

AUSGABE 2013

PRAXISWISSEN PASSIVHAUS

Erfahrungen der ABG FRANKFURT HOLDING
– Frankfurt am Main –

Neubau energieeffizienter Geschosswohnungen



Praxiswissen Passivhaus

Anmerkungen der Redaktion

Der Fortschritt der energieeffizienten Bauweise hängt davon ab, dass es ausreichend viele qualifizierte Fachleute und Unternehmen gibt, die sich des Themas annehmen.

Die ABG FRANKFURT HOLDING ist mit rund 50.000 Wohnungen der größte Wohnungskonzern in Frankfurt am Main. Seit mehr als zehn Jahren baut das Unternehmen Gebäude nach dem Passivhaus-Konzept und konnte bereits über 1.600 dieser besonders energieeffizienten Wohnungen fertigstellen.

Das Unternehmen versteht den Bau von Passivhäusern als Beitrag zum Klimaschutz und zur Energiewende in der Bundesrepublik Deutschland. Denn niemand kann sich heute mehr der Einsicht verschließen: Über Energie lässt sich nicht grenzenlos verfügen. Die Ressourcen an fossilen Energieträgern sind endlich. Die Gefahren, die sich mit der Atomkraft verbinden, wurden spätestens mit der Katastrophe von Fukushima noch einmal deutlich.

Die Preise für die kostbare Ware Energie zeigen eine kontinuierliche Tendenz - steigend. Über explodierende Heizkosten aber muss sich der Bewohner einer Wohnung im Passivhaus keine Gedanken machen. Dem halten Kritiker dieser Projekte unermüdlich entgegen, dass dafür aber die Erstellungskosten gemessen an herkömmlichen Bauweisen erheblich teurer seien. Das ist ein Märchen - spätestens seit Berechnungen der Europäischen Union ist bekannt, dass die Erstellungskosten nur fünf bis acht Prozent höher liegen. Diese Baukosten lassen sich aber zügig amortisieren. Denn das, was Bürger heute als „zweite Miete“ beklagen, fällt deutlich geringer aus. Die Heizkosten sind entscheidend niedriger.

Die Mieter der ABG, die in einem Passivhaus leben, bringen ihren Anteil zu Energieeffizienz und Klimaschutz - indem sie weniger Energie verbrauchen und die Umwelt mit geringen CO₂-Emissionen belasten. In diesem Sinne haben sich die Mieter der ABG bewusst dazu entschieden, ihr Zuhause in einem Passivhaus mitten in der Stadt zu wählen.

Bei der ABG sind Projekte mit hoher Bauqualität entstanden, die nicht nur den architektonischen Entwurf, sondern auch das haustechnische

Konzept und die Einhaltung des Passivhaus-Standards umfassen. Die ABG möchte diese Erfahrungen zugänglich machen.

„Praxiswissen Passivhaus“ richtet sich an Fachleute innerhalb und außerhalb des ABG-Konzerns. Es soll der Information von TGA-Planern, Statikern und Architekten sowie von Wohnungsunternehmen und anderen Bauherren im Geschosswohnungsbau dienen.

Es ist kein Passivhaus-Lehrwerk. Diese Broschüre soll vielmehr aus Sicht eines Wohnungskonzerns, unabhängig von Produktinteressen als Bauherr, Planer, Entwickler, Betreiber und Verkäufer beispielhafte Erfahrungen aus rund 1.600 realisierten Passivhauswohnungen zusammenstellen.

Diese Broschüre ersetzt nicht die Schulung und Weiterbildung der Projektbeteiligten zum Passivhaus-Planer. Vielmehr ist die Ausbildung zum Passivhaus-Planer die Voraussetzung, dass ein Projekt die hohe Qualität des Passivhaus-Standards bei Planung, Haustechnik, PHPP-Berechnung und Bauausführung erreicht.

Das Fachwissen ist in Unternehmen auf viele Experten verteilt und entwickelt sich ständig weiter. Daher sind die hier dargestellten Erfahrungen eine Momentaufnahme. Die Redaktion hat die Aussagen nach bestem Wissen zusammengestellt. Eine vollständige Darstellung ist nicht möglich. Eine Garantie über die Richtigkeit kann nicht gegeben werden. Wir sind dankbar für Anmerkungen von Lesern, die gerne an die Redaktion (info@abgnova.de) gerichtet werden können.

Die Broschüre beginnt mit einer Einführung und einer Vorstellung von acht beispielhaft ausgewählten Passivhausprojekten der ABG. Die Beispiele geben einen Überblick über die Vielfalt und die Entwicklung in den vergangenen zehn Jahren. Der anschließende Aufbau der Broschüre orientiert sich am Projekttablauf bei der Realisierung eines Passivhauses (Grundlagen, Energetisches Konzept, Planung, Bauausführung und Qualitätssicherung sowie Nutzung und Betrieb). Themen wie beispielsweise Lüftung und Fenster sind vom Vorentwurf über Energiebilanzen bis zur Luftdichtheitsprüfung in mehreren Stufen zu berücksichtigen und treten daher mehrfach auf. Mit einem Ausblick auf EnergiePlus-Häuser schließt die Broschüre.

INHALT

VORWORT	6	4 ENERGETISCHES KONZEPT	36
<hr/>		<hr/>	
1 EINFÜHRUNG	8	5 PLANUNG	42
<hr/>		<hr/>	
2 PASSIVHAUS– Projektbeispiele der ABG	14	5.1 Energieplanung mit PHPP	43
<hr/>		5.2 Baukonstruktion	44
2.1 Passivhaus Gremppstraße „Wohnen bei St. Jakob“	15	5.3 Haustechnik	53
2.2 Passivhaus „Sophienhof“	17	6 BAUAUSFÜHRUNG & QUALITÄTSSICHERUNG	64
2.3 Passivhaus „Campo“ Am Bornheimer Depot	20	<hr/>	
2.4 Passivhaus „HansaAllee“ Westend	22	6.1 Bauausführung	65
2.5 Passivhaus „Diakonissenareal“ Holzhausenviertel	24	6.2 Qualitätssicherung	67
2.6 Passivhäuser „Am Hasensprung“ Frankfurt Kalbach	26	6.3 Dokumentation für den Betrieb	69
2.7 Passivhäuser „Riedbergallee“	28	7 NUTZUNG & BETRIEB	70
2.8 Passivhäuser „Geisenheimer Straße“ Frankfurt Schwanheim	30	<hr/>	
3 GRUNDLAGEN	32	8 AUSBLICK ENERGIEPLUS-HAUS	74
<hr/>		<hr/>	
3.1 Standortanalyse & Städtebau	33	9 DIENSTLEISTUNGSPARTNER	76
3.2 Zielvorgaben	34	<hr/>	
3.3 Vermarktungsstrategie	34	IMPRESSUM	78
3.4 Budget/Kosten	34		

2.4

Passivhaus „HansaAllee“ Westend

Im Gegensatz zu den vorherigen Projekten gibt es in der Hansaallee solitäre Baukörper, die in einer parkartigen Anlage stehen. Die Gebäude C und D sind auf einer Tiefgarage errichtet.

Das Projekt besteht aus 6 Gebäuden mit 172 Wohnungen. Die zurückliegenden Gebäude A sind als Eigentumswohnungen veräußert worden, die anderen drei Gebäude B, C und D entlang der Hansaallee sind im Bestand der ABG und werden vermietet.

Die Bedürfnisse von mobilitätseingeschränkten Menschen wurden berücksichtigt: die Wohnräume werden ohne Stufen erschlossen, Flure und Türen breiter und die Grundrisse von Bad

und Schlafräumen größer. Die Gebäude bieten für Rollstuhlfahrer großzügigen Wohnraum mit viel Bewegungsfreiheit.

Die Baukonstruktion ist ein reiner Massivbau aus Ort betonwänden, auf die anschließend das Wärmedämmverbundsystem (WDVS) aufgebracht ist. Die Luftdichte Ebene wird durch den Beton gebildet.

Durch den Verkehrslärm der beiden Ausfallstraßen, zwischen denen die Gebäude liegen, waren erhöhte Schallschutzanforderungen an die Fenster notwendig. Hier sind Kunststofffenster mit besonders guten Schallschutzwerten mit Erfolg in der Einbausituation getestet worden. Für die Fenster wurden 42 dB erreicht.

WÄRMEERZEUGUNG

Die Wärmezeugung für Heizung und Trinkwarmwasser sind voneinander getrennt konzipiert und für alle Gebäude zentral zusammen-

Die Heizwärmeerzeugung erfolgt über eine Sole-Wasser Wärmepumpenanlage. Als Wärmequelle dienen 40 Erdwärmesonden mit bis zu 75 m Tiefe.



Quelle: Jochen Müller

PASSIVHAUSWOHNUNGSBAU
FRANKFURT-WESTEND,
Hansaallee

PROJEKT BETEILIGTE:

Architekten:
Landes & Partner Architekten
(Bauteil A1, A2, A3),
Stefan Forster Architekten GmbH
(Bauteil B),
Jo. Franzke Architekten (Bauteil C),
Karl Dudler Architekt (Bauteil D),
Frankfurt am Main

Baumanagement:
FAAG TECHNIK GmbH,
Frankfurt am Main

Haustechnik & Energieplanung:
Ingenieurbüro Hausladen GmbH,
Kirchheim

Passivhausprüfung:
Passivhaus Dienstleistung GmbH,
Darmstadt

BAUJAHR: 2011

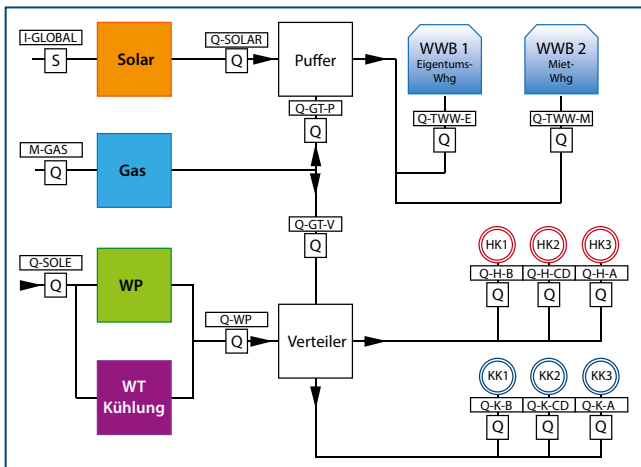
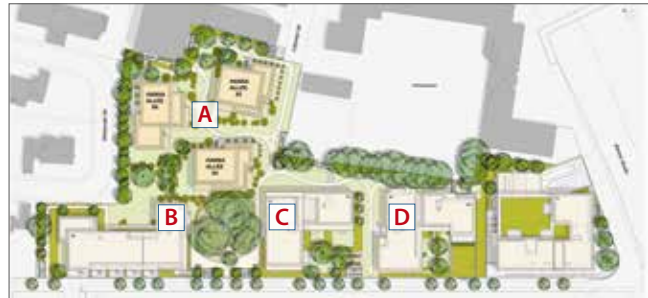


Abbildung 4:
„HansaAllee“,
Konzept der Wärmeversorgung



gefasst. Die Heizwärmeerzeugung erfolgt über eine Sole-Wasser Wärmepumpenanlage. Die Arbeitszahl resultiert maßgeblich aus der Warmwasserbereitung. Als Wärmequelle dienen 40 Erdwärmesonden mit bis zu 75 m Tiefe. Die Spitzenlast wird von zwei Gasbrennwertthermen im Kaskadensystem mit einer Heizleistung von je 100 kW übernommen. Die Wärmeübergabe erfolgt dabei über Fußboden-Heizsysteme, die mit niedrigen Systemtemperaturen betrieben werden.

Für den Sommerbetrieb (Kühlperiode) ist eine passive Kühlung vorgesehen, welche bei Bedarf die kühlen Erdreichtemperaturen über die Erdsondenanlage nutzt.

Die Wärmeerzeugung für die Bereitung des Trinkwarmwassers besteht aus einer thermischen Solaranlage mit einer Kollektorfläche von 210 m². Die gewonnene solare Wärme wird in drei Pufferspeicher zu je 3.000 l geführt. Die beiden bereits genannten Gasthermen beladen die Speicher bei zu niedriger solarer Einstrahlung.

So wird nicht nur der Strom für die Wärmepumpe CO₂-neutral anteilig über eine Fotovoltaikanlage gewonnen. Erdsonden und eine Solaranlage in Verbindung mit einer Wärmepumpe liefern darüber hinaus Wärme für das Heizungswasser. Reicht die erforderliche Energie nicht aus, kann über zwei Gasbrennwertkessel nach-

geheizt werden. Dies führt zu einem höheren Wohnkomfort auch im Sommer und gewährleistet zum anderen einen annähernd ausgeglichenen Wärmehaushalt der Erdsonden.

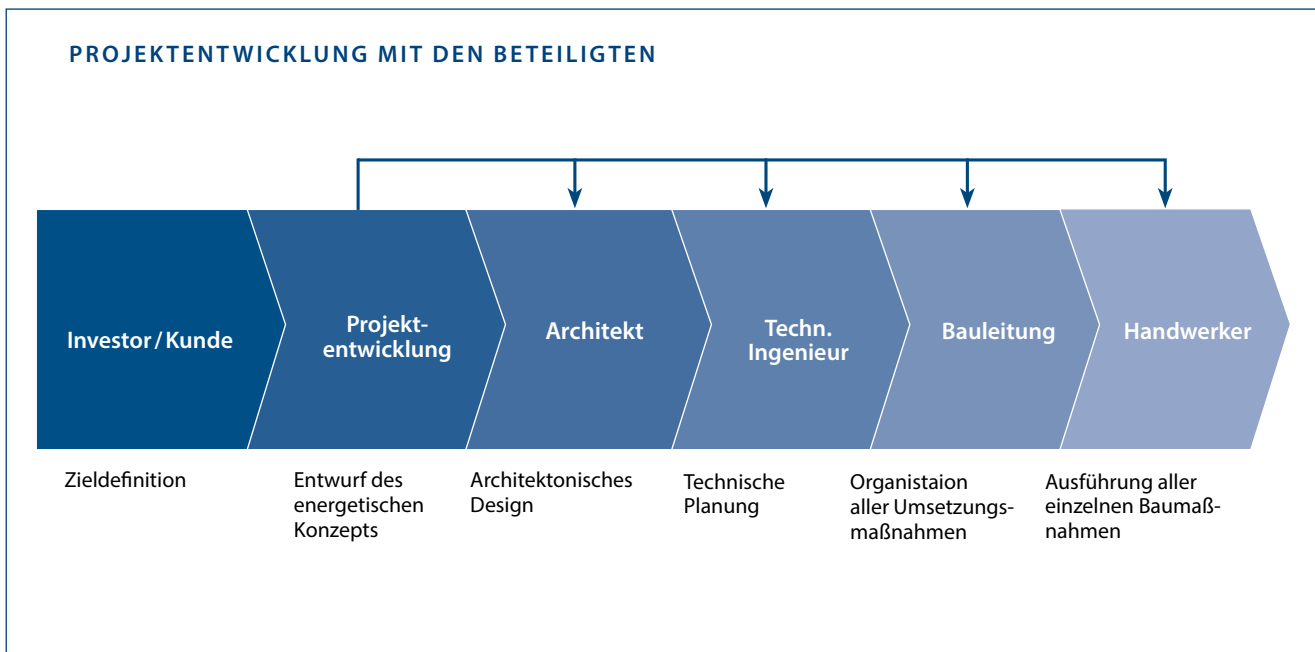
– LÜFTUNG

Die Wohnungen sind mit Schachtwärmetauschern ausgestattet. Durch die Lage der Lüftungsgeräte außerhalb der Wohnungen können diese mit einem geringen Aufwand gewartet werden. Es ist kein Zugang zu den jeweiligen Wohneinheiten notwendig.

Die Lüftungsleitungen sind aus Kunststoffrohren in den Decken verlegt und einbetoniert. Es gibt keine abgehängten Decken in den Wohnungen außer vor den Steigeschächten der Lüftung. Die Verteilung erfolgt über Verteilerboxen. Der Wärmerückgewinnungsgrad der Lüftungsgeräte beträgt durchschnittlich 75 Prozent.

– BESONDERHEITEN

Hier wird das „Warmmietmodell“ umgesetzt. Der Verbrauch für Heizung in den Wohnungen wird hierbei nicht gesondert abgerechnet. Dies ist bei sehr geringem Heizenergieverbrauch gem. Heizkostenverordnung möglich. Das spart den Mietern Mess- und Abrechnungskosten.



3.1 Standortanalyse & Städtebau

Die Randbedingungen des Grundstücks, die sich aus dem vorhandenen Städtebau sowie aus den Vorgaben und Festsetzungen des Bebauungsplanes ergeben, haben einen Einfluss auf das Maß der baulichen Nutzung. Diese äußerlichen Faktoren sind Verdichtung, Bauhöhe, Kubatur, Baugrenzen sowie Südorientierung und Verschattung. Das Baugrundstück sollte möglichst eine Südorientierung des Gebäudes zulassen. Abweichungen um bis zu 30° nach Osten oder Westen sind nicht problematisch.

Enge innerstädtische Lagen führen teilweise dazu, dass fehlende solare Erträge durch die Baukonstruktion und die Haustechnik kompensiert werden sind. In manchen Bebauungsplänen sind solare Optimierungen der Baukörper durch die Bebauungsgrenzen nicht möglich. Eine der Citynähe geschuldete dichte

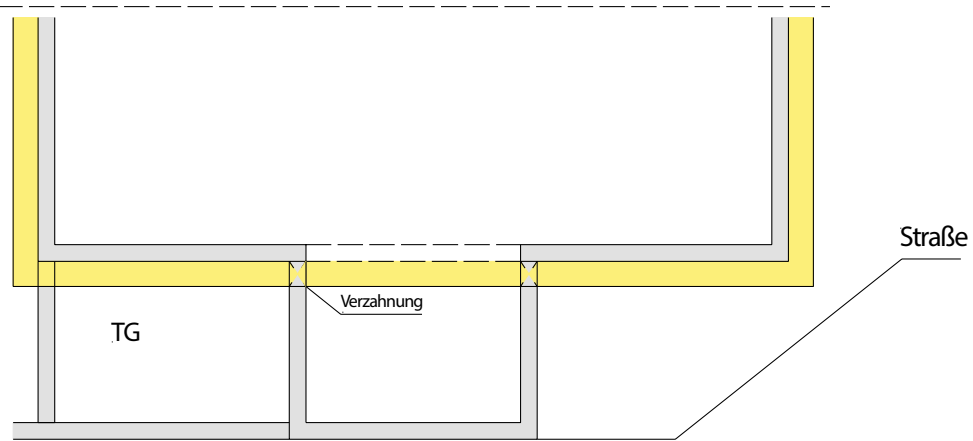
Bebauung kann der Passivhaus-Bauweise entgegenstehen.

Schon bei der Entscheidung für einen Standort sind die Parameter zur Verschattung durch die Nachbarbebauung, die bereits vorhanden ist oder nach Bebauungsplan zulässig ist, zu überprüfen.

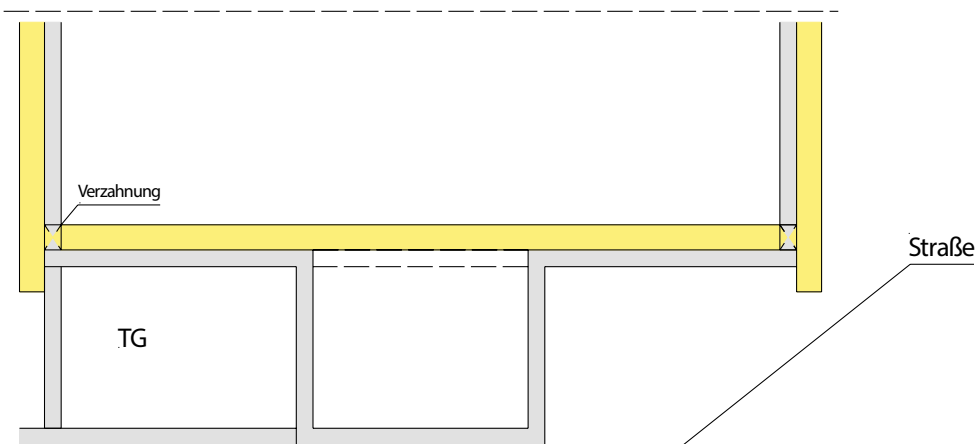
Erneuerbaren Energien und dem Einsatz von Geothermie, Kleinwindrädern oder großen Dämmstoffstärken sind Grenzen gesetzt, wenn sie am Standort eigene oder nachbarliche Schutzziele negativ beeinflussen könnten. Darum sind standortabhängige Faktoren für die Passivhausprojektierung in Wechselwirkung mit Schall- und Wärmeschutz, Brandschutz und auch Gestaltungserfordernissen jeweils neu zu prüfen.

In Gebieten mit den Vorgaben zum Fernwärmeanschluss ist der Primärenergiefaktor der Fernwärme für die Bilanzierung des Primärenergiebedarfs von Bedeutung, bestenfalls ist der regenerative Anteil hoch. Der Faktor kann im Vorfeld berücksichtigt werden, solaraktive Energienutzung am Objekt kann dann evtl. entfallen.

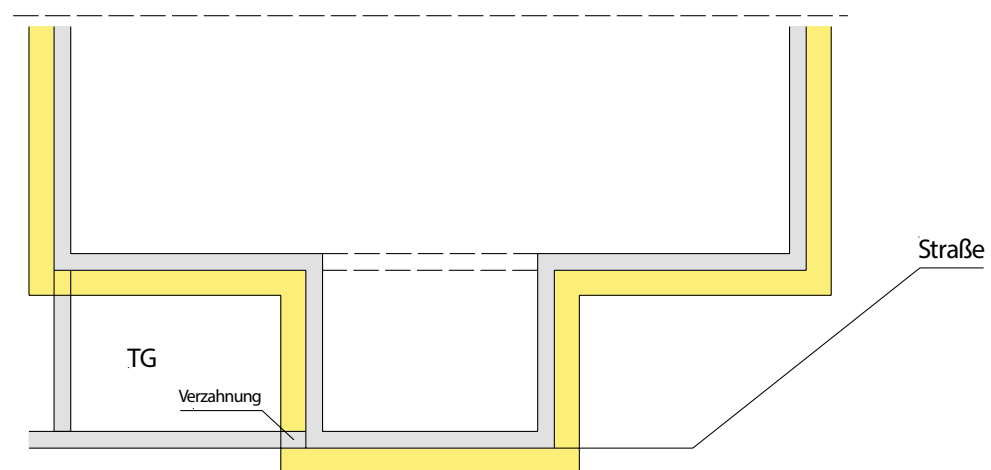
DÄMMKONZEPTE



VARIANTE A:
Kalter Keller,
Dämmung unter
der Kellerdecke



VARIANTE B:
Kalter Keller,
Dämmung auf der
Kellerdecke mit
Verzahnung der
Erdgeschosswände
unten



VARIANTE C:
Warmer Keller,
Dämmung unter
der Kellerdecke,
Keller wird mit
gedämmt.

Abbildung 5: Riedbergallee, Vorplanung Variantengegenüberstellung

Abbildung 15:
Abdichten von Durchführungen,
Quelle: pro clima



Bei der Mischbauweise wird die Ausführung der luftdichten Ebene der Holzelemente durch Folien auf der Innenseite und deren Anbindung an die Betonschotten gewährleistet. Bei der Massivbauweise wird die luftdichte Ebene durch den Innenputz hergestellt.

auch in den Ergebnisse der Luftdichtheitsmessungen. Unabhängig von der Bauweise liegen sie bei allen Projekten weit unter dem geforderten n_{50} Wert von $0,6 \text{ h}^{-1}$. Ist die gemessene und dokumentierte Luftwechselrate der Abnahmeprüfung nach DIN EN 13829 tatsächlich kleiner, kann dieser Wert ins PHPP eingesetzt werden!

Abbildung 16:
Luftdichte Elektro-Installationen,
Quelle: Kaiser GmbH

Wenn Einbauten in die massive Außenwand, Steckdosen beispielsweise, die Luftdichtheitsebene durchdringen, gilt es darauf zu achten, dass die Kabelanschlüsse luftdicht ausgeführt werden. Luftdichte Bauweise dokumentiert sich

Zusammenfassend lässt sich sagen: Die beiden Maximen, Minimierung der Wärmeverluste und Optimierung der Gewinne, bestimmen die Projektierung des Passivhauses.



II. EINZELVERROHRUNG MIT LÜFTUNGSZENTRALE

Jede Wohnung bekommt einen eigenen Zu- sowie Abluftkanal. Es werden zwei Varianten unterschieden, mit einem Zentralgerät zur Wärmerückgewinnung oder mit Einzelgeräten in der Lüftungszentrale.

Vorteile:

- + Wartungsarbeiten (Filterwechsel) können ohne Zutritt zur Wohnung erfolgen.
- + Variante IIb: Wartungsarbeiten können ohne Abschalten der Lüftungsanlagen der anderen Wohnungen erfolgen.
- Abrechnung des Lüfter-Stroms wohnungsweise nach Verbrauch.

Nachteile:

- Kosten für Materialmehraufwand, größerer Platzbedarf.
- Bei Variante IIb gilt dies auch für die Wärmerückgewinnung.

Ausgeführt in den Projekten:

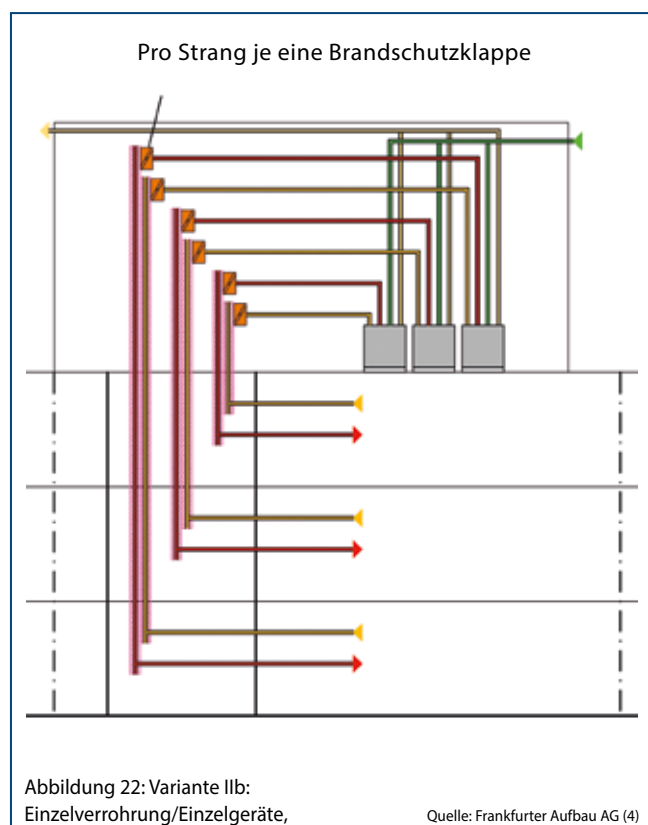
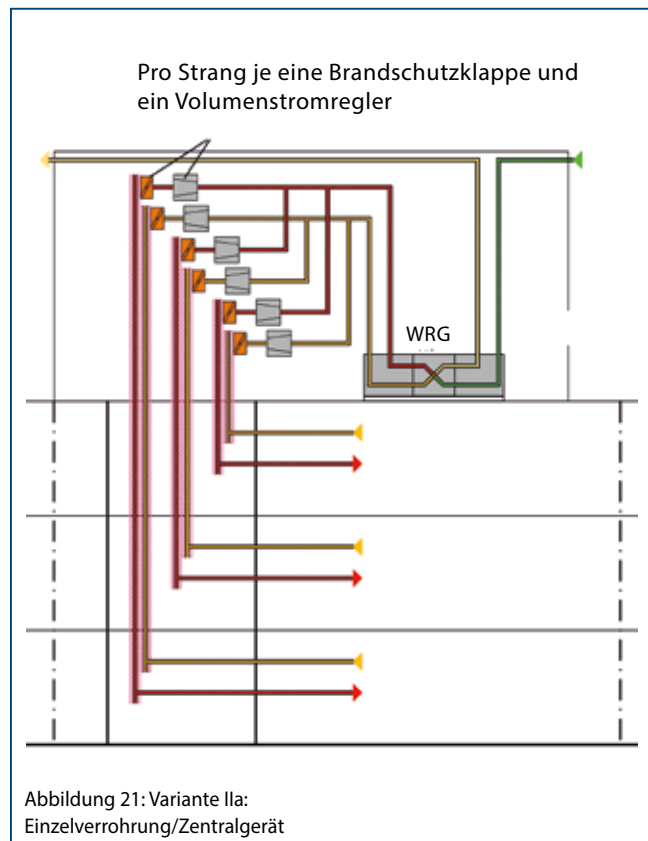
- + Diakonissenareal (Variante IIb)
- + Geisenheimer Straße (Variante IIb, Einzelgeräte im Keller)
- + „Am Hasensprung“, Kalbach (Variante IIb)

IIa DIE EINZELVERROHRUNG MIT ZENTRALGERÄT

In der Lüftungszentrale werden die Abluftströme gesammelt und die Wärme im zentralen Wärmetauscher auf die Zuluft übertragen. Von hier aus wird die Zuluft wieder per einzelne Rohrleitungen auf die Wohnungen verteilt. Diese Variante besitzt nur ein zentrales Lüftungsgerät.

IIb DIE EINZELVERROHRUNG MIT WOHNUNGSGERÄTEN IN DER LÜFTUNGSZENTRALE

In der Variante IIb gibt es in der Lüftungszentrale für jede Wohnung Einzelgeräte mit WRG. Für jede Wohnung findet die Wärmerückgewinnung einzeln statt, indem die Abluft die Zuluft erwärmt. Fortluft und Frischluft werden gemeinsam gefördert.



DICHTHEITSKLASSEN UND LECKAGEN VON LÜFTUNGSLEITUNGEN:

Nach DIN EN 12237 werden verschiedene Dichtigkeitsklassen unterschieden.

DICHTHEITS-KLASSEN	LECKAGEVOLUMENSTROM BEI 400 Pa
A	1,32 * 10 ⁻³ m ³ /(s*m ²)
B	0,44 * 10 ⁻³ m ³ /(s*m ²)
C	0,14666 * 10 ⁻³ m ³ /(s*m ²)
D	0,04888 * 10 ⁻³ m ³ /(s*m ²)

BEISPIELRECHNUNG:

Berechnung des Stromverbrauchs/Primärenergieverbrauchs für zusätzlichen Volumenstrom bezogen auf ein Muster-Bauvorhaben (BV), 90 m² Wohnung im 3.OG

LAGE / BEZEICHNUNG DER LEITUNGEN	LÄNGE [lfm]	UMFANG [m]	OBERFLÄCHE [m ²]	DRUCK [Pa]
AUL im KG (bis LÜF-Gerät)	50	1,5	75	200
ZUL im KG (bis Steigestrang)	80	1,5	120	200
Steigeleitung	40	0,8	32	150
in Whg bis Verteilung	6	0,6	3,6	100
bis Auslässe	50	0,4	20	50

Tab. 2:
Eingangsgrößen Muster-BV
eines MFH (10 WE)

	DICHTHEITSKLASSE B		DICHTHEITSKLASSE D	
	Leckage aus Tab.2 [m ³ /h]	Anteil je Whg in [m ³ /h]	Leckage aus Tab.2 [m ³ /h]	Anteil je Whg in [m ³ /h]
Lage / Bezeichnungen der Leitungen wie in Tab. 2	59,40	5,94	6,60	0,66
	95,04	9,50	10,56	1,06
	19,01	3,80	2,11	0,42
	1,43	1,43	0,16	0,16
	3,96	3,96	0,44	0,44
Summe [m ³ /h]		24,63		2,74
zusätzl. Strom [kWh/a]		97,10		10,79
zusätzl. Primärenergie [kWh/a]		252,45		28,04

Tab. 3:
90 m² Wohnung im 3.OG mit
Dichtigkeitsklasse B oder D
(Elektroeffizienz 0,45 Wh/m³)

ERGEBNIS DER BEISPIELRECHNUNG:

Bei der Wahl von Lüftungsleitungen mit Dichtigkeitsklasse D statt B sinkt der zusätzliche Stromverbrauch von 97 [kWh/a] auf 11 [kWh/a]. Damit verbessert sich die Primärenergiebilanz nach PHPP von 252 auf nur 28 [kWh/a]. Benötigt eine Wohnung ein Zuluftvolumenstrom von 100 m³/h dann beträgt die Fördermenge des

Lüftungsgeräts in Klasse B 125 m³/h, in Klasse D nur 103 m³/h. Auch die Wartungskosten fallen damit niedriger an. In der Dichtigkeitsklasse D werden für die Luftverteilung ca. 0,3 kWh/m²a, bei B ca. 2,8 kWh/m²a pro Energiebezugsfläche/Jahr benötigt, also rund 10x mehr. Das hilft die 120 kWh/m²a PHPP-Grenze einzuhalten.

ZUSAMMENFASSUNG BE- UND ENTLÜFTUNGSANLAGE

Beim ersten Passivhaus-Projekt „Wohnen bei St. Jakob“ kamen dezentrale Lüftungsgeräte zum Einsatz, angeordnet in jeder Wohnung. Die Wartung und Steuerung erfolgt hier von jedem Besitzer selbst. Entsprechend geschult müssen die Nutzer sein. Abgesehen vom Bad erfolgte die Wärmeversorgung ausschließlich über die Zuluft.

Für die Lage der Lüftungsanlage hat sich herausgestellt, dass eine von der Wohnung unabhängige Zugänglichkeit für Wartungsarbeiten sinnvoll ist. Dabei spielt es eine untergeordnete Rolle, ob sich die Geräte im Keller oder auf dem Dach befinden.

Wohnungsweise Kanäle und Ventilatoren haben für Regelbarkeit, Brandschutz und Betriebsstromabrechnung Vorteile für den Betrieb. Die Brandschutzklappen sollten im Keller oder auf dem Dach sein. Die Kanäle bis zur Wohnung müssen in F90 ausgeführt werden. Am besten sind Rohrleitungen geschützt, wenn sie eine Beton-Ummantelung haben. Diese Ausführungen beziehen sich auf die Einzelverrohrung (Fall IIa und IIb).

Zentrale Lüftungsgeräte für mehrere Häuser sind hinsichtlich der Luftführung und der Wärmedämmung der Kanäle nicht effizient.

Ein Vorteil der Wärmerückgewinnung über ein Zentralgerät liegt darin, dass die solare Einstrahlung in den oberen Wohnungen zum Nutzen für alle Wohneinheiten ist.

Die notwendige Größe der Schächte für die Luftführung ist bei den Varianten ebenfalls unterschiedlich. Den geringsten Platzbedarf hat Variante IV. Der „gewonnene“ Platz kann der Wohnfläche zu Gute kommen.

Um das Übergreifen einer Verrauchung zu verhindern, muss man sich um vorbeugenden Brandschutz kümmern. Bei Konzepten mit

Einzelverrohrung lässt sich der Brandschutz relativ einfach planen und umsetzen. Dabei haben sich wartungsfreie Brandschutzklappen bewährt.

Im Vorfeld der Lüftungsplanung wurde bei verschiedenen Projekten der Einsatz dieser Brand-schutzelemente über eine Zulassung im Einzelfall erreicht. Dieser zusätzliche Aufwand in der Planung rechnet sich durch die Reduzierung des Wartungsaufwandes während der Nutzung.

Selbstverständlich ist auch die Ausführung der vertikalen Kanäle in Brandschutzqualität berücksichtigt.

Ein weiterer Vorteil der zentralen Aufstellung der Lüftungsgeräte in einem Raum oder auch auf dem Dach, entsteht beim Schallschutz. Werden die Lüftungsgeräte in der Wohnung aufgestellt, müssen sie zusätzlich schallgedämpft werden. Stehen die Geräte außerhalb der Wohnungen, ist die Wartung der Filter für Servicemitarbeiter kein Problem: Sie müssen die Wohnung nicht betreten.

In der Gestaltung der Grundrisse einer Wohnung ist eine Optimierung der Luftkanalführung durch eine zusammenhängende Anordnung der Zuluft- und der Ablufträume möglich. Damit werden Kreuzungen und weite Verzweigungen der Luftkanalführung vermieden.

INFO

Bei Lüftungsgeräten werden die Elektroeffizienz und die Wärmebereitstellungsgrade nach verschiedenen Meßmethoden angegeben. Das Standardberechnungsverfahren bei Lüftungsgeräten in Deutschland ist das DIBt-Verfahren. Abluftseitig erfolgt die Berechnung nach DIN 13141-7 oder nach PHI (Passivhaus Institut). Abweichungen zwischen den Berechnungsverfahren können bis zu 20 Prozent betragen. Da die zuluftseitige Berechnung bessere Ergebnisse liefert, geben die meisten Hersteller diese Werte an. Das PHI zieht bei zuluftseitigen Berechnungen 12 Prozent ab. Standardwärmetauscher liegen bei 75-80 Prozent WRG, Hochleistungsgeräte mit über 90 Prozent WRG können jedoch um den Faktor 2 teurer sein.
