirklicht werden. Unter dem Aspekt der Energieeinsparung müssen besonders hochwertige Gebäude (Energiesparhäuser sowie Passivhäuser) hohen Anforderungen an die Gebäudedichtheit genügen, die durch entsprechende Messungen (Blower-Door-Methode) überprüft werden kann. Für solche Gebäude kann - zur Vermeidung der angesprochenen Probleme - auf eine natürliche Lüftung nicht zurückgegriffen werden; eine mechanische Lüftung wird hier von vornherein eingeplant.

4. Mechanische Lüftung

4.1 Überblick



So kann das Querlüftungsprinzip verwirklicht werden: Verbrauchte Luft wird aus den Ablufträumen abgesaugt; frische Luft strömt in die Zulufräume und gelangt von dort durch Überströmzonen in die Ablufträume [F9].

Die Unzulänglichkeiten und Zufälligkeiten bei der natürlichen, freien Lüftung legen es nahe, die Lüftung bedarfsbezogen und unabhängig von äußeren Einflüssen und Begrenzungen im menschlichen Lebensrhythmus vorzunehmen. Mit Hilfe von gezielter Luftführung und durch die Verwendung von einem oder mehreren Ventilatoren können die erforderlichen Lüftungsaufgaben sinnvoll gelöst werden. Dabei wird von mechanischer Lüftung gesprochen. **Tabelle 1.9** gibt eine Übersicht über Möglichkeiten der mechanischen Lüftung.

Bei mechanischen Lüftungsanlagen wird der Luftaustausch in einem Raum, in einer Wohnung oder in einem Gebäude durch einen oder mehrere Ventilatoren herbeigeführt. Heute stehen mit leisen und gut regelbaren Ventilatoren, die von hocheffizienten Elektromotoren angetrieben werden, sparsame mechanische Lüftungstechniken zur Verfügung, die wenig Strom benötigen. Damit ist ein Betrieb der Lüftung möglich, der von Wind- und Temperatureinflüssen praktisch unabhängig ist. Während des ganzen Jahres können mit der mechanischen Lüftung kontrollierte Luftwechsel erzielt werden, die den hygienischen und bauphysikalischen Anforderungen entsprechen.

Bei einer bedarfsorientierten Auslegung und einem Betrieb unter strömungstech-

nisch sinnvollen Bedingungen können die Lüftungswärmeverluste und damit der Jahres-Heizwärmebedarf im Vergleich zur Fensterlüftung wirksam vermindert werden; die mechanische Lüftung leistet damit einen wichtigen Beitrag zur Energieeinsparung.

Dabei ist von wesentlicher Bedeutung, dass - falls gewünscht und erforderlich - auch bei einem mechanischen Lüftungssystem die Fenster geöffnet und

auf diese Weise Verbindungen zur Außenumgebung geschaffen werden können: zum Beispiel zur Abfuhr einer stark erhöhten Raumluftbelastung oder auch im Sinne eines subjektiven, psychologisch begründeten Bedürfnisses der Nutzer.

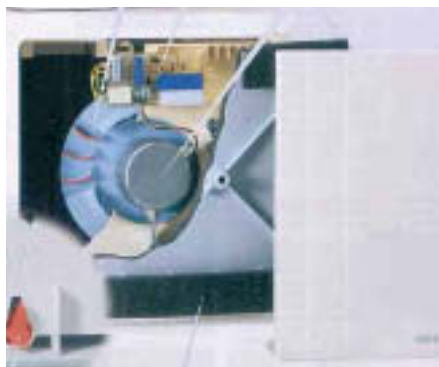
Mechanische Lüftungsanlagen erlauben es im Gegensatz zur natürlichen Lüftung, die Zuluft zu filtern; damit kann der Staub-, Pollen- und Insekteneintrag in die belüftete Wohnung entscheidend vermindert werden. Dieser Gesichtspunkt spielt insbesondere für Personen mit allergischen Empfindlichkeiten eine wichtige Rolle, für die eine Verringerung der Belastung durch Pollen sehr wesentlich zur Behaglichkeit beiträgt.

Mechanische Lüftungsanlagen können darüber hinaus störende Außengeräusche fernhalten und gleichzeitig die notwendige Luftzufuhr sicherstellen, da die Fenster geschlossen bleiben. Dies ist vor allem in lärmbelasteten Wohngebieten ein ganz erheblicher Vorteil.

In Deutschland und anderen Staaten Mitteleuropas stehen beim Wohnen die Aufgaben des Heizens und der Sicherstellung einer guten Raumluftqualität im Mittelpunkt; in aller Regel haben Zusatzaufgaben wie Kühlen sowie das Be- oder Entfeuchten der Raumluft eine eher nachrangige Bedeutung. Deshalb kann hierauf meist verzichtet werden. Es gibt jedoch auch Techniken, mit denen sich im Sommer eine Ankühlung der Raumluft bzw. eine Befeuchtung winterlich-trockener Außenluft ohne großen Mehraufwand als Zusatznutzen verwirklichen lässt.

Komponente	Abluftsystem	Zuluft-/Abluftsystem	Zuluftsystem
Ventilator	Einzelventilator, Zentralventilator	Einzelgeräte, Semi-Zentralventilator, Zentralventilator	Einzelgeräte, Zentralventilator
Wärmeübertrager, Wärmepumpe	ohne Wärmerückgewinnung, mit Wärmerückgewinnung (Wärmeübertrager, Wärmepumpe)	ohne Wärmerückgewinnung, mit Wärmerückgewinnung (Wärmeübertrager, Wärmepumpe)	ohne Wärmerückgewinnung
Vorwärmer für Außenluft	ohne Vorwärmung der Außenluft	ohne Vorwärmung der Außenluft, mit Vorwärmung der Außenluft (Erdreich-Wärmeübertrager, Solarkollektor) mit Zuluftnacherwärmer	ohne Vorwärmung der Außenluft, mit Vorwärmung der Außenluft (Erdreich-Wärmeübertrager, Solarkollektor), mit Zuluftnacherwärmer
Zuluftnacherwärmer			

Tabelle 1.9: Übersicht über Varianten von Systemen der mechanischen Wohnungslüftung [5]



Dezentrales Abluftgerät für den Einbau in die Wand [F7]

Wie kann eine wirksame mechanische Lüftung erreicht werden? - Sinnvoll ist die Verwirklichung des sogenannten Querlüftungsprinzips:

Verbrauchte und feuchtigkeitsbelastete Luft wird dort, wo sie am stärksten geruchs- und feuchtebelastet ist, abgesaugt: aus Küche, Bad, Toilette und gegebenenfalls einem Hauswirtschaftsraum (Ablufträume). Diese Abluft wird meist über das Dach oder über Außenwände ausgeblasen (Fortluft). Von außen strömt frische Außenluft über Außenluftdurchlässe, die in Wänden oder Fenster eingebaut sind, in Wohnzimmer, Schlafzimmer und Kinderzimmer (Zulufräume) nach. Damit stellt sich eine stetige, gerichtete Durchlüftung der Wohnung von den Zulufräumen hin zu den Ablufträumen ein. Zwischenbereiche sind dabei Flure, Essbereich oder andere Aufenthaltsszonen (Überströmzonen).

Mit dieser gerichteten, wetterunabhängigen und gut regelbaren Luftführung wird schon bei einem begrenzten Luftwechsel eine hohe Lüftungseffizienz erreicht: So ist z.B. die Luft, die die Ablufträume erreicht, bereits vorgewärmt; Bad und Toilette kühlen nicht aus.

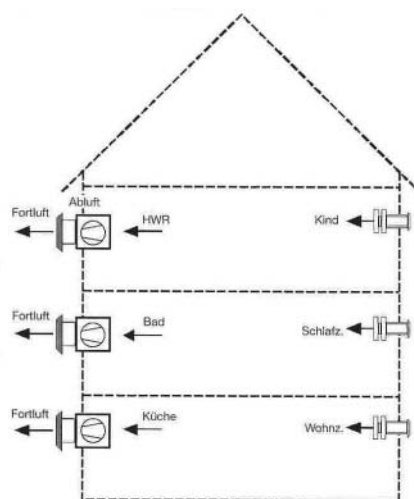
Von den in **Tabelle 1.9** aufgeführten Techniken der Wohnungslüftung werden in der Praxis häufig die folgenden Systeme eingesetzt:

- Dezentrale Abluftsysteme ohne Wärmerückgewinnung
- Dezentrale Zuluft-/Abluftsysteme mit Wärmerückgewinnung
- Zentrale Abluftsysteme ohne Wärmerückgewinnung
- Zentrale Abluftsysteme mit Wärmerückgewinnung
- Zentrale Zuluft-/Abluftsysteme mit Wärmerückgewinnung

Im folgenden wird auf die einzelnen Systeme näher eingegangen.

4.2 Dezentrale Abluftsysteme ohne Wärmerückgewinnung

Dezentrale Abluftsysteme ohne Wärmerückgewinnung bestehen in der Regel aus einem oder mehreren Einzellüftungsgeräten. Diese werden im Abluftraum bzw. in den jeweiligen Ablufträumen (Küche, Bad, Toilette) angeordnet. Die geförderte Abluft wird entweder über einen Sammelkanal als Fortluft an die Umgebung abgegeben, oder - soweit der Grundriss von Wohnung bzw. Gebäude dies erlaubt und die Einzellüfter an den Außenwänden angeordnet werden können - unmittelbar durch die Außenwände an die Umgebung abgeführt. Die Zuluft kann mit Hilfe von Zuluftventilen, die in die Außenwände eingelassen sind, in die Zulufräume (Wohnzimmer, Schlafzimmer, Kinderzimmer) einströmen.



Aufbau eines dezentralen Abluftsystems ohne Wärmerückgewinnung [5]

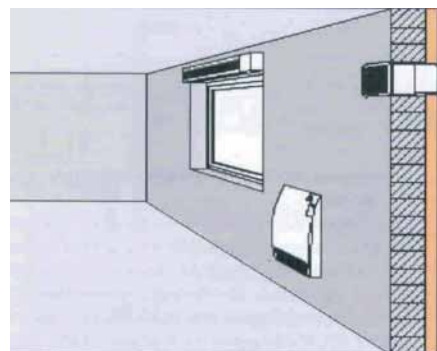
Oft werden die Geräte für einen Kurzzeitbetrieb genutzt. Besondere Regel- und Steuerungseinrichtungen sind nicht bei allen Gerätevarianten vorgesehen. Technisch interessant sind Lösungen, bei denen der Ventilator eines dezentralen Abluftgeräts abhängig von der Raumfeuchte zeitlich begrenzt betrieben wird: Bei normal verlaufendem Feuchteanstieg - etwa hervorgerufen durch Waschen, Trocknen von Textilien oder einen Temperaturrückgang im Raum - schaltet das Gerät ein und bleibt so lange in Betrieb, bis das erwünschte Ausmaß der Feuchteabsenkung erreicht ist. Bei schnellem Feuchteanstieg - z.B. beim Duschen - schaltet die Elektronik den Ventilator nach kurzer Zeit ein; ist der Behaglichkeitswert der Raumluftfeuchte erreicht, schaltet das Gerät wieder ab. Für Toiletten gibt es Geräte mit Bewegungsmelder, so dass das Gebläse nur nutzerabhängig (einschließlich eines zeitlichen Nachlaufs) betrieben wird.



Dezentrales Abluftgerät in der Küche

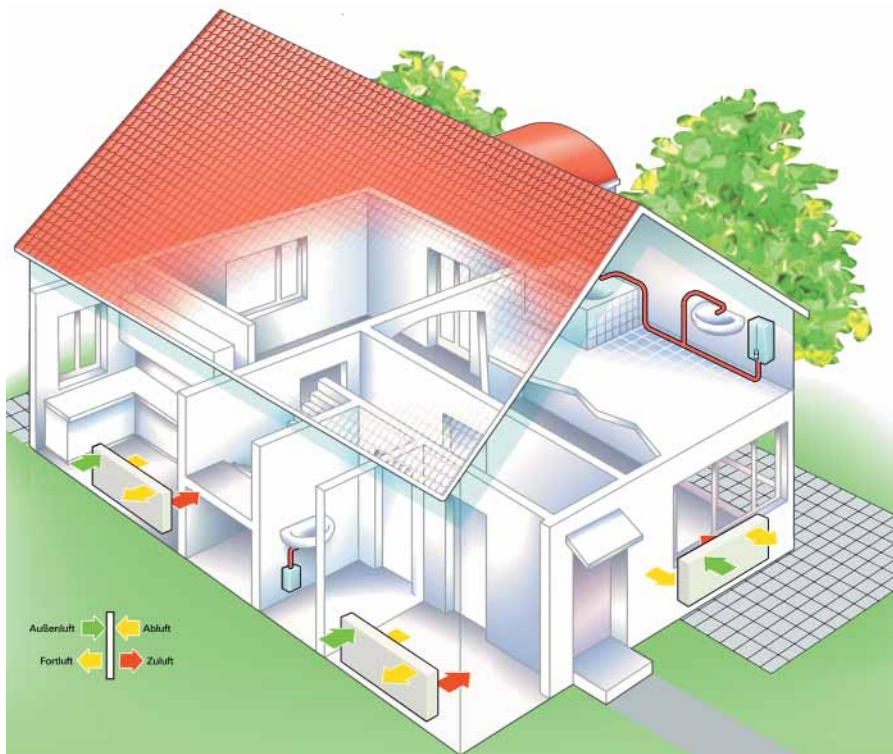
Übrigens sind moderne Abluftgeräte gehobener Ausführung sehr leise und werden akustisch kaum wahrgenommen.

Weil bei dezentralen Abluftsystemen ohne Wärmerückgewinnung keine Kanalführung erforderlich ist, sind die Investitionen sehr niedrig. Andererseits muss auf eine energiesparende Wärmerückgewinnung verzichtet werden.



Alternative Möglichkeiten der dezentralen Raumlüftung mit Wärmerückgewinnung [5]

4.3 Dezentrale Zuluft-/Abluftsysteme mit Wärmerückgewinnung



Interessante Lösung für die Gebäudesanierung und für Neubauten: Dezentrale Lüftungsgeräte mit Wärmerückgewinnung und integrierter elektrischer Speicherheizung übernehmen zugleich Lüftung und Heizung [F15].

Dezentrale Anlagen mit Zuluftführung und Abluftführung sowie mit Wärmerückgewinnung eignen sich für verschiedene Aufgaben: Sie lassen sich entweder nur zur Lüftung einsetzen, oder sie können, wenn sie um einen elektrischen Speicherheizteil erweitert sind, sowohl lüften als auch heizen.



Dieses dezentrale Lüftungsgerät mit Wärmerückgewinner hängt wie ein Heizkörper unter dem Fenster. Das schafft günstige Raumströmungsverhältnisse [F15].

Bei diesen Systemen wird raumbezogen in einem oder in mehreren Lüftungsgeräten sowohl die Zuluft als auch die Abluft mit Ventilatoren mechanisch gefördert. Für die Wärmerückgewinnung wird meist ein Kreuzstrom-Wärmeübertrager oder ein Kreuz-Gegenstrom-Wärmeübertrager eingesetzt. Ventilatoren und Wärmeübertrager sind in einem Gerät zusammengefasst. Durch den integrierten Wärmerückgewinner eignen sich diese Systeme gut für die Dauerbelüftung; damit können die Lüftungswärmeverluste erheblich verringert werden.

Inzwischen gibt es auch Geräte, bei denen während einer bestimmten Zeit (z.B. während anderthalb Minuten) nur Abluft gefördert und mit einem Wärmeübertrager entwärmt und hiernach (z.B. ebenfalls anderthalb Minuten lang) nur Zuluft gefördert und mit einem Wärmeübertrager aufgewärmt wird.

Solche dezentralen Lüftungsgeräte eignen sich beispielsweise für die Belüftung von Einzelräumen, die eine hohe Raumluftbelastung - etwa eine erhöhte Geruchs- oder Feuchtebelastung - aufweisen. Typische Anwendungsbereiche sind bestehende Wohngebäude - häufig Mehrfamilienhäuser, aber auch Einfamilienhäuser -, um hier mit begrenzten In-

vestitionskosten Wohnzimmer mit gutem Komfort zu be- und entlüften oder Feuchteschäden in Bädern und Küchen zu vermeiden. Bei bestimmten Lastzuständen kann es im Wärmeübertrager zur Kondensation der Feuchte in der Abluft kommen; dann kann diese Feuchtigkeit der Zuluft über einen Bypass wieder zugeführt werden. Eine vollständige Trennung von Zuluftstrom und Abluftstrom ist meist nicht vorgesehen.

Gegenüber zentralen Lüftungssystemen kann mit dezentral angeordneten Lüftungsgeräten keine so wirksame Luftführung und "Luftdurchspülung" der Räume erreicht werden. Um dieselbe Lüftungswirkung zu erreichen, muss also ein höherer Außenluftstrom gefördert werden.

Soll eine Wohnung insgesamt effizient belüftet werden, ist in jedem zu belüftenden Raum ein Lüftungsgerät an der Außenwand zu installieren. Die Geräte lassen sich z.B. unmittelbar in die Außenwand einbauen oder können auf die Wand aufgesetzt werden. Daneben gibt es Einbaulösungen ins Fenster.

Fenstergeräte haben den Vorzug, dass sie sich meist raumströmungsgünstig über den Heizflächen einer Zentralheizung befinden, die ja im allgemeinen unter dem Fenster angeordnet sind; damit stellen sich praktisch keine unerwünschten Zugerscheinungen ein. Solche Zugerscheinungen können bei Wand-Lüftungsgeräten vermieden werden, wenn die Geräte außerhalb des Haupt-Aufenthaltsbereichs der Bewohner angeordnet sind. Um bei kalter Witterung Komforteinbußen zu vermeiden, die durch das Einblasen zu wenig aufgewärmter und damit zu kalter Zuluft entstehen könnten, bieten sich Zuluft-/Abluftgeräte mit der Möglichkeit zur zusätzlichen elektrischen Nacherwärmung der Zuluft an.



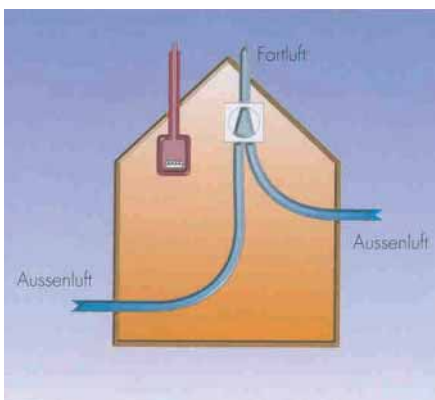
Dezentrales, in die Wand eingebautes Zuluft-/Abluftgerät mit intermittierendem Betrieb und Wärmerückgewinnung [F10]

4.4 Zentrale Abluftsysteme ohne Wärmerückgewinnung



Bei der lüftungstechnischen Sanierung von Mehrfamilienhäusern lassen sich vorhandene Schachtlüftungen bei der Installation von zentralen Abluftsystemen nutzen [F7].

Bei zentralen Abluftsystemen ohne Wärmerückgewinnung ist im Gebäude ein Lüftungsgerät zentral - beispielsweise im Dachbereich oder auf dem Dach - angeordnet; hiermit wird die Abluft aus den Ablufträumen (Bad, Toilette, Küche) mechanisch gefördert. Dadurch wird in den Ablufträumen ein leichter Unterdruck erzeugt; die Zuluft strömt über - in der Gebäudehülle angeordnete - Zuluftelemente in die Zulufräume wie Wohnzimmer, Schlafzimmer und Kinderzimmer nach.



Kostengünstige Lösung für ein neues Niedrigenergiehaus: Zentrales Abluftsystem ohne Wärmerückgewinnung, kombiniert mit einem an der Wand angebrachten Erdgas-Brennwertkessel im Dachgeschoss [23]

Zentrale Abluftanlagen ohne Wärmerückgewinnung sind einfach aufgebaut und weisen sehr niedrige Investitionen auf. Sie eignen sich etwa für große Wohngebäudekomplexe und Mehrfamilienhäuser, können aber auch für Einfamilienhäuser vorgesehen werden. Bei der Sanierung älterer Mehrfamilienhäuser, die bereits über eine natürliche Schachtlüftung verfügen, lässt sich ein zentrales Lüftungsgerät, das beispielsweise auf dem Dach installiert wird, einfach nachrüsten. Zentrale Abluftsysteme können meist bedarfsabhängig geregelt werden; so verfügen z.B. Dachventilatoren meist über eine stromsparende Drehzahlregelung für den lastabhängigen Betrieb.



Technisch optimiert: Regelbarer Dachventilator mit stromsparendem elektronisch kommutiertem Elektromotor für die zentrale Abluftanlage eines Mehrfamilienhauses [F7]

Durch solche Lüftungssysteme ist ganzjährig ein ausreichender Luftwechsel gewährleistet. Gegenüber dem unkontrollierten, oft stark schwankenden Luftwechsel von älteren Schachtlüftungsanlagen mit natürlicher Belüftung bieten sie deutliche Vorteile. Wenn sie bedarfsgerecht ausgelegt und betrieben werden, muss damit - im Hinblick auf die Lüftungswärmeverluste - kein energetischer Mehraufwand gegenüber einer natürlichen Lüftung über die Fenster in Kauf genommen werden.

Auch neue Niedrigenergiehäuser, bei denen die Vorschriften der Energieeinsparverordnung des Jahres 2002 zu erfüllen sind, können mit zentralen Abluftsystemen ohne Wärmerückgewinnung versehen werden.

4.5 Zentrale Abluftsysteme mit Wärmerückgewinnung

Zentrale Abluftsysteme mit Wärmerückgewinnung sind hinsichtlich der Luftführung im Grundsatz in derselben Weise aufgebaut wie zentrale Abluftsysteme ohne Wärmerückgewinnung: Im Gebäude ist ein Lüftungsgerät zentral - beispielsweise im Flur, im Dach- oder im Kellerbereich - angeordnet; damit wird die Abluft aus den Ablufträumen (Bad, Toilette, Küche) über einen Ventilator mechanisch gefördert.

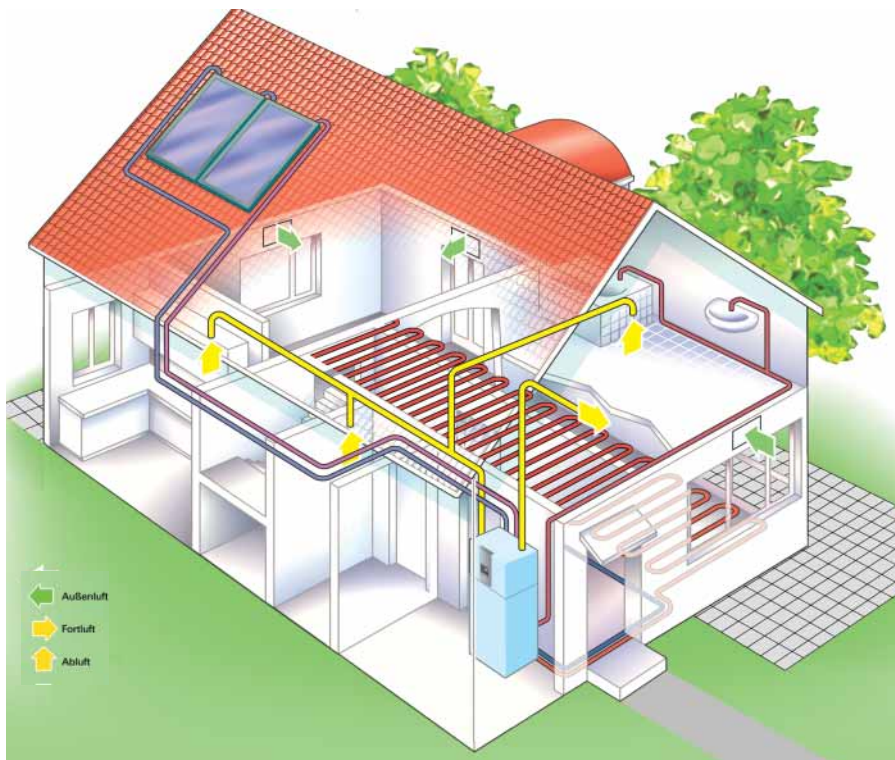
Auf diese Weise entsteht in den Ablufträumen ein leichter Unterdruck, der dazu führt, dass Zuluft über - in der Gebäudehülle angeordnete - Zuluftelemente in die Zulufräume wie Wohnzimmer, Schlafzimmer und Kinderzimmer nachströmt.

Im Vergleich mit einem zentralen Abluftsystem ohne Wärmerückgewinnung ist hier zusätzlich eine elektrische Luft-Wasser-Kleinwärmepumpe in das Lüftungsgerät integriert. Da aus Kostengründen auf eine Zuluftführung über Zuluftkanäle verzichtet wird, kann die aus der Abluft rückgewonnene Wärme nicht an die Zuluft abgegeben werden, sondern wird zur Warmwasserbereitung auf maximal etwa 55 °C genutzt; hierzu verfügt das Lüftungsgerät mit Abluftwärmepumpe über einen Wärmespeicher. Hinsichtlich der Nutzung dieses Warmwassers gibt es zwei Möglichkeiten:

Bei der ersten Variante Var1 wird die rückgewonnene Wärme für die Trinkwassererwärmung genutzt. Hierzu wird in einem zentral in der Wohnung oder im Einfamilienhaus angeordneten schrankförmigen Kompaktgerät das Lüftungsgerät und die Luft-Wasser-Kleinwärmepumpe mit einem etwa 120 bis 230 Liter



Zentrales Abluftsystem für die Lüftung mit einer Wärmepumpe zur Wärmerückgewinnung [F15]



Kann viel: Zentrales Abluftsystem mit Lüftungs-Kompaktgerät für die Lüftung mit einer Wärmepumpe zur Wärmerückgewinnung. Damit wird nicht nur Trinkwarmwasser erzeugt, sondern zusätzlich auch Wärme für eine Fußboden-Warmwasserheizung geliefert. Außerdem unterstützen Solarkollektoren die Hauswärmeversorgung [F15].

fassenden Trinkwarmwasserspeicher kombiniert. Der Trinkwarmwasserspeicher wird von der Wärmepumpe kontinuierlich mit Wärme beladen, die der abgeführten Abluft zuvor entzogen und auf das gewünschte höhere Temperaturniveau "hochgepumpt" wurde. Ist der Bedarf an Trinkwarmwasser größer als die vorgehaltene Warmwassermenge, wird durch einen weiteren externen Wärmeerzeuger - etwa auf elektrischer oder Gasbasis - Zusatzwärme bereitgestellt.

Bei der zweiten Variante Var2 wird die rückgewonnene Wärme nicht nur für die Trinkwassererwärmung genutzt, sondern auch zur Unterstützung einer - von einer Umwälzpumpe angetriebenen - Warmwasserheizung eingesetzt. Auch hier ist in einem zentral in der Wohnung oder im Einfamilienhaus angeordneten schrankförmigen Kompaktgerät das Lüftungsgerät und die Luft-Wasser-Kleinwärmepumpe mit einem großvolumigen Warmwasserspeicher kombiniert. Darüber hinaus ist in das Kompaktgerät ein zusätzlicher Wärmeerzeuger - etwa eine elektrische Heizung oder ein Erdgaskessel zur Spitzendeckung - integriert, oder die Wärmepumpe ist größer ausgelegt und kann zusätzlich auch der Außenluft Wärme entziehen. Ist ein Gaskessel integriert, so kann ein Teil der Restwärme des Verbrennungsgases nach Austritt

aus dem Kessel - ebenfalls mit der Luft-Wasser-Kleinwärmepumpe - zusätzlich erwärmt werden. Daneben erlauben es bestimmte Kompaktgerätetypen, auch die Wärme aus einer thermischen Solaranlage zu nutzen und in den Warmwasserspeicher einzuspeisen sowie dabei regelungstechnisch zu berücksichtigen.

Solche Geräte sind also eine Kombination aus Lüftungsgerät und Heizungsanlage. Die von der Wärmepumpe rückgewonnene Wärme aus der Abluft wird vorrangig für die Trinkwassererwärmung

verwendet. Ist der Wärmebedarf hierfür gedeckt, so kann die von der Wärmepumpe gelieferte Wärme für die Beheizung genutzt werden.

Je nach Gerätetyp ist dies entweder dadurch möglich, dass der Heizungskreislauf über ein Dreiwegeumschaltventil der Wärmepumpe hydraulisch integriert ist (Variante Var2A), oder dass ein weiterer Warmwasserspeicher im Heizkreis beladen wird (Variante Var2B).

Bei Variante Var2B ist der zusätzliche Heizspeicher entsprechend dem Speicher-in-Speicher-Prinzip thermisch unmittelbar an den Trinkwarmwasserspeicher angekoppelt. Je nach dem Umfang des Heizleistungsbedarfs der Wohnung bzw. des Wohngebäudes kann eine solche Kompaktanlage gegebenenfalls den Heizungswärmebedarf teilweise oder praktisch fast ganz decken.

Bei der Variante Var2A können zwei verschiedene Wasser-Systemtemperaturen (für Trinkwarmwasser und für die Heizung) unabhängig voneinander eingestellt werden; das System ist somit in der Lage, alle Vorlauftemperaturen einer Warmwasserheizung zu erzeugen.

Bei Variante Var2B sind die Systemtemperaturen für die Trinkwassererwärmung und die Heizung thermisch miteinander gekoppelt; deshalb ist die einstellbare Heizungs-Vorlauftemperatur durch die gewählte Temperatur für die Trinkwassererwärmung eingeschränkt. Durch das größere Speichervolumen beim Speicher-in-Speicher-Prinzip können allerdings längere Laufzeitintervalle der Wärmepumpe (Verminderung des Taktbetriebs) verwirklicht werden; dies kommt der Lebensdauer der Wärmepumpe zugute.



Wird über ein Lüftungs-Kompaktgerät versorgt: Modernes Wohnhaus



Technisch effiziente und zugleich wirtschaftliche Lösung bei einem neuen Niedrigenergiehaus gemäß der Energieeinsparverordnung 2002: Für Heizen und Warmwasser sorgt ein wandhängender Erdgas-Brennwertkessel, und wenn die Sonne scheint, hilft ein Solarkollektor nach. Das zentrale Zuluft-/Abluftsystem mit Wärmerückgewinnung bewirkt eine energiesparende Lüftung [F9].

4.6 Zentrale Zuluft-/Abluftsysteme mit Wärmerückgewinnung

Zentrale Zuluft-/Abluftsysteme mit Wärmerückgewinnung verfügen über Ventilatoren zur mechanischen Förderung sowohl der Zuluft als auch der Abluft. Dabei sind zwei getrennte Kanalnetze im Wohngebäude bzw. in der Wohnung für die Zuluft und die Abluft notwendig.

Die Abluft wird - wie bei zentralen Abluftsystemen - über einstellbare Abluftöffnungen aus den Ablufträumen (Bad, Toilette, Küche) abgesaugt und über das Abluftkanalnetz zum Lüftungs-Zentralgerät geführt. Die Außenluft wird zunächst über das Lüftungs-Zentralgerät geführt und dann als Zuluft über ein gesondertes Zuluftkanalnetz zu den Zuluft Räumen (Wohnzimmer, Schlafzimmer, Kinderzimmer) gefördert, wobei für die Einströmung einstellbare Zuluftöffnungen genutzt werden [22].

Die Wärmerückgewinnung - also die Entwärmung der verbrauchten Abluft und die Aufwärmung der frischen Außenluft - wird durch einen Wärmeübertrager ermöglicht, der im Lüftungs-Zentralgerät angeordnet ist. Meist werden Plattenwärmeübertrager in Form von Kreuzstrom- oder Kreuz-Gegenstrom-Wärmeübertragern eingesetzt, wobei eine Vermischung von Zuluft und Abluft ausgeschlossen ist. Bei Rotationswärmeübertragern ist neben der Wärmerückgewinnung auch eine Feuchterückgewinnung

möglich; dies kann bei trockener Außenluft - etwa an kalten Wintertagen - zu einer Komfortverbesserung führen. Ro-



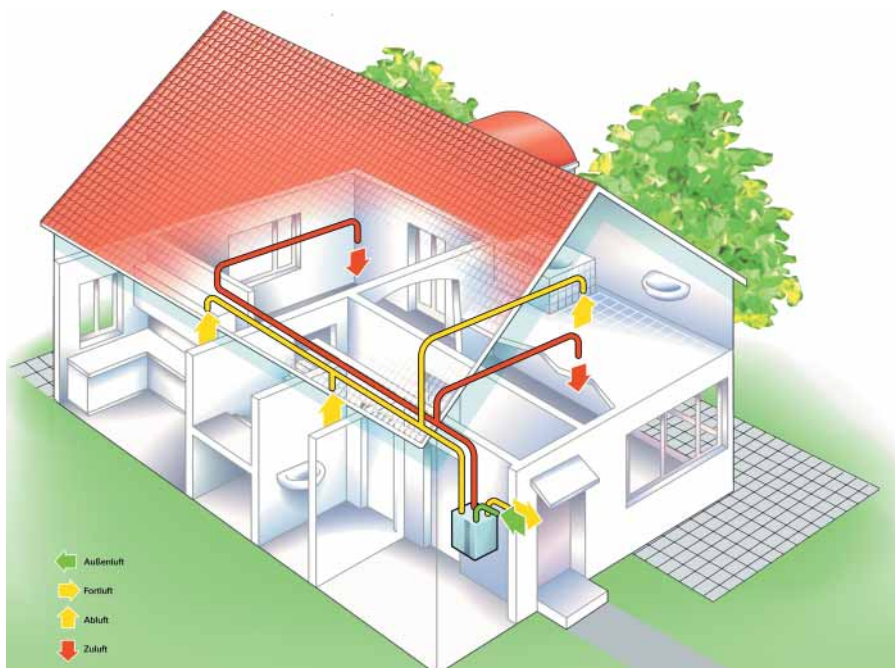
Herzstück eines zentralen Zuluft-/Abluftsystems: Das Lüftungs-Zentralgerät mit Kreuz-Gegenstrom-Wärmeübertrager [F9]

tationswärmeübertrager erlauben keine vollständige Trennung von Zuluft und Abluft; allerdings ist die Übertragungsrate von unerwünschten Stoffen extrem gering. Das Lüftungs-Zentralgerät verfügt über Filter für die Zuluft- und Abluftfilterung; daneben sind die notwendigen Regeleinrichtungen integriert.

Soweit bei tiefen Außentemperaturen trotz Wärmerückgewinnung die Zulufttemperatur nicht für einen behaglichen Raumluftzustand ausreicht, ist über ein warmwasserdurchströmtes Nachheizregister oder eine elektrische Heizung eine Nacherwärmung der Zuluft möglich. Im allgemeinen ist dies jedoch nur an



Die "Innereien" eines Lüftungs-Zentralgeräts: unten Zuluftventilator und Abluftventilator, oben der Kreuzstrom-Wärmeübertrager mit Zuluftfilter und Abluftfilter, rechts die Regelungstechnik. Seitlich sind die Anschlüsse an die Außenluft-, Zuluft-, Abluft- und Fortluftkanäle erkennbar [F9].



Leitungsführung für ein Wohnhaus mit zentralem Zuluft-/Abluftsystem mit Wärmerückgewinnung [F15]

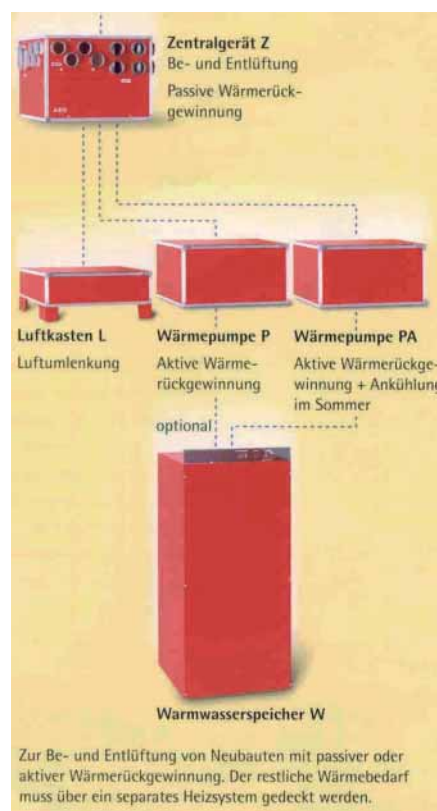
sehr kalten Tagen erforderlich. Das Warmwasser zur Nachheizung kann von der Heizungsanlage des Gebäudes oder der Wohnung geliefert werden.

Zentrale Zuluft-/Abluftsysteme mit Wärmerückgewinnung können bei der Sanierung von bestehenden Gebäuden oder für Neubauten eingesetzt werden. Bei bestehenden Gebäuden wird die Heizwärmeversorgung wie bisher über die vorhandene Heizungsanlage vorgenommen; diese Heizwärmeversorgung kann beispielsweise mit Erdgas, Heizöl, Festbrennstoffen wie etwa Kohle oder Holzpellets erfolgen.

Bei Neubauten, die der neuen Energieeinsparverordnung des Jahres 2002 entsprechen und damit als Niedrigenergiehaus bezeichnet werden, ist bei Einhaltung des Mindeststandards die Heizwärmeversorgung über eine Warmwasser-Zentralheizung - z.B. mit einem innerhalb der wärmegeprägten Gebäudehülle angeordneten - Erdgas-Brennwertkessel - möglich und sinnvoll. Der Einbau und Betrieb eines zentralen Zuluft-/Abluftsystems mit Wärmerückgewinnung für die Belüftung führt zu einer Verringerung des Lüftungswärmebedarfs; dies bedeutet, dass im Gegenzug die Energieeinsparverordnung auch mit einem etwas verringerten Wärmedämmstandard des Gebäudes gegenüber einer Lösung ohne Lüftungssystem eingehalten werden kann [vgl. z.B. [24], [33].

Ein weiter verbesserter energetischer Standard wird bei einem spezifischen

Primärenergiebedarf von $60 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$ für die Beheizung auch als "Energiesparhaus 60" bezeichnet; auch hier ist in der Regel die Kombination eines zentralen Zuluft-/Abluftsystems mit Wärmerückgewinnung und einer Warmwasser-Zentralheizung sinnvoll.



Lüftungstechnik aus dem Baukasten:
Zur Lüftung von Neubauten - mit Wärmerückgewinnung per Wärmeübertrager und Wärmepumpe [F1]

Erst bei weiter verringertem spezifischem Energiebedarf - z.B. bei einem Primärenergiebedarf von rund $40 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$ ("KfW-Energiesparhaus 40") oder bei einem Heizwärmebedarf von etwa $15 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$ (Passivhaus) - kann auf die Kombination eines zentralen Zuluft-/Abluftsystems mit Wärmerückgewinnung und einer Warmwasser-Zentralheizung verzichtet werden; hier reicht ein zentrales Zuluft-/Abluftsystem mit Wärmerückgewinnung und Nachheizregister für die Heizwärmeversorgung aus; damit kann die Zuluft als alleiniger Wärmeträger für die Beheizung dienen.

Ein Gebäude mit sehr gutem Wärmeschutz und einer deshalb geringen Heizlast ("KfW-Energiesparhaus 40" oder Passivhaus) benötigt also keine Warmwasserheizung mehr, sondern kann den notwendigen Restwärmebedarf aus der Anlagentechnik eines Lüftungs-Kompaktgeräts decken; die zentrale Lüftungsanlage übernimmt auch die Aufgabe der Heizung mit Luft als Wärmeträger (Luftheizung). Weil folglich auf eine zusätzliche Warmwasser-Heizungsanlage verzichtet werden kann, lassen sich dabei nennenswerte Investitionen einsparen.

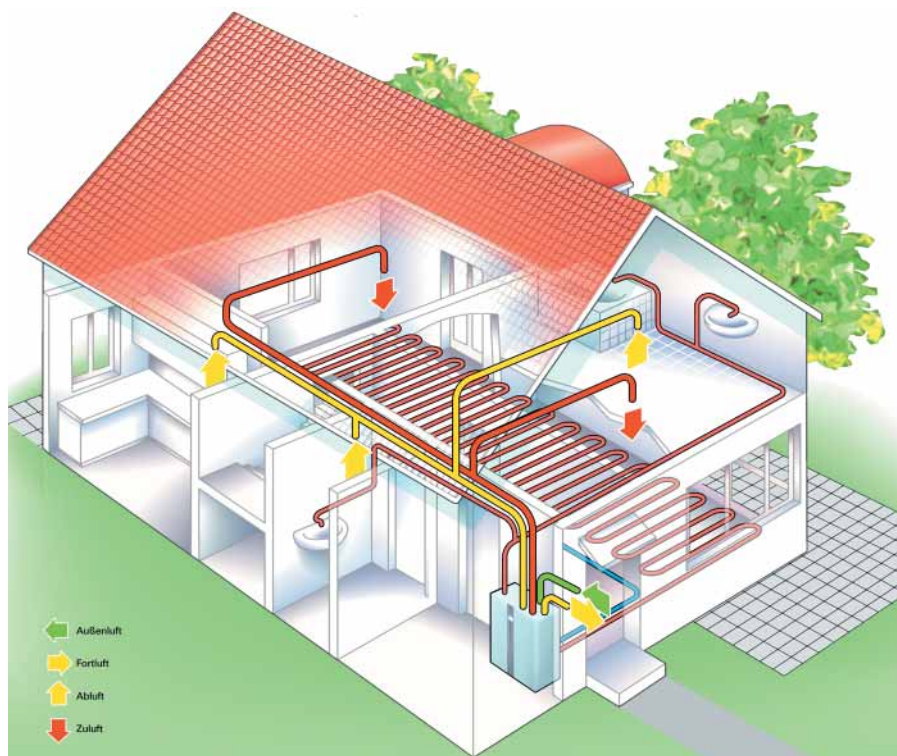
Bei hochwärmegeprägten Wohngebäuden hat sich der Einsatz solcher Lüftungs-Kompaktgeräte bewährt. In diesen Geräten ist neben einer zentralen Zuluft-



Der "klassische" Fall: Die Lüftungsanlage ersetzt nicht die Heizung [F1].

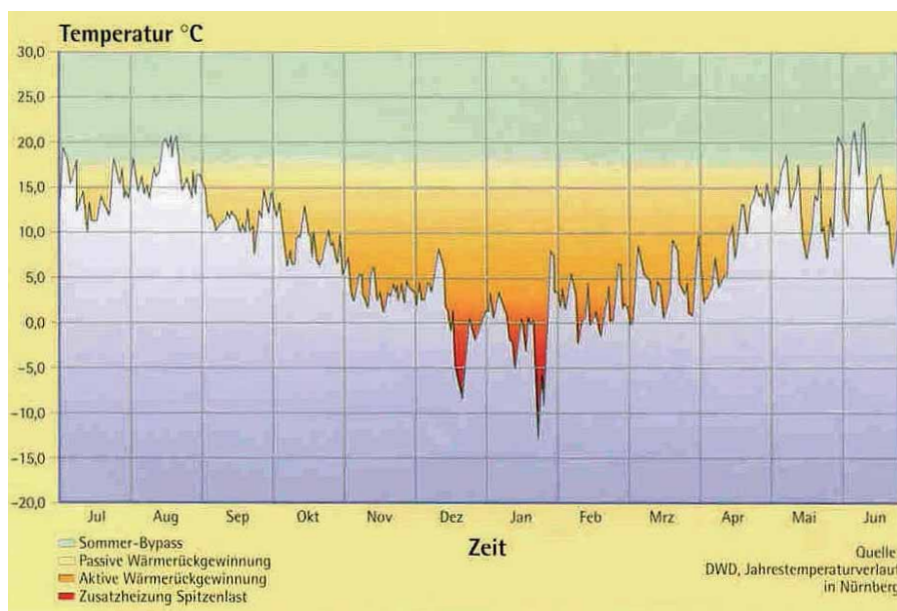


Bei Neubauten mit energiesparendem Passivhaus-Standard: Die Lüftungsanlage ist zugleich auch Heizung [F1].



Kann praktisch alles: Zentrales Zuluft-/Abluftsystem mit Lüftungs-Kompaktgerät zur Lüftung - mit einem Kreuz-Gegenstrom-Wärmeübertrager sowie einer Wärmepumpe zur Wärmerückgewinnung. Die Wärmepumpe holt sich bei Bedarf auch noch Wärme aus der Außenluft. Damit wird nicht nur das Trinkwasser komplett erwärmt und gespeichert, sondern auch die gesamte Wärme für eine Fußboden-Warmwasserheizung geliefert [F15].

/Abluftanlage für die Belüftung einschließlich Wärmeübertrager zur Wärmerückgewinnung auch eine Kleinwärmepumpe integriert; deren elektrische Leistungsaufnahme liegt im allgemeinen bei 0,5 bis 1,3 kW_{el} (vgl. z.B. [24] - [27]).



Bei hochwärmegedämmten Neubauten: Die Lüftungsanlage ist zugleich auch Heizung. In Herbst und Frühjahr reicht der Wärmeübertrager im Lüftungs-Kompaktgerät zur Wärmerückgewinnung, im Winter kommt die Wärmepumpe zur Wärmerückgewinnung noch dazu. Nur an wenigen sehr kalten Wintertagen muß die Spitzenlast über eine Zusatzheizung - etwa mit Strom - abgedeckt werden. Im Sommer kann mit der Lüftungsanlage die Außenluft sogar noch angekühlt werden [F1].



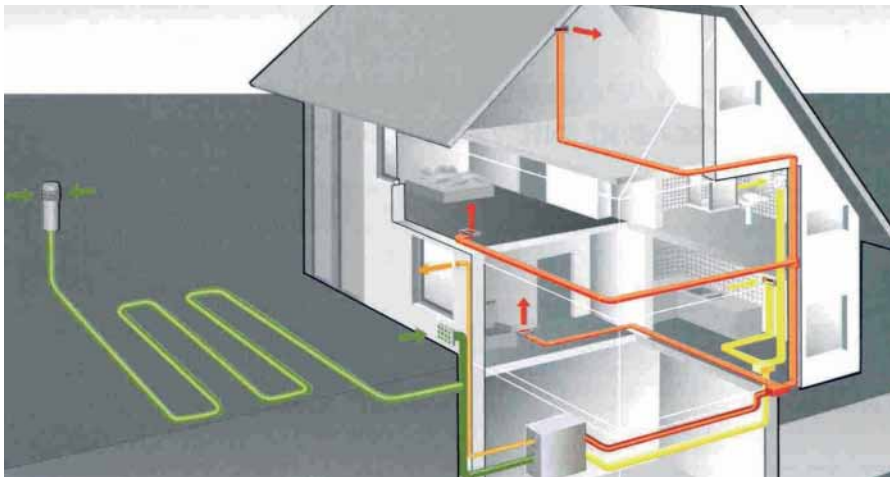
In hochwärmegedämmten Gebäuden: Lüftungs-Kompaktgerät als Komplettlösung für Lüftung, Trinkwassererwärmung und Heizung [F15]

Als Wärmequelle der Wärmepumpe dient die Abluft nach dem Passieren des Wärmeübertragers. Mit der Abluftwärmepumpe wird die Zuluft meist direkt nachgeheizt. Ist keine Heizwärme erforderlich, kann die Trinkwassererwärmung durch die Wärmepumpe erfolgen, d.h. der Speicher wird aufgeladen. Sinnvoll ist hier die Integration einer thermischen Solaranlage, die z.B. im Sommer die Trinkwassererwärmung vollständig abdecken kann.

Durch eine Kombination des Lüftungs-Kompaktgeräts mit einem Erdreich-Wärmeübertrager in der Außenluftzuführung zum Plattenwärmeübertrager kann im Winter das Problem der Vereisung am Wärmeübertrager umgangen werden. Daneben wird hiermit in der Heizperiode die Luft energiesparend vorgewärmt; im Sommer lässt sich mit einem Erdreich-Wärmeübertrager auch ein Kühleffekt erzielen [25]. Lüftungs-Kompaktgeräte können sehr effizient geregelt werden.



Neues Wohngebäude: Spart Energie und gefällt [F14]



Bei einem zentralen Zuluft-/Abluftsystem kann die Außenluft über einen Erdreich-Wärmeübertrager - einem einfachen Kunststoffrohr - zum Lüftungs-Zentralgerät geführt werden. Dies sorgt im Winter für eine energiesparende Vorwärmung der Luft; im Sommer lässt sich die Außenluft damit auf angenehme Temperaturen ankühlen [F7].

4.7 Passivhäuser und Wohnungslüftung

Für die Wärmeversorgung von Passivhäusern wird nur wenig Energie benötigt: Der jährliche spezifische Heizwärmebedarf beträgt lediglich noch ungefähr 15 kWh/(m² a). Bei kleinerer bzw. mittlerer Größe braucht ein Passivhaus im Jahr also umgerechnet rund 250 bis 400 Liter Heizöl fürs Heizen. Ein Passivhaus ist besonders gut wärmegeklämt, weist eine hohe Gebäudedichtheit auf, hat keine Wärmebrücken und verfügt über ein energiesparendes mechanisches Lüftungssystem. Angesichts eines wachsenden Umweltbewusstseins erscheint dieser Haustyp, der heute einen praktisch erreichbaren Bestwert für energiesparendes Wohnen markiert, beim Bau von neuen Wohngebäuden recht interessant.

Das erste Passivhaus wurde vor rund anderthalb Jahrzehnten gebaut. Die Qualität der Bauausführung hat sich in den letzten Jahren sehr positiv entwickelt. Die Lebensdauer von Passivhäusern ist mindestens so hoch wie bei einem üblichen Gebäude. Dies hat u.a. seinen Grund in den außenseitig angebrachten Wärmedämm-Verbundsystemen, die mit 20 bis 35 Zentimeter dicken Dämmplatten arbeiten. So gibt es kaum noch Temperaturspannungen im Mauerwerk.

Passivhäuser schränken die architektonische Gestaltungsfreiheit keineswegs ein. Allerdings müssen nicht nur der gestalterische Entwurf, sondern auch wesentliche Details beachtet werden: Insbesondere müssen bauphysikalische Fakten konsequent angewendet werden.

Die Farbgebung von Passivhäusern kann ganz nach Wunsch erfolgen, und auch die Fenster können in jeder Himmelsrichtung angeordnet sein. Ein Passivhaus ist nicht auf hohe Solarenergie-Gewinne angewiesen, aber es ist natürlich auch kein Fehler, diese zu berücksichtigen.

Passivhäuser werden durch Lüftungssysteme bedarfsgerecht belüftet. Bei Passivhäusern können Lüftung, Warmwasser und Heizung in einem kompakten Gerät miteinander verbunden werden. Bei optimierten Passivhäusern ist die Heizlast so gering, dass keine Warmwasser-Zentralheizung mit Heizkörpern mehr benötigt wird. Übrigens kann ein Passivhaus im Sommer gekühlt werden: durch die Zufuhr von kühler Luft während der Nacht. Das Lüftungssystem kann nicht nur Wärme, sondern auch Kälte rückgewinnen. Soweit es erforderlich ist, lassen sich große Fensterflächen im Sommer temporär beschatten.

Die aktive Frischluftzufuhr entfernt Feuchtigkeit zuverlässig - und zwar dort, wo am meisten Feuchtigkeit freigesetzt wird. Damit werden Bauschäden und Schimmelbildung durch Feuchte vermieden. Selbst eine "Stoßlüftung" - also eine Fensterlüftung durch die Bewohner - zwei- bis dreimal am Tag bringt nicht die gleiche Effizienz.

Passivhäuser führen erfahrungsgemäß zu baulichen und haustechnischen Mehrkosten. Dabei hat man zusätzlich mit etwa 100 € je Quadratmeter Wohnfläche zu rechnen.



“Wohnungen sollten mit Lüftungssystemen ausgerüstet werden.”

Um den Gesamtenergieverbrauch in Deutschland zu verringern, muss nicht zuletzt bei der Beheizung der Gebäude angesetzt werden. Im baulichen Bereich haben sich viele Bemühungen zur Senkung des Energieverbrauchs auf die Wärmedämmung konzentriert. Damit ist der Transmissionswärmebedarf von Neubauten dramatisch vermindert worden. Dieses Potential ist - insbesondere bei Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit - praktisch ausgeschöpft. Weitere nennenswerte Verbesserungen sind nur durch die Absenkung des Lüftungswärmebedarfs möglich.

Die nahe liegende Lösung hierfür ist die dichte Ausführung unserer Gebäude. Wir unterbinden damit das unkontrollierte Einströmen von Außenluft in die Gebäude. Damit unterbinden wir aber auch die freie Lüftung. Es verbleibt nur der Weg über die maschinelle Lüftung: Nur so kann der notwendige Luftvolumenstrom kontrolliert zugeführt werden, und nur so ist eine energiesparende Wärmerückgewinnung möglich.

Die maschinelle Wohnungslüftung wird in Zukunft in Deutschland deutlich an Bedeutung gewinnen. Dieses setzt qualitativ hochwertige Komponenten und Systeme voraus. Daneben ist wichtig, die Öffentlichkeit darüber zu informieren, dass und warum Wohnungen mit Lüftungssystemen ausgerüstet werden sollten.

Prof. Dr.-Ing. Michael Schmidt

Lehrstuhl für Heiz- und Raumlufttechnik, Universität Stuttgart, Obmann der VDI-Gesellschaft Technische Gebäudeausrüstung, Düsseldorf

5. Komponenten von Lüftungsanlagen

5.1 Ventilatoren

Abluftanlagen zur Wohnungslüftung verfügen über mindestens einen Ventilator, Zuluft-/Abluftanlagen zur Wohnungslüftung über mindestens zwei Ventilatoren. Ventilatoren haben die Aufgabe, den erforderlichen Luftvolumenstrom durch die Wohnung bzw. das Gebäude zu fördern.

Bei Abluftanlagen tritt die Luft zunächst durch die Außenluftdurchlässe (Zuluftöffnungen) in der Gebäudehülle in die Zulufräume wie Wohnzimmer, Schlafzimmer und Kinderzimmer ein. Danach strömt die Luft aus den Zulufräumen durch die Überströmzonen wie etwa den Wohnungsflur in die Ablufträume - also vor allem in Bad, Toilette und Küche. Aus den Ablufträumen wird die Luft abgesaugt und über ein Abluftkanalnetz sowie über die - mit dem Ventilator ausgerüstete - Abluftanlage nach außen gefördert.

Der Ventilator muss die Strömungswiderstände überwinden, die dem Luftvolumenstrom von den luftdurchströmten Bereichen entgegengesetzt wird; hierzu erzeugt der Ventilator einen Druckunterschied gegenüber dem Luftdruck der Umgebung.

Bei Zuluft-/Abluftanlagen kommt zum Abluftkanalnetz noch ein zweites Kanalnetz hinzu: das Zuluftkanalnetz. Über dieses wird die Außenluft zunächst zum Lüftungsgerät geführt, durch den dort eingebauten Wärmeübertrager einschließlich Zuluftfilter gefördert und dann in die Zulufräume transportiert; hierfür wird ein zweiter Ventilator eingesetzt.

Ventilatoren sind also Hauptkomponenten von Wohnungslüftungsanlagen. Sie sind überwiegend als Radialventilatoren ausgeführt, bei denen die Luft durch ein Laufrad gefördert wird. Die Luft wird da-

bei zunächst in Richtung der Drehachse des Laufrads - also axial - angesaugt und dann durch die Laufschaufeln des Laufrads rechtwinklig umgelenkt und radial nach außen geschleudert; mit Hilfe einer entsprechenden Gestaltung des Laufrads wird dadurch der gewünschte Überdruck aufgebaut und eine geeignete Ausblasgeschwindigkeit erzeugt.

Das Laufrad des Ventilators wird durch einen kleinen Elektromotor angetrieben. Je nach dem erforderlichen Luftvolumenstrom bei Volllast- und Teillastbetrieb, dem benötigten Druckunterschied zur Luftförderung und dem Gesamtwirkungsgrad des Ventilators ist die Leistungsaufnahme des Elektromotors unterschiedlich; z.B. nehmen Elektromotoren bei Lüftungsanlagen für Wohnungen und Einfamilienhäuser zwischen etwa 30 und 200 Watt elektrische Leistung auf.

Die über den Elektromotor aufgenommene elektrische Energie soll sowohl im Volllast- als auch im Teillastbetrieb möglichst wirksam in Druck- und Bewegungsenergie umgesetzt werden, also einen guten energetischen Gesamtwir-

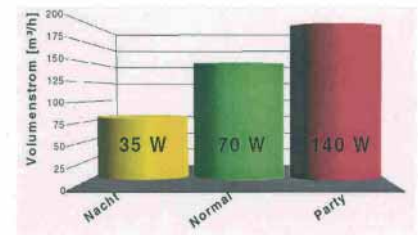


Radialventilator mit EC-Motor [19]

kungsgrad erreichen. Hier gibt es je nach Ventilatorbauart Unterschiede. So beeinflussen z.B. die Regelfähigkeit und Stabilität des Ventilators dessen energetische Effizienz. Radialventilatoren mit rückwärts gekrümmten Schaufeln erweisen sich energetisch als besonders günstig. Auch die Art des Einbaus von Ventilatoren in das Lüftungsgerät - also Zu- und Abströmbedingungen und Bauvolumen - haben Rückwirkungen auf den energetischen Gesamtwirkungsgrad [28].

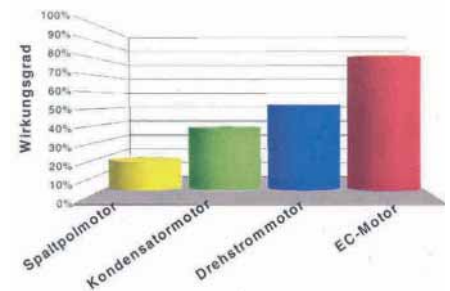
Wesentlich ist auch die Bauart des antreibenden Elektromotors. Elektromotoren weisen seit kurzem Wirkungsgradklassen auf: Standardmotoren gehören

Gesamtenergiebedarf für Zu- und Abluftventilator



Die elektrische Leistungsaufnahme des Ventilators hängt vom Lüftungsbedarf ab [19].

Wirkungsgrade nach Motorenart



Elektronisch kommutierte Elektromotoren sind sehr energieeffizient [19].

zur Klasse EFF3, Motoren mit verbessertem Wirkungsgrad zur Klasse EFF2 und hocheffiziente Motoren zur Klasse EFF1. Während Spaltpolmotoren und Kondensatormotoren weniger günstige Wirkungsgrade und Drehstrommotoren durchschnittliche Wirkungsgrade besitzen, finden seit einiger Zeit auch hocheffiziente elektronisch kommutierte Elektromotoren (EC-Motoren) Verwendung.

EC-Motoren sind kollektorlose Gleichstrom-Motoren mit Nebenschlusscharakteristik. Die Netzspannung von 230 Volt (Wechselstrom) wird in der eingebauten Elektronik in eine Spannung von 24 Volt (Gleichstrom) umgewandelt. Die bei herkömmlichen Motoren auftretenden Eisen-, Kupfer- und Schlupfverluste entfallen weitgehend, so dass im Volllastbetrieb ein Motorwirkungsgrad von bis zu 80 % erreicht wird, der auch im Teillastbetrieb nicht unter etwa 60 % abfällt. Dagegen erreichen konventionelle Kleinmotoren Wirkungsgrade von 15 bis 50 %.

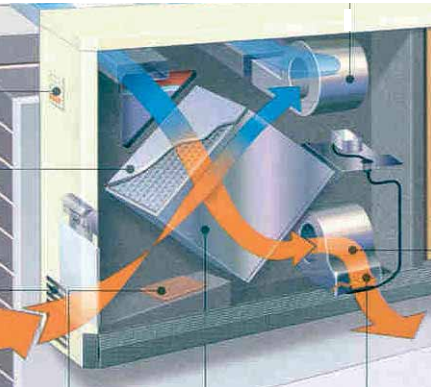


Keine Sorge: Moderne Ventilatoren sind keine Lärmquelle, sondern flüsterleise.



Gute Lüftungsventilatoren sind heute auf Stromsparen getrimmt [F7].

5.2 Wärmeübertrager zur Wärmerückgewinnung



Kreuzstrom-Wärmeübertrager eines dezentralen Zuluft-/Abluftgeräts [F1]

Während sich bei Abluftanlagen keine Wärmeübertrager zur Wärmerückgewinnung einsetzen lassen, können bei Zuluft-/Abluftanlagen die Zuluft und die Abluft im Lüftungsgerät zusammengeführt werden; damit kann ein Wärmeübertrager zur Wärmerückgewinnung genutzt werden. In der Heizperiode trägt dies wesentlich zur Energieeinsparung bei. Mit bestimmten Systemen lässt sich im Sommer auch noch ein Kühleffekt durch Ankühlung der Außenluft erzielen.

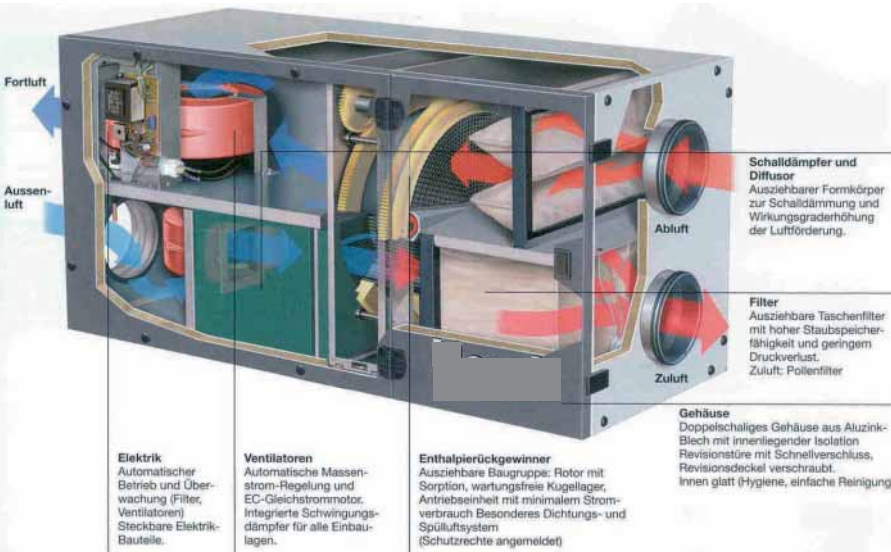
Im Hinblick auf einen energieeffizienten Betrieb von Lüftungsanlagen ist die Wirksamkeit von Wärmeübertragern von erheblicher Bedeutung. Diese hängt von der Bauart ab. Im allgemeinen wird zwischen rekuperativen und regenerativen Wärmeübertragern unterschieden

Zur Bewertung der energetischen Effizienz von Wärmeübertragern dienen die Rückwärmzahl und die Rückfeuchtzahl

Tabelle 5.1). Die Rückwärmzahl gibt an, welcher Anteil der in der warmen Abluft enthaltenen Wärmeenergie vom Wärmeübertrager auf die kalte Außenluft übertragen werden kann. Dabei wird ganz überwiegend sogenannte "fühlbare Wärme" übertragen. Für Wärmeübertrager in der Wohnungslüftung ist diese Rückwärmzahl entscheidend.

Wärmeübertrager	Rückwärmzahl	Rückfeuchtzahl
Kreuzstrom-Wärmeübertrager mit ebenen Platten	0,5 ... 0,6	0
Gegenstrom-Wärmeübertrager mit ebenen Platten	0,6 ... 0,75	0
Gegenstrom-Wärmeübertrager mit quadrat. Kanälen	0,85 ... 0,95	0
Rohrbündel-Wärmeübertrager	0,4 ... 0,6	0
Rekuperatives Zirkulationssystem	0,4 ... 0,65	0
Wärmerohr-Wärmeübertrager	0,4 ... 0,65	0
Rotations-Wärmeübertrager	0,7 ... 0,85	0,7 ... 0,85
Umschalt-Regenerator	0,6 ... 0,7	0

Tabelle 5.1: Anhaltswerte für Rückwärmzahl und Rückfeuchtzahl von verschiedenen Wärmeübertragern



Dieses Lüftungs-Zentralgerät hat einen rotierenden Regenerator als Wärmeübertrager. Damit kann nicht nur Wärme, sondern bei Bedarf auch Feuchte zurückgewonnen werden [F8]



Hocheffizienter Rekuperator für Lüftungsanlagen [F13]

Dagegen ist die Rückfeuchtzahl bei der Wohnungslüftung eher eine Zusatzinformation: Sie gibt an, welcher Anteil der in der warmen Abluft enthaltenen Feuchtigkeit sich bei Bedarf vom Wärmeübertrager auf die kalte Außenluft übertragen lässt. Damit kann der Wohnkomfort erhöht und im Vergleich zu einer konventionellen Befeuchtung Energie eingespart werden, weil keine zusätzliche Verdampfungswärme (sogenannte "latente Wärme") erforderlich ist. Der im Idealfall erreichbare Höchstwert für Rückwärmzahl und Rückfeuchtzahl ist jeweils 1; reale Wärmeübertrager können sich diesem Wert jedoch nur annähern.

5.2.1 Rekuperatoren

In Wohnungslüftungsanlagen werden bisher weit überwiegend Rekuperatoren zur Wärmeübertragung eingesetzt. Abluftstrom und Außenluftstrom werden an festen Trennflächen vorbeigeführt; die übertragene "fühlbare Wärme" geht vom warmen an den kalten Luftstrom über.

Bei sehr kaltem Außenluftstrom kann es im warmen Luftstrom zur Unterschreitung des Taupunkts kommen: Der im warmen Luftstrom enthaltene Wasserdampf kondensiert an den Trennflächen und gibt dabei Kondensationswärme ("latente Wärme") ab; dies erhöht die Effizienz des Wärmeübertragers. Bei sehr kalten Außentemperaturen kann es dabei aber zum unerwünschten Ausfrieren von Feuchtigkeit kommen; hier sehen verschiedene Hersteller z.B. Abtaueinrichtungen zur Beherrschung dieses Problems vor. Kommt es nicht zur Taupunktunterschreitung, so wird nur fühlbare Wärme übertragen. Da die Luftströme getrennt geführt werden, findet keine Feuchteübertragung statt; damit ist auch eine unerwünschte Übertragung von Geruchsstoffen ausgeschlossen.

In Wohnungslüftungsanlagen werden häufig Kreuzstrom-, Kreuz-Gegenstrom- oder reine Gegenstrom-Wärmeübertrager eingesetzt; seltener werden Wärmerohr-Wärmeübertrager ("heat pipes") genutzt. Für die Wohnungslüftung prak-

tisch ohne Bedeutung sind rekuperative Zirkulationssysteme (KVS), bei denen zwei - mit dem Zuluftstrom bzw. dem Abluftstrom in Verbindung stehende - Wärmeübertrager verwendet werden, welche über eine Wärmeträgerflüssigkeit miteinander verbunden sind.

5.2.2 Regeneratoren

Regeneratoren verfügen über Speichermassen, die wechselseitig von den beiden Luftströmen Außenluft und Abluft durchströmt werden; bei Rotations-Wärmeübertragern laufen diese Speichermassen um und werden stetig durchströmt; bei Umschalt-Regeneratoren stehen die Speichermassen fest und werden im zeitlichen Wechsel von Außenluft und Abluft durchströmt. Die Abluft wärmt die Speichermassen auf und kühlt dabei aus, die Zuluft kühlt die Speichermassen wieder ab und wird dabei selbst erwärmt.

Wird ein hygroskopisches Speichermaterial eingesetzt, so kann es einen Teil der Feuchte aus der Abluft aufnehmen und diese an die Außenluft abgeben; das bringt insbesondere im Winter bei sehr trockener Außenluft ein Mehr an Komfort. Bauartbedingt wird ein unerwünschtes Ausfrieren der Feuchte an kalten Wintertagen dabei umgangen.

Weil bei Rotationswärmeübertragern die Speichermasse im Wechsel mit der Abluft und mit der Zuluft in Berührung kommt, ist es hier besonders wichtig, eine - auch nur geringfügige - Übertragung von Geruchsstoffen zu verhindern. Neben der sehr geringen Übertragungsrate gelingt dies durch entsprechende Oberflächenmaterialien der Rotorbeschichtung sowie durch hochwirksame Filter. Da bei optimierten Bauarten die Rückwärmzahl sehr hoch ist, kann hier auf eine zusätzliche Technik zur Nacherhitzung verzichtet werden.



Wärmepumpen-Kompaktgerät [F2]

5.3 Wärmepumpen in Lüftungsanlagen



Verlässliche Technik: die Wärmepumpe - hier als Kompaktgerät für die Wohnungslüftungsanlage [F2]

Elektrische Kompressionswärmepumpen - die in der Gebäudetechnik weitaus am häufigsten eingesetzte Wärmepumpenbauart - arbeiten nach dem Kältschrankprinzip:

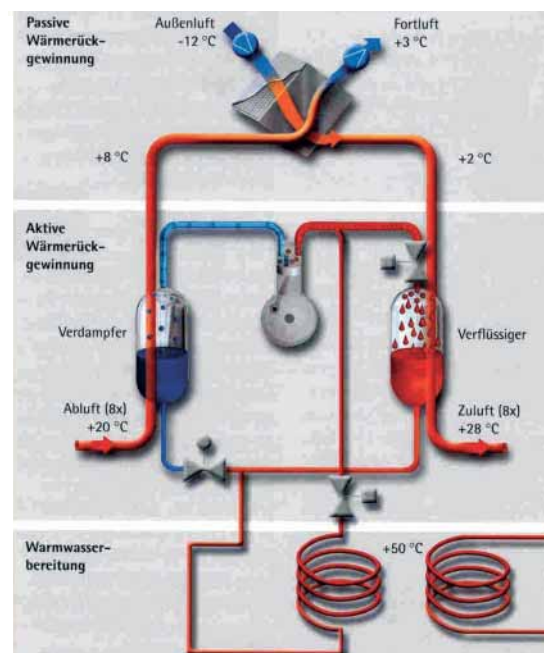
Ein Arbeitsmittel zirkuliert in einem geschlossenen Kreislauf. Dieses nimmt als Flüssigkeit bei niedriger Temperatur und niedrigem Druck Wärme aus einer Wärmequelle - etwa aus der verbrauchten Abluft - auf und verdampft dabei. Der Arbeitsmitteldampf wird danach in einem von einem Elektromotor angetriebenen Kompressor verdichtet und erhält so eine höhere Temperatur und einen höheren Druck. Dann wird das Arbeitsmittel wieder verflüssigt; es gibt dabei Wärme an einen wärmeaufnehmenden Stoff - etwa an aufzuwärmendes Trinkwasser - ab. Im letzten Schritt

wird das Arbeitsmittel auf den niedrigen Anfangsdruck gedrosselt; dabei erreicht es gleichzeitig eine erwünschte niedrige Temperatur.

Bei zentralen Abluftsystemen zur Wohnungslüftung wird also unterm Strich Wärme aus der verbrauchten warmen Abluft auf das höhere Temperaturniveau für die Trinkwassererwärmung "hinaufgepumpt". Bei zentralen Zuluft-/Abluftsystemen wird dagegen Wärme aus der verbrauchten Wohnungsaluft, die als Wärmequelle dient, an die frische, kalte Außenluft übertragen; diese kann dann bereits aufgewärmt in die Wohnung einströmen.

Die Abluft ist eine thermodynamisch günstige Wärmequelle, um eine Kleinwärmepumpe effizient betreiben zu können: Weil die Temperaturen der Abluft bei der Entwärmung im Vergleich z.B. zur Außenluft im Mittel deutlich höher sind, erreicht eine elektrische Abluft-Wärmepumpe gute Leistungszahlen und über das Jahr gesehen eine gute Arbeitszahl; diese liegt im allgemeinen zwischen etwa 3,2 und 3,6. Die Arbeitszahl gibt an, wieviel Wärmeenergie im Verhältnis zur eingesetzten elektrischen Energie gewonnen werden kann.

Bei einem zentralen Abluftsystem übernimmt die Wärmepumpe die gesamte Wärmerückgewinnung. Bei einem zentralen Zuluft-/Abluftsystem trägt der



Die elektrische Kompressionswärmepumpe "pumpt" Wärme von einem niedrigeren auf ein höheres Temperaturniveau [F1].

Wärmeübertrager - z.B. ein Kreuzstrom-Wärmeübertrager - den Hauptteil zur Wärmerückgewinnung bei; die Kleinwärmepumpe hat hier mit der Vorheizung der kalten Außenluft nur eine ergänzende Funktion und kann entsprechend klein ausgelegt werden.

Bei einem zentralen Abluftsystem kann bei Auslegungstemperatur mit ungefähr 0,6 kW Wärmeentzugsleistung bei einem Abluftstrom von 100 Kubikmetern je Stunde (m^3/h) gerechnet werden. Steht also z.B. ein Abluftstrom von 200 m^3/h zur Verfügung, kann von einer Wärmeentzugsleistung von 1,2 kW ausgegangen werden [29]. Je nach Anlagentyp nehmen in Kompaktgeräte integrierte Kleinwärmepumpen üblicherweise elektrische Leistungen zwischen etwa 0,5 und 1,3 kW auf; sie können damit Wärmeleistungen von rund 1,4 bis 4,5 kW bereitstellen.

Kleinwärmepumpen in Verbindung mit der Wohnungslüftung sind bewährte und energetisch interessante Komponenten; sie sind z.B. für Niedrigenergiehäuser, Energiesparhäuser und Passivhäuser - also Wohngebäude mit sehr niedrigem Heizenergiebedarf - besonders geeignet.

5.4 Rohrleitungen und Kanalnetze

Der Luftführung im Gebäude sollte wegen der damit verbundenen Kosten und Druckverluste besondere Beachtung geschenkt werden. Für die Luftführung werden meist Rohrleitungen mit rundem Querschnitt oder Luftkanäle mit Rechteckquerschnitt eingesetzt. Kurze Leitungen sind kostengünstig und sparen Strom, weil sie weniger Ventilatorleistung zur Überwindung von Druckverlusten brauchen (vgl. [30] - [32]).

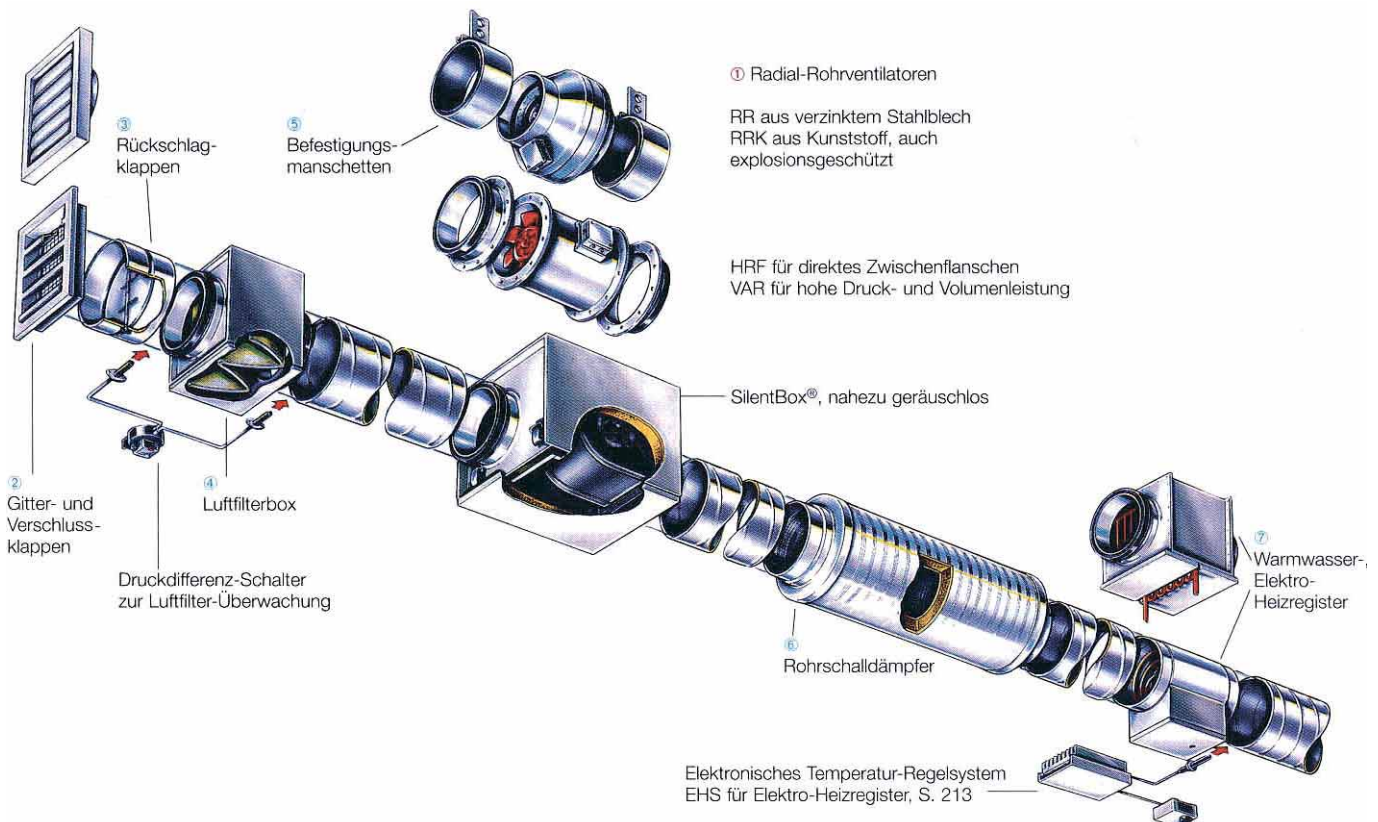
In der Praxis liegt das Hauptaugenmerk auf der Zuluftführung, um eine gute Luftverteilung sowie eine zufriedenstellende Behaglichkeit ohne Zugerscheinungen zu erreichen. Von Vorteil ist eine Einströmung im Außenwandbereich eines Raums, damit die Raumdurchspülung zur Innentür hin sichergestellt wird; so kann sich die Luft in Richtung des Druckgefälles zu den Überströmzonen und zu den Ablufträumen bewegen.

Innerhalb der Zulufräume sollte sich die zugeführte Luft mit der - infolge des thermischen Auftriebs über den Heizkörpern zirkulierenden - Raumluft vermischen

können: Die Vermischungsströmung aus Zuluft und Raumluft bewirkt eine praktisch zugfreie Frischluftversorgung.

Im Dachbereich können Zuluftkanäle auf einfache Weise zu den Außenwänden geführt werden, indem sie zwischen den Dachsparren verlegt werden; dabei sollte beachtet werden, daß die Dachisolierung nicht wesentlich beeinträchtigt wird. Ebenfalls bewährt hat es sich, die Zuluft unterhalb der Heizkörper aus Bodenkanälen einströmen zu lassen. Auch hierbei wird eine optimale Luftströmung und Frischluftverteilung erzielt.

Bei vielen Gebäude- bzw. Wohnungsgrundrissen liegt es aus Kostengründen nahe, die Zuluft über den Innenkern einzubringen - z.B. aus abgehängten Decken im Flurbereich. Vor allem bei Etagenwohnungen haben sich solche Lösungen bewährt. Dabei sollte jedoch beachtet werden, dass dann die Luft über die Innenwände in die Zulufräume eingebracht werden muss und sich Probleme bei der Strömung in den Räumen ergeben können. Kann die eingeführte



Die Komponenten der Rohrleitungen von Lüftungsanlagen passen zueinander: Ein durchdachtes Baukastensystem macht dies möglich [F7].



Flachkanal-System für die Kombination von Lüftungsanlage und Luftheizung [F14]

Zuluft zugleich an der Wand und an der Decke entlangströmen, so legt sie sich daran an; Wand und Decke stellen dabei einen kostenlosen und platzsparenden "halben Kanalquerschnitt" dar.

Die Absaugung der Abluft bewirkt nur in ihrer unmittelbaren Nähe ein entsprechendes Strömungsfeld; deshalb hat der Ort der Abluftöffnungen keinen wesentlichen Einfluss auf die Strömungsverteilung. Trotzdem erscheint es angebracht, die Abluftöffnungen über oder neben den Entstehungsorten von Gerüchen, Feuchte und Abwärme anzubringen, um dadurch eine rasche Abströmung ohne Umwege zu erreichen. Dies betrifft Bad, Toilette, Hausarbeitsraum und Küche.

So sollte etwa im Bad das Abluftventil im Deckenbereich im Umfeld von Dusch- oder Badewanne angeordnet sein, um



Wärmegegedämmte flexible Luftleitung mit Dampfsperre aus Aluminium [F1]

die erhöhte Feuchte aufnehmen zu können. In der Küche kann die Lüftungsanlage allerdings eine Dunstabzugshaube nicht ersetzen, weil deren Luftleistung mit einem Volumenstrom von 300 bis 600 m³/h etwa drei- bis sechsmal so groß ist wie die übliche Luftleistung einer Lüftungsanlage für die Küche. Auch sollte die Dunstabzugshaube nicht an die Lüftungsanlage angeschlossen werden, weil Fett mitgerissen und im Abluftkanal, im Filter oder im Wärmeübertrager des Lüftungsgeräts abgelagert werden könnte. Sinnvoller ist es deshalb, in der Küche unabhängig arbeitende Umluft- hauben mit Fettfilterung zu betreiben oder Ablufthauben mit automatisch öffnenden Außenluftnachströmöffnungen einzusetzen.

Für die Luftleitungen haben sich glattwandige verzinkte Wickelfalzrohre bewährt; hierin können sich keine Verunreinigungen festsetzen. Auch Flachkanäle sind gebräuchlich; sie haben den Vorzug, dass sie innerhalb abgehangter Decken oder im Boden wenig Höhe beanspruchen.

Flexible Schläuche haben im Hinblick auf eine komplizierte Kanalführung ihre Berechtigung, sollten aber kurz und als Rohre mit geringer Innenrauigkeit ausgelegt sein, um zu hohe Druckverluste zu vermeiden.

Die Luftleitungen bzw. Kanalnetze sollten über Reinigungsöffnungen in ausreichender Anzahl verfügen, um eine jährliche oder zweijährliche Überprüfung - und erforderlichenfalls eine Reinigung - möglich zu machen. Hier gibt es unterschiedliche Vorschriften entsprechend den länderspezifischen Bauordnungen.

Zu- und Abluftrohre sind in unbeheizten Räumen mit einer Wärmedämmung zu versehen; je nach Temperaturunterschied kann eine Dämmstoffdicke von bis zu 50 Millimetern sinnvoll sein. Bei erheblichen Temperaturdifferenzen ist außerdem eine außenliegende Dampfsperre - etwa aus Aluminiumfolie - notwendig, um eine Durchfeuchtung der Wärmedämmschicht zu vermeiden. Werden die Luftleitungen innerhalb beheizter Räume geführt, ist eine Wärmedämmung nicht erforderlich.

Die Integration der Bauelemente von Luftführungen in die Raumarchitektur ist leicht möglich: Durch eine optisch ansprechende Gestaltung von Wandeinlässen, Wandauslässen, Zuluftventilen und Abluftventilen fügen sich diese Bauelemente harmonisch in die Räume ein.



Luftführung und Luftauslass im Essbereich eines neuen Wohnhauses: während der Bauphase (oben) sowie nach der Fertigstellung (unten) [F9]



Luftführung und Luftauslass im Deckenbereich eines Neubaus: kostengünstig installiert sowie unauffällig in die freundliche und helle Raumgestaltung integriert [F9]



Abluftventil für Decke oder Wand [F1]



Bodenauslass [F1]



Zuluftventil an der Wand [F1]



Zuluftventil an der Decke [F1]

5.5 Konstant-Volumenstromregler

Bei Rohrleitungen und Kanalnetzen muss sichergestellt werden, dass die jeweiligen Leitungen mit dem vorgesehenen Luftvolumenstrom durchströmt werden: Zu geringe Luftvolumenströme verringern die Behaglichkeit in den Räumen, weil die Räume nicht ausreichend belüftet werden; zu große Luftvolumenströme können zu unerwünschten Zugerscheinungen führen. Die Lüftungsanlage sollte auch nicht durch wechselnde Windverhältnisse im Außenbereich beeinflusst werden. Um diese Ziele zu erreichen, werden Konstant-Volumenstromregler (KVR) eingesetzt.

Konstant-Volumenstromregler dienen zur automatischen Begrenzung und Regelung des Luftstroms in Luftleitungen auf einen festen maximalen Wert. Sie arbeiten passiv und reagieren auf veränderte Bedingungen selbsttätig: Es ist also keine Fremdenergie wie Strom oder

Druckluft erforderlich; ebenso sind keine Sensoren notwendig.

Bei Inbetriebnahme einer Lüftungsanlage müssen alle luftführenden Leitungen abgeglichen werden. Dabei sollten die eingestellten Luftvolumenströme unveränderlich bleiben und nicht etwa durch Unachtsamkeiten von Nutzern verändert werden. Auch Außeneinflüsse wie Staub, der die Luftleistung von Ventilatoren oder den Druckverlust von Filtern verändert, sollten kompensiert werden können. Konstant-Volumenstromregler bewirken dies: Sie machen den Baustellenabgleich des Luftleitungssystems unnötig und sorgen für einen konstanten Volumenstrom bei niedrigen Drücken; sie arbeiten innerhalb eines Differenzdruckbereichs von 50 bis 200 Pascal.

Sie bestehen aus einer Kunststoffmembran und einem rohrförmigen Gehäuse. Bei höherem statischem Druck weitet sich die Membran aus und verringert den Durchflussquerschnitt, so dass trotz des höheren Drucks ein unveränderter Luftstrom durchfließt. Umgekehrt zieht sich die Membran bei zu geringem statischem Druck zusammen und gibt damit mehr Strömungsquerschnitt frei; deshalb bleibt auch in diesem Fall der Luftvolumenstrom unverändert.

Konstant-Volumenstromregler können zur Stabilisierung des jeweiligen Luftvolumenstroms z.B. in Abzweigleitungen, in den Anschluss an ein Abluftventil, an ein Abluft- oder Ansauggitter sowie auch in den Anschluss an ein Zuluftventil eingebaut werden.



Konstant-Volumenstromregler (KVR): Sorgt automatisch für einen gleichbleibenden Luftstrom [F14]

5.6 Luftfilter

Luftfilter haben die Aufgabe, feste und flüssige Verunreinigungen geringer Konzentration aus der Luft herauszufiltern. Bei Wohnungslüftungsanlagen erfüllen sie vor allem zwei Funktionen:

- die Reinigung der Außenluft
- den Schutz von Wärmeübertragern, Rohrleitungen und Ventilatoren sowie weiterer Einbauten vor Schmutz

Damit ermöglichen sie einen hygienischen und energiesparenden Betrieb der Lüftungsanlage.

Luftfilter werden nach Filterklassen eingeteilt: Es gibt Grobstaubfilter der Filterklasse G, die z.B. Industriestaub, Asche, Regen, Haare und Sporen zurückhalten. Daneben gibt es Feinstaubfilter der Filterklasse F, die darüber hinaus auch sinkenden Staub, lungengängige Partikel, Bakterien und Schimmelpilze zurückhalten. Je feiner der Filter ist,



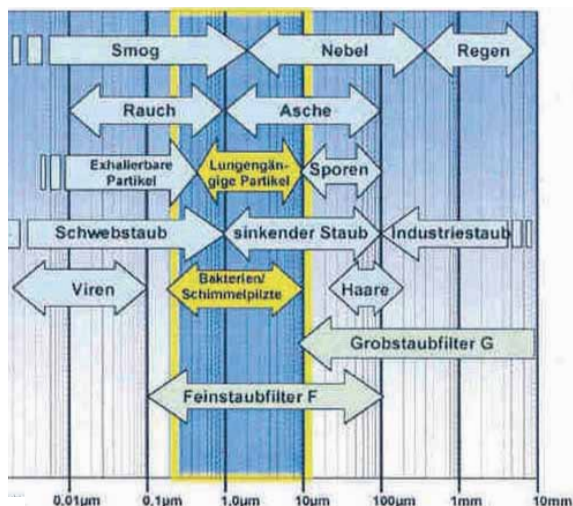
Neuer Filter einer Wohnungslüftungsanlage [19]



Gebrauchter Filter einer Wohnungslüftungsanlage [19]



Plisseefilter [19]

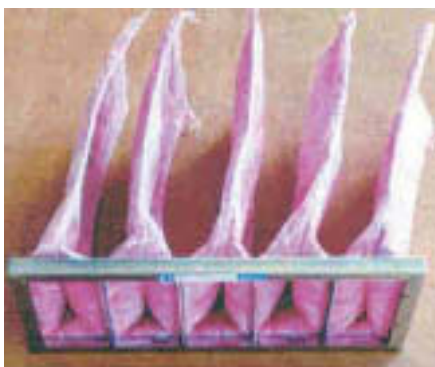


Grobstaubfilter (Filterklasse G) und Feinstaubfilter (Filterklasse F) für unterschiedliche Aufgaben [19]

desto kleinere Verunreinigungen können aufgefangen werden. Andererseits setzt sich ein Feinstaubfilter rascher zu und verursacht einen größeren Druckverlust. Auch kann ein hochwertiger Feinstaubfilter an sehr nebligen und kalten Tagen unter Umständen zufrieren. Deshalb ist ein feinerer Filter nicht immer zugleich die bessere Entscheidung.

Bei Lüftungsanlagen genügt für normale Anforderungen die Filterklasse G3; sollen jedoch Pollen aus der Außenluft gefiltert werden, ist mindestens die Filterklasse G4 zu empfehlen. Werden Lüftungsanlagen in Kombination mit einem Erdwärmeübertrager betrieben, sollte die Filterklasse F7 gewählt werden; auch in der Nähe verkehrsreicher Straßen sollten die Lüftungsanlagen mit der Filterklasse F7 ausgerüstet sein.

Filter können vom Nutzer selbst auf einfache Weise gereinigt oder in Minutenschnelle ausgewechselt werden; hierfür sind keine technischen Kenntnisse erforderlich. Eine fällige Filterreinigung wird durch eine Filterüberwachungsanzeige signalisiert, die heute für alle neuen Lüftungsgeräte vorgeschrieben ist.



Taschenfilter [19]

5.7 Schallschutzmaßnahmen

Gute Wohnungslüftungsanlagen arbeiten leise. Ein wirksamer Schallschutz ist ein wichtiges Gütemerkmal einer Lüftungsanlage. In der Akustik wird zwischen Körperschall und Luftschall unterschieden, wobei Luftschall wiederum in Geräteschall, Strömungsgeräusche und Telefonieschall unterteilt werden kann.

Beim Schallpegel von Wohnungslüftungsgeräten gibt es zum Teil deutliche Unterschiede; diese liegen in einem Bereich zwischen 35 dB(A) und 70 dB(A). Eine Lüftungsanlage sollte auf der Zuluftseite nie ohne einen - am Gerät angebrachten - zentralen Schalldämpfer ausgeführt werden, denn entsprechend den deutschen Normen DIN 1946 Teil 2 [7] und DIN 4109 Teil 5 sind in Schlafräumen Schallpegel von 30 dB(A) oder darunter einzuhalten. Bei leisen Wohnungslüftungsanlagen kann auf der Abluftseite oft auf den Einbau eines Schalldämpfers verzichtet werden.

Strömungsgeräusche lassen sich vermeiden, indem die Strömungsquerschnitte der Rohrleitungen bzw. Kanalnetze ausreichend groß ausgelegt werden. Erfahrungsgemäß sollte die Strömungsgeschwindigkeit in den Hauptkanälen einen Wert von 3 Metern je Sekunde (3 m/s) nicht überschreiten und mit Annäherung an die Luft Eintritts- bzw. Luftaustrittsöffnungen nicht mehr als 2 m/s betragen.

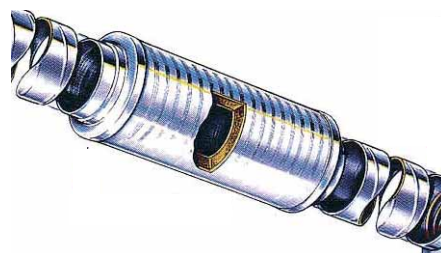
Daneben sollten in den Rohrleitungen bzw. Kanälen scharfkantige Umlenkungen vermieden werden, denn dort reißt die Luftströmung ab und verursacht dabei Geräusche. Soweit der Luftvolumenstrom an Zuluftventilen oder Abluftventilen zu stark verringert wird, können auch dort unerwünschte Strömungsgeräusche entstehen. Gegenüber flexiblen Rohrleitungen haben glattwandige Rohrleitungen, die als übliches Wickelfalzrohr ausgeführt sind, akustische Vorzüge.

Als Telefonieschall wird eine Geräuschübertragung von Raum zu Raum über die Luft in der Rohrleitung bezeichnet: Wenn sich die Bewohner in einem Raum unterhalten oder Musik hören, kann dies gegebenenfalls im benachbarten Raum wahrgenommen werden. Die akustisch anspruchsvollste Lösung ist es, jeden Raum mit einer unabhängigen Luftlei-

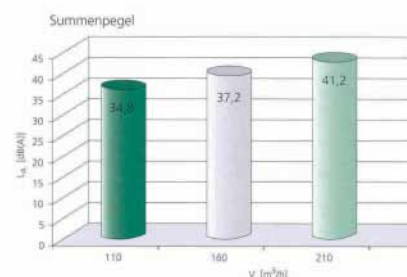
tung zu versehen; damit wird der Telefonieschall über die weiten Wege der Luftleitungen zwischen den Räumen und dem Wohnungslüftungsgerät "weggedämpft". Eine solche eher aufwendige Lösung kann jedoch aus Platz- und Kostengründen nicht oft verwirklicht werden.

Eine andere Lösung ist der Einbau sogenannter "Telefonieschalldämpfer". Ein Telefonieschalldämpfer wird in die Verbindungsleitung zwischen den Räumen eingebaut - z.B. unmittelbar an das Zuluftventil. Er weist oft eine Standardlänge von einem Meter auf und hat einen deutlich vergrößerten Rohrquerschnitt.

Körperschall lässt sich am besten dadurch minimieren, dass das Wohnungslüftungsgerät auf einer körperschallabsorbierenden Unterlage - z.B. auf einer schwingungsdämpfenden Matte - aufgestellt wird. Die Übertragung von Körperschall kann auch an anderen Stellen eingeschränkt werden: Die Anbindung der Rohrleitungen an das Wohnungslüftungsgerät sollte nicht starr erfolgen, sondern über kurze flexible Schlauchstücke oder über Segeltuchstutzen. Rohrleitungen werden am besten mit Rohrschellen an Wänden oder Decken befestigt, die eine Gummieinlage zur Schalldämmung aufweisen. Beim Durchstoß von Rohrleitungen durch Wände oder Decken sollten Rohrleitungen mit Dämmstoffen wie etwa Mineralwolle umkleidet werden (vgl. [30], [31]).



Telefonieschalldämpfer: Minimiert die Schallübertragung über die Lüftungsanlage von Raum zu Raum [F7]



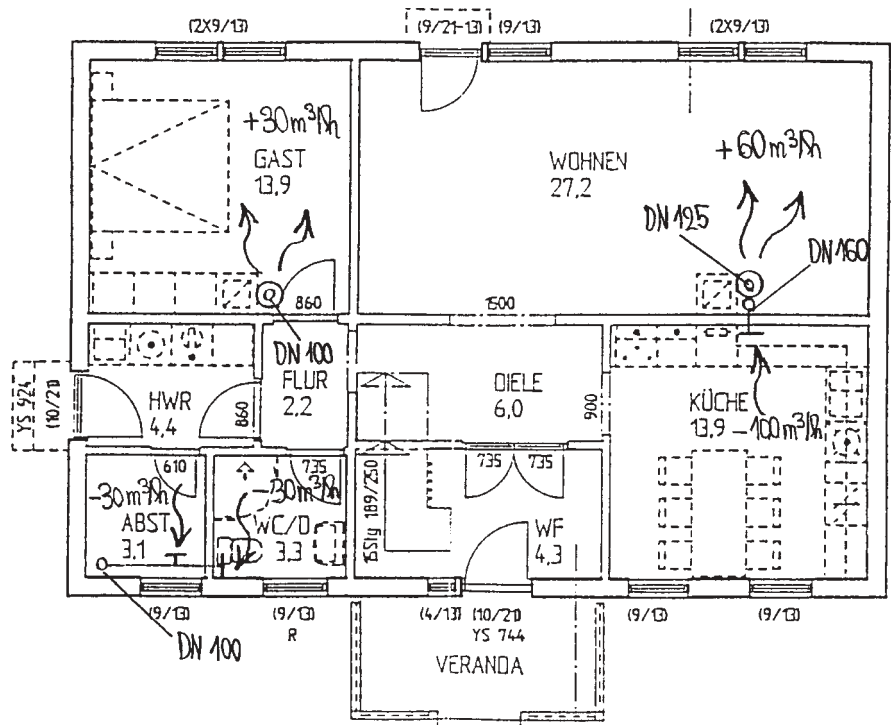
Geräteschallpegel einer Lüftungsanlage: Steigt mit größerem Luftvolumenstrom an [F14]

6. Auslegungsbeispiel für eine Wohnungslüftungsanlage

6.1 Aufgabenstellung

Ein freistehendes neues Einfamilienhaus soll mit einer Wohnungslüftungsanlage ausgestattet werden, die als zentrales Zuluft-/Abluftsystem mit Wärmerückgewinnung auszuführen ist. Zuvor wurde festgelegt, dass das Gebäude über einen wandhängenden Erdgas-Brennwertkessel zur Beheizung und Trinkwassererwärmung verfügt. Die Wohnungslüftungsanlage wird auf dem - nicht zu Wohnzwecken genutzten - Dachboden installiert; denkbar wäre auch eine Anordnung im Erdgeschoss oder - falls vorhanden - im Keller. Das Nachheizregister des Lüftungsgeräts wird an die Warmwasserheizung angeschlossen [33].

Für die Planung liegen die Grundrisse von Erdgeschoss und Obergeschoss sowie eine Schnittdarstellung des Gebäudes vor. Die außenmaßbezogene Gebäudenutzfläche beträgt 192,8 m², die Raumhöhe im Mittel 2,5 m. Daraus ergibt sich ein Gesamtvolumen von 482,0 m³.



Erdgeschoss-Grundriss mit raumbezogenen Luftvolumenströmen [33]

6.2 Luftvolumenstrom

Setzt man gemäß DIN 4701 V Teil 10 [16] einen Norm-Luftwechsel von 0,4 1/h - also einen Luftaustausch von 40 % des Gesamtvolumens in einer Stunde - an, so ergibt sich ein rechnerischer Luftvolumenstrom von 192,8 m³/h. Somit wird alle zweieinhalb Stunden die Raumluft im Gebäude vollständig ausgetauscht. Zur Überprüfung des rechnerischen Luftvolumenstroms von 192,8 m³/h kann die DIN 1946 Teil 6 [8] herangezogen werden: Gemäß **Tabelle 6.1** (geplante Belegung des Gebäudes: bis zu 6 Personen) erscheint der gefundene Wert sinnvoll.

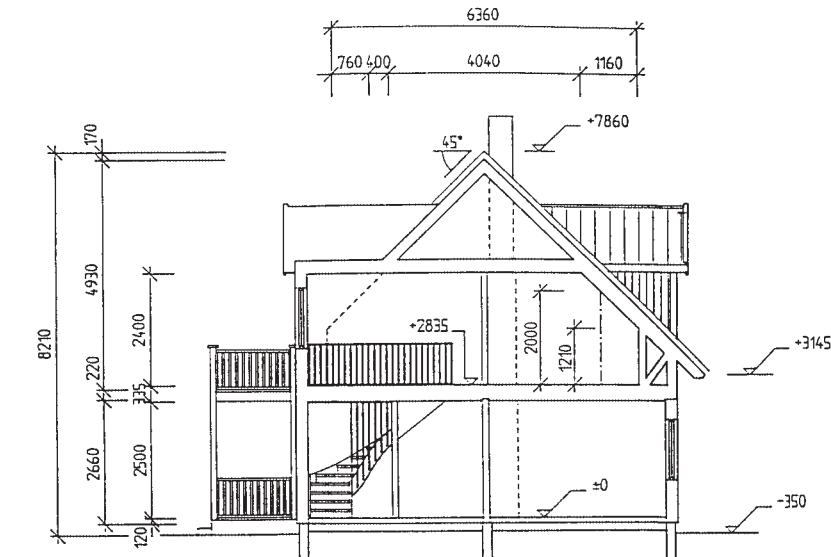
6.3 Geräteauswahl und Raumlufthmengen

Die Hersteller von Wohnungslüftungsgeräten mit Wärmerückgewinnung bieten unterschiedliche Baugrößen an. Hieraus kann ein Gerät mit einem Nennvolumenstrom von 200 m³/h ausgewählt werden.

Aus dem Verhältnis des Nennvolumenstroms von 200 m³/h zur hygienisch notwendigen Gesamtluftmenge von 101 m³/h sowie den einzelnen notwendigen Raumzulufthmengen kann jeweils die tat-

sächliche Raumzulufthmenge für das Elternschlafzimmer, die beiden Kinderzimmer, das Arbeitszimmer, das Wohnzimmer und das Gastzimmer ermittelt werden. Da die Verwendung von Konstant-Volumenstromreglern vorgesehen wird, ist die schließlich gewählte jeweilige Raumzulufthmenge an die verfügbaren Größen der Konstant-Volumenstromregler anzupassen. Die entsprechenden Werte sind in **Tabelle 6.2** eingetragen.

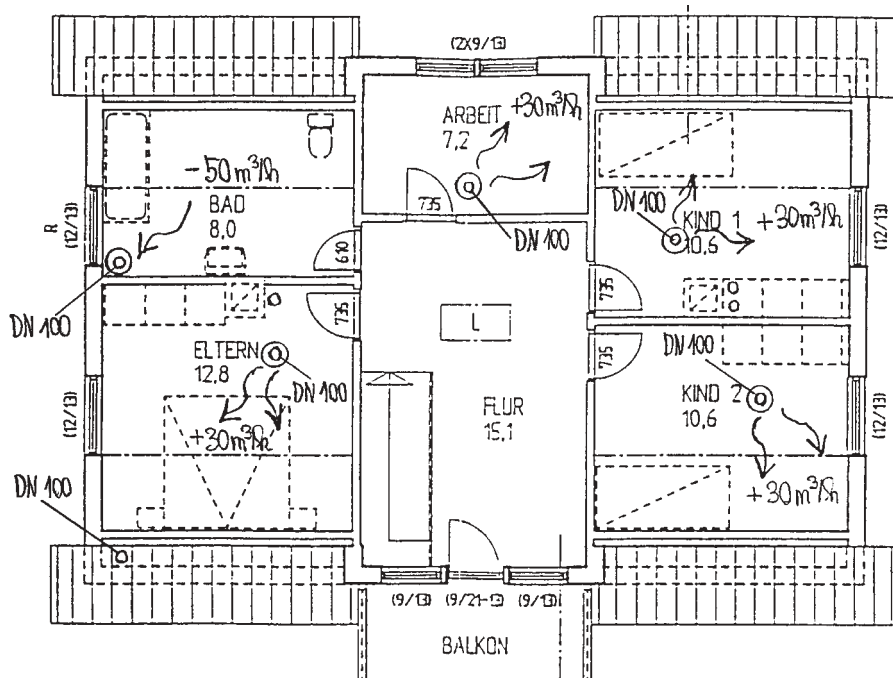
In derselben Tabelle sind auch die notwendigen Raumabluftmengen für Küche, Dusche / WC, Hauswirtschaftsraum / Abstellraum und Bad aufgeführt. Bei den Ablufträumen wird dabei vom jeweils erforderlichen Luftwechsel ausgegangen. Auch hier werden Konstant-Volumenstromregler verwendet, so dass die schließlich gewählte jeweilige Raumabluftmenge an die verfügbaren Größen der Konstant-Volumenstromregler anzupassen ist. Wegen der hohen Menge von



Neues freistehendes Einfamilienhaus mit einer Nutzfläche von 192,8 m² [33]

Wohnungsgröße	Geplante Belegung	Planmäßiger Zuluftstrom
bis zu 50 m ²	bis 2 Personen	60 m ³ /h
zwischen 50 und 80 m ²	bis 4 Personen	120 m ³ /h
über 80 m ²	bis 6 Personen	180 m ³ /h

Tabelle 6.1: Planmäßige Luftvolumenströme entsprechend DIN 1946 Teil 6



Obergeschoss-Grundriss des Einfamilienhauses mit raumbezogenen Luftvolumenströmen [33]

100 m³/h Küchenabluft ist der Einbau von zwei Überströmgittern in der Wand zwischen Küche und Diele notwendig. Die ermittelten Raumlufthmengen sind in den Grundrissen von Erdgeschoss und Obergeschoss eingetragen [33].

6.4 Rohrleitungsführung, Rohrleitungszubehör

Bei der Rohrleitungsführung ist es sinnvoll, mit dem vom Aufstellungsort des Wohnungslüftungsgeräts am weitesten entfernten Geschoss zu beginnen: So lassen sich die längsten und am schwierigsten zu führenden Leitungen leichter planen, da die Bereiche nicht von anderen Rohrleitungen belegt sind. Im Beispiel wird deshalb mit der Leitungsplanung für das Erdgeschoss begonnen.

Bei den Durchbrüchen zum Dachgeschoss sollte bedacht werden, dass die Rohrleitungen im Dachboden-Randbereich verlegt werden, um möglichst viele Dachgeschoss-Stellflächen zu erhalten. Die Versorgung mehrerer Räume über eine gemeinsame Steigleitung ist nur dann sinnvoll, wenn Platz für einen Telefonieschalldämpfer verfügbar ist; sonst sind getrennte Leitungen zu bevorzugen.

Das Lüftungsgerät sollte in der Nähe der größten Rohrdimensionen oder der meisten Steigleitungen vorgesehen werden. Im Beispiel ist dies die linke Dachbodenhälfte. Dabei ist auf eine Zugänglichkeit für die Wartung zu achten. Weiter ist eine Möglichkeit zur Kondensat-Ableitung und zum Anschluss an die Warmwasserheizung für eine ggfs. notwendige Zuluft-Nachheizung einzuplanen.

Die Rohrleitungslängen können mit Hilfe von Skizzen in den Grundrissen ermittelt werden. Die Rohrdurchmesser müssen - vom am weitesten entfernten Ventil des jeweiligen Luftstranges ausgehend - abhängig vom jeweiligen Luftvolumenstrom ermittelt werden, wobei sich die Querschnittsfläche aus dem Quotienten von Luftvolumenstrom und Strömungsgeschwindigkeit (maximal 3 m/s) ergibt. Im Auslegungsbeispiel werden überwiegend Querschnitte der Dimensionen DN 100 und DN 125 und nur kurze Rohrleitungsstücke in DN 160 ermittelt. Daneben ist in der Planung die Zahl der Bögen in 90 ° und in 45 °, der Abzweig-T-Stücke (zur Trennung und für die Vereinigung), die Zahl der T-Stücke als Durchgang sowie die Zahl der Erweiterungen und Reduzierungen zu ermitteln.

Wegen der Verwendung eines sehr leise arbeitenden Lüftungsgeräts sind am Zuluft- und am Abluftanschluss des Geräts lediglich je ein Telefonieschalldämpfer erforderlich; vom Einsatz teurerer Rohr- oder Kulissenschalldämpfer kann abgesehen werden.

6.5 Druckverluste

Mit Hilfe von Hersteller-Tabellen oder durch Rechnung können die Druckverluste für die Rohrleitungen - abhängig von der Art der verwendeten Rohrleitungen, deren Längen sowie den jeweiligen maximalen Luftvolumenströmen - ermittelt werden; daneben lassen sich auch die Druckverluste für die Formstücke bestimmen. Entscheidend sind die Druckverluste im ungünstigsten Zuluftstrang und im ungünstigsten Abluftstrang [33].

Im Auslegungsbeispiel wird im Falle des ungünstigsten Zuluftstrangs - dem *Zuluftstrang zum Gästezimmer im Erdge-*

Zuluft- raum	Raum- volumen	Notw. Raum- zuluft- menge	Tats. Raum- zuluft- menge	Konstant- Volumen- stromreg- ler-Größe	Abluft- raum	Raum- volumen	Luft- wechsel	Notw. Raum- abluft- menge	Tats. Raum- abluft- menge	Konstant- Volumen- stromreg- ler-Größe
Eltern	30,7 m³	15 m³/h	30 m³/h	30 m³/h	Küche	34,8 m³	3 1/h	104 m³/h	102 m³/h	100 m³/h
Kind 1	25,4 m³	13 m³/h	26 m³/h	30 m³/h	Dusche / WC	8,3 m³	3 1/h	25 m³/h	25 m³/h	30 m³/h
Kind 2	25,4 m³	13 m³/h	26 m³/h	30 m³/h	Hausw.raum	18,8 m³	1 1/h	19 m³/h	15 m³/h	30 m³/h
Arbeiten	17,3 m³	9 m³/h	18 m³/h	30 m³/h	Bad	19,2 m³	3 1/h	58 m³/h	58 m³/h	50 m³/h
Wohnen	68,0 m³	34 m³/h	67 m³/h	60 m³/h						
Gast	34,8 m³	17 m³/h	34 m³/h	30 m³/h						
Gesamt	201,6 m³	101 m³/h	201 m³/h	210 m³/h	Gesamt	81,1 m³		206 m³/h	200 m³/h	210 m³/h

Tabelle 6.2: Auslegung der Zuluft- und der Abluftvolumenströme für die einzelnen Wohngebäuderäume [33]

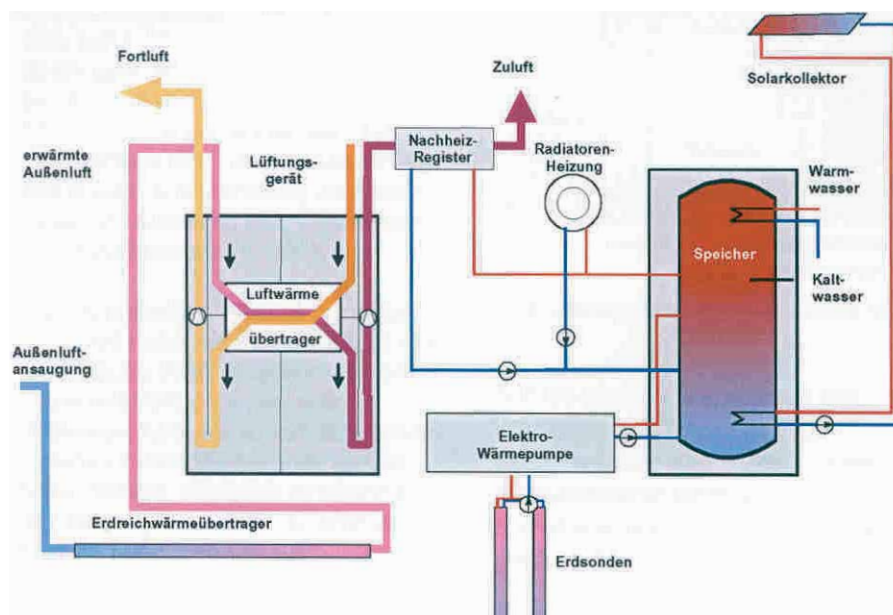
7. Erfahrungen mit der Wohnungslüftung: Ausgeführte Anlagen

7.1 Förderprogramm Passivhäuser in Baden-Württemberg

Neue Wohngebäude können heute sehr energieeffizient gebaut werden. Solche "Passivhäuser" benötigen für die Wärmeversorgung im Jahr durchschnittlich nur noch so viel Energie, wie umgerechnet in 250 bis 400 Litern Heizöl enthalten ist. Von Bedeutung ist dabei die richtige Technik für die Heizwärmeversorgung und Trinkwassererwärmung - und für die Wohnungslüftung. Ab dem Jahr 2000 wurden in Baden-Württemberg durch eine Förderinitiative der Energie Baden-Württemberg (EnBW) 78 Passivhäuser systematisch untersucht. Die wissenschaftliche Begleitung lag beim Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE).

Die untersuchten Passivhäuser weisen durch ihre besonders hochwertige Wärmedämmung und Gebäudedichtheit sowie durch Einrichtungen zur ergänzenden Sonnenenergienutzung einen spezifischen Jahres-Heizwärmebedarf von weniger als 15 kWh/(m² a) auf und verfügen über eine Lüftungsanlage. Erfahrungsgemäß ist mit Mehrinvestitionen von rund 100 € je Quadratmeter Wohnfläche zu rechnen, die sich jedoch im Lauf der Nutzungszeit auszahlen.

Im Einzelnen umfasst die Haustechnik eine mechanische Be- und Entlüftungsanlage, eine geeignete Technik zur Trinkwassererwärmung (z.B. über eine Solaranlage), eine kleindimensionierte Wärmepumpe zur Nachheizung des Trinkwassers und zur Deckung des Rest-Heizwärmebedarfs, die Verteilung der Heizwärme mit der Zuluft der Wohnungslüftungsanlage und eine ergänzende elektrische Direktheizung für extreme Situationen. Ein separates Warmwasser-



Beispiel einer Passivhaus-Wärmeversorgung (Erdreich-Wärmepumpe, Solar-kollektor, Lüftungsanlage mit Erdreichwärmeübertrager und Wärmerückgewinnung) [37]

Heizungssystem mit Rohren und Heizkörpern ist meist nicht erforderlich.

In den untersuchten Passivhäusern werden zwei verschiedene, etwa gleich häufig eingesetzte Konzepte genutzt: zum einen Lüftungsgeräte kombiniert mit Erdreich-Wärmepumpen und zum anderen Lüftungs-Kompaktgeräte mit Abluft-Wärmepumpen.

Die Erdreich-Wärmepumpe holt Umweltwärme unmittelbar aus dem Erdreich (entweder mit Hilfe einer bis zu 100 Meter tiefen Erdsonde oder eines 50 Meter langen, in rund 1,5 Metern Tiefe verlegten und als Oberflächen-Absorber bezeichneten Rohres) und "pumpt" diese von etwa + 10 °C auf Temperaturen von bis zu + 60 °C hinauf. So wird die Zuluft im Lüftungs-Zentralgerät aufgewärmt, mit der das Haus beheizt wird. Genauso kann das Trinkwasser erwärmt werden.

Beim Lüftungs-Kompaktgerät wird die Abluft aus dem Haus abgekühlt. Wenn

z.B. im Winter die Außenluft eine Temperatur von - 10 °C hat, wird diese über einen Erdreich-Wärmeübertrager angesaugt und dabei auf + 5 °C vorgewärmt. Die Temperatur wird im Luft-Luft-Wärmeübertrager des Lüftungsgeräts durch Wärmerückgewinnung aus der verbrauchten Abluft auf + 17 °C erhöht; die weitere Erwärmung schaffen "interne Wärmequellen" - also die Bewohner oder Haushaltgeräte.

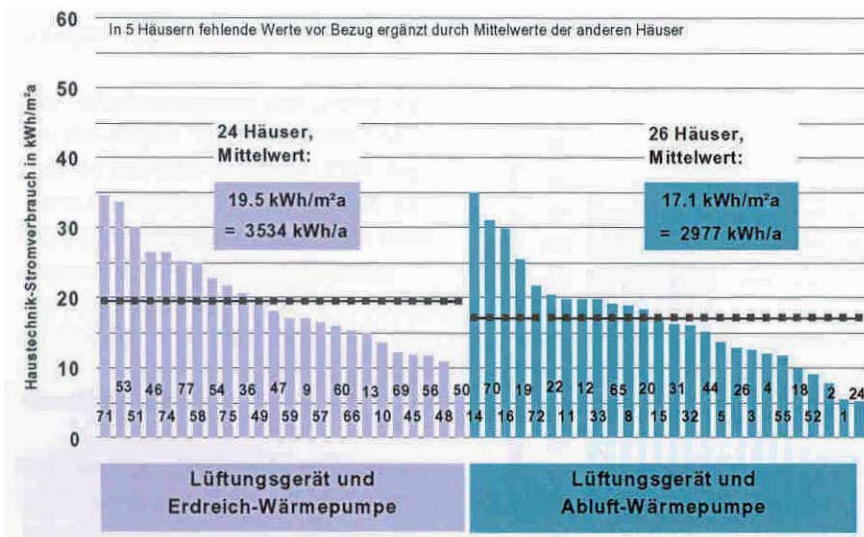
Die durch den Wärmerückgewinner des Lüftungsgeräts entwärmte verbrauchte Abluft hat noch eine Temperatur von + 8 °C. Bei Bedarf kann die integrierte Abluft-Wärmepumpe mit einem zweiten Wärmeübertrager die Abluft bis auf - 2 °C weiter entwärmen und dadurch die frische Zuluft z.B. bis auf + 45 °C aufwärmen oder das Trinkwasser nachheizen, wenn die Sonnenwärme nicht ausreicht. Das typische Lüftungs-Kompaktgerät weist etwa 1,4 kW Heizleistung auf, ist nicht größer als ein Kühlschrank und vereint alle erwähnten Funktionen der Haustechnik.



Förderprogramm: Untersuchte Passivhäuser in Baden-Württemberg [37]



Passivhäuser mit Wohnungslüftung: Architektur "klassisch" bis extravagant



Erfreulich niedrig: Jährlicher Haustechnik-Stromverbrauch von 50 untersuchten Passivhäusern mit Lüftungsgerät und Wärmepumpe [37]

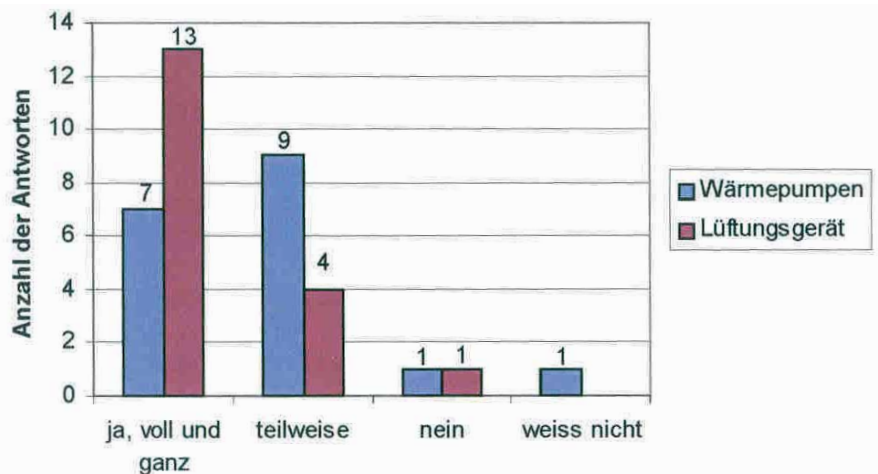
Bei den untersuchten Häusern deckt Strom den gesamten Haustechnik- Energiebedarf zur Wärmeversorgung. Von Interesse ist deshalb, wie groß der jährliche Haustechnik-Stromverbrauch der Gebäude ist. Dabei wurden 50 Gebäude erfasst (24 Häuser mit Lüftungsgerät und Erdreich-Wärmepumpe sowie 26 Häuser mit Lüftungs-Kompaktgerät einschließlich integrierter Abluft-Wärmepumpe). Die Lüftungs-Kompaktgeräte arbeiteten von vornherein einwandfrei; bei einer Reihe von Anlagen mit Erdreich-Wärmepumpen waren Nachbesserungen bei der Geräteintegration notwendig.

Im Mittel ergab sich bei Häusern mit Lüftungsgerät und Erdreich-Wärmepumpe ein jährlicher spezifischer Haustechnik-Stromverbrauch von lediglich 19,5 kWh/(m² a); bei Häusern mit Lüftungs-Kompaktgerät und integrierter Abluft-Wärmepumpe lag er mit durchschnittlich 17,1 kWh/(m² a) noch niedriger. Darin enthalten ist der jährliche spezifische Strombedarf für die elektrische Direktheizung in Extremsituationen; dieser betrug im Mittel 4,3 kWh/(m² a). Die Ergebnisse weisen dabei eine erhebliche Bandbreite auf, die mit dem unterschiedlichen Nutzerverhalten der Bewohner - z.B. mit der gewählten Raumtemperatur, dem Warmwasserverbrauch und den Lüftungsgewohnheiten - zusammenhängt.

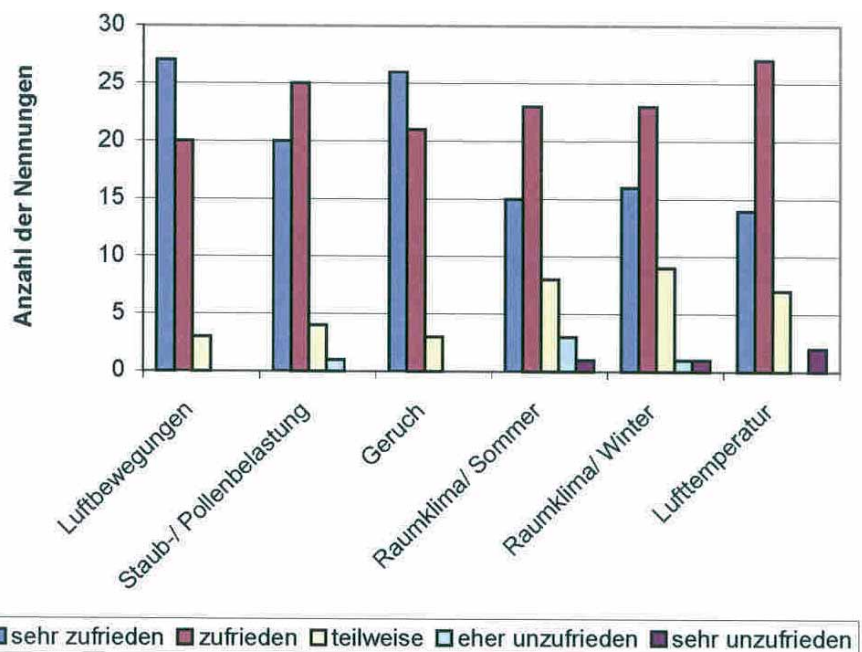
Das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme bewertet die eingesetzte Haustechnik (Lüftungsgeräte sowie Wärmepumpen) aufgrund der erreichten Durchschnittswerte beim Haustechnik-Stromverbrauch als effizient und stellt fest, dass wegen der minimalen Wärmemengen in Passivhäusern Strom zur Raumheizung bei Nutzung von Wärme-

pumpen auch ökologisch zu rechtfertigen ist [35] - [37].

Um die persönlichen Erfahrungen der Bewohner mit den eingesetzten Techniken in Passivhäusern zu erkunden, wurde zusätzlich eine Nutzerbefragung durchgeführt: dabei zeigte sich, dass die überwiegende Zahl der Befragten mit der Lüftungstechnik zufrieden ist; dies gilt im großen Ganzen auch für die Wärmepumpentechnik. Zufriedenheit wurde auch über die verschiedenen Aspekte des Raumklimas in Passivhäusern wie die Luftbewegung, die Staub- und Pollenbelastung, Fragen des Geruchs, das Raumklima im Sommer und im Winter sowie die Lufttemperatur geäußert: Der weitaus größte Teil der befragten Bewohner zeigte sich hierbei als sehr zufrieden oder als zufrieden [38].



Ergebnisse der Nutzerbefragung zur Zufriedenheit mit den eingesetzten Wärmepumpen und Lüftungsgeräten [38]



Ergebnisse der Nutzerbefragung zur Zufriedenheit mit den eingesetzten Lüftungsgeräten (verschiedene Aspekte des Raumklimas) [38]

7.2 Niedrigenergiehäuser mit Wohnungslüftung

Am Südwestrand von Leipzig liegt im Stadtteil Knauthain die Angersiedlung. Im Jahr 1994 wurden dort Reihenhäuser unter energetisch-ökologischen Gesichtspunkten errichtet; bei ihnen wurde ein Niedrigenergiehaus-Standard verwirklicht, mit dem bereits den Bedingungen der ein Jahr später in Kraft getretenen Wärmeschutzverordnung von 1995 gut entsprochen wurde.

Die Angersiedlung besteht aus zu Hausgruppen zusammengefassten Reihennittel- und Reihenendhäusern. Um geringe Heizenergieverbräuche zu erreichen, wurden kompakte Gebäudeformen mit einem sehr günstigen Verhältnis von Außenflächen zu umbautem Raum verwirklicht (A/V-Verhältnis: 0,5 bis 0,6 1/m). Die Dachfirste der Gebäude sind in Ost-West-Richtung orientiert und nach Süden mit großzügigen Fensterflächen versehen; die Südfassaden sind nicht durch Bäume verschattet, um möglichst viel Sonneneinstrahlung zu nutzen.

Mit der Wärmedämmung der Außenhüllen werden vorteilhaft niedrigere Wärmedurchgangswerte (U-Werte) erreicht: Die vorgefertigten, zweischaligen Holzrahmenwände mit Innen- und Außendämmschicht haben einen U-Wert von 0,30 W/(m² K), das Dach 0,19 W/(m² K), die meisten Fenster 1,1 W/(m² K) und die mit einer Wärmedämmung versehene Bodenplatte 0,31 W/(m² K). Bei der Bauausführung wurde Wert auf eine gute



1994 errichtet: Die Angersiedlung in Leipzig-Knauthaim (Südseite) [F11]

Gebäudedichtheit gelegt, um unkontrollierte Lüftungswärmeverluste durch Fugenundichtigkeiten zu vermeiden.

Aus den Gebäuden der Angersiedlung wurden 28 - bautechnisch gleiche - Reihennittelhäuser ausgewählt, die ein A/V-Verhältnis von etwa 0,44 1/m, eine Energiebezugsfläche von rund 147 m² und ein beheiztes Gebäudevolumen von etwa 460 m³ aufweisen. Diese sind zu Vergleichszwecken mit verschiedenen Techniken der Wohnungslüftung und der Wärmeversorgung ausgerüstet. Während der Heizperioden 1999/2000 und 2000/2001 wurden die Energieverbräuche sowie die Betriebscharakteristika dieser Techniken erfasst und systematisch ausgewertet [39].

Um einen Bezug zu üblichen Wohngebäuden zu erhalten, weisen zwei Gebäude keine Wohnungslüftungsanlage auf; deren Bewohner bedienen sich während der Messperioden lediglich der Fensterlüftung. Ein Gebäude verfügt über ein dezentrales Abluftsystem ohne Wärmerückgewinnung, ein weiteres Gebäude über ein zentrales Abluftsystem mit Wärmerückgewinnung. Insgesamt 13 Gebäude sind mit einem zentralen Zuluft-/Abluftsystem mit Wärmerückgewinnung ausgerüstet, wobei hier fünf verschiedene Techniken zum Einsatz kommen. 11 Gebäude sind mit einer Luftheizung mit Wärmerückgewinnung ausgestattet, wobei zwei verschiedene Systeme angewandt werden.

und Toilette abgesaugt und über Dach fortgeführt. Weil die Zuluft über spezielle Außenwandventile in die Wohn- und Schlafräume geführt wird und durch Überströmöffnungen in die benachbarten Räume nachströmt, kann das Kanalsystem auf den Abluftbereich beschränkt bleiben.

Die Einzelventilatoren erzeugen innerhalb des Gebäudes einen gerichteten Volumenstrom und lassen sich entweder mit konstanter Luftleistung betreiben oder passen sich durch eine Feuchte-Regelung an die aktuelle Feuchtelast an. Der Eintrag von Heizwärme erfolgt über eine getrennte Warmwasserheizung mit Plattenheizkörpern, die mit Thermostatventilen ausgerüstet sind. Um Zugluf-

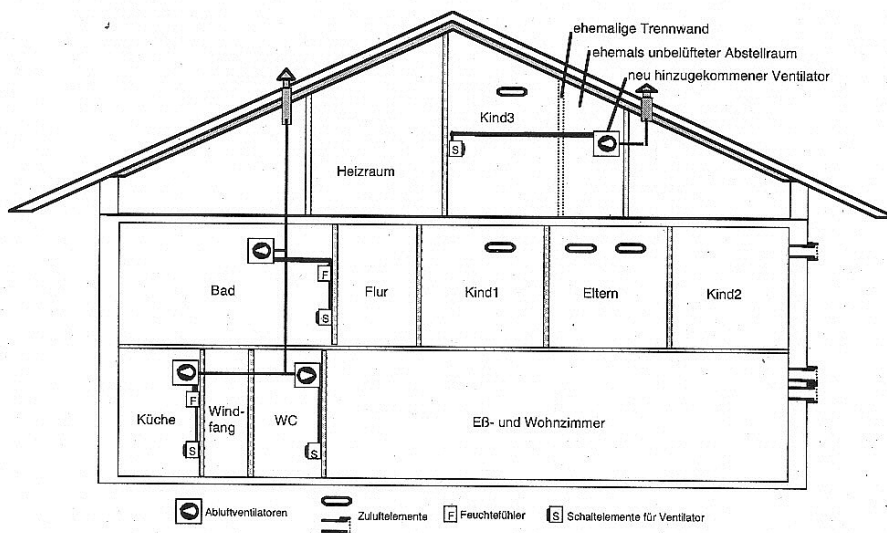


Dezentrales Abluftsystem ohne Wärmerückgewinnung: Abluftventilator an der Küchenwand (oben) [F11]

Dezentrales Abluftsystem: Hier wird mit mehreren dezentralen Ventilatoren die Luft aus den Abluftbereichen Küche, Bad



Hausansicht von Norden [F11]



Angersiedlung Leipzig: Anlagenschema eines dezentralen Abluftsystems ohne Wärmerückgewinnung mit feuchtegeregelten, dezentralen Abluftventilatoren mit Zuluftzufuhr über Außenwand-Luftdurchlässe [39]

scheinungen zu vermeiden, sind die Heizkörper in allen Zulufräumen unter den Außenwandelementen angeordnet.

Zentrale Abluftsysteme mit Wärmerückgewinnung: Hier wird die Luft aus den Abluftbereichen Küche, Bad und Toilette mit Hilfe eines zentralen Ventilators abgesaugt. Der Abluft wird, bevor sie über Dach abgeführt wird, mittels einer elektrischen Wärmepumpe im Gerät Wärme entzogen (Wärmerückgewinnung) und zur Trinkwassererwärmung sowie zum Heizen genutzt.

Weil die Zuluft über Außenwandventile in die Wohn- und Schlafräume gelangt und durch Überströmöffnungen in die benachbarten Räume nachströmt, kann das Kanalsystem auf den Abluftbereich beschränkt bleiben. Die erforderliche Heizwärme wird den Räumen über eine Warmwasser-Zentralheizung zugeführt.

Zentrale Zuluft-/Abluftsysteme mit Wärmerückgewinnung: Bei diesen Anlagen werden sowohl Zuluft als auch Abluft

kontrolliert geführt. Über einen Wärmeübertrager im Gerät wird der Abluft Wärme entzogen und damit die Frischluft aufgewärmt (Wärmerückgewinnung); die verbleibende Heizwärme wird über eine getrennte Warmwasserheizung in die Räume eingebracht.

Luftheizung mit Wärmerückgewinnung: Bei den eingesetzten Luftheizungsanlagen wird die Gebäudebeheizung vom Lüftungssystem übernommen; dabei dient zirkulierende Luft als Wärmeträger. Die in den Luftheizgeräten erwärmte Luft wird in die zu beheizenden Räume geleitet, gibt dort ihre Wärme ab und wird als verbrauchte Luft dem Gerät zur Wärmerückgewinnung vollständig zurückgeführt. Die Luftheizung ermöglicht es dabei, dass die Wohnung nicht nur beheizt, sondern auch belüftet und die Luft dabei gefiltert wird.

Die mit der Auswertung der gewonnenen Ergebnisse beauftragten Gutachter [39] stellen in ihrem Fazit fest, dass Wohnungslüftungssysteme mit Wärmerückgewinnung ein rechnerisches Einsparpotential an Primärenergie von ungefähr 10 bis 15 kWh/(m² a) bieten. Dabei sollte während der Heizperiode möglichst auf ein Fensterlüften verzichtet werden. Die Untersuchung des Nutzerverhaltens ergab, dass eine Reihe von Bewohnern nicht generell auf die Fensterlüftung verzichtete, sondern aus unterschiedlichen Gründen - z.B. aus einem Bedürfnis nach viel frischer Luft im Wohnzimmer oder nach einer kühlen Schlafentemperatur - auf verschiedene Weise zusätzlich über die Fenster lüftete: im Wohnzimmer überwiegend als Taglüftung, im Schlafzimmer überwiegend als Nachtlüftung.



Dezentrales Abluftsystem ohne Wärmerückgewinnung: Außenwandventil unter dem Fenster [F11]



Dezentrales Abluftsystem ohne Wärmerückgewinnung: Außenwandventil im Schlafzimmer [F15]

Im Rahmen einer Befragung wurde ermittelt, dass die Bewohner insgesamt mit dem Raumklima durch mechanische Belüftung zufrieden waren. Soweit vereinzelt Unzufriedenheit geäußert wurde, bezog sich diese etwa auf die Temperatur im Schlafzimmer: Statt kühler Wunschtemperaturen wurden dort Werte von 20 bis 24 °C gemessen.

Die Hygieneuntersuchungen wiesen aus, dass mit den mechanischen Lüftungsanlagen die Belastung der Zuluft durch Bakterien und Pilzsporen um rund 70 % vermindert werden konnte. Weiter zeigte sich, dass keine der Lüftungsanlagen - weder im Sommer noch im Winter - zu einer Quelle mikrobiologischer Belastungen der Innenräume wurde; es waren also keine negativen Effekte nachweisbar [39].



Dezentrales Abluftsystem: Außenwandventil im Wohnzimmer neben dem Fenster [F11]

7.3 Bauliche Sanierung einer Wohnsiedlung

Im Lüneburger Stadtbezirk Holstentor-Nord liegt der Stadtteil St. Lorenz-Nord. Die Bebauung dieses Gebiets geht überwiegend auf die Nachkriegszeit zurück: Der Haupt-Gebäudebestand wurde in den fünfziger und sechziger Jahren errichtet. Als sanierungsbedürftig erwiesen sich u.a. Gebäude, die 1949/1950 als große Wohnblocks gebaut wurden und die 600 Wohnungen umfassten [40].

Im Zusammenhang mit der besonderen Bestandsstruktur des Stadtteils hatten sich in den letzten Jahren vor der Sanierung deutlich abgegrenzte Bewohnergruppen herausgebildet: alteingesessene, seit Jahrzehnten hier beheimatete Mieter; ausländische Mieter mit überwiegend türkischer Staatsangehörigkeit; sozial schwächere deutsche Miethaushalte; junge Menschen als Kurzzeitmieter im Sinne einer übergangsweisen Wohnsituation.

Die meisten Wohnungen wurden mit Einzelofenheizungen - überwiegend mit



Hausfassade vor der Sanierung [F11]



Zur energetischen Sanierung der Außenfassade wurde ein Wärmedämmverbundsystem mit 12 cm Dämmdicke aufgebracht. Weiter wurden wärme- und schalldämmende Fenster eingebaut [F11].



Lüneburger Stadtteil St. Lorenz-Nord: In den Jahren 1949/1950 erstellte Wohnblocks - Zustand nach der Sanierung [F11]

Kohleöfen, teilweise mit nachträglich aufgestellten Gas-Außenwand-Einzelöfen - beheizt; in Einzelfällen hatten Mieter auch eine wohnungsbezogene Gas-Zentralheizung installieren lassen. Daneben hatten viele Mieter die Kohlebadeöfen vor den freistehenden Badewannen ausgebaut und durch wandhängende Gasdurchlauferhitzer zur Trinkwassererwärmung ersetzt.

Die Holzfenster und Außentüren stammten überwiegend noch aus der Erstellungszeit und verfügten lediglich über eine Einfachverglasung im Kittfalz. Vereinzelt waren Holzfenster gegen isolier-

verglaste Fenster ausgetauscht worden. Daneben waren Innenwände zur Verbesserung des Wärmeschutzes nicht selten mit Polystyrol-Tapeten versehen worden; diese bildeten dann die Ursache für Schimmelpilzbildung an den Außenwänden der Wohnungen. Keines der Gebäude verfügte über Wärmedämmungen oder Schallschutzdämmungen, die den heutigen Standards auch nur annähernd entsprochen hätten.

Ziel der Sanierung, die zwischen 2002 und 2004 durchgeführt wurde, war die Schaffung zeitgerechter, moderner Wohnungen mit hoher Qualität, für die eine nachhaltige, dauerhafte Vermietung sichergestellt werden kann. Dabei wurden Wohnungen z.T. zusammengelegt, um Wohnflächen von mehr als 70 m² zu erreichen, sowie die Wohnungsgrundrisse variiert, um neue Mietergruppen (insbesondere Familien) gewinnen zu können.

Die sanitären Einrichtungen wurden erneuert, wobei Voll- oder Duschbäder eingebaut wurden. Daneben wurden Einbauküchen eingerichtet. Treppenhäuser und Kellerräume wurden instandgesetzt sowie Feuchtigkeitsschäden an der Gebäudesubstanz behoben. Weiter wurden die Außenanlagen aufgewertet.

Eine weitere Zielsetzung war die energetische Verbesserung der Gebäude und der Haustechnik auf das Niveau des Niedrigenergiehaus-Standards, um einen geringen Energieverbrauch und niedrige CO₂-Emissionen im Zusammenhang mit der Energieversorgung zu erreichen.

Folgende energiebezogene Sanierungsmaßnahmen wurden verwirklicht: Das Dach wurde neu eingedeckt und erhielt eine Wärmedämmschicht von 14 cm Dicke; auf die Außenwände wurde eine Fassadendämmung mit einer Dicke von 12 cm als Wärmedämmverbundsystem angebracht; der Außenputz erhielt eine dezente Farbgestaltung. Es wurden wärme- und schalldämmende Fenster und Türen eingebaut (Fenster: U-Wert von 1,3 W/(m² K)). Daneben wurden die Hauseingänge erneuert und durch gläserne Windfänge optisch und funktional aufgewertet. Außerdem wurden an fast alle Geschosswohnungen Balkonplatten aus Stahlbeton auf Stahlträgern angesetzt und im Hinblick auf geringe Wärmeverluste von den Gebäuden thermisch entkoppelt. Neben der Schaffung zusätzlicher Wohnfläche konnte damit auch die Fassade architektonisch gefällig gegliedert werden.

Die Wärmeversorgung wird nunmehr durch eine Warmwasserheizungsanlage sichergestellt, die an ein Fernwärmenetz auf der Grundlage der energiesparenden



Abluftventilator an der Innenwand

Kraft-Wärme-Kopplung angeschlossen ist. Die Trinkwassererwärmung erfolgt zentral im Keller und wird aus einem Zentralspeicher gespeist.

Die Gebäudehüllen wurden auf ihre Dichtheit mit Hilfe des sogenannten "Blower-Door"-Tests überprüft; in Einzelfällen wurden noch vorhandene Undichtigkeiten beseitigt, um Lüftungswärmeverluste aufgrund unkontrollierter Luftströmungen zu minimieren.

Zur Sicherstellung eines angenehmen, gesunden und hygienisch einwandfreien Raumklimas sowie zur Vermeidung von Schimmel und von Bauschäden durch Feuchte wurden in allen Wohnungen Anlagen zur kontrollierten Wohnungslüftung eingebaut, die auf eine Luftwechselrate von 0,5 1/h ausgelegt sind.

Für das Sanierungsvorhaben St. Lorenz-Nord erwies sich eine Wohnungslüftung über feuchtegeregelte, dezentrale Abluftventilatoren, bei der auf eine Wärmerückgewinnung verzichtet wird, als die wirtschaftlichste Lösung. Dabei sind die



Gebäudezustand vor der Sanierung [F11]

Abluftventilatoren in die Küchen- und Bad-Außenwände eingelassen. Die Zufuhr der Zuluft erfolgt in die Wohn- und Schlafzimmer über runde, regulierbare Außenwand-Luftdurchlässe mit Schalldämmeinlage, die unmittelbar über den Heizkörpern angeordnet sind. Da die zugeführte Luft durch Überströmöffnungen in die benachbarten Räume nachströmt und schließlich in Küche und Bad gelangt, kann das Kanalsystem auf den Abluftbereich beschränkt bleiben.

Die spezifischen Investitionskosten für die Heizungsanlage einschließlich der Trinkwassererwärmung betrugen für ein Gebäude mit 38 Wohnungen rund 31 € je Quadratmeter Wohnfläche. Für die Wohnungslüftung in Form eines dezentralen Abluftsystems ohne Wärmerück-

gewinnung fielen an Investitionskosten (einschließlich Einbaukosten) knapp 6 € je Quadratmeter Wohnfläche an. Wäre stattdessen eine zentrale Wohnungslüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung und einem Kanalsystem unter der Flurdecke eingebaut worden, so hätten die spezifischen Investitionskosten hierfür (einschließlich der Verkleidung der Flurdecke) etwa 44 € je Quadratmeter Wohnfläche betragen [40].

Vor der Sanierung betrug der mittlere jährliche Heizenergieverbrauch der Gebäude rund 174 kWh/(m² a). Nach der Sanierung wurde gemäß dem verwirklichten Niedrigenergiehaus-Standard ein mittlerer Wert von knapp 49 kWh/(m² a) erreicht. Dies entspricht einer Heizenergieeinsparung von 72 % [40].



Für die Lüftung der Wohnungen wurde ein dezentrales Abluftsystem ohne Wärmerückgewinnung gewählt. An der Außenwand sind unter den Fenstern der Wohn- und Schlafzimmer die Außenlufteinlässe erkennbar [F11].

7.4 Erneuerung eines Sechsfamilien-Wohnhauses

Um die Möglichkeiten einer Komplettsanierung und Modernisierung von bestehenden älteren Wohngebäuden aufzuzeigen, wurde in Nürnberg ein Sechsfamilien-Wohnhaus aus den 30er Jahren ausgewählt und auf den energetisch besonders hochwertigen Passivhaus-Standard erneuert. Ziel war es dabei, den Wohnkomfort wesentlich zu verbessern sowie den jährlichen Heizwärmebedarf auf weniger als ein Siebtel des bisherigen Wertes - von 204 kWh/(m² a) auf 27 kWh/(m² a) - abzusenken.

Das Gebäude wurde 1930 gebaut und 2002 vollständig saniert. Es weist eine Wohnfläche von 895 m² auf. Die Gesamtinvestitionen der Sanierung mit Passivhauskomponenten beliefen sich auf rund 460000 €. Hiervon entfielen auf den Einbau eines zentralen Zuluft-/Ab-



1930 gebaut, 2002 saniert: Sechsfamilien-Wohnhaus in Nürnberg [F12]



Die Regelung des Lüftungssystems verfügt neben einem Automatikmodus auch über einen manuellen Modus. Dabei ist ein Sommer-/Winter-Betrieb sowie ein veränderlicher Lüfterbetrieb möglich [F12].

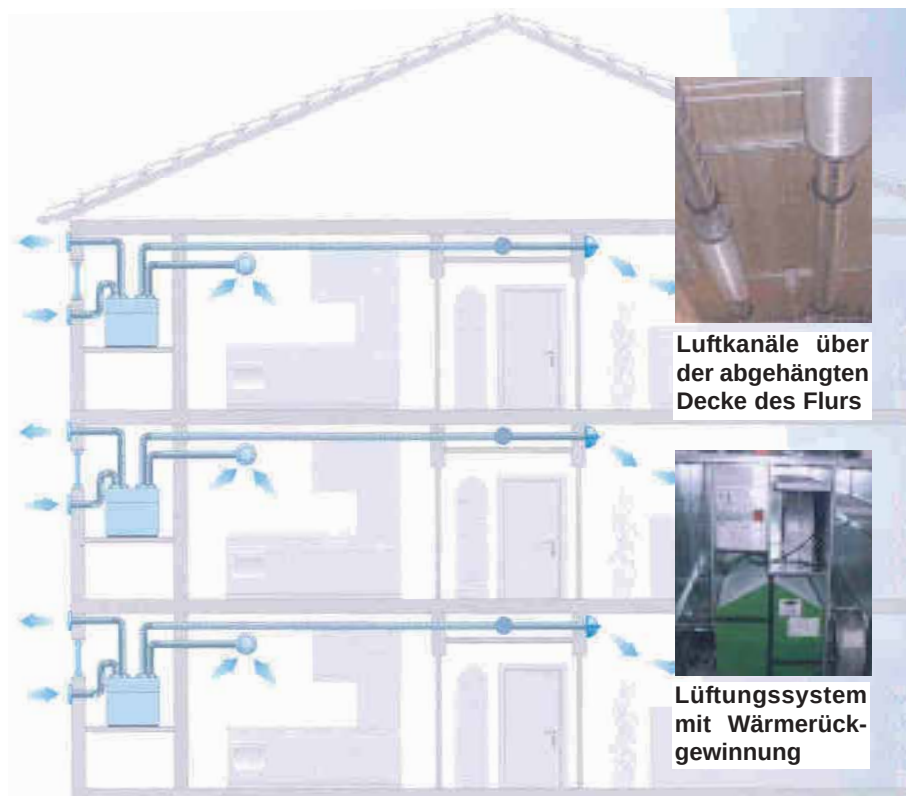
luftsystems mit Wärmerückgewinnung knapp 42000 €. Dieses System ermöglicht individuelle Raumlufthbedingungen entsprechend den Wünschen der Nutzer. Der Auslegungs-Luftvolumenstrom je Wohnung beträgt 140 bis 150 m³/h.

Das System wurde aufgrund der vorhandenen räumlichen Beschränkungen im oberen Bereich des Abstellraums installiert, wobei eine unmittelbare Anbindung nach außen möglich war. Die Kanäle für Zuluft und Abluft wurden platzsparend über einer abgehängten Decke im Flur eingebaut. Frischluft gelangt über spezielle Weitwurfdüsen in die Wohnräume. Die Abluft wird aus Bad, Toilette, Küche und Abstellraum abgesaugt. Die Anlagen wurden durch Mitarbeiter der Herstellerfirma in Betrieb genommen und einreguliert; die einwandfreie Funktion wurde im Rahmen eines begleitenden Forschungsvorhabens vom Passivhaus-Institut Darmstadt überprüft.

Das zentrale Zuluft-/Abluftsystem verfügt über einen effizienten Kreuz-Gegen-

strom-Wärmeübertrager mit bis zu 90 % Wärmerückgewinnung; dadurch ist eine zusätzliche Nacherwärmung nicht erforderlich. Das System verfügt über eine Frostschutzheizung und erlaubt eine Feinregulierung des Luftvolumenstroms auf den gewünschten Umfang; der gewählte Luftvolumenstrom wird unabhängig von den Außenbedingungen konstant

gehalten. Effiziente EC-Ventilator-Motoren sorgen für eine geringe elektrische Leistungsaufnahme (30 bis 63 Watt). Wenn ein Filterwechsel erforderlich ist, wird dies angezeigt; der Filterwechsel ist einfach durchzuführen. Durch einen integrierten Bypasskanal kann auch ein Sommerbetrieb mit kühler Luft verwirklicht werden [F12].



Luftkanäle über der abgehängten Decke des Flurs

Lüftungssystem mit Wärmerückgewinnung

Bei der Gebäudesanierung auf Passivhaus-Standard wurde in jede Wohnung ein zentrales Zuluft-/Abluftsystem mit Wärmerückgewinnung eingebaut [F12].

7.5 Sanierung eines Wohngebäudes

Der viergeschossige Gebäudekomplex in Berlin wurde in den Jahren 1950 bis 1953 errichtet. Die erste Sanierung wurde schrittweise zwischen 1993 und 1998 durchgeführt, wobei Dach und Außenwände eine Wärmedämmung erhielten. Ein weiterer Grund für die Sanierung waren die undichten Holzrahmenfenster des Gebäudes, die durch wärmedämmende Kunststoffrahmenfenster ersetzt wurden. Diese waren mit Lüftungsschlitzen versehen, um einen Mindestluftaustausch sicherzustellen. Nach kurzer Zeit setzten sich die Lüftungsschlitze jedoch vollständig mit Staub zu, so dass in der Folge kein Luftaustausch mehr zu beobachten war.

Nach Abschluss der Sanierungsarbeiten wurde schon bald festgestellt, dass sich - als Folge des fehlenden Luftaustauschs und damit zu hoher Raumluftfeuchte - in allen Wohnungen Schimmelpilz ausgebreitet hatte. Nicht nur Fensterstürze und Fensterlaibungen, sondern auch Innenwandflächen waren davon in erheblichem Umfang betroffen.

Deshalb war im Jahr 2001 eine zweite Sanierung erforderlich; diese hatte zum Ziel, eine wirksame Wohnungslüftungstechnik einzubauen. Aus Kostengründen entschied man sich für den Einbau dezentraler Abluftanlagen. Vom Bauträger wurde zunächst vorgesehen, die vorhandenen fünfzügigen Schornsteine vollständig abzubauen. Auf Empfehlung des Herstellers der Wohnungslüftungsanlagen wurde jedoch davon abgesehen; sie wurden stattdessen zur Aufnahme der Abluftkanäle verwendet. Jede Wohnung erhielt einen separaten Abluftkanal sowie eine Abluft-Einheit mit Ventilator auf dem Dachboden; jeweils vier dieser Einheiten wurden übereinander angeordnet. Damit kann der jährliche Wartungszyklus unabhängig von den Bewohnern vorgenommen werden.

Jede Wohnung wurde mit der ihr zugeordneten Abluft-Einheit über eine Steuerung verbunden, so dass die Lüftung von jeder Wohnung individuell beeinflusst werden kann. Küche und Bad als Ablufträume wurden jeweils mit einem Brandschutz-Abluftventil ausgestattet.

Eine feuchtegeregelte Grundlüftung sorgt für den ständigen Abtransport der belasteten und feuchten Raumluft. Die Zuluftversorgung erfolgt über Thermostatventile in den Fensterrahmen von Wohnzimmer, Schlafzimmer und Kinderzimmer, die nachträglich eingebaut wur-

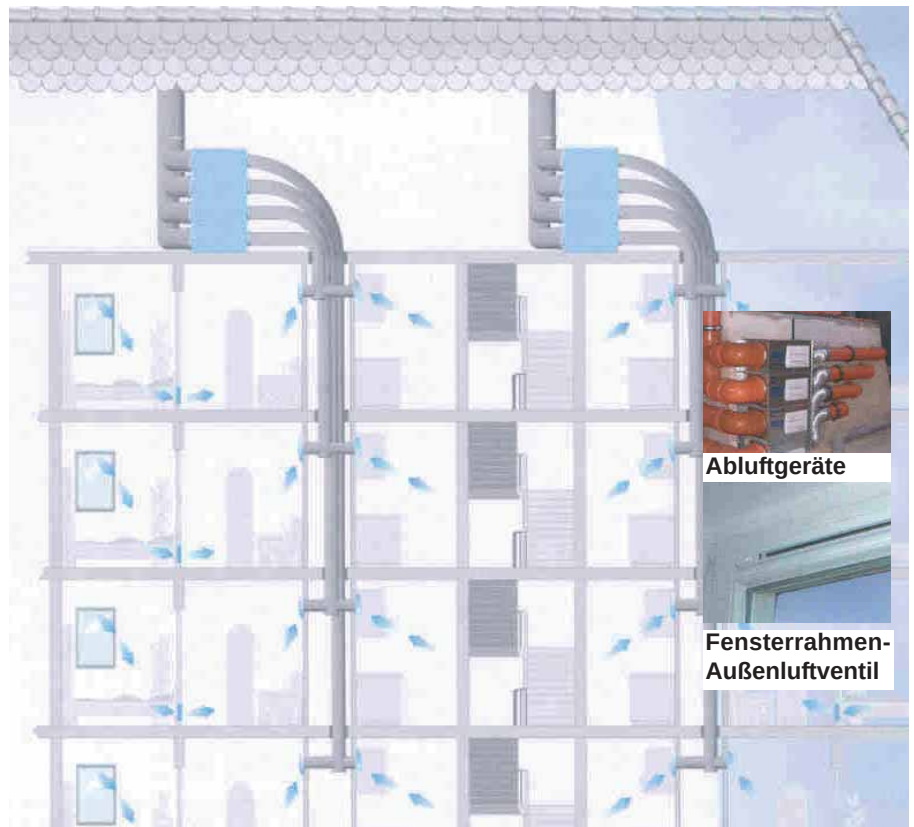


Wärmetechnische Gebäudesanierung mit Folgen: Danach trat Schimmelpilzbefall auf. Der Einbau von dezentralen Abluftanlagen brachte Abhilfe [F12].

den. Somit gelangt auch bei geschlossenen Fenstern die gewünschte Frischluft in die Räume.

Nach dem Einbau der dezentralen Abluftanlagen trat in den betreffenden Wohnungen kein Schimmel mehr auf. Die

Bewohner, deren Meinungen im Rahmen regelmäßig durchgeführter Mieterbefragungen systematisch erfasst wurden, äußerten sich übereinstimmend positiv über die Funktion der neuen Lüftungsanlage und die nunmehr erreichte Luftqualität [F12].



Individuell steuerbare dezentrale Abluftanlagen sorgen für den erforderlichen Luftaustausch [F12].

7.6 Älteres Wohnhaus: Auf Passivhaus-Standard umgebaut

Das Energie- und Umweltzentrum Allgäu eza! setzte sich ein ehrgeiziges Ziel: Ein Wohn- und Geschäftshaus in Kempten aus dem Jahr 1958 sollte erweitert, in seiner Nutzung umgewidmet und auf einen energetisch besonders hochwertigen Passivhaus-Standard umgebaut werden. Dabei sollten mit dem Modernisierungskonzept nicht nur energiesparende bautechnische Maßnahmen angewandt und hocheffiziente Haustechnik bedarfsgerecht eingesetzt werden, sondern auch eine ansprechende architektonische Lösung gefunden werden, mit der das sanierte Gebäude am Rand der Kemptener Altstadt in das bestehende Wohngebäudeumfeld eingebunden werden konnte.

Bei der Sanierung im Jahr 2001 ging es auch darum, ein Energiekompetenzzentrum aufzubauen, in dem verschiedene, besonders effiziente sowie ökologisch hochwertige bau- und haustechnische Lösungen mit Passivhaus-Standard interessierten Bauherren demonstriert werden können. Bau- und Anlagentechnik des Gebäudes werden dabei durch die Nutzung selbst zum Anschauungsobjekt; durch eine entsprechende Messtechnik werden leistungs- und energiebezogene Momentanwerte sowie Summenwerte angezeigt und damit die Wirksamkeit der einzelnen Maßnahmen sichtbar gemacht.

Das Gebäude umfasst einen Seminar- und Schulungsbereich für die Aus- und Weiterbildung von Energieberatern sowie ein Energieberatungszentrum zur

Das Haus vor und nach der Sanierung [41]



Grafische Darstellung des eza!-Hauses mit Veranschaulichung einzelner Haustechnik-Bausteine: Lüftungsanlage, Holzpellet-Zentralheizung, Solarkollektoren und Photovoltaikanlage [41]

Bürgerberatung und zur Impulsberatung von verschiedenen Entscheidungsträgern - beispielsweise aus dem kommunalen Bereich. Daneben sind Büros und Ausstellungsflächen integriert sowie im Dachspitz Lager- und Archivbereiche untergebracht. Die zusätzlich erforderlichen Flächen wurden durch eine Verlängerung des Gebäudes um 4 Meter gewonnen. Die gesamte Nutzfläche beträgt nunmehr 560 m², das beheizte Gebäudevolumen 1331 m³ [41].

Bei der Neunutzung des Hauses war zudem zu berücksichtigen, dass ein Blumenladen, der vor der Sanierung in den Räumlichkeiten untergebracht war, wie-

der geeignete Flächen in einem - vom Hauptgebäude getrennt errichteten - Flachdachgebäude nutzen konnte.

Um eine vollständig gedämmte Hülle herzustellen, wurden alle den beheizten Bereich umgebende Flächen so gut wie möglich energetisch verbessert; dabei wurde u.a. auch auf die Vermeidung von Wärmebrücken geachtet. Die Luftdichtheit des Gebäudes wurde durch Luftdichtheits-Messungen überprüft.

Um dem Demonstrationskonzept des Gebäudes Rechnung zu tragen, wurden verschiedene Fassadendämmsysteme verwirklicht (Wärmedämmverbundsystem; hinterlüftete Fassade mit Wärmedämmung (U-Werte: 0,138 bzw. 0,148 W/(m² K)). Weiter wurde die Frostschräge an der Gebäudenordseite mit einer Perimeterdämmung versehen. Auch die Kelleraußenwand, soweit diese mit vertretbarem Aufwand zugänglich gemacht werden konnte, wurde wärmegeklärt. Der Fußboden im Untergeschoss wurde zum einen durch den Einbau einer Vakuumdämmung unter dem Bodenbelag (U-Wert: 0,133 W/(m² K)) und zum anderen durch eine konventionelle Schüttdämmung verbessert [41].

Vor die Süd- und den Großteil der Ostfassade wurde eine passivhaustaugliche Pfosten-Riegel-Konstruktion mit Dreifachverglasung gestellt (U-Wert: 0,8 W/(m² K)). Hierin ist auf der Südseite flächenbündig ein thermischer Solarkollektor integriert. Die in die Wärmedämmebene eingebauten Fenster sind ebenfalls passivhaustauglich (U-Wert: 0,8 W/(m² K)). Die äußere Verschattung wird tageslichtabhängig gesteuert.

Die Dachkonstruktion wurde mit Zellulose in einer Dicke von 38 cm als Vollsparrendämmung ausgeblasen (U-Wert: 0,142 W/(m² K)).

Die Haustechnik ist in die Ausstellungsflächen einbezogen: Im Erdgeschoss steht ein Holzpelletkessel mit Trinkwasserspeicher. Als Lagerraum für die Holzpellets wird eine ehemalige Montagegrube im Untergeschoss genutzt. Die Beheizung des Hauses erfolgt überwiegend über die Lüftungsanlagen mit Luft als Wärmeträger, wobei die Lüftungsanlagen Warmwasser-Nachheizregister haben. Lediglich im Eingangsbereich ist ein statischer Heizkörper installiert; in der Energieberaterecke wurde eine Wandflächenheizung installiert.

Auf dem Flachdach des Blumenladens sind verschiedene Typen von Solarkollektoren, Photovoltaikanlagen sowie eine Wetterstation aufgestellt und ins Energiekonzept des Gebäudes eingebunden. Zur Demonstration der heute verfügbaren Lüftungstechnik mit Wärmerückgewinnung sind für die verschiedenen Nutzungsbereiche des Gebäudes bedarfsabhängig einsetzbare Lüftungsgерäte verschiedener Hersteller eingebaut. Diese Anlagen sind im Obergeschoss frei zugänglich aufgestellt, um Besuchern deren Funktionsweise anschaulich erläutern zu können:

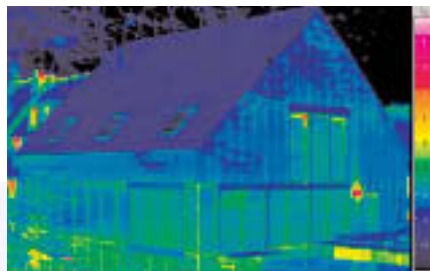
Der Schulungsraum im Untergeschoss wird über eine CO₂-geregelte Lüftungs-



Demonstration verschiedener Fassadendämmsysteme am eza!-Haus [41]

anlage versorgt, die auf einen Luftvolumenstrom von 370 m³/h ausgelegt ist. Die Ausstellungsfläche im Erdgeschoss wird über eine temperaturgeregelte Lüftungsanlage belüftet; deren elektronisch regelbarer Luftvolumenstrom weist einen Maximalwert von 275 m³/h auf. Die Ausstellungsfläche im Obergeschoss wird

über eine temperaturgeregelte Lüftungsanlage versorgt; deren Luftvolumenstrom ist auf einen Höchstwert von 210 m³/h ausgelegt. Das für Verwaltungsaufgaben genutzte Dachgeschoss wird mit Hilfe einer temperaturgeregelten Lüf-



Das Infrarotbild zeigt: Kaum Transmissionswärmeverluste

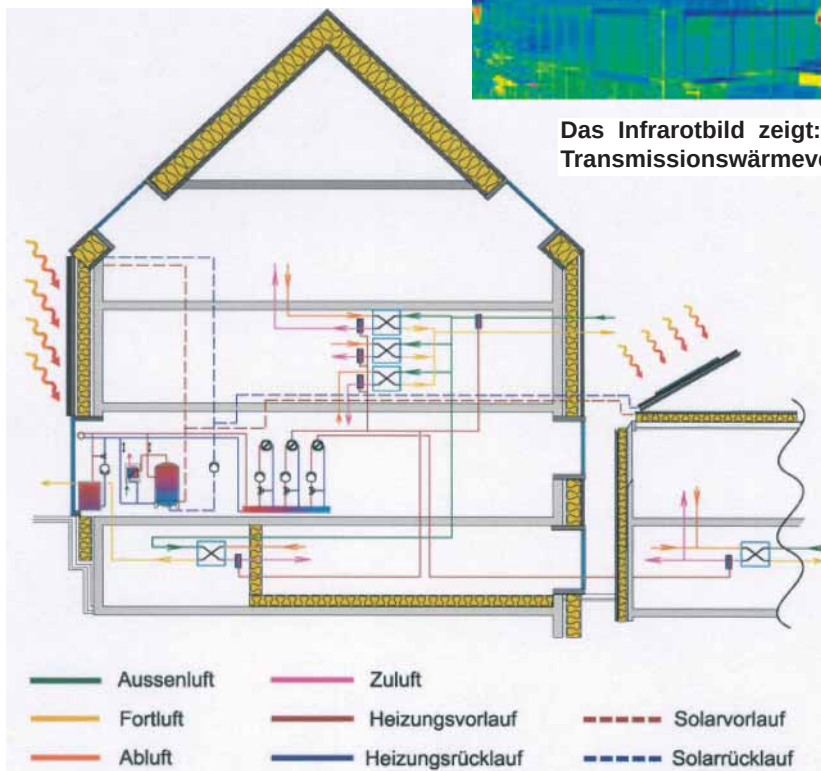


Lüftungs-Zentralgerät [F12]

tungsanlage belüftet; diese ist durch einen Luftvolumenstrom von 290 m³/h gekennzeichnet.

Der spezifische Jahresheizwärmebedarf des sanierten Gebäudes liegt bei 19,5 kWh/(m² a); gegenüber dem Zustand vor der Erneuerung wird damit eine Einsparung von über 90 % erreicht.

Die spezifischen Kosten der Sanierung konnten auf einen Wert von 1022 €/ m² begrenzt werden. Sie haben damit eine Größenordnung, wie sie auch bei Sanierungsvorhaben bekannt sind, die nicht dem Anspruch einer passivhaustauglichen Sanierung gerecht werden [41].



Teil des Energiesparkonzepts: Lüftungstechnik mit Wärmerückgewinnung

7.7 Umbau eines Plattenbaus zur Senioren-Residenz



Plattenbau: Nach der Sanierung zur komfortablen Senioren-Residenz aufgewertet [F6]

In Greiz (Sachsen) wurde ein Plattenbau-Komplex im Rahmen einer bautechnischen Sanierung zu einer Senioren-Residenz umgebaut. Das Alterswohnhelm bietet Raum für 79 Senioren. Im baulichen Zustand vor der Renovierung war eine Abluftanlage mit konstantem Abluftvolumenstrom installiert, der über einen Dachventilator abgesaugt wurde.

Im Rahmen der bau- und gebäudetechnischen Sanierung wurden acht - jeweils zentral geregelte - Abluftsysteme ohne Wärmerückgewinnung installiert. Jedes System arbeitet auf einem Abluftschacht und umfasst einen Dachventilator, einen Drehzahlregler, einen Druckschalter sowie eine größere Zahl von Abluftventilen, die in die Wände von Küche, Bad und Toilette der einzelnen Wohneinheiten integriert sind. Die Abluftventile werden über Lichtschalter bzw. von Hand über Schalter geöffnet, wodurch Druckänderungen im Abluftschacht hervorgerufen werden. Ein entsprechender Druckabfall wird vom Druckschalter aufgenommen, und die Ventilatorleistung wird über den - durch einen Mikroprozessor gesteuerten - Drehzahlregler so angepasst, dass der gewünschte Druckunterschied erhalten bleibt und damit die erforderliche Erhöhung des Volumenstroms zustande-



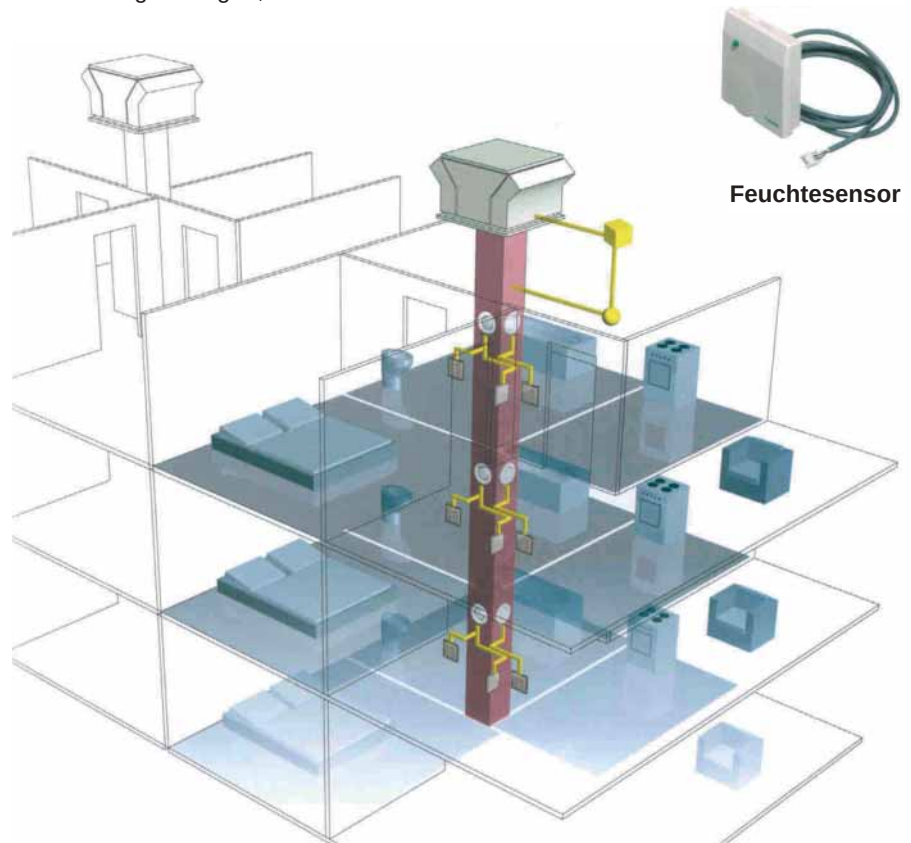
Elektrisch ansteuerbares Abluftventil mit Filter [F6]

kommt. Um allzu häufige Schaltvorgänge zu vermeiden, werden alle Schaltvorgänge erfasst und daraus die erforderliche Drehzahl generiert.

In der Senioren-Residenz kommt beim Dachventilator als Antriebsquelle ein energiesparender EC-Elektromotor zum Einsatz. Wie Untersuchungen [42] zeigen, haben diese Motoren insbesondere im Teillastbereich gegenüber z.B. Asynchronmotoren mit herkömmlichen Transformator- bzw. Frequenzumrichtersteuerungen erhebliche energetische Vorteile. Abschätzungen zeigen, dass damit bei



Drehzahl geregelter Dachventilator mit integrierten EC-Motorensteuerungen und Drucksteuerung [F6]



Feuchtesensor

Druckgesteuertes zentrales Abluftsystem mit automatischer Anpassung des Luftvolumenstroms [F6]

Abluftsystemen mit wohnungsweise veränderbarem Luftvolumenstrom Strom- einsparpotentiale von 35 bis 50 % erschlossen werden können.

Ein weiterer Vorzug von zentralen Abluftsystemen mit Dachventilator ist die sehr geringe Geräuscentwicklung, die oft als Komfortverbesserung gegenüber dezentralen Einzelventilatoren erlebt wird. Da Einzelventilatoren in den Abluftschacht blasen, könnte es darüber hinaus in ungünstigen Fällen zum unerwünschten Transfer von abgesaugter Luft in die nächste Wohnung bzw. ins nächste Stockwerk kommen. Im Falle der Senioren-Residenz in Greiz zeigt eine Kosten-

bilanz, dass ein druckgesteuertes zentrales Abluftsystem mit Dachventilator gegenüber dezentralen Einzellüftern zu geringeren Investitionen führt.

Zentrale Abluftsysteme mit Dachventilator können nach Wahl unterschiedlich gesteuert werden: Sie werden nicht nur druckgesteuert, sondern auch zeitgesteuert, nach dem CO₂-Gehalt in der Raumluft gesteuert, licht-, feuchte-, Außentemperatur- oder bewegungsgesteuert angeboten. Je nach Bedarf können auch zyklische Entlüftungen, Tag- und Nachtbetrieb sowie Sommer- und Winterbetrieb sowie gezielte Abschaltungen vorgesehen werden [F6].

7.8 Niedrigenergiehaus-Standard für drei Großgebäude mit 375 Mietwohnungen

Zwischen 1969 und 1971 wurden in Karlsruhe drei große Wohngebäudekomplexe errichtet, die insgesamt 375 Wohnungen mit einer Gesamtwohnfläche von über 25000 m² umfassen.

Unter anderem wurde hierbei auch eine Lüftungsanlage installiert, die allerdings nur im Intervallbetrieb genutzt wurde, so dass Bauschäden durch Feuchte nicht vermieden werden konnten. Die starke Geräuschentwicklung der Anlage wurde von den Bewohnern als störend empfunden. Bei der Heizwärmeversorgung der Gebäude ergaben sich jährliche spezifische Heizöl-Verbrauchswerte von 24 bis 30 Litern/(m² a).

In den Jahren 2000 und 2001 wurde eine vollständige Sanierung der Gebäude durchgeführt: Dächer, Fassaden, Fenster und Türen wurden erneuert; daneben wurden die Heizungsanlagen auf den neuesten technischen Stand gebracht und die Lüftungstechnik komplett erneuert. Damit erreichen die Gebäude nunmehr den Niedrigenergiehaus-Standard, der in der Energieeinspar-Verordnung (EnEV) für Neubauten vorgesehen ist. Für die Heizwärmeversorgung der Gebäude sind damit nur noch jährliche spezifische Heizölmengen von 5 bis 7 Litern/(m² a) erforderlich.

Zielsetzung bei der lufttechnischen Sanierung war es, die vorhandene Intervall-Lüftung zu einer voll funktionsfähigen mechanischen Lüftungsanlage umzurüsten, die geräuscharm arbeitet sowie wirksam bauliche Feuchteschäden und Schimmelpilzbefall vermeidet. Neben der Sicherstellung der Anforderungen an Schallschutz und Lufthygiene stand dabei eine gute Energieeffizienz sowie eine Erhöhung des Wohnkomforts im Mittelpunkt. Da die bisher vorhandene



Die Sanierung von drei großen Wohngebäuden in Karlsruhe umfasste Dächer, Fassaden, Fenster, Türen, Heizungsanlagen und die Lüftungstechnik [F12].

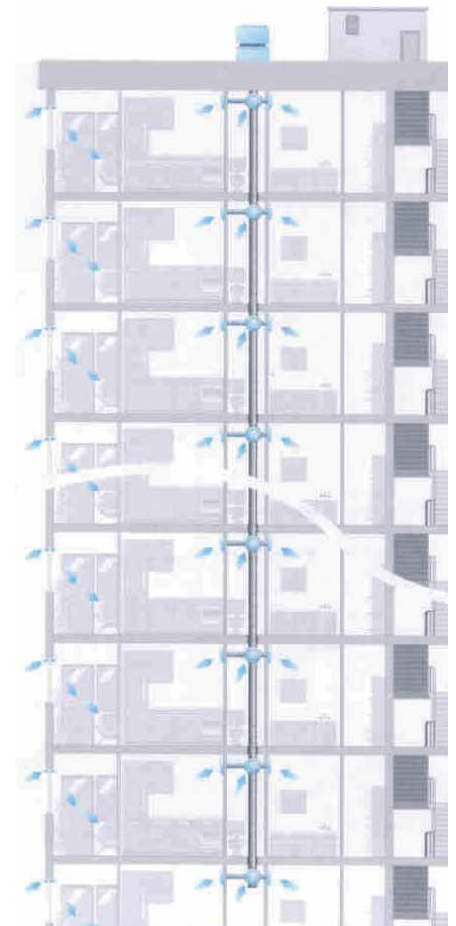
Intervall-Lüftung den heutigen brandschutztechnischen Anforderungen nicht mehr genügte, waren bei der lufttechnischen Sanierung auch brandschutztechnische Fragen zu beachten.

Der Bauträger entschied sich für eine Abluftanlage mit Dachventilatoren ohne Wärmerückgewinnung. Für die Luftführung in die Zulufräume Wohnzimmer, Schlafzimmer und Kinderzimmer wurden neuentwickelte Fensterventile mit Volumenstrombegrenzung (sog. Sturmsicherungen) verwendet, die unterhalb der Rolladenkästen eingebaut wurden. Diese Sturmsicherungen gewährleisten in Kombination mit den Dachventilatoren, dass sich sowohl bei Windstille als auch bei hohem Winddruck auf die Gebäude ein gleichmäßiger Luftvolumenstrom von rund 28 bis 32 m³/h einstellt. Diese Werte wurden durch Messungen bestätigt. Die gesamten Sanierungskosten belie-

fen sich auf 3,13 Mio. €; hiervon entfielen auf die Lüftung 6 %. Die spezifischen Kosten für die Abluftanlage betrugen damit rund 8 €/m² [F12].



Wohnungsgrundrisse: Die Strömungsrichtung der Luft durch Wohnzimmer, Schlafzimmer und Kinderzimmer zu Flur, Küche, WC, Bad und Abluftschacht ist durch Pfeile gekennzeichnet [F12].



Lufttechnische Sanierung mit Abluftsystem ohne Wärmerückgewinnung

7.9 Richtungweisende Energiespar-Techniken für ein Mehrfamilienhaus

Im Rahmen des öffentlich geförderten Wohnungsbaus wurde in Mannheim-Sandhofen ein Zwölffamilienhaus erstellt und 1994 bezogen. Mit diesem Demonstrationsvorhaben sollte gezeigt werden, dass im Mehrfamilienwohnungsbau mit einer Kombination von aufeinander abgestimmten baulichen und haustechnischen Maßnahmen gegenüber den gesetzlichen Anforderungen eine deutliche Heizenergieeinsparung möglich ist. Das Gebäude weist ein Verhältnis von Außenfläche zu umbautem Raum (A/V-Verhältnis) von 0,65 1/m auf; seine beheizte Fläche beträgt rund 728 m², seine Nutzfläche etwa 758 m².

Das Wohngebäude erreicht den Niedrigenergiehaus-Standard; im Vergleich zur damals gültigen Wärmeschutzverordnung aus dem Jahr 1984 (WSVO '84) sowie zur späteren Wärmeschutzverordnung aus dem Jahr 1995 (WSVO '95) konnten damit wesentlich günstigere Energieverbrauchswerte erreicht werden: Während die WSVO '95 für das Gebäude eine Mindestanforderung an den jährlichen spezifischen Heizwärmebedarf von 78,1 kWh/(m² a) stellt, erreicht das Gebäude einen Wert von nur noch 47,4 kWh/(m² a) [43].

Die Außenwände bestehen aus Kalksandstein von 17,5 cm Dicke und zusätzlich 16 cm Mineralfaserdämmung (U-Wert: 0,25 W/(m² K)), das Dach weist eine Wärmedämmschicht von 22 cm Dicke (U-Wert: 0,20 W/(m² K)) und die Kellerdecke eine Dämmschicht von 10 cm Dicke (U-Wert: 0,34 W/(m² K)) auf. Die Holzrahmenfenster mit Südorientierung sind mit Zweischeiben-Wärmeschutzglas (U-Wert: 1,5 W/(m² K)), diejenigen mit Nord-, Ost- und Westorientierung mit Dreischeiben-Wärmeschutzglas (U-Wert: 1,0 W/(m² K)) versehen.



Gute Luft für angenehmes Wohnen



Das Zwölffamilien-Niedrigenergiehaus in Mannheim-Sandhofen [43]

Die Fenster weisen außerdem gute Schallschutzeigenschaften auf. Besonderer Wert wurde auf die Vermeidung von Wärmebrücken gelegt. Die bauliche Konzeption des Gebäudes führt dazu, dass das Raumklima nicht nur im Winter, sondern auch im Sommer angenehm ist.

Zur Heizwärmeversorgung und Trinkwassererwärmung dient ein energetisch effizienter Erdgas-Brennwertkessel mit Heizungs-Pufferspeicher und Trinkwasseranlage zur Trinkwassererwärmung bei.

Zur Bereitstellung hygienisch einwandfreier Luft sowie zur Vermeidung von Feuchteschäden und von Schimmelpilzbildung wurden mechanische Wohnungslüftungssysteme eingebaut. Dabei wurde auf zwei verschiedene Systeme zurückgegriffen: Die Wohnungen der einen Haushälfte verfügen über ein zentrales Zuluft-/Abluftsystem mit Wärmerückgewinnung, während die Wohnungen der anderen Haushälfte über ein zentrales Abluftsystem und dezentrale Zuluftführungen ohne Wärmerückgewinnung belüftet werden. Im Hinblick auf den Brandschutz wurden - entsprechend den rechtlichen Vorgaben für Mehrfamilienhäuser - Brandschutzklappen eingebaut.

Da das Gebäude an einer sehr stark befahrenen Straße liegt, ist es für den Wohnkomfort wichtig, dass die Fenster geschlossen gehalten werden können; die Lüftungsanlagen sorgen für gute Luft auch bei stets geschlossenen Fenstern.

Eine Bewohnerbefragung ergab, dass die Mieter überwiegend sowohl die Wohnungslüftungsanlage mit Wärmerückge-

winnung als auch die Abluftanlage als deutliche Erhöhung des Wohnkomforts betrachteten und entsprechend nutzten. Auch die Betriebsgeräusche der Anlagen wurden von keinem der Mieter als störend empfunden. Bei der Anlage mit Wärmerückgewinnung wird die Außenluft zusätzlich gefiltert und hält damit Staub und andere Emissionen von der Wohnung fern; dies ist u.a. für allergieempfindliche Personen von Bedeutung.

Die Mittelwerte für die jährlichen spezifischen Heizwärmeverbräuche lagen bei der einen Haushälfte bei 46,9 kWh/(m² a), bei der anderen Haushälfte bei 36,2 kWh/(m² a) [43]. Diese energetisch günstigen Werte konnten durch den guten baulichen Wärmeschutz, durch die Möglichkeit zur Verwirklichung solarer und interner Wärmegewinne sowie durch die Lüftungsanlagen erreicht werden. In einem weiteren Projekt derselben Wohnungsbaugesellschaft in Mannheim werden inzwischen die Bau- und die Haustechnik für die Modernisierung eines Mehrfamilienhauses zum energiesparenden "Drei-Liter-Haus" demonstriert [44].



Lüftungsschlitze an Fenstern sorgen für die notwendige Außenluftzufuhr.

7.10 Komfortabel belüftet: Neues energiesparendes Wohnhaus

Dass die Fragen der modernen Lüftungstechnik in schwäbischen Landen die sprichwörtlichen Erfinder und Tüftler nicht ruhen lassen, versteht sich von selbst. Und dass dabei sehr beachtliche technische Lösungen herauskommen, zeigen zum Beispiel eine ganze Reihe von neuen bzw. sanierten Wohnhäusern und Gewerbegebäude im Raum Sigmaringen: Hier hat ein innovatives Handwerksunternehmen ein eigenentwickeltes zentrales Zuluft-/Abluftsystem mit Wärmerückgewinnung auf den Markt gebracht.

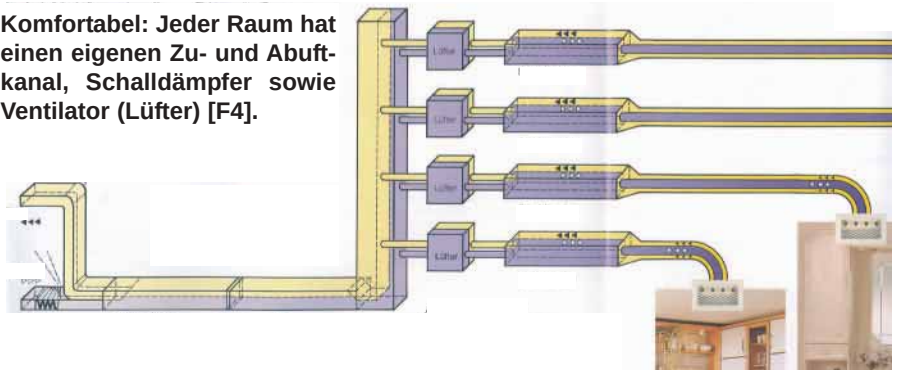
Ein gutes Beispiel für diese technisch anspruchsvolle, besonders komfortable Technik ist ein größeres Einfamilienhaus in Inzigkofen an der oberen Donau: Hier wird jeder zu belüftende Raum des Hauses durch eine eigens dafür vorgesehene, separate Zuluftleitung mit frischer Luft versorgt. Gleichzeitig wird die verbrauchte, mit Feuchte, Gerüchen und gegebenenfalls auch Schadstoffen belastete Abluft ebenfalls aus jedem für die Belüftung vorgesehenen Raum separat entfernt. Be- und Entlüftungskanäle sind dabei durch ein Rohr-in-Rohr-System platz- und energiesparend miteinander verbunden. Jede Zuluftleitung und jede Abluftleitung hat einen eigenen Ventilator: Das ermöglicht einen gut regelbaren, individuell auf jeden einzelnen Raum zugeschnittenen Luftvolumenstrom und schafft somit gute Voraussetzungen für eine optimale Raumluftqualität. Für einen guten Schallschutz sorgen separate Schalldämpfer.

Damit möglichst viel Energie aus der warmen Abluft zurückgewonnen werden kann, werden alle Zuluft- und Abluftvolumenströme über einen zentralen Wärmeübertrager geführt. Insgesamt werden bis zu 85 Prozent der Wärme zurückgewonnen. Der Restwärmebedarf wird bei gut wärmegeprägten und luft-



Neues Einfamilienhaus im schwäbischen Inzigkofen: Gute Raumluft durch das "Frischluf-Komfort-System" [F4]

Komfortabel: Jeder Raum hat einen eigenen Zu- und Abluftkanal, Schalldämpfer sowie Ventilator (Lüfter) [F4].

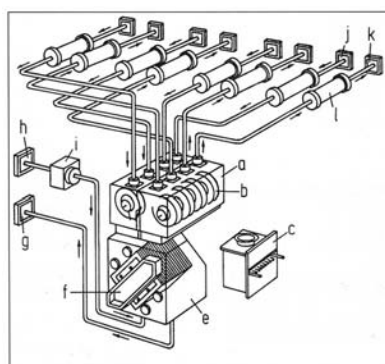


dichten Gebäuden ganz überwiegend durch innere Wärmequellen (Personen, Elektrogeräte, Beleuchtung) sowie durch die - über die Fenster einfallende - Sonnenstrahlung gedeckt. Falls bei weniger gut wärmegeprägten Gebäuden doch noch ein Rest an Wärme fehlen sollte, wird diese vom vorhandenen Heizungs-

system geliefert. Bei diesem "Frischluf-Komfort-System" wird die angesaugte Außenluft, bevor sie die Räume erreicht, über Filter geführt. Damit wird erreicht, dass nicht nur die belastete Abluft aus den Räumen entfernt, sondern den Räumen gleichzeitig auch gefilterte, saubere Frischluft zugeführt wird.



Bedarfsgerechte Luftmenge für jeden Raum mit separaten Ventilatoren [F4]



Prinzipskizze eines zentralen Lüftungssystems mit Zu- und Abluftventilator für jeden Raum (nach [F12])

- a Ventilatorenblock
- b Einzelventilator
- c Lüfterhitzer
- e Wärmeübertrager
- f Bypass
- g Fortluftauslass
- h Außenlufteinlass
- i Filter
- j Zuluftöffnung
- k Abluftöffnung
- l Schalldämpfer



Blende für die Luftführung [F4]

8. Quellenverzeichnis

Normen und Richtlinien mit Bezügen zur Wohnungslüftung und Hauswärmeversorgung:

- [N1]: DIN 1946, Teil 2: Raumluftechnik, Gesundheitstechnische Anforderungen. Beuth-Verlag, Berlin 1994.
- [N2]: DIN 1946, Teil 6: Raumluftechnik, Lüftung von Wohnungen. Anforderungen, Ausführung, Abnahme. Beuth-Verlag, Berlin 1998.
- [N3]: DIN 1946 Teil 10: Raumluftechnik, Lüftung von Wohnungen. Lüftungsgeräte, Anforderungen und Prüfung. Beuth-Verlag, Berlin 2003.
- [N4]: DIN 18017 Teil 1, Teil 3: Lüftung von Bädern und Toilettenräumen ohne Außenfenster. Beuth-Verlag, Berlin 1987, 1990.
- [N5]: Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung - EnEV). Bundesgesetzblatt (BGBl I) 21.11.2001, S. 3085/3102.
- [N6]: DIN 4701 V, Teil 10: Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen - Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung. Beuth-Verlag, Berlin 2003.
- [N7]: DIN 4108 V, Teil 6: Wärmeschutz im Hochbau - Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarfs. Beuth-Verlag, Berlin 2003 (Berichtigung in Vorbereitung).
- [N8]: DIN 4108 V, Teil 7: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Luftdichtheit von Gebäuden, Anforderungen, Planungs- und Ausführungsempfehlungen sowie Beispiele. Beuth-Verlag, Berlin 2001.
- [N9]: DIN EN 255 Teile 1 - 4: Luftkonditionierer, Flüssigkeitskühlsätze und Wärmepumpen mit elektrisch angetriebenen Verdichtern - Heizen. Beuth-Verlag, Berlin 1997.
- [N10]: DIN EN 308: Wärmetauscher: Prüfverfahren zur Bestimmung von Leistungskriterien von Luft/Luft- und Luft/Abgas-Wärmerückgewinnungsanlagen. Beuth-Verlag, Berlin 1997.
- [N11]: Deutsches Institut für Bautechnik: DIBt-Prüfung. (Vgl. z.B.: Helbig, M.: Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung für Wohnungslüftungsgeräte - ein Überblick. In: Tagungsband zum 1. Symposium der Wohnungslüftung an der Universität Stuttgart. Lehrstuhl für Heiz- und Raumluftechnik, Stuttgart 2003.)
- [N12]: prDIN EN 13141 Teil 1: Leistungsprüfungen von Bauteilen / Produkten für die Lüftung von Wohnungen. Außenwand- und Überström-Luftdurchlässe. Beuth-Verlag, Berlin 1998.
- [N13]: prDIN EN 13141 Teil 2: Leistungsprüfungen von Bauteilen / Produkten für die Lüftung von Wohnungen. Abluft- und Zuluftdurchlässe. Beuth-Verlag, Berlin 1998.
- [N14]: prDIN EN 13141 Teil 3: Leistungsprüfungen von Bauteilen / Produkten für die Lüftung von Wohnungen. Dunstabzugshauben. Beuth-Verlag, Berlin 1998.
- [N15]: prDIN EN 13141 Teil 4: Leistungsprüfungen von Bauteilen / Produkten für die Lüftung von Wohnungen. Ventilatoren für Wohnungslüftungsanlagen. Beuth-Verlag, Berlin 1998.
- [N16]: prDIN EN 13141 Teil 5: Leistungsprüfungen von Bauteilen / Produkten für die Lüftung von Wohnungen. Hauben und Dach-Fortluftdurchlässe. Beuth-Verlag, Berlin 1998.
- [N17]: prDIN EN 13141 Teil 6: Leistungsprüfungen von Bauteilen / Produkten für die Lüftung von Wohnungen. Abluftbaueinheiten für einzelne Wohnungen. Beuth-Verlag, Berlin 1998.
- [N18]: prDIN EN 13141 Teil 7: Leistungsprüfungen von Bauteilen / Produkten für die Lüftung von Wohnungen. Mechanische Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung für Einfamilienhäuser. Beuth-Verlag, Berlin 2001.
- [N19]: prDIN EN 13141 Teil 8: Leistungsprüfungen von Bauteilen / Produkten für die Lüftung von Wohnungen. Einzelraumlüftungsgeräte mit Wärmerückgewinnung. Beuth-Verlag, Berlin 2004.
- [N20]: prDIN EN 13142: Lüftung von Gebäuden: Bauteile / Produkte für die Lüftung von Wohnungen. Geforderte und frei wählbare Leistungskenngrößen. Beuth-Verlag, Berlin 1998.
- [N21]: DIN 4102, Teile 1 - 9, 11 - 19, 21 - 22: Brandschutzverhalten von Baustoffen und Bauteilen. Beuth-Verlag, Berlin 1977/2003.
- [N22]: VDI 6022: Blätter 1 und 3: Hygienische Anforderungen an Raumluftechnische Anlagen. Beuth-Verlag, Berlin 1998, 2002.
- [N23]: Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften vom 4.1.2003. L 1/65.
- [N24]: DIN EN 12238: Lüftung von Gebäuden: Luftdurchlässe. Aerodynamische Prüfung und Bewertung für Anwendung bei Mischströmung. Beuth-Verlag, Berlin 2001.
- [N25]: DIN EN 12239: Lüftung von Gebäuden: Luftdurchlässe. Aerodynamische Prüfung und Bewertung für Anwendung bei Verdrängungsströmung. Beuth-Verlag, Berlin 2001.
- [N26]: prDIN EN 13465: Lüftung in Gebäuden: Berechnungsverfahren zur Bestimmung von Luftvolumenströmungen in Wohnungen. Beuth-Verlag, Berlin 1999.
- [N27]: DIN EN 12831: Heizungsanlagen in Gebäuden - Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast. Beuth-Verlag, Berlin 2003.
- [N28]: DIN 4701: Regeln für die Berechnung des Wärmebedarfs von Gebäuden. Teil 1: Grundlagen der Berechnung. Teil 2: Tabellen, Bilder, Algorithmen. Teil 3: Auslegung der Raumheizeinrichtungen. Beuth-Verlag, Berlin, 1983, 1989.
- [N29]: DIN 4710: Statistiken meteorologischer Daten zur Berechnung des Energiebedarfs von heiz- und raumluftechnischen Anlagen in Deutschland. Beuth-Verlag, Berlin 2003.
- [N30]: DIN EN 832: Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden - Berechnung des Heizenergiebedarfs - Wohngebäude. Beuth-Verlag, Berlin 2003.
- [N31]: DIN EN ISO 211-1: Wärmebrücken im Hochbau - Wärmeströme und Oberflächentemperaturen. Teil 1: Allgemeine Berechnungsverfahren. Beuth-Verlag, Berlin 1995.
- [N32]: DIN EN 12828: Heizungssysteme in Gebäuden - Planung von Warmwasser-Heizungsanlagen. Beuth-Verlag, Berlin 2003.
- [N33]: VDI 6030-1: Auslegung von freien Raumheizflächen - Grundlagen - Auslegung von Raumheizkörpern. VDI-Gesellschaft Technische Gebäudeausrüstung. Düsseldorf 2002.
- [N34]: VDI 2067: Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen. Grundlagen und Kostenberechnung. Beuth-Verlag, Berlin 2000.

Literaturstellen:

- [1]: Forschungsprojekt ProKlima: Positive und negative Auswirkungen raumluftechnischer Anlagen auf Befindlichkeit, Leistungsfähigkeit und Gesundheit. Zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse. Bundesindustrieverband Heizungs-, Klima-, Sanitärtechnik/Technische Gebäudeausrüstung e.V., Bonn 2000.
- [2]: Kruppa, B.: Zusammenfassende Darstellung des ProKlima-Projekts. Aus: BHKS-Almanach 2002. Bundesindustrieverband Heizungs-, Klima-, Sanitärtechnik/Technische Gebäudeausrüstung e.V., Bonn 2002.
- [3]: Derzeitiger und zukünftiger Markt der Wohnungslüftung in Deutschland unter besonderer Berücksichtigung der luftdichten Bauweise (EnEV) und Möglichkeiten der Systemintegration. T 175/02. Arbeitsgemeinschaft Technomar GmbH / Technische Universität Dresden, Institut für Thermodynamik und Technische Gebäudeausrüstung. München/Dresden 2002.
- [4]: Hauser, G.: Feuchteschutztechnische Probleme infolge von Energieeinsparmaßnahmen? Deutsche Bauzeitschrift DBZ 35(1987), Nr. 4, S. 433/437.
- [5]: Dönch, M.: Lüftungsanlagen. Aus: Handbuch haustechnische Planung. (Herausgeber: Ruhrgas AG, Essen; Verbundnetz Gas AG, Leipzig), S. 228/243. Karl Krämer Verlag, Stuttgart und Zürich 2000.
- [6]: Pohl, H.: Raumlüftungssysteme. Aus: Handbuch der innovativen Haustechnik, S. 197/227. wvgw Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn 2000.
- [7]: DIN 1946, Teil 2: Raumluftechnik, Gesundheitstechnische Anforderungen. Beuth-Verlag, Bonn 1994.
- [8]: DIN 1946, Teil 6: Raumluftechnik, Lüftung von Wohnungen. Beuth-Verlag, Bonn 1998.
- [9]: Reinmuth, F.: Raumluftechnik. Vogel Buchverlag, Würzburg 1996.
- [10]: Fanger, P. O.; Berg-Munch, G.: Ventilation requirements for the control of body odour. Proc. of an Engineering Foundation Conference on Management of Atmospheres in Tightly Enclosed Spaces. ASHRAE, Atlanta 1983.
- [11]: Fanger, P. O.: Ein neues Komfortmodell für Raumlufqualität. KI Klima-Kälte-Heizung 1990, Nr. 7/8, S. 315/317.
- [12]: Hauser, G.; Maas, A.: Auswirkungen von Fugen und Fehlstellen in Dampfsperren und Wärmedämmschichten. Deutsche Bauzeitschrift DBZ 24(1992), Nr. 1, S. 97/100.
- [13]: Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung - EnEV). Bundesgesetzblatt (BGBl I) 21.11.2001, S. 3085/3102.
- [14]: EnEV: Checkliste für die Neubauplanung. Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V. (ASUE), Kaiserslautern 2001.
- [15]: Die Energieeinsparverordnung [EnEV]: Junkers Diagrammblätter. Wernau 2002.
- [16]: DIN 4701 V, Teil 10: Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen - Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung. Beuth-Verlag, Bonn 2003.
- [17]: DIN 4108 V, Teil 6: Wärmeschutz im Hochbau - Berechnung des Jahresheizwärmebedarfs. Beuth-Verlag, Bonn 2003.
- [18]: DIN 4108 V, Teil 7: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Luftdichtheit von Gebäuden, Anforderungen, Planungs- und Ausführungsempfehlungen sowie Beispiele. Beuth-Verlag, Bonn 2001.
- [19]: Sonderschau Wohnungslüftung. Fachinstitut Gebäude-Klima e.V., Bietigheim-Bissingen 2003.
- [20]: Hauser, G.; Höttges, K.; Otto, F.; Stiegel, H.: Energieeinsparung im Gebäudebestand: Bauliche und anlagentechnische Lösungen. Ausgabe 1/2002. Informationszentrum Energie, Landesgewerbeamt Baden-Württemberg, Stuttgart 2002 und Gesellschaft für rationelle Energieverwendung e.V. (GRE), Böhl-Iggelheim 2002.
- [21]: Allgaier, M.: Lüftung mit Wärmerückgewinnung im Niedrigenergiehaus. Heizungsjournal, 7/8 1998.
- [22]: 1. Symposium der Wohnungslüftung an der Universität Stuttgart: Wissenstransfer zwischen Forschung und Praxis. Fachinstitut Gebäude-Klima e.V., Bietigheim-Bissingen 2003.
- [23]: Ratgeber: Wärmeversorgung im Neubau. Rechtliche Vorgaben, Kostenvergleich Heizung und Warmwasser, Lüftung. Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V. (ASUE), Kaiserslautern 2002.
- [24]: Albers, K.-J.: Gebäudetechnische Systeme für Niedrig-, Ultra- und Passivhäuser; Teil 2: Lüftungstechnik und Systemintegration. Tagungsbericht Kälte-Klima-Tagung 2002 des Deutschen Kälte- und Klimatechnischen Vereins, Magdeburg 20./22.11.2002, Band IV, S. 205/212.
- [25]: Albers, K.-J.: Untersuchungen zur Auslegung von Erdwärmeaustauschern für die Konditionierung der Zuluft für Wohngebäude. Dissertation Universität Dortmund 1991. Veröffentlicht als Forschungsbericht Nr. 32: Stuttgart, Deutscher Kälte- und Klimatechnischer Verein 1991.
- [26]: Russ, Ch.; Bühring, A.; Sicre, B.: Faktor 4 ist möglich - Untersuchung der Wärmeversorgung mit Wärmepumpen in Passiv-Wohnhäusern. Veröffentlichung des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme (ISE), Freiburg 2002.
- [27]: Schmitt, W.: Zukunftsentwürfe: Optimale Wärmeversorgung für Passivhäuser. Aus: Innovationsbericht 2002 der EnBW AG, Karlsruhe 2003.
- [28]: Kolarik, F.: Energieeffiziente Lüftungsanlagen in Betrieben. Informationszentrum Energie, Landesgewerbeamt Baden-Württemberg, Stuttgart 2002.
- [29]: Kuhn, M.; Wieber, E.; Bouse, D.: Energie sparen durch Wärmepumpenheizanlagen. Informationszentrum Energie, Landesgewerbeamt Baden-Württemberg, Stuttgart 2002.
- [30]: Allgaier, M.: Lüftungs-Leitfaden für Planer. TAB 2/2002, S. 45/52.
- [31]: Allgaier, M.: Planungs- und Ausführungshinweise für Wohnungslüftungssysteme. Teil 1: IKZ-Haustechnik 10/2000, S. 114/117. Teil 2: IKZ-Haustechnik 11/2000, S. 54/60. Teil 3: IKZ-Haustechnik 12/2000, S. 51/54.
- [32]: Allgaier, M.: Vom Niedrigenergiehaus zum Energiesparhaus - Anlagentechnik für energieeffiziente Gebäude. Heizungsjournal, 2/3 2003.
- [33]: Planung Wohnungslüftung mit Wärmerückgewinnung. S 17/27. Junkers Robert Bosch GmbH, Wernau 2002.
- [34]: Wegweiser durch die Klima- und Lüftungsbranche. Fachinstitut Gebäude-Klima e.V., Bietigheim-Bissingen 2003.
- [35]: Russ, C.; Bühring, A.; Sicre, B.: Faktor 4 ist möglich - Untersuchung der Wärmeversorgung mit Wärmepumpen in Passivhäusern. Veröffentlichung des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme (ISE), Freiburg 2002.

- [36]: Bühring, A.; Kiefer, K.: Monitoringbericht 2001 zum Förderprogramm Wärmeerzeugung im Passivhaus der EnBW Energie Baden-Württemberg AG. Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme (ISE), Freiburg 2002, und EnBW Kundenservice GmbH, Karlsruhe 2002.
- [37]: Bühring, A.; Kiefer, K.: Monitoringbericht 2002 zum Förderprogramm Wärmeerzeugung im Passivhaus der EnBW Energie Baden-Württemberg AG. Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme (ISE), Freiburg 2003, und EnBW Kundenservice GmbH, Karlsruhe 2003.
- [38]: Gölz, S.: Ergebnisse der Nutzerbefragung zum Förderprogramm Wärmeerzeugung im Passivhaus der EnBW Energie Baden-Württemberg AG. Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme (ISE), Freiburg 2003, und EnBW Kundenservice GmbH, Karlsruhe 2003.
- [39]: Hausladen, G.; Wimmer, A.; Kaiser, J.: Technikakzeptanz im Niedrigenergiehaus. Feldmessungen in Niedrigenergiehäusern in Leipzig-Knauthain. Abschlußbericht über ein Forschungsvorhaben, gefördert unter dem Aktenzeichen 08499 von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt. Universität Kassel, Kassel 2002.
- [40]: Sanierung des Wohngebiets Lübeck-St-Lorenz-Nord. Grundstücksgesellschaft "Trave", Lübeck, und ARGE für zeitgemäßes Bauen, Kiel 2004.
- [41]: Prill, K.; Schurr, J.: Vom Altbau zum 2-Liter-Haus: Passivhaus des Energie- und Umweltzentrums eza!. TGA-Fachplaner 1(2004), S. 26/28.
- [42]: Eppe, K.; Paul, M.: Zentrale Abluftanlagen mit wohnungsweise veränderlichen Volumenströmen im Geschosswohnungsbau. AirTec Nr. 3(2003), S. 29/32.
- [43]: Das Mehrfamilien-Niedrigenergiehaus in Mannheim-Sandhofen. Mannheimer Versorgungs- und Verkehrsgesellschaft mbH (MVV), Mannheimer Wohnungsbaugesellschaft mbH (GBG) und Universität Stuttgart, Lehrstuhl für Heiz- und Raumlufttechnik, Mannheim 1998.
- [44]: Dipper, J.: Modernisierung eines Mehrfamilienhauses zum 3-Liter-Haus. In: Tagungsband zum 1. Symposium der Wohnungslüftung an der Universität Stuttgart. Lehrstuhl für Heiz- und Raumlufttechnik, Stuttgart 2003.

Verwendete Firmenunterlagen:

- [F1]: AEG Electrolux Haustechnik GmbH, Nürnberg.
- [F2]: Alpha-Innotec GmbH, Kasendorf.
- [F3]: Buderus Heiztechnik GmbH; Wetzlar.
- [F4]: Dreher GmbH, Postfach 449, 72482 Sigmaringen
- [F5]: Fresh Gesellschaft für Lüftungseinrichtungen mbH, Eisdorf.
- [F6]: Gebhardt Ventilatoren Bel Air, Waldenburg (Hohenlohe) / Netzschkau (Sachsen) 2004
- [F7]: Helios Ventilatoren, Villingen-Schwenningen.
- [F8]: Hoval, Schaan/Liechtenstein
- [F9]: Junkers Robert Bosch GmbH, Wernau.
- [F10]: LTM Thermo-Lüfter GmbH, Ulm.
- [F11]: Lunos Lüftungstechnik GmbH für Raumluftsysteme, Berlin 2004.
- [F12]: Maico GmbH, Villingen-Schwenningen, sowie Arerex HaustechnikSysteme, Eisdorf.
- [F13]: Paul Wärmerückgewinnung Wärmetauscher, Mülsen St. Jakob.
- [F14]: Schrag Heizungs-Lüftungs-Klima-Technik GmbH & C. KG, Ebersbach/Fils.
- [F15]: Stiebel Eltron, Holzminde
- [F16]: Vaillant GmbH, Remscheid.
- [F17]: Viessmann Werke GmbH & Co. KG, Allendorf/Eder

9. Staatliche Förderung und Informationsstellen in Baden-Württemberg

Die Bundesrepublik Deutschland und das Land Baden-Württemberg fördern durch zinsverbilligte Darlehen, Zulagen und Zuschüsse die rationelle Energienutzung und den Einsatz erneuerbarer Energiequellen. Gefördert werden z.B. bestimmte energiesparende Investitionen. Was gefördert werden kann, ist im einzelnen den Förderrichtlinien zu entnehmen.

Ebenfalls vom Land Baden-Württemberg bzw. der Bundesregierung werden Ener-

gieberatungen und Energie-Kurzberatungen gefördert. Sowohl das Rationalisierungskuratorium der Deutschen Wirtschaft (RKW), wie auch das Landesgewerbeamt (LGA), geben hierüber Auskünfte.

Das Informationszentrum Energie hat entsprechendes Informationsmaterial über mögliche Finanzhilfen zur Energieeinsparung aufbereitet und hilft darüber hinaus in allen Fragen der rationellen Energienutzung und des Einsatzes er-

neuerbarer Energien. Außerdem informiert das Landesgewerbeamt über mögliche Finanzhilfen im Rahmen der Gewerbeförderung und im Bereich des Umweltschutzes.

Weiter stehen die Berater bei den Förderinstitutionen, Kammern, Verbänden, Kommunen und Energielieferanten zur Verfügung. Eine Auswahl von Informations- und Beratungsstellen in Baden-Württemberg ist im Anhang A zusammengestellt.

Anhang A: Ausgewählte Informations- und Beratungsstellen in Baden-Württemberg

Benennung	Ansprechpartner		
	Name	Telefon / Fax	E-Mail / Internet
Landesgewerbeamt Baden-Württemberg Informationszentrum Energie Willi-Bleicher-Str. 19, 70174 Stuttgart	Herr Bouse	0711/123-2522 0711/123-2649	dieter.bouse@lgabw.de www.lgabw.de/ie
Fachverband Sanitär-Heizung-Klima Baden-Württemberg Viehhofstr. 11, 70188 Stuttgart	Herr Knapp Herr Zahn	0711/483091 0711/46106060	info@fvshkbw.de www.fvshkbw.de
Fachverband Elektro- und Informations-technik Baden-Württemberg Voltastr. 12, 70376 Stuttgart	Herr Mayerl Herr Häusler	0711/95590666 0711/551875	info@fv-eit-bw.de www.fv-eit-bw.de
Verband der Elektrizitätswirtschaft Baden-Württemberg e.V. Stöckachstr. 48, 70190 Stuttgart	Herr Dr. Schneider	0711/267089 0711/267087	info@vdew-bw.de www.vdew-bw.de
Verband der Gas- und Wasserwerke Baden-Württemberg e.V. Stöckachstr. 48, 70190 Stuttgart	Frau Müller Herr Pfau	0711/2622980 0711/2624175	vgw-dvgw-bw@t-online.de
Verband für Energiehandel Südwest-Mitte e.V. Tullastraße 18, 68161 Mannheim	Herr Funke	0621/411095 0621/415222	info@veh-ev.de www.veh-ev.de
Großabnehmerverband Energie Baden-Württemberg e.V. Breitlingstr. 35, 70184 Stuttgart	Herr Rudolf	0711/23725-0 711/23725-99	rudolf@gav-energie.de
Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg GmbH Griesbachstr. 10, 76185 Karlsruhe	Herr Dr. Jank	0721/984710 0711/9847120	info@kea-bw.de www.kea-bw.de
RKW Baden-Württemberg GmbH Rationalisierungs-Kuratorium der deutschen Wirtschaft e. V. Königstr. 49, 70173 Stuttgart	Herr Sieger	0711/22998-0 -33 0711/22998-10	info@rkw-bw.de www.rkw-bw.de
Fachinstitut Gebäude-Klima e.V. Danzinger Str. 20, 74321 Bietigheim Bissingen	Herr Händel	07142 / 5 44 98 07142 / 6 12 98	info@fgk.de www.fgk.de
Ingenieurkammer Baden-Württemberg Geschäftsbereich Energie und Umwelt Zeller Str. 26, 70180 Stuttgart	Herr Volz Herr Freier	0711/64971-0 0711/64971-55	ingkbw@ingenieure.de www.ingenieure.de
Energie-Gemeinschaft EnBW e.V. Kriegbergstr. 32, 70174 Stuttgart	Herr Ensle	0711/128-3195 0711/128-2317	h.ensle@enbw.com www.enbw.com
Baden-Württembergischer Handwerkstag Heilbronner Str. 43, 70194 Stuttgart	Frau Sabbah	0711/1657-413 0711/1657-444	csabbah@handwerk-bw.de www.handwerk-bw.de
Baden-Württembergischer Industrie- und Handelskammertag IHK Karlsruhe Lammstr. 13-17, 76133 Karlsruhe Federführung für Fachthema Energie in BW	Frau Jeromin	0721 / 174-0 0721 / 174-290	info@karlsruhe.ihk.de www.karlsruhe.ihk.de
Architektenkammer Baden-Württemberg Danneckerstr. 54, 70182 Stuttgart	Frau Mundorff	0711/ 2196-140 0711 /2196-101	architektur@akbw.de www.akbw.de
Verband Beratender Ingenieure VBI e.V. Landesverband Baden-Württemberg Kanalstr. 1-4, 78532 Tuttlingen	Herr Dr. Breinlinger	07461/184-0 07461/184-100	office@breinlinger.de www.vbi.de
Landesarbeitskreis Innovative Energienutzung in Gebäuden Zietenstr. 67, 76185 Karlsruhe	Herr Harter	0721/ 553617 0721/ 5165 767	harter.ka@t-online.de
Fachhochschule Esslingen Fachbereich Versorgungs- und Umwelttechnik Kanalstr. 33, 73728 Esslingen	Herr Prof. Dr. Dehli	0711/ 397-3453 0711 / 51 95 18 0711 / 397-3449	martin.dehli@fht-esslingen.de www.fht-esslingen.de
Weitere Informationsstellen: Förderstellen, Banken, Bausparkassen, Energielieferanten, Kommunen, Wirtschafts-, Fach- und Branchenverbände, Energieagenturen u.a.			



Baden-Württemberg

LANDESGEWERBEAMT

Landesgewerbeamt Baden-Württemberg, Willi-Bleicher-Str. 19, 70174 Stuttgart
Internet: www.lgabw.de/ie, Tel. 0711 123 2571, Fax 0711 123 2649, E-Mail: ortrud.stempel@lgabw.de