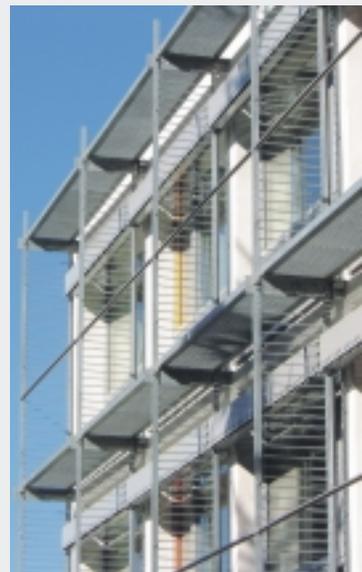




Institut für
Landes- und Stadtentwicklungsforschung
und Bauwesen des Landes NRW

Passivhäuser erfolgreich planen und bauen



Ein Leitfaden zur
Qualitätssicherung



Berthold Kaufmann,
Wolfgang Feist
u.a.

Fachbuch F12

Inhaltsverzeichnis

Passivhäuser erfolgreich planen und bauen

Ein Leitfaden zur Qualitätssicherung

1. Einführung	6		
1.1 Wozu Qualitätssicherung beim Passivhaus?	6		
1.2 Passivhäuser – ökonomisch und ökologisch sinnvoll	7		
1.3 Planungsgrundlagen für Passivhäuser	10		
1.4 Integrale Planung	11		
2. Grundlagenermittlung, Vorplanung und Entwurfsplanung	14		
2.1 Beschreibung der Bauaufgabe	14		
2.2 Bebauungsplan und Solarzugang	15		
2.3 Grundrissgestaltung	18		
2.4 Keller oder kein Keller?	18		
2.5 Dämmung, Wärmebrücken, Luftdichtheit	19		
2.6 Energiebilanz, Heizwärmekennwert (PHPP)	21		
2.7 Sommerlicher Wärmeschutz	23		
2.8 Heizlastkriterium, Frischluftheizung	25		
2.9 Lüftungssystem	27		
2.10 Weitere Haustechnik im Passivhaus	31		
3. Detailplanung	36		
3.1 Wärmedämmung	36		
3.2 Wärmebrückenfreies Konstruieren	40		
3.3 Luftdichte Konstruktion	51		
3.4 Fenster	54		
3.5 Haustüren	63		
3.6 Lüftungssystem	66		
3.7 Weitere Haustechnik im Passivhaus	73		
4. Ausschreibung und Vergabe	75		
		5. Ausführung und Abnahme	78
		5.1 Wärmedämmung	78
		5.2 Wärmebrückenfrei	82
		5.3 Luftdichtheit	83
		5.4 Fenster	87
		5.5 Lüftungssystem	87
		5.6 Weitere Haustechnik im Passivhaus	94
		5.7 Wer bietet Qualitätssicherung und weitere Informationen an?	95
		6. Laufende Nutzung	96
		6.1 Wohnen im Passivhaus – auf einen Blick	96
		6.2 Ausführliche Hinweise für die Bewohner	98
		7. Vertiefendes Nutzerhandbuch für Hausverwaltungen und Eigentümer	102
		7.1 Wärmedämmung und Vermeidung von Wärmebrücken	102
		7.2 Luftdichtheit	103
		7.3 Fenster	103
		7.4 Lüftungssystem und übrige PH-Haustechnik	104
		8. Zusammenfassung: Checkliste Passivhaus	109
		9. Begriffe, Symbole, Formelzeichen	112
		10. Literatur	114



Vorwort

Der Bau- und Wohnungssektor ist ein zentrales Handlungsfeld für Klimaschutzaktivitäten. Private Haushalte verbrauchen für Raumwärme und Warmwasserbereitung immerhin ein Drittel der gesamten Energie und verursachen einen hohen Anteil an CO₂-Emissionen. Gerade der Gebäudebereich besitzt aber andererseits ein hohes technisches Einsparpotenzial. Moderne Bauweisen und eine innovative Haustechnik, die den Einsatz fossiler Brennstoffe weitgehend überflüssig machen, stehen dabei im Zentrum der Überlegungen.

Eine Maßnahme, Einsparpotenziale im Bauwesen zu erschließen, ist (in Nordrhein-Westfalen seit 1999) die Förderung der Passivhausbauweise, bzw. des 3-Liter-Haus-Standards in Solarsiedlungen im Rahmen der REN-Breitenförderung (Rationelle Energieverwendung und Nutzung unerschöpflicher Energiequellen).

Passivhäuser sind eine Weiterentwicklung von Niedrigenergiehäusern. Sie sind durch passive Maßnahmen wie Ausrichtung zur Sonne, große Dämmstärken, eine luftdichte Bauweise und eine kontrollierte Wohnungslüftung mit Wärmerückgewinnung so optimiert, dass der Heizenergiebedarf unter 15 kWh/m²a (entspricht 1,5 l Heizöl/m²a) sinkt. Der Einsatz einer konventionellen Heizung wird überflüssig. Passivhäuser verbrauchen nur noch 6 % des Heizenergiebedarfs eines durchschnittlichen Gebäudes im Bestand und lediglich ein Viertel des Bedarfs eines Gebäudes, das nach der aktuellen Energieeinsparverordnung gebaut wurde.

3-Liter-Häuser sind optimierte Niedrigenergiehäuser, die noch eine Heizanlage benötigen. Sie werden in Nordrhein-Westfalen gefördert, wenn sie in einer der „50 Solarsiedlungen in NRW“ stehen und weitere Anforderungen in Bezug auf aktive Solarenergiegewinnung erfüllen.

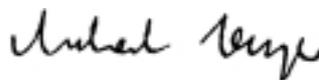
Energiesparende Bauweisen werden immer wichtiger. Bundesweit wurden seit der Fertigstellung des ersten Passivhauses in Darmstadt-Kranichstein 1991 bis heute etwa 3000 Passivhäuser gebaut.

Durch die Förderung im REN-Programm hält das Land Nordrhein-Westfalen eine Vorreiterrolle in Bezug auf die Verbreitung der Passivhausbauweise. Seit Beginn der Passivhausförderung 1999 sind bereits über 300 Projekte mit insgesamt 700 Wohneinheiten in Passivhausbauweise oder als 3-Liter-Häuser entstanden. Darüber hinaus hat das Land einen Passivhauswettbewerb ins Leben gerufen, der eine ganze Siedlung mit 50 Wohneinheiten in Leverkusen initiiert hat.

Dank der größeren Anzahl von Passivhäusern ließen sich Konstruktionen und Detaillösungen in allen Bauweisen – vom traditionellen Mauerwerksbau bis zum vorgefertigten Holzrahmenbau – weiter entwickeln. Angesichts der Vielzahl der Möglichkeiten wird die Qualitätssicherung immer wichtiger, damit Baufamilien oder Käufer/innen auch die Sicherheit haben, dass ihr Gebäude tatsächlich „funktioniert“ und einen hohen Wohnkomfort bietet.

Die Fortbildung der Handwerker, Techniker, Ingenieure und Architekten, die in Zukunft vermehrt energieeffiziente Gebäude bauen werden, ist zentral für den Erfolg dieser Bauweise. Die Planenden und Ausführenden benötigen fundiertes Wissen, um den fachgerechten Bau eines Passivhauses zu gewährleisten. Der vorliegende Leitfaden soll dieses Wissen vermitteln. Er ist entsprechend dem in der HOAI beschriebenen Planungsablauf aufgebaut und gibt zu allen Phasen des Bauablaufs Empfehlungen und Entscheidungshilfen. Er weist auf Fehlerquellen hin und gibt Empfehlungen dazu, wie sie sich vermeiden lassen. Die im Leitfaden beschriebenen Mittel zur Qualitätskontrolle haben sich auch bei energetischen Sanierungen mit Passivhauskomponenten bestens bewährt.

Der vorliegende Leitfaden dient dazu, immer wieder gestellte Fragen zu beantworten, und die Akzeptanz der Passivhausbauweise insgesamt zu erhöhen. Darüber hinaus soll er Initiatoren, Planer und Nutzer auf den großen Stellenwert des Themas aufmerksam machen und zur Nachahmung anregen.



Dr. Michael Vesper
Minister für
Städtebau und Wohnen,
Kultur und Sport
des Landes Nordrhein-Westfalen

1. Einführung

1.1 Wozu Qualitätssicherung beim Passivhaus?

Das Passivhaus-Konzept wurde erstmals 1991 im Pilotprojekt Darmstadt-Kranichstein realisiert [1]. Dieser Prototyp hat sich in der praktischen Nutzung so gut bewährt, dass der Passivhaus-Planungs-Standard entwickelt wurde, der seit etwa 1998 als markteingeführt angesehen werden kann [2] bis [10]. Besonders im Rahmen des CEPHEUS-Projekts (Cost Efficient Passive Houses As European Standards) konnte am Beispiel von einigen hundert messtechnisch und wissenschaftlich begleiteten Wohnprojekten gezeigt werden, dass es möglich ist, Passivhäuser zu erschwinglichen Kosten und in reproduzierbar hoher Qualität zu erstellen [11], [12], [13]. Die Bewohner einiger Reihenhaus-siedlungen und Geschosswohnungsbauten wurden darüber hinaus in sozialwissenschaftlichen Studien über ihre Wohnerfahrungen im Passivhaus befragt. Die Ergebnisse dieser Studien sind durchweg positiv [14] bis [17]. Es ist deshalb kein Wunder, dass sich die Zahl der in Deutschland realisierten Wohneinheiten erfreulich schnell entwickelt, im Frühjahr 2003 waren schon über 3000 Wohneinheiten fertiggestellt, siehe Abbildung 1. Im benachbarten Ausland, besonders in Österreich und der Schweiz, ist die Entwicklung ähnlich.

Das Land Nordrhein-Westfalen fördert seit 1999 im Rahmen der REN-Breitenförderung (Rationelle Energieverwendung und Nutzung unerschöpflicher Energiequellen) die Passivhausbauweise [18], [19]. Seit Beginn der Förderung wurden in Nordrhein-Westfalen knapp 400 Projekte mit fast 900 Wohneinheiten gefördert. Von diesen sind bis heute (Januar 2004) etwa 50 % fertiggestellt worden. Die Förderung erfolgt als Zuschuss in Bezug auf die wärmeübertragende Umfassungsfläche eines Gebäudes.

Die Begleitung der geförderten Projekte, die vom Institut für Landes- und Stadtentwicklungsfor-schung und Bauwesen des Landes NRW (ILS NRW) in Aachen durchgeführt wird, machte die Notwendigkeit einer Qualitätssicherung beim Bau von Passivhäusern deutlich und war der Anlass, den nun vorliegenden Leitfaden zur Qualitätssicherung herauszugeben.

Innovative Planungsgrundsätze

Das Passivhaus-Konzept führt bei konsequenter Durchführung zu neuen Planungsgrundsätzen. Zum Beispiel lenkt ein erhöhter Dämmstandard das Augenmerk wie von selbst auf Wärmebrückeneffekte, die es zu minimieren oder besser ganz zu vermeiden gilt. Beim Fenster ergeben sich die Qualitätsanforderungen aus dem erhöhten thermischen Komfort. Die kontrollierte Wohnungslüftung mit Wärmerückgewinnung ist auf eine luftdichte Gebäudehülle angewiesen.

Die Fortbildung der Akteure, die in Zukunft vermehrt energieeffiziente Gebäude bauen werden, ist für die weitere Entwicklung des „Passivhaus Bau-standards“ von entscheidender Bedeutung. Ohne fundiertes Wissen kann die fachgerechte Planung von Passivhäusern und selbstverständlich auch die qualifizierte Ausführung am Bau nicht gelingen. Das gilt für Einfamilienhäuser genauso wie für größere Geschosswohnungsbauten, Bürogebäude, Schulen etc. Ohne fachsichere Planer und Architekten kann überdies die Akzeptanz des neuen Konzepts bei den Entscheidungsträgern der Bauwirtschaft, der Finanzwirtschaft, der Politik und den Verwaltungen kaum erreicht werden.

Abb. 1 Zahl der gebauten Passivhäuser in Deutschland seit 1991. Im deutschsprachigen Ausland (Österreich und Schweiz) ist die Entwicklung ähnlich. Bis Ende 1998 waren 120 Wohneinheiten fertig gestellt. Die Zahlen seit 1998 beruhen auf Angaben der Kreditanstalt für Wiederaufbau [20]. Die Wachstumsrate beträgt zur Zeit etwa 100 % pro Jahr. Grafik: Passivhaus Institut, Darmstadt (PHI)



Innovatives Konzept bedarf besonderer Qualitätskontrolle

Es gibt für nahezu alle Bereiche des Bauens und dessen Planung eine fast schon unübersehbare Vielzahl von Normen, Regelwerken und Vorschriften. Das Passivhaus-Konzept ist eine entscheidende Innovation, die deutlich über die bestehende Normung hinausweist. Ein wichtiges Beispiel ist die Heizlast, die in einem Passivhaus auf einen Wert von 10 W/m^2 reduziert werden kann. Es versteht sich von selbst, dass bei einem so kleinen Wert jeder Fehler in der wärmedämmenden Gebäudehülle und der Lüftungswärmerückgewinnung für den Bewohner später deutlich spürbar werden kann. Zum Vergleich: in einem schlecht gedämmten Gebäude werden solche Fehler einfach „weggeheizt“; der Bewohner bemerkt sie, wenn überhaupt, erst an der Heizkostenrechnung.

Qualitätssicherung bedeutet somit eigentlich „nur“ die konsequente Beachtung und Einhaltung dieser – neuen und alten – Planungsgrundsätze. Es muss auf der Baustelle sichergestellt werden, dass die Planung auch eingehalten wird. Besonders das technisch und in seiner Gesamtkonzeption sehr anspruchsvolle Passivhaus kann nur fehlerfrei geplant und hergestellt werden, wenn die Qualitätssicherung als ein wesentlicher, unverzichtbarer und integraler Bestandteil des Gesamtprozesses verstanden und umgesetzt wird.

Die Umsetzung des Passivhausstandards erfordert also einen möglichst einheitlichen Qualitätsstandard und eine dazu passende Qualitätskontrolle. Architekten, Ingenieure, Auftraggeber und Investoren müssen sich auf einen solchen Qualitätsstandard verlassen und stützen können. Schließlich kann der Auftraggeber bzw. letztlich der Bewohner selbstverständlich erwarten, dass seine Wohnung nach zuverlässigen Grundregeln hergestellt worden ist und über lange Zeit ihren Wert behält.

Leitfaden Qualitätssicherung

Die Qualitätssicherung für Passivhäuser wird in diesem Leitfaden ausführlich erläutert und anhand von Beispielen dargestellt, um häufig gestellte Fragen zu beantworten, Erfahrungen weiterzuge-

ben und die Akzeptanz der Passivhausbauweise zu erhöhen. Die verschiedenen Aspekte des Bau geschehens werden dazu in der Reihenfolge des Bauablaufs behandelt: Von der konsequenten Grundlagenermittlung und Planung bis zur Kontrolle des Bauablaufs und der Übergabe an den Nutzer. Initiatoren, Planer und Nutzer sollen so auf die Unverzichtbarkeit und Dringlichkeit des Themas aufmerksam gemacht werden. Der Leitfaden kann entweder als Nachschlagewerk genutzt, oder aber „sequentiell“ durchgearbeitet werden. Die einzelnen Kapitel sind im Wesentlichen anhand des üblichen Bauablaufs gemäß der Honorarordnung für Architekten und Ingenieure, HOAI [21], [22], [23] geordnet. Vgl. dazu auch die Ausführungen zum Thema „Integrale Planung“ in Abschnitt 1.4.

1.2 Passivhäuser – ökonomisch und ökologisch sinnvoll

Wie lassen sich hohe Behaglichkeit, gute Raumluftqualität, wirtschaftlicher Betrieb und vertretbare Investitionskosten bei einem Neubau gemeinsam erreichen? Lange Zeit war die Bauwelt davon überzeugt, dass Ökonomie, Ökologie, ein niedriger Energieverbrauch und die Versorgung von Gebäuden mit regenerativen Energien unvereinbare oder gar widerstreitende Ziele wären, zwischen denen zumindest ein Kompromiss gefunden werden müsste. Die zahlreichen realisierten Beispiele von Passivhäusern zeigen jedoch: Ökologie, Ökonomie und eine regenerative Energieversorgung sind gerade dann besonders gut miteinander vereinbar, wenn der Energieverbrauch von Gebäuden sehr stark reduziert wird.

Der Schlüssel hierzu ist eine ganz erheblich verbesserte Energieeffizienz. Verbesserte Energieeffizienz heißt bei Wohngebäuden in Mitteleuropa vor allem sehr guter Wärmeschutz, Luftdichtheit, hocheffiziente Lüftung, Haustechnik mit niedrigen Aufwandszahlen und stromsparende Geräte. Die effiziente Technik verringert aber nicht nur den Energieverbrauch des Gebäudes, sondern erhöht auch die thermische Behaglichkeit und verbessert den Schutz der Bausubstanz. Dadurch steigt der Wert des Gebäudes im Allgemeinen

mehr, als für die Verbesserungen an Mehrinvestitionen aufgewendet werden muss. Gestiegener Wert, verringerte Instandhaltungsaufwendungen, längere Nutzungsdauer, gesündere und behaglichere Wohnverhältnisse – das ist zusätzlicher Nutzen, der eine verbesserte Energieeffizienz schon allein rechtfertigte.

Regenerative Versorgung rückt in greifbare Nähe

Passivhäuser sparen darüber hinaus jedoch einen Faktor 4 an Heizenergie gegenüber Neubauten, die gemäß der aktuellen Energieeinsparverordnung (EnEV) gebaut werden. Das eröffnet völlig neue Möglichkeiten im Hinblick auf eine Energieversorgung aus regenerativen Quellen: Der bei einem typischen Passivhaus verbleibende Energieverbrauch für Heizung und Warmwasserbereitung beträgt etwa 5000 kWh pro Jahr. Das entspricht etwa 500 Liter Heizöl, 500 m³ Erdgas oder 2,5 m³ Holz-Pellets. Die Zahlen beziehen sich auf den Endenergieverbrauch incl. aller Verteilverluste für eine Wohneinheit mit etwa 120 m² Wohnfläche und einer Belegung mit vier Personen [24].

Diese Wärme kann mit kleinen, dezentralen und hoch effizienten Anlagen wie dem Kompaktaggregat mit Abluftwärmepumpe oder aus Biomasse bereitgestellt werden, vgl. Abschnitt 2.10. Beide Varianten können mit einer Solaranlage kombiniert werden. Wichtig ist jedoch: der genannte Verbrauch ist so gering, dass eine substantielle Bereitstellung dieser kleinen Energiemenge aus regenerativen Quellen, z.B. Windenergie oder Biomasse, auch für eine größere Zahl von Wohneinheiten denkbar wird. Das heißt, erst mit dem Passivhaus mit seinem niedrigen Verbrauch wird eine breite Versorgung aus regenerativen Energiequellen ernsthaft möglich.

Die Versöhnung von Ökologie und Ökonomie bei der Anwendung von Effizienztechniken ist kein Zufall, sie ist den eingesetzten Techniken immanent:

Verbesserte Wärmedämmung bedeutet nicht nur reduzierte Wärmeverluste, sondern auch im Winter höhere und im Sommer niedrigere Innenoberflächentemperaturen. Dadurch steigt die Behaglichkeit (Strahlungsklima, [25]) und sinkt die Anfälligkeit für Tauwasser an Innenoberflächen. Bessere

Wärmedämmung beruht auf dem vermehrten Einsatz von Dämmstoffen, d.h. „verpackter Luft“. Dies sind sehr leichte Baustoffe – von Natur aus kostengünstig und wenig materialintensiv.

Die **Vermeidung von Wärmebrücken** stellt nach den Erfahrungen im Passivhausbau eine der wirtschaftlichsten Effizienzmaßnahmen dar. Auch hier sind der erreichte Schutz der Bausubstanz und die verbesserte Behaglichkeit offensichtlich. Bei wohnraumüblichen Temperaturen und Feuchtigkeiten gibt es in einem wärmebrückenfrei konstruierten Passivhaus kein Tauwasser an Innenoberflächen mehr.

Auch die **Luftdichtheit** reduziert die Anfälligkeit für Bauschäden. Durch die bereits vor einem Jahrzehnt realisierten Passivhäuser ist inzwischen im Langzeittest nachgewiesen, dass sorgfältig geplante und ausgeführte Gebäudehüllen dauerhaft luftdicht bleiben. Nachdem eine hohe Luftdichtheit anfangs als bautechnisch aufwändig angesehen worden war, zeigen heute die gebauten Beispiele von Passivhäusern, dass n_{50} -Werte um 0,3 $1/h$ reproduzierbar erreicht werden können.

Beim **Bauteil Fenster** wurden in den letzten Jahren entscheidende Qualitätsverbesserungen erreicht. Hochwertige Fenster sind für das Passivhaus eine wichtige Voraussetzung. Um einen Gesamt- U_w -Wert („window“) dieser sogenannten „Warmfenster“ von weniger als 0,85 W/(m²K) zu erreichen, kommt es nun vor allem auf einen sachgerechten Einbau an: Auch dies stellt kein Problem dar, erfordert aber eine stringente Planung und sorgfältige Ausführung. Gerade das hochwärmedämmende Fenster trägt entscheidend zur besseren Behaglichkeit bei, weil es gelingt, die mittleren Oberflächentemperaturen auf der Innenseite des Fensters über 17° C zu halten [25]. Dadurch wird die Art der Wärmezufuhr im Raum zweitrangig: Es kommt nicht mehr darauf an, wo und wie im Raum die noch erforderliche geringe Heizwärme zugeführt wird. Selbst der Zeitpunkt ist im Passivhaus unkritisch: auch mehrere Stunden Heizungsunterbrechung werden praktisch nicht bemerkt.

Die **Lufterneuerung** für die Bewohner darf über allen Maßnahmen zum Wärmeschutz und zur Luftdichtheit nicht vernachlässigt werden. Zuverlässig, in genau der richtigen Menge, am gewünschten Ort, pollenfrei und komfortabel ist die

Frischluftzufuhr durch eine geregelte Wohnungslüftung möglich. Hier stehen Lufthygiene und Behaglichkeit im Vordergrund. Durch die inzwischen am Markt verfügbaren hocheffizienten Geräte zur Wärmerückgewinnung kann diese Aufgabe mit einer entscheidenden Verbesserung der Effizienz verbunden werden.

In allen aufgeführten Punkten steht das Passivhaus für die Spitze der Entwicklung. Doch erst durch das **Zusammenspiel** von sehr guter Wärmedämmung, Luftdichtheit, Warmfenstern und einer Komfortlüftung mit hocheffizienter Wärmerückgewinnung wird es möglich, Häuser im mitteleuropäischen Klima so zu bauen, dass der verbleibende

Checkliste: Allgemeine Qualitätsanforderungen für ein Passivhaus [26]

- Alle Beteiligten sind aufgefordert, sich über die besonderen Anforderungen beim Bau eines Passivhauses kundig zu machen. Bitte fragen Sie im Zweifelsfall beim zuständigen Planer nach, bevor Sie (teure) Fehler machen. Zum Beispiel muss beim Einbau eines hochwertigen Fensters in eine für das Passivhaus geeignete Wand sorgfältig auf die Vermeidung von Wärmebrückeneffekten und einen luftdichten Anschluss geachtet werden. Falsche Materialwahl oder ein Abweichen von der planerischen Vorgabe kann unter Umständen einen Großteil der Anstrengungen beim einzelnen Bauteil wieder zunichte machen.
- Exzellenter Wärmeschutz und kompakte Gebäudehülle. Alle Bauteile der Außenhülle müssen rundum sehr gut wärmege-dämmt werden. Zum guten Wärmeschutz gehört beispielsweise wärmebrückenfreies Konstruieren, bei dem Kanten, Ecken, Anschlüsse und Durchdringungen besonders sorgfältig geplant werden. Zudem muss die Außenhülle so gut luftdicht sein, dass sie bei einem Drucktest $n_{50} < 0,6 \frac{1}{h}$ erfüllt.
- Warmfenster als Wärmesammler. Die Qualität der Fenster, einschließlich der Fensterrahmen, sollte im Regelfall dem Passivhausstandard entsprechen ($U_{w, eingebaut} < 0,85 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$).
- Komfortlüftung mit Wärmerückgewinnung. Die Komfortlüftung mit Wärmerückgewinnung bewirkt in erster Linie eine gute Raumluftqualität – in zweiter Linie dient sie der Energieeinsparung. Im Passivhaus werden mindestens 75 % der Wärme aus der Abluft über einen Wärmeübertrager der Frischluft wieder zugeführt. Die Lüftung darf akustisch nicht stören und muss dauerhaft hygienisch einwandfrei sein. Ein Schallpegel von 25 dB(A) als oberer Grenzwert hat sich in Passivhäusern bewährt.
- Auch im Passivhaus muss ein Restwärmebedarf gedeckt werden – es ist kein Nullheizenergiehaus. Es reicht aber aus, die Wärme durch eine Nacherwärmung der Zuluft, die ohnehin verteilt werden muss, zuzuführen. So kann die Lüftung gleichzeitig auch als Heizwärmeverteilung dienen.
- Effiziente Warmwasserbereitung. Da für die Heizung nur noch sehr wenig Energie verbraucht wird, wird die Warmwasserbereitung zum bedeutendsten Verbraucher. Mit thermischen Sollarkollektoren können bis zu 60 % der Energie für Warmwasserbereitung mit Sonnenenergie erzeugt werden.
- Stromspargeräte im Haushalt. Durch hocheffiziente Stromspargeräte wie Kühlschrank, Herd, Waschmaschine usw. kann der verbleibende Stromverbrauch deutlich gesenkt werden.
- Nutzerfreundlichkeit aller Komponenten. Alle eingesetzten Systeme müssen vom Nutzer einfach und komfortabel bedient werden können, damit die Anlagen effizient arbeiten und die Einsparungen auch tatsächlich erzielt werden.
- Qualitätssicherung und Zertifizierung. Die Einhaltung des Passivhausstandards setzt eine akkurate Planung und sorgfältige handwerkliche Ausführung voraus. Eine mehrstufige Qualitätssicherung beginnt bei der Entwurfsplanung mit der Passivhaus-Vorprojektierung, der Detailplanung mit dem Passivhaus Projektierungs Paket (PHPP) und umfasst die Qualitätssicherung am Bau durch erfahrene Fachleute.

Heizenergieverbrauch verschwindend gering ist und die Heizung eine funktionale Verbindung mit der Lüftung eingehen kann – mit Synergieeffekten für beide Bereiche, aber vor allem mit einer erheblichen Steigerung der Behaglichkeit und der Bauqualität.

Passivhäuser sind als freistehende Einfamilienhäuser, Reihenhäuser, Geschosswohnungsbauten, Wohnheime, Bürogebäude, Schulen, Sporthallen, Kindergärten und Produktionsgebäude realisiert worden. Eine Begrenzung seitens der Nutzungsmöglichkeiten gibt es nicht. Die in diesem Leitfaden zur Qualitätssicherung zusammengestellten Hinweise zur Planung und Ausführung von Passivhäusern gelten im übrigen auch ganz allgemein für andere gut gedämmte und luftdichte Konstruktionen. Insbesondere bei der nachträglichen Modernisierung im Gebäudebestand lassen sich alle hier genannten Maßnahmen und Hinweise anwenden.

1.3 Planungsgrundlagen für Passivhäuser

Die Energiebilanz eines Gebäudes (vgl. Abschnitt 2.6) legt die Grundlage für das Konzept und die wichtigsten Planungsgrundsätze für Passivhäuser: **Wärmeverluste verringern – passiv solare Gewinne optimieren.**

Im mitteleuropäischen, gemäßigten Klima ist die wichtigste Maßnahme die Verringerung der Wärmeverluste des Gebäudes. Das liegt daran, dass hier im Winter typischerweise längere Zeiten mit niedrigen Außentemperaturen und wolkenverhageltem Himmel vorkommen, in denen die solaren Gewinne gering sind.

Das Verringern der Wärmeverluste führt dazu, dass die solaren Gewinne und die internen Wärmequellen zu einem weit bedeutenderen Teil die Verluste ausgleichen können als bei den bisherigen Baustandards. In einem schlecht gedämmten Gebäude im Bestand kann es an einem sonnigen Winternachmittag zwar eine Weile wohliger warm werden, aber spätestens nach Einbruch der Dunkelheit ist die Wärme mangels Dämmung wieder weg und es muss geheizt werden. Anders im Passivhaus: **Die Wärmedämmung unterstützt hier die Wärmespeicherung** und nach einem sonnigen Wintertag bleibt

es noch tagelang warm im Haus. Sollte die Heizung einmal ausfallen, so würde die Raumtemperatur nur etwa ein Kelvin pro Tag abfallen.

Aus den Heizwärmebilanzen zahlreicher gebauter Passivhäuser ergeben sich folgende Erfahrungswerte für den Qualitätsstandard der Gebäudehülle: Die U-Werte für opake Bauteile sollten normalerweise kleiner als $0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ sein, anzustreben sind U-Werte von etwa $0,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Konstruktive Wärmebrücken müssen soweit wie möglich vermieden werden. Für Fenster und Türen im Passivhaus sollte im Regelfall der U-Wert des jeweiligen Bauteils (U_w (window) bzw. U_d (door)) kleiner oder gleich $0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ sein.

Fensterlüftung verursacht sehr hohe Lüftungswärmeverluste, wenn der hygienisch notwendige Luftwechsel in einer Wohnung gewährleistet werden soll. Im Passivhaus wird deshalb eine kontrollierte Lüftung mit Wärmerückgewinnung eingesetzt, welche die Lüftungswärmeverluste sehr stark reduziert. Im Passivhaus ist Fensterlüftung während der Heizperiode nicht mehr notwendig, denn die kontrollierte Lüftung sorgt kontinuierlich für frische, angenehme Luft. Trotzdem hat jeder Raum Fenster zum Öffnen, was besonders für die Sommerlüftung wichtig ist [27], [28].

Eine konsequent luftdichte Hülle des Gebäudes ist eine weitere wesentliche Voraussetzung, auf der das Passivhaus-Konzept beruht. Die Lüftungswärmeverluste werden durch eine Luftströmung durch Fugen, maßgeblich erhöht. Der Grenzwert für die Luftdichtheit liegt für das Passivhaus deshalb bei $n_{50} \leq 0,6 \text{ 1/h}$, denn nur so können die Lüftungswärmeverluste klein genug gehalten werden. Die Erfahrung zeigt, dass sogar Werte bis etwa $0,3 \text{ 1/h}$ zuverlässig und dauerhaft erreicht werden können und für eine optimale Auslegung empfehlenswert sind.

1.4 Integrale Planung

Der Planungsablauf, wie er in der HOAI [21], [22], [23] beschrieben ist, berücksichtigt alle wesentlichen Aspekte des Baugeschehens. Diese traditionelle Vorgehensweise kann jedoch das Praxiswissen von ausführenden Gewerken bei der Planung

nur schlecht integrieren, denn die Beteiligung von ausführenden Firmen an der Planung führt evtl. zu einem Konflikt bei der Vergabe.

Die komplexe Aufgabe Passivhaus verlangt jedoch, dass das Wissen von allen Baubeteiligten „zusammen gedacht“ wird. Integrale Planung bedeutet somit, dass Fachplaner für Haustechnik und Bauphysik – wie bisher schon der Statiker – frühzeitig in die Planungen zum entstehenden Bauwerk einbezogen werden. Dieser Ansatz wurde und wird im benachbarten Ausland (z. B. in der Schweiz [37]), bei Fertighausproduzenten und selbstverständlich bei vielen Forschungsprojekten zum Thema energieeffizientes Bauen schon erfolgreich praktiziert.

Der Ansatz „integrale Planung“ soll im weiteren sozusagen als Idealvorstellung im Hintergrund stehen. Die einzelnen Aspekte der Qualitätssicherung in Planung und Bauausführung werden in diesem Leitfaden trotzdem anhand des traditionell vorgegebenen Planungs- und Bauablaufs abgearbeitet. Einzelne Abschnitte werden, wo es sinnvoll erscheint, zusammengefasst:

- Grundlagenermittlung + Vorplanung
- Entwurfsplanung + Genehmigungsplanung
- Ausführungsplanung
- Vorbereitung der Vergabe + Mitwirkung bei der Vergabe
- Objektüberwachung
- Objektbetreuung und Dokumentation

Selbstverständlich spielen Planungsüberlegungen, die am Anfang z. B. beim Vorentwurf gemacht wurden, in spätere Phasen, z. B. die Genehmigung, hinein. Andererseits haben viele Probleme, die in späteren Phasen, z. B. bei der Ausführung (Objektüberwachung) auftreten, ihre Ursachen in einer verfehlten Vor- oder Entwurfsplanung. Wir werden versuchen, an den entsprechenden Stellen Querverweise zu geben. Besondere, uns wichtig erscheinende Sachverhalte, werden wir ggf. wiederholen.

Integrale Planung lohnt sich für alle Baubeteiligten

Der Ansatz der integralen Planung bedeutet auf den ersten Blick zunächst höhere Planungskosten, denn zusätzliche Planungsaufgaben müssen

selbstverständlich gesondert honoriert werden. Die Baukosten müssen dadurch aber nicht steigen. Im Gegenteil: Zusätzliche koordinierte Planungsüberlegungen sparen dem Auftraggeber erhebliche Baukosten und später Betriebs- bzw. Energiekosten. Der Nutzen für alle Beteiligten ist also leicht einsehbar.

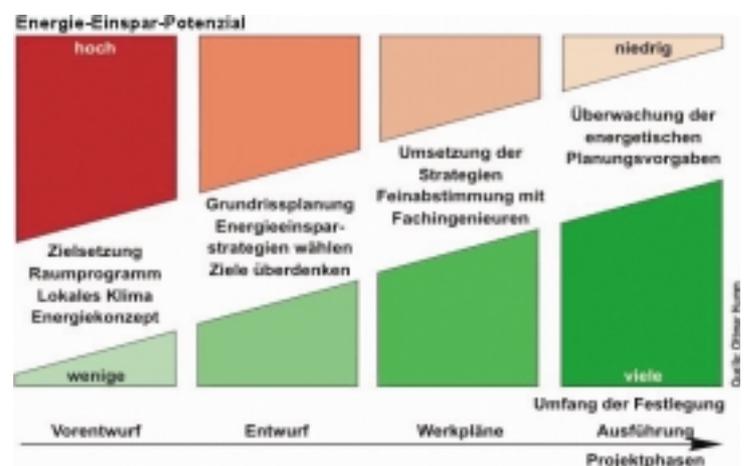
Beispiel: Wärmebrücken

Ein weiteres Beispiel betrifft das wärmebrückenfreie Konstruieren: hier bedarf es zuerst einer eindeutigen Zielvorgabe (Wärmebrücken vermeiden!), dann einer Konzeption beim Bauteil Aufbau und den Bauteilanschlüssen, die konsequent durchgehalten werden muss, und schließlich müssen ggf. einzelne Details auf Wärmebrückeneffekte hin überprüft werden.

Beispiel: Luftdichte Gebäudehülle

Die luftdichte Hülle muss in einem Luftdichtheitskonzept festgelegt werden. Später müssen die verschiedenen Anschlussdetails anhand dieser Konzeption – ggf. in Absprache mit den Gewerken – durchgeplant werden. Bei der Überprüfung der Ausführung müssen viele einzelne Details überprüft werden. Hier zeigt sich ganz besonders deutlich: Die Kosten für Qualitätssicherung (z.B. der abschließende Drucktest zur Bestimmung der Luftdichtheit des Gebäudes) sind unabdingbar, denn damit lassen sich verdeckte Mängel frühzeitig erkennen!

Abb. 2 Integrale Planung erleichtert den Überblick über das gesamte Baugeschehen: Das Energie-Effizienz-Potenzial von Entscheidungen in den verschiedenen Planungsstadien wird mit zunehmendem Baufortschritt immer kleiner. Zeichnung nach Humm [40]



Beispiel: Haustechnik

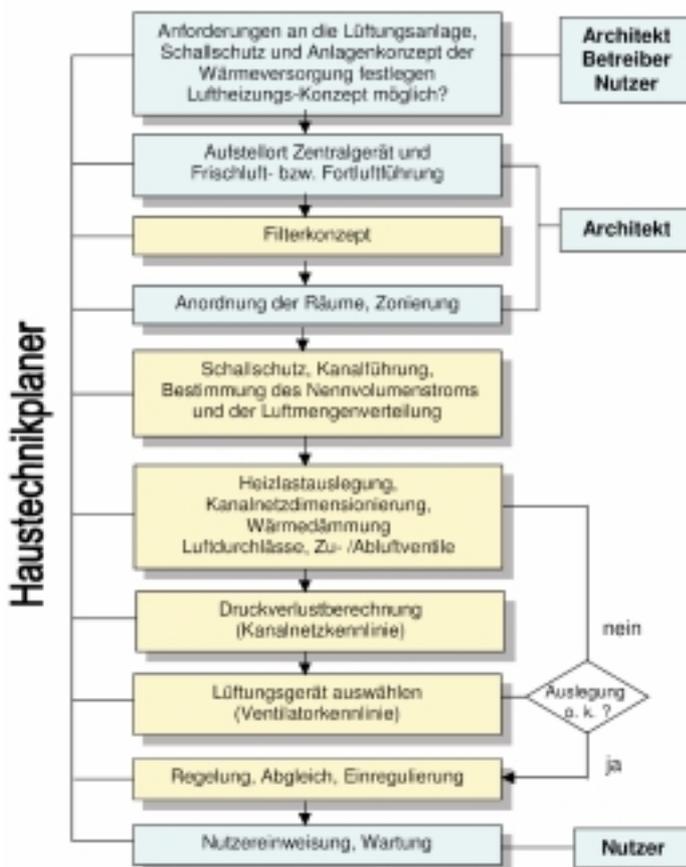
In den häufigsten Fällen läuft die Planungspraxis heute noch sequentiell, d.h. der Entwurf des Architekten, und damit die Grundlage für die Genehmigungsplanung, entsteht unabhängig von der Haustechnikplanung. Erst in der späteren Detailplanung wird der Haustechnikplaner herangezogen und mit der Aufgabe betraut, die Anlagentechnik in die vorhandenen Grundrisse zu integrieren. Diese Vorgehensweise erscheint bei konventionellen Gebäuden mit Fensterlüftung als hinreichend, aber auch hier könnte „integrale Planung“ sowohl Kosten als auch Verluste von Wärmeverteilsystemen (Warmwasser und Heizung) einsparen. Besondere Bedeutung kommt der Haustechnik im Passivhaus zu, hier liegt eine wesentliche Chance zur Kosteneinsparung durch einfache, kompakte und energetisch effiziente Systeme. Das Prinzip der integralen

Planung zieht sich durch alle Planungsschritte, von der Entwurfsplanung bis zur Ausführungsplanung. In den betreffenden Abschnitten wird jeweils im Einzelnen darauf eingegangen werden, hier soll nur ein Überblick über die entsprechenden Schnittstellen zwischen Architekten und Fachplanern sowie den unterschiedlichen Gewerken am Beispiel der Lüftungsplanung gegeben werden.

Vor Beginn der eigentlichen Planungsarbeit müssen die Anforderungen an die Lüftungsanlage und den Schallschutz zusammen mit dem Architekten, dem Auftraggeber bzw., falls schon bekannt, dem zukünftigen Nutzer geklärt werden. In diesem Zusammenhang wird auch das Anlagenkonzept der Wärmeversorgung festgelegt sowie die Entscheidung über den Einsatz eines Erdwärmeübertragers getroffen.

Die folgenden Planungsschritte sind in der Entwurfsphase vom Haustechnik-Planer in Zusammenarbeit mit dem Architekten durchzuführen. Fehler bzw. mangelnde Abstimmung, die bei der Grundrissgestaltung und Anordnung der Räume in Kauf genommen werden, rächen sich später durch ungünstige Luftführung oder unnötig lange Kanalnetze.

Abb. 3 Beispiel für integrale Planung: Erstellung eines Planungskonzeptes für die Lüftung im Passivhaus. Grafik: PHI



Informations-Organisation, Betriebsablauf und Kontrolle

In (großen) Industriebetrieben und selbstverständlich auch auf Baustellen ist schon seit längerem das Problem der „Informations-Verwaltung“ bzw. genauer das Problem der Betriebs-Organisation bekannt. Die Aufstellung eines Bauzeitenplanes ist einer der ersten Schritte der Baustellenorganisation. Dieser Plan muss ständig aktualisiert werden. Wie soll jedoch die Rückmeldung von Informationen von den anderen Akteuren, d.h. den ausführenden Betrieben gestaltet werden? Dies ist ein generelles Problem, das im Rahmen dieses Leitfadens nicht behandelt werden kann. Im Zusammenhang mit dem Bau von Passivhäusern gewinnt diese Fragestellung jedoch zunehmend an Bedeutung, da die Bauaufgabe komplexer ist als bei einem konventionellen Gebäude.

Die konsequente Umsetzung einer Planung, die wesentliche Details enthält, die vom bisherigen Baustandard abweichen, erfordert eine lückenlose

Bauüberwachung: Ist eine Person als Vertretung der Bauleitung ständig vor Ort, so kann sie die Zusammenarbeit der verschiedenen Gewerke überwachen und ggf. eingreifen und reorganisieren [39]. Bei kleinen Gebäuden dürfte dies jedoch finanziell

nicht ohne weiteres darstellbar sein. Es sollte den Akteuren jedoch von Anfang an bewusst sein, dass die letztendlich mögliche Sorgfalt bei der Ausführung durchaus mit dem Informationsstand der Beteiligten zusammenhängt.

Checkliste: Organisation, Bauüberwachung

- Absprache mit den verschiedenen Gewerken nach/vor Auftragsvergabe
- Arbeitsaufträge: wer muss wann was tun?
- Problemmeldung: kann nicht weitermachen, weil....
- Erledigungsbestätigung: wer hat wann was getan?
- Statusbericht und Überblick: wie ist der aktuelle Zustand des Projektes?

2. Grundlagenermittlung, Vorplanung und Entwurfsplanung

Entscheidungen im Vorplanungsstadium haben ein hohes Energie-Effizienz-Potenzial und sind außerdem ökologisch und finanziell sehr relevant. Gleichzeitig sind im Vorentwurfsstadium nur wenige Festlegungen gemacht: man hat noch alle Freiheiten, die es sinnvoll zu nutzen gilt [40], Abbildung 2. Eine Vereinfachung beim Grundriss oder die klare Strukturierung der Zonierung wirkt sich in wesentlich geringeren Baukosten aus und erleichtert dem Haustechnikplaner später die energieeffiziente Gestaltung von Lüftungs- und sonstigen Versorgungsleitungen [37], siehe auch Abschnitt 2.9, 3.6 und 5.5. Es ist deshalb wichtig, dass möglichst frühzeitig und unter Beteiligung aller Gewerke nach Lösungen für die besonderen Anforderungen beim Passivhaus gesucht wird. Auf welche Aspekte dabei besonders geachtet werden muss, wird im Folgenden erläutert. Grundlagenermittlung, Vorplanung und Entwurfsplanung werden dabei zusammengefasst.

2.1 Beschreibung der Bauaufgabe

Zieldefinition

Zu Beginn der Planung muss mit der Bauherrschafft eine Planungsgrundlage geschaffen werden. Eine klare Beschreibung des Ziels der Aufgabe

hilft beiden Seiten, Auftragnehmer wie Auftraggeber. Es gilt, insbesondere Zielkonflikte und etwaige Umsetzungsprobleme frühzeitig zu erkennen, zu benennen und zusammen mit der Bauherrschafft deren Wünsche und Anforderungen an das entstehende Gebäude zu klären. Gerade Bauherren, die ganz bewusst mit dem Wunsch „Passivhaus“ zum Architekten kommen, haben sich im Vorfeld schon mit der Materie auseinandergesetzt. Trotzdem oder gerade deswegen gilt es, Missverständnisse zu erkennen und ggf. auch über technische und architektonische Details aufzuklären.

Pflichtenheft, Lastenheft

Eine schriftliche Aufstellung über Art und Umfang der Bauaufgabe ist generell auch bei konventionellen Gebäuden angeraten. Beim Passivhaus muss mit der schriftlichen Formulierung der Qualitätsstandard von Bauteilen und sonstigen Komponenten definiert werden, über die sich ein Bauherr eines konventionellen Gebäudes bislang wenig Gedanken gemacht hat. Dies stellt allerdings auch eine Herausforderung für den Architekten dar.

Checkliste: Pflichtenheft / Lastenheft

- Bauaufgabe schriftlich formulieren:
 - dies ist Aufgabe des Auftraggebers / Bauherrn,
 - er sollte sich dabei vom Architekten beraten lassen,
 - dies schafft Klarheit über Wünsche, Vorstellungen und Prioritäten.
- Pflichtenheft muss mit dem Baufortschritt ergänzt werden:
 - haben sich Wünsche des Bauherren geändert?
 - haben sich Anforderungen als nicht realisierbar herausgestellt?
- Das Pflichtenheft dient als Grundlage für die spätere Dokumentation des Gebäudes.
- Das Pflichtenheft ist bei großen Bauvorhaben als Vertragsgrundlage unabdingbar, der „kleine Häuslebauer“ sollte es ebenfalls verlangen.
- Ein Bauzeitenplan ist auch bei kleinen Bauvorhaben hilfreich, vor allem, wenn verschiedene Gewerke zusammen arbeiten müssen.
- Die Festlegung von Prioritäten ist auch im Hinblick auf die Baukosten angeraten [37]: was ist mir besonders wichtig, worauf kann ich eher verzichten
- Materialauswahl etc. treffen
- Baukosten für den PH-Standard sind bisher noch etwa 5 bis 15 % höher als bei einem „Standard-Haus“. Dies wird verursacht durch qualitativ hochwertige Komponenten für
 - Dämmung von Wand und Dach,
 - Passivhaus-Fenster,
 - Lüftung mit Wärmerückgewinnung (WRG)Entscheidung für höhere Qualität bringt fühlbaren Zusatznutzen für den Bewohner

Kosten

Eine vorläufige Kostenschätzung wird anhand der Anforderungen bzw. Wünsche der Auftraggeber angefertigt. Das Budget beim Bauen ist in der Regel begrenzt. Zielkonflikte sollten möglichst bald erkannt werden. Die Baukosten für den Passivhaus-Standard sind bisher noch etwa 5 bis 15 % erhöht gegenüber einem „Standard-Haus“. Dies wird hauptsächlich verursacht durch qualitativ hochwertige Komponenten für Dämmung von Wand und Dach, Passivhausfenster sowie die Lüftung mit Wärmerückgewinnung (WRG).

Die Entscheidung für diese hochwertigen Komponenten bringt für den Bewohner jedoch einen fühlbaren Zusatznutzen. Es ist hier die Aufgabe des Architekten, Einsparmöglichkeiten an anderer Stelle aufzuzeigen. Ein heftig diskutiertes Beispiel ist in diesem Zusammenhang der klassische Keller, der von vielen selbstverständlich gewünscht wird, der jedoch einen ganz erheblichen Anteil an den Baukosten hat, siehe Abschnitt 2.4.

2.2 Bebauungsplan und Solarzugang

Die Vorgaben der Gemeinden für die Gestaltung eines Gebäudes (Bebauungsplan etc.) sind meist bindend. In aller Regel sind die Vertreter von Behörden jedoch aufgeschlossen gegenüber neuen Ideen. Werden Maßnahmen zum energieeffizienten Bauen von der Gemeinde finanziell gefördert, so liegt es schon in deren eigenem Interesse, die Bauvorschriften dahingehend zu optimieren und ggf. Ausnahmen zuzulassen.

Der Vorentwurf legt einige wichtige Bedingungen für das entstehende Gebäude konzeptionell fest. Die wichtigsten Aspekte und Einflussfaktoren, die in diesem Stadium berücksichtigt werden müssen, sind zum einen die Umgebung des Gebäudes, sie entscheidet wesentlich über den Solarzugang, d.h. das Potenzial für die – passive oder aktive – Nutzung von solarer Energie. Zum anderen ist es die Kompaktheit des Bauwerks, sie beeinflusst die Größe der Oberfläche des Gebäudes und damit auch die Kosten der wärmedämmenden Hülle.

Die umgebende Bebauung, das Gelände und die Orientierung zur Sonne

Die Umgebung des entstehenden Gebäudes entscheidet grundlegend über den Zugang zu solarer Einstrahlung, das heißt hier entscheidet sich, in welchem Maße überhaupt passiv-solare Energie zur Temperierung des Gebäudes genutzt werden kann. Ist der Solarzugang ungünstig, so sind die später realisierbaren passiv-solaren Gewinne gering und dies lässt sich in der Regel nur durch ein höheres Dämmniveau des Passivhauses kompensieren. Es ist durchaus möglich, ein Passivhaus auch mit geringem Solarzugang zu realisieren. Der dann erforderliche Mehraufwand für Dämmung führt jedoch zu höheren Baukosten.

Deshalb ist die Verschattung des Gebäudes durch die benachbarte Bebauung, die umgebende Bepflanzung und die Geländemodellierung zu prüfen. Es ist vorteilhaft, wenn die Hauptfassade nach Süden ($\pm 25^\circ$) orientiert werden kann und im Winter nicht wesentlich verschattet wird. Sollte eine Ost-West-Orientierung der Hauptfassaden im Bebauungsplan vorgegeben sein, so lohnt sich eine eingehende Diskussion mit den Behördenvertretern. Im Planungsleitfaden zu den 50 Solarsiedlungen in Nordrhein-Westfalen [19] sind die wesentlichen Randbedingungen, die bei der Auswahl des Standorts beachtet werden müssen, zusammengefasst. Weitere Hinweise finden sich auch in den Protokollbänden des Arbeitskreises Kostengünstige Passivhäuser [41]

Horizontoskop

Ein sehr einfaches aber effektiv zu handhabendes Gerät zur Bestimmung der Horizontverschattung bzw. der an einem Standort gegebenen Besonnung ist das Horizontoskop [43] [44].

Es besteht im Wesentlichen aus einer transparenten Halbkugel, unter welche ein Diagramm mit Linien gelegt wird, die den Sonnenstand für einen bestimmten Breitengrad zu den verschiedenen Jahreszeiten repräsentieren, siehe Abbildung 4. Projiziert man das „Spiegelbild“ der Horizontlinie, das man auf der Glaskugel sieht, wenn man senkrecht von oben blickt, auf das Diagramm der Sonnenstandslinien, so kann man mit einem Blick erfassen, wie lange der Standort zu einer bestimmten Jahreszeit besonnt sein wird.

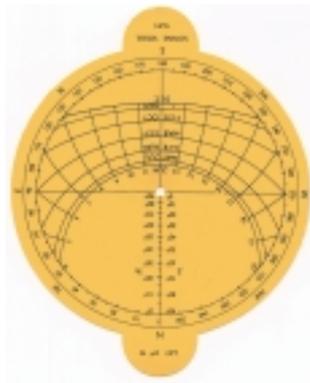


Abb. 4 Projektionsebene des Horizontoskops mit Sonnensstandsdiagramm (oben) [43] [44]. Horizontlinie der benachbarten Bebauung bzw. Bepflanzung bei Blick Richtung Süden (oben rechts). Schattenwurf der Horizontlinie auf der Glas-kugel, senkrecht projiziert auf die „Sonnensstands-skala“ des Horizontoskops. Demnach ist an diesem Standort im Winter (November und Dezember) Besonnung nur zwischen 10 Uhr und 13 Uhr gegeben. Fotos: PHI

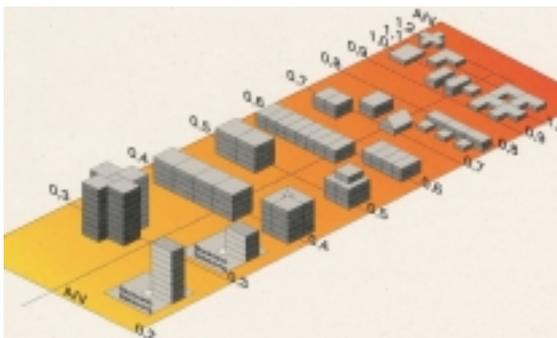
Kompaktheit des Gebäudes

Die Gliederung eines Gebäudes (Geschossigkeit, Dachform, Gauben, Erker, Versprünge etc.) ist oft vom Bebauungsplan bzw. von der örtlichen Gestaltungssatzung reglementiert.

Für ein energieeffizientes und kostengünstiges Passivhaus ist der Grundsatz hoher Kompaktheit von entscheidender Bedeutung. Es gilt zwar auch hier: Es ist selbstverständlich möglich, auch bei einer stark zergliederten Gebäudehülle ein Passivhaus zu realisieren. Diese Hülle wird dann jedoch aufwändig in der Herstellung und somit teuer.

Daneben spielt für die Kompaktheit des Gebäudes die absolute „Größe“ des Hauses eine entscheidende Rolle. Eine oft verwendete Kennzahl hierfür ist das Verhältnis von Gebäudeoberfläche A [m^2] zum umbauten Volumen V [m^3]. Dieses A/V -Verhältnis ist für kleine, freistehende Einfamilienhäuser oft extrem ungünstig, siehe Abbildung 5. Der Bau eines Passivhauses wird damit aufwändig, weil die große Oberfläche besonders gut gedämmt werden muss. Reihenhäuser stehen Wand an Wand und haben somit bei gleicher Wohnfläche weniger freie Umfassungsflächen. Bei Geschosswohnungen in „großen“ Gebäuden wird das Verhältnis besonders günstig ($< 0.3 \frac{1}{m}$). Es lohnt sich also auch im Sinne der Energieeffizienz auf eine gute Nachbarschaft zu bauen.

Abb. 5 Kompaktheit verschiedener Gebäudeformen. Anzustreben sind A/V -Verhältnisse $< 0,7$, d.h. möglichst Reihenhäuserbebauung [41], Bild entnommen aus [42].



Pulldach für das Passivhaus?

Die Dachform, Satteldach oder Pulldach, ist in diesem Zusammenhang ein oft heftig diskutiertes Thema. Für die Funktion eines Gebäudes als Passivhaus ist die Dachform allerdings überhaupt nicht entscheidend.

Ein Pulldach stellt jedoch einen guten Kompromiss zwischen effektiver Nutzung des umbauten Raumes (günstiges Verhältnis von nutzbarer Wohnflä-



Abb. 6 Reihenhaus noch ohne Nachbarhaus. Man erkennt hier sehr deutlich das Missverhältnis von Oberfläche zu umbautem Volumen. Haus der Familie Maintz, Solarsiedlung Aachen. Architekt: Gerhard Weiss, Aachen; Foto: Institut für Landes- und Stadtentwicklungsforschung und Bauwesen (ILS NRW), Aachen



Abb. 7 Auch bei einer klassischen Bauform können großzügige Süd- fensterflächen realisiert werden. Hier wurde die Gaube im Obergeschoss für das Passivhaus optimiert. Haus der Familie Meyer-Gehlen in Mönchengladbach Odenkirchen, Architekt: M. Brausem, Köln; Foto: ILS NRW, Aachen

che zu Gebäudeoberfläche) und den Vorteilen eines geneigten Daches im Vergleich zum Flachdach dar. Außerdem erlaubt es eine kostengünstige Erhöhung der südgerichteten, im Winter Solarstrahlung empfangenden Flächen; der First wird auf die Südgrenze des Hauses verschoben. Damit reduziert sich für die dahinterliegenden Nachbarn die winterliche Verschattung bei gleicher Gebäudehöhe und somit verbesserter Raumausnutzung, siehe Abbildung 8.

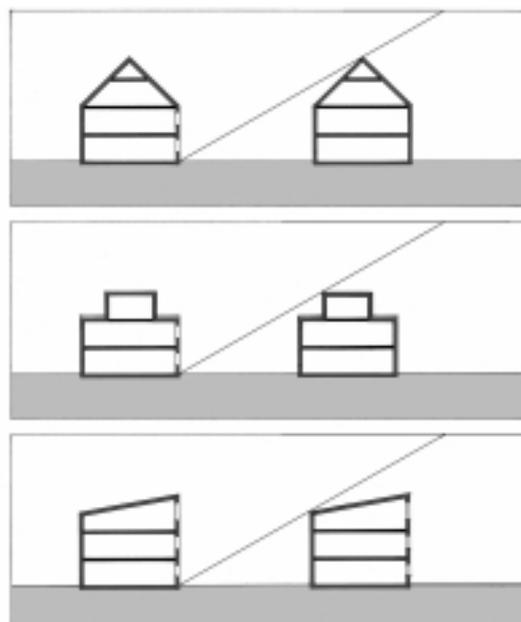
Dachflächenfenster bedeuten in Bezug auf den hochwertigen Wärmeschutz heute noch einen Kompromiss, weil das Fenster in der wasserführenden Ebene angeordnet werden muss, siehe auch Abschnitt 3.4 und die Bemerkungen zu Abbildung 64 bis Abbildung 67. Räume unter großen annähernd horizontal orientierten Dachfenstern sind zudem im Sommer stark überhitzungsgefährdet. Aus diesen Gründen wurde in der Vergangenheit bei vielen Passivhäusern ein Pultdach mit südlich orientierter Hauptfassade gewählt. Es bleibt der Abwägung von Bauherr, Architekt und Genehmigungsbehörde überlassen, welche Dachform schließlich gewählt wird.

Grundstückszuschnitt und bauliche Dichte

Um die gegenseitige Verschattung von Häuserzeilen zu vermeiden, muss ein Mindestabstand eingehalten werden (Abstandsflächen). Weil die Grundstücksfläche jedoch beim Bauen den größten Kostenfaktor darstellt, ist es unter Umständen

sinnvoll, die Grundstücke eher schmal anzulegen, d.h. mit einer Breite ≤ 6 m und mehrere Reihenhäuser nebeneinander anzuordnen. Die maximale Tiefe der Gebäude wird dann durch die Notwendigkeit einer ausreichenden Belichtung der Räume begrenzt auf maximal 12...16 m. Man beachte, dass manche Bauordnungen bei der Berechnung der

Abb. 8 Bei gleichem Sonnenstand ergeben sich für Staffeldach und Pultdach geringere notwendige Abstände zum Nachbarhaus. Staffeldach und Pultdach sind deshalb für optimale Besonnungsverhältnisse einer Bebauung günstiger [41].



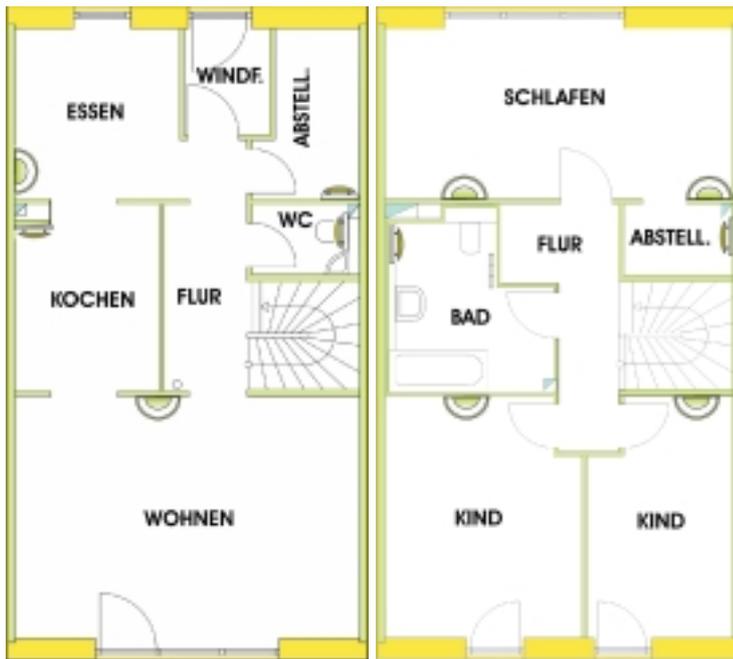


Abb. 9 Reihenhaus in Hannover Kronsberg, klare Grundrissgestaltung mit kurzen Leitungswegen für Warmwasser aus dem Steigschacht in die Küche (EG) und das Bad (OG). Die Abluft wird mit kurzen Kanälen in Küche, Bad und WC gefasst und im Steigschacht zur Technikzentrale im DG gefördert. Die Frischluft wird mit Weitwurfdüsen, die in der Nähe des Steigschachtes angeordnet sind, in Wohn-, Schlaf- und Kinderzimmer eingeblasen. Der Flur dient als Überströmzone. Haustechnikplanung: InPlan, Pfungstadt. Architekten: Rasch+Partner, Darmstadt

Abstandsflächen nur Wandflächen anrechnen und deshalb die eigentlich für die Besonnung günstigeren Dachformen wie Staffeldach und Pultdach benachteiligen, siehe auch Abbildung 8. Zur weiteren Diskussion der baulichen Dichte sei auf die Literatur verwiesen [41].

Im Geschosswohnungsbau ist besonders bei kleinen Bauwerken mit jedem zusätzlichen Stockwerk eine erhebliche Flächensparnis möglich, die auch zu einer höheren Kompaktheit des Gebäudes führt. Ab dem 5. Stockwerk ist nur noch eine geringe Verbesserung möglich, außerdem sind dann zusätzliche Aufwendungen, wie zum Beispiel Aufzüge notwendig [41].

2.3 Grundrissgestaltung

Eine klare Grundrissgestaltung erleichtert die Planung und die spätere Realisierung des Gebäudes in vielerlei Hinsicht. Im Zusammenhang mit der energieeffizienten Gestaltung ist hier eines besonders wichtig: Die Wege für Versorgungsleitungen, sei

es Warmwasser, Abwasser oder Zu-/Abluft, sollten möglichst kurz gehalten werden. Dies bedeutet, dass die Nassräume wie Bad, WC und Küche am besten nahe beieinander oder ggf. übereinander angeordnet werden, siehe Abbildung 9. Die Abwasserführung ist dann ebenfalls kostengünstiger zu realisieren.

Die Anordnung von Wohn- und Funktionsräumen sollte eine klare Luftführung zulassen, d.h. die Wohn- und Schlafräume erhalten frische Zuluft und in Küche, Bad und WC wird die verbrauchte Abluft abgesaugt. Die Flure dienen als Überströmzonen. Die Kanäle für den Transport von Zu- und Abluft sollten aus Gründen der Elektroeffizienz der Lüftungsanlage (Strömungsverluste) möglichst kurz gehalten werden. Im Grundriss in Abbildung 9 sind alle Kanäle in einem Steigschacht zusammengefasst. Die Zuluftelemente sind als Weitwurfdüsen ausgeführt, so dass keine langen Kanäle innerhalb der Wohn- und Schlafräume verlegt werden müssen. Dies hat nicht zuletzt auch gestalterische Vorteile. Weitere Details zur Luftführung sind in Abschnitt 2.9 dargestellt.

2.4 Keller oder kein Keller?

Selbstverständlich ist auch bei Passivhäusern eine Unterkellerung des Gebäudes möglich. In vielen Passivhäusern wurde bisher der Keller allerdings weggelassen, um Baukosten zu sparen. Stattdessen wurden ebenerdige unbeheizte Abstellräume an anderer Stelle auf dem Grundstück vorgesehen. Letzten Endes ist es eine Frage der Baukosten und der regionalen Gepflogenheiten, ob ein Keller realisiert wird oder nicht. Wird ein Keller realisiert, dann müssen jedoch einige Gesichtspunkte beachtet werden.

Als erstes muss prinzipiell eine klare Entscheidung getroffen werden, ob der Kellerraum zum beheizten Bereich gehören oder ob er außerhalb der thermischen Hülle liegen soll.

Liegt der Keller innerhalb der thermischen Hülle, so ist er wie der sonstige beheizte Wohnraum zu behandeln: Die Bodenplatte wird gedämmt, außen oder innen, wie in Abbildung 43 bis Abbildung 48 dargestellt. Die das Erdreich berührenden Wände müssen mit einer Perimeterdämmung versehen werden, Abbildung 12 und Abbildung 28. Alle Kellerräume innerhalb der luftdichten (!) Hülle müssen mit Zuluft- bzw. Abluft versorgt werden.



Abb. 10 Treppenhaus als nicht beheizter Vorbau außerhalb der thermischen Hülle. Der Zugang zum ebenfalls nicht beheizten Keller erfolgt über einfache Türen vom Treppenhaus her. Passivhaus in Darmstadt Kranichstein. Architekten: Bott, Ridder und Westermeyer, Stuttgart. Foto: PHI

In Abstellräumen kann der Luftwechsel ggf. auf $0,3 \frac{1}{h}$ vermindert werden.

Die Zugänge aus den anderen Wohnräumen in die Keller(wohn)räume sind problemlos mit einfachen Türen möglich. Türen nach draußen sind jedoch wie Haustüren auszuführen, deren Wärmeschutz und Luftdichtheit den Kriterien von passivhaus-tauglichen Bauteilen entsprechen müssen, siehe Abschnitt 3.5.

Ist der Keller „kalt“, liegt er also außerhalb der thermischen Hülle, so wird die Kellerdecke gedämmt, entweder oberhalb der Decke unter dem Estrich, siehe Abbildung 49, oder aber unterhalb der Kellerdecke. Bei massiven Wänden muss auf die thermische Entkopplung der aufgehenden Wand geachtet werden, (wärmebrückenfreies Konstruieren, Abschnitt 3.2). D.h. jede Wand muss in der horizontalen Dämmebene mit einer Reihe Porenbetonsteinen o.ä. Material versehen werden, wie in Abbildung 45 für eine Innenwand gezeigt. Zugänge von den beheizten Wohnräumen zum kalten Keller müssen mit wärmegeämmten und luftdichten Türen ausgestattet sein, alle Wände eines Treppenabgangs müssen gemäß Passivhausstandard gedämmt werden. Ein so gestalteter Zugang zum Keller ist sehr aufwändig und verursacht deshalb hohe Kosten. Aus diesem Grund wird emp-

fohlen, die Zugänge zu einem kalten Keller nur von außen her vorzusehen. Dann können kostengünstige Türen verwendet werden und die Gestaltung der wärmegeämmten Wand- und Deckenbauteile ist ebenfalls einfach.

Wird vor die wärmegeämmte Wand bzw. Haustür ein leichtes evtl. gläsernes Treppenhaus oder ein Windfang gestellt, so kann der Zugang zum Keller ebenfalls aus dem „kalten“ Treppenhaus her erfolgen. Der Bewohner muss also nicht ganz nach draußen, um in den Keller zu gelangen, Wohnraum und Keller sind jedoch klar voneinander getrennt, Abbildung 10.

2.5 Dämmung, Wärmebrücken, Luftdichtheit

Neben den oben genannten grundlegenden Entscheidungen zur Kompaktheit, Orientierung und Verschattungsfreiheit ist eine einfache geometrische Gestaltung aller Bauteile für die spätere Detailplanung, die Bauausführung und nicht zuletzt die Baukosten besonders wichtig. In Abbildung 11 und Abbildung 28 sind die wichtigsten Planungsgrundsätze für eine luftdichte und wärmebrückenfreie Konstruktion zusammenfassend dargestellt. Die Anschluss-Details und weitere Bemerkungen zur Detailplanung sind in Abschnitt 3 zu finden.

Während der Vor- und Entwurfsplanung muss entschieden werden, welche Wand- und Dachaufbauten eingesetzt werden. In Deutschland sind bislang vor allem vier Wandaufbauten üblich:

- Holzrahmenbau mit Wärmedämmung zwischen den Holzständern,
- Massivbau mit vorgesetztem Wärmedämmverbundsystem (WDVS)
- Fertig gedämmte vorgefertigte Wandelemente, z.B. aus Leichtbeton.
- Beton-Schalungssteine oder Wandelemente als verlorene Schalungen, welche die Dämmschicht darstellen und mit Beton als tragendem Kern gefüllt werden.

Verblendmauerwerk, hinterlüftet und selbsttragend werden in Norddeutschland inzwischen gerne im

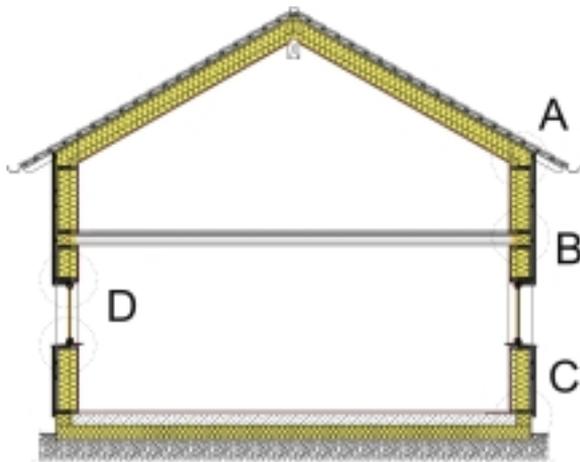


Abb. 11 Veranschaulichung der Planungsgrundsätze für das energieeffiziente Bauen [63].
Eine durchgehende Dämmebene (gelb) mit angemessener Dämmstärke. Möglichst wärmebrückenfreie Anschluss-Details an allen Kanten.
Eine zusammenhängende luftdichte Schicht (rot), die an allen Anschluss-Details sauber verbunden werden muss. Die bezeichneten Anschluss-Details A (Traufe), B (Deckenanschluss), C (Fußpunkt) und D (Fensteranschluss) werden später in Abschnitt 3.2 im einzelnen dargestellt. Grafik: PHI



Abb. 13 Galerie und Treppenhaus sind bei diesem Passivhaus auf Betonkonsolen gelagert. Die Konsolen stehen allesamt VOR der wärmedämmenden Hülle (verputztes WDVS im weißen Bereich) und sind nur an wenigen Punkten am Haus verankert. Dadurch werden Wärmebrücken konsequent vermieden. Blick auf die Nordfassade. Das oberste Geschoss (gelb) wurde in Holz-Leichtbauweise erstellt.
 Passivhaus ISIS, Vauban, Freiburg,
 Architekt: Meinhard Hansen, Freiburg. Foto: PHI



Abb. 12 Perimeterdämmung im Sockelbereich.
 Haus der Familie Meyer-Gehlen in Mönchengladbach-Odenkirchen,
 Architekt: M. Brausem, Köln.
 Foto: ILS NRW, Aachen

Zusammenhang mit Holz-Leichtbau-Wänden realisiert, vgl. Abbildung 31. Die Dämmebene wird dabei in die Holz-Rahmen-Wand gelegt. Sie kann somit in jeder gewünschten Stärke ausgeführt werden und ist damit für das Passivhaus sehr gut geeignet.

Wandaufbauten mit zweischaligem Mauerwerk sind mit den Dämmstärken im Passivhaus prinzipiell möglich, wenn die äußere Schale mit Edelstahl-Ankern fixiert wird, ggf. muss eine Prüfung/Zulassung im Einzelfall vorgenommen werden. Beim Dach ist die Holzkonstruktion weit verbreitet, die inzwischen oft mit Doppel-T-Trägern ausgeführt wird, um die hohen Dämmschichten (etwa 40 cm bei WLГ 040) zu erreichen. Massive Dachkonstruktionen mit oberseitiger Dämmung sind bei Flachdächern oder flach geneigten Pultdächern ebenfalls verbreitet.

Welcher Wand- bzw. Dachaufbau gewählt wird, ist für die Realisierung eines Passivhauses letztlich zweitrangig. Hier stehen baupraktische Überlegun-

Planungshinweise: Wärmebrücken und Luftdichtheit

- Einfache geometrische Gestaltung der Gebäudehülle bevorzugen
- Luftdichte Ebene konzeptionell definieren und ihre Lage (meist innen) festlegen
- Entscheidung über Wand- und Dachaufbau treffen
- Gegebenenfalls untergeordnete Bauteile wie z.B. Treppenhäuser und Keller oder Abstellräume (Abbildung 13) „im Kalten“ um die thermische Hülle herum anordnen
- Konstruktive Wärmebrücken durch auskragende Bauteile vermeiden
- Luftdichte Anschlüsse gelingen bei geometrisch klar gestalteten „einfachen“ Bauteilen meist leichter als bei komplizierten Anschluss-Situationen.

gen und regionale Vorlieben im Vordergrund. Passivhäuser lassen sich mit allen gängigen Bauweisen realisieren, wenn man schon bei der Planung auf die höheren Dämmschichtdicken achtet.

Für die luftdichte Konstruktion von Wand und Dach hat die Auswahl des Bausystems allerdings weitreichende Konsequenzen. Das Konzept der luftdichten Hülle sieht bei einer Holz-Leichtbau-Konstruktion (Holzwerkstoffplatte oder Folie mit Verklebung an den Stößen) prinzipiell anders aus als bei massiven Bauteilen (Innenputz ist luftdichte Ebene). Beide Ansätze haben ihre spezifischen Vor- und Nachteile. Im Stadium der Vor- bzw. Entwurfsplanung sollte das Konzept der luftdichten Hülle in den Grundzügen ausgearbeitet und festgelegt werden.

Die Beschreibung einzelner Wand und Dachaufbauten und weitere Erläuterungen zum luftdichten und wärmebrückenfreien Konstruieren sind der Übersichtlichkeit halber in Abschnitt 3 zu finden. Dort sind auch weitergehende Überlegungen im Rahmen der Detailplanung zusammengefasst.

2.6 Energiebilanz, Heizwärme Kennwert (PHPP)

Wie aus dem bisher Gesagten hervorgeht, ist die Erstellung der Wärmebilanz des Gebäudes das wichtigste Hilfsmittel bei der Planung eines Passivhauses. Die Energiebilanz des entstehenden Gebäudes begleitet die Planung vom ersten Entwurf an. Sie muss später Schritt für Schritt verfeinert werden.

Im Stadium des Vorentwurfs werden die Bauteile mit typischen Eigenschaften fürs Passivhaus erst „vorläufig“ rechnerisch zu einem Haus zusammengefügt. Man bekommt so eine erste grobe Abschätzung für den Heizenergiebedarf, die in Abbildung 14 rot dargestellt ist.

Als obere Grenze für den Heizenergiebedarf dürfen beim Passivhaus $15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ nicht überschritten werden. Es ist also wichtig, dieses vorläufige Zwischenergebnis zu kennen und zu wissen, ob der Entwurf belastbar ist im Hinblick auf die Realisierung eines funktionierenden Passivhauses.

Zu den Plan-Skizzen des Vorentwurfs – man beachte, dass die größeren Stärken von Wand und Dach

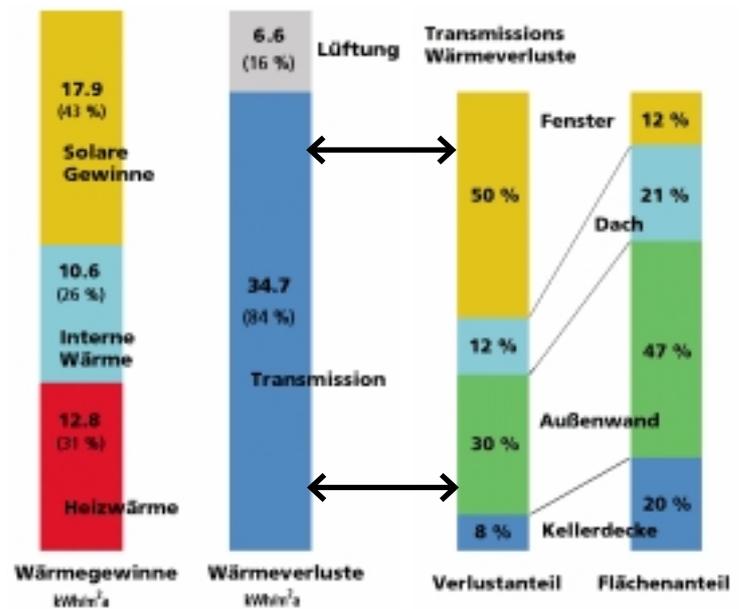


Abb. 14 Jahres-Heizwärmebilanz nach EN 832 eines beispielhaften Passivhauses. Die Verlustbeiträge, Transmissionwärmeverluste und Lüftungswärmeverluste, stehen im Gleichgewicht mit den solaren Gewinnen, den internen Wärmequellen und dem restlichen aufzubringenden Heizwärmebedarf. Auf der rechten Seite sind die Transmissionswärmeverluste durch die einzelnen Bauteile (Summe = 100 %) im Vergleich zu deren typischen Flächenanteilen an der gesamten Hüllfläche einzeln dargestellt [45], [47], [63]. Grafik: PHI

in ihren Proportionen richtig dargestellt werden – kommt also die erste Rechen-Skizze der Energiebilanz: damit lassen sich die Vorstellungen in Bezug auf den erforderlichen Aufwand einschätzen. Mit dem Passivhaus Projektierungs Paket (PHPP, basierend auf EN 832 [45] [47]) einem gut eingeführten Berechnungsverfahren für Passivhäuser, steht dem Planer ein Werkzeug zur Verfügung, mit dem die Energiebilanz und mithin die Funktionstüchtigkeit des entstehenden Passivhauses vom ersten bis zum letzten Planungsschritt verfolgt werden kann. Hier fließen alle energetisch relevanten Informationen über das entstehende Gebäude zusammen.

Zur Berechnung der Wärmebilanz werden die Außenoberflächen der Gebäudehülle auf der Basis der Bauteilaußenmaße ermittelt. Zu jedem Bauteil wird der U-Wert berechnet. Bei Fenstern wird der U-Wert des Rahmens (U_f) und der Verglasung (U_g), der Wärmebrückenverlustkoeffizient am Glasrand (Ψ_g) und der Einbau- Ψ -Wert benötigt, um die Wärmeverluste des Fensters bzw. dessen U-Wert zu berechnen ($U_{W, eingebaut}$). Zur Bestimmung der solaren Gewinne, die durch die verglasten Flächen ins Gebäude eintreten, wird der g-Wert der Verglasung benötigt und die Himmelsrichtung, in welche die Öffnung zeigt.

In Abbildung 14 werden die wesentlichen Ergebnisse der Energiebilanz eines typischen Passivhauses beispielhaft dargestellt. Links ist das Gleichgewicht zwischen Transmissionswärmeverlusten und Lüftungswärmeverlusten sowie den passiv solaren Wärmequellen durch die Fenster, den internen Wärmequellen und der Heizwärme aufgetragen. Die sogenannte „freie Wärme“ (Q_f), ist die Summe aus den solaren Gewinnen (Q_s) und den inneren Wärmequellen (Q_i). Um daraus die tatsächlich für die Energiebilanz zur Verfügung stehenden Wärmegevinne (Q_G) zu erhalten, wird gemäß EN 832 ein Ausnutzungsgrad für die freie Wärme berechnet. Die verbleibende Differenz zwischen den nutzbaren Gewinnen und den Verlusten stellt den restlichen Heizwärmebedarf des Passivhauses dar ($Q_H = Q_v - Q_G$), der dem Gebäude von einem klein dimensionierten Wärmeerzeuger zugeführt werden muss.

Die inneren Wärmequellen Q_i rühren von den Aktivitäten der Bewohner her. Sie stellen die Wärmeabgabe von Personen und die Abwärme durch den Betrieb von elektrischen Geräten dar. Für Wohnhäuser wird hier bewusst ein Wert von nur $2,1 \text{ W/m}^2$ angenommen. Die EnEV bzw. die zugrunde liegende Norm DIN 4108 setzt hier 5 W/m^2 an. Das ist in der Regel deutlich zu hoch und kann bei Passivhäusern zu Auslegungsfehlern führen [49], [51], [52], [53].

Im oben genannten Gebäude ergäbe sich unter einer Annahme von 5 W/m^2 ein mehr als doppelt so hoher Beitrag für Q_i und der Heizwärmebedarf errechnete sich dann zu lediglich $5 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. Die gemessenen Heizwärmeverbräuche im realisierten Beispielgebäude liegen deutlich höher.

Rechts in Abbildung 14 sind die Transmissionswärmeverluste getrennt nach Bauteilen aufgegliedert. Wärmebrückeneffekte werden in der Bilanz später separat berechnet, sie sind in dieser Abbildung zunächst den jeweiligen Bauteilen zuge-schlagen.

Im Umgang mit der Energiebilanz wird sehr schnell klar, dass Obergrenzen für die verschiedenen wärmetechnischen Kenngrößen der Bauteile eingehalten werden müssen, damit der für das Passivhaus resultierende Heizwärmebedarf (Q_H) kleiner als der oben genannte Grenzwert von $15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ bleibt, siehe auch Abschnitt 3.

Anteil der Fensterflächen kritisch prüfen

Aus Abbildung 14 wird ein weiterer Aspekt deutlich: die Gewichtung der Flächenanteile der verschiedenen Bauteile im Verhältnis zu ihren Wärmeverlusten. Die opaken Bauteile Wand, Dach und Kellerdecke bzw. Bodenplatte haben im Passivhaus U-Werte von $0,1 \dots 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Die eingebauten Fenster ($U_{W,\text{eingebaut}} \leq 0,85 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$) bzw. Türen ($U_{D,\text{eingebaut}} \leq 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$) weisen zwar auch sehr gute Dämmwerte auf. Die Wärmeverluste durch die Fenster sind im Vergleich zu Wand, Dach und Boden jedoch immer noch sehr viel höher. Im Beispiel sind 12 % Fensterflächenanteil für 50 % der Wärmeverluste des Hauses verantwortlich. Andererseits ermöglichen erst diese Fensterflächen die Nutzung der passiv-solaren Einstrahlung.

Das Verhältnis von solaren Gewinnen und den Wärmeverlusten durch die Fenster wird bei jedem Gebäude je nach Standort und Orientierung anders ausfallen. Es lohnt sich deshalb schon im Vorentwurfsstadium, mit den einzelnen Flächen-Parametern des Gebäudemodells im PHPP zu „spielen“, um die Auswirkungen verschiedener Ansätze zu sehen. Folgende Fragestellungen sollten in diesem Zusammenhang eingehend geprüft werden:

- Werden große oder kleine südorientierte Fensterflächen gewünscht? Wie hoch sind die Kosten hierfür?
- Wie viel Fensterflächen in andere Himmelsrichtungen sind notwendig bzw. gewünscht?
- Wie wirkt sich die Verschattung der einzelnen Fensterflächen auf die Energiebilanz aus?

Die Beantwortung der Frage „Fenstergröße“ sollte insbesondere auch mit dem Bauherrn abgestimmt werden, denn hier muss möglichst frühzeitig eine bewusste Entscheidung getroffen werden. Die Fenstergröße ist – abgesehen von den oben genannten Punkten und dem sommerlichen Wärmeschutz, die mit dem PHPP geprüft werden müssen – weitgehend unabhängig von der Erreichung des Passivhaus-Standards, sie beeinflusst jedoch die Architektur des Gebäudes und nicht zuletzt auch die Baukosten nicht unwesentlich.

2.7 Sommerlicher Wärmeschutz

Die Frage nach der Größe von Fensterflächen in verschiedene Orientierungen spielt bei der Abschätzung des sommerlichen Innenraumklimas eine wesentliche Rolle. Passivhäuser mit ihrer dicken Dämmschicht sind im Sommer einfacher auf angenehm kühlen Innentemperaturen zu halten als weniger gut gedämmte Gebäude. Diese zunächst durch Simulationen gewonnene Erkenntnis wird von der Erfahrung in den gebauten Passivhäusern gestützt. Die Häufigkeit, mit der sommerliche Innentemperaturen über 25° C überschritten werden, kann bei typischen Passivhäusern unabhängig von der Bauweise auf maximal 10 % der Stunden pro Jahr begrenzt werden, wenn die nachfolgend genannten Regeln konsequent umgesetzt werden [27]. Temperaturspitzen von über 30° C treten dann nur sehr selten auf. Folgende Hinweise sollten im Hinblick auf einen guten sommerlichen Wärmeschutz beachtet werden:

Der **Anteil der Fensterfläche** an der südorientierten Hauptfassade sollte ohne besondere Sonnenschutzmaßnahmen 25 bis 35 % nicht überschreiten. **Dachüberstände oder kleine Balkone** über den Südfenstern mit einer Tiefe bis zu 1,25 m erhöhen den Heizenergiebedarf im Winter kaum, verringern die Temperaturspitzen im Sommer aber erheblich. Mit solchen Überständen kann bei nicht zu großen Südfenstern auf einen temporären Sonnenschutz verzichtet werden.

Kann ein Passivhaus z.B. wegen Vorgaben des Bebauungsplanes mit der Hauptfassade nicht nach Süden orientiert werden, so sollten die **Fensterflächen auf der West- oder Ostseite** auf das gesetzlich vorgeschriebene Mindestmaß, das zur Belichtung der Räume notwendig ist (10 % der Grundfläche eines Raumes, je nach Landesbauordnung [31]), begrenzt werden. Dachüberstände bringen hier keine merkliche Entlastung. Für größere Fenster, die in dieser Richtung orientiert sind, ist ein temporärer Sonnenschutz die einzig wirksame Maßnahme.

Außenliegende Rollos oder sonstige Sonnenschutzmaßnahmen sind für den sommerlichen Wärmeschutz am besten geeignet, weil die dahinter liegenden Scheiben nicht erwärmt werden. Innenliegende oder im Scheibenzwischenraum liegende Rollos sind jedoch besser vor Witterungseinflüssen geschützt. Wird ein Rollo direkt hinter der ersten



Abb. 15 Verschattung der Südfassade durch vorgestellte Stahlkonstruktion mit schmalen Balkonen.
Haus der Familie Hinsenhofen, Detmold,
Architekt: H.W. Hinsenhofen, Detmold.
Foto: ILS NRW, Aachen

außenliegenden Scheibe platziert, so ist seine Sonnenschutzwirkung fast so gut wie bei der außenliegenden Verschattung. Verbund- und Kastenfenster haben hier einen konstruktiven Vorteil, denn hier kann eine Jalousie wind- und wettergeschützt im Luftspalt angeordnet werden. Verschattungselemente aus Holz, wie Schiebe- oder Klappläden, sind langlebig und bieten zudem architektonische Gestaltungsmöglichkeiten.

Einen bedeutenden Kühleffekt bringt die **nächtliche Querlüftung der Wohnung**. Werden die Fenster nachts, wenn die Außentemperatur unter der Innentemperatur liegt, gekippt, so können die Raumbooberflächen von der Luftströmung gekühlt werden. Werden tagsüber die Fenster wieder geschlossen, so kann ein gut gedämmtes Gebäude kühl gehalten werden [27], [28].

In Bürogebäuden wird diese Lüftungsstrategie in zunehmendem Maße eingesetzt, um auf eine teure und energieintensive konventionelle Klimaanlage verzichten zu können. Ist eine Gebäudeleittechnik (GLT) vorhanden, so können die Fenster je nach Temperaturgang und Wetter (Regen, Sturm) in der Nacht geöffnet werden.

Die **thermisch wirksame** Masse eines Gebäudes spielt durchaus eine Rolle, sie tritt aber gegenüber den anderen oben genannten Einflüssen zurück. Extreme Leichtbauweise sollte jedoch vermieden werden. Schon eine zusätzliche Gipswerkstoffplatte auf den Innenoberflächen erhöht die Wärmekapazität wirksam, so dass tägliche Temperatur-



Abb. 16 Verschattung der Südfassade durch außenliegende Sonnenschutzlamellen.
Haus der Familie Höcker, Rheda Wiedenbrück.
Architekt: Mense Naturhaus, Beelen.
Foto: ILS NRW, Aachen



Abb. 17 Verschattung der Südfassade ohne Verdunklung durch den Dachüberstand und ein Sonnensegel.
Haus der Familie Brandenburg in Rheda Wiedenbrück.
Architekt: mensch&haus AG, Hamm.
Foto: ILS NRW, Aachen



Abb. 18 Studentenherberge Hagen.
Architekten: M. Kuhn, D. Buhlke, C. Kuboth, Dortmund.
Foto: ILS NRW, Aachen

schwankungen besser abgepuffert werden können. Ein Estrich, Flächenbauteile aus Holzbaustoffen, z.B. Brettstapel, Holzwerkstoff-Platten, Parkett, haben eine hohe spezifische Wärmespeicherfähigkeit und eignen sich daher gut für raumseitige Oberflächen. Dämmstoffe aus Zellulosefasern bzw. Holzfasern haben im Vergleich zu anderen Dämmstoffen ebenfalls eine höhere Wärmespeicherfähigkeit.

Einflüsse des Entwurfs auf das sommerliche Innenklima in Passivhäusern lassen sich mit Hilfe einer dynamischen Gebäudesimulation vorab bestimmen. Dies sei vor allem für größere Verwaltungsgebäude (innere Wärmelasten!) und Schulen angeraten. In den meisten Fällen ist jedoch eine vereinfachte Berechnung z.B. mit dem Sommerfall-Rechenblatt des PHPP ausreichend [45]. Wei-

tere Informationen finden sich in [27] und [28]. In [46] wird ein vereinfachtes Rechenverfahren („SommLuft“) beschrieben, mit dem sich der Luftwechsel in einer Wohnung über geöffnete Fenster im Sommer abschätzen lässt.

Die genannten passiven Maßnahmen zum sommerlichen Wärmeschutz kommen ohne eine aktive Kühlung aus. Sie sind jedoch auf die Mitwirkung der Bewohner angewiesen. In öffentlichen Gebäuden kann evtl. eine Gebäudeleittechnik eingesetzt werden. Wird eine temporäre Verschattung nicht geschlossen oder werden nachts die Fenster nicht geöffnet, so können die Temperaturen, wie in jedem anderen Gebäude auch, sehr schnell auf unangenehm hohe Werte ansteigen. Dies ist dem Nutzer ggf. zu erläutern, siehe auch Abschnitt 6.

2.8 Heizlastkriterium, Frischlufttheizung

Neben der Heizwärmebilanz des Gebäudes (Grenzwert $15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$) ist für die Funktion des Passivhauses das sogenannte Heizlastkriterium bestimmend. In Zulufräumen eines Passivhauses kann man auf statische Heizflächen fast ganz verzichten, wenn man darauf achtet, dass die maxi-

Checkliste: Sommerlicher Wärmeschutz

- Hauptfassade möglichst nach Süden ausrichten – im Süden steht die Sonne in der heißen Sommerjahreszeit hoch und führt daher nur zu einem geringen Energieeintrag.
- Feststehende Verschattungselemente vorsehen, z.B. Balkone oder Überstände mit 1...1,25 m Auskragung. Diese sind allerdings nur bei annähernder Südorientierung wirksam.
- Fensterflächen nicht zu groß wählen: 25...30 % der Fassade.
- Bei größerem Verglasungsanteil müssen besondere Sonnenschutzmaßnahmen vorsehen werden. Das können bei West- oder Ostfassaden nur temporäre Verschattungselemente (Rollos etc.) sein.
- West- oder ostorientierte Fassaden sind kritisch bezüglich der sommerlichen Überhitzung, dort sollten die Fensterflächen nur so groß gewählt werden, wie es zur Belichtung des Raumes notwendig ist (10 % der Grundfläche eines Raumes, je nach Landesbauordnung), sonst sind Maßnahmen zur temporären Verschattung unverzichtbar.
- Möglichkeiten für gute sommerliche Durchlüftung aller Räume schaffen, am besten mit Luftströmung über mehrere Geschosse (Auftrieb nutzbar!), günstig ist auch Querlüftung. Bei nur einseitigen Lüftungsöffnungen müssen die Querschnitte ausreichend groß sein (Programm „SommLuft“ benutzen [46]).
- Wird die kontrollierte Wohnungslüftung den Sommer hindurch betrieben, so muss darauf geachtet werden, dass der Wärmeübertrager durch einen Bypass überbrückt werden kann. Ansonsten würde die Zuluft unnötig erwärmt. Viele Geräte haben den Bypasskanal bereits integriert, so dass im Sommer lediglich ein Schieber gezogen werden muss. Bei einigen Geräten wird statt dem Wärmeübertrager eine Sommerkassette zur Vermeidung der Wärmerückgewinnung eingesetzt. Die bequemste Lösung ist eine elektrisch gesteuerte Bypassklappe, so dass nur umgeschaltet werden muss.

male Heizlast auf 10 W/m^2 Wohnfläche begrenzt bleibt. Möglich ist dies, weil im Passivhaus der restliche durch eine Heizung zu deckende Wärmebedarf extrem gering ist.

Aus numerischen Simulationen und aus den Erfahrungen von inzwischen zahlreichen gebauten und messtechnisch begleiteten Gebäuden ergibt sich für ein richtig geplantes Passivhaus eine Heizleistung im Auslegungsfall von maximal 10 W/m^2 [64].

Die im Kernwinter benötigte restliche Raumwärme muss nicht unbedingt über konventionelle Heizflächen, sondern kann auch über die ohnehin vorhandene Lüftungsanlage den Räumen zugeführt werden. Dazu wird die Lüftungsanlage mit einem Luftheizregister, das *nach* dem Wärmeübertrager im Zuluftstrom angeordnet wird, zu einer Frischluftheizung ergänzt.

Mit typischen Volumenströmen von $120 \text{ m}^3/\text{h}$ pro Wohnung (120 m^2 Wfl., vier Personen) und einer maximalen Lufttemperatur von etwa 50°C

(Lufttemperatur nach dem Wärmeübertrager im Auslegungsfall) kann eine Heizleistung von etwa 10 W/m^2 in die Wohnräume eingebracht werden. Höhere Zulufttemperaturen sollten nicht geplant werden, weil sonst Staubverschmelzung auftreten kann. Höhere Luftvolumenströme sollten ebenfalls vermieden werden, weil sonst insbesondere im Winter die frische Luft nach der Erwärmung unangenehm trocken werden kann.

Nach den geltenden Regeln muss die Temperatur im Badezimmer generell auf 24°C einstellbar sein. Dazu reicht die oben beschriebene Zuluftheizung im Auslegungsfall nicht aus. Deshalb ist im Badezimmer eine zusätzliche kleine Wärmequelle vorzusehen. Hier sind direkt-elektrisch betriebene Strahlungsheizungen, d.h. z. B. Infrarot-Lampen, durchaus wirtschaftlich und energetisch sinnvoll, denn die Betriebszeiten dieser Wärmequellen sind in der Regel sehr kurz. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, die warmen Zuluftleitungen ohne Isolierung durch das Badezimmer zu führen. Die

Oberflächen geben dann einen Teil ihrer Wärme im Badezimmer ab. Installiert man im Bad einen Warmwasser-Heizkörper, so sollten Vor- und

Rücklaufleitungen möglichst kurz gehalten werden. Man achte hierfür auf die oben erwähnte optimierte Grundrissgestaltung der Wohnung.

Planungshinweis: Lüftung und Heizlastauslegung im Passivhaus

Um Missverständnissen vorzubeugen, muss ausdrücklich betont werden: Die Wohnungslüftung mit Wärmerückgewinnung und Zuluftnacherwärmung ist *keine* Umluftheizung und *keine* Klimaanlage. Sondern es wird nur die aus hygienischen Gründen ohnehin erforderliche Außenluft nach dem Wärmeübertrager auf die gewünschte Zuluft-Temperatur aufgeheizt. Häufig wird dafür der Begriff „Frischluftheizung“ verwendet [64].

Die Heizleistung der Luft-Nacherwärmung ist im Passivhaus auf maximal 10 W/m^2 begrenzt. Eine

fehlerhafte Auslegung der Heizlast, z.B. bei zu geringem Wärmeschutz, kann deshalb später nicht mehr ausgeglichen werden.

Genau so wenig ist eine Kompensation eines fehlenden Sonnenschutzes (siehe Abschnitt Sommerliche Überhitzung) im Sommer nachträglich möglich. Wärmeschutz und Hitzeschutz können und müssen beim Passivhaus weitgehend mit den beschriebenen „passiven“ Maßnahmen realisiert werden. Eine sorgfältige Planung ist deshalb hier ganz besonders wichtig.

Heizlast in Spezialfällen

Bei sehr großen Häusern bzw. Wohnungen mit wenigen Bewohnern, die evtl. häufig nicht anwesend sind, d.h. bei Wohneinheiten mit mehr als etwa 40 m^2 Wohnfläche pro Person kann es notwendig werden, die Heizlast für einzelne Räume der Wohnung separat zu überprüfen. In diesen Fällen sind evtl. die internen Wärmequellen kleiner als die üblicherweise angesetzten $2,1 \text{ W/m}^2$. Dies kann dazu führen, dass einzelne Bereiche der Wohnung nicht mehr ausreichend temperiert werden können, ohne dass zusätzliche Wärmequellen vorgesehen werden.

Sind in einzelnen Räumen besonders große Fensterflächen vorhanden, so kann es ebenfalls notwendig werden, zusätzliche Wärmequellen vorzusehen, um evtl. Diskomfort vorzubeugen.

Ein ähnlicher Fall tritt bei Holz-Rahmenbau-Konstruktionen auf. Dort sind die Innenwände aus Schallschutzgründen besser wärmedämmend als massive Wände. Dies hat zur Folge, dass passiv-

solare Gewinne in südorientierten Räumen des Hauses zu einer Überwärmung führen, auf der Nordseite diese Wärme aber nicht zur Verfügung steht, weil die Wärme nicht schnell genug durch die Wände dringen kann. Hier ist es ggf. notwendig, dass man die Zuluftvolumenströme in den einzelnen Räumen an der Heizlast des Raumes orientiert und sie entsprechend dimensioniert. Selbstverständlich ist es auch möglich und evtl. kostengünstiger, in einzelnen Zonen kleine Heizkörper vorzusehen.

Sollten sich Wärmebrücken aus baulichen Gründen – Statik z. B. bei aufgehenden Kellerwänden etc. – in einzelnen Fällen nicht mit vertretbarem Kostenaufwand vermeiden lassen, so ist es durchaus sinnvoll, die erhöhten Wärmeverluste an der einen Stelle mit einem erhöhten Wärmeschutz an anderer Stelle zu kompensieren. In dem Raum mit erhöhtem Wärmeverlust muss jedoch mit einer erhöhten Heizlast gerechnet werden, so dass dort ggf. ein zusätzlicher Heizkörper vorzusehen ist.

Planungshinweis: Heizlast im Passivhaus

Die genannten Beispiele zeigen: die Heizlast (10 W/m^2) ist die „fühlbare“ Größe, die für das Wohlbefinden des Bewohners ausschlaggebend ist. Die komfortabel wählbare Temperatur ist letztlich sogar eine einklagbare Eigenschaft der Wohnung (Gewährleistung), welche über die Funktion des Gebäudes entscheidet. Es muss also sehr sorgfältig darauf geachtet werden, dass der Wärmeschutz in allen Bereichen der Wohnung den Anforderungen genügt oder aber, dass in Ausnahmefällen eine ausreichende Temperierung in allen Räumen gewährleistet ist, da es sonst zu Klagen seitens der Bewohner kommen kann.

Der Heizenergiebedarf ($15 \text{ kWh}/[\text{m}^2\text{a}]$) ist demgegenüber „nur“ eine Planungsgröße, die bei der Herstellung des Gebäudes eine wichtige Zielgröße darstellt. Im tatsächlichen Betrieb der Wohnung spielt sie jedoch nur eine untergeordnete Rolle. Der tatsächliche Heizenergieverbrauch hängt vom unterschiedlichen Nutzerverhalten der Bewohner ab [25]. Der Verbrauch variiert statistisch und hat mit der Planungsgröße „Heizenergiebedarf“ nur bedingt zu tun [11], [12].

2.9 Lüftungssystem

Im Stadium der Vor- und Entwurfsplanung werden die Weichen für eine gut funktionierende Lüftungsanlage gestellt, weil hier die Raumaufteilung und die Planung der Anbindung an die Lüftungsanlage erfolgt. Ein Passivhaus kann nur dann ökonomisch attraktiv sein, wenn die Mehrinvestitionen in die Gebäudetechnik begrenzt werden können. Das ist jedoch nur möglich, wenn die Lüftungsanlage von Anfang an in das bauliche Konzept integriert wird. Im Folgenden wird deshalb erläutert, welche Punkte im Rahmen der Qualitätssicherung bei der Vor- bzw. Entwurfsplanung beachtet werden müssen. Auf diesen Grundentscheidungen bauen alle nachfolgenden Details auf. Nachträgliche Anpassungen und Korrekturen in einem späteren Planungsstadium sind oft kaum noch möglich oder mit hohen Kosten verbunden.

Gerichtete Luftströmung

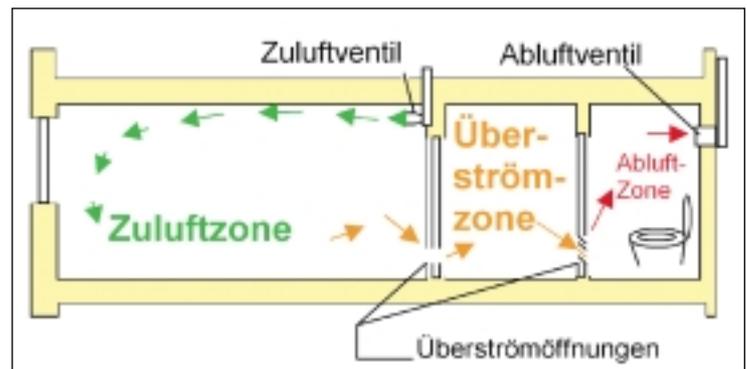
Hygienisch sinnvoll ist eine dauerhafte und gerichtete Luftströmung (siehe Abbildung 19) von den Wohn- und Schlafräumen (Zuluftzone) hin zu den Feucht- und Funktionsräumen (Abluftzone). Alle Räume der Zuluftzone müssen an das Zuluftkanalnetz angeschlossen werden, in allen Ablufträumen ist ein Anschluss an das Abluftkanalnetz erforderlich. Treppen, Flure und eventuell auch Essbereiche offener Wohnküchen bilden die Überströmzone. Sie werden von der Luft durchströmt, die von den Zuluft- zu den Ablufträumen fließt und benöti-

gen daher keinen eigenen Luftkanalanschluss, sondern werden über die Überströmöffnungen indirekt be- bzw. entlüftet. Somit wird mit möglichst wenig Luft, die mehrfach genutzt wird, eine ausreichende Belüftung aller Räume einer Wohnung sicher gestellt. Ein Luftwechsel von $0,4 \text{ 1/h}$ genügt für durchschnittlich belegte Wohnungen mit etwa $30 \text{ m}^2/\text{Person}$ in aller Regel.

Zonierung

Im Rahmen der Vorplanung ist es Aufgabe des Architekten, in Zusammenarbeit mit dem Lüftungsplaner die sogenannte Zonierung, also die Definition der Zuluft-, Abluft- und Überströmzonen festzulegen (Abbildung 19).

Abb. 19 Schema der Zonierung für die Lüftungsplanung: Zuluft-, Abluft- und Überströmzonen müssen definiert werden. Der Grundriss muss evtl. angepasst werden.



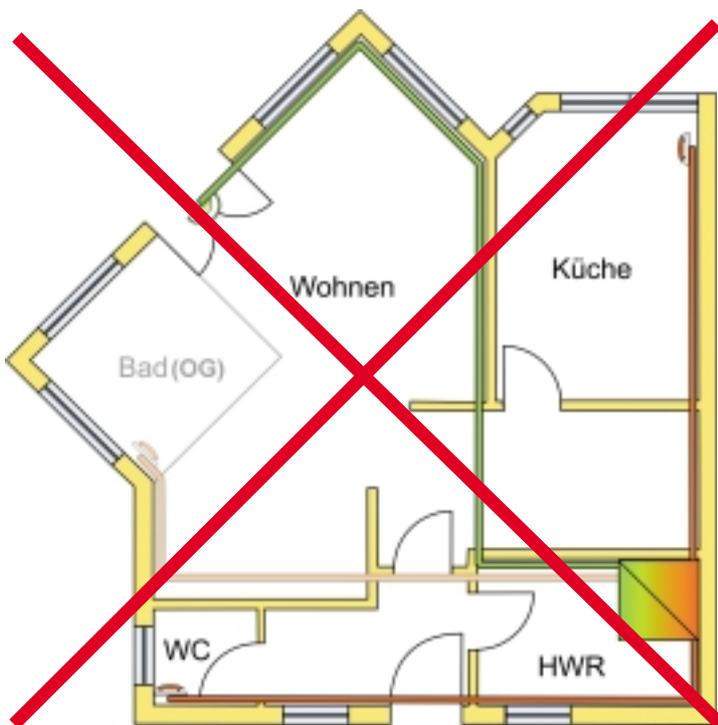


Abb. 20 Ungünstige Grundrissgestaltung. Ablufträume sind weit voneinander entfernt und erfordern somit lange Lüftungsleitungen.

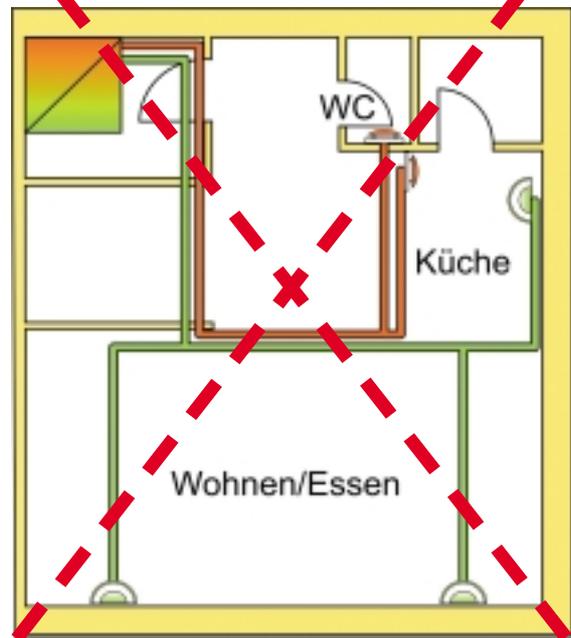


Abb. 21 Optimierter Grundriss, aber ungünstige Anordnung des Lüftungszentralgerätes in Relation zu den Ablufträumen. Außerdem wurden keine Weitwurfdüsen verwendet. Die Lüftungsleitungen sind deshalb unnötig lang (und teuer). Siehe auch Abbildung 9.

Wie im Abschnitt „integrale Planung“ bereits erläutert, kann es an dieser Stelle erforderlich sein, Grundrissanpassungen vorzunehmen, um die Zonierung zu erleichtern und einfache, kompakte Kanalnetze zu erreichen. Häufig sind diese Maßnahmen nicht nur für die Lüftungssysteme nützlich, sondern sie vereinfachen auch die Trinkwasser-, Abwasser- und Heizsysteme.

Abbildung 20 und Abbildung 21 zeigen, welchen großen Einfluss die Grundrissgestaltung und die Position des Lüftungszentralgerätes auf das Kanalnetz hat. Im Grundriss der Abbildung 20 liegen WC und Küche diametral gegenüber, damit werden extrem lange Leitungen für das Abluftkanalnetz notwendig. In Abbildung 21 grenzen diese Funktionsräume direkt aneinander, allerdings führt die ungünstige Position des Zentralgerätes in der Nordwestecke des Grundrisses dennoch zu unnötig langen Leitungen. Darüber hinaus wurde in diesem Beispiel mit Tellerventilen gearbeitet, aus denen die Luft im Gegensatz zu Weitwurfdüsen nicht gerichtet ausströmt. Deshalb mussten die Kanäle bis an die Außenwände verzogen werden, um eine vollständige Raumdurchströmung zu erreichen. Insgesamt ergab sich für den guten Grundriss ein übermäßig aufwändiges Kanalnetz.

Im Gegensatz hierzu zeigt die Abbildung 22 ein gutes Beispiel für eine optimierte Grundrissgestaltung mit optimiertem Zu- und Abluftkanalnetz, welches komplett in der abgehängten Decke von Flur und Bad untergebracht werden konnte. Die Küche und das Badezimmer grenzen direkt an den vertikalen Versorgungsschacht und konnten damit auf kürzestem Weg erschlossen werden. Das Netz besteht nur noch aus wenigen Metern Wickelfalzrohr, einem 90°-Bogen und zwei T-Stücken. Die übrigen Kanalstücke wurden als flexible Schalldämpfer ausgeführt. Möglich wird diese Grundrissgestaltung im Passivhaus dadurch, dass das Badezimmer grundsätzlich mit einem Abluftstrang entlüftet werden kann. Die Anordnung des Badezimmers im Gebäudekern als fensterloser Raum, d.h. als sogenanntes „gefangenes Bad“ ist damit auch aus bauphysikalischer Sicht problemlos möglich, weil die permanente Be- und Entlüftung auch in diesem Raum eine ausreichende Entfeuchtung und somit eine gute Luftqualität sicherstellt. Siehe hierzu auch die Grundrisse in Abbildung 9.

Schon in der Vor- und Entwurfsplanung ist es nützlich, die Lüftungskanäle annähernd maßstäblich einzuzichnen, d.h. der Lüftungsplaner sollte zumindest eine Schätzung der notwendigen Ka-

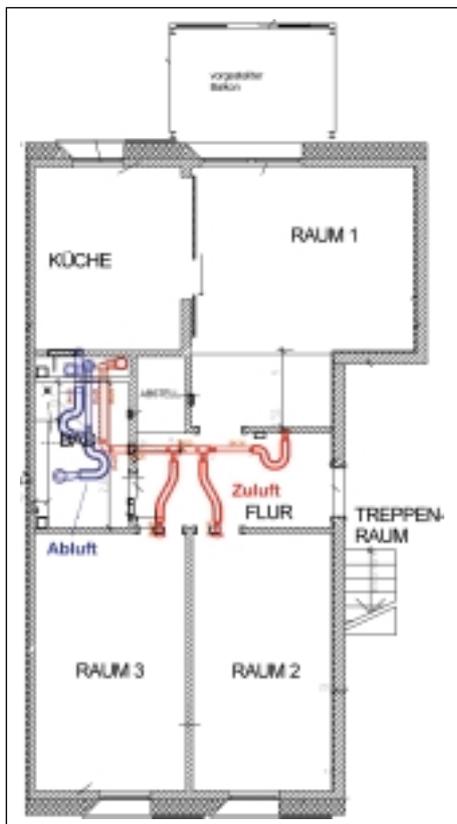


Abb. 22 Vorbildliches weil kompaktes Zu- und Abluftkanalnetz in einer Geschosswohnung. Ventilatoren, Kanäle und Telefonieschalldämpfer sind komplett in der abgehängten Decke von Bad und Flur verlegt. Die Zentraleinheit mit Wärmerückgewinnung für jeweils 8 Wohnungen befindet sich auf dem Dach des Hauses.
Architekten: Hegger, Hegger, Schleiff, Kassel.
Haustechnik-Planung: innovaTec Energiesysteme GmbH, Ahnatal-Weimar. Foto: PHI

naldimensionen vornehmen. Nur auf diese Weise kann sichergestellt werden, dass nicht „vergessen“ wird, ausreichend Platz für Kanäle und Schächte vorzusehen. In späteren Planungsphasen sind solche Fehler kaum noch zu korrigieren. Ebenso ist in dieser Phase (wenn es sich um ein Mehrfamilienhaus bzw. Geschosswohnungsbau handelt) die Entscheidung über die Art der Lüftungsanlage (zentral bzw. dezentral) zu treffen, weil davon der Platzbedarf und die Anordnung der Technikräume abhängen.

Bei der Festlegung der Kanalführung ist zwar Abstimmung mit anderen Gewerken notwendig, grundsätzlich gilt jedoch bei der Lüftungsplanung der Grundsatz „Luftkanäle haben Vorrang vor Wasser-, Gas- und Stromleitungen“, weil Lüftungskanäle viel größere Dimensionen haben [2] bis [9].

Anordnung des Zentralgeräts (Technikraum) nahe an der thermischen Hülle

Der Technikraum sollte beim Einsatz von Erdwärmetauschern möglichst im Erdgeschoss angeordnet werden, weil dann die Wärmeverluste von der Raumluft durch die Kanalwand an die vortempe-

rierte aber immer noch kühle Außenluft gering gehalten werden können. Wird kein Erdwärmetauscher eingeplant, so bietet sich die Anordnung im Dachbereich an, weil dann die Zu- bzw. Abluft mit kurzen Kanalwegen über Dach geführt werden kann und die Ansaugstelle von vorneherein hoch über Grund liegt (saubere Luft).

Prinzipiell gilt: Das Zentralgerät der Lüftungsanlage (Wärmetauscher) sollte möglichst nahe an der thermischen Hülle angeordnet werden. Dabei ist es egal, ob das Gerät innerhalb der thermischen Hülle steht oder außerhalb, z.B. im Keller. Wichtig ist nur, dass die kalten Leitungen im warmen Bereich, bzw. die warmen Leitungen im kalten Bereich jeweils kurz gehalten werden und gut gedämmt sind.

Außenluftansaugung und Fortluftauslass

Bei der Anordnung der Außenluftansaugung bzw. des Fortluftauslasses muss schon frühzeitig geprüft werden, ob die Funktion später gewährleistet ist und ob nicht bestimmte Nutzungsanforderungen der Platzierung einer Luftansaugung bzw. eines Fortluftauslasses entgegenstehen. Typische Konflikte sind hier z. B. die nachbarschaftliche

Geruchs- und Lärmbelästigung. Im Geschosswohnungsbau sind deshalb die Außenluft- und Fortluftkanäle auch mit Schalldämpfern zu versehen.

Die Außenluftansaugung muss aus hygienischen Gründen in ausreichender Höhe (3 m) über dem Erdboden angeordnet sein und vor Regen und Flugschnee sowie Vereisung geschützt sein, vgl. die Überdachung in Abbildung 75 bzw. Abbildung 98. Die Außenluftöffnung sollte darüber hinaus

vor fremder Manipulation geschützt angeordnet werden. In unmittelbarer Nähe sollte selbstverständlich kein Komposthaufen, Parkplatz o.ä. eingerichtet werden.

Die feuchte Fortluft befindet sich vor allem im Winter fast permanent im Sättigungszustand. Der Fortluftauslass ist deshalb so anzuordnen, dass keine Bauteile in seiner Nähe direkt angeblasen werden, weil sonst die Gefahr von Feuchteschäden besteht.

Checkliste für die Lüftungsanlage in der Vor- und Entwurfsplanung

- Entscheidung über den Anlagentyp (zentral/dezentral) treffen.
- Entscheidung über die Lage (auf welcher Seite des Gebäudes) und Art (mit/ohne Erdkanal) der Außenluftansaugung treffen.
- Aufstellort für die Lüftungsanlage (Technikraum) festlegen. Zentralgerät möglichst nah an der thermischen Hülle platzieren (egal ob innen oder außerhalb). Die kalten Leitungen im warmen Bereich bzw. die warmen Leitungen im kalten Bereich sind jeweils kurz zu halten und müssen sehr gut wärmegeklämt werden.
- Grundrissgestaltung und Zonierung mit dem Lüftungsplaner abstimmen: Jeder Raum muss entweder als Zuluft- bzw. Abluft- oder Überströmzone identifizierbar sein (keinen Raum „vergessen“).
- Lüftungskanäle im Originalmaßstab in die Pläne einzeichnen.
- Zusammenhängende Anordnung der Funktionsräume, kurze einfache Kanalführung mit wenig Formstücken (Druckverlust minimieren).
- Steigschächte im Originalmaßstab in die Pläne einzeichnen.
- Möglichst kurze Leitungswege anstreben.
- Schallschutzanforderungen beachten!

Anordnung der Fortluft und Außenluftdurchlässe besonders beachten

- Außenluftansaugung möglichst in 3 m Höhe anordnen.
- Ansaugung nicht an Orten mit erhöhter lokaler Luftbelastung anordnen.
- Schutz vor fremder Manipulation muss sichergestellt sein.
- Schutz vor Regen bzw. Flugschnee vorsehen.
- Kurzschluss-Strömung zwischen Fortluftauslass und Außenluftansaugung vermeiden (Geruchsbelastung).
- Fortluftauslässe dürfen keine Bauteile anblasen, sonst besteht im Winter die Gefahr von Tauwasserbildung.

2.10 Weitere Haustechnik im Passivhaus

Der Grundgedanke des Passivhaus-Konzeptes besteht darin, die Verbesserung der thermischen Qualität der Gebäudehülle durch eine „geschickte“ Konzeption der Haustechnik zu ergänzen und somit Kosten einzusparen. Damit dieses Konzept in der Umsetzung tatsächlich zu Einspareffekten führt, muss die Planung im Rahmen der Qualitätssicherung bereits in der Entwurfsphase daraufhin überprüft werden. Wie bereits im Abschnitt „Integrale Planung“ am Beispiel des Lüftungssystems beschrieben, kann eine kompakte und kostengünstige Haustechnik durch eine frühzeitige Zusammenarbeit zwischen Architekt und Haustechnikplaner erreicht werden. Darüber hinaus erleichtern industriell hergestellte und vormontierte Einheiten, sogenannte Kompaktgeräte für Heizung, Lüftung und Warmwasserversorgung, die Planung und helfen Platz zu sparen sowie Montagefehler zu vermeiden.

Zuerst ist die geplante Nutzung des Gebäudes prinzipiell zu klären und die entsprechende Anforderung an die Warmwasserversorgung und die Restheizung zu definieren. Im Gegensatz zu Gebäuden im Bestand ist im Passivhaus die Wärmeversorgung primär auf den Warmwasserbedarf auszurichten, weil die Heizleistung zur Bereitstellung des Warmwassers hier in derselben Größenordnung liegt wie die Heizlast (1,5 kW für einen typischen Vier-Personen-Haushalt).

Varianten für die Energieversorgung im Passivhaus

Bei der Auswahl des Wärmeerzeugers sollten sowohl primärenergetische als auch ökonomische und versorgungstechnische Gesichtspunkte berücksichtigt werden. Es sollte ein Energie-Versorgungs-Konzept erstellt werden, das verschiedene mögliche Varianten nebeneinander stellt, so dass eine fundierte Entscheidung getroffen werden kann. Besonders bei der Planung von größeren Geschosswohnungs-Gebäuden und ganzen Siedlungen ist dies besonders wichtig.

Der geringe Heizwärmebedarf im Passivhaus ermöglicht eine breite Vielfalt von Versorgungsvarianten. Neben dem klassischen Gas- oder Ölkessel,



Abb. 23 Mit feuerfesten Materialien wärmegeädämter Kamin für einen Kaminofen im Wohnraum.
Haus der Familie Dittrich, Solarsiedlung Beckum,
Architektin: Johanna Tippkemper, Oelde.
Foto: Dittrich, Beckum

der jetzt als kleiner dimensionierter (Brennwert) Kessel Verwendung findet, sind Holz-Pellets-Kessel (nachwachsender Rohstoff) im Passivhaus eine ernst zu nehmende Alternative, weil der Verbrauch hier so gering ist, dass die Versorgung mit dem Festbrennstoff kein Problem mehr ist. Die schon erwähnten Wärmepumpen-Kompaktgeräte für Lüftung, Heizung und Warmwasserbereitung sind eine weitere Alternative. Eine Bewertung hinsichtlich Primärenergie, CO₂ und Kosten (Investitions- und Betriebskosten) wurde im Protokollband Nr. 20 des Arbeitskreises Kostengünstige Passivhäuser [24] vorgenommen. Alle genannten Varianten können jeweils sinnvoll mit einer Solaranlage kombiniert werden. Im Folgenden sollen die verschiedenen Varianten kurz beschrieben werden.

Ein **Holz-Pellets-Kessel** oder auch ein **Stückholz-Kessel**, der mit kleiner Leistung betrieben werden kann, ist zusammen mit einer **Solaranlage** (etwa 1 m² Kollektorfläche pro Person) eine optimale Kombination. Von März bis Ende Oktober, d.h. in der Übergangszeit und im Sommer, kann der Holz-Kessel ganz außer Betrieb genommen werden, weil die Solaranlage die Brauchwassererwärmung gewährleistet. Der Betrieb von Holz-Pellets-Kesseln

lässt sich automatisieren. Der Brennwert von 2 kg Holz-Pellets (5 kWh/kg bzw. 650 kg/m³ Schüttdichte) entspricht etwa dem von einem Liter Heizöl bzw. 1 m³ Erdgas. Bei einem Verbrauch von etwa 5000 kWh/a (Endenergie incl. aller Verteil-Verluste für Heizung und Warmwasserbereitung für einen Vier-Personen-Haushalt auf 120 m² Wohnfläche) sind dies etwa 2,5 m³ Pellets pro Jahr. Der Vorratsraum muss dementsprechend dimensioniert werden [24].

Bei Kaminöfen, die im Wohnraum aufgestellt werden, ist zu beachten, dass die Wärmeleistung, die direkt im Raum freigesetzt wird, nicht zu hoch wird, weil es sonst zu Überhitzung kommen kann. Marktverfügbare Geräte enthalten einen Wasser-Wärmetauscher, der bis zu 80 % der Wärmeleistung zur Warmwasserbereitung nutzen kann und somit die Gefahr der Überhitzung verringert. Dies sollte vom Planer jedoch im Einzelfall geprüft werden [55], [56]. Der Kamin eines solchen Ofens muss gut wärmegeämmt sein, Abbildung 23, außerdem braucht er eine Klappe, die geschlossen werden kann, wenn der Ofen nicht in Betrieb ist. Werden solche Öfen im Wohnraum innerhalb der luftdichten Hülle aufgestellt, sind außerdem in jedem Falle die Sicherheitsaspekte der Luftführung zu beachten! Diese Öfen haben bislang keine zugelassene von der Raumluft unabhängige Luftführung. Die Feuerungsverordnungen schreiben deshalb vor, dass die Lüftungsanlage einen maximalen Unterdruck von 4 Pa im Wohnraum erzeugen darf. Fällt der Zuluftventilator aus, muss sich die Lüftungsanlage automatisch abschalten und eine Störmeldung geben [31], [55]. Trotzdem bleibt noch die Gefahr, dass die Feuerraumtür offen steht und Gase in den Wohnraum gelangen.

Im normalen Betrieb von Lüftungsanlagen in Passivhäusern können durch zufällige Disbalance (Winddruck etc.) Druckunterschiede von bis zu ± 5 Pa entstehen. Es hat jedoch keinen Sinn, die Lüftungsanlage absichtlich in Disbalance (Überdruck) zu betreiben, denn damit steigt die Gefahr von Bauschäden (Kondensation von Feuchte in Bauteilfugen).

Die genannten Aspekte zeigen, warum das Thema Festbrennstofföfen in Wohnräumen und in Passivhäusern sehr kontrovers diskutiert wird. Die Sicherheitsanforderungen dürfen auf gar keinen Fall vernachlässigt werden [24]. Es sind prinzipiell

luftdichte Öfen mit zum Raum hin luftdichter Verbrennungsluft- und Abgasführung anzustreben. In absehbarer Zukunft sind hier weitere Entwicklungen zu erwarten [56]

Ein **Wärmepumpen-Kompaktaggregat**, Abbildung 24, das die Funktionen Lüftung mit Wärmerückgewinnung, Nachheizung der Zuluft und Warmwasserbereitung kombiniert und die Wärme mittels einer Abluftwärmepumpe bereitstellt, ist sehr platzsparend in einer Wohnung unterzubringen. Die Wärmepumpe wird mit elektrischer Energie betrieben, so dass kein weiterer Hausanschluss notwendig ist. Es wird jedoch nicht direktelektrisch geheizt, sondern die Wärmepumpe entzieht der Abluft (5° C) einen Teil der restlichen Wärme und bringt sie auf ein Temperaturniveau von etwa 55° C. Somit sind auch im Winter gute Arbeitszahlen (≥ 3) möglich, d.h. der primärenergetische Wirkungsgrad dieser Lösung entspricht etwa dem eines Gas-Brennwert-Gerätes.

Eine direktelektrische Heizung ist auch im Passivhaus prinzipiell abzulehnen. In wenigen begründeten Einzelfällen, die verbrauchsmäßig nicht ins Gewicht fallen (Frostschutzheizregister für die Lüftung, Abschnitt 3.6, kleiner Heizkörper im Bad oder elektronisch geregelter Durchlauferhitzer für Spitzenlasten bei der Warmwasserbereitung) ist dies jedoch akzeptabel.

Eine **Solaranlage** in Kombination mit einem Kompaktgerät mit elektrischer Wärmepumpe verbessert die Verbrauchswerte noch einmal: Im Sommer, wenn die Lüftung nicht unbedingt gebraucht wird, kann die Wärmepumpe fast ganz stillgelegt werden. In dieser Zeit wird die Wärmeversorgung hauptsächlich von der Solaranlage übernommen. Das bedeutet, dass in diesem Zeitraum elektrische Energie substituiert werden kann.

Nahwärmenetze

Konventionelle am Markt erhältliche Wärmeerzeuger auf Basis von Holz (Hackschnitzel, Stückholz etc.) sind für ein einzelnes Passivhaus zu groß dimensioniert. Auch **Blockheizkraftwerke** (Biogas oder Erdgas) sind bisher nicht als kleine Einheiten erhältlich. In diesem Zusammenhang ist aber die Versorgung von Reihenhauszeilen, Geschosswohnungsbauten,



Abb. 24 Wärmepumpen-Kompaktaggregate: Warmwasserversorgung, Heizung und kontrollierte Lüftung mit Wärmerückgewinnung in einem Gerät auf engstem Raum vereinigt.

kleinen Siedlungen o.ä. interessant. Zu beachten sind hier jedoch die Wärmeverluste bei der Verteilung der Wärme in einem sogenannten **Nahwärmenetz**, sie können erheblich sein. Es bietet sich deshalb an, als Wärmequelle ein Blockheizkraftwerk mit einer besonders hohen Primärenergienutzung einzusetzen.

In Hannover-Kronsberg [12] wurden Energieverbräuche von durchschnittlich $35 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ (Endenergie incl. der Verteilverluste) für Heizung und Warmwasser gemessen.

Neben Blockheizkraftwerken ist der **Gas-Brennwert-Kessel** eine kostengünstige Wärmequelle, wenn nur wenige Wohneinheiten von einem Gerät versorgt werden sollen. Die Versorgung von vier bis sechs Passiv-Reihenhäusern in jeweils einem Block kann mit handelsüblichen Geräten mittlerer Leistung zusammen mit einem Pufferspeicher für das Brauchwasser betrieben werden. Auch hier ist die Kombination mit einer Solaranlage sinnvoll.

Zentrale oder dezentrale Warmwasserversorgung?

Handelt es sich bei dem Bauvorhaben um ein Mehrfamilienhaus bzw. einen Geschosswohnungsbau, so stellt sich die Frage, ob eine zentrale bzw.

dezentrale Warmwasserversorgung realisiert werden soll. Die messtechnischen Untersuchungen im Rahmen des CEPHEUS-Projektes [13] haben gezeigt, dass auch die Anlagen zur zentralen Warmwasserversorgung sehr gut geplant werden müssen. Nur so lassen sich die Verteilverluste auf das erforderliche Maß begrenzen. Die Qualitätssicherung hat gerade in diesem Bereich besondere Kontrollfunktionen, wie in den Abschnitten Detailplanung und Ausführung erläutert wird. Prinzipiell sind beide Varianten, zentrale und dezentrale Warmwasserversorgung, wenn sie hochwertig ausgeführt werden, energetisch konkurrenzfähig.

Raumaufteilung und Leitungsführung

Bei der Vor- bzw. Entwurfsplanung wird die Anordnung und Aufteilung der Räume im Wesentlichen vorgegeben. Von besonderer Bedeutung ist hier, wie bereits im Abschnitt zur Lüftung erwähnt, die Anordnung des Technikraumes, weil sich von dort aus alle Versorgungsleitungen verzweigen. Eine günstige Anordnung spart nicht nur Platz, sondern auch Investitions- und Betriebskosten. Wird bereits bei der Vorplanung auf möglichst kurze Leitungswege geachtet, können die Zirkulations- und Verteilverluste wesentlich geringer ausfallen. Zwar ist eine spätere Umplanung bei den



Abb. 25 Wärmeverteilungen und Lüftungskanäle in der abgehängten Decke im Flur eines Passivhaus-Geschosswohnungsbaus.
Bei zentralen Wärmeverteilssystemen fallen die Leitungen zwangsläufig länger aus als bei dezentralen Varianten. Dementsprechend sind die Verteilverluste im Energiekonzept zu berücksichtigen [24], [32].
Foto: PHI

im Vergleich zu den Lüftungskanälen geringen Leitungsquerschnitten noch relativ leicht möglich, dies wird aber in der alltäglichen Planungspraxis nur selten durchgeführt.

Der horizontale Verzug der Warmwasser- und Wärmeverteilungen in der Bodenplattendämmung (falls diese über der Bodenplatte angeordnet wird) stellt energetisch eine günstige Möglichkeit der Verlegung dar. Allerdings stellt sich das Problem der Wartung. Bei Rohrbruch entsteht erheblicher Wasserschaden, weil die Austrocknung der Dämmung nur erfolgen kann, wenn die raumseitige Dampfbremse zumindest teilweise geöffnet wird.

Im Geschosswohnungsbau ist die frühzeitige Optimierung der Anordnung der Steigschächte und deren Revisionsöffnungen von Bedeutung. Sie sollte sich im Wesentlichen an den Belangen der Lüftungskanäle orientieren, aber auch auf Zugäng-

lichkeit und Wartungsfreundlichkeit ist zu achten. Ein häufiger Planungsfehler ist die Anordnung wesentlicher Haustechnikkomponenten im Bad hinter der Badewanne oder sonstigen unzugänglichen Stellen. Revisionsarbeiten oder Zählerablesung sind dann sehr schwierig.

Wie bereits eingangs erwähnt, stellt die Vereinfachung der Haustechnik eine wesentliche Chance der Kosteneinsparung dar. Wenn auf statische Heizflächen ganz verzichtet werden kann, fallen nicht nur die zugehörigen Wärmeverteilungen weg, auch die Raumnutzung wird weniger eingeschränkt, wertvolle Stellflächen können gewonnen werden. Diese Überlegungen können bereits bei der Vor- bzw. Entwurfsplanung einfließen. Aber nicht nur bei reiner Zuluftnachheizung kommen die Einspareffekte zum Tragen. Auch wenn weiter mit Heizkörpern gearbeitet wird, können Einsparungen erzielt werden. Im Passivhaus ist es nämlich unerheblich, an welcher Stelle die Wärme dem Raum zugeführt wird. Strahlungsausgleichsflächen (Heizkörper) in Fensternähe sind nicht mehr notwendig. Die Heizflächen können an beliebiger Stelle im Raum, z. B. auch platzsparend über den Türen angeordnet werden. Durch die freie Wahl bei der Anordnung kommt man mit extrem kurzen Leitungswegen aus. Wegen der geringen Heizleistung können die Heizflächen sehr klein dimensioniert werden. Aus Komfortgründen wird häufig auch im Passivhaus ein kleiner Badheizkörper vorgesehen, siehe Abschnitt 2.8.

Belüftung von Entwässerungsleitungen

Die Belüftung von Abwasser-Fallrohren über Dach ist in zweierlei Hinsicht relevant: Einerseits kühlen die Entwässerungsleitungen durch konvektive Luftströmungen im Rohr aus und verursachen dadurch Wärmeverluste, andererseits müssen Durchbrüche durch die wärmegeämmte und luftdichte Hülle im obersten Geschoss vorgesehen werden. Andererseits ist eine ausreichende Belüftung notwendig, denn bei unzureichender Belüftung besteht die Gefahr, dass Siphons leergesaugt werden und es können Geruchsbelästigungen entstehen. Die Belüftung von Abwasserrohren muss aber nicht zwingend über Dach erfolgen. Mit dem Einsatz von Rohrbelüftern, d.h. Ventilen, die sich nur bei Unterdruck öffnen und Luft nachströmen

lassen, können die genannten Nachteile vermieden werden. Diese Rohrbelüfter werden im Dachgeschoss, z.B. im Bereich des Kniestocks auf die Abwasserleitung gesetzt.

Die DIN EN 12056 [33], [34], [35] regelt eindeutig, wie Entwässerungsleitungen zu belüften sind. Demnach können Rohrbelüfter für bestimmte Einbausituationen auch ohne Genehmigung im Einzelfall eingesetzt werden:

„Belüftungsventile können als Ersatz für Umlüftungen oder direkte Nebenlüftungen, die dem Abbau von Unterdruck im Leitungssystem dienen, eingebaut werden. In Ein- oder Zweifamilienhäusern können Belüftungsventile für Fallleitungen eingesetzt werden, wenn mindestens eine Fallleitung im Hauptlüftungssystem zur Entlüftung bis übers Dach geführt wird. In rückstaugefährdeten Bereichen und für die Belüftung von Hebeanlagen dürfen keine Belüftungsventile eingesetzt werden.“

Es dürfen nur Rohrbelüfter eingesetzt werden, die eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt) haben. In Verbindung mit der prEN 12380 [36] gibt das DIBt folgende Einbaumöglichkeiten von Rohrbelüftern an:

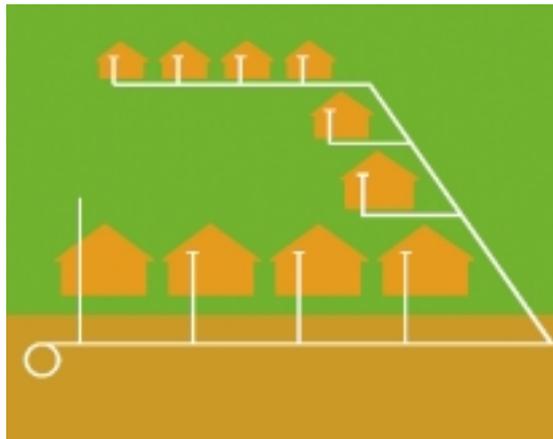


Abb. 26 Nicht jedes Haus muss über Dach entlüftet werden. Zugelassene Rohrbelüfter helfen Wärmeverluste durch Abwasserkanäle zu vermeiden.

- In Ein- und Zweifamilienhäusern,
- In Reihenhäusern, in denen die Abwasserleitung an einer Sammelleitung angeschlossen ist und nicht mehr als 3 Geschossebenen vorhanden sind,
- In indirekten Nebenlüftungsanlagen, ersetzt dadurch alle Umlüftungen.

Voraussetzung ist, dass von der Grundleitung ausgehend mindestens ein Leitungsstrang zur Entlüftung über Dach geführt wird. Können keine Rohrbelüfter eingesetzt werden, so müssen die Kanäle wärmegeämmt werden und die Durchbrüche müssen luftdicht ausgeführt werden.

Checkliste für die weitere Haustechnik

- Art der Wärmeversorgung nach primärenergetischen, ökonomischen und versorgungstechnischen Gesichtspunkten auswählen.
- Nutzungskonzept und Haustechniksystem abstimmen.
- Entscheidung über Heizwärme/Warmwasserversorgung zentral bzw. dezentral auch im Hinblick auf die Verteilverluste überprüfen.
- Zentrale Anordnung des Technikraumes anstreben.
- Möglichst einfache Trassenführung der Wärmeverteilung.
- Restheizung komplett über die Zuluft möglich? Heizlastkriterium beachten.
- Kombination von Wärmeerzeuger und Lüftungsgerät möglich?
- Wärmeverluste bei Sanitär- und Abwasserleitungen minimieren.
- Belüftung von Sanitär- und Entwässerungsleitungen auf Wärmeverluste hin überprüfen, wenn möglich Unterdach-Rohrbelüfter einsetzen.

3. Detailplanung

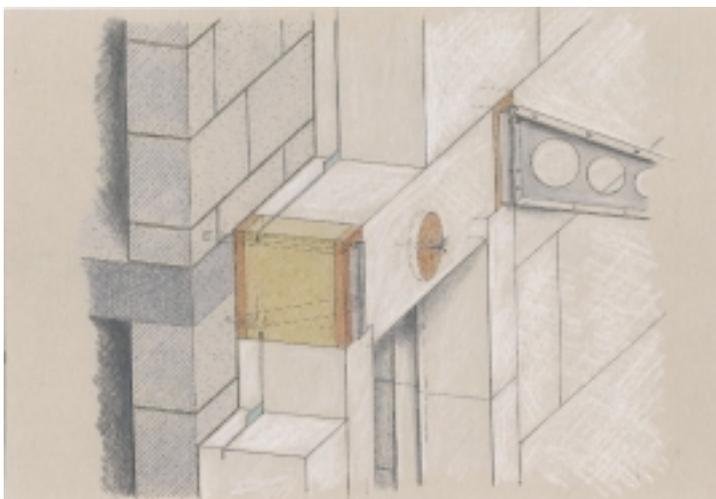
In diesem Planungsstadium sind die grundlegenden Entscheidungen über das entstehende Gebäude gefallen: Orientierung, Grundriss, Aufbau von Wand und Dach. Jetzt geht es darum, den weiter vorne aufgestellten Planungsgrundsatz „Wärmeverluste verringern – passiv solare Gewinne optimieren“ in der Ausführungsplanung bzw. Detail- oder Werkplanung umzusetzen.

3.1 Wärmedämmung

Massivbau mit Wärmedämmverbundsystem

Bei der Massivbauweise wird in der Regel eine massive Wand aus Kalksandstein, Betonstein, Ziegelmauerwerk oder Beton als Tragkonstruktion erstellt. Außenseitig wird auf dieser Wand nach der Fertigstellung des Rohbaus und am besten nach dem Einsetzen der Fenster (Abschnitt 3.4) eine Dämmschicht angebracht. Als Materialien kommen Polystyrol-, Mineralwolle- oder neuerdings auch Holzfaserplatten zur Anwendung. Kork und Mineralschaumplatten können ebenfalls eingesetzt werden. Auf die Außenseite der Dämmschicht wird über einem Armierungsgewebe ein handelsüblicher Putz aufgebracht. Die Dämmschicht bildet zusammen mit dem Putz ein sogenanntes Wärmedämmverbundsystem (WDVS), vgl. Abbildung 29.

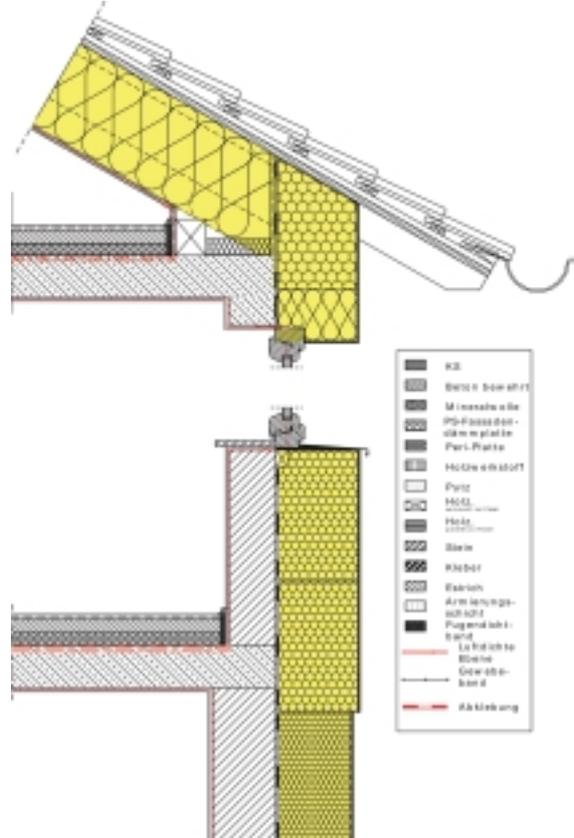
Abb. 27 thermisch getrennte Konsolen im Wärmedämmverbundsystem. Auf den Konsolen können später Leuchten, Vordächer o. ä. angebracht werden, Grafik aus dem „Konstruktionshandbuch für Passivhäuser [57].



Wärmedämmverbundsysteme benötigen wie alle eingesetzten Baustoffe eine „Allgemeine Bauaufsichtliche Zulassung“, die sich auf die Materialeigenschaften (Wärmeleitfähigkeit, Brandschutz, Schalldämmung), die Stärke der Dämmschicht und auf die Art der Befestigung der Dämmung auf dem Mauerwerk (geklebt oder gedübelt) bezieht. Es gibt inzwischen von fast allen Herstellern ein zugelassenes WDVS mit Dämmstärken, die für das Passivhaus ausreichend sind.

Sollte für eine bevorzugte Konstruktion keine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung vorliegen, so ist in Zusammenarbeit mit dem Hersteller eine Zulassung im Einzelfall anzustreben, die in aller Regel auch gewährt wird. Aus Kostengründen sollte immer eine einlagige Dämmschicht angestrebt werden. Zweilagige Ausführungen erfordern einen

Abb. 28 Traufe, Fenstereinbau oben bzw. unten und Deckenan-schluss bei einer Massivbauwand mit Wärmedämmverbundsystem für einen beheizten Keller. Die Dämmebene (gelb) läuft ohne nennenswerte Wärmebrücken – außer am Fenster – durch. Die luftdichte Ebene ist rot markiert. Grafik: PHI



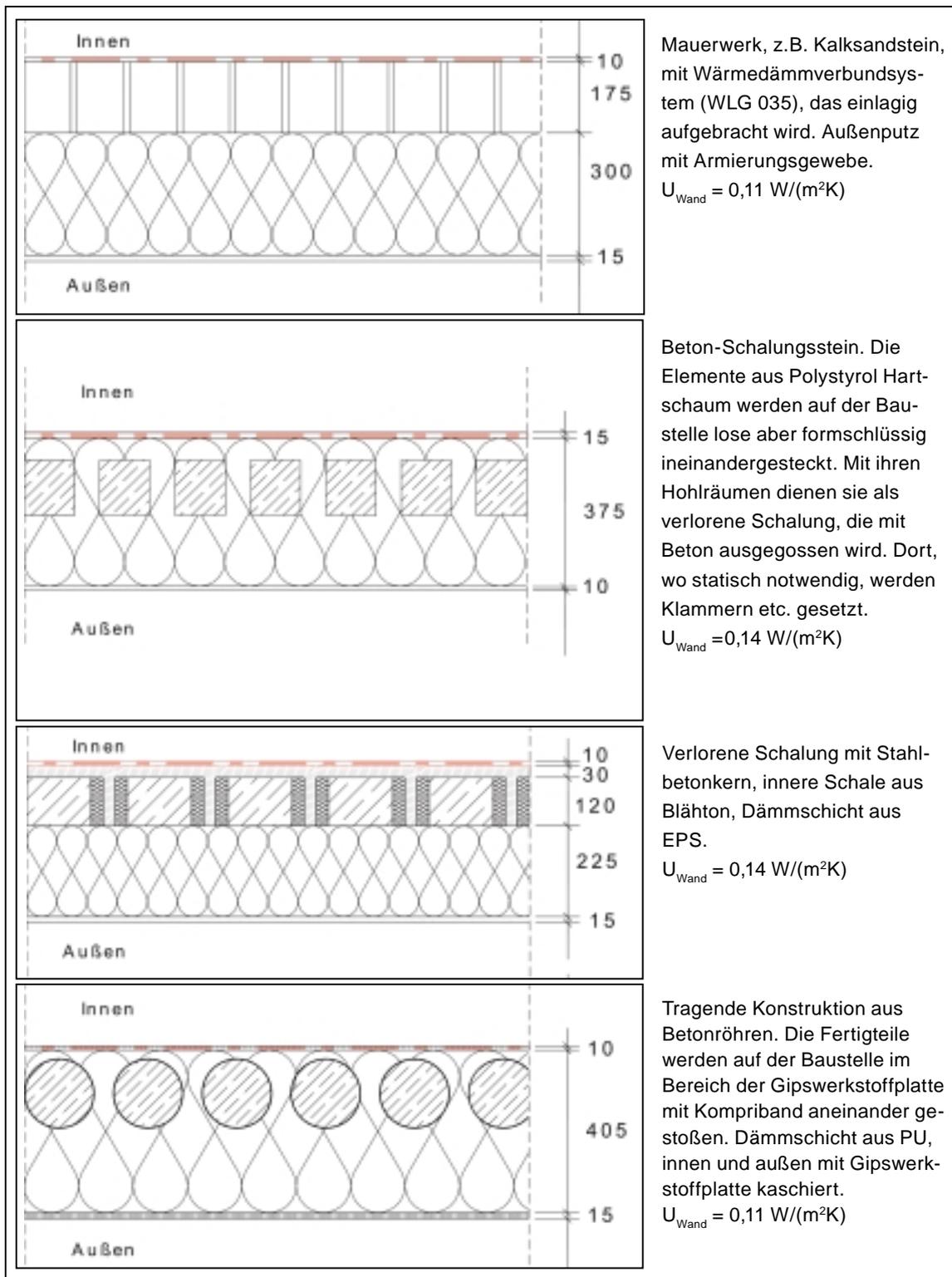


Abb. 29 Regelaufbauten verschiedener zertifizierter Wand-Bau-Systeme in Massivbauweise. Die luftdichte Ebene ist jeweils rot markiert. Weitere Konstruktionen und nähere Informationen sind über das Passivhaus Institut erhältlich [26]. Grafiken: PHI

höheren Arbeitsaufwand und erhöhen die Fehleranfälligkeit (Dämm-lücken, Klebefehler etc.) bei der Ausführung, siehe auch Abschnitt 5.1.

Die Befestigung von Leuchten, Geländern, Markisen etc. an der Fassade muss bei WDV-Systemen mit thermisch getrennten lastabtragenden Konsolen o. ä. erfolgen [57]. Einfache Stahlanker und Konsolen, die durch die ganze Dämmschicht führen, sind wenn möglich zu vermeiden, siehe Abschnitt 3.2. Fenster sind ebenfalls so einzubauen, dass der zusätzliche nicht vermeidbare Wärmebrückeneffekt möglichst klein bleibt (Abschnitt 3.4). In Abbildung 28 sind der typische Wandaufbau eines WDV-S und die wichtigsten Anschluss-Details dargestellt.

Massivbau mit Leichtmauerwerk und Zusatzdämmung

Statt Kalksandstein, Beton oder Ziegel kann in den meisten Fällen ein Leichtbeton, bzw. Porenbeton oder ein porosierter Ziegel verwendet werden. Diese Materialien haben eine geringere Wärmeleitfähigkeit. Ihre Druckfestigkeit ist für die meisten Anwendungen ausreichend. Zusammen mit einem WDV-S lassen sich die Dämmstärken bei gleichem U-Wert verringern, Abbildung 29.

Massivbau aus vorgefertigten großformatigen Bauteilen inkl. Dämmung

Fertigbauteile aus Stahlbeton- oder Leichtbeton-Wände, auf denen die Wärmedämmung schon werksseitig angebracht wird, setzen sich zunehmend am Markt durch. Diese Fertigbausysteme haben den Vorteil, dass die wichtigsten Anschluss-Details schon vom Hersteller auf ihre Eignung im Bezug auf wärmebrückenfreies Konstruieren geprüft sind [26]. Der Architekt kann somit die meisten Details einfach übernehmen und auf die wärmebrückenfreie Konstruktion vertrauen. Fehler bei der Ausführung werden dadurch ebenfalls minimiert.

Beton-Schalungsstein, verlorene Schalung aus Polystyrol
Inzwischen sind mehrere Wandsysteme auf der Basis von verlorenen Schalungen,

(sogenannte Beton-Schalungssteine) am Markt erhältlich. Die Anschlussdetails bei diesen Systemen sind ebenfalls wie bei den vorgefertigten Wandsystemen fertig durchgeplant und können vom Architekten übernommen werden. Es sollte jedoch auch hier geprüft werden, ob die Anschluss-Details der jeweils angebotenen Lösung wärmebrückenfrei gestaltet sind, d.h. ob sie für das Passivhaus geeignet sind [8], [26]. Der Hersteller sollte für alle Anschlussdetails eine Wärmebrückenberechnung vorlegen können. Eine spätere Modifikation der Anschlussdetails oder gar eine Änderung auf der Baustelle ist wegen der weitgehenden Vorfertigung der Formteile nicht möglich, Abbildung 29.

Zweischaliges Mauerwerk

Zweischalige massive Wandaufbauten sind mit den Dämmstärken im Passivhaus prinzipiell möglich. Die äußere Schale muss mit Edelstahl-Ankern fixiert werden. Gegebenenfalls muss eine Prüfung/Zulassung im Einzelfall vorgenommen werden.

Holz-Leichtbau

Der Holz-Leichtbau hat einige konstruktive Vorteile beim Wandaufbau: Die Hohlräume zwischen den statisch tragenden Ständern stehen ganz für die Aufnahme der wärmedämmenden Materialien

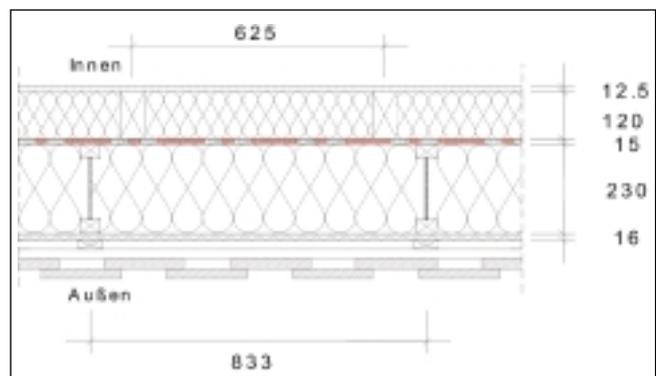


Abb. 30 Aufbau einer zweischaligen Holz-Leichtbau-Wand. Tragende Ebene mit Ständern 6 cm x 12 cm, davor hängende Dämmebene, die von Doppel-T-Trägern getragen wird. Die luftdichte Ebene wird von der mittleren Beplankung gebildet. Das Rastermaß der vorgehängten Dämmebene (83,3 cm) unterscheidet sich von dem der Haupttragwand, damit die Wärmebrückenwirkung der Stege vermindert wird, $U = 0,12 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. System Kölner Holzhaus (Architekt: Robert Laur, [58], [63]).

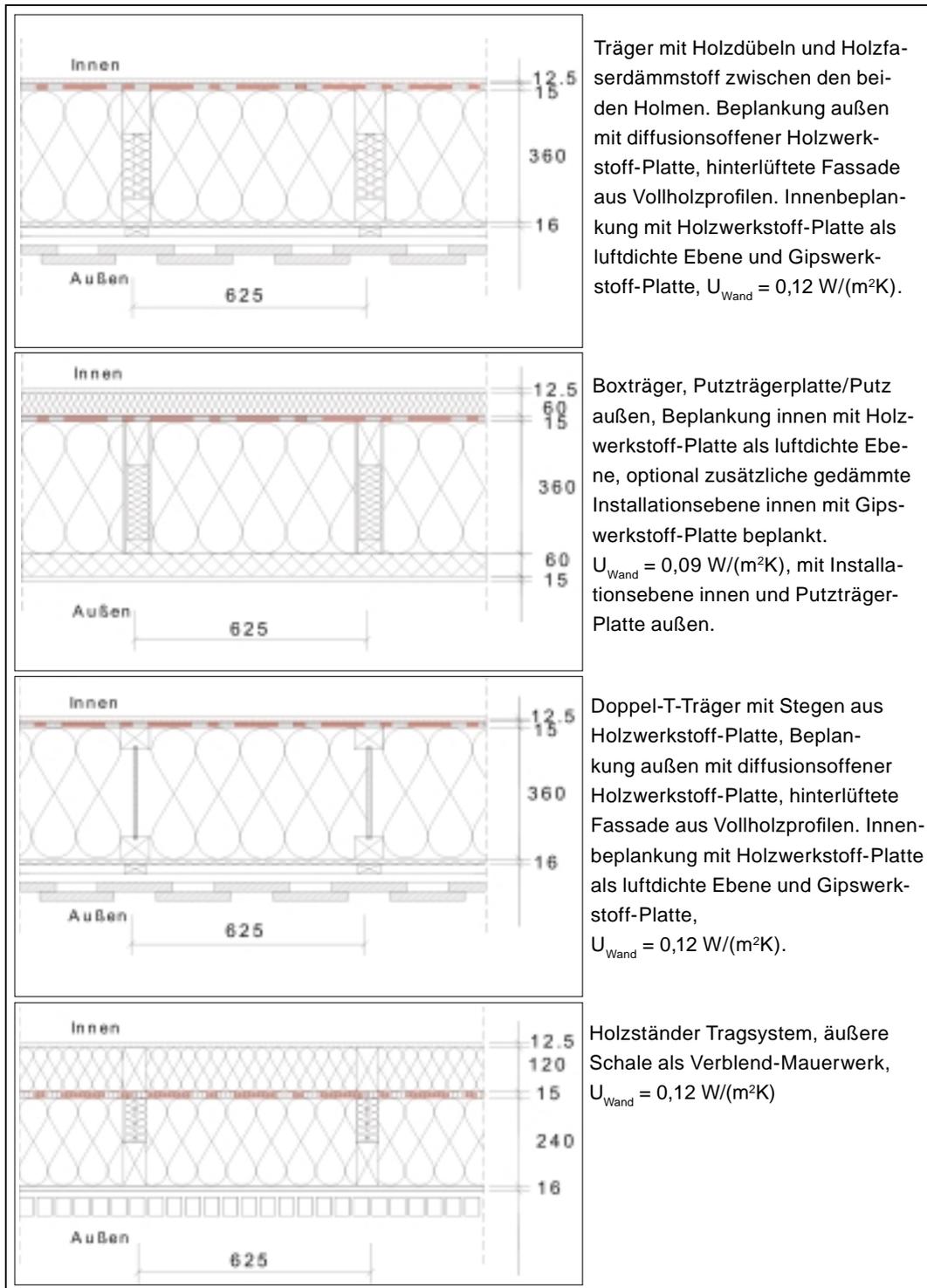


Abb. 31 Regelaufbauten von verschiedenen Holzrahmenbau-Konstruktionen [26], [63]. Um den statisch notwendigen Holzanteil möglichst gering zu halten, wird nicht mit Vollholzprofilen gearbeitet, sondern jeweils ein Innengurt und ein Außengurt kraftschlüssig miteinander verbunden. Äußere Beplankung aus diffusionsoffener Holzwerkstoff-Platte. Die innere Beplankung aus Holzwerkstoff-Platten bildet die luftdichte Ebene (rot markiert) und gleichzeitig die Dampfbremse, siehe Abschnitt 3.3. In der Fläche ist keine zusätzliche Folie notwendig. Die Platten werden an den Stößen mit geeignetem Klebeband, Folienstreifen oder Baupappenstreifen verklebt. Verschiedene Fassaden und Innenbeplankungen sind möglich.



Abb. 32 Vorfertigung im Holzrahmenbau. Haus der Familie Höcker in Rheda-Wiedenbrück,
Architekt: Mense Naturhaus, Beelen.
Foto: Höcker

zur Verfügung. Die größere Dämmstärke beim Passivhaus kann entweder durch eine zweite dämmende Schicht vor der tragenden Ebene realisiert werden (Abbildung 30), oder sie kann durch geeignet gewählte Wandsysteme mit speziellen Trägern besonders leicht und kostengünstig hergestellt werden.

In Abbildung 31 sind beispielhafte Regelquerschnitte für Wandkonstruktionen mit hoher Dämmstärke dargestellt. Der Kernaufbau ist jeweils identisch: Beplankung innen als luftdichte Schicht, Dämmschicht 360 mm, Beplankung außen mit diffusionsoffener Holzwerkstoff-Platte. Außen kann eine hinterlüftete Fassade oder ein zugelassenes WDVS z.B. auf Basis von Holzfaserdämmplatten angebracht werden [59], [60], [61], [62]. Innen kann noch eine zusätzliche Beplankung z.B. mit Gipswerkstoff-Platten angebracht werden. Eine Installationsebene (≥ 6 cm) kann außerdem noch vorgesehen werden; sie erhöht die Dämmwirkung der Wand nochmals und kann evtl. vom Bauherrn in Eigenleistung hergestellt werden.

3.2 Wärmebrückenfreies Konstruieren

Gebäudehüllen bestehen nicht nur aus den Regelbauteilen wie Wand und Dach, die als eben und unendlich ausgedehnt angesehen werden können. Vielmehr gibt es in der Gebäudehülle Kanten, Ecken, Anschlüsse und Durchdringungen. An allen diesen Stellen ist der reale Wärmeverlust meistens gegenüber dem Regel-Wärmeverlust erhöht: $Q_{\text{real}} \geq Q_{\text{reg}} = \sum_i U_i \cdot A_i \cdot \Delta\vartheta$. Der Mehrbetrag an Wärmeverlust an diesen Stellen wird Wärmebrückeneffekt genannt [7].

Mit einer konsequenten Planung gemäß den weiter unten ausgeführten Grundsätzen können Wärmebrückeneffekte weitgehend vermieden, zumindest aber stark verringert werden. Wird der Wärmebrückeneffekt für ein spezielles Anschluss-Detail null oder gar negativ, sprechen wir von „**wärmebrückenfreiem Konstruieren**“:

Multipliziert man den Wärmedurchgangskoeffizient U [$\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$] des Bauteils mit seiner Fläche A [m^2] und der Temperaturdifferenz $\Delta\vartheta$ [K], so erhält man den Regelwärmeverlust dieser Fläche. Dabei ist $\Delta\vartheta = \vartheta_i - \vartheta_a$ die Temperaturdifferenz zwischen Innentemperatur ϑ_i und Außentemperatur ϑ_a . Anschließend wird über alle Bauteile der Hüllfläche summiert: $Q_{\text{reg}} = \sum_i U_i \cdot A_i \cdot \Delta\vartheta$ [W].

Der Rechengang wird durch die konsequente Verwendung des Außenmaßes aller Bauteile stark vereinfacht, der Planer kann dann eine Maßkette einmal um den gesamten beheizten Bereich herum legen. Neben der Einfachheit der Berechnung bringt das Außenmaß eine gewisse Reserve: weil die Außenoberfläche des Gesamtgebäudes immer größer als die Summe der inneren Oberflächen der Außenbauteile ist, wird der so berechnete Regelwärmeverlust größer sein als der reale Wärmeverlust und das Ergebnis liegt auf der sicheren Seite [7].

Dieser Regelwärmeverlust stellt allerdings nur eine Näherung dar, denn der tatsächliche Wärmeverlust Q_{real} ergibt sich aus dem Integral der dreidimensionalen Wärmeströme, die durch Materialwechsel und wegen der nicht ebenen Geometrie der Gebäudehülle räumlich veränderlich sind [50]. Bei konstruktiven Wärmebrücken, wie zum Beispiel auskragende Balkonplatten (lineare Wärmebrücke) oder die Dämmschicht durchdringende Metallan-

ker (punktuelle Wärmebrücke), ist der entstehende Fehler leicht einzusehen, denn hier geht zusätzlich Wärme verloren.

Bei Wärmebrücken, die sich linear erstrecken, wird der zusätzliche Wärmeverlust durch einen linearen Wärmebrückenverlustkoeffizienten Ψ [W/mK] multipliziert mit der Länge der Wärmebrücke s [m] und der Temperaturdifferenz $\Delta \vartheta$ [K] berechnet. Punktuelle Wärmebrücken werden durch einen Koeffizienten χ [W/K] beschrieben. Der gesamte Wärmestrom durch die Gebäudehülle lässt sich dann nach der Formel $Q_{\text{real}} = Q_{\text{reg}} + (\sum_j \Psi_j s_j + \sum_k \chi_k) \Delta \vartheta$ berechnen.

Im PHPP können Wärmebrückeneffekte ohne großen Aufwand mit bilanziert werden. Sind die einzelnen Verlustkoeffizienten, z.B. für ein Streifenfundament oder eine unvermeidliche konstruktive Durchdringung bekannt, so können diese und die Ausdehnung der Wärmebrücke einfach eingegeben werden. Die zusätzlichen Wärmeverluste werden denen der anderen Bauteile hinzuaddiert.

Geometrische Wärmebrücken entstehen, wenn Außenbauteile mit unterschiedlicher Orientierung aneinander stoßen und sich deshalb das Außenmaß vom Innenmaß unterscheidet, zum Beispiel an einer Hauskante, am Traufanschluss, am Ortgang und am First. In Abbildung 37 bis Abbildung 51 sind die wichtigsten Details dargestellt. Verwendet man den Außenmaßbezug für alle Hüllflächenbauteile, so werden die Ψ_a -Werte der geometrischen Wärmebrücken bei Bauteilen ohne zusätzliche konstruktive Störungen regelmäßig negativ. Das bedeutet, die näherungsweise mit den Außenmaßen der Bauteile berechneten temperaturspezifischen Wärmeverluste $\sum U_i \cdot A_i \cdot \Delta \vartheta$ sind größer als der tatsächliche Verlust. Ausnahmen sind konkave Bereiche der Hülle (z.B. Innenecke). Deren positiver geometrischer Wärmebrückenbeitrag wird aber immer durch den Negativbeitrag in einem zusätzlichen konvexen Bereich ausgeglichen [7].

Werden geometrische Anschlüsse mit zusätzlichen konstruktiven Durchdringungen belastet, so müssen diese Details ggf. mit einer zweidimensionalen Berechnung bewertet werden. Diese Lösungen müssen ausdrücklich kritisch bewertet werden, sie sind nicht nur teuer, sondern auch thermisch ungünstig konzipiert und können deshalb für das



Abb. 33 Fußpunkt einer aufgehenden Wand über Betondecke. Zur thermischen Entkopplung wird die Wand auf eine Reihe Blöcke aus Porenbeton oder ähnlichem Material mit geringer Wärmeleitfähigkeit ($\lambda \leq 0,1$ W/(mK)) gestellt. Siehe auch Abbildung 45. Haus der Familie Breuer-Bachmann in Köln, Architekt: Gerhardt Weiss, Aachen. Foto: Breuer-Bachmann



Abb. 34 Die Wärmebrücke am Fensteranschluss kann in der Laibung durch konsequentes Überdämmen des Fensterrahmens sehr effektiv minimiert werden: Das Fenster wird vor dem Mauerwerk befestigt, so dass es später in der Dämmebene liegt. Siehe auch Abbildung 62. Haus der Familie Maintz, Solarsiedlung Aachen. Architekt: Gerhardt Weiss, Aachen. Foto: Maintz

Passivhaus nicht empfohlen werden. Eine Lösung für diesen Konflikt wurde schon mit den Regelaufbauten (Abbildung 29 und Abbildung 31) vorgeschlagen. Der Wandaufbau wird formal in eine statisch tragende Ebene und eine außenliegende Dämmebene aufgetrennt.

Generell sollten konstruktive Wärmebrücken beim Passivhaus soweit wie möglich vermieden oder jedenfalls auf einen vernachlässigbaren Wert begrenzt werden. Das Grundprinzip hierfür ist das „wärmebrückenfreie Konstruieren“. Als Kriterium hierfür hat sich die Anforderung $\Psi_a \leq 0,01 \text{ W/(mK)}$ bewährt. Erreicht man durch günstige Auswahl der konstruktiven Details, dass jeder Wärmebrückenverlustkoeffizient höchstens diesen Wert annimmt, so wird die Summe der zusätzlichen Wärmebrücken in der Regel negativ bzw. vernachlässigbar klein. Hat man erst eine Sammlung von Anschlussdetails, die das Kriterium „wärmebrückenfrei“ er-

füllen, so kann man sich bei ausschließlicher Verwendung dieser Details in einem Gebäude auf die Berechnung der Regelwärmeverluste beschränken. Ein pauschaler Zuschlag auf den U-Wert (ΔU_{WB}) kann unter diesen Umständen mit „Null“ angesetzt werden. Auch die EnEV [48] [49] geht diesen Weg: sind die Wärmebrücken in den Regel-U-Werten bereits enthalten, so darf mit $\Delta U_{\text{WB}} = 0$ gerechnet werden. Wir werden im Folgenden allgemeine Prinzipien und konkrete Konstruktionsvorschläge für die wesentlichen Anschluss-Details angeben, die es erlauben, Passivhäuser wärmebrückenfrei zu projektieren.

Planungshinweis: Wärmebrückenfreies Konstruieren

Es zeigt sich, dass man bei sorgfältiger Gestaltung aller Details erreichen kann, dass in einem mit dem Außenmaß berechneten Regelwärmeverlust alle Wärmebrückenverluste bereits enthalten sind. Ist dies der Fall, dann liegt definitionsgemäß eine im Ganzen „wärmebrückenfreie Konstruktion“ vor. In diesem Fall kann man sich die explizite (aufwändige) Berechnung von Wärmebrücken ersparen.

Beispiel: der mit dem Außenmaß berechnete Regelwärmeverlust Q_{reg} eines würfelförmigen Baukörpers ohne Fenster etc. wird immer größer sein als sein realer Wärmeverlust, weil die geometrischen Wärmebrücken an den Kanten und Ecken des Würfels negative Ψ -Werte aufweisen – sofern sie nicht mit „verbotenen“ konstruktiven Durchdringungen belastet sind, Abbildung 37.

Abbildung 11 und Abbildung 28 zeigen den Planungsgrundsatz für wärmebrückenfreie Konstruktionen: Es ist die „**Regel vom breiten Stift**“. Man bedient sich dazu maßstäblicher Zeichnungen der Gebäudehülle (Grundrisse und Schnitte). Für ein Passivhaus verwendet man nun einen Zeichenstift, dessen Breite einem Wärmedurchgangswiderstand von $R = 6 \text{ m}^2\text{K/W}$ entspricht. Für einen Dämmstoff mit $\lambda = 0,04 \text{ W/(mK)}$ sind dies 24 cm maßstäblicher Breite. Wenn es nun gelingt, die

Außenhülle des Gebäudes in dieser vollen Breite innerhalb des Dämmstoffes unterbrechungsfrei zu durchfahren – gelbe Dämmebene in Abbildung 11 und Abbildung 28 – kann man sicher sein, dass die so getesteten Details das Kriterium der Wärmebrückenfreiheit erfüllen, siehe z. B. die Deckenanschlüsse in Abbildung 50 und Abbildung 51.

Die „Regel vom breiten Stift“, vereint die folgenden Planungsgrundsätze [50]:

1. **Vermeidungsregel:** Wo immer möglich, die dämmende Hülle nicht durchbrechen.
2. **Durchstoßungsregel:** Wenn eine Durchdringung unvermeidbar ist, so sollte der Wärmedurchgangswiderstand des durchdringenden Materials in der Dämmebene möglichst hoch sein. Beispiel Kraftanker aus glasfaserverstärktem Kunststoff statt Stahl verwenden.
3. **Anschlussregel:** Dämmlagen an Bauteilanschlüssen müssen lückenlos ineinander übergeführt und in der vollen Fläche angeschlossen werden. Beispiel: Fensteranschluss (Abschnitt 3.4)
4. **Geometrieregeln:** Kanten sollten mit möglichst stumpfen Winkeln gewählt werden.

Bereits im Regel-U-Wert berücksichtigte Elemente, wie z.B. Holzständer mit einem bestimmten Rasterabstand (Abbildung 31), die Dübel bei Wärmedämmverbundsystemen oder der statisch erforderliche Betonquerschnitt der Fertigbauteile (Abbildung 29) zählen nicht als Unterbrechung; dagegen stellt eine Durchdringung der Wand von innen nach außen mit hochwärmeleitendem Material auch geringer Dicke, z.B. einer Aluminiumfolie, eine Verletzung des Konstruktionsprinzips dar. Immer, wenn man mit der „Regel vom breiten Stift“ auf Anschlüsse oder Durchdringungen trifft, bei denen die Erfüllung der Regel nicht offensichtlich ist, empfiehlt sich eine genauere Betrachtung. Das wird am besten eine numerische zweidimensionale Wärmebrückenberechnung für das betreffende Detail sein. Bedeutende Wärmebrücken können durch ungünstige konstruktive Details entstehen:

- Unterbrechungen der Dämmlage
- Versatz von Dämmlagen
- Durchdringungen von besser wärmeleitendem Material (z.B. Metall)
- Auskragungen
- Eindringungen von besser wärmeleitendem Material

Diese konstruktiven Schwächen sollten bei Passivhäusern soweit wie möglich vermieden werden. Diese Anschlussdetails müssen auch in der Detailplanung besonders berücksichtigt werden, um die baupraktische Ausführbarkeit sicherzustellen. Die planerischen Vorgaben, d.h. die Anforderungen nach Wärmebrückenfreiheit und Luftdichtheit müssen in der Ausschreibung präzise formuliert werden (Abschnitt 4).

Der Verweis auf bereits geprüfte Bausysteme sei an dieser Stelle wiederholt: Kann der Hersteller eines Wärmedämmverbundsystems oder eines vorgefertigten Bausystems nachweisen, dass seine Details von unabhängiger Seite auf Wärmebrücken hin untersucht wurden, dann hat der Architekt und der Bauherr davon zweierlei Vorteile: Zum einen sind die Wärmebrücken in allen wichtigen Details soweit wie möglich eliminiert. Zum anderen sind die Wärmebrückenverlustkoeffizienten (Ψ -Werte) der verbleibenden bzw. unvermeidlichen Wärmebrücken bekannt und können ohne zusätzlichen Planungsaufwand in die Energiebilanz eingerech-

net werden [26], siehe auch Abschnitt 2.6 und die Bemerkungen zum wärmebrückenfreien Fensteranschluss in Abschnitt 3.4.

Auskragende Balkonplatten und schwere Vordächer, deren tragende Konstruktion die Dämmschicht durchdringt, sind aus wärmetechnischer Sicht nicht mehr Stand der Technik. Balkone und Galerien können in der Regel freistehend vor der Fassade aufgestellt werden, so dass sie lediglich mit dünnen, thermisch getrennten Ankern am Gebäude fixiert werden müssen, siehe zum Beispiel Abbildung 13 und Abbildung 36. Das Treppenhaus und die Galerie sind bei diesen Passivhäusern auf Betonkonsolen gelagert, die vor dem WDV stehen und nur an wenigen Stellen am Gebäude fixiert sind.

Für **leichte Vordächer, Geländer, Lampen** und andere auskragende Fassadenelemente gibt es Spezialdübel und Konsolen aus Glasfaserverbundmaterialien und druckfesten Dämmstoffen, welche die Dämmschicht eines WDV-Systems durchdringen dürfen und dennoch keine nennenswerte Wärmebrücke bilden (Abbildung 27). Der Holzbau hat hier einen konstruktiven Vorteil, denn die Dämmschicht wird in aller Regel von einer Beplankung abgeschlossen, welche ihrerseits die Befestigung von leichten Bauteilen zulässt, ohne die Dämmschicht zusätzlich durchdringen zu müssen. Schwerere Geländer, Vordächer und Markisen müssen an einem statisch ausreichend dimensionierten Wand-Träger befestigt werden, was bei den üblichen Rastermaßen kein Problem sein dürfte.

Abbildung 35 zeigt als Beispiel die Konsolen für ein Geländer (Absturzicherung) vor einem raumhohen Fenster, das in ein Wärmedämmverbundsystem eingebaut wird. Ein Block aus PU-Recycling-Material ($\lambda = 0,075 \text{ W/(mK)}$) wird auf der Wand verschraubt. Auf diesem Block ist die Befestigung für das Geländer montiert, die somit die Dämmebene nicht durchstößt, siehe auch Abbildung 27. In vielen Fällen ist hier auch eine Konstruktion mit Klötzen aus Leimholz möglich.

Eine besondere Herausforderung stellen Sockelpunkte von aufgehenden Wänden dar. Beispielhafte Lösungen hierfür sind in den Details in Abbildung 43 bis Abbildung 49 zu finden.



Abb. 35 Konsolen für ein Fenster und ein Geländer (Absturzsicherung) aus hochfestem, wärmedämmendem PU-Recycling-Material ($\lambda = 0,075 \text{ W/(mK)}$). Hamburg, Telemannstraße. Architekten: Dittert und Reumschüssel, Hamburg. Foto: PHI



Abb. 36 Vor der Fassade frei stehende Galerie zur Vermeidung von Wärmebrücken. Passivhaus Vauban I, Freiburg, Architekten: id-architektur, (Common & Gies Architekten, Freiburg). Foto: PHI

Der Deckenanschluss an die Außenwand, Abbildung 50, ist dann unproblematisch, wenn die Planungsregel vom „breiten Stift“ konsequent angewandt wird, d.h. wenn die Überdeckung am Deckenanschluss genügend dick (24 cm bei $\lambda = 0,04 \text{ W/(mK)}$) ausgeführt wird. Für die Anschlüsse von nicht tragenden Innenwänden an die Außenwand oder an das Dach gilt das selbe. Für weitere konstruktive Details sei auf die umfangreiche Literatur zu diesem Thema verwiesen, z.B. [84], [85]

Wechsel von Innenmaß auf Außenmaßbezug

In vielen Veröffentlichungen und Datensammlungen z.B. im „Wärmebrückenatlas für den Hochbau“ [65] sind bisher auf die Innenmaße bezogene Ψ -Werte tabelliert, die man mit den Werten in diesem Leitfaden nicht direkt vergleichen kann. Kennt man jedoch die zugehörigen Maßketten, so lassen

sich die Werte Ψ_a und Ψ_i jeweils ineinander umrechnen [7].

$$\Psi_a = \Psi_i - U_1 (s_{1a} - s_{1i}) - U_2 (s_{2a} - s_{2i})$$

1 und 2 bezeichnen dabei die beiden aneinanderstoßenden Bauteile, $s_{a1,a2}$ bzw. $s_{i1,i2}$ sind die Außen- bzw. Innenmaße der Bauteile, siehe auch Abbildung 37. Neuerdings werden die Ψ -Werte meist auf das Außenmaß bezogen angegeben [67].

Der Außenmaßbezug ist für Berechnungen nach PHPP auch am Sockelpunkt konsequent zu benutzen, d.h. die Höhe einer Außenwand ist von der *Unterkante der gedämmten Bodenplatte bzw. Kellerdecke* ab zu rechnen. Die Ψ_a -Werte für diese Details sind dann wie für alle Außenkanten klein und meist vernachlässigbar. In der EnEV wird hier ab der Oberkante Bodenplatte gemessen. Die resultierenden Ψ -Werte müssen deshalb immer berücksichtigt, d.h. berechnet werden, was nicht zuletzt den Arbeitsaufwand vergrößert.

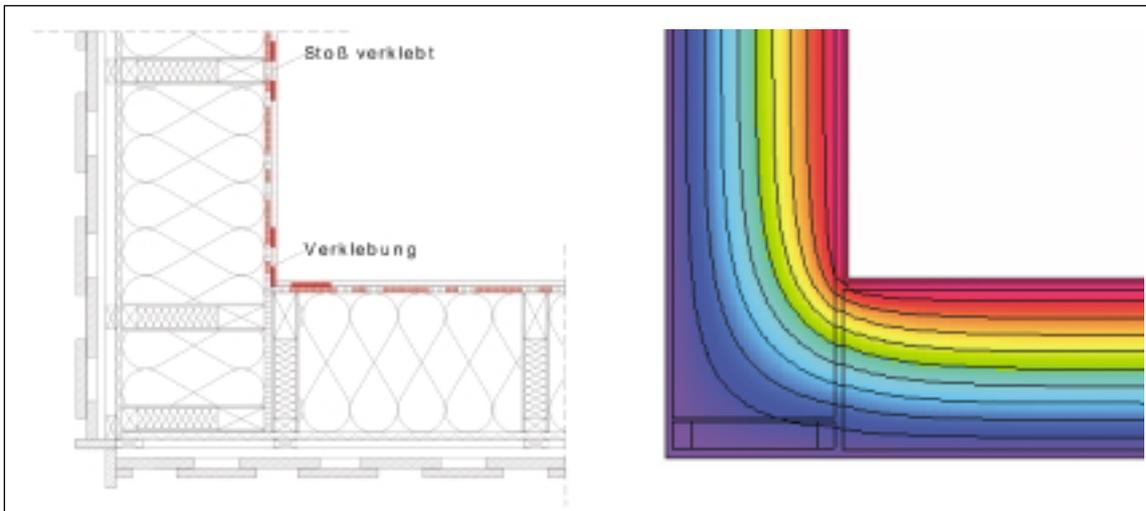


Abb. 37 Außenwand-Kante einer Holz-Leichtbau-Konstruktion [63]. Außer den regelmäßig wiederkehrenden Trägern, die im U-Wert der Wand eingerechnet sind, ist hier nur ein zusätzlicher Träger zur Aussteifung der Kante eingesetzt. Deshalb ist dieser Anschluss im Wesentlichen eine geometrische Wärmebrücke mit negativem Ψ -Wert: $\Psi_a = -0,064 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, $U_{\text{Wand}} = 0,12 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Grafik: PHI



Abb. 38 Anschlussdetail Traufe Holz-Leichtbau Wand und Dach [63]
 $U_{\text{Wand}} = U_{\text{Dach}} = 0,12 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ $\Psi_a = -0,026 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
 Grafik: PHI

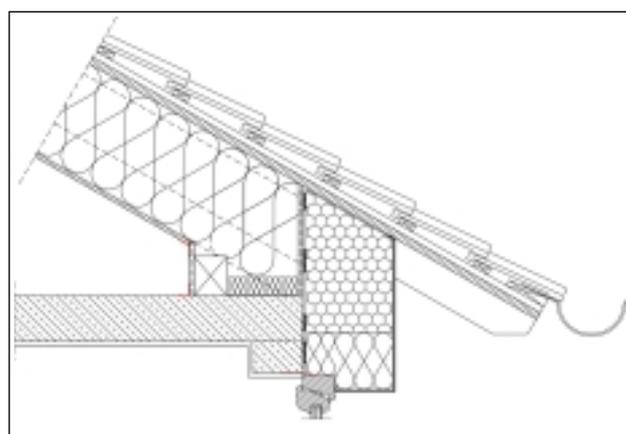


Abb. 39 Anschlussdetail Traufe, WDVS. $U_{\text{Wand}} = U_{\text{Dach}} = 0,12 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ $\Psi_a = -0,03 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. In Abbildung 28 sind weitere Massivbau-Details zusammengefasst. Grafik: PHI

Bezug zum Bauteil beachten

Vorsicht: Bei schlechten Bauteil-U-Werten können Ψ -Werte manchmal niedrig erscheinen! Entscheidend ist aber nicht der Ψ -Wert für sich, sondern der Gesamtwärmeverlust als Summe aus Regelverlust und Wärmebrückenbeiträgen. Es macht somit keinen Sinn, niedrige Ψ -Wert durch hohe Regel-U-Werte zu erkaufen.

Wärmebrückenverlustkoeffizienten gelten prinzipiell nur für die Bauteilkonstruktionen, für die sie berechnet wurden. Deshalb muss neben der Angabe eines Ψ -Wertes stets mindestens die jeweilige Konstruktion mit allen Maßen angegeben werden und es sollten die U-Werte aller angren-

zenden Bauteile mit angegeben werden, vgl. [26]. Insbesondere gilt: für den Ψ -Wert z. B. eines Fensteranschlusses im Passivhaus ergibt sich ein unrealistisch niedriger Wert, wenn der Anschluss mit einer (nicht für das Passivhaus geeigneten) Wand mit einem hohen U-Wert (z.B. $U_{\text{Wand}} = 0,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$) berechnet wird. Deshalb müssen Wärmebrückenverlustkoeffizienten von Anschlüssen für das Passivhaus stets mit den Bauteilaufbauten berechnet werden, die im Passivhaus tatsächlich vorkommen, d.h. mit $U_{\text{Wand}} \leq 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Dies bedeutet aber weiterhin: Ψ -Werte aus Datensammlungen von konventionellen Bauteilen dürfen nicht auf das Passivhaus übertragen werden.



Abb. 40 Anschlussdetail Ortgang, Holz-Leichtbau Wand und Dach [63]
 $U_{\text{Wand}} = U_{\text{Dach}} = 0,12 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ $\Psi_a = -0,055 \text{ W}/(\text{mK})$
 Grafik: PHI

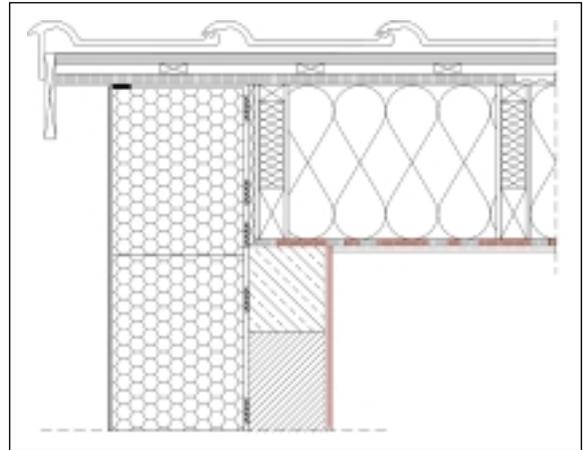
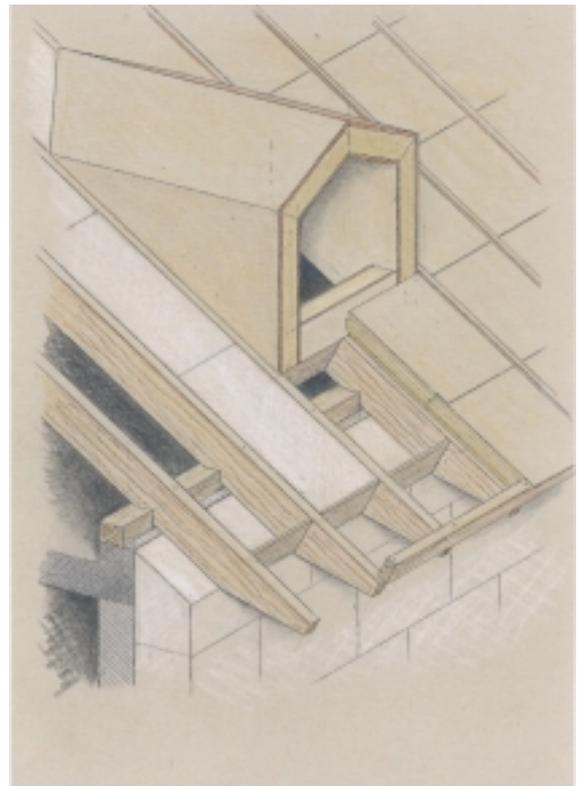
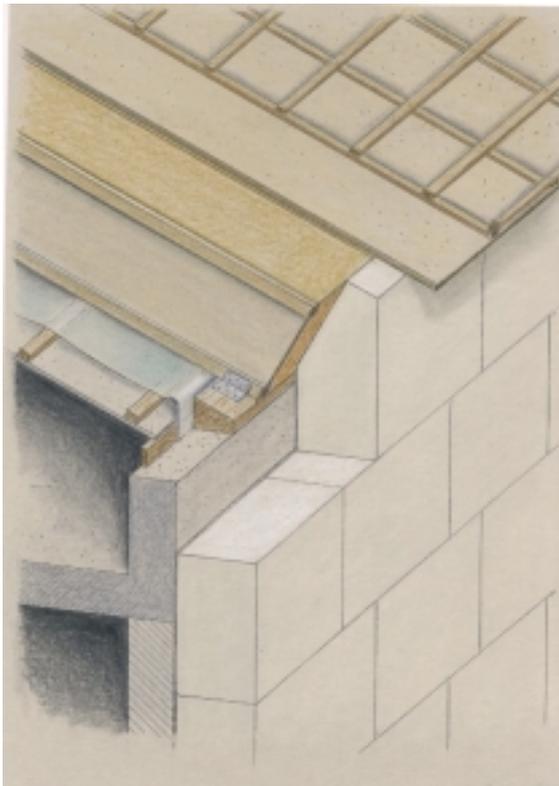


Abb. 41 Anschlussdetail Ortgang, Massive wand an Holz-Leichtbau Dach. Die Mauerkrone ist hier nicht, wie sonst üblich in die Dämmebene des Daches hochgezogen.
 $U_{\text{W}} = U_{\text{Dach}} = 0,12 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ $\Psi_a = -0,03 \text{ W}/(\text{mK})$.
 Grafik: PHI

Abb. 42 Vorschläge für Anschlussdetails an der Traufe, entnommen aus dem „Konstruktionshandbuch für Passivhäuser“ [57]. Links einschaliges Holz-Leichtbau-Dach an WDVS. Rechts zweilagiger Dachaufbau mit Gaube aus vorgefertigten Dämmelementen.



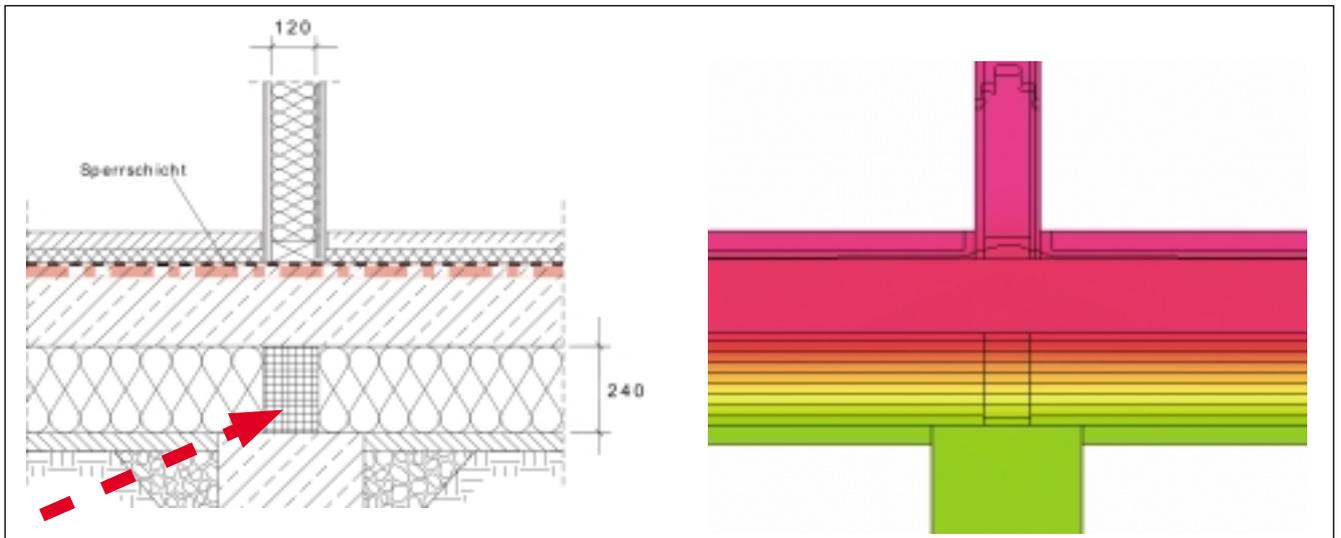


Abb. 43 Innenwand auf Bodenplatte mit unten liegender Dämmung [63]. Porenbetonstein zur thermischen Trennung des Streifenfundaments. Das Isothermenbild zeigt, dass der Aufbau vom Temperaturverlauf her bauphysikalisch einwandfrei ist.
 $U_{BP} = 0,12 \text{ W/(m}^2\text{K)}$, $\Psi_a = +0,022 \text{ W/(mK)}$. Grafik: PHI

Abb. 44 Holz-Leichtbau-Innenwand auf Bodenplatte mit innenseitiger Dämmung. Das Material sorgt für die gute thermischen Trennung. $U_{BP} = 0,12 \text{ W/(m}^2\text{K)}$, $\Psi_a = +0,015 \text{ W/(mK)}$
 Metallständerwände würden hier einen wesentlich größeren Wärmebrückeneffekt erzeugen und sind deshalb zum Einsatz auf der kalten Bodenplatte nicht geeignet. Grafik: PHI

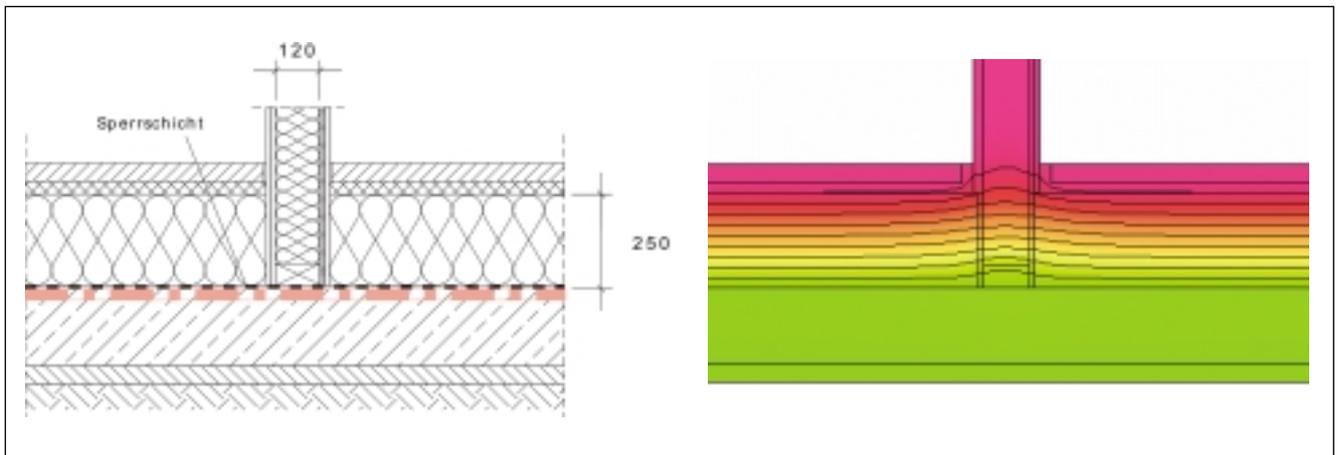
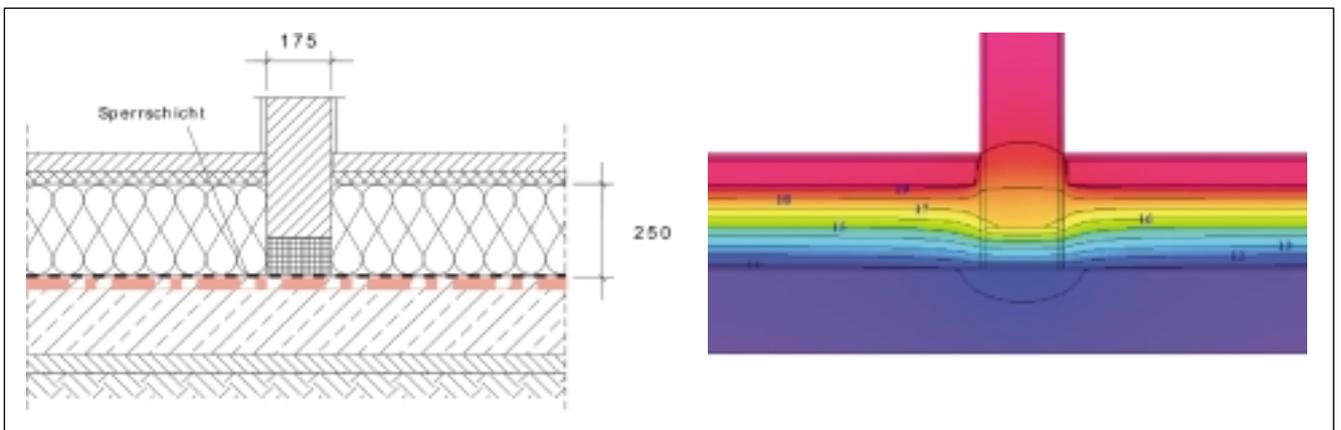


Abb. 45 Massive Innenwand auf Bodenplatte mit innenseitiger Dämmung. Hier muss zur thermischen Trennung ein Porenbeton-Block eingesetzt werden [63]. $U_{BP} = 0,12 \text{ W/(m}^2\text{K)}$,
 $\Psi_a = +0,14 \text{ W/(mK)}$ mit zwei Dämmblöcken übereinander ergibt sich $\Psi_a = +0,104 \text{ W/(mK)}$.
 Grafik: PHI



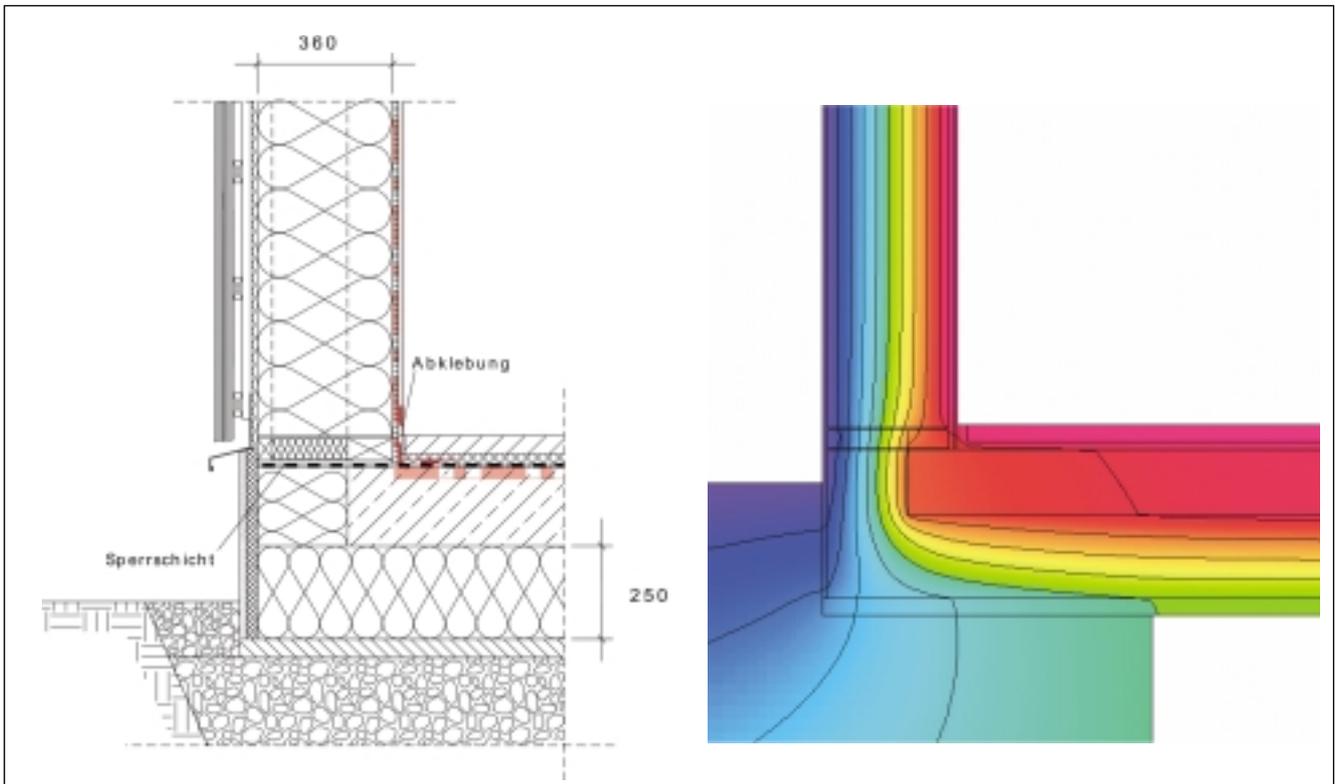
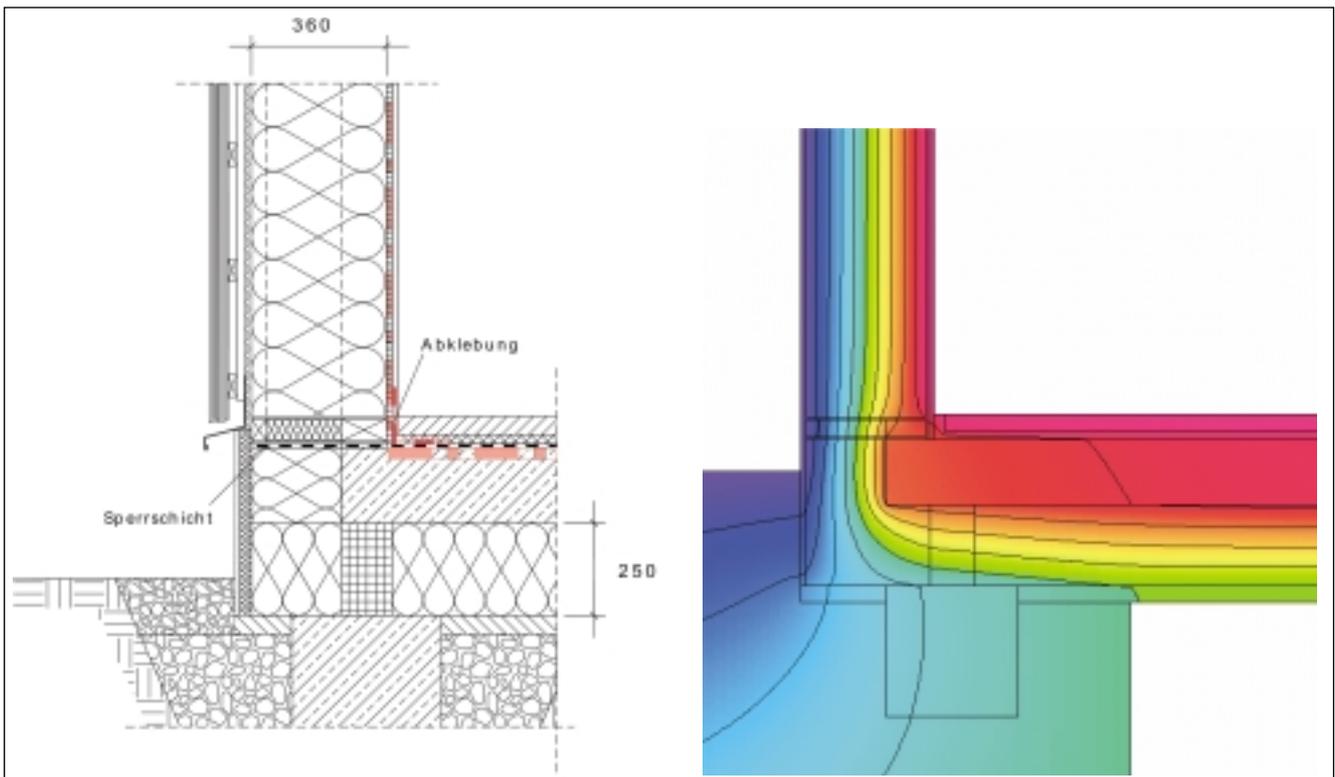


Abb. 46 Fußpunkt der Holz-Leichtbau-Außenwand auf Bodenplatte mit außenliegender Dämmung [63]. $U_{BP} = U_{Wand} = 0,12 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ $\Psi_a = -0,031 \text{ W}/(\text{mK})$.
 Grafik: PHI

Abb. 47 Fußpunkt der Holz-Leichtbau-Außenwand auf Bodenplatte mit Streifenfundament, thermische Trennung aus Porenbeton [63], $U_{BP} = U_{Wand} = 0,12 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ $\Psi_a = -0,019 \text{ W}/(\text{mK})$.
 Grafik: PHI



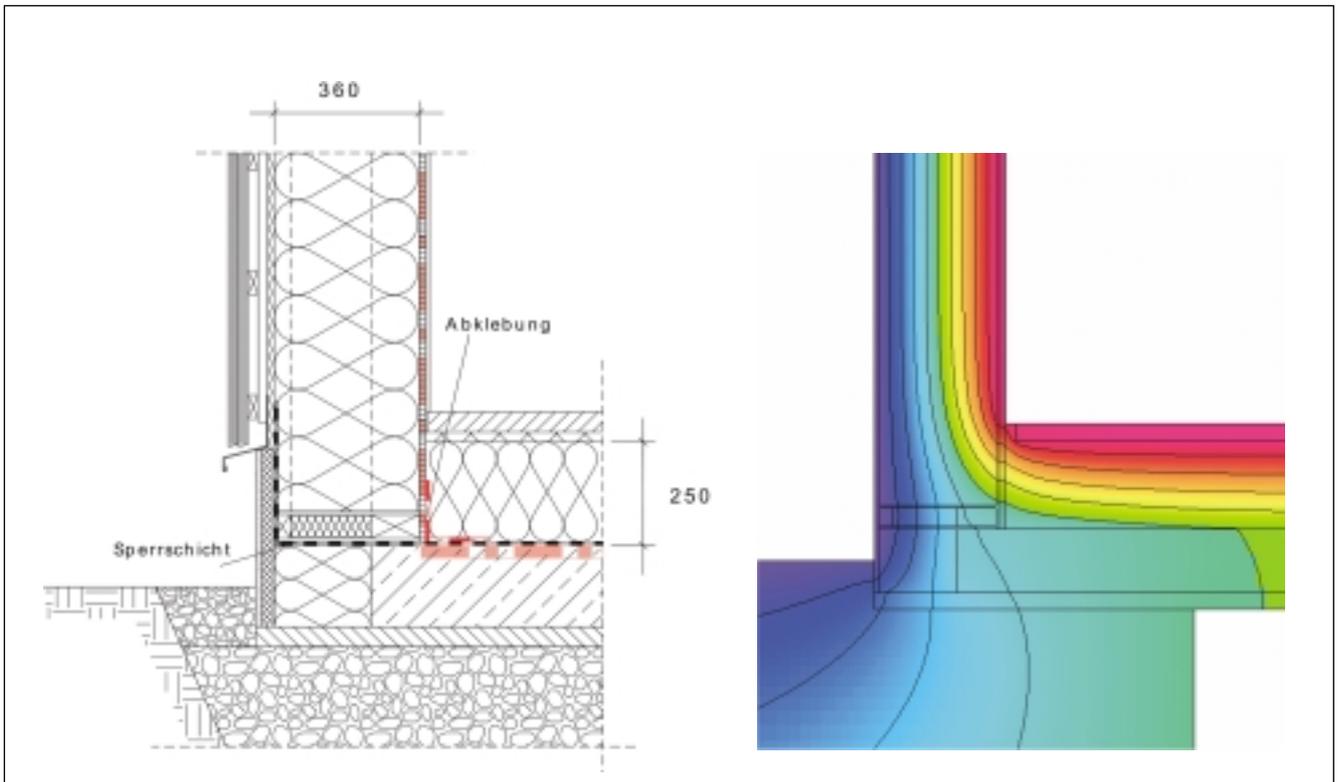
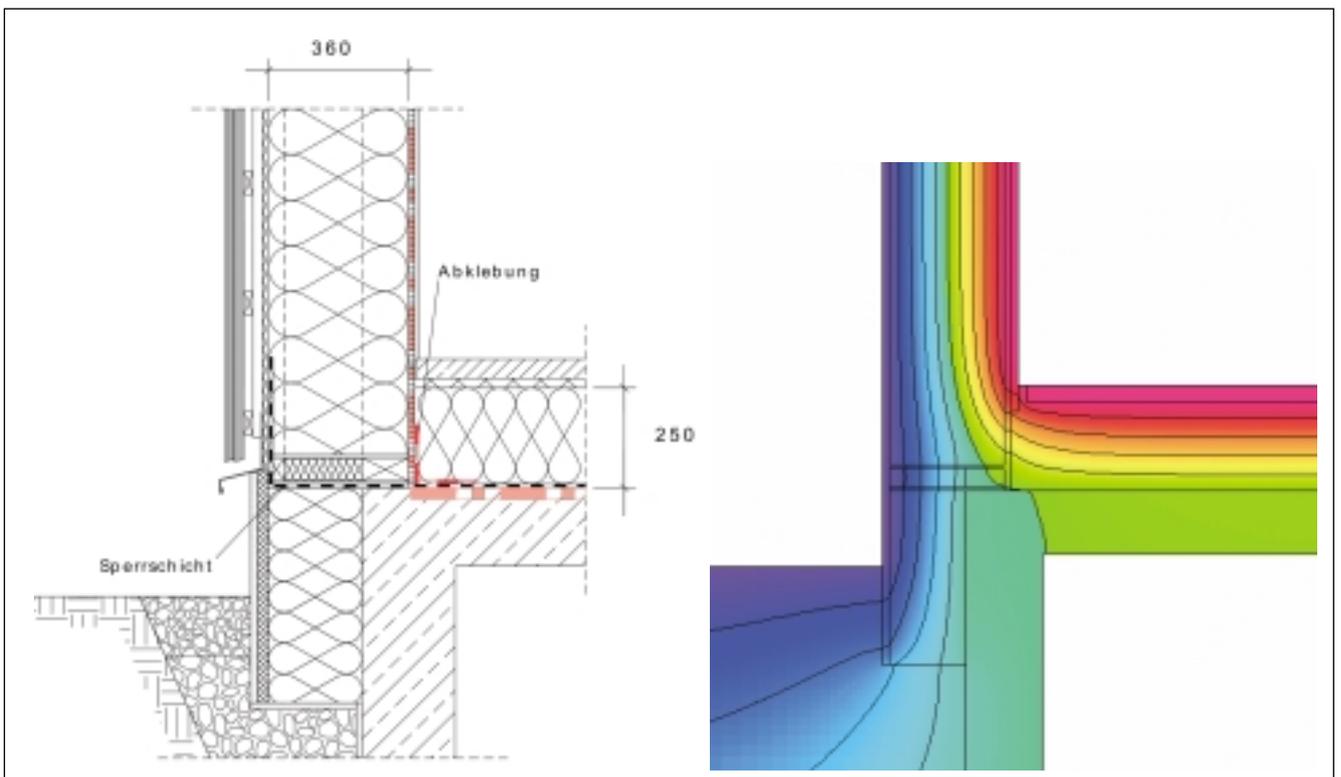


Abb. 48 Fußpunkt der Holz-Leichtbau-Außenwand auf Bodenplatte mit innenliegender Dämmung [63], $U_{BP} = U_{Wand} = 0,12 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ $\Psi_a = -0,056 \text{ W}/(\text{mK})$.
 Grafik: PHI

Abb. 49 Fußpunkt der Holz-Leichtbau-Außenwand auf Kellerdecke mit Dämmung über der Kellerdecke. Die weit nach unten gezogene Dämmschicht wirkt wie eine Schürze, welche die Wärmebrückenwirkung stark vermindert [63]. $U_{BP} = U_{Wand} = 0,12 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ $\Psi_a = -0,054 \text{ W}/(\text{mK})$.
 Grafik: PHI



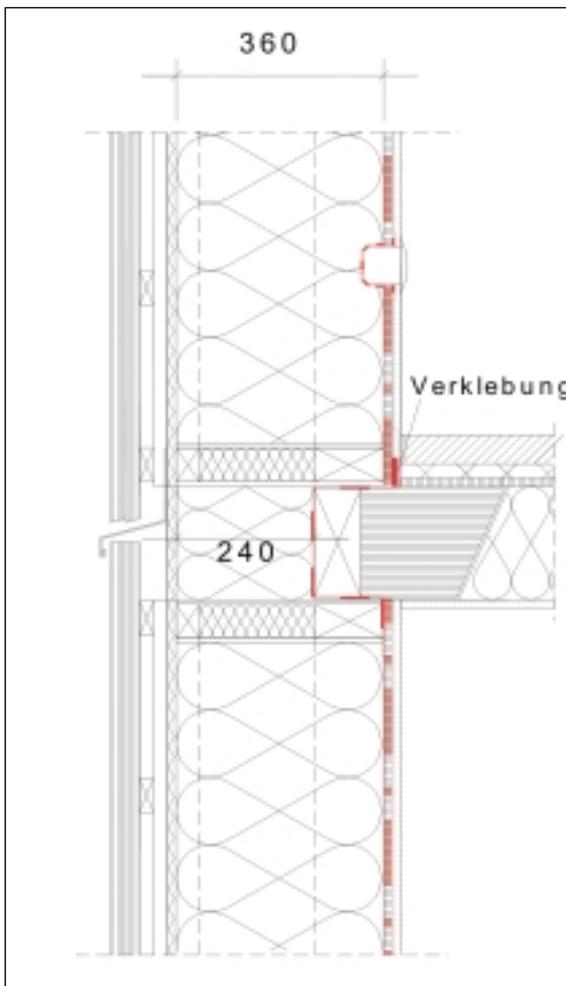


Abb. 50 Anschlussdetail Decke an Holz-Leichtbau Wand. Die Stoßstelle ist mit einer Dämmschicht von 24 cm überdeckt. Damit kann die Wärmebrückenwirkung bis auf einen vernachlässigbaren Wert verringert werden.
 $U_{\text{Wand}} = 0,12 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ $\Psi_a = +0,009 \text{ W}/(\text{mK})$
 Die luftdichte Ebene wird im Bereich der Wand von der inneren Beplankung gebildet. Steckdosen sind als luftdichte Hohlwanddosen auszuführen, Abbildung 92. Im Bereich der Decke wird ein breiter Folienstreifen verwendet, der im unteren Wandelement eingeklemmt ist. Er wird nach dem Auflegen der Balkendecke nach innen geschlagen und später mit der Beplankung des oberen Wandelements im Bereich des Estrichs verklebt [63].
 Grafik: PHI

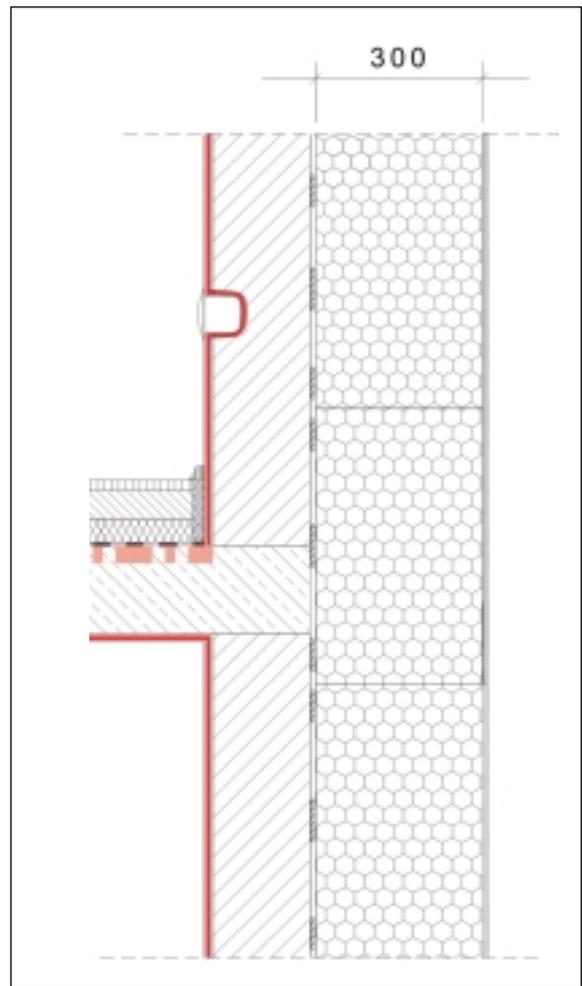


Abb. 51 Anschlussdetail Betondecke an massive Wand mit WDVS. Hier ist die Wärmebrückenwirkung vollständig vernachlässigbar ($\Psi_a = 0$), weil die Dämmschicht nicht geschmälert wird.
 Die luftdichte Ebene wird in den beiden Räumen oben und unten jeweils von der Putzschicht gebildet. Beim Massivbau muss deshalb immer darauf geachtet werden, dass bis hinab auf die Rohbeton-Decke verputzt wird, bevor der Estrich und die Trittschalldämmung verlegt wird. Steckdosen in der Außenwand sind vollständig einzuputzen, siehe Abschnitt 3.3 und Abbildung 92.
 Grafik: PHI

3.3 Luftdichte Konstruktion

Planungsgrundsätze für eine luftdichte Hülle

Der bei weitem wichtigste Grundsatz bei der Planung und Erstellung einer luftdichten Gebäudehülle besteht in einer frühzeitigen klaren Festlegung der luftdichten Ebene. Es muss genau eine durchgehende luftdichte Hüllfläche rund um das ganze Gebäude führen. Zwei halbwegs dichte Hüllen sind zusammen ebenfalls nur halbwegs dicht. Die luftdichte Hülle muss man auf den Schnittzeichnungen mit einem Stift jeweils ohne abzusetzen umfahren können, vgl. Abbildung 11. Dabei ist es unbedingt notwendig, bei der Planung schon an die baupraktische Ausführung zu denken. Dreidimensionale Details sind besonders zu berücksichtigen. Durchdringungen sind möglichst zu vermeiden, ansonsten sind sie sorgfältig zu planen, präzise auszu-schreiben und die Ausführung ist zu kontrollieren. Die luftdichte Schicht wird normalerweise raum-seitig angeordnet, so kann sie zugleich als Dampfbremse fungieren und sie ist zumindest während der Bauphase einfach zugänglich, so dass sie ohne großen Aufwand nachgebessert werden kann. In den Beispielen in Abbildung 37 bis Abbildung 50 sind verschiedene Anschluss-Details für Holz-Leichtbau und Massivbau-Wände mit WDVS dargestellt.

Auch für die luftdichte Ebene gilt: Durchbrüche für Leitungen stellen immer eine Schwachstelle und mögliche Fehlerquelle dar. Ihre Zahl sollte schon bei der Planung auf ein Minimum begrenzt werden. Die Leitungsführung sollte möglichst gebündelt werden. Steckdosen in Außenwänden sollten möglichst vermieden werden. Dort wo sie nicht vermeidbar sind, sollte beim Holz-Leichtbau mit luftdichten Hohlwanddosen gearbeitet werden. Im Massivbau muss eine Unterputzdose vollständig in einen Gipsbatzen gesetzt werden, weil Unterbrechungen im Putz generell eine Leckage darstellen, Abbildung 92.

Statt Unterputz oder Hohlwanddosen bieten sich Vorwand-Systeme an. In einer Sockelleiste können die verschiedensten Kabel verlegt werden. Auf die Sockelleiste kann überall dort, wo es gewünscht wird, eine Steckdose aufgesetzt werden, siehe Abbildung 92.

Holzleichtbau

Beim Holzleichtbau übernimmt in der Regel die innenliegende Holzwerkstoff-Platte die luftdichtende Funktion. Nach dem Grundsatz: **innen dicht und außen dämmend**, aber diffusionsoffen, ist ein solcher Aufbau bauphysikalisch einwandfrei. Dies entbindet jedoch nicht von einer genauen Betrachtung des Feuchtetransports, sowohl in der Fläche als auch an den Anschluss-Details.

Die Stöße der Platten müssen dauerhaft luftdicht verbunden werden. Die Verklebung ist mit Spezialklebebändern oder durch formschlüssige Verbindung mit Gummidichtungen herzustellen. Auf ausreichende Rückstellkraft der Dichtungen ist zu achten, Abbildung 54.

Der Anschluss an Fenster und Türen erfolgt ebenfalls mit Klebebändern oder mit Folienstreifen, die um das Fenster herum als Schürze mitgeliefert werden und mit der Wand kraftschlüssig verbunden werden, Abbildung 52.

Steckdosen müssen als luftdichte Hohlwanddosen ausgeführt werden, die inzwischen im Handel erhältlich sind. In diese Dosen dürfen nur die tatsächlich notwendigen Löcher geschnitten werden, so dass die durchgeführten Kabel möglichst passgenau sitzen, Abbildung 92.



Abb. 52 Luftdichter Fensteranschluss innen, vor der Verklebung der überstehenden Folie am Fensterrahmen mit der Folie unter der Verschalung in der Wand. Der Ortschaum dient lediglich der Verfüllung der Hohlräume und hat nichts mit der Luftdichtheit zu tun!
Haus der Familie Hannes in Ruppichteroth,
Architekten: Hoppe und Schmidt, Windeck-Hurst.
Foto: Hannes



Abb. 53 Fertig verklebtes Fenster.
Haus der Familie Hinsenhofen, Detmold,
Architekt:
H.W. Hinsenhofen, Detmold
Foto: Hinsenhofen



Abb. 54 Luftdichte Verklebung von OSB-Platten an den Stößen (gelb) und über den Bohrungen, die zum Füllen der Hohlräume gesetzt wurden (grau).
Haus der Familie Trier in Köln.
Architekt: Sabine Gabriel, Detmold.
Foto: Familie Trier

Massivbau

Bei der massiven Wand liegt die luftdichte Ebene in der Regel ebenfalls raumseitig. Der Innenputz bietet sich somit für die luftdichte Ebene an. Der luftdichte Anschluss von verschiedenen Bauteilen muss dauerhaft gewährleistet sein. Besonders Bauteile, die unterschiedliches Temperaturverhalten zeigen und die deshalb gegeneinander „arbeiten“ neigen zu Rissbildung an den Stoßstellen. Ein Holz-Leichbau-Dach und eine massive verputzte Wand müssen deshalb mit Folienstreifen oder mit einer Schlauchdichtung verbunden werden, die Bauteilbewegungen überbrücken können, Abbildung 55. Die Folie wird zum Beispiel auf der Holz-Beplankung verklebt und in die Wand eingeputzt. Der luftdichte Anschluss an das Fenster (Abschnitt 3.4) kann ebenfalls mit einem Kellenschnitt und einer Wartungsfuge aus Silikon (Breite und Tiefe < 5 mm) hergestellt werden. Eine Folienschürze, die mit dem Fenster fest verklebt mitgeliefert und eingeputzt wird, erleichtert den bauseitigen Anschluss erheblich. Allerdings sind die Ausführenden vor Ort über den Sinn dieses Foliestreifens aufzuklären. Es ist schon vorgekommen, dass diese Streifen aus Unkenntnis fein säuberlich abgeschnitten wurden, weil sie als Verpackungsmaterial betrachtet wurden.

Der Anschluss vom Boden zur Wand muss bis auf die Beton-Rohdecke verputzt sein, *bevor* der Estrich eingebracht wird. Unverputztes Mauerwerk ist in der Regel nicht luftdicht. Strömungspfade (z.B. durch Risse o.ä.) über mehrere Meter Mauerwerk

sind durchaus möglich. Besonders wichtig sind in diesem Zusammenhang Vorwand-Installationen in Küchen und Sanitärräumen. Hier müssen die Wände vollständig verputzt werden, *bevor* die Vorwandinstallation angebracht und mit Fliesen etc. verschlossen wird. Strömungspfade hinter Vorwandinstallationen können in aller Regel nachträglich nicht mehr beseitigt werden, weil sich die undichten Stellen nicht mehr finden lassen.

Unterputz-Steckdosen in Außenwänden müssen *ganz* in einen Gipsbatzen gesetzt werden, denn jede Unterbrechung der luftdichten Putzschicht stellt eine potenzielle Leckage dar, vgl. Abbildung 51 und Abbildung 92.

Für Fugen ist generell zu beachten: Dauerelastische Verfugungen sollten nur sparsam angewandt werden. Sie müssen sichtbar bleiben (Wartungsfuge) und dürfen nicht breiter als 5 mm sein. Das Füllmaterial darf außerdem in der Fuge nur an zwei Seiten haften: Kellenschnitt oder Putzenschiene.

Beton Schalungsstein

Auch hier ist der Innenputz die luftdichte Ebene, es gelten somit dieselben Regeln wie bei der Massivbauwand, Abbildung 29. Im übrigen sei auf die Literatur verwiesen [8].

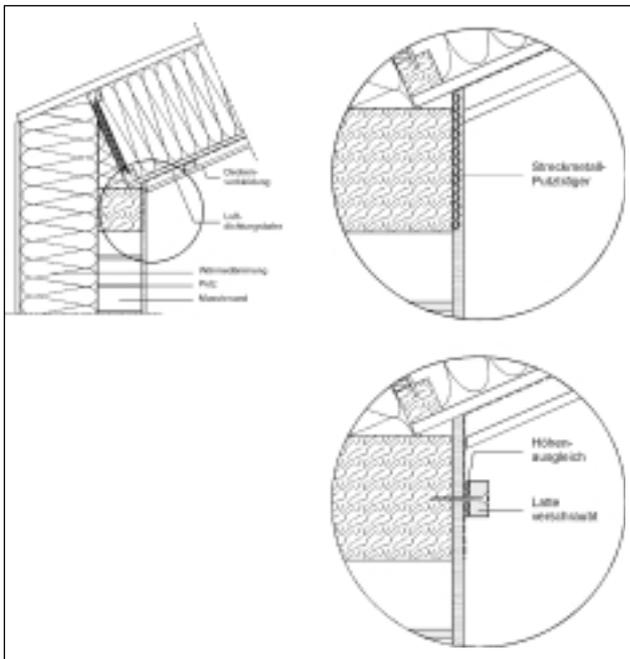


Abb. 55 Verschiedene Möglichkeiten für den luftdichten Anschluss einer verputzten Massivwand an ein Holzleichtbau-Dach. Der Folienstreifen kann auf der Beplankung des Daches verklebt werden. An der Wand kann er entweder eingeputzt oder mit einer Leiste kraftschlüssig verbunden werden, weitere Hinweise finden sich in „Luftdichte Projektierung von Passivhäusern“ [71]. Grafik: PHI

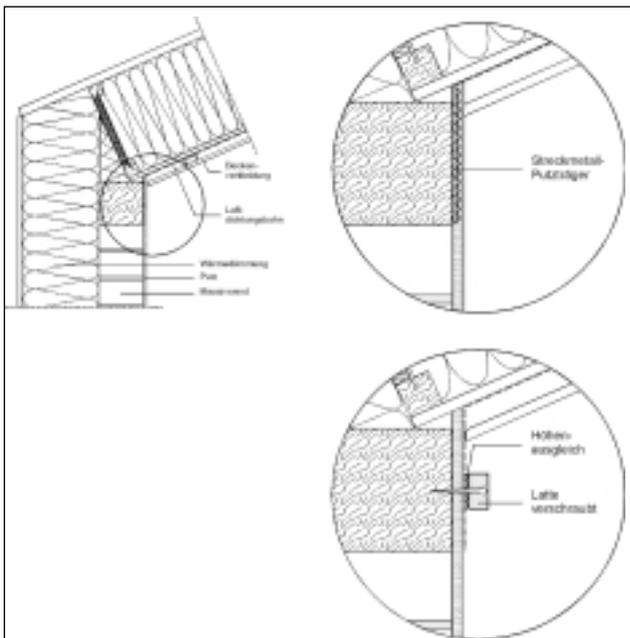


Abb. 57 Verschiedene Möglichkeiten für den luftdichten Anschluss einer Betonwand an ein Holzleichtbau-Dach, Folienstreifen oder Schlauchdichtungen mit ausreichendem Hub müssen an beiden Bauteilen kraftschlüssig miteinander verbunden werden, weitere Hinweise finden sich in [71]. Grafik: PHI

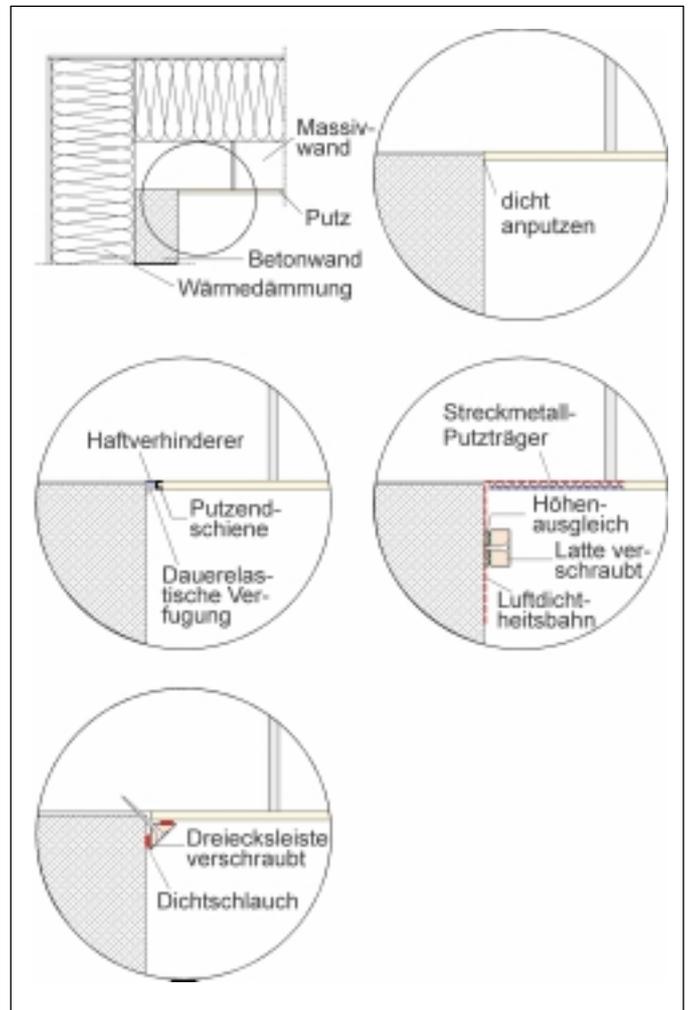


Abb. 56 Verschiedene Möglichkeiten für den luftdichten Anschluss einer verputzten Massivwand an eine Betonwand. Es ist vor allem darauf zu achten, dass die Verbindung zweier unterschiedlicher Bauteile nicht aufreißt und so im Laufe der Zeit undichte Fugen entstehen [71]. Schlauchdichtungen müssen ausreichenden Hub und Rückstellkräfte aufweisen. Generell ist zu beachten: Dauerelastische Verfügungen müssen sichtbar bleiben (Wartungsfuge) und dürfen nicht breiter als 5 mm sein. Das Füllmaterial darf außerdem in der Fuge nur an zwei Seiten haften: Kellenschnitt oder Putzendschiene. Grafik: PHI

Checkliste: Luftdichte Hülle

Geeignete bzw. nicht geeignete Materialien für die Konstruktion der luftdichten Hülle eines Gebäudes. Selbstverständlich sind die Verarbeitungshinweise der Hersteller zu beachten.

Geeignet: luftdichte Materialien für Regelbauteile

- Innenputz auf Mauerwerk
- Folien
- armierte Baupappe
- harte Holzwerkstoff-Platten, z.B. OSB, BFU
- Beton, richtig verarbeitet

Nicht geeignet: undichte Materialien

- Mauerwerk (Mörtelfugen!)
- HWL- und Holzweichfaser-Platten
- perforierte Folien
- PS-Hartschaumplatten
- Nut- und Federschalung

luftdichte Anschlüsse

- Verkleben von Folien mit Butylkautschuk-Klebeband und zusätzliche Anpresslatte
- sachgerecht verwendetes vor-komprimiertes Dichtungsband mit Anpresslatte
- mit gut eingestelltem Beton ausgegossene Durchdringungen und verspachtelte Fugen
- luftdichtes Acrylat-Klebeband
- angepresste Dichtlippe

Nicht dauerhaft luftdichte Anschlüsse

- Paketklebeband, Kreppband o.ä. zu trockener Beton (schwer dichtend einzubringen)
- zu nasser Beton (Schwindfugen)
- Verklebung auf ungeprimerten Massivbauteilen
- PU-Montageschaum
- Verfugung mit Silikon

3.4 Fenster

Dreifach-Wärmeschutzverglasung (WSVG) und wärmegeämmte Fensterrahmen sind wegen der Forderung nach thermischem Komfort am Fenster im Passivhaus unabdingbar, wenn kein Heizkörper in der Nähe des Fensters angeordnet wird.

Der Planer eines Passivhauses muss nicht unbedingt jedes neue Produkt kennen, er sollte jedoch die grundlegenden Eigenschaften einer Verglasung bzw. eines Fensterrahmens kennen, damit er die ihm angebotenen Produkte ggf. kritisch prüfen kann. Weil die Fenster im Passivhaus im Vergleich zu anderen Bauteilen bislang noch relativ teuer sind und auch im täglichen Umgang vom Bewohner als besonders „wertvolles“ Bauteil betrachtet werden, ist es hier besonders wichtig, eventuellen Mängeln vorzubeugen.

Energiebilanz im PHPP verfeinern

Der korrekte Ansatz für die Fenster sollte im PHPP spätestens jetzt bei der Detailplanung vervollständigt werden, denn die Fensterflächen sind bekannt, die Einbaudetails sind bzw. werden gezeichnet und verschiedene Produkte müssen jetzt miteinander verglichen werden (U_f -Werte, Ψ -Werte von Rah-

men und U_g -Werte und g-Werte der Verglasungen und Einbau- Ψ -Werte). Im Folgenden werden einige grundlegende Eigenschaften und Kriterien von Verglasungen und wärmegeämmten Fensterrahmen näher erläutert, um dem Planer wichtige Entscheidungskriterien an die Hand zu geben.

Wärmeschutzverglasung

Mit einer dreifachen Wärmeschutzverglasung (WSVG) sind heute je nach Gasfüllung, Stärke des Scheibenzwischenraums und Art der Beschichtung U_g -Werte von 0,5...0,8 W/(m²K) erreichbar. Dies ist der U-Wert der ungestörten Scheibe, der näherungsweise in Scheibenmitte erreicht wird! Der Wärmeverlust durch den Steg am Glasrand ist erheblich größer, dies wird im Zusammenhang mit dem Fensterrahmen weiter unten behandelt. Der g-Wert von Dreischeiben WSVG liegt abhängig von der Beschichtung bei 40...60 %. Im mitteleuropäischen Klima ist die Energiebilanz der Dreischeiben WSVG immer günstiger als die von Zweischeibenverglasungen; das gilt auch für südorientierte Fenster.

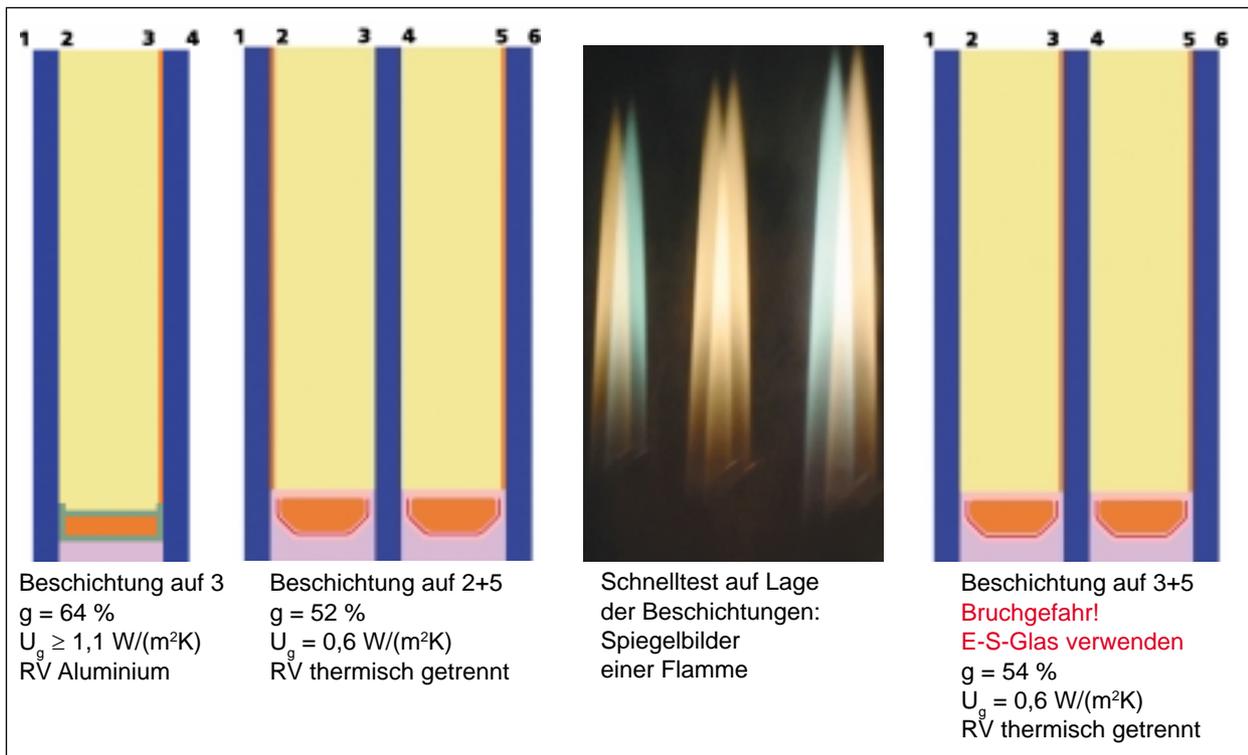


Abb. 58 Schichtfolgen und Randverbund von Wärmeschutzverglasungen (WSVG). Zweifach WSVG mit Aluminium Randverbund (RV) sind für Passivhäuser ungeeignet. Dreifach-WSVG haben in der Regel die „low-e-Beschichtung“ auf den Oberflächen 2 und 5. Bei Beschichtung auf 3 und 5 ist zwar ein besserer g-Wert erreichbar, es besteht jedoch bei Sonneneinstrahlung mit Schattenwurf erhöhte Bruchgefahr für die mittlere Scheibe. Diese muss dann aus Einscheiben Sicherheitsglas (ESG) gefertigt sein. Mit einem einfachen Schnelltest lassen sich ggf. die Positionen der Beschichtungen bestimmen: Die Spiegelbilder einer Flamme erscheinen auf den beschichteten Oberflächen in einer anderen Farbe als auf den unbeschichteten. Die Farben sind je nach Fabrikat evtl. anders. Die angegebenen U_g -Werte verstehen sich für die Scheibenmitte. Die Wärmeverluste über den Randverbundsteg am Glasrand müssen separat ermittelt werden (ψ_g - Wert).
Grafik und Foto: PHI

Das Passivhaus-Energiekriterium für eine Verglasung besagt, dass der g-Wert nicht auf Kosten des U_g -Wertes zu weit absinken darf, es muss gelten:

$$g \cdot 1,6 \text{ W/(m}^2\text{K)} \geq U_g$$

Diese Bedingung kann mit den validierten Daten (\ddot{U} -Zeichen) zu den Produkten leicht überprüft werden. Ist sie erfüllt, so kann man mit einer solchen Verglasung in der Regel über den Kernwinter hinweg netto solare Gewinne realisieren, sofern die Fenster nicht verschattet oder ungünstig orientiert sind. Auch hier gilt wieder: Bitte den Eintrag im PHPP prüfen.

Hochwertige Wärmeschutzverglasungen (WSVG) sind aus drei Scheiben aufgebaut, von denen in der Regel zwei mit einer Beschichtung versehen sind. Diese selektiven Beschichtungen „low-emissivity“- oder „low-e“-Beschichtungen wirken wie Spiegel, die allerdings nur Wärmestrahlung, d.h. infrarot-

tes Licht reflektieren und deshalb Wärme auch nur schlecht abstrahlen können. Wird eine solche niedrig emittierende Scheibe erwärmt, so kann sie die Wärme auf der beschichteten Seite nicht gut „loswerden“. Eine Beschichtung je Scheibenzwischenraum genügt, um den Strahlungsaustausch zwischen zwei gegenüberliegenden Scheiben zu vermindern, normalerweise werden die Oberflächen 2 und 5 (von außen nach innen gezählt) beschichtet, Abbildung 58.

Beschichtungen auf der Außen- bzw. Innenseite von Verglasungen bringen nur eine geringe weitere Verbesserung des U_g -Wertes. Metallische Schichten wären an diesen Oberflächen zudem nicht abriebfest (Soft-Coating). Pyrolytische Schichten sind abriebfest (Hard-Coating) und damit auch für eine außenliegende Beschichtung geeignet. Dort ist ihr Einsatz interessant, um ein Beschlagen mit Tauwasser bzw. das Vereisen der Verglasung von außen in klaren Nächten zu verhindern. Bei Dachfenstern ist dieses Problem seit langem bekannt,

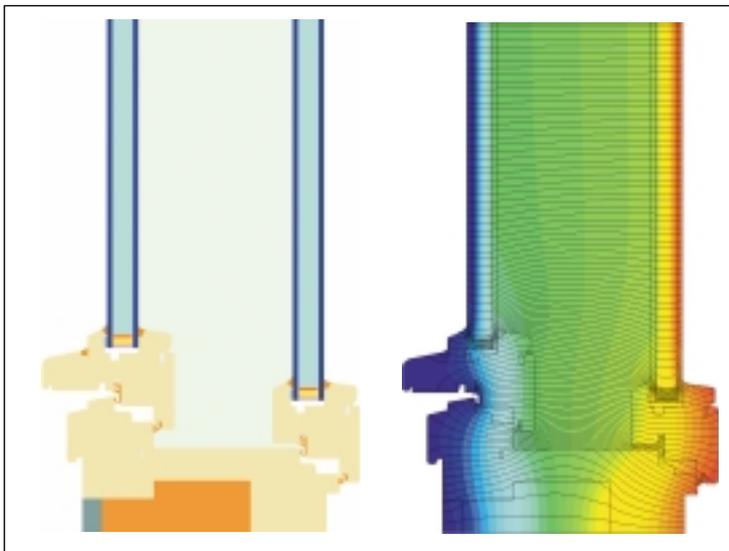


Abb. 59 Kastenfenster mit zwei konventionellen zweifach-Verglasungen, jeweils mit thermisch getrenntem Randverbund [26].
 U_g (gesamte Verglasung) = $0,62 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, $U_i = 0,65 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, $U_w = 0,68 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.
 g-Wert der gesamten Verglasung: $0,47$. In dem großen Luftzwischenraum kann ein Sonnenschutz windgeschützt angebracht werden. Grafik: PHI

dort sind deshalb pyrolytische Schichten auf den Außenoberflächen heute schon am Markt verfügbar.

„Selektiv“ verspiegelt heißt übrigens, dass sichtbares Licht von diesen Beschichtungen gut durchgelassen wird. Deshalb sind die Scheiben für das Auge transparent. Die Transparenz im sichtbaren Spektralbereich (τ_{vis}) und der Energiedurchlassgrad (g-Wert) werden durch die Beschichtung jedoch ein wenig verringert, d.h. es muss ein Kompromiss zwischen gutem Wärmeschutz und solaren Gewinnen gefunden werden.

Sogenannte „Sonnenschutzgläser“ mit einem absichtlich verringerten g-Wert sind für Passivhäuser meist keine gute Lösung. Eine separate Verschattungsmöglichkeit (Dachüberstand bzw. Rollläden etc., siehe Abschnitt 2.7) wirkt gegen eine evtl. sommerliche Überhitzung bei weitem effektiver und kann im Winter, wenn man die solaren Gewinne im Haus benötigt, geöffnet werden.

Vorsicht: Bruchgefahr bei geänderter Schichtreihenfolge

Für die Optimierung des g-Wertes wäre es wünschenswert, statt der Oberflächen 2 und 5 die Flächen 3 und 5 zu beschichten, siehe Abbildung 58. Beschichtet man jedoch eine Oberfläche auf der

mittleren der drei Scheiben, so kann diese sich im Sommer bei hohen Einstrahlungen so stark und vor allem inhomogen erhitzen, dass sie möglicherweise springt. Aus diesem Grund kann die Beschichtung von Oberfläche 3 nur bei Einsatz von gehärtetem Einscheiben-Sicherheitsglas empfohlen werden. Dies wird aus Kostengründen nur in besonderen Fällen realisierbar sein.

In diesem Zusammenhang sei noch auf ein einfach zu prüfendes Merkmal solcher Verglasungen hingewiesen. Die Beschichtungen lassen sich durch die Farbe unterscheiden, die das Spiegelbild einer Kerzenflamme hat. Betrachtet man die sechs Spiegelbilder, so erscheinen die niedrig emittierenden Beschichtungen in einer anderen Farbe als die vier Bilder der nicht beschichteten Oberflächen. Mit diesem Schnelltest lässt sich also einfach prüfen, welche Oberflächen beschichtet sind, ob sich die Beschichtungen auf den richtigen Oberflächen befinden, bzw. ob überhaupt eine Beschichtung vorhanden ist. Man beachte jedoch, dass farbneutrale Beschichtungen geringere Farbunterschiede im Spiegelbild haben können als in dem Beispiel in Abbildung 58 dargestellt.

Hochwertige Zweischeiben-WSVG sind ähnlich aufgebaut wie dreifach WSVG, dort ist nur eine der vier Oberflächen (3. von außen) beschichtet. Die besten heute verfügbaren Zwei-Scheiben-WSVG erreichen U_g -Werte von $0,9 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$; nur mit dem Füllgas Xenon wären noch bessere Werte erreichbar. Xenon ist jedoch schlecht verfügbar und deshalb teuer.

Verglasungen für das Passivhaus sollten in Mitteleuropa U_g -Werte kleiner gleich $0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ aufweisen. Dies ist mit einer Kombination (2+2 oder 2+1) aus mehreren zweifachen Verglasungen durchaus möglich und wird bei Kastenfenstern bzw. Verbundfenstern praktiziert, Abbildung 59. Es ist damit prinzipiell möglich, das Energiekriterium zu erfüllen, allerdings muss für jede Scheiben-Beschichtungs-Kombination das Energiekriterium geprüft werden, weil die vierte Scheibe den g-Wert evtl. stark vermindert. Inzwischen sind einige für Passivhäuser geeignete Kasten- und Verbundfenster am Markt erhältlich, [26]. Schalltechnisch sind diese Konstruktionen positiv zu bewerten. Die Möglichkeit, einen integrierten wettergeschützten Sonnenschutz im Luftzwischen-

raum anzuordnen, ist vor allem in windreichen Küstengebieten ein weiterer Vorteil.

Gedämmter Fensterrahmen

Neben den Wärmeverlusten der Verglasung sind die Verluste durch einen ungedämmten Fensterrahmen erheblich. Bei einem herkömmlichen Fensterrahmen ($U_f = 1,5...2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$) sind sie mehr als doppelt so groß wie bei einer typischen Dreischeiben-WSVG ($U_g = 0,7 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$). Zu einer hochwertigen Verglasung gehört daher auch ein gut wärmedämmender Fensterrahmen, denn die Rahmenanteile sind mit 30 bis 40 % bei typischen Fenstermaßen relativ hoch.

Der Rahmenanteil bzw. der Verglasungsanteil wird generell auf das Rohbaumaß der Fensteröffnung bezogen, unabhängig von einer etwaigen Überdämmung des Rahmens. Typische Rahmen-Ansichtsbreiten liegen bei etwa 120 mm (Laibung und Sturz) bis 140 mm (Brüstung) und zwar sowohl bei optimierten gedämmten Rahmen als auch beim Standard-Fensterrahmen mit 68 mm Bautiefe (IV68). Bei mittleren Fenstermaßen von 1,23 m x 1,48 m ist der Rahmenanteil 34 %, bei Balkontüren (1,1 m x 2,2 m) beträgt er immer noch 31 %, bei kleineren Fenstern steigt er schnell auf über 40 %. Die wichtigsten Maßnahmen zur wärmetechnischen Optimierung von Fensterrahmen sind in den Protokollbänden des „Arbeitskreises Kostengünstige Passivhäuser“ [72] und [73] beschrieben, neuere Entwicklungen finden sich im Tagungsband zur 6. Passivhaustagung [74] und in der Herstellerliste [26]. An erster Stelle steht die Vergrößerung der Bautiefe des Rahmens, um eine Dämmschicht unterbringen zu können. 68 mm Bautiefe sind für das Passivhaus zu wenig, selbst wenn heute verfügbare, thermisch optimierte Materialien mit geringer Wärmeleitfähigkeit verwendet werden. Ein erhöhter Glaseinstand und die Verwendung eines thermisch getrennten Randverbundes tragen ebenfalls erheblich zur Verringerung der Wärmeverluste bei und können inzwischen als „Stand der Technik“ bei Fenstern für das Passivhaus angesehen werden, vgl. Abbildung 60.

Heute ist eine Vielzahl von gut wärmedämmenden Fensterrahmen am Markt erhältlich: Sandwich-Kanteln aus Holz-Purenit-PUR-Purenit-Holz

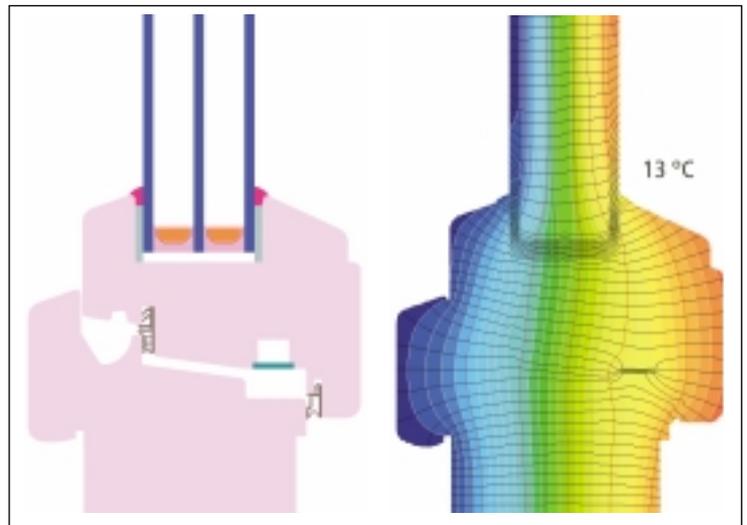


Abb. 60 Gedämmter Fensterrahmen: Vergrößerte Bautiefe (120 mm), erhöhter Glaseinstand, thermisch getrennter Randverbund. In [26] sind viele mögliche Konstruktionen dokumentiert. Hier wurde ein fiktives homogenes Material mit $\lambda = 0,085 \text{ W}/(\text{mK})$ zugrundegelegt. $U_f = 0,75 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ $\Psi_g = 0,028 \text{ W}/(\text{mK})$, Glaseinstand 27 mm, $U_w = 0,78 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
Minimale Temperatur an der Innenoberfläche 13°C, entspricht $f_{Rsi} = 0,77$.
Grafik: PHI

führen zu einer Bautiefe von etwa 110 mm. Eine ähnliche Konstruktion ist auch mit Holz-Kork-Holz-Kork-Holz verfügbar [26].

Einige Hersteller fertigen Fensterrahmen aus Holz mit einer Dämmschale aus Kork, PUR, EPS oder anderem Dämmmaterial, die aber nicht mit dem Holzrahmen verklebt, sondern verschraubt oder aufgeklipst ist. So kann die Konstruktion im Entsorgungsfall leicht in ihre Komponenten zerlegt werden. Eine Vorsatzschale aus Aluminium kann in vielen Fällen zusätzlich eingesetzt werden. Dämmschalen aus PU-Schaum werden inzwischen auch als Aufrüstungs-Bausatz für die Altbaumodernisierung angeboten. Bei Kunststoff-Fensterrahmen müssen die größeren Kammern der Profile mit Dämmmaterial gefüllt sein. Weit verbreitet sind Einschiebblinge, die aus Plattenmaterial gefräst sind. Bei ausgeschäumten Profilen muss vom Hersteller die Rohdichte des Materials kontrolliert werden, weil diese die Wärmeleitfähigkeit stark beeinflusst. Rahmen von Kasten- und Verbundfenstern erreichen wegen ihrer großen Bautiefe die geforderten Dämmwerte auch als Vollholz-Konstruktionen. Bei Kunststoff-Profilen müssen die Kammern jedoch in jedem Fall mit Dämmstoff gefüllt werden [26].

Zur Beurteilung eines wärmedämmten Rahmens gilt folgende Regel: Gleichgültig, welches Material verwendet wird, es muss darauf geachtet werden,

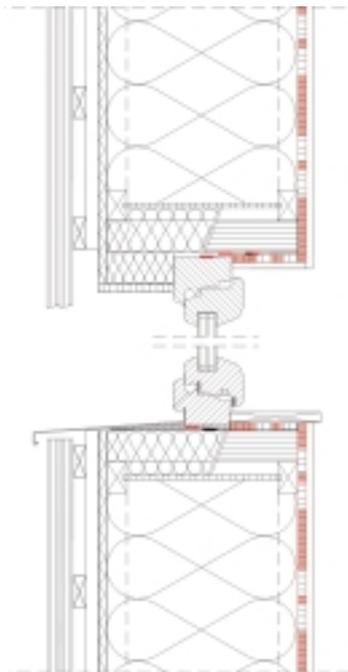


Abb. 61 Optimierte Einbausituation: Fenster in Holz-Leichtbau-Wand. Das Fenster sitzt in der Mitte der Wand, d.h. in der Mitte der Dämmebene. In Laibung und Sturz kann der Rahmen weitgehend überdämmt werden. Die Wärmebrückenwirkung von statisch tragenden Elementen ist zu berücksichtigen.
 $\Psi_{\text{Einbau}} \leq 0,014 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
 $U_{\text{W, eingebaut}} = 0,82 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
 Grafik: PHI

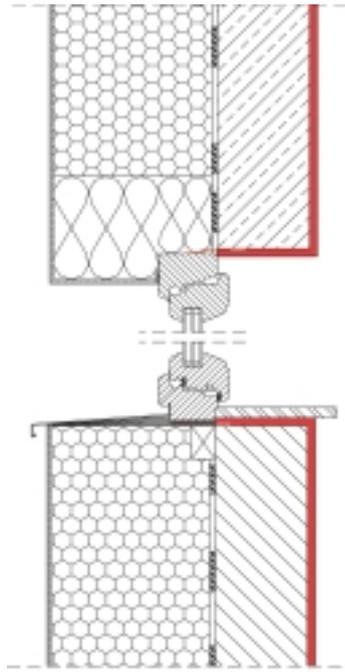


Abb. 62 Optimierte Einbausituation: Fenster mit Einbaukonsole X aus Holz oder Polyurethan-Recyclingmaterial in Massivbauwand mit Wärmedämmverbundsystem. Das Fenster wird vor dem Mauerwerk angeordnet und damit ausreichend weit in die Dämmebene gerückt, siehe auch Abbildung 67 und Abbildung 84. In Laibung und Sturz kann der Rahmen überdämmt werden, einige Hersteller bieten inzwischen auch abgeschrägte Dämmkeile für die Laibung an, siehe Abbildung 69.
 $\Psi_{\text{Einbau}} \leq 0,03 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
 $U_{\text{W, eingebaut}} = 0,80 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
 Grafik: PHI.

dass die wärmedämmende Schicht den Rahmen möglichst ununterbrochen und „gerade“ durchzieht. Einzelne isoliert angeordnete Einsätze aus dämmendem Material sind nur wenig wirksam. Betrachtet man die Isothermen im Rahmenprofil, Abbildung 60, so sollten sie möglichst „kurz“ sein, d.h. geradlinig durch das Rahmenprofil verlaufen, denn jede Verschwenkung vergrößert die wirksame Oberfläche, über die Wärme – von innen nach außen – ausgetauscht werden kann.

Neben den hier beschriebenen wärmetechnischen Eigenschaften eines gut gedämmten Fensterrahmens sind selbstverständlich die luftdichte Ausführung der umlaufenden Dichtungen, bis zu drei Dichtungsebenen sind inzwischen üblich, die Schlagregendichtheit und die Funktionssicherheit für eine

lange Lebensdauer des Fensters wichtig. Diese Eigenschaften werden jedoch auch bei konventionellen Fenstern geprüft und sind erfahrungsgemäß bei den Herstellern und Verarbeitern unstrittig.

Thermisch getrennter Randverbund, erhöhter Glaseinstand

Die Standard-Fensterrahmen haben einen Glaseinstand von lediglich 15 mm. In der Standard-WSVG wird darüber hinaus ein Abstandhalter aus Aluminium eingesetzt, der eine erhebliche Wärmebrücke darstellt.

Die Entschärfung der Wärmebrücke am Glasrand erfolgt auf zwei Wegen. Zum einen wird der Glaseinstand vergrößert, 25 bis 30 mm sind nach neueren Untersuchungen unproblematisch. Darüber hinaus wird ein thermisch getrennter Abstandhalter aus dünnwandigem Edelstahlblech (Wandstärke $\leq 0,2$ mm) oder aus Kunststoffprofilen verwendet [74]. Bei gleicher Geometrie des Rahmenprofils lassen sich damit die Wärmeverluste eines Fensters um bis zu 8 % verringern. Ein weiterer Vorteil ist, dass wegen der geringeren Wärmebrückenwirkung eine Tauwasserbildung am Glasrand nahezu ausgeschlossen wird.

Behaglichkeitskriterium für Fenster

Die Forderung nach einem U-Wert von weniger als $0,85 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ für das eingebaute Fenster leitet sich von den Anforderungen an die Behaglichkeit und aus der Energiebilanz des Gebäudes her [25]. Verzichtet man auf einen Heizkörper unter dem Fenster, so empfiehlt sich eine mittlere Temperatur an der Innenoberfläche des Fensters auch im Auslegungsfall von mehr als 17°C . Ansonsten kann es zu einem Kaltluftsee am Boden kommen, so dass beim Aufenthalt in der Nähe der Fenster die Behaglichkeit eingeschränkt wird.

Die Forderung nach Vermeidung von Schimmelpilzwachstum führt bei üblichen Raumluftfeuchten auf eine Oberflächentemperatur von mindestens 13°C an jeder Stelle der inneren Fensteroberfläche, d.h. auch am Glasrand. Mit den oben erwähnten thermisch getrennten Abstandhaltern und einem erhöhten Glaseinstand lässt sich dies ohne weiteres realisieren.



Abb. 63 Fensteranschluss in Laibung und Brüstung mit einem Wärmedämmverbundsystem aus Holzfaserplatten.
Haus der Familie Hannes, Ruppichteroth, Architekten: Hoppe und Schmidt, Windeck-Hurst. Fotos: Hannes.

Einbauwärmebrücke am Fenster

Beim Einbau eines Fensters in die Wand entsteht oft eine nicht zu vernachlässigende Wärmebrücke. Typische Wärmebrücken-Verlustkoeffizienten Ψ_{Einbau} von den für das Passivhaus optimierten Einbaudetails liegen im Brüstungsbereich bei 0,03 W/(mK), weil hier wegen der Fensterbank und der Wasserführung der Rahmen kaum überdämmt werden kann. In Laibung und Sturz lassen sich mit einer konsequenten Überdämmung des Rahmens (Abbildung 62) auch negative Einbau- Ψ -Werte erreichen. Die genannten Werte beziehen sich auf eine Wand mit $U_{\text{wand}} \leq 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Der Grenzwert für den $U_{\text{w,eingebaut}}$ -Wert eines eingebauten Passivhausfensters von $U_{\text{w,eingebaut}} \leq 0,85 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ kann somit eingehalten werden.

Viele konventionelle Einbaudetails weisen dagegen sehr große Wärmebrückeneffekte auf [66]. Wird das Fenster wie in Abbildung 64 oder Abbildung 66 weit aus der Mitte des Wandaufbaus heraus platziert und auf einem durchgehenden Brett befestigt oder beim Massivbau mit Wärmedämmverbundsystem auf dem Mauerwerk aufgesetzt, so können die durch ungünstigen Einbau verursachten Wärmebrückenverluste so groß werden, dass sich trotz der Verwendung eines thermisch optimierten Fensters mit $U_{\text{w}} \leq 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ für das eingebaute Fenster eine erhebliche Verschlechterung ergibt.

Generell gilt: das Fenster sollte möglichst in der Dämmebene platziert werden. Das bedeutet, dass das Fenster bezogen auf die fertige Wand incl. Dämmung, etwa in der Mitte der Fensterlaibung sitzt. Für den Bewohner hat sich dann gegenüber einem konventionellen Haus nichts geändert, au-

ßer dass die Wand insgesamt entsprechend stärker ist, siehe Abbildung 65 bzw. Abbildung 67.

Bei einer massiven Wand mit Wärmedämmverbundsystem muss allerdings das Fenster, bevor das Wärmedämmverbundsystem angebracht wird, vor dem Mauerwerk befestigt werden. In Abbildung 62 ist dies mit einer Einbaukonsole realisiert. Die Konsole kann aus Holz oder PU-Recyclingmaterial bestehen, die eine vergleichsweise geringe Wärmeleitfähigkeit aufweisen. In Abbildung 35 ist eine solche Konsole zu sehen. Die Verwendung von Edelstahlwinkeln zur Befestigung des Fensters ist ebenfalls möglich, Abbildung 84, wenn die Winkel nicht zu eng beieinander angeordnet sind. Eine durchgehende Stahlschiene ist abzulehnen, sie führt zu so hohen Wärmeverlusten, dass der Aufwand beim wärmege- dämmten Fensterrahmen konterkariert wird.

In der Holz-Leichtbau-Wand kann das Fenster mittig platziert werden, hier füllt die Dämmschicht die ganze Wand aus, siehe Abbildung 65, allerdings sollte darauf geachtet werden, dass nicht durch die Befestigung des Fensters in der Laibung eine unzulässig große Wärmebrücke entsteht, wie in Abbildung 64 gezeigt.

Bei der Zertifizierung von Fenstern als Passivhaus geeignetes Bauteil [26] werden neben den Eigenschaften des Fensters auch Einbaudetails für verschiedene Wandsysteme geprüft, die der Fensterhersteller ausarbeitet. Beim Einsatz von zertifizierten Fenstern kann der Architekt daher auf diese Einbaudetails zurückgreifen und braucht selbst keine weiteren Wärmebrückenuntersuchungen mehr durchzuführen.

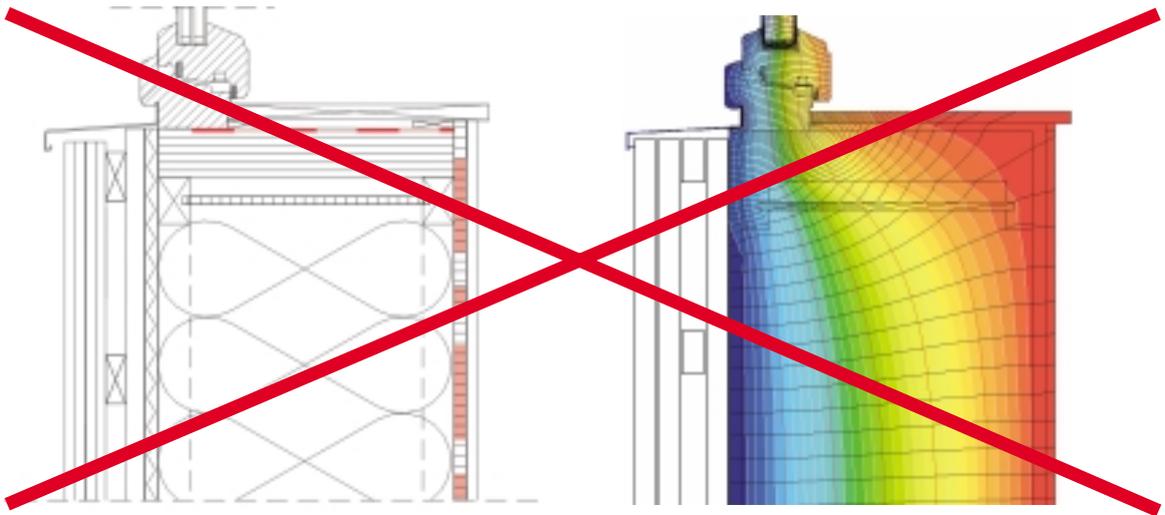


Abb. 64 falsch: ungünstig eingebautes Fenster in Holz-Leichtbau-Wand verursacht hohe Einbauwärmeverluste. $U_{\text{Wand}} = 0,12 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$,
 $U_{\text{W}} = 0,80 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, $\Psi_{\text{Einbau}} = +0,06 \text{ W}/(\text{mK})$ $U_{\text{W,eingebaut}} = 0,93 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.
 Grafik: PHI

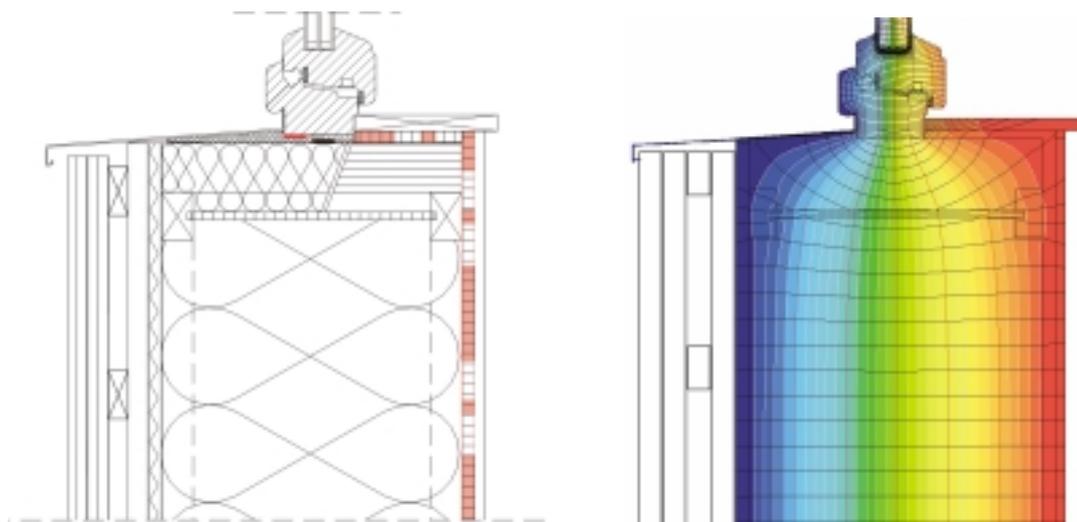


Abb. 65 Optimierte Einbausituation, Fenster in der Mitte der Dämmebene angeordnet. Kanthölzer nur punktuell unter dem Fenster platziert (Statik beachten) Holz-Leichtbau-Wand: $U_{\text{Wand}} = 0,12 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$,
 $U_{\text{W}} = 0,80 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, $\Psi_{\text{Einbau}} \leq 0,014 \text{ W}/(\text{mK})$ $U_{\text{W,eingebaut}} = 0,82 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.
 Grafik: PHI

Fensterlaibung

Die Laibung von Fenstern ist bei Passivhäusern wegen der stärkeren Dämmung tiefer als man es von konventionellen Häusern gewohnt ist. In der Regel wird dies von den Bewohnern jedoch kaum wahrgenommen. Es kann jedoch von Vorteil sein, die Laibung abzuschrägen, damit ein größerer freier Raumwinkel entsteht und die Sonne von der Laibung weniger stark abgeschattet wird. Für den Wärmeschutz ist es unerheblich, ob die Laibung

rechtwinklig oder abgeschrägt ausgeführt wird. Ein Hersteller bietet inzwischen für sein Wärmedämmverbundsystem vorgefertigte abgeschrägte Formteile für die Laibung aus Mineralwolle an (Brandschutz), siehe Abbildung 69. Bei Fenstern auf der Südseite kann der nicht abgeschrägte Sturz zu einer erwünschten Verschattung im Sommer führen. Eine Optimierung kann im Einzelfall mit dem PHPP erfolgen, vgl. Abschnitt 2.7.

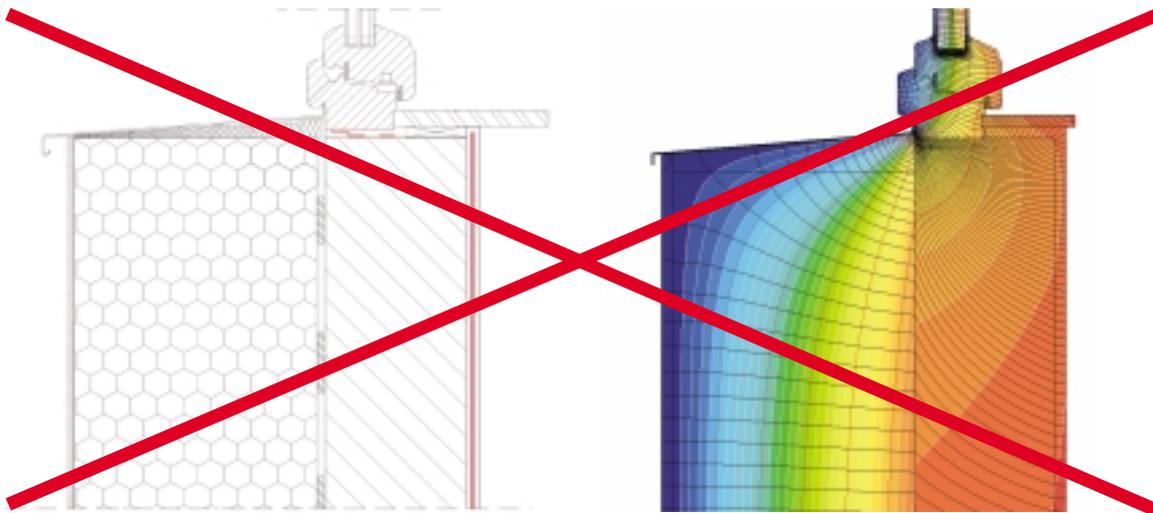


Abb. 66 Falsch: Fenster auf dem Mauerwerk aufgestellt. Die Dämmebenen von Fenster und Wand werden somit unterbrochen und die Wärmeverluste an der Stoßkante sind erheblich.

$$U_{\text{Wand}} = 0,12 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}), \quad U_{\text{W}} = 0,80 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}), \quad \Psi_{\text{Einbau}} = +0,14 \text{ W}/(\text{mK})$$

$$U_{\text{W,eingebaut}} = 0,95 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}). \text{ Grafik: PHI}$$

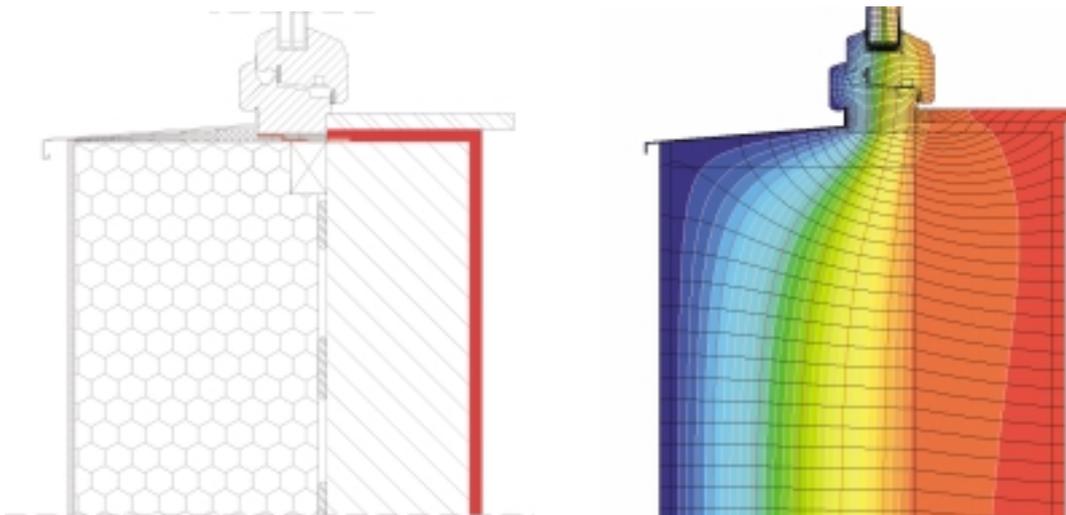


Abb. 67 Hier ist das gleiche Fenster nach außen in die Dämmebene gerückt und auf einer Konsole befestigt. Die Dämmebene beider Bauteile schließen deshalb ohne Unterbrechung aneinander an, siehe auch Abbildung 62 und Abbildung 84.

$$U_{\text{Wand}} = 0,12 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}), \quad U_{\text{W}} = 0,80 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}), \quad \Psi_{\text{Einbau}} \leq +0,03 \text{ W}/(\text{mK})$$

$$U_{\text{W,eingebaut}} = 0,80 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}). \text{ Grafik: PHI}$$

Rollläden

Rollläden sind prinzipiell auch im Passivhaus möglich. Ihr Einbau verursacht jedoch eine zusätzliche Wärmebrücke. Wenn möglich sollten Vorbau-Rollläden gewählt werden, die vor einer mindestens 6 cm starken Dämmschicht angeordnet werden, so dass sich auf der Innenoberfläche kein Tauwasser

bilden kann. Die Bedienung sollte möglichst über einen luftdichten Antrieb erfolgen, elektrisch oder mit Kurbelwelle, es gibt inzwischen aber auch luftdichte Gurtdurchführungen [69]. In Abbildung 68 ist ein leichtes Rollo als Verschattungsvorrichtung dargestellt.



Abb. 68 Fensterlaibung mit Überdämmung des Rahmens und Rollo als Verschattungseinrichtung, Passivhaus Vauban I, Freiburg, Architekten: id-architektur, (Common & Gies Architekten), Freiburg

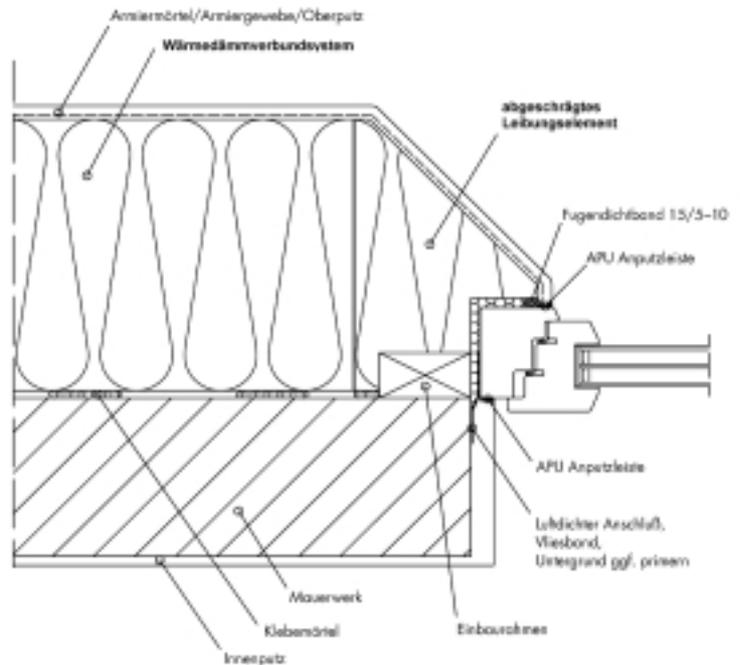


Abb. 69 Ein Hersteller bietet inzwischen ein abgeschrägtes Laibungselement für sein Wärmedämmverbundsystem als vorgefertigte Detaillösung an. Die Wirkung der Überdämmung des Rahmens bleibt weitgehend erhalten, während die seitliche Laibungverschattung deutlich verringert wird. Quelle: ebök, Tübingen

Checkliste: Passivhaus geeignete Fenster

- Energiekriterium für Verglasungen prüfen:
 $g \cdot 1,6 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}) \geq U_g$
 Der g-Wert darf nicht auf Kosten des U_g -Wertes zu weit absinken
- Kriterium für ein Passivhaus geeignetes Fenster:
 $U_w \leq 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ für das Standardmaß von 1,23 m x 1,48 m
- Wärmedämmte Rahmen einsetzen: U_f und Ψ_g müssen bekannt sein
- Erhöhten Glaseinstand wählen: 25...30 mm
- Thermisch getrennten Randverbund am Glasrand einsetzen, Aluminium ist nicht geeignet!
- Im Auslegungsfall sollte die minimale Temperatur innen am Glasrand $>13^\circ \text{C}$ sein, wegen Tauwasser- und Schimmelgefahr
- Umlaufende Dichtungen verwenden, mindestens zweifach. Besonders wichtig ist die innenliegende Dichtung, weil sie Tauwasser im Rahmenfalz verhindert.
- Einbauwärmebrücke muss minimiert werden
 $U_{w,\text{eingebaut}} \leq 0,85 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
 Anschlussdetail frühzeitig klären
- Pflege- und Servicehinweise für Fenster in das Nutzerhandbuch übernehmen

3.5 Haustüren

Planungsgrundsätze für Haustüren

Haustüren sind wie andere Gebäudeöffnungen auch, häufig Schwachstellen in der wärmeumschließenden Gebäudehülle und deshalb mit besonderer Sorgfalt zu planen. Grundsätzlich müssen sie die gleichen Qualitätsanforderungen hinsichtlich Wärmeschutz und Dichtigkeit erfüllen wie diese auch an die Passivhaus-Fenster gestellt werden [72], [73], [74], [75]. Darüber hinaus müssen Haustüren aber noch einige besondere Anforderungen gewährleisten. Diese zusätzlichen Anforderungen sind oft eine besondere Herausforderung.

- Formstabilität auch unter Klimabelastungen
- Dauerbelastungs-Standfestigkeit
- Minimierte Schwellenhöhe
- Einfache Handhabung
- Gestalterische Anforderungen
- Einbruchschutz
- Brandschutz

Formstabilität

Da Haustüren im geschlossenen Zustand nicht wie Fenster durch den Beschlag an die umlaufende Dichtung angepresst werden und zudem an der Schlossseite nur durch die Schlosszunge gehalten werden, müssen Passivhaus-Haustüren eine besonders hohe Formstabilität dauerhaft gewährleisten. Nach RAL-GZ 996 [77] ist eine Verformung bis 4,5 mm zulässig. Dieser theoretische Grenzwert gilt für die Differenzklimaprüfung im Labor. Da die heute üblichen Dichtungsprofile einen maximalen Verformungsweg von 4 mm aufweisen, ist der RAL-Wert in der Praxis jedoch nicht ausreichend. Das Türblatt darf deshalb nach bewährten Praxiserfahrungen eine Verformung von 2-3 mm nicht überschreiten, nur dann ist ein 4-seitig dichtes Anliegen des Türblattes an der Dichtung gewährleistet.

Dennoch kann eine darüber hinausgehende Verformung des Türblattes und damit eine für das Passivhaus unakzeptable Undichtheit nicht ausgeschlossen werden. Die Hersteller schreiben deshalb häufig auch vor, dass die Haustür immer zu verriegeln ist. Dadurch erhält das Türblatt mit den zusätzlichen Schließriegeln oben und unten einen Anpressdruck gegen die Falzdichtung, einer Verformung und letztlich einer Reklamation wird

so entgegengewirkt. Diese Anweisung ist jedoch in der Praxis nur schwer durchzusetzen, denn die Benutzung eines Schlüssels ist nicht praxisgerecht. Aufgrund der Passivhaus-Wohnerfahrungen lassen verschiedene Architekten zur Unterstützung der Bewohner raumseitig immer einen Verriegelungs-Drehknopf mitliefern. Die Bewohner sind so eher bereit, die Verriegelung durch einfaches Drehen des Drehknopfes durchzuführen, das Schlüsselproblem entfällt, der Drehknopf ist fest montiert und immer zur Hand [78].

Die geforderte Formstabilität bedingt besondere Konstruktionen und Verstärkungen des Türblattes. Dennoch darf der U-Wert der eingebauten Tür 0,80 W/(m²K) nicht überschreiten. Diese Forderungen sind mit herkömmlichen Türkonstruktionen nicht zu bewerkstelligen. Deshalb weisen passivhausgerechte Haustürkonstruktionen erheblich stärkere Dimensionen auf als herkömmliche Haustüren oder zeigen neue Konstruktionsmethoden [26].

Manche Hersteller bieten einen automatischen Verriegelungsmechanismus, der das Türblatt selbstständig elektromechanisch gegen die Dichtungsprofile presst, sobald die Tür ins Schloss fällt, es bleibt dem Bewohner überlassen, ob er sich auf die Funktionalität dieser Technik verlassen will. Aufgrund der geforderten Formstabilität, die bei der Klimaprüfung nachgewiesen wird, muss die Luftdichtheit allerdings mit der nicht verschlossenen Tür d.h. lediglich mit einer eingeschnappten Schließe gewährleistet sein. Der oben erwähnte handbetätigte Verriegelungs-Drehknopf stellt einen guten Kompromiss dar.

Insgesamt gilt bei der Entscheidung für eine Haustür für das Passivhaus: Glauben Sie keinen optimistischen Versprechungen. Mit billigen Haustürkonstruktionen kann ein Passivhaus thermisch zum Scheitern gebracht werden. Die Verfasser raten hier zu größter Vorsicht und Planungssequenz [26].

Einbruchschutz

Für Haustüren ist z.B. in keiner Fachregel ein bestimmter Einbruchschutz vorgeschrieben. Üblich und dem Stand der Technik entsprechend werden einbruchhemmende Türen gemäß DIN V 18101

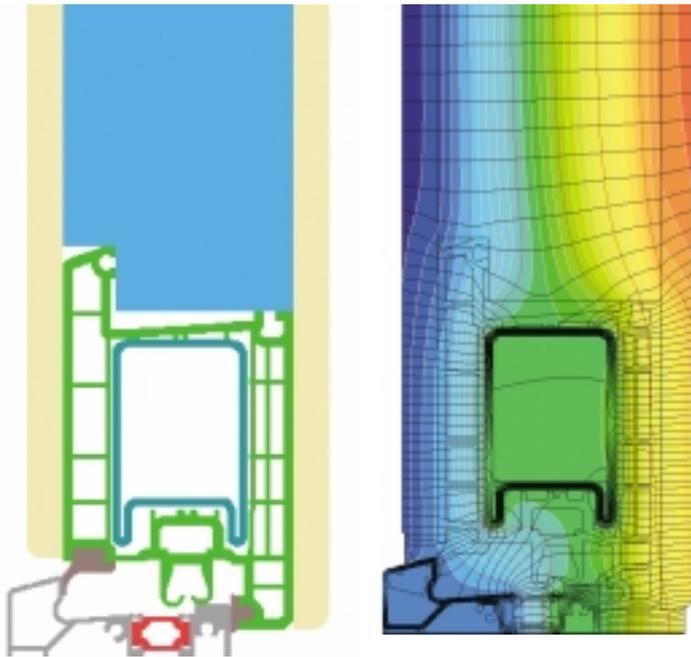


Abb. 70 Thermisch getrennte Anschlagsschwelle für eine Haustür mit Lippendichtung. Eine erhöhte Luftdichtheit ist vor allem im Schwellenbereich einer Haustür wichtig. Weitere Lösungen finden sich in [26]. Grafik: PHI

[79] in den verschiedenen Widerstandsklassen ausgeführt. Ein erhöhter Einbruchschutz erfordert ggf. den Einbau von mehr Verstärkungen an den Bändern und im Türblatt, welche meist aus Metall gefertigt sind. Diese Verstärkungen führen zu erhöhten Wärmebrückeneffekten, die besonders beachtet werden müssen.

Minimierte Schwellenhöhe

Die minimierte Schwellenhöhe von maximal 15 mm ist ein fast schon selbstverständlicher Standard beim behindertengerechten Bauen [80], [81]. Dies lässt jedoch im Gegensatz zu den drei anderen Türseiten nur noch eine einzige Dichtungsebene an der Schwelle zu. In diesem Bereich erhöhen Verschmutzung (Sand und Staub), mechanische Belastung (Reibung an Schmutzfangmatten, zufällig auf dem Boden liegenden Gegenständen), Feuchtigkeit und die Unerreichbarkeit für Säuberung, Pflege und Kontrolle die Gefahr verkürzter Lebens- und Funktionsdauer und erhöhen somit die Gefahr der Undichtheit, eine für das Passivhaus besondere Problematik. Bei öffentlichen Gebäuden ist generell keine Schwelle zugelassen. Hier kann die Luftdichtheit mit absenkbaaren Lippendichtungen auf ein akzeptables Maß reduziert werden.

Details für Haustüren

Nur durch die Konstruktion einer *Anschlagsschwelle* (Abbildung 70) können die Anforderungen, insbesondere an die dauerhafte Dichtheit erfüllt werden. Diese Schwelle muss deshalb aus einem besonders tritt- und formstabilem, thermisch getrennten Schwellenprofil bestehen [26].

Schleifdichtungen oder durch die Türbewegung auf und ab bewegte Dichtungen (sogenannte Winddichtungen), Magnetsdichtungen u.ä. erfüllen erfahrungsgemäß nicht die Passivhausanforderungen!

Windfang

Je nach Situation kann ein außen vorgebauter, nicht beheizter Windfanganbau, besonders an der Wetterseite, zur sicheren Ausführung der Haustürsituation beitragen. Dies ist besonders dann ange raten, wenn häufig Winddruck auf die Haustüre zu erwarten ist. Die äußere Haustür des Windfangs kann dann einer preiswerten, normalen Haustürqualität entsprechen, die passivhausgerechte wärmedämmte Haustür liegt dann in der Ebene der wärmedämmenden Gebäudehülle. Man beachte jedoch den Grundsatz: *eine durchgehende* luftdichte Ebene zu konzipieren, die ggf. von der inneren Tür dargestellt werden kann. Es genügt gerade an dieser Stelle nicht, zwei nur mäßig luftdichte Türen hintereinander anzuordnen, siehe auch Abbildung 71.

Zugang vom Wohnraum zum kalten Keller

Es ist zu beachten, dass ein Zugang aus den Wohnräumen innerhalb der thermischen Hülle zum unbeheizten Keller prinzipiell dieselbe Qualität wie eine Haustür haben muss. Die Anforderungen an Luftdichtheit und Wärmedämmung einer solchen Kellertür bedingen also eine relativ aufwändige Konstruktion. Aus diesem Grund kann es sinnvoller bzw. kostengünstiger sein, den Zugang zum Keller außen am Haus anzuordnen. Oder man lässt sowohl die Haustür als auch die Kellertür in ein vor die thermische Hülle gestellten (kalten) Windfang, Treppenhaus o.ä. münden, siehe die Bemerkungen dazu in Abschnitt 2.4



Abb. 71 Ein Windfang stellt einen Puffer zwischen Außenbereich und der Wohnung her. Man beachte jedoch, dass eine wärmedämmende und luftdichte Ebene definiert und konstruiert wird, in der auch die wärmegeämmte und luftdichte Eingangstür platziert werden muss. Die zweite Tür kann einfacher ausgeführt werden.
 Haus Höcker, Rheda Wiedenbrück. Architekt: Mense Naturhaus, Beelen.
 Foto: ILS NRW, Aachen.

Katzenklappe

Vielfach wird behauptet, Luftdichtheitskonzepte würden in Familien mit Katzenhaltung ad absurdum geführt, weil dort Außentüren ständig geöffnet bleiben müssten, um dem Haustier den naturgemäßen Auslauf zu garantieren. Auch bei der Verwendung von Katzenklappen kann sich der Heizenergieverbrauch unkontrolliert erhöhen, wenn sehr einfache Klappen verwendet werden. Problematisch ist in einem solchen Fall die ungenügende Luftdichtheit der Klappe.

Mittlerweile gibt es verbesserte Lösungen. Katzentüren mit automatischer oder vom Haustier gesteuerter Öffnung sind am Markt verfügbar und haben sich sowohl als Haustüreinsatz als auch für den Wohnungseingang zum Treppenhaus bewährt, auch wenn sie noch nicht vollständig luftdicht sind. Die in Abbildung 72 dargestellte Klappe ist „high-tech“ und wurde mit thermisch getrenntem Randverbund in eine Dreifach-Wärmeschutzverglasung eingesetzt. Sie verfügt über einen batterie-betriebenen Magnetverschluss, der durch einen elektronischen Schlüssel am Halsband der Katze freigegeben wird. Diese Klappe ist im Tierfachhandel erhältlich.

Abb. 72 Hochwertige Katzenklappe mit magnetischem Verschluss. Der Einsatz in eine Dreifach-Wärmeschutzverglasung wurde mit thermisch getrenntem Randverbund ausgeführt [76].



Eine weitaus einfachere Lösung wurde im Passivhaus ISIS in Freiburg realisiert (Abbildung 13). Eine herkömmliche Katzenklappe mit Bürstendichtung und magnetischer Überschwingbremse wurde in ein opakes Paneel mit U-Wert von etwa $0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ eingesetzt, das in einem kleinen unteren Teilbereich eines Fensters statt einer Verglasung eingebaut ist. Bezüglich der Luftdichtheit ist diese Klappe ausreichend, beim Blower-Door-Test ergab sich eine geringfügige zusätzliche Leckage ($+0,04 \text{ l}/\text{h}$ beim n_{50} -Wert [76]). Auf der Innenseite

wurde eine zweite handbetätigte, luftdichte und wärmegeämmte Klappe (U-Wert ca. $0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$) angebracht. Diese zweite Klappe wird an den kältesten Tagen im Winter (Auslegungsfall) ganz geschlossen, weil dann die Katze sowieso selten nach draußen will. Diese Lösung ist wesentlich kostengünstiger, weil der Einbau in einem Paneel und nicht in einer Verglasung vorgenommen wird. Kondensatprobleme konnten nach einem Winter bisher nicht festgestellt werden.

Checkliste: Haustüren

- Wärmeschutz wie beim Fenster: Haustüren müssen $U_{D, \text{eingebaut}} \leq 0,80 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ erfüllen
- Einbauwärmehürücke besonders an Schwelle kritisch, minimale Temperatur sinkt im Auslegungsfall fast immer unter 6°C
- Luftdichtheit ist sehr wichtig: umlaufende Dichtungen, seitlich und oben zweifach, an Schwelle mindestens einfach
- Tritt- und formstabile Anschlagschwelle, $H \leq 15 \text{ mm}$
- Türblatt muss formstabil sein, Tür darf sich unter Klimabedingungen nicht verziehen: Klimaprüfung muss nachgewiesen werden [26]
- Verriegelungs-Drehknopf für innen mitbestellen
- Pflege- und Servicehinweis in den Hausbrief übernehmen
- Katzenklappe ggf. einplanen
- Eventuell nicht beheizten Windfang oder Treppenhaus planen

3.6 Lüftungssystem

Primäre Aufgabe der Qualitätssicherung bei der Überprüfung der Detailplanung von Wohnungslüftungsanlagen für Passivhäuser ist es, Planungsfehler rechtzeitig zu erkennen, die sich nachteilig auf Komfort und die Behaglichkeit für den Nutzer auswirken könnten [25].

Hier steht der Schallschutz im Vordergrund. Eine hohe Akzeptanz der kontrollierten Wohnungslüftung ist nur mit gut funktionierenden und akustisch nicht wahrnehmbaren Anlagen zu erreichen. Schallpegel von 25 dB(A) sind anzustreben, die in der Norm [29], [30] vorgegebenen Grenzwerte sind nicht ausreichend. Wichtig ist: Werden bei der Planung Schalldämpfer vergessen oder zu klein dimensioniert, so sind sie wegen ihrer Größe später kaum noch oder nur mit hohem Kostenaufwand nachrüstbar.

Durch die weitgehende Außenluftvorerwärmung im hocheffizienten Wärmeübertrager ist die Zulufttemperatur immer höher als 16°C , dies ist im Zweifel zu überprüfen. Dadurch sind Zugscheinungen durch die Zuluft weitgehend ausgeschlossen, dennoch ist darauf zu achten, dass nicht direkt in Aufenthaltsbereiche eingeblasen wird. Das heißt, dass Zuluftöffnungen nicht in Höhen zwischen $15\text{...}200 \text{ cm}$ angebracht werden sollten. Deckenauslässe sollten nur als Weitwurfdüsen oder Drallauslässe ausgebildet werden, Abbildung 77. Dies hilft vor allem lange Kanäle und hohe Druckverluste zu vermeiden, siehe dazu die Bemerkungen in Abschnitt 2.9.

Neben dieser Hauptaufgabe, der Sicherstellung der Behaglichkeit für den Nutzer, sind bei der Detailplanung Effizienzkriterien zu beachten, die in den nachfolgenden Abschnitten ebenfalls erläutert werden.

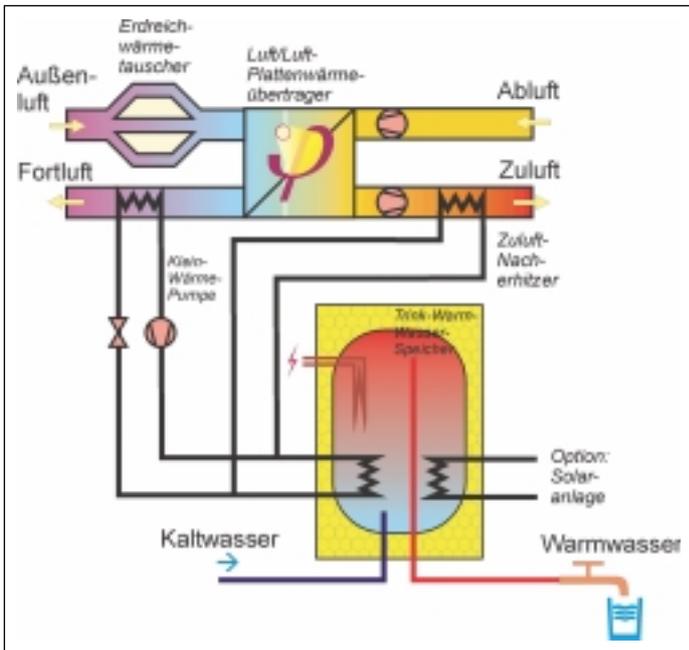


Abb. 73 Anlagenschema einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung am Beispiel eines Wärmepumpen-Kompaktaggregats. Die Kleinwärmepumpe dient zur Wärmeerzeugung für Warmwasserbereitung und Zuluftnacherwärmung. Selbstverständlich kann je nach Energiekonzept auch eine andere Wärmequelle zum Einsatz kommen, siehe Abschnitt 2.10. Grafik: PHI



Abb. 74 Die Filter einer Lüftungsanlage müssen regelmäßig gewechselt werden. Foto: ILS NRW, Aachen

Lüftungszentralgerät

Bei der Auswahl des Zentralgerätes ist sowohl auf einen möglichst hohen effektiven Wärmebereitstellungsgrad zu achten, als auch auf möglichst geringe Leistungsaufnahme der Ventilatoren. In Passivhäusern kommen heute hocheffiziente Gegenstromwärmeübertrager und elektronisch kommutierte Gleichstromventilatoren zum Einsatz. Neben diesen Anforderungen an das Zentralgerät sind für die Anlage noch weitere Kriterien, wie z.B. Schallschutz und Frostschutz zu überprüfen. Die vom Passivhaus Institut aufgestellten Kriterien für passivhaustaugliche Geräte sind im Kasten „Kriterien“ am Ende dieses Abschnitts aufgeführt.

Die Überprüfung der Einhaltung des geforderten effektiven Wärmebereitstellungsgrades kann nicht aus den nach derzeitigem DIBt-Reglement bestimmten Messwerten erfolgen. Diese Laborwerte werden nicht wie im eigentlichen Betrieb der Anlage im Gebäude mit balancierten Außen-/ Fortluftvolumenströmen gemessen. Im Rahmen der Zertifizierung als passivhaustaugliche Komponente werden die Geräte nach den genannten Kriterien praxisnah geprüft und die Messwerte werden

veröffentlicht. Stehen keine Messwerte nach diesen Kriterien zur Verfügung, so müssen die Messwerte nach DIBt-Reglement mit einem Abschlag von 12 % im PHPP angesetzt werden [26].

Filter

Die Hauptaufgabe der Filter besteht in der Reinhaltung der Luftkanäle, deren Reinigung zwar technisch möglich, aber teuer ist. Die Abscheidegrade sind in DIN EN 779 definiert [94]. Die Qualitätssicherung im Rahmen der Detailplanung hat den korrekten Einbauort des Außenluftfilters sowie dessen Filterklasse zu überprüfen. Es sollte ein möglichst frontständiges F7, besser F8-Außenluftfilter vorgesehen werden. Kanalteile vor dem Außenluftfilter müssen besonders gut zugänglich sein, damit sie kontrolliert und gereinigt werden können. Da die Filter regelmäßig zu inspizieren und auszutauschen sind, muss überprüft werden, ob diese gut zugänglich angeordnet sind. Dies gilt ebenfalls für die Abluftfilter, die mindestens in der Filterklasse G4 auszuführen sind.



Abb. 75 Außenluftöffnung und Fortluftauslass im CEPHEUS-Projekt Kuchl, Österreich. Die Brandschutztechnischen Anforderungen, d.h. Abstand von Außenluftöffnungen zu benachbarten Fenstern etc. sind im Einzelfall mit den örtlichen Behörden abzustimmen.
Foto: PHI



Abb. 76 Flachkanäle können platzsparend im Fußbodenaufbau oder in der abgehängten Decke untergebracht werden. Man beachte jedoch, dass das Kanalnetz nicht unnötig lang wird, damit sich die Druckverluste in Grenzen halten. Vgl. die Bemerkungen zu Abbildung 20 und Abbildung 21.
Foto: ILS NRW, Aachen

Die Filterfläche sollte möglichst groß dimensioniert werden, um möglichst geringe Druckverluste bei einer Standzeit von ca. einem Jahr zu erreichen. Die in manchen Lüftungsgeräten werksseitig eingebauten Filtereinsätze sind oft zu klein bemessen. Es bietet sich dann an, einen separaten Filter mit möglichst großer Fläche einzubauen. Bei der Auswahl und Dimensionierung der frontständigen Filter in der Außenluftansaugung sollte auch die Staubbelastung der Luft am jeweiligen Ort in Betracht gezogen werden. Hohe Staubbelastung verkürzt die Standzeiten.

Außenluftansaugung und Fortluftauslass

Häufiger Planungsfehler bei der Anordnung von Außenluftansaugung und Fortluftauslass ist, dass diese nicht ausreichend voneinander getrennt positioniert werden. Die Qualitätssicherung der Detailplanung sollte hierauf frühzeitig aufmerksam machen, nachträgliche Änderungsmaßnahmen sind mit großem Aufwand verbunden. Speziell im Geschosswohnungsbau ist darauf besonders zu achten, weil schon geringe Geruchsübertragung aus Nachbarwohnungen als besonders störend empfunden wird. Der Fortluftauslass sollte möglichst gut getrennt von der Außenluftansaugung erfolgen.

Eine diesbezüglich optimale Anordnung wurde im CEPHEUS-Projekt Kuchl, siehe Abbildung 75, realisiert [13]. Dabei wurden die Außenluftöffnungen

jeweils über der Wohnungseingangstür angeordnet. Die Erschließung erfolgt über ein außenliegendes Treppenhaus, die Kanalabschnitte für die Fortluftauslässe reichen jeweils bis über die Treppenabsätze hinaus. Damit ist die Gefahr von Geruchsübertragung zwischen den Wohneinheiten praktisch ausgeschlossen und die Außenluftansaugung ist vor Regen geschützt.

Bei der Ausschreibung von Ansauglamellen und Gitterdraht für Ausblas- und Ansaugöffnungen ist zu fordern, dass die Lamellenabstände bzw. die Maschenweite groß genug gewählt wird, damit kein übermäßiger Druckverlust auftritt und ein Zufrieren der Gitter zuverlässig vermieden wird. Wird die Außenluftansaugung, wie in Abbildung 75 gezeigt, gegenüber der Abstrahlung zum kalten Himmel abgeschirmt, so wird einem Zufrieren der Gitter zusätzlich vorgebeugt. Dies ist besonders in sternenklaren Winternächten relevant.

Kanalnetz und Schallschutz

Zwischen dem Zuluftkanalnetz und dem Zentralgerät müssen in jedem Fall Schalldämpfer eingebaut werden. Verlaufen in der Umgebung von Außenlufteinlass bzw. Fortluftauslass Verkehrswege (z.B. Laubengang etc.) so sind auch in den Außenleitungen Schalldämpfer notwendig. Um benachbarte Wohnungen vor Lärmbelastigung durch Lüftungsgeräte zu schützen, ist es empfehlenswert, immer Schalldämpfer in den Fortluftleitungen einzubauen.

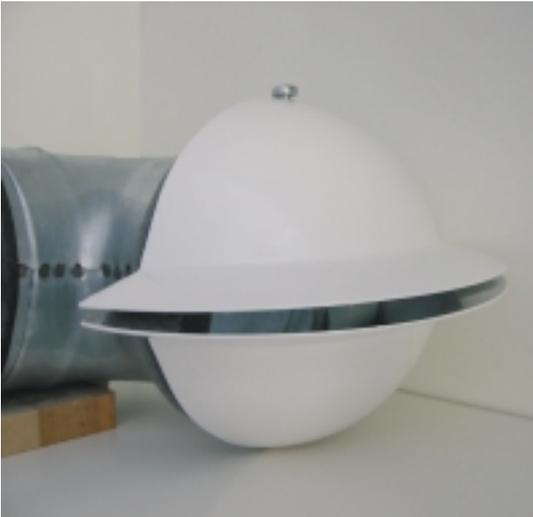


Abb. 77 Weitwurfdüsen (links) können z.B. an der Wand über der Tür angebracht werden, ohne dass Kurzschlussströmungen zwischen Zuluft und Überströmöffnung in der Tür auftreten. Es stehen auch Ventile für die Deckenmontage (rechts) zur Verfügung.
Fotos: PHI

Gemäß den jeweiligen Schallschutzanforderungen zwischen einzelnen Wohnräumen muss auch die Luftschallübertragung durch Kanäle begrenzt werden. Hierfür werden so genannte Telefonieschalldämpfer eingesetzt. Der Schalldruckpegel der Anlage sollte in Zulufräumen (Wohn- und Schlafzimmer) nicht über 25 dB(A) liegen. Die Erfahrung zeigt, dass die nach DIN 4109 [29] zulässigen Grenzwerte für Geräuschpegel aus Lüftungsanlagen noch als störend empfunden werden.

Die Detailplanung der Zuluftkanalführung sollte besonders sorgfältig auf möglichst einfache Kanalführung überprüft werden, weil der Außen- bzw. Zuluftstrang durch den zusätzlichen Druckverlust des Außenluftfilters sowie evtl. eines Erdkanals beaufschlagt ist.

Wie im Zuluftkanalnetz müssen auch im Abluftkanalnetz zwischen Zentralgerät und Abluftstrang Schalldämpfer eingesetzt werden. Die Schallschutzanforderungen in Funktionsräumen sind im Allgemeinen niedriger als in den Zulufräumen, daher kann die Einfügungsdämpfung für die Telefonieschalldämpfer hier geringer ausgelegt werden. Dennoch sollten auch in Abluft- und Überströmzonen 30 dB(A) nicht überschritten werden.

Zuluft-, Abluft- und Überströmöffnungen

Besondere Sorgfalt ist bei der Auswahl, der Anordnung und der Auslegung der Zu- und Abluftventile notwendig, um Zegerscheinungen, Kurzschlussströmungen und Geräuschbildung zu vermeiden.

Im Rahmen der Qualitätssicherung sind die Zeichnungen der Ausführungsplanung diesbezüglich im Detail zu überprüfen.

Grundsätzlich unterscheidet man die Ventile nach Art der Strahlausbildung. Tritt der Strahl direkt in den Raum aus, so spricht man von einem Freistrah, wird er dagegen umgelenkt und breitet sich entlang der Wand aus, so wird der Strahl als Halbstrahl bzw. Wandstrahl bezeichnet. Ersterer tritt z. B. bei Weitwurfdüsen auf, letzterer bei Teller-ventilen. Der Einsatz von Weitwurfdüsen hat sich bei zahlreichen neueren Passivhausprojekten gut bewährt, weil damit das Zuluftkanalnetz sehr kurz gehalten werden kann. Der Freistrah übernimmt zu einem Teil die Funktion eines Kanalabschnittes.

Für die Ausführung der Überströmöffnungen gibt es je nach Anforderungen verschiedene Möglichkeiten. Die einfachste besteht darin, den Spalt unter dem Türblatt zu vergrößern. Schalltechnisch ist dies bis zu einer Höhe von 1,5 cm zulässig. Man beachte jedoch, ob der Bauherr erhöhte Anforderungen an den Schallschutz stellt. Diese Möglichkeit weist den Nachteil auf, dass der Spalt leicht durch Teppiche o. ä. zugeschoben werden kann. Außerdem tritt ein Lichtspalt auf.

Eine bessere Lösung stellt eine verblendete Fuge zwischen Türzarge und Türsturz dar. Neuere Produkte verwenden im Türblatt integrierte Kanäle als Überströmpfad, siehe Abbildung 79. Im Badezimmer werden normalerweise Überströmgitter eingesetzt. Im Fußbereich ist jedoch darauf zu achten, dass Zegerscheinungen vermieden werden.



Abb. 78 Telefoneschaldämpfer und andere Komponenten der Lüftungsanlage...



...sollten vor Schmutz geschützt werden. Dies gilt auch für schon eingebaute Anlagenteile, solange während der Bauzeit noch mit Staubentwicklung gerechnet werden muss.
Fotos: PHI

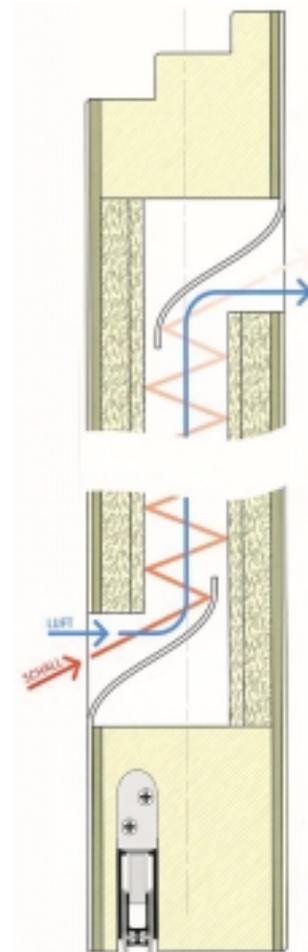
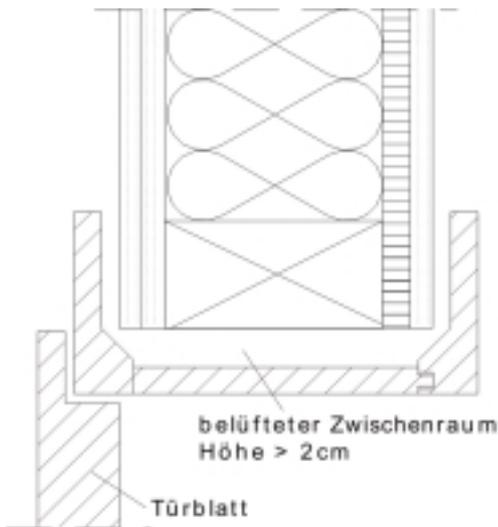


Abb. 79 Überströmöffnungen im Türsturz über der Tür oder im Türblatt integrierte Kanäle. Mit diesen Lösungen kann ein erhöhter Schallschutz erreicht werden. Ist dies nicht erforderlich, genügt eine einfache Öffnung im Türblatt, oder das Türblatt wird unten etwa 1 cm gekürzt.
Der Druckverlust an Überströmöffnungen darf nicht über 1 Pa liegen.
Grafiken und Foto: Hersteller bzw. PHI

Erdwärmeübertrager

Ein Erdwärmeübertrager stellt kein prinzipiell notwendiges Bauteil im Passivhaus dar. Er ist jedoch sehr gut für den Frostschutz des Plattenwärmeübertragers geeignet. Von der Qualitätssicherung ist zu prüfen, ob der Erdwärmeübertrager auf eine Luftaustrittstemperatur, d.h. die Eintrittstemperatur am Wärmetauscher der WRG von mindestens -4°C im Auslegungsfall dimensioniert ist, damit der Frostschutz sichergestellt werden kann.

Für den Betrieb von Wärmepumpen-Kompaktaggregaten ist ein Erdkanal bzw. Erdwärmeübertrager zu empfehlen. Der Erdkanal muss dann so dimensioniert sein, dass eine Austrittstemperatur nach dem Erdkanal von mindestens $+4^{\circ}\text{C}$ eingehalten wird. Damit steht für die Wärmepumpe ganzjährig eine genügend hohe Fortlufttemperatur zur Verfügung, die einen Betrieb mit einer „guten“ Arbeitszahl (> 3) gestattet.

Der Erdkanal sollte mit innenseitig glattwandigen Rohren ausgestattet sein, um die Strömungs- bzw. Druckverluste zu minimieren. Außerdem müssen die Rohre ggf. zu reinigen sein. Aus diesem Grund sollten auch keine 90° -Bögen im Erdkanal verwendet werden, 45° -Bögen und Verzweigungen können viel leichter gereinigt werden und haben wesentlich geringere Druckverluste. Der Erdkanal muss mit einem gleichmäßigen Gefälle verlegt werden, damit Kondensat, das sich im Frühjahr und Sommer an den Innenwänden bildet, gut ablaufen kann.

Das Gefälle sollte möglichst gegen den Revisions-schacht geneigt sein. Der Kondensatablauf ist dann für die Reinigung immer gut zugänglich, siehe auch die Bemerkungen in Abschnitt 5.5 und Abbildung 101 und Abbildung 102.

Frostschutzheizregister

Wird kein Erdkanal vorgesehen, so muss vor dem Wärmeübertrager der Lüftungsanlage ein Frostschutzheizregister vorgesehen werden. Dieses Heizregister hat die Aufgabe, die Temperatur der von außen angesaugten Luft immer über -4°C zu halten, bevor sie in den Wärmeübertrager einströmt. Damit ist sichergestellt, dass die Abluftseite des Wärmeübertragers, in den ständig die feuchte Abluft aus der Wohnung strömt, nicht zufriert.

Es ist im Passivhaus nicht statthaft, die Lüftungsanlage bei Frostgefahr abzuschalten, wie dies bei Niedrigenergie-Häusern bisweilen noch gemacht wird. Zum einen leidet dadurch die Luftqualität in der Wohnung, andererseits funktioniert dann gerade in der kältesten Jahreszeit die Frischluft-zugung nicht. Wird das Haus über die Zuluft beheizt, wie es weiter oben beschrieben wurde, so fehlt bei einer Abschaltung der Ventilatoren die gesamte Heizleistung im Gebäude. Ein intermittierender Betrieb ist deshalb grundsätzlich abzulehnen.

Das Frostschutzheizregister muss in seinem Temperaturverhalten richtig justiert werden: es macht keinen Sinn, die Außenluft vorzuwärmen, wenn keine Frostgefahr für den Wärmeübertrager besteht. Deshalb ist die Einschalt-Schwell-Temperatur präzise auf die oben genannten -4°C einzustellen. Wird dies konsequent beachtet, so wird der Energieverbrauch des Frostschutzheizregisters im typischen Mitteleuropäischen Klima sehr gering sein, weil es nur an wenigen Tagen im Jahr zum Einsatz kommt.

Deshalb ist es durchaus angebracht, für diesen Zweck ein kostengünstiges und wartungsarmes elektrisches Heizregister zu verwenden. Hydraulische Frostschutzheizregister müssen mit einem frostsicheren Wasser-Glykol-Gemisch als Wärmeträger betrieben werden und benötigen deshalb einen separaten Heizkreis. Dies dürfte nur bei großen Anlagen im Mehrfamilienhaus finanziell darstellbar sein.

Eine weitere Sicherheitsschaltung, auf die der Planer achten muss, betrifft den Ausfall eines Ventilators: fällt der Abluftventilator aus, so strömt kaum noch warme Luft aus der Wohnung durch den Wärmeübertrager. Damit kann es passieren, dass die angesaugte kalte Außenluft das Frostschutzheizregister und auch das Nachheizregister so stark abkühlt, dass sie bersten können. Um dem vorzubeugen, müssen die Heizregister über eine Temperatur-Not-Aus-Schaltung geschützt werden, die eine Störmeldung am Gerät erzeugt und den Zuluftventilator ebenfalls ausschaltet.

Kriterien für passivhausgeeignete Lüftungsanlagen

- **Passivhaus-Behaglichkeitskriterium:**
Eine minimale Zulufttemperatur von 16,5° C muss bei – 10° C Außenlufttemperatur erreicht werden. Begründung: In Passivhäusern sind keine Heizflächen an Außenbauteilen erforderlich. Um unbehaglichen Kaltlufteinfall und Zegerscheinungen zu vermeiden, muss die Zulufttemperatur begrenzt werden [25].
- **Effizienz-Kriterium (Wärme):** Der effektive trockene Wärmebereitstellungsgrad muss mit balancierten Massenströmen bei Außentemperaturen zwischen – 15 und + 10° C und trockener Abluft (21° C) höher als $\eta_{\text{WBG,t,eff}} \geq 75\%$ sein.
- **Strom-Effizienz-Kriterium:** Die gesamte volumenspezifische elektrische Leistungsaufnahme des Gerätes darf in den für Passivhäuser vorgesehenen Betriebszuständen (beim Auslegungs-Massenstrom) 0,45 W/(m³/h) geförderter Luft nicht überschreiten. Das entspricht bei einem Auslegungsvolumenstrom von 120 m³ einer Leistungsaufnahme von insgesamt nur höchstens 54 Watt.
- **Luftdichtheit:** Der interne Leckluftstrom und der externe Leckluftstrom dürfen jeweils 3 % des Nenn-Abluftstromes nicht übersteigen.
- **Abgleich und Regelbarkeit:** Balanceabgleich auf der Außen- bzw. Fortluftseite, Regelbarkeit des Luftvolumenstroms 55/80/100 %, Standby-Verbrauch bei Schalterstellung „aus“ maximal 1 W.
- **Schallschutz:**
Schalldruckpegel im Aufstellraum < 35 dB(A) bei äquivalenten Raumabsorptionsflächen von 4 m²
Schallpegel in Wohnräumen unter 25 dB(A),
Schallpegel in Funktionsräumen unter 30 dB(A).
- **Raumlufthygiene:** auf ausreichende Dimensionierung der Filter achten,
Außenluftfilter: Filterklasse F7,
Abluftfilter: mindestens Filterklasse G4.
- **Frostschutz:** Es muss entweder ein Frostschutz-Vorheizregister (ggf. elektrisch) oder ein Erdkanal vorgesehen werden. Ein regulärer Betrieb der Lüftung muss auch bei –15° C möglich sein. Eine (auch zeitweise) Abschaltung der Ventilatoren ist nicht zulässig.
- **Frostschutzschaltung:** Für den Wärmeübertrager und das Nachheizregister ist eine Frostschutz-Sicherheitsschaltung vorzusehen: Not-Aus mit Störungsmeldung.
- **Sicherheitsschaltung:** Der Betrieb von raumluftabhängigen Öfen in Wohnräumen von Passivhäusern ist unter Sicherheitsaspekten als sehr kritisch anzusehen. Bei Betrieb mit raumluftabhängigen Kaminöfen oder Holz-Pellets-Kesseln sind die deshalb die Sicherheitsanforderungen (gegenseitige Verriegelung von Lüftungsanlage und Ofen etc.) zu beachten.



Abb. 80 Nicht gedämmte Speicheranschlüsse und Rohrleitungen verursachen unnötigerweise hohe Wärmeverluste.
Fotos: PHI



3.7 Weitere Haustechnik im Passivhaus

Nachdem im Rahmen der Entwurfsplanung die wesentlichen Entscheidungen über Art und Anordnung der Wärmeversorgung bereits festgelegt wurden, hat die Qualitätssicherung im Rahmen der Detail- und Ausführungsplanung im Wesentlichen darauf zu achten, dass **Bereitstellungs- Verteil- und Zirkulationsverluste** sowie der **Hilfsstrombedarf** möglichst gering ausfallen. Hierzu sind die Ausschreibungstexte für die Wärmedämmung der Leitungen (nicht wie in Abbildung 80) sowie die Auswahl der Pumpen zu überprüfen. Die Ausführungsplanung ist nochmals auf das Grundprinzip „wärmeführende Leitungen innerhalb der thermischen Hülle führen“ hin zu überprüfen. Dies gilt natürlich auch für Warmwasserleitungen, evtl. vorhandene Zirkulationsleitungen und den Speicher sowie einen ggf. vorhandenen Wärmeerzeuger.

Des Weiteren ist die **Leitungsführung** auf möglichst kurze wärmeführende Leitungen zu überprüfen. Eine **Zirkulation** sollte wo immer möglich vermieden werden. Als Faustregel kann empfohlen werden, dass das Wasservolumen in den **Stichleitungen** unter 0,5 Liter sein sollte, dies entspricht etwa einem VPE-Rohr 16 x 2,2 mm von 5 Meter

Länge. Durch entsprechend kleinere Rohrquerschnitte (z.B. Cu 12 mm) können Stichleitungen bis zu 8 Meter Länge ausgeführt werden. Man beachte jedoch, dass der notwendige Ruhedruck im Leitungsnetz hoch genug ist, um auch im obersten Stockwerk noch eine einwandfreie Zapfung zu ermöglichen.

Wärmeverluste der Verteilleitungen, die innerhalb der wärmegeämmten Hülle verlaufen, sind im Passivhaus zwar wenig bedeutsam, da sie mit einem relativ hohem Ausnutzungsgrad von über 90 % zur Raumheizung beitragen. Trotzdem sollten diese Wärmeverluste so gering wie möglich gehalten werden, da sie ganzjährig und nicht nur während der Heizperiode auftreten. Die **Wärmedämmung von Warmwasserleitungen** sollte deshalb auch innerhalb der thermischen Gebäudehülle doppelten Nenndurchmesser (2 x DN) aufweisen, d.h. der längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizient dieser Leitungen sollte 0,13 W/mK nicht überschreiten. Für Leitungen, die mit häufig wechselnden Temperaturen betrieben werden, sollte nach Möglichkeit Material mit geringer Wärmekapazität (Kunststoff) ausgewählt werden. Wärme-

verteilleitungen außerhalb der wärmegeämmten Hülle sind möglichst kurz zu planen, am besten ganz zu vermeiden.

Bei der Auswahl von **Warmwasserspeichern** ist ebenfalls auf möglichst geringe Wärmeverluste zu achten. Bei der Dimensionierung ist daher ein bedarfsgerechter, möglichst kleiner Speicher mit

Temperaturschichtung – wie bei Solarspeichern inzwischen üblich – und guter Wärmedämmung zu wählen. Wichtig ist insbesondere eine sorgfältige, luftdicht anschließende Wärmedämmung der angeschlossenen Rohrleitungen. Speicher, bei denen alle Anschlüsse nach unten (d.h. durch den kalten Speicherteil) herausgeführt sind, bieten hier energetische Vorteile.

Checkliste für die Detailplanung zur Haustechnik

- Ausschreibung des Wärmeerzeugers auf korrekte Auslegung prüfen
- Ausgewählte Warmwasserspeicher hinsichtlich Wärmeverlusten prüfen
- Wärmeverteilleitungen außerhalb der wärmegeämmten Hülle vermeiden
- Wärmedämmung der Leitungen, Formstücke und Armaturen ausreichend ?
- Auswahl und Dimensionierung der Pumpen prüfen (Hilfsstrombedarf)
- Konzept zur Steuerung der Zirkulation und evtl. Beladung von Pufferspeichern überprüfen
- Wärmeverluste an Sanitär- und Abwasserleitungen minimieren, wann immer möglich Unterdach

4. Ausschreibung und Vergabe

Passivhäuser stellen hohe Anforderungen an die Qualität der Gebäudehülle und der Haustechnik. Dabei ist nicht nur die Qualität der einzelnen Bauteile wichtig, deren Eigenschaften in der Ausschreibung der jeweiligen Gewerke definiert sind. Ein Passivhaus ist mehr als die Summe seiner hochwertigen Teile. Besonders ausschlaggebend für das Gelingen des Ganzen ist das Zusammenspiel aller Gewerke. Darauf sollten alle Beteiligten in der Ausschreibung ausdrücklich hingewiesen werden. Besondere Maßnahmen der beauftragten Betriebe, die zur Qualitätssicherung beitragen, wie Mitarbeiterschulung, Luftdichtheitsprüfung etc.

sollten angeregt bzw. bei der Vergabe honoriert werden.

Prinzipiell gilt für die Ausschreibung bei einem Passivhaus dasselbe wie bei konventionellen Gebäuden auch: je genauer die geforderte Leistung beschrieben wird, desto weniger Probleme wird es später bei der Realisierung geben und desto genauer können von den Auftragnehmern die voraussichtlichen Kosten abgeschätzt werden. Die technischen Anforderungen an Passivhäuser sind im Infokasten zusammengefasst. Weitere Informationen finden Sie auch in der Literatur [10] und [26] und in der Passivhaus Checkliste in Abschnitt 8.

Checkliste: allgemeine Qualitätsanforderungen für ein Passivhaus, kann als Präambel für die Ausschreibungsunterlagen verwendet werden [26].

Alle Baubeteiligten sind aufgefordert, sich über die besonderen Anforderungen beim Bau eines Passivhauses kundig zu machen. Bitte fragen Sie im Zweifelsfall beim zuständigen Planer nach, bevor Sie (teure) Fehler machen. Zum Beispiel muss beim Einbau eines hochwertigen Fensters in eine Passivhaus geeignete Wand sorgfältig auf die Vermeidung von Wärmebrückeneffekten und einen luftdichten Anschluss geachtet werden. Falsche Materialwahl oder ein Abweichen von der planerischen Vorgabe kann unter Umständen einen Großteil der Anstrengungen beim einzelnen Bauteil wieder zunichte machen.

Exzellenter Wärmeschutz und kompakte Gebäudehülle. Alle Bauteile der Außenhülle müssen rundum sehr gut wärmedämmend werden. Zum guten Wärmeschutz gehört beispielsweise wärmebrückenfreies Konstruieren, bei dem Kanten, Ecken, Anschlüsse und Durchdringungen besonders sorgfältig geplant werden. Zudem muss die Außenhülle so gut luftdicht sein, dass sie bei einem Drucktest $n_{50} \leq 0,6$ 1/h erfüllt.

Warmfenster als Wärmesammler. Die Qualität der Fenster, einschließlich der Fensterrahmen, sollten im Regelfall dem Passivhausstandard entsprechen ($U_{W, eingebaut} < 0,85$ W/(m²K)).

Komfortlüftung mit Wärmerückgewinnung. Die Komfortlüftung mit Wärmerückgewinnung bewirkt in erster Linie eine gute Raumluftqualität – in zweiter Linie dient sie der Energieeinsparung. Im Passivhaus werden mindestens 75 % der Wärme aus der Abluft über einen Wärmeübertrager der Frischluft wieder zugeführt. Die Lüftung darf akustisch nicht stören und muss dauerhaft hygienisch

einwandfrei sein. Ein Schallpegel von 25 dB(A) als oberer Grenzwert hat sich in Passivhäusern bewährt. Auch im Passivhaus muss ein Restwärmebedarf gedeckt werden – es ist kein Nullheizenergiehaus. Es reicht aber aus, die Wärme durch eine Nacherwärmung der Zuluft, die ohnehin verteilt werden muss, zuzuführen. So kann die Lüftung gleichzeitig auch als Heizwärmeverteilung dienen.

Effiziente Warmwasserbereitung. Da für die Heizung nur noch sehr wenig Energie verbraucht wird, wird die Warmwasserbereitung zum bedeutendsten Verbraucher. Mit thermischen Sollarkollektoren können bis zu 60 % der Energie für Warmwasserbereitung mit Sonnenenergie erzeugt werden.

Stromspargeräte im Haushalt. Durch hocheffiziente Stromspargeräte wie Kühlschrank, Herd, Waschmaschine usw. kann der verbleibende Stromverbrauch deutlich gesenkt werden.

Nutzerfreundlichkeit aller Komponenten. Alle eingesetzten Systeme müssen vom Nutzer einfach und komfortabel bedient werden können, damit die Anlagen richtig bedient werden und die Einsparungen auch tatsächlich erzielt werden.

Qualitätssicherung und Zertifizierung. Die Einhaltung des Passivhausstandards setzt eine akkurate Planung und sorgfältige handwerkliche Ausführung voraus. Eine mehrstufige Qualitätssicherung beginnt bei der Entwurfsplanung mit der Passivhaus Vorprojektierung, der Detailplanung mit dem Passivhaus Projektierungs Paket (PHPP) und umfasst die Qualitätssicherung am Bau durch erfahrene Fachleute.

Leistungsverzeichnisse

- Ausschreibungsunterlagen möglichst detailliert aufstellen
- Bauzeitenplan festlegen, feste Abnahmetermine vereinbaren
- Alles bisher gesagte, was speziell auf die Eigenschaft Passivhaus zielt, muss in der Ausschreibung unmissverständlich dargelegt werden, damit die ausführenden Gewerke sich darauf einstellen können

Neue Produkte, Haftung

- Konformitätserklärung und Deklaration von gelieferten Produkten überprüfen: Ü-Zeichen, CE-Zeichen etc.
- Der Einsatz von neuen Produkten, d.h. Abweichungen vom „Stand der Technik“ müssen vom Bauherrn durch Unterschrift bestätigt werden: Zum Beispiel:
 - geringerer Luftwechsel als nach Norm üblich
 - Verzicht auf Bauartzulassungen, ggf. Zulassung im Einzelfall anstreben
 - Schallschutzanforderungen
 - Behaglichkeitskriterium Fenster $U_{W, eingebaut} \leq 0,85 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

Dämmung, Wärmebrückenfreiheit

- Erhöhtes Dämmniveau und Bewusstsein für Wärmebrücken kann bislang noch nicht selbstverständlich von allen Baubeteiligten erwartet werden: besondere Hinweise machen
- Möglichst detaillierte Planunterlagen mit Erläuterungen zur Ausschreibung versenden, damit der Teilnehmer sich ein Bild vom Aufwand machen kann
- Aber Vorsicht mit Angstzuschlägen von „Neulingen“
- Eingeblassene Dämmstoffe in Gefachen können sich setzen, so dass Hohlräume entstehen. Das Setzungsverhalten ist den Herstellern mittlerweile jedoch bekannt. Vom Hersteller ist eine belastbare Aussage über das Setzungsverhalten des Materials einzufordern. Der ausführende Betrieb muss wissen, wie groß ein zusammenhängender Hohlraum bei seinem Material sein darf, ohne dass ein nennenswerter Schwund durch Setzung auftritt.

Luftdichte Konstruktion

- Durchdringungen der luftdichten Hülle sind möglichst zu vermeiden. Wo nicht vermeidbar, sind sie sorgfältig zu planen, präzise auszuschreiben und die Ausführung ist zu kontrollieren.
- Das Konzept der luftdichten Hülle ist bei der Ausschreibung transparent zu machen. So können die Betriebe eigene Verbesserungsvorschläge und bewährte Lösungen zur Umsetzung einbringen.

Fenster und Haustüren Verglasungen

- Spezielle Anforderungen (s.o.) müssen explizit benannt werden, thermische Kennwerte der Produkte einfordern:
- Gedämmter Fensterrahmen (U_f)
- Randverbund thermisch getrennt, KEIN Aluminium (Ψ_g)
- Verglasungen müssen die Bedingung $g \cdot 1,6 \text{ W/(m}^2\text{K)} \leq U_g$ erfüllen
- Einbau von Fenstern muss luftdicht, wärmebrückenarm etc. erfolgen, siehe oben

Lüftung

- Luftwechsel der Anlage muss in drei Stufen einstellbar sein
- Nennluftwechsel kann ggf. geringer vereinbart werden als in der Norm vorgeschrieben
- Glatte Lüftungsrohre verwenden
- Auf elektroeffiziente Geräte achten
- Bei Kunststoffrohren auf antistatische Beschichtung achten
- Ein Wartungsvertrag für die Lüftung (z. B. auf fünf Jahre) sollte mit in die Ausschreibung aufgenommen werden, damit die Kosten hierfür schon bekannt sind. Ob der Vertrag wirklich abgeschlossen wird, kann später entschieden werden.

sonstige Haustechnik

- Auf kurze Zuleitungen zu WW-Zapfstellen achten
- Alle WW-führenden Leitung doppelt dämmen
- Möglichst keine WW-Zirkulation vorsehen, sondern kurze Stichleitungen

Kostenanschlag

- Je genauer die Ausschreibung, desto weniger Probleme später...
- Vorsicht mit „Angstzuschlägen“
- Vorsicht bei offensichtlich zu „billigen“ Anbietern

5. Ausführung und Abnahme

Bei der Ausführung am Bau muss noch mehr als bei konventionellen Gebäuden auf die korrekte Umsetzung der Planung geachtet werden. Für viele Handwerksbetriebe sind Passivhäuser bisher Neuland. Für den Planer ist in dieser Phase insbesondere zu beachten: Der Bauablauf muss sorgfältig vorbereitet werden, denn bei einigen Gewerken ist die Abfolge der Arbeiten von entscheidender Bedeutung. Zum Beispiel muss der Innenputz als luftdichte Schicht auf einer massiven Außenwand bis hinab auf die Rohdecke geführt werden. Dies ist jedoch nur möglich, wenn *vor* dem Einbringen des Estrichs verputzt wird.

Aus diesem Grund ist es ratsam, feste Abnahmetermine mit den einzelnen Gewerken zu vereinbaren. Ist zum Beispiel eine Holz-Leichtbau-Konstruktion mit Dämmung, noch offen liegender luftdichter Ebene (Innenbeplankung) und den eingesetzten Fenstern und Türen fertig (qualifizierter Rohbau), so kann ein Drucktest zur Überprüfung der Luftdichtheit stattfinden und die luftdichte Hülle kann ggf. im gleichen Arbeitsgang noch nachgebessert

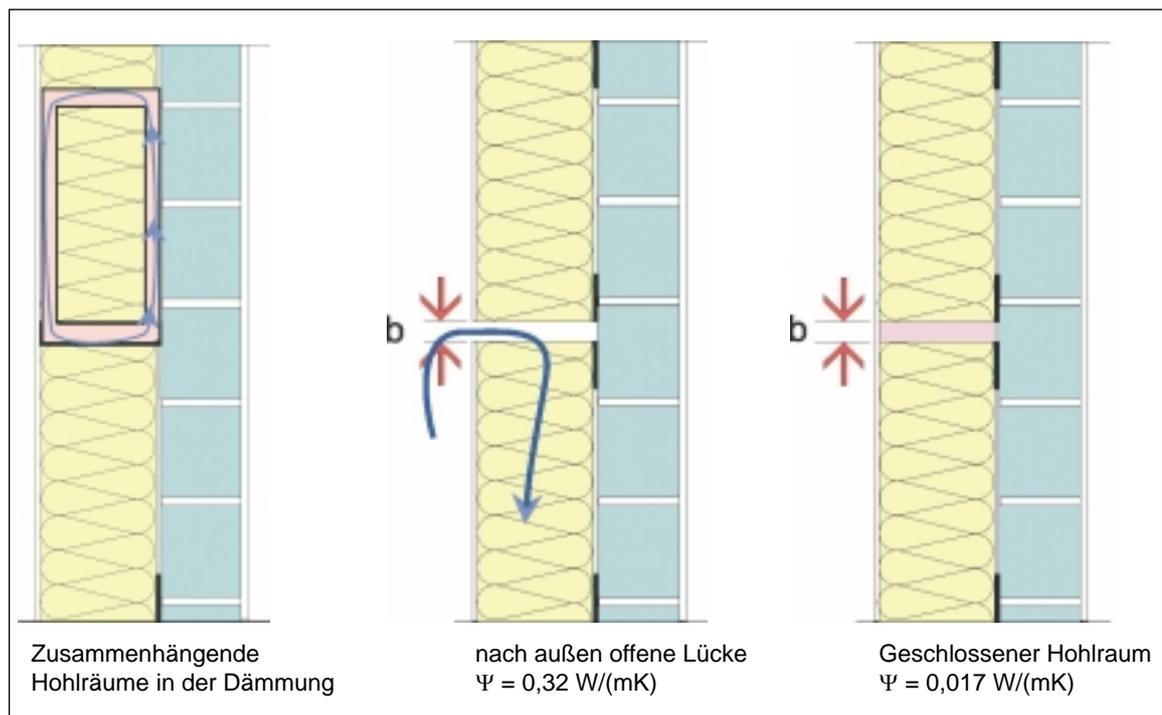
werden. Viele Zimmereibetriebe bieten dies inzwischen inklusive an, weil dies auch für sie selbst aus Gewährleistungsgründen (Abgrenzung zu nachfolgenden Gewerken) vorteilhaft ist.

5.1 Wärmedämmung

Wärmedämmverbundsysteme sind auf einem ebenen Untergrund sauber und gleichmäßig zu verkleben. Spalten größer als 4 mm in der Dämmung, sind tunlichst zu vermeiden. In solchen Hohlräumen kann sich eine Luftströmung bilden, so dass der Wärmeverlust über Konvektion drastisch zunimmt. In zusammenhängenden Hohlräumen können sich Ringströmungen ausbilden, die im schlimmsten Fall größere Flächen der Dämmung wirkungslos machen können, Abbildung 81, [10].

Wenn doch einmal größere Hohlräume in der Dämmung entdeckt werden, so müssen sie in jedem Fall verschlossen werden. Die Hohlräume

Abb. 81 Lücken in der Dämmung führen zu erheblichen zusätzlichen Wärmeverlusten. Ringförmig zusammenhängende Hohlräume können schlimmstenfalls eine Dämmschicht ganz unwirksam machen [10].



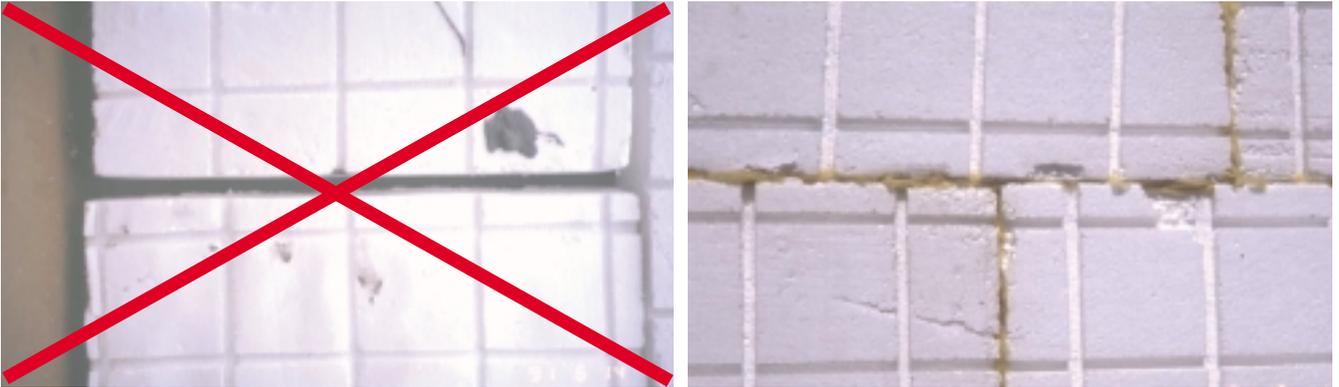


Abb. 82 Schlecht aufgebrachte Wärmedämmung mit Dämmücken (links) und Notlösung (rechts): die Lücken wurden mit Dämmstoff ausgestopft [10].



Abb. 83 Handelsübliche Wärmedämmverbundsysteme sind heutzutage auch in Dämmschichtstärken für das Passivhaus (bis zu 30 cm) erhältlich und können somit einlagig verarbeitet werden. Wichtig ist, dass die einzelnen Elemente sauber verklebt werden. Einige Anbieter fertigen formschlüssig ansetzbare Platten mit Nut und Feder (rechts). Fotos: ILS NRW, Aachen und PHI

können mit Dämmstoff ausgestopft oder ggf. auch mit Ortschaum ausgeschäumt werden. In diesem Fall ist nämlich nicht die Luftdichtheit entscheidend, sondern es ist nur wichtig, dass der Hohlraum mit einem wärmedämmendem Material aufgefüllt wird.

Zur Ausbesserung einer Fuge in der meist innen liegenden luftdichten Ebene ist jedoch selbstverständlich jede Art von Ortschaum nicht geeignet, weil diese Materialien in aller Regel schwinden

und nicht dauerhaft luftdicht sind! Vgl. die Checkliste in Abschnitt 3.3.

Zu diesem Problemfeld gehört auch die Winddichtheit der Dämmung. Die äußere Oberfläche der Dämmschicht – der Außenputz beim WDVS oder die äußere Beplankung beim Holz-Leichtbau – muss insgesamt so gestaltet sein, dass keine Luftströmung in die Dämmschicht eintreten kann, Abbildung 81. Ansonsten würde die Dämmwirkung erheblich beeinträchtigt. Dies ist jedoch nicht zu



Abb. 84 Fensteranschluss in einem Wärmedämmverbundsystem. Das Fenster wird vor das Mauerwerk gesetzt und dort mit Stahlwinkel­n oder mit einer Konsole befestigt, vgl. Abbildung 67. Die Fensterbank muss, wenn nötig, mit Konsolen trittsicher befestigt werden. In der Brüstung wird die Dämmung bis unter die Fensterbank herangeführt, in der Laibung wird der Rahmen über­dämmt, im dargestellten Beispiel wird der Holzrahmen bis zum Aluminium-Deckprofil mit Dämmung abgedeckt. Haus der Familie Bosmann in Wuppertal, Architektin: Andrea Hoppe, Hoppe und Schäfer, Wuppertal. Fotos: Bosmann

verwechseln mit der Anforderung an die luftdichte Ebene, die in der Regel innen liegt. Siehe dazu die Ausführungen in Abschnitt 3.3 und 5.3.

Bei Einblas-Dämmstoffen ist stichprobenartig zu prüfen, ob die Gefache vollständig gefüllt sind. Die Setzung des eingeblasenen Materials ist ebenfalls stichprobenartig zu prüfen. Vom Hersteller ist eine belastbare Aussage über das Setzungsverhalten des Materials einzufordern. Der ausführende Betrieb muss wissen, wie groß ein zusammenhängender

Hohlraum bei seinem Material sein darf, ohne dass ein nennenswerter Schwund durch Setzung auftritt.

Die vorgesehenen Dämmstoffe sind mit den ange­ lieferten Materialien zu vergleichen. Insbesondere die Wärmeleitgruppe stellt eine häufige Fehlerquel­ le dar, weil gerne Material „vom Lager“ mit den Standard Eigenschaften verwendet wird, statt das bestellte mit der besseren Wärmeleitfähigkeit [86]. Man achte dazu insbesondere auf die Deklaration von Baustoffen mit dem Ü-Zeichen.



Abb. 85 Trittsichere Konsole unter einer Fenstertür. Wohnprojekt Wohnsinn, Darmstadt.
Architekten: Faktor 10, Darmstadt.
Foto: PHI



Abb. 86 Ein Wärmedämmverbundsystem aus Polystyrol muss an den Grenzen eines Brandabschnitts (Geschosswohnungsbau) und über dem Fenstersturz in Mineralwolle ausgeführt werden. Wohnprojekt Wohnsinn, Darmstadt.
Architekten: Faktor 10, Darmstadt.
Foto: PHI

Neben Hohlräumen in der Dämmung ist selbstverständlich auch Wasser oder Zement und Mörtel für die Dämmeigenschaften des Materials nicht zu traglich. Es sollte deshalb darauf geachtet werden, dass während der Bauzeit auf ausreichenden Witterungsschutz geachtet wird. Vor allem Glaswolle neigt zur Aufnahme von erheblichen Mengen von Wasser, das die Dämmwirkung aufhebt und zudem später nur mit großem Aufwand wieder ausgetrocknet werden kann.

Gedämmte Bodenplatten sind ein beliebter Wohnort für Nagetiere. Es sollte ggf. ein Nagetierschutz vorgesehen werden.

Der Anschluss von Fenstern und Haustüren an das Wärmedämmverbundsystem stellt ein besonders anspruchvolles Detail dar. Die Laibung und der Sturz eines Fensters werden möglichst weit überdämmt und z.B. mit einer Putzendschiene versehen, Abbildung 84. Im Brüstungsbereich muss die Dämmung bis unter die Fensterbank herangeführt werden. Die Fensterbank muss bei Fenstertüren ggf. mit einer Konsole trittsicher unterstützt werden, Abbildung 85.

Sind bei Geschosswohnungsbauten mehrere Brandabschnitte vorhanden, so muss das Wärmedämmverbundsystem mindestens an den Grenzen der Abschnitte in Mineralwolle ausgeführt werden. Über dem Fenstersturz muss ebenfalls Mineralwolle eingesetzt werden, Abbildung 86.

Checkliste: Ausführung und Abnahme Wärmedämmung

- Dämm-lücken oder Hohlräume achten, möglichst formschlüssige Platten für das Wärmedämmverbundsystem verwenden, auf saubere Verklebung achten.
- Versehentlich entstandene Hohlräume (verdeckte Mängel!) ggf. ausstopfen oder ausschäumen.
- Brandschutz: Bei Wärmedämmverbundsystemen aus Polystyrol müssen über den Fenstern ggf. nicht brennbare Streifen aus Mineralwolle angeordnet werden.
- Bei Einblas-Dämmstoff ist stichprobenartig zu prüfen, ob die Gefache vollständig gefüllt sind
- Richtige Wärmeleitfähigkeit, wie ausgeschrieben, überprüfen; Ü-Zeichen und Lieferscheine kontrollieren.
- Witterungsschutz während der Bauzeit vorsehen; kein Wasser, Zement, Beton, oder Mörtel in die Dämmlage laufen lassen.
- Nagetierschutz vorsehen.
- Winddichtheit der äußeren Hülle beachten.

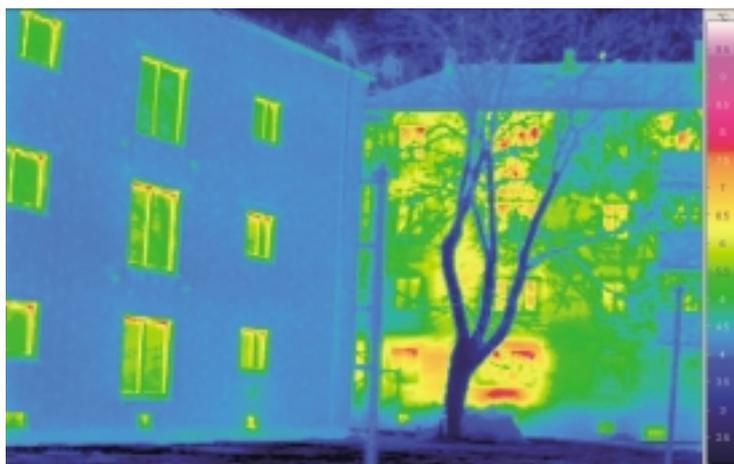


Abb. 87 Infrarotaufnahmen eines sehr gut gedämmten Gebäudes. Die hellgrünen Punkte zeigen die Edelstahl-Anker, an welchen später die vorgestellten Balkone am Haus fixiert werden. Rechts im Bild sieht man als Vergleich die ungedämmte Front des Nachbarhauses. Sanierung Nürnberg, Jean-Paul-Platz. Architekt: Burkhard Schulze Darup, Nürnberg. Foto: PHI

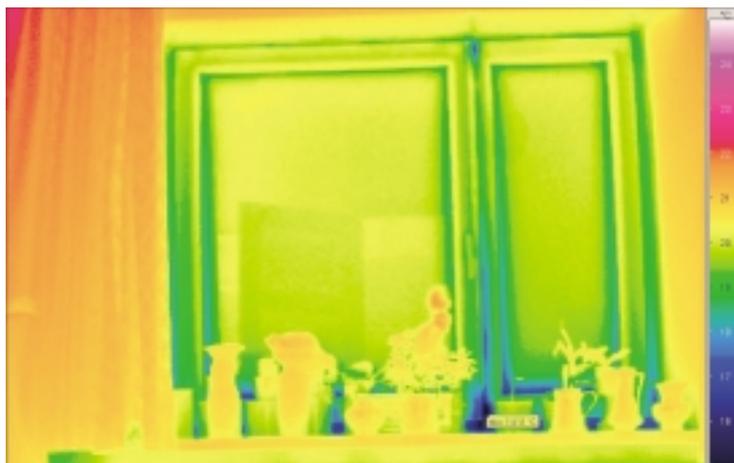


Abb. 88 Infrarot-Aufnahme eines Fensters von innen. Alle Temperaturen liegen „im grünen Bereich“, d.h. an keiner Stelle ist die Temperatur kleiner als 14° C. Bei einer Außentemperatur von etwa –5° C. Sanierung Nürnberg, Jean-Paul-Platz. Architekt: Burkhard Schulze Darup, Nürnberg. Foto: PHI

5.2 Wärmebrückenfrei

Wärmebrückenfreies Konstruieren ist vorrangig eine Planungsaufgabe [10]. Selbst der beste und erfahrenste Handwerker kann ein unzureichendes oder gar fehlendes Planungskonzept zum wärmebrückenfreien Konstruieren auf der Baustelle nicht mehr reparieren. Trotzdem bleiben auch hier genügend mögliche Fehlerquellen, die es bei der Bauausführung zu vermeiden gilt.

Der Fensteranschluss stellt eine besondere Wärmebrücke dar. Sie muss in der Planung berücksichtigt und ggf. auf ein Minimum reduziert werden, siehe Abschnitt 3.4. Bei der Ausführung muss jedoch besonders darauf geachtet werden, dass das vorgesehene Einbaudetail auch richtig umgesetzt wird. Besonders im Holz-Leichtbau wird von den Handwerkern gerne „improvisiert“ und am Ende wird viel statisch gar nicht notwendiges Holz verbaut, was den Wärmebrückeneffekt am Fensteranschluss negativ beeinflusst, Abbildung 61. Beim Massivbau mit Wärmedämmverbundsystem muss darauf geachtet werden, dass das Fenster wie geplant wirklich nach außen in die Dämmebene gerückt wird, Abbildung 62.

Für Rollläden gilt ähnliches: die zusätzliche Wärmebrücke ist in der Regel verkraftbar, der Anschluss muss jedoch auf Tauwasserfreiheit hin überprüft werden, und die korrekte Umsetzung des Details muss vor Ort überprüft werden.

Alle weiteren Details, wie sie in Abschnitt 3 erläutert wurden, sind selbstverständlich auch auf ihre korrekte Umsetzung hin zu kontrollieren. Beim Holz-Leichtbau geschieht dies besonders effektiv während der Vorfertigung der Wand und Dachelemente beim Hersteller, bevor die einzelnen Bauteile mit der Beplankung verschlossen werden.

Infrarot-Aufnahmen zeigen Temperaturbilder der Bauteil-Oberflächen [70]. Bei niedrigen Außentemperaturen können so wärmetechnische Schwachstellen in der Gebäudehülle leicht festgestellt werden. Die Infrarot-Thermografie eignet sich deshalb besonders gut zur Überprüfung der Bauteile auf Wärmebrücken. In Abbildung 87 sind als einzige (planmäßige) Wärmebrücken die Edelstahl-Anker zu sehen, an welchen später die vorgestellten Balkone am Haus fixiert werden.

Checkliste: Ausführung Wärmebrückenfrei

- Fensteranschluss auf Übereinstimmung mit der Planung kontrollieren:
Fenster muss in der Dämmebene platziert werden.
Holzanteil auf das in der Planung vorgesehene statisch notwendige Maß beschränken.
- Zusätzliche Wärmebrückeneffekte an Rollläden berücksichtigen.
- Anschluss Decke an Außenwand mit genügend Dämmung überdecken.
- Fußpunkt der Wand auf Betondecke auf Wärmebrückeneffekte hin überprüfen.
- Thermisch getrennte Befestigungselemente (Konsolen) für Lampen etc. vorsehen.
- Infrarot-Thermografie bei der Abnahme hilft Schwachstellen aufzudecken.
- Infrarotaufnahmen von innen, ggf. mit Drucktest kombinieren (Unterdruckthermografie).

5.3 Luftdichtheit

Auch hier gilt: die konsequent luftdichte Konstruktion der Gebäudehülle ist vorrangig eine Planungsaufgabe [10]. Jeder Handwerker wird bei einer Situation wie sie in Abbildung 89 dargestellt ist, größte Mühe haben, die Luftdichtheit einigermaßen zufriedenstellend herzustellen. Hier kreuzen sich Balken, Lüftungskanäle und Abwasserrohre und die Lage der luftdichten Ebene ist nicht klar definiert.

Außerdem gilt: Die korrekte Ausführung der Planung ist vor Ort zu kontrollieren, es ist die Übereinstimmung mit der Planung, insbesondere bei Anschlussdetails, zu prüfen!

Die wichtigsten Fehlerquellen bei der Ausführung der luftdichten Ebene sind nicht richtig luftdicht verbundene Anschlüsse von Bauteilen (Abbildung 55 bis Abbildung 57). Stöße von Beplankungen müssen vollständig verklebt werden, bevor der Innenausbau beginnt, dasselbe gilt für Einfüll-Löcher für Einblas-Dämmstoffe.

Der Putz bei massiven Wänden muss bis hinab auf die Beton-Rohdecke geführt werden, bevor der Estrich gelegt wird, Abbildung 51, weil unverputztes Mauerwerk generell nicht luftdicht ist. Dasselbe gilt für Mauern, die später hinter einer Vorwandinstallation verschwinden, Abbildung 92. Leckagen hinter Vorwandinstallationen sind nur schwer zu lokalisieren und später, wenn überhaupt, nur mit großem Aufwand zu beheben.

Steckdosen in Außenwänden müssen entweder vollständig eingeputzt werden (Massivbau) oder es müssen luftdichte Hohlwanddosen (Abbildung 92) verwendet werden, in die nur die tatsächlich

benötigten Löcher geschnitten werden dürfen. Am besten werden Steckdosen in Außenwänden ganz vermieden. Das gelingt zum Beispiel durch Verwendung von Vorwandinstallationen für die Elektroverkabelung, die nebenbei noch den Vorteil hat, dass sie jederzeit geöffnet und mit zusätzlichen Kabeln bestückt werden kann.

Drucktest mit der Blower-Door

Die Luftdichtheit eines Gebäudes oder einer Wohnung wird bei einem Drucktest mit einer „Blower-Door“ (engl. Ausdruck für Gebläsetür) ermittelt. Dazu wird ein Gebläse in eine Öffnung, z.B. eine Tür oder ein Fenster eingebaut und alle anderen

Abb. 89 Diese Anschluss-Situation ist (fast) nicht mehr zu retten, hier kreuzen sich Balken, Lüftungskanäle und Abwasserrohre. Die Lage der luftdichten Ebene ist nicht zu erkennen.
Foto: Niedrig-Energie-Institut, Detmold [86]





Abb. 90 Vorbildlich: Luftdichte Ebene eindeutig identifizierbar, klare Leitungsführung der Lüftung, Durchdringungen sauber abgeklebt.
Haus der Familie Bosmann in Wuppertal, Architektin: Andrea Hoppe, Hoppe und Schäfer, Wuppertal.
Foto: Bosmann



Abb. 91 Drucktest mit der Blower-Door.
Foto: PHI

Öffnungen, auch die Zu- und Abluftkanäle, werden geschlossen. Mit dem Gebläse wird in der Wohnung nacheinander ein kleiner Über- und Unterdruck von 50 Pa erzeugt. Gleichzeitig wird jeweils der Luftvolumenstrom $[m^3/h]$ gemessen, der bei dieser Druckdifferenz vom Gebläse gefördert wird. Dieser Messwert wird auf das umbaute Nettovolumen $[m^3]$ der Wohnung bezogen. So entsteht der sogenannte n_{50} -Wert $[1/h]$, der den Luftwechsel einer Wohnung bei 50 Pa Druckdifferenz angibt. Grenzwert für die Luftdichtheit eines Passivhauses ist $n_{50} = 0,6 \text{ } 1/h$. Die Normung [89] schreibt hier die Vorgehensweise beim Drucktest und den Berechnungsmodus vor, der Fachverband für Luftdichtheit im Bauwesen (FLIB) gibt dazu weitere Hinweise [90], [92], [93].

Dieser Luftwechsel bei 50 Pa Druckdifferenz ist nicht zu verwechseln mit dem Nennluftwechsel $[1/h]$, der von der Lüftungsanlage im regulären Betrieb aufrechterhalten wird, siehe Abschnitt 2.9.

Wird eine Infrarot-Aufnahme gemacht, wenn gleichzeitig mit einer Blower-Door ein Unterdruck im Gebäude erzeugt wird – sogenannte Unterdruck-Thermografie – so kühlt die einströmende Luft die umgebenden Bauteile rasch ab. Auf diese

Weise lassen sich Undichtheiten an Lippendichtungen von Fenstern und Türen und auch Risse in Bauteilen sehr schnell lokalisieren, Abbildung 93.

Der Drucktest ist ein zentrales Mittel der Qualitätssicherung für ein Passivhaus. Von vielen Firmen wird er inzwischen als Serviceleistung inklusive angeboten, weil damit aufwändige spätere Nacharbeiten vermieden werden können. Dies ist auch im Hinblick auf die Gewährleistung der zugesicherten Eigenschaften des Gewerks „luftdichte Hülle“ dringend anzuraten und dient zur Abgrenzung von nachfolgenden Gewerken.

Trotzdem sollte im Rahmen der Endabnahme eines Gebäudes ein zusätzlicher Drucktest von einem unabhängigen Gutachter durchgeführt werden. Damit wird sichergestellt, dass die luftdichte Hülle nicht während des Innenausbaus noch gelitten hat, Abbildung 91.



Elektroinstallation als Vorwandinstallation in der Sockelleiste. Foto: PHI



„Steckdosentaifun“ aus nicht luftdicht eingeputzter Unterputz-Steckdose, Foto: ebök, Tübingen



Vorwandinstallation mit nicht lokalisierbarer Leckage. Foto: PHI



Gebündelte und abgeklebte Durchführungen. Foto: PHI



Luftdichte Hohlwanddose, in die nur die benötigten Löcher geschnitten werden. Foto: PHI

Abb. 92 Potentielle Leckagen der luftdichten Ebene können vermieden werden, wenn das Problembewusstsein bei den Baubeteiligten vorhanden ist: Luftdichte Hohlwanddosen, Vorwandinstallationen oder vollständig eingeputzte Unterputzdosen verwenden.



Abb. 93 Unterdruckthermografie einer Haustür und eines Fensters. Undichtheiten treten deutlich zu Tage. Fotos: PHI

Checkliste: Luftdichtheit

- Hier ist die Bauablaufplanung besonders wichtig, z.B.: Wände vollständig verputzen vor dem Estrich.
- Sichtkontrolle am besten bei der Montage, ansonsten stichprobenartig.
- Drucktest mit der blower-door, bevor die luftdichte Schicht verdeckt wird (Innenausbau).
- Beim Drucktest sollten gleichzeitig evtl. Leckagen geortet und nachgebessert werden. Die Strömungsgeschwindigkeit der Luft an kritischen Stellen (Risse, Fugen etc.) kann bei Unterdruck mit einem Anemometer gemessen werden, damit ist eine grobe Abschätzung der Größe einer undichten Stelle möglich.
- Noch besser: Infrarot Aufnahmen von innen bei Unterdruck: „Unterdruck-Thermografie“
- Wurde hinter späteren Vorwandinstallationen in Bad und WC vollständig verputzt und alle Durchführungen sorgfältig abgedichtet?
- Sind Steckdosen in Außenwänden wirklich luftdicht ausgeführt?
Luftdichte Hohlwanddosen in Holz-Leichtbau-Konstruktionen bzw. vollständig luftdicht eingeputzte Unterputzdosen in massiven Außenwänden verwenden.
vgl. Abbildung 92: Steckdosentaifun.
- Die beteiligten Gewerke: Verputzer und/oder Holzbaufachmann und Fensterbauer evtl. auch Elektriker und Klempner sollten während des Drucktestes anwesend sein, damit ggf. kurzfristig Mängel beseitigt werden können.
- Nachfolgende Gewerke, die nach dem Drucktest evtl. Bohrungen durch die luftdichte Schicht durchführen, müssen über die Konsequenzen ihres Handelns aufgeklärt werden.

5.4 Fenster

Auch bei den Fenstern müssen die luftdichten Anschlüsse kontrolliert werden, bevor der Innenausbau begonnen wird (Holzleichtbau). Beim Massivbau muss der Innenputz luftdicht an den Fensterrahmen angeschlossen werden.

Daneben ist beim Fenster besonders wichtig, dass genau kontrolliert wird, ob das eingeplante bzw. geordnete Produkt mit dem gelieferten übereinstimmt. Dies bezieht sich auf den gedämmten Rahmen (U_f -Wert), den Randverbund (Ψ_g -Wert) und die Verglasung (U_g -Wert). Vor allem ist es wichtig, auf das tatsächlich gelieferte Material des thermisch getrennten Randverbundes am Glasrand zu achten. Es kommt vor allem in der Zusammenarbeit von Planern und Firmen, die noch wenig Erfahrung mit Passivhausfenstern haben, relativ häufig vor, dass bei der Bestellung von Verglasun-

gen dem Randverbund nicht die gebührende Aufmerksamkeit geschenkt wird.

Wird erst später festgestellt, dass statt dem thermisch getrennten Steg ein konventioneller aus Aluminium eingesetzt wurde, so sind die fraglichen Kosten einer Wandlung auf Gewährleistung erheblich und können kleinere Fensterbaubetriebe in den Ruin treiben. Selbstverständlich sind in so einem Fall auch Verhandlungen zwischen Kunden und Hersteller über eine Wertminderung möglich [87], solche Schadensbegrenzung sollte jedoch die Ausnahme bleiben.

Selbstverständlich müssen die Fenster auf ihre Gebrauchstauglichkeit und den korrekten mechanischen Einbau hin untersucht werden, ggf. sind die Beschläge von Fenstern und Türen nachzustellen, damit die Dichtungen einwandfrei schließen.

Checkliste: Ausführung Fenster

- Luftdichte Anschlüsse kontrollieren, bevor verputzt wird
- Nach dem Einbau müssen die Beschläge richtig eingestellt werden, damit die Dichtungen von Fenster und Türen luftdicht schließen
- Übereinstimmung von geliefertem und bestelltem Produkt prüfen:
 - Geometrie und Material des Rahmens (U_f)
 - Lieferscheine bzw. Ü-Zeichen kontrollieren
 - Randverbund thermisch getrennt (Ψ_g), KEIN Aluminium (!!!)
 - Verglasung (U_g)
- Infrarot-Aufnahmen zur Feststellung von Fehlern, auch Unterdruck-Thermografie.

5.5 Lüftungssystem

Beim Einbau des gesamten Lüftungssystems ist während der Bauzeit von Seiten der Qualitätssicherung darauf zu achten, dass alle Bauteile gegen Verschmutzung zu schützen sind (siehe auch VOB). Dies beinhaltet sowohl die Kanäle als auch das Zentralgerät und die Filter. Öffnungen müssen bis zur Inbetriebnahme mit Verschlussklappen geschützt werden, Abbildung 78. Die Anlage darf erst in Betrieb genommen werden, wenn eine Ver-

unreinigung durch Bauschmutz ausgeschlossen ist. Gegebenenfalls müssen die Filter gereinigt oder durch neue ersetzt werden.

Eine Missachtung dieser Sauberheitskontrolle kann neben hygienischen Problemen auch Korrosionsprobleme verursachen, wenn z.B. aggressive Medien die Zinkschicht von Wickelfalzrohren angegriffen haben, siehe Abbildung 94.



Abb. 94 Korrosionsflecken. Aggressive Medien, wie Mörtel und Zement können die Zinkschicht an Wickelfalzhohr angrreifen und somit zu Korrosion führen, die das Bauteil schnell zerstören kann.
Foto: PHI

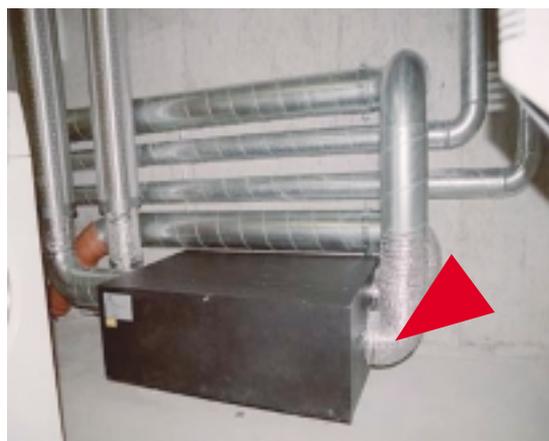


Abb. 95 Nicht zu empfehlen: Anschluss des Kanalnetzes über Flexrohr (Schall, Druckabfall, Verunreinigung) Besser: Segeltuchstutzen oder Gummimanschetten.
Foto: PHI

Lüftungszentralgerät

Aufgabe der Qualitätssicherung bei der Aufstellung des Lüftungszentralgerätes ist es zu überprüfen, ob das Gerätegehäuse zum Untergrund ausreichend schallentkoppelt ist und die Kondensatwanne mit genügend Gefälle steht, damit das Kondensat rasch abfließen kann. Dies ist vor allem bei größeren Anlagen wichtig. In jedem Fall muss die Kondensatwanne über einen Siphon an die Abwasserleitung angebunden werden.

Zur Vermeidung von Körperschallübertragung muss die Anbindung des Kanalnetzes schallentkoppelt erfolgen. Dies kann z.B. durch Segeltuchstutzen bzw. Gummimanschetten erfolgen. Darüber hinaus ist der Anschluss der Dämmung der „kalten“ Kanalabschnitte, Abbildung 90, an das Zentralgerät zu überprüfen. Verbleiben hier Spalte, kann feuchte Luft eindringen und Kondensat an der Kanaloberfläche ausfallen und dann die Dämmung durchfeuchten.

Die wichtigsten Funktionen (Frostschutz, Sommer-Bypass etc.) des Gerätes sind im Rahmen der Qualitätssicherung zu überprüfen. Die Zugänglichkeit aller für Revision, Reinigung und Austausch relevanten Bauteile wie z.B. Filter, Kondensatwanne, Wärmeübertrager etc. ist sicherzustellen.

Filter

Der Filterwechsel kann im allgemeinen von den Bewohnern selbst durchgeführt werden, siehe Abschnitt 6. Im Rahmen der Qualitätssicherung

sollte daher überprüft werden, ob der Filterwechsel einfach und ohne Verwechslungsgefahr (Außen-/ Abluftfilter, Filtereinsatzrichtung) durchgeführt werden kann. Ansonsten sind entsprechende Beschriftungen und Kennzeichnungen anzubringen. Wichtig ist, dass die Filter dicht im Filtergehäuse sitzen. Abbildung 96 zeigt ein gutes F7-Filter in der Filterbox eingebaut mit Anpressung über Stell-schrauben.

Außenluftansaugung und Fortluftauslass

Häufig kann anhand der Planungsunterlagen noch nicht endgültig geprüft werden, ob die Anbringung des Außen-/ bzw. Fortluftauslasses korrekt ist. Aufgabe der Qualitätssicherung ist es daher, vor Ort die tatsächlichen Gegebenheiten zu prüfen. Abbildung 98 zeigt einen sehr gut geeigneten Ort für die Außenluftansaugung in ausreichender Höhe über dem Erdboden (aus hygienischen Gründen) und durch den Balkonüberstand vor Regen und Flugschnee sowie Vereisung geschützt. Die Außenluftöffnung sollte darüber hinaus vor fremder Manipulation geschützt angeordnet werden. In unmittelbarer Nähe sollte selbstverständlich kein Komposthaufen, Parkplatz o.ä. angeordnet sein.

Der Fortluftauslass sollte vor Ort darauf überprüft werden, dass keine Bauteile von der feuchten Fortluft angeblasen werden. Feuchteschäden an diesen Bauteilen wären die unweigerliche Folge, denn die abgegebene Luft befindet sich fast permanent im

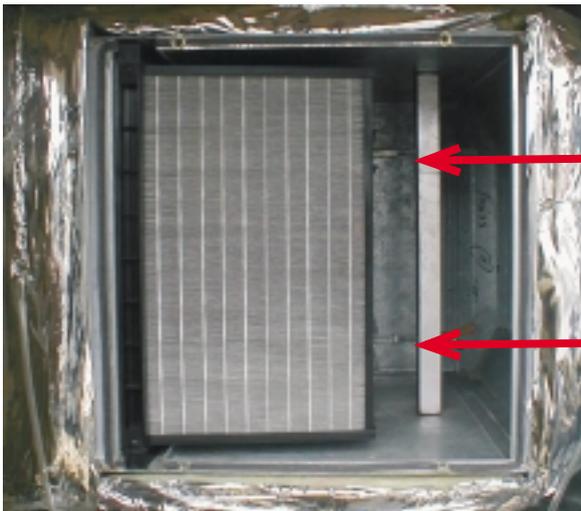


Abb. 96 Außenluftfilter im Filterkasten mit Anpressung über Stellschrauben (Pfeile).
Foto: PHI



Abb. 97 **So nicht!** Außenluftansaugung direkt über dem Erdreich verursacht unnötig hohe Staubbelastung.
Darüber hinaus ist der Brandschutz zu beachten: Die Luftkanäle müssen einen Mindestabstand zu Fenstern etc. einhalten.
Foto: PHI

Sättigungszustand, siehe dazu die Ausführungen in Abschnitt 2.9.

Außen- und Zuluftkanalnetz

An die Ausführung des Zuluftkanalnetzes werden normalerweise keine erhöhten Dichtheitsanforderungen gestellt, weil diese mit Überdruck betrieben werden, also keine Ansaugung über Leckagen erfolgen kann. Wird der Zuluftkanal hingegen mit Unterdruck betrieben (z.B. im Geschosswohnungsbau mit Anordnung der Ventilatoren in den einzelnen Wohnungen), so könnte bei Verlegung von Zu- und Abluft in einem Schacht Geruchsübertragung stattfinden. Um dies zu vermeiden, sind spezielle Wickelfalzrohre mit Dichtschnüren im Falz einzusetzen. Darüber hinaus ist bei allen Formstücken und Einbauteilen auf Dichtheit zu achten. Bis zum Zuluftventilator steht die Frischluftleitung unter Unterdruck, umgekehrt die Fortluftleitung unter Überdruck. Zur Vermeidung von Geruchsübertragung ist für die Abluftleitungen eine Dichtheit besser als EUROVENT Klasse III, für die Zuluftleitungen eine Dichtheit besser als EUROVENT Klasse IV, jeweils bei 200 Pa Förderdruck, einzuhalten [88].

Für Formstücke mit Lippendichtungen in Kombination mit normalen Wickelfalzrohren geben die Hersteller die Einhaltung der EUROVENT Klasse III an. Es ist auf jeden Fall empfehlenswert, sämtliche Rohrverbindungen zusätzlich zu den Lippendichtungen der Formstücke im Rohrübergang mit Lüftungsband abzukleben. Dies kann insbesondere auch im Hinblick auf die Vermeidung unerwünschter Geräusche sinnvoll sein, denn Wohnungen in Passivhausbauweise verfügen über sehr luftdichte Hüllflächen. Wenn also der erforderliche Luftmengenausgleich aus irgendwelchen Gründen gestört ist, kann es an Materialspalten zu überhöhten Luftgeschwindigkeiten mit entsprechend störenden Geräuschen kommen.

Zur Sicherung der geforderten Verarbeitungsqualität im Gebäude empfiehlt es sich, bei der Ausschreibung mindestens einen Leckagetest einer Sammellüftungsleitung im Leistungsverzeichnis (LV) vorzusehen. Abhängig vom Ergebnis dieser Tests kann die Verarbeitungsqualität des Rohrnetzes und die verwendeten Materialien für die Zu- und Abluftstränge noch gesteigert werden. Bei ordentlicher Verarbeitung werden die geforderten Werte i.d.R. deutlich unterschritten.



Abb. 98 Außenluftansaugung etwa 2,5 m über Grund. Haus der Familie Müller-Perkuhn, Havixbeck, Architekt: Uwe Müller-Perkuhn, Havixbeck. Foto: ILS NRW, Aachen



Abb. 99 Messung des Zuluftvolumenstrom an einem Zuluftventil über der Wohnzimmertür. Foto: PHI



Abb. 100 Staukreuz, eingebaut in ein Rohr DN100. Die gemessene Druckdifferenz kann direkt umgerechnet werden in eine Strömungsgeschwindigkeit im Rohr bzw. in den Volumenstrom durch das Rohr. Foto: PHI

Als luftdichteste Option (z.B. für die Zuluftleitung) könnte verschweißtes Polypropylen-Rohr (PPs) verwendet werden, für ein solches Rohrmaterial ist jedoch das Verhalten im Brandfall (trotz Deckenschotts) sehr kritisch anzusehen.

Abluftkanalnetz

Für das Abluftkanalnetz gelten die im letzten Abschnitt genannten Grundsätze analog, hinzu kommt noch die Überprüfung der Revisionierbarkeit und Zugänglichkeit für Reinigung. Aus diesem Grund sollte man auch bei der Abluft auf möglichst kompakte kurze Kanalnetze achten.

Zuluft-, Abluft und Überströmöffnungen

Im Rahmen der Qualitätssicherung sind nach der Inbetriebnahme alle Zuluftelemente auf korrekte Anbringung, Einstellung und eventuelle Eigen Geräusche zu überprüfen. Alle Zuluftelemente sollten unverwechselbar gekennzeichnet werden und die Einstellungen (Spaltweite bzw. Anzahl der abgeklebten Lochreihen) im Protokoll vermerkt werden. Nur so kann verhindert werden, dass die Elemente später versehentlich vertauscht werden. Außerdem ist es dann problemlos möglich, die ursprüngliche Einstellung entsprechend der Dokumentation wieder herzustellen.

Im Rahmen der Qualitätssicherung kann diese Einstellung stichprobenartig überprüft bzw. die



Abb. 101 Erdkanal im Arbeitsraum um das Haus verlegt, auf Luftdichtheit und gleichmäßiges Gefälle der Rohre ohne Mulden ist zu achten.

einzelnen Volumenströme nachgemessen werden. Hierzu sind unterschiedliche Geräte verfügbar, die in Form eines Messtrichters über den Zuluftauslass bzw. das Abluftventil gestülpt werden und den Volumenstrom bestimmen.

Messgeräte mit Kompensationsventilator sind hier den passiven Geräten mit Hitzdraht- bzw. Flügelradanemometer aus Genauigkeitsgründen vorzuziehen. Das Messprinzip ermöglicht es, den Volumenstrom direkt am Ventil ohne Beeinflussung durch zusätzlichen Druckverlust zu messen (siehe Abbildung 99). Um den Messtrichter an die unterschiedlichen Geometrien der Zuluftelemente anpassen zu können, sind unterschiedliche Trichteraufsätze zu verwenden.

Überströmöffnungen sollen den Luftstrom zwischen Zu- und Abluftzone auch bei geschlossenen Innentüren gewährleisten. Der Druckverlust von Überströmöffnungen sollte 1 Pa nicht übersteigen, sonst besteht die Gefahr der erhöhten (erzwungenen) Infiltration in der Abluftzone bzw. Exfiltration in der Zuluftzone. Der Druckabfall an einer Überströmöffnung kann leicht überprüft (d.h. grob

abgeschätzt) werden, indem an dieser Stelle die Strömungsgeschwindigkeit mit einem Hitzdrahtanemometer gemessen wird, sie sollte kleiner sein als 1 m/s.

Balance-Abgleich der Lüftung

Die Balance der gesamten Lüftungsanlage muss stimmen, d.h. die einzelnen Zuluft- und Abluftvolumenströme müssen sich in der Summe ausgleichen. Es macht keinen Sinn, mit Zuluft- oder Abluftüberschuss zu arbeiten, weil dadurch die Wärmeverluste aufgrund von Exfiltration bzw. Infiltration, d.h. Luftströmungen durch Fugen in der Gebäudehülle im allgemeinen unkontrolliert zunehmen. Bei Zuluftüberschuss besteht außerdem die Gefahr von Feuchteschäden, wenn Bauteile von innen nach außen von Luft durchströmt werden. Die Erfahrung zeigt, dass der Balance-Abgleich nur mit Strömungsmessgeräten mit Kompensationsventilator hinreichend genau gelingt, siehe Abbildung 99. Die Genauigkeit von passiven Messgeräten mit Hitzdraht- bzw. Flügelradanemometer ist erfahrungsgemäß nicht ausreichend.



Abb. 102 Revisionsschacht des Erdkanals und Blick von oben in den Revisionsschacht.
Fotos: ILS NRW, Aachen

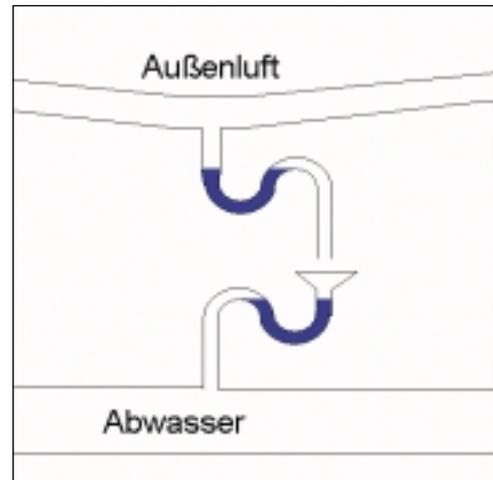


Abb. 103 Zur Vermeidung von Geruchsübertragung und Rückströmung wird der Kondensatablauf des Erdkanals über einen doppelten Siphon an den Abwasserkanal angebunden. Dies geschieht am besten im Revisionsschacht, Abbildung 102, damit eine Inspektion und Reinigung leicht möglich ist. Ggf. muss in die Siphons Wasser nachgefüllt werden. Eine Kondensatpumpe mit Wasserwächter kann ebenfalls eingesetzt werden.
Grafik: ebök, Tübingen

Statt an allen Zuluft- und Abluftventilen die Teilvolumenströme zu bestimmen, kann man auch den gesamten Volumenstrom, den die Anlage fördert, mittels zweier Messkreuze bestimmen. Diese Staukreuze müssen auf der kalten Seite des Lüftungsgerätes eingebaut werden, eines in der Außenluftleitung und eines in der Fortluftleitung, vgl. Abbildung 100. Damit lassen sich die beiden Volumenströme direkt miteinander vergleichen und man kann die Pressung der beiden Ventilatoren abgleichen, bis die Balance zwischen Zuluft- und Abluft gegeben ist.

Die Staukreuze werden am besten stationär in die Anlage eingebaut und verbleiben dort, so dass man die Balance im Laufe der Zeit kontrollieren und ggf. nachjustieren kann. Die Einstellungen am Gerät sollten dokumentiert werden.

Einige neuere Geräte verfügen über einen automatischen Balanceabgleich. Eine elektronische Schaltung regelt dabei den Zu- und Abluftvolumenstrom über die Ventilator Kennlinie.

Erdwärmeübertrager

Erdwärmeübertrager werden normalerweise mit Unterdruck betrieben (Ventilator im Zentralgerät). Um zu vermeiden, dass Luft aus dem Erdreich angesaugt werden kann (evtl. Radonbelastung) bzw. Wasser und Verunreinigungen eindringen, ist vor dem Verfüllen der Gräben das Erdregister auf Dichtheit zu prüfen. Ebenso ist zu prüfen, ob ein gleichmäßiges Gefälle vorliegt. Insbesondere bei nicht biegesteifem Material bilden sich leicht „Mulden“, aus denen Kondensat nicht ablaufen kann.

Die Entwässerung des Erdkanals muss über einen doppelten Siphon (im Revisionsschacht) an das Abwasser angeschlossen werden, damit weder Geruchsübertragung noch Rückströmung erfolgen kann, Abbildung 103. Möglich ist auch eine Kondensatpumpe mit Wasserwächter, die das anfallende Kondensat ggf. auf ein höheres Niveau der Abwasserleitung fördert. Für die Verlegung des Erdkanals muss ein gleichmäßiges Gefälle der Rohre in Richtung auf den Revisionsschacht eingehalten werden, damit Kondensat abfließen kann, Abbildung 102. Mulden, in denen sich Wasser sammeln kann, sind tunlichst zu vermeiden.

Checkliste für die Überprüfung des Lüftungssystems

Überprüfung des Lüftungszentralgerätes

- Schallentkoppelte Anbindung der Lüftungskanäle zur Vermeidung der Körperschallübertragung wählen
- Auf schallentkoppelte Aufstellung des Zentralgerätes achten
- Auf korrekten Anschluss der Peripheriegeräte
- (Bedieneinheit, Frostschutz etc.) achten
- Kondensatablauf korrekt über Siphon an das Abwasser anschließen
- Zugänglichkeit für Revision (Filter, Kondensatwanne, Wärmeübertrager) überprüfen

Überprüfung der Filter

- Alle Filter auf korrekten dichten Filtersitz prüfen, Leckagen führen zur Verunreinigung des Kanalnetzes
- Falls vorgesehen: Vorlegefilter überprüfen (Edelstahl in der Küche, Grobfiltermatte im Bad)

Überprüfung von Außenluftansaugung/Fortluftauslass

- Außenluftansaugung möglichst in 3 m Höhe
- Korrekte Platzierung: nicht in der Nähe von Orten mit erhöhter lokaler Luftbelastung
- Schutz vor fremder Manipulation sicherstellen
- Schutz vor Regen bzw. Flugschnee
- Vermeidung von Kurzschluss-Strömung zwischen Fortluftauslass und Außenluftansaugung (Geruchsbelastung!)
- Fortluftauslässe dürfen keine Bauteile ablassen (winterliche Kondenswasserbildung)
- Feste Abnahmetermine vereinbaren

Überprüfung des Zuluftkanalnetzes

- Kanalabschnitte, die im Unterdruck betrieben werden, sorgfältig auf Dichtheit prüfen
- Diffusionsdichte Dämmung („Schwitzwasserdämmung“) der kalten Kanäle innerhalb der wärmegeprägten Hülle prüfen

Überprüfung des Abluftkanalnetzes

- Kanalabschnitte, die im Betrieb unter Überdruck stehen, sorgfältig auf Dichtheit prüfen
- Dunstabzugshaube nicht an Abluftkanal anschließen (Umlufthauben verwenden)

Überprüfung von Zuluft-, Abluft- und Überströmöffnungen

- Zuluftventile können als Weitwurfdüsen ausgeführt werden: ca. 15 cm unter der Decke anbringen, möglichst über der Tür, vgl. Abbildung 77
- Werden Zuluftventile als Tellerventile ausgeführt, dann müssen sie zur Vermeidung von Kurzschlussströmungen gegenüber der Überströmöffnung angeordnet werden
- Die Temperatur der Zuluft darf nie unter 16°C liegen, um unangenehme Zugerscheinungen zu vermeiden
- Es darf nicht direkt in Aufenthaltsbereiche eingeblasen werden, vgl. Abschnitt 3.6
- Projektierte Volumenströme überprüfen
- Abluftventil im Bad bevorzugt im oberen Bereich anbringen (Abfuhr von Wasserdampflasten), auf Zugluftgefahr prüfen
- Druckabfall von Überströmöffnungen überprüfen (max. 1 Pa); erfolgt durch Nachmessen der Strömungsgeschwindigkeit (<1 m/s)

Überprüfung der Ausführung von Erdwärmeübertragern

- Rohrregister auf Dichtheit prüfen (Abdrücken)
- Kanalverlegung auf Gefälle überprüfen (Kondensatablauf!)
- Entwässerung (Kondensatabfuhr) sicherstellen
- Revisionierbarkeit überprüfen (Reinigung)
- Der erste (frontständige) Filter am Eingang des Erdkanals sollte von hoher Qualität sein, mindestens F7.

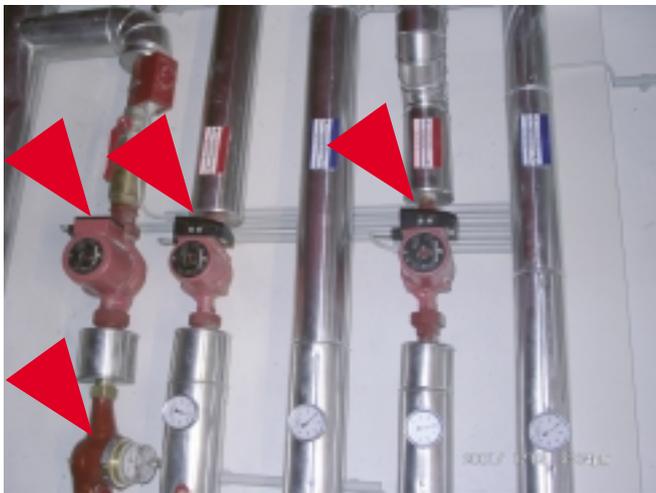


Abb. 104 Hohe Wärmeverluste an ungedämmten Armaturen sind unnötig und ärgerlich.
Foto PHI

Abb. 105 Mit geeigneten Formstücken können die Armaturen gedämmt werden und bleiben trotzdem zugänglich.
Foto: PHI

5.6 Weitere Haustechnik im Passivhaus

In vielen messtechnisch begleiteten Passivhausprojekten stellte sich nach dem ersten Betriebsjahr heraus, dass die Wärmeverteilverluste bedeutend höher ausfielen, als dies projektiert wurde [13]. Der Grund lag häufig in mangelhafter Ausführung der Wärmedämmung von Warmwasserleitungen. Mangelhaft heißt hier nicht zwingend mangelhaft ausgeführte handwerkliche Qualität, häufig ist die Verarbeitung überaus präzise durchgeführt, Abbildung 104. Wärmetechnisch gesehen treten aber häufig Verluste im Bereich von Formstücken, Befestigungen und Armaturen auf: Alle Stellen, an denen die Wärmedämmung nicht lückenlos fortgeführt wird oder an denen Wärmebrücken auftreten, tragen wesentlich zu den Gesamtwärmeverlusten bei. Befestigungsschellen sollten um die Dämmung greifen und nicht direkt an der Leitung anschlie-

ßen. Bei stärkeren Leitungen, bei denen größere Haltekräfte notwendig sind, sollte zumindest eine Manschette zur thermischen Entkopplung um das Rohr gelegt werden und erst dann die Befestigungsschelle angebracht werden. Es ist heute leider immer noch „übliche Praxis“ die Wärmedämmung an Armaturen und Formstücken zu unterbrechen. Inzwischen sind aber speziell angepasste Dämmschalen für fast alle Arten von Formstücken und Armaturen erhältlich, siehe Abbildung 105.

Ebenso wie bei der Lüftungsanlage ist es auch bei der Haustechnik Aufgabe der Qualitätssicherung, die Einstellungswerte der Steuer und Regeltechnik zu überprüfen und mit den Projektierungswerten zu vergleichen.

Checkliste zur Überprüfung der Ausführung der Haustechnik

- Ausführung der Wärmedämmung der Leitungen prüfen
- Ausführung der Dämmung an den Befestigungen, Formstücken und Armaturen prüfen
- Einstellung der Steuerung und Regelung (Parameter, Sollwerte, Schaltzeiten) auf Übereinstimmung mit den Planungswerten prüfen

5.7 Wer bietet Qualitätssicherung und weitere Informationen an?

Grundsätzlich gilt für jedes ausführende Gewerk: Der Auftragnehmer ist für die korrekte Funktion und die Eigenschaften seines Produktes, wie sie im Auftrag vereinbart wurden, verantwortlich. Bauherr und Architekt sollten sich jedoch von unabhängiger Seite die Qualität der angebotenen bzw. abgelieferten Komponenten bestätigen lassen, vor allem dann, wenn sie zum ersten Mal ein so komplexes Bauvorhaben wie ein Passivhaus durchführen. Die Beratung durch spezialisierte Fachplaner ist ein erster Schritt zu einer erfolgreichen Qualitätssicherung, dies wurde im Abschnitt 1.4 „Integrale Planung“ schon ausgeführt.

Die Forderung nach Zuziehung eines Spezialisten ist für den Bereich Tragwerksplanung gesetzlich zwingend vorgeschrieben und allgemein anerkannt, schließlich soll ein Gebäude unbedingt standsicher konstruiert sein. Dem Wärmeschutz bzw. insgesamt der Bauphysik und der Haustechnik kommen beim Passivhaus jedoch eine mindestens genau so große Bedeutung zu. Denn der thermische Komfort, d.h. eine angenehme Raumtemperatur überall im Haus, wird im Passivhaus in erster Linie durch einen konsequenten Wärmeschutz und eine hocheffiziente Lüftung bewerkstelligt, so dass eine sehr geringe Heizlast von 10 W/m² erreicht wird.

Wird die Heizleistung des Wärmeerzeugers nun auf diesen Wert abgestimmt, wie es in diesem Leitfaden eingehend dargelegt wurde, so können Fehler beim Wärmeschutz und bei der Lüftungswärmerückgewinnung zu Komforteinbußen seitens der Bewohner führen. Bei einem konventionellen

Gebäude mit groß dimensioniertem Wärmeerzeuger werden diese Fehler einfach „weggeheizt“, der Bewohner bemerkt sie deshalb, wenn überhaupt, erst an der Heizkostenabrechnung.

Die Qualitätssicherung bei Passivhäusern ist eng mit der Forschung und der Weiterentwicklung dieses Baustandards verbunden. Die verschiedenen Tagungen und Kongresse zu diesem Thema bieten ein aktuelles Forum für viele Fragen. Weitere Informationen können beim Passivhaus Institut [26] angefragt werden. Dort ist auch eine ständig aktualisierte Liste von realisierten Passivhäusern abrufbar, in der jeweils die beteiligten Architekten und Fachplaner genannt werden. So können Bauwillige erfahrene Fachleute in ihrer Region finden. Außerdem bieten einige Fachzeitschriften [58] einen aktuellen Überblick über das Baugeschehen rund um das Passivhaus.

Verschiedene Verbände bieten inzwischen für den Bereich Thermografie [99] und Luftdichtheit [100] fachliche Unterstützung und allgemeine unabhängige Informationen an. Über diese Verbände können auch Adressen von Ingenieurbüros, welche die entsprechenden Dienstleistungen anbieten, angefragt werden.

Das Institut für Landes- und Stadtentwicklungsforschung und Bauwesen in Aachen und das Ministerium für Städtebau und Wohnen, Kultur und Sport (MSWKS) als Herausgeber dieses Leitfadens können ebenfalls Hinweise geben [19]. Daneben sind die Architektenkammern der Länder [101] selbstverständlich eine wichtige Anlaufstelle.

6. Laufende Nutzung

An dieser Stelle sei auf die Nutzerhandbücher verwiesen, die am Passivhaus Institut für das Mehrfamilienhaus in Kassel Marbachshöhe [97] und für die Reihenhausesiedlung in Hannover Kronsberg [98] erstellt wurden. Eine allgemeine Version des Handbuchs für Kassel Marbachshöhe steht beim Passivhaus Institut [26] als Textdatei zum Download zur Verfügung und kann für eigene Projekte verwendet werden. Dazu ist ggf. eine Anpassung des Textes an die tatsächlichen örtlichen Gegebenheiten notwendig.

In Abschnitt 6.1 werden die wichtigsten Inhalte des Nutzerhandbuchs stichwortartig übersichtlich als Merkblatt auf einer Seite zusammengefasst [98]. Dieses Merkblatt kann dem neuen Bewohner beim Einzug überreicht oder ggf. dem Mietvertrag beigelegt werden. Selbstverständlich muss auch dieser

Text an die örtlichen Gegebenheiten angepasst werden. Im Abschnitt 6.2 werden einige vertiefende allgemeine Hinweise für Bewohner gegeben, siehe auch [97].

Das darauffolgende Kapitel 7 ist eher für Gebäudeverwaltungen und Hausmeister von Mehrfamilienhäusern gedacht und für Eigenheimbewohner, die viele Dinge, wie z.B. Filterwechsel, selbst erledigen können. Hier wiederholen sich selbstverständlich viele Dinge, die im Leitfaden erarbeitet worden sind.

Die Checkliste Kapitel 8 fasst die wichtigsten Gesichtspunkte, die beim Bau eines Passivhauses bedacht werden sollten, noch einmal stichwortartig zusammen.

6.1 Wohnen im Passivhaus – auf einen Blick

Was Sie regelmäßig tun sollten:

- Ab November bis Ende März (je nach Witterung) können die Fenster geschlossen bleiben. Lüftungsanlage mit eingesetztem Bypass-Schieber betreiben (Winterbetrieb).
- Im Sommer ganz normal über die Fenster lüften. Zur Entlüftung von Bad & WC wird das Lüftungsgerät auf Stellung „Sommerlüftung“ betreiben. Bei großer Hitze Sommer-Bypass aktivieren.
- Filterwechsel: Kontrolle am Lüftungsgerät alle 3 Monate (beide Filter), Küchenfilter alle 6 Monate kontrollieren.
- Monatliche Sichtkontrolle der Haustechnik und Solaranlage.
- Zur Vermeidung von Überhitzung im Sommer: Nachtlüftung & Verschattungseinrichtungen nutzen, möglichst energiesparende Haushaltsgeräte einsetzen.

Was Sie in längeren Zeitabständen regelmäßig tun sollten:

- Wärmetauscher der Lüftungsanlage alle zwei Jahre reinigen.
- Nachstellen der Fenster, Dichtlippen überprüfen und Fetten der Beschläge

Was Sie beachten sollten:

- Bei längerer Abwesenheit im Winter Heizung nicht ausschalten, sondern z.B. 18° C (nicht weniger) am Thermostat einstellen, Lüftung auf Grundstufe betreiben.
 - Fenster in der Heizzeit möglichst nur im Bedarfsfall öffnen (Ausfall der Lüftungsanlage, Party etc.), Eingangstüre und Balkontüre nach dem Benutzen möglichst rasch und dichtsitzend wieder schließen!
 - Gegenstände und helle bzw. reflektierende Flächen innen vor dem Fenster vermeiden (Mindestabstand 20 cm), es kann sonst durch örtliche Erwärmung zu Glasbruch kommen.
 - Bei Verletzungen der luftdichten Hülle durch Dübel, Nägel, Schrauben etc.:
- Nach dem Wiederverfügen die verbleibenden Löcher im Putz der Außenwände wieder sorgfältig mit Fugenmörtel ausspachteln!
- Zuluftöffnungen, Überströmöffnungen und Abluftöffnungen immer freihalten und Einstellung nicht verändern!
 - Keine Ablufttrockner zum Wäschetrocknen verwenden; es besteht die Gefahr von Schimmelbildung durch zuviel Kondenswasser! Wenn überhaupt, dann Kondensattrockner verwenden. Es geht aber auch ohne, siehe weiter unten.
 - Entleerung der Gartenwasserleitung vor dem ersten Frost.
 - Fenster in der kalten Jahreszeit tagsüber möglichst nicht verschatten (Solargewinne)

Wie Sie Energie sparen können:

- Fensterlüftung in der Heizperiode vermeiden.
 - Raumlufttemperatur nur so hoch wie nötig (Räume nicht überheizen!).
 - Badheizung im Regelfall ausgeschaltet lassen, bzw. nicht dauerhaft damit heizen.
 - Zum Wäschetrocknen möglichst Trockenschrank *ohne* el. Heizung benutzen oder Wäsche auf den Wäscheständer im Flur oder im Bad aufstellen, weil so die Feuchtigkeit besser abgeführt werden kann.
- Stromsparende Haushaltsgeräte und Energiesparlampen verwenden, Elektrogeräte mit Standby-Schaltung bei Nichtbenutzung ganz abschalten.
 - Wäschetrocknen funktioniert in einem Haus mit kontrollierter Lüftung besonders effektiv: einfach den Wäscheständer in einen Abluftraum (Bad oder Abstellraum) oder bei Abwesenheit auch in einen Zulufttraum stellen. Weil ein ständiger Luftaustausch stattfindet, wird auch die Feuchtigkeit der Wäsche schnell abgeführt und die Wäsche trocknet innerhalb eines Tages.

6.2 Ausführliche Hinweise für die Bewohner

Anmerkung: An den Textstellen, die mit ### bezeichnet sind, muss der Text ggf. an die tatsächlichen Gegebenheiten des konkreten Hauses angepasst werden.

Wärmedämmung und luftdichte Schicht

Die **wärmedämmenden** Bauteile funktionieren ohne Zutun der Bewohner von selbst – es sei denn, sie werden durch zerstörende Eingriffe in ihrer Funktion gehindert. Wichtig für die Funktion des Wärmeschutzes sind:

- Die Dämmung muss in ihrer vollen Dicke am gesamten Gebäude bestehen bleiben. Auch an Kanten, Anschlüssen der Fenster, dem Anschluss zum Dach, dem Übergang zur Bodendämmung.
- Die das Bauteil schützenden **luftdichten inneren** Dichtlagen dürfen nicht verletzt werden: #### Hier ist das jeweilige Luftdichtigkeitskonzept im Dach und bei den Außenwänden des betreffenden Gebäudes zu erläutern (Innenputz, Beplankung oder Folien, siehe Abschnitt 3.3).
- Die **Außenbauteile** vertragen durchaus einige (**möglichst wenige**) Verletzungen durch Dübel, Nägel, Schrauben und Reißzwecken. Wichtig ist jedoch, dass in der Innenverkleidung verbleibende Löcher, die **nach dem Entfernen** von Dübeln, Nägeln und Schrauben entstehen, mit **Fugenmörtel** wieder sorgfältig ausgespachtelt werden.

Die Fenster

Im Passivhaus gibt es zwei Arten von Fenstern: Festverglasungen und öffnbare Fenster (bzw. Außentüren). In jedem Raum ist mindestens ein öffnbares Fenster, das aufschlagbar und auch kippar ist, anzuordnen. Alle Fenster haben eine hochwertige, neuentwickelte Superverglasung („Dreifach-Wärmeschutzglas“), deren Wärmeverluste im geschlossenen Zustand nur ungefähr ein Viertel so hoch sind wie die von gewöhnlichem Zweischeibenisoliertglas. Die Fensterrahmen sind ebenfalls sehr gut wärmegeklämt. Damit tragen die Fenster zu einem beträchtlichen Teil zur Verbesserung des Wärmeschutzes im Passivhaus bei.

ACHTUNG: Die im Passivhaus verwendete Spe-

zialverglasung ist empfindlich gegenüber **Überhitzung**. Deshalb müssen Gegenstände im Innenraum mindestens 20 cm Abstand von den Scheiben haben. Die inneren Scheiben können sonst bei starker Sonneneinstrahlung ihre Energie nicht abführen und erhitzen sich übermäßig. Aus dem gleichen Grund sind helle und reflektierende Flächen innen vor den Fenstern zu vermeiden.

Die **Fenster** – vor allem die auf der Südseite – sind die wichtigsten Bauteile für die **Sonnenenergienutzung**. Die durch die Fenster eingestrahlte Solarenergie wird an den Raumboberflächen absorbiert und in Wärme umgewandelt. Dies ist im Passivhaus ein beträchtlicher Beitrag zur Heizung.

Voraussetzung für die Solarenergienutzung ist es, dass die Sonnenstrahlung **in der kalten Jahreszeit** auch weitgehend ungehindert in den Raum eintreten kann, deshalb gilt:

- Sonnenschutzeinrichtungen (Läden, Jalousien, Vorhänge) sollten in der kalten Jahreszeit **tagsüber nicht geschlossen werden**.
- Wenn Gardinen verwendet werden, sollten grobmaschige mit dünnem und hellem Gewebe eingesetzt werden. Die Sonnenenergienutzung ist optimal, wenn in der kalten Jahreszeit am Tag die Gardinen nicht vorgezogen sind.
- Die Fenster sollten nicht durch helle Gegenstände, die viel Licht wieder durch das Glas nach außen zurückwerfen, verstellt werden.

In **Hitzeperioden** dagegen ist es sinnvoll, die solare Einstrahlung durch die Fenster **bewusst** zu verringern. Am wirkungsvollsten sind Maßnahmen, welche die Sonneneinstrahlung schon außen vor dem Fenster verschatten. Dies kann geschehen durch: #### Hier sollte speziell auf die im betreffenden Gebäude eingesetzten Sonnenschutzeinrichtungen eingegangen werden ####

- Schließen von Jalousien und Läden (wenn vorhanden; teilweise oder ganz),
- Einhängen von Sonnensegeln in die Außenkonstruktion,
- Ausfahren von Markisen (wenn vorhanden),
- Gegenstände auf der Außenseite.

Innenliegende Verschattungen, die Licht aus dem Raum zurück nach außen reflektieren, verringern zwar auch die Sonnenhitze, sollten aber wegen Glasbruchgefahr (Überhitzung der Scheiben) nicht eingesetzt werden.

Den bedeutendsten Einfluss auf den Heizenergieverbrauch haben Sie als Bewohner über das Öffnen von Fenstern. In jedem Raum gibt es mindestens ein offenes Fenster. Im Sommer und im Bedarfsfall (Ausfall der Lüftungsanlage, extreme Raumluftbelastung z.B. bei einer Party) kann damit in allen Räumen mit den Fenstern gelüftet werden. **Bei ordnungsgemäßer Funktion der Lüftungsanlage ist dies aber in der kalten Jahreszeit (Anfang November bis Ende März) nicht nötig!** Vielmehr führt das Öffnen der Fenster (auch das Fensterkippen) im Passivhaus zu einem beträchtlichen zusätzlichen Energieverbrauch. In der Regel sollte daher in der kalten Jahreszeit ein Öffnen und Kippen von Fenstern vermieden werden. Werden Fenster oder Außentüren genutzt, so sollten sie in der kalten Jahreszeit möglichst rasch wieder geschlossen werden. Beim Schließen bitte darauf achten, dass das Fenster bzw. die Tür auch richtig im Rahmen greift, weil sonst die Dichtlippen ihre Funktion nicht erfüllen.

Fenster kippen?

Ein dauernd gekipptes Fenster hat im Passivhaus in der Heizzeit keinerlei Vorteile – genügend frische Luft wird von der Zuluft der Lüftungsanlage ohnehin ständig sichergestellt. Das gekippte Fenster hat nur Nachteile:

- Die Außenluftmenge im Haus wird bei gekipptem Fenster insgesamt zu hoch: dadurch wird die Raumluft im Winter zu trocken – das ist nachteilig für die Schleimhäute, führt zu vermehrter Staubaufwirbelung, zu möglichen elektrischen Aufladungen und kann das Gedeihen von Zimmerpflanzen beeinträchtigen.
- Das ordnungsgemäße Funktionieren der Wohnungslüftungsanlage kann durch schon ein geöffnetes oder gekipptes Fenster gestört werden: Andere Räume erhalten dann möglicherweise weniger Luft als eingestellt und erforderlich.

- Wenn in Ihrem Passivhaus die Ergänzungsheizung mit der Lüftung gekoppelt ist, dann funktioniert auch die Ergänzungsheizung bei gekipptem Fenster nicht mehr so wie erwartet.
- **Und generell:** Der Wärmeverlust durch ein einzelnes dauerhaft gekipptes Fenster ist an kalten Tagen um ein Vielfaches höher, als der gesamte normale Wärmeverlust des Passivhauses. Daher wird bei länger anhaltender Fensterkipfung oder Öffnung die Ergänzungsheizung nicht mehr ausreichen, um den stark erhöhten Wärmeverlust auszugleichen. Im bestimmungsgemäßen Betrieb im Passivhaus sind im Winter die Fenster geschlossen – darauf ist das gesamte System ausgelegt.

Fensterlüftung in Hitzeperioden

Im Gegensatz zur Situation in der kalten Jahreszeit ist in **Hitzeperioden** ausgiebiges Lüften durch geöffnete und gekippte Fenster die wirksamste Methode, die Raumtemperaturen niedrig zu halten. Empfehlenswert ist vor allem eine verstärkte Lüftung in der **Nacht und am frühen Morgen**. Auch in Hitzeperioden kühlt es nachts häufig deutlich ab. Wird die kältere Nachtluft durch ausgiebiges Nachtlüften ins Haus gelassen, so können dadurch die Decken, Innenwände, Wohnungstrennwände und das Mobiliar abgekühlt werden. Wegen der guten Wärmedämmung des Hauses „halten“ die Bauteile die gespeicherte Kälte auch tagsüber. Ist die Außenluft am Tag besonders heiß, so kann es sinnvoll sein, die Fenster am Tag wieder geschlossen zu halten und die Lüftungsanlage im Sommerbetrieb (nur Abluftventilator läuft) mit den gerade eben notwendigen Luftmengen zu betreiben.

Fensterläden / Rollläden / Jalousien

Falls das Gebäude mit Fensterläden, Rollläden oder Jalousien ausgestattet ist, sollten folgende Hinweise an die eingesetzten Vorrichtungen angepasst werden:

Der Wärmeverlust durch das Fenster wird bei geschlossenem Laden nochmals verringert. Daher ist es in der kalten Jahreszeit empfehlenswert, den Laden in der Nacht geschlossen zu halten.

Das nächtliche Schließen des Ladens im Winter hat auch einen Komfortvorteil: Herrschen z.B. außen -10°C Außenlufttemperatur, so beträgt bei 20°C Raumlufttemperatur die Oberflächentemperatur der Fensterscheiben in der Nacht mindestens $17,3^{\circ}\text{C}$ (bei gewöhnlichem Zweischeibenisolierverglas wären es nur etwa 9°C). Wird der Laden geschlossen, so steigt die Oberflächentemperatur noch mehr an. Durch die Sonneneinstrahlung und das Himmelslicht erwärmen sich die Fensterscheiben am Tag; sie sind dann meist sogar wärmer als die Raumluft. Es ist daher in der kalten Jahreszeit nicht sinnvoll, Läden am Tag zu schließen: am Tag soll die Sonnenenergie möglichst ungehindert in die Räume kommen.

Im Sommer ist dagegen die Sonneneinstrahlung durch die Fenster die größte Wärmelast. Um im Sommer niedrige Raumtemperaturen und hohe Behaglichkeit zu erhalten, ist es insbesondere in Hitzeperioden sinnvoll, die Läden oder Jalousien tagsüber zu schließen.

Die Lüftungsanlage

Im Geschosswohnungsbau sind alle Wohneinheiten entweder mit einer eigenen Lüftungsanlage ausgerüstet oder an eine gemeinsame Lüftungsanlage für mehrere Wohnungen angeschlossen. Die frische Außenluft wird **unbehandelt und unvermischt** als Zuluft allen Wohnräumen zugeführt. Dies ist die wesentliche Frischluftversorgung für die Räume – die Zuluftöffnungen dürfen daher auf keinen Fall verschlossen oder zugestellt werden. Sie müssen immer frei in den Raum blasen können.

Hier sollte, wenn möglich, ein Bild der Zuluftöffnungen eingefügt oder erläutert werden, wo sich diese befinden

**Die Frischluft ist das wichtigste Lebensmittel!
Bitte achten Sie darauf, dass die Zuluft durch die Lüftungsanlage immer in ausreichendem Maß zur Verfügung steht.**

Verbrauchte Abluft wird aus der Küche und dem Bad abgesaugt. Die Abluftöffnungen befinden sich bewusst in diesen Räumen, da die Quellen für die Belastung der Raumluft dort am stärksten sind.

Auch die Abluftöffnungen bitte freihalten, damit die Luft möglichst gut hindurchströmen kann!
Hier sollte wenn möglich ein Bild der Abluftöffnungen eingefügt oder erläutert werden, wo sich diese befinden

Damit die Luft auch bei geschlossenen Zimmertüren von den Schlafräumen in das Badezimmer gelangen kann, werden in den Türblättern Überströmöffnungen eingebaut. Diese also ebenfalls nicht verschließen!

Für die Realisierung von Überströmöffnungen existieren im Wesentlichen vier Konzepte, (siehe auch Abbildung 79): Unter dem Türblatt (Spaltweite mindestens $1,5\text{ cm}$), im Türblatt (Überströmträger oder integrierte Kanäle), über der Türzarge (Spalt mit Sichtverblendung) oder in der Wand (Rohr oder Schachtdurchführung). Je nach Ausführung sollte darauf hingewiesen werden, dass diese Öffnung nicht versehentlich oder absichtlich verschlossen wird. Beim Türunterschnitt besteht z.B. die Gefahr, dass der Spalt durch einen dicken Teppich verschlossen wird.

Die Lüftungsanlage kann nur funktionieren, wenn die verbrauchte Luft im Austausch gegen die Zuluft das Haus wieder verlässt. Im Gegensatz zu einem herkömmlichen Haus ist die Wärme der verbrauchten Abluft im Passivhaus nicht verloren: Eine hocheffiziente Wärmerückgewinnung sorgt dafür, dass der größte Teil wieder nutzbar gemacht wird.

In der Normal-Betriebsart der Lüftung wird optimale Luftqualität und hohe Energieeinsparung erreicht. Für die Bewohner ist es am günstigsten, die Einstellung der Lüftung in den kalten Jahreszeiten immer im Normalbetrieb zu lassen.

Die Vorteile der Lüftung über die Lüftungsanlage sind:

- Die im Winter kalte Außenluft wird über die hocheffizienten Wärmetauscher des Passivhauses auf Temperaturen nahe der Raumtemperatur gebracht. Je nach Bedarf kann die Luft dann noch nacherwärmt werden. Mit dieser Temperatur kommt die Luft in die Zulufräume. Es ist keine kalte Außenluft mehr, wodurch die Behaglichkeit steigt und der En-

ergieverlust bei gleicher Luftmenge nur noch ein Bruchteil des Wertes bei kalter Außenluft beträgt.

- Es wird immer frische Luft in ausreichender Menge angeboten: die Wind- und Temperaturabhängigkeit ist praktisch ausgeschaltet. Dadurch gibt es keine Zugluft und keine mangelnde Belüftung in windstillen Zeiten. Auch in der Nacht gibt es immer genügend frische Luft.
- Die Luft kommt in die Räume, in denen sie gebraucht wird.
- Die verbrauchte Luft wird dort abgesaugt, wo sie am meisten belastet ist. Dadurch breiten

sich Gerüche gar nicht erst in der ganzen Wohnung aus.

- Wenn Bewohner unter Pollenallergien leiden, ist es möglich, die Lüftungsanlage auch im Sommer zu betreiben, die Frischluft strömt dann durch die Filter und wird damit von den Pollen befreit. Rückschlagklappen verhindern, dass belastete Luft aus benachbarten Wohnungen einströmen kann. Passivhäuser sind gut luftdicht – eine ideale Voraussetzung dafür, dass die Pollenfilter auch wie gewünscht funktionieren.

Checkliste: Bewohneraufklärung

Wärmedämmung und luftdichte Schicht:

- Keine Löcher in den Innenverkleidungen der Außenbauteile belassen – auch dort nicht, wo man sie nicht sieht!

Fenster:

- Keine hellen oder reflektierenden Gegenstände direkt vors Fenster stellen
- Sonne reinlassen – möglichst keine dichten Gardinen vor das Fenster hängen
- Von November bis März können die Fenster geschlossen bleiben!
- Im Winter lüftet die Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung, Fenster deshalb auch nicht kippen!
- Im Sommer können die Räume kühl gehalten werden indem nachts und morgens über die

Fenster gelüftet wird. Tagsüber sollte der Sonnenschutz und die Fenster geschlossen sein, dann bleibt es drinnen angenehm kühl.

Lüftungsanlage:

- Ist ein Erdkanal vorhanden, so kann die Lüftungsanlage im Sommer (Bypassbetrieb ohne Wärmerückgewinnung!) zusätzlich kühle Luft in die Räume bringen.
- Zuluftöffnungen nicht zukleben oder verstellen!
- Wenn Sie nicht im Urlaub sind: Lüftung auf Stufe „normal“ stellen.
- Bei Abwesenheit Stufe „Grundlüftung“ wählen.
- Lüftungs-Anlage: ist besser und komfortabler als Fensterlüftung.

7. Vertiefendes Nutzerhandbuch für Hausverwaltungen und Eigentümer

Ein Nutzerhandbuch für ein Gebäude ist heute noch eher ungewöhnlich. Für technische Geräte hingegen ist es üblich, eine genaue Beschreibung für Funktion, Handhabung und Wartung an die Hand zu bekommen. Für den Bewohner im Einfamilienhaus und für das Wartungspersonal in Mehrfamilienhäusern sind solche technischen Beschreibungen nämlich eine wichtige Grundlage für Instandhaltung und Reparaturen. Im Geschosswohnungsbau sind eine Vielzahl von haustechnischen Einrichtungen wohnungsübergreifend installiert und müssen einer regelmäßigen Wartung unterzogen werden.

Bei Passivhäusern handelt es sich um einen besonders fortschrittlichen Baustandard, der sowohl für die Bewohner als auch für die Gebäudeverwaltung weitgehend unbekannt ist. Die Nutzung dieser Gebäude ist aber letztendlich nicht „komplizierter“ – sie ist nur etwas anders. Z. B. verlangen die Lüftung mit Wärmerückgewinnung und die Nachheizung über die Zuluft vom Bewohner eine gewisse Eingewöhnung und vom Wartungspersonal einige Vorkenntnisse.

Um diese Kenntnisse zu vermitteln, wurden am Passivhaus Institut zwei Handbücher erstellt [97], einmal ein „Nutzerhandbuch für den Bewohner im Geschosswohnungsbau“, das sich primär an die Bewohner wendet, und ein „Handbuch für die Gebäudeverwaltung“.

Ein Nutzerhandbuch für den Bewohner sollte die allgemeinen Fragen („Was ist ein Passivhaus?“ etc.) beantworten und dem Bewohner die wichtigsten Dinge erläutern, die ihn im täglichen Umgang mit seiner Wohnung betreffen.

Aufgabe eines Nutzerhandbuchs für die Gebäudeverwaltung ist die Erläuterung der technischen Zusammenhänge der Haustechnik sowie der Besonderheiten einzelner Bauteile und Komponenten wie z. B. der Fenster oder der Dämmung. Darüber hinaus soll es der Gebäudeverwaltung aber auch die Bedeutung des Nutzerverhaltens und damit die Notwendigkeit einer kurzen Einweisung und die Übergabe des Nutzerhandbuchs vor dem Einzug des Mieters nahe bringen.

Auch für ein herkömmliches Haus wäre es heute empfehlenswert, ein Nutzerhandbuch zu erhalten: ein behagliches Raumklima, hygienische Innen-

luft, das Vermeiden von Bauschäden und deutliche Heizkosteneinsparungen wären durch bessere Information der Bewohner erreichbar. Die „Ratschläge“ für das herkömmliche Haus wären allerdings an einigen Stellen ganz anders als die Hinweise für ein Passivhaus. Ein herkömmliches Haus optimal zu benutzen ist in mancher Hinsicht komplizierter als die Nutzung des Passivhauses. Im Folgenden werden die wichtigsten Hinweise für die Wartung und Pflege von Bauteilen im Passivhaus kurz dargestellt. An den Textstellen, die mir ### bezeichnet sind, muss der Text ggf. an die tatsächlichen Gegebenheiten des konkreten Hauses angepasst werden.

7.1 Wärmedämmung und Vermeidung von Wärmebrücken

Wärmedämmverbundsystem (Massivbau):

Das Wärmedämmverbundsystem ist bei Passivhäusern prinzipiell genauso aufgebaut wie im gewöhnlichen Massivbau, mit dem Unterschied, dass die Dämmstärke hier mit 30 bis 35 cm anstelle von üblicherweise z.B. 12 cm ausgeführt wurde. Die Dämmung besteht aus ##### - Dämmstoff der auf das ### -Mauerwerk aufgeklebt wurde. Aus diesem Grund ist es nicht ohne weiteres möglich, nachträglich irgendwelche Befestigungen von außen an der Wand anzubringen. Sollte dies doch notwendig werden, so ist auf möglichst geringe Wärmebrückenwirkung zu achten. Leuchten und leichte Geländer etc. müssen thermisch getrennt auf speziellen Konsolen (Abbildung 27) oder mit speziellen Dämmstoffdübeln an der Wand befestigt werden. Solche Konsolen können durchaus auch später in das Wärmedämmverbundsystem eingebaut werden, wenn darauf geachtet wird, dass die Deckschicht, d.h. der Putz etc. wieder sorgfältig (wasserdicht) verschlossen wird. Für zukünftige Renovierungsarbeiten sollten schon beim Anbringen der Wärmedämmung spezielle Gerüstanker vorgesehen werden, die dauerhaft im Wärmedämmverbundsystem verbleiben. Diese Anker müssen jedoch für einen Gerüstbauer später noch als solche erkennbar sein. ### ggf. ist hier zu vermerken, dass es solche Anker gibt. Jegliche Verletzung des Außenputzes birgt die Gefahr, dass Wasser eindringen kann und bei Frost den Putz absprengt. ##### Hier sollten herstellerspezifische

Hinweise für Putzausbesserungen und Neuverputz gegeben werden.

Holz-Leichtbau:

Die Bauart der Leichtbauelemente kann sehr unterschiedlich sein und sollte hier soweit beschrieben sein, dass eventuelle Wartungsarbeiten und nachträgliche Befestigungen fachgerecht durchgeführt werden können. Siehe die Beispiele in Abbildung 28 bis Abbildung 31.

7.2 Luftdichtheit

Wichtige Voraussetzung für den sehr geringen Heizwärmebedarf und das Funktionieren der Lüftungsanlage in den Passivhäusern ist die hohe Luftdichtheit der Gebäudehülle. Diese konnte nur durch detaillierte Planung, sorgfältige Ausführung und einen abschließenden Drucktest erreicht werden (### zur Dokumentation und zum Vergleich mit eventueller späterer Nachmessung sollten hier die n_{50} -Werte des Drucktests angegeben werden ###). Damit diese aber auch langfristig erhalten bleibt, sollte sowohl von den Bewohnern als auch von der Gebäudeverwaltung darauf geachtet werden, dass diese nicht durch Eingriffe zerstört wird. Die luftdichte Ebene wird an den Außenwänden durch den Innenputz (beim Massivbau) bzw. beim Holz-Leichtbau durch die innere Beplankung, die an den Stößen verklebt ist oder ### durch eine Folie gebildet. Im Dachbereich wird meist eine Folie ### verwendet. Die Fensterrahmen wurden durch entsprechende Folienlappen ### oder mit Spezialklebändern luftdicht angeschlossen.

Die Bewohner müssen im Nutzerhandbuch darauf hingewiesen werden, dass sie evtl. Nagel- und Dübellöcher an den Außenwänden nach dem Herausnehmen von Nägeln und Schrauben wieder zuspachteln (### beim Massivbau). Bei einem Bewohnerwechsel ist besonders darauf zu achten und ggf. nachzuarbeiten. In den Dachwohnungen ist darauf zu achten, dass ### die Folie unter der Deckenverkleidung nicht beschädigt wird. Es empfiehlt sich, die Verantwortung für den Schutz der Gebäudehülle und damit die Erhaltung der Luftdichtheit bei Mietwohnungen auch im Mietvertrag zu verankern. Bei Eigentumswohnungen und

Einfamilienhäusern dürfte ein deutlicher Hinweis genügen.

In aller Regel haben die Bewohner den Wunsch, Leuchten an anderen Stellen der Decke zu positionieren als dies seitens der Deckenauslässe vorgesehen war. Hierfür ist es hilfreich, wenn den Bewohnern von Dachgeschoss-Wohnungen beim Einzug spezielle Befestigungsösen mit zugehörigen Schrauben übergeben werden, um einer Verletzung der luftdichtenden Folie vorzubeugen.

Wichtig für die Luftdichtheit sind auch die Lippendichtungen in den Fensterrahmen, besonders die innenliegende Dichtung. ### Wartungshinweise des Fensterherstellers ggf. hier einfügen. Im Geschosswohnungsbau empfiehlt sich eventuell ein Wartungsvertrag, denn jedes Jahr sollten die Beschläge der Fenster nachgestellt werden, damit die Luftdichtheit – und selbstverständlich auch die allgemeine Gebrauchstauglichkeit erhalten bleibt, ggf. sind die Dichtungen zu erneuern.

Die einzelnen Wohneinheiten wurden mit Zu- und Abluftleitungen ausgestattet. Im Mehrfamilienhaus sollte ein Luftaustausch zwischen verschiedenen Wohnungen über das Treppenhaus vermieden werden. Die Wohnungseingangstüren wurden daher ebenfalls möglichst luftdicht ausgeführt und sollten gelegentlich auf diese Funktion hin geprüft werden.

7.3 Fenster

Bei den Passivhausfenstern handelt es sich um hochwertige Dreischeiben-Verglasungen mit sehr geringen Wärmeverlusten. Es kann daher gelegentlich zu einem Beschlagen der Scheiben von außen kommen. Dies stellt aber keinen Mangel dar und ist in jeder Hinsicht unproblematisch.

Bei den Fensterrahmen handelt es sich ebenfalls um hochwärmedämmte Bauteile. Mechanisch gesehen und von der Wartung unterscheiden sie sich jedoch nicht von herkömmlichen Rahmen. Einstellarbeiten an den Beschlägen – besonders im Bereich der Ecklager und der Scheren – sowie Austauschen von Teilen und das Aus- und Einhängen der Öffnungsflügel sind von einem Fachbetrieb durchzuführen.

Sicherheitsrelevante Beschlagteile sind regelmäßig auf festen Sitz zu prüfen und auf Verschleiß zu kontrollieren. Je nach Erfordernis sind die Befestigungsschrauben nachzuziehen bzw. die Teile auszutauschen. Darüber hinaus sind mindestens jährlich folgende Wartungsarbeiten durchzuführen:

- Alle beweglichen Teile und alle Verschlussstellen der Drehkippbeschläge sind zu fetten (### siehe Wartungs-/ Pflegeanleitung des Herstellers).
- Reinigungs- und Pflegemittel müssen dabei auf das Material abgestimmt sein und dürfen den Korrosionsschutz der Beschlagteile nicht beeinträchtigen (### siehe Pflegeanleitung des Herstellers).

Es empfiehlt sich, das Unternehmen mit der Wartung zu betrauen, das die Konstruktion hergestellt, geliefert und montiert hat (hier:###). Es verfügt sowohl über das entsprechende Planungswissen als auch über detaillierte Konstruktionsunterlagen des Bauvorhabens und hält in der Regel evtl. benötigte Verschleißteile auf Vorrat.

7.4 Lüftungssystem und übrige PH-Haustechnik

Die Haustechnik im Passivhaus ist einfach aufgebaut und in jeglicher Hinsicht wartungsarm. Entsprechend gering fällt auch der Aufwand für Inspektionen während der Nutzungsphase aus. Das Lüftungszentralgerät mit Wärmerückgewinnung besteht nur aus wenigen Einzelteilen mit geringem Wartungsaufwand. Neben dem regelmäßigen Filterwechsel (mindestens einmal pro Jahr), der von den Bewohnern selbst durchgeführt werden kann, sollte die Kondensatwanne sowie deren Ablauf mit Siphon regelmäßig überprüft und ggf. gereinigt werden. Im Einfamilien- bzw. Reihenhaus ist eigentlich kein Wartungsvertrag notwendig. Man beachte jedoch, dass nach VOB die Gewährleistungsfrist nur geltend gemacht werden kann, wenn ein Wartungsvertrag besteht. Bei größeren Anlagen und im Mietwohnungsbau erscheint eine regelmäßige Inspektion und Filterwechsel durch Fachpersonal in jedem Fall angebracht, damit z.B. der Filterwechsel auch wirklich regelmäßig durch-

geführt wird. Für die übrige Haustechnik (Sanitärinstallation inkl. Abwasser sowie Elektroversorgung) gelten die üblichen Wartungsintervalle nach den Regeln der Technik, auf die hier nicht näher eingegangen werden soll.

Um grobe Fehler in der Haustechnik in der Betriebsphase finden zu können, empfiehlt es sich, die mehrjährigen Verbrauchsdaten (Zählerablesungen) mit den projektierten Bedarfswerten zu vergleichen.

Im Geschosswohnungsbau können sowohl **zentrale** als auch **dezentrale** Lüftungsanlagen realisiert werden. Bei **zentralen** Lüftungsanlagen werden mehrere Wohneinheiten gemeinsam von einer Lüftungsanlage mit Zu- und Abluftkanälen versorgt. Sowohl der Wärmeübertrager als auch der Zu- und Abluftventilator werden zentral in einem Technikraum untergebracht. Dies hat den Vorteil, dass die wichtigsten Wartungsarbeiten (Filterwechsel, Wartung der Ventilatoren etc.) außerhalb der Wohneinheiten zentral vom Wartungspersonal durchgeführt werden können. Eingriffe durch die Nutzer sind weder nötig noch erwünscht.

Bei der **dezentralen** Lösung verfügt jede Wohneinheit über ein separates Lüftungsgerät. Diese Version bietet den Vorteil, dass alle Einstellungen individuell vom Nutzer vorgenommen werden können. Es empfiehlt sich jedoch, das Lüftungsgerät außerhalb der Wohneinheit in einem (möglichst nur für das Wartungspersonal zugänglichen) Abstellraum unterzubringen, um Wartungsarbeiten auch bei Abwesenheit der Bewohner durchführen zu können. Natürlich könnte der Filterwechsel auch von den Bewohnern selbst durchgeführt werden, aus hygienischen und sicherheitstechnischen Gründen ist jedoch davon abzuraten.

Sobald Ventilatoren wohnungsweise angeordnet werden, sind auch wohnungsweise Rückschlagklappen erforderlich. Für diese Rückschlagklappen gelten besondere Dichtheitsanforderungen (DIN 18017, Teil 3 [95], [96]), damit ein Überströmen von Gerüchen in andere Wohnungen sicher vermieden wird. Diese Rückschlagklappen sollen frei von Materialspannungen infolge nicht fluchtender Leitungsanschlüsse eingebaut sein, so dass weder Gehäuse noch Klappenmechanik verklebten können. Am einfachsten ist solch ein Übergang mit einem einseitig kurzen Stück Aluflexrohr

herzustellen. Die Prüfung der Rückschlagklappen auf Funktion und Sitz ist in die Wartungsliste mit aufzunehmen. Dabei ist es wichtig, dass eine solche Kontrolle direkt mit der Inbetriebnahme sowie vor der ersten Heizperiode durchgeführt. Später können die Wartungsintervalle hierfür gestreckt werden (z.B. alle 2-3 Jahre).

Der Einsatz im Mietwohnungsbau stellt erhöhte Anforderungen an die Funktionssicherheit und einfache Handhabbarkeit der Lüftungssysteme. Die wohnungswise Regelbarkeit verspricht eine gute Nutzerakzeptanz. Die semizentrale Lüftungstechnik verbindet die Vorteile der zentralen Technik (hoher Wärmebereitstellungsgrad, geringe Kosten, zentrale Wartung) mit der besseren Nutzerakzeptanz der dezentralen Anlagen.

Semizentrale Lüftungstechnik

Semizentrale Lüftungstechnik stellt eine Kombination von dezentraler und zentraler Lüftungstechnik dar. Übergeordnete Baugruppen, wie beispielsweise die Wärmerückgewinnung oder die Luftfiltration, können für mehrere Wohneinheiten gemeinsam angeordnet werden. Bei den nutzungsspezifischen Bestandteilen einer Lüftungsanlage, wie z.B. der Luftmengenregelung oder der Nachheizung, kann den Wünschen der Bewohner Rechnung getragen werden, da diese Funktionen dezentral angeordnet sind.

Dabei stellt das Erreichen einer balancierten Lüftung, unabhängig von den Betriebsbedingungen der Anlage, ein unverzichtbares Kriterium dar. Nur mit einer bestmöglich ausgeglichenen Mengenzugbilanz im Zu- und Abluftstrang (balancierte Lüftung) können die Energieverluste einer unkontrollierten In- bzw. Exfiltration über die Gebäudehülle minimiert werden.

Das Konzept einer semizentralen Lüftungstechnik lässt sich in zwei Richtungen verwirklichen. Die erste Variante zur Erzielung ausgeglichener Luftmengen arbeitet mit paarweise dezentralen Volumenstromreglern in den Wohnungen. Zur Luftmengenmessung werden Messkreuze eingesetzt. Die zweite Lösung verwendet dezentrale Ventilatoren pro Wohneinheit, um damit die Luftmengen wohnungswise regulieren zu können.

Auswirkungen auf die Wartung

Die Variante mit Volumenstrommessung und Volumenstromreglern ist wesentlich störanfälliger als der Einsatz dezentraler Ventilatoren. Zudem ergeben sich über Volumenstromregler höhere Druckverluste bei vergleichsweise nur begrenzter Regelbarkeit abgesenkter Volumenströme. Am unkompliziertesten sind dezentrale Ventilatoren mit Konstant-Volumenstrom-Regelung.

Die Luftkanalmessung und Luftmengenregelung bedeuten bei der Variante mit Volumenstromreglern erheblich mehr Aufwand bei Betrieb und Investitionskosten:

Die Messkreuze der Volumenstromregler in der Abluft sollten alle 1-2 Jahre kontrolliert und ggf. gewartet werden. Ablagerungen in den feinen Bohrungen der Messkreuze verschlechtern das Regelverhalten und erhöhen den Wartungsaufwand. Das dynamische Messverfahren zum Abgleich der Volumenstromregler für eine balancierte Lüftung ist abluftseitig ebenfalls anfällig für Verschmutzungen. Die Volumenstromregler mit statischem Abgleich sind zwar wartungsärmer, aber nochmals ca. 50 % teurer als die dynamischen Geräte. ### Vom Haustechniker sollte hier eine möglichst genaue Beschreibung der Lüftungsanlage, der Strangschemata der Lüftung sowie alle Datenblätter der wartungsrelevanten Komponenten angefügt werden.

Je nach Bauart sollten hier Wartungshinweise für die Lüftungszentralen bzw. die Einzellüftungsgeräte gegeben werden. Darüber hinaus sind Wartungshinweise für Komponenten in den einzelnen Wohneinheiten erforderlich, z.B. Filterwechsel für die Grobfilter vor den Abluftventilen (s.u.).

Die Restheizung

Passivhäuser weisen einen derart geringen Heizwärmebedarf auf, dass sie auf ein konventionelles Heizsystem verzichten können. Die Oberflächentemperaturen der Außenwände und Fenster liegen nahe bei der Raumlufttemperatur, daher ist auch aus Komfortgründen kein Heizkörper unter dem Fenster notwendig. Die Restheizwärme kann z. B. vollständig von der Zuluft transportiert werden. Hierfür werden Nachheizregister in den

Zuluftstrang eingebaut. ### Je nach Ausführung verfügen die Badezimmer über einen Badheizkörper. Darüber hinaus können für Zonen mit erhöhter Heizlast zusätzliche Heizkörper vorgesehen werden. ###

Hydraulischer Abgleich

Mit der Inbetriebnahme der Anlage sind die Wärmeabnehmer im Heizungsrohrnetz hydraulisch abzugleichen, dies betrifft die o.g. Nachheizregister in der Zuluft sowie die Badheizkörper und ggf. weitere vorhandene Heizkörper. Nur mit einem hydraulischen Abgleich ist gewährleistet, dass die gewünschten Solltemperaturen der Wärmeabnehmer effizient regelbar sind. Wurde der hydraulische Abgleich nicht sorgfältig durchgeführt, so weisen weit entfernte Verbraucher einen zu geringen Volumenstrom auf, während nahe der Heizungspumpe angeordnete Wärmeabnehmer nicht mehr regeln, sondern nur noch zwischen „auf“ und „zu“ schwingen. Oft wird hier Abhilfe geschaffen, indem die Heizungspumpe einfach höhergestellt wird oder sogar gegen ein leistungsstärkeres Exemplar ausgetauscht wird. Das beseitigt zwar vielleicht den Mangel, erhöht aber nicht nur die Investitionskosten, sondern vor allem die laufenden Betriebskosten, so dass über die gesamte Lebenszeit der Anlage erheblich Kosten aufsummieren [4].

Diese Zusammenhänge gelten prinzipiell für jedes hydraulische Heizungssystem und sind nicht passivhaustypisch. Vielmehr haben Passivhäuser aufgrund der geringen Anzahl von Wärmeabnehmern den Vorteil, dass der hydraulische Abgleich besonders einfach durchführbar ist.

Hier sollte auf die bauartspezifische Einstellung und Wartung der Heizungsanlagen in den einzelnen Wohneinheiten eingegangen werden.

Steuer- und Regelgeräte

Die Regelgeräte für Heizungs- und Lüftungsanlagen sind meist Spezialanfertigungen und sollten hier möglichst detailliert beschrieben werden. Es müssen alle Funktionen sowohl auf Bedienebene als auch auf Wartungsebene erläutert werden und die vollständigen technische Unterlagen zum

Regelgerät beigelegt werden. Die technischen Unterlagen sollten jedoch nach Bedienebene und Wartungs-/Serviceebene getrennt sein. Im Folgenden sind die Einstellungen des Regelgeräts in den Wohnungen genannt, die nur auf der Service-Ebene einstellbar sind:

- Feinjustierung der beiden Ventilatoren auf mindestens drei Betriebsstufen, die Einstellung erfolgt gleichsinnig (Sicherung der Luftmengenbalance).
- Die Nachlaufzeiten für erhöhte Abluft (WC- und Küchenbetrieb) und Pollenfunktion
- Zustandsanzeige der vom Nutzer gewählten Funktionen
- Störmeldungen (z.B. Rauchmelder, Versagen der Frostschutzregelung)
- Sommer/ Winterbetrieb

Filterwechsel in den Wohneinheiten

Art, Einbauort, Bezugsquellen und Wartungsintervalle der Filter in den Wohneinheiten müssen für die Bewohner und bei Mehrfamilienhäusern für die Gebäudeverwaltung erläutert werden. In Einfamilienhäusern kann der Filterwechsel in der Regel von den Bewohnern selbst durchgeführt werden. ### Hier sollte dann lediglich ein Hinweis stehen, dass es sich nicht lohnt, an den Kosten für Filter zu sparen, wenn dadurch die Funktion der Anlage und mithin die Luftqualität leidet.

Wenn die Abluftventile jeder Wohnung mit Grobfiltern ausgestattet sind, muss auch deren regelmäßige Auswechslung organisiert sein. Sammelbestellungen von mehreren Eigenheimbesitzern helfen mit, die Kosten für Filter etc. zu senken. Wohnungsverwaltungen können ggf. halbjährlich einen Satz Filtermatten (i.d.R. 2 Stück, Bad und Küche) über die Briefkästen verteilen. Das Auswechseln der Filtermatten sollte beim Einzug in die Wohnung erläutert werden. In Wohnungen, die von behinderten oder gebrechlichen Personen bewohnt werden, ist das Wechseln der Filter dem Pflegepersonal mitzuteilen.

Sind die Lüftungsgeräte wohnungsweise installiert (dezentrale Lüftung), dann befindet sich in jeder Wohnung im Lüftungsgerät auf der Abluftseite ein Filter. Es hat vor allem die Aufgabe, das Gerät vor Verschmutzung zu schützen.

Ein vorgegebener Wechselplan für den Filterwechsel, möglichst mit einer Liste, in der die Intervalle mit Datum abgezeichnet werden können, ist vorteilhaft, weil er den Betreiber unterstützt und zum Filterwechsel „motiviert“.

Hier sollte auch ein Herstellernachweis für die originalen bzw. für Ersatzfilter gegeben werden. Eigentümergemeinschaften können mit Sammelbestellungen von Filtern erhebliche Kosten sparen.

Abluftfilter

Am Abluftfilter scheiden sich mit der Zeit vor allem Staub und Flusen aus der Wohnung ab; dadurch setzt sich das Filter mit der Zeit „zu“ und muss rechtzeitig ausgewechselt werden. Ein neues Filter muss dicht anliegend eingelegt werden, so dass alle Abluft durch das Filter gesaugt wird, damit der Dreck nicht am Filter vorbeigeht. Der Filterkasten ist nachher wieder sorgfältig und dicht(!) zu verschließen.

Welche Filter in welchen Intervallen gewechselt werden müssen ist im Einzelnen aufzulisten ###.

Das Frischluftfilter

In der Ansaugbox für die Frischluft befindet sich ein hochwertiger Filter. Es hat vor allem die Aufgabe, das gesamte Lüftungssystem vor Verschmutzung zu schützen - damit auch nach vielen Jahren noch gesunde, saubere Frischluft in die Wohnung

kommt. Auch am Frischluftfilter scheiden sich mit der Zeit Schmutzpartikel ab; dadurch setzt sich das Filter mit der Zeit „zu“ und muss rechtzeitig ausgewechselt werden. #### Der Ort der Frischluft-Ansaugboxen im Gebäude muss hier genannt werden. Ebenso sollte hier eine genaue Anleitung zum Filterwechsel ausgeführt werden. Das neue Filter muss richtig herum (!) eingelegt werden und an den Rändern dicht anliegen, damit alle Frischluft durch den Filter gesaugt wird. In die Filterbox darf kein Regenwasser gelangen. Am besten werden Tabellen über die Zeitpunkte der Filterwechsel etc. geführt, so dass die Inspektionsintervalle jederzeit nachvollziehbar sind.

Wartungsarbeiten am Wärmeverteilnetz

Die Wartungsarbeiten am Wärmeverteilnetz im Passivhaus unterscheiden sich nicht von konventionellen Anlagen und umfassen das Entlüften und die Betriebsdruckprüfung.

Im Rahmen des Arbeitskreises „Kostengünstige Passivhäuser“ wurde der Themenkreis „Qualitätssicherung beim Bau von Passivhäusern ebenfalls diskutiert [10]. Dort wurde eine Checkliste erarbeitet, welche die besonderen Anforderungen an die Qualitätssicherung beim Bau von Passivhäusern auflistet. Die geringfügig überarbeitete Liste soll hier als Zusammenfassung der Inhalte in diesem Leitfaden dokumentiert werden. Bei den **fettgedruckten** Punkten ist eine Qualitätssicherung besonders anzuraten. Die Liste steht beim Passivhaus Institut auch zum Download zur Verfügung [26].

Checkliste zur Überprüfung der Haustechnik während der Nutzung

- Hilfsstrombedarf der Haustechnik prüfen.
- Mehrjährige Energieverbrauchsdaten mit den projektierten Werten vergleichen, dies kann erste Hinweise auf mögliche Fehler geben.

Mittels Sichtkontrolle sind folgende Funktionen zu prüfen:

- Frischluftgitter und Ansaugkanal auf freien Querschnitt prüfen, ggf. Laub o.ä. Ablagerungen am Gitternetz entfernen.
- Zustand der Filterflächen auf sichtbare Verschmutzung prüfen.
- Kondensatablauf am Wärmetauscher (Fortluftanschluss) auf festen Sitz und Dichtheit prüfen.
- Kanalnetz, Kondensatwanne und Siphon auf freien Querschnitt überprüfen, ggf. reinigen.

Mittels Funktionskontrolle sind zu prüfen: (ggf. Wartungsvertrag)

- Balance-Abgleich der Lüftungsanlage überprüfen.

- Funktionsprüfung der Ventilatoren und der Regelung.
- Druckverlust der Filter messen und mit ursprünglichen Werten (Neuzustand) vergleichen.
- Messwerte und Zustand der Filter protokollieren, um eine Entscheidungsgrundlage für Auslösung von Nachbestellungen und Austausch zu verfeinern. Grober Richtwert für max. Druckverlust am Filter: 50 Pa.
- Steigstrangentlüfter der Wärmeversorgung prüfen bzw. entlüften.
- Sofern die Schmutzwasserfallrohre mit mechanischen Rohrbelüftern ausgestattet sind, diese ebenfalls auf Geruchsdichtheit prüfen.
- Bypassklappen im Lüftungsstrang (Sommer-Bypass für den Wärmetauscher) auf Klappenstellung und gegensinnig dichtschießende Funktion testen.
- Ggf. vorhandene Temperaturanzeigen der Lüftungsregelung auf Signifikanz prüfen.

8. Zusammenfassung: Checkliste Passivhaus

Im Rahmen des Arbeitskreises „Kostengünstige Passivhäuser“ wurde der Themenkreis „Qualitätssicherung beim Bau von Passivhäusern ebenfalls diskutiert [10]. Dort wurde eine Checkliste erarbeitet, welche die besonderen Anforderungen an die Qualitätssicherung beim Bau von Passivhäusern

auflistet. Die geringfügig überarbeitete Liste soll hier als Zusammenfassung der Inhalte in diesem Leitfaden dokumentiert werden. Bei den **fettgedruckten** Punkten ist eine Qualitätssicherung besonders anzuraten. Die Liste steht beim Passivhaus Institut auch zum Download zur Verfügung [26].

1. Städtebauliche Rahmenbedingungen und örtliche Gegebenheiten

- Anschluss an ÖPNV vorhanden?
- Südorientierung der Hauptfassaden ($\pm 30^\circ$) möglich?
- Verschattungsfreiheit für passive Solarenergienutzung (Fenster) möglich?
- Beschattungsfreie Bepflanzung nach Süden möglich?
- Kompakte Bauformen möglich? Gereimte Gebäude sind vorteilhaft!

2. Vorplanung

- Kompakte Baukörper; Anbaumöglichkeiten an evtl. bestehende Nachbargebäude nutzen
- Verglasungsflächen nach Süden sind optimal, Ost/West/Nordfenster klein halten
- Verschattungsfreiheit (keine bzw. sehr wenig Verschattung im Winter durch Brüstungen, Vorbauten, Balkone, Dachüberstände, Trennwände,...)
- Einfache Hüllflächenstruktur (möglichst ohne Gauben, Versätze, etc.)
- Grundriss: Installationszone konzentrieren (z.B. Bäder über oder neben Küche); notwendige Lüftungskanäle berücksichtigen
- Abtrennung eines evtl. vorhandenen Kellergeschosses muss luftdicht, wärmebrückenfrei sein
- **Passivhaus Vorprojektierung mit PHPP**
- Fördermittel für Passivhäuser der Länder z.B. REN-Programm der Landes NRW [18] oder der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) [20] prüfen und beantragen. Bitte beachten: die meisten Förderprogramme verlangen, dass vor Baubeginn beantragt wird.

3. Genehmigungsplanung

- Dämmdicken der Hülle einplanen
- Wärmebrücken vermeiden
- Raumbedarf für Haustechnik einplanen
- Grundriss: auf kurze Leitungsführungen (Warmwasser, Kaltwasser, Abwasser) und kurze Lüftungskanäle achten. Kaltluftkanäle möglichst außerhalb der thermischen Hülle führen, warme Leitungen innerhalb der thermischen Hülle.

4. Ausführungsplanung Baukörper

- Hochgedämmte Regelkonstruktionen wählen $U \leq 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, anzustreben sind $U = 0,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
- **Wärmebrückenfreie Anschlussdetails vorsehen:**
WB-Verluste berechnen oder konsequent wärmebrückenfrei konstruieren
- **Luftdichte Anschlussdetails planen**
- Fensteroptimierung (Verglasungsart, Superrahmen, Glasanteil, Sonnenschutz)
- Superisolierte Fenster mit Dreifach Wärmeschutzverglasung $U_g \leq 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ und wärmegeprägten Rahmen einsetzen. Der gesamte U-Wert des Fensters muss einschließlich Einbauwärmebrücken $U_{W, eingebaut} \leq 0,85 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ unterschreiten. U_f und Ψ_g müssen bekannt sein
- **Energiekennwertberechnung mit „Passivhaus Projektierungs Paket“ (PHPP)**

5. Ausführungsplanung Lüftung

Kanalnetz und Zentralgerät:

- Wärmetauscher möglichst nahe an der thermischen Hülle aufstellen, egal ob innerhalb (z.B. Technikraum im Obergeschoss) oder außerhalb (kalter Keller) der Hülle. Die kalten Leitungen im warmen Bereich, bzw. die warmen Leitungen im kalten Bereich sind jeweils möglichst kurz zu halten und müssen sehr gut wärmegeprägt werden.
- Nachheizregister innerhalb der thermischen Hülle anordnen.
- Kurze Kanäle verwenden, glattwandig, Strömungsgeschwindigkeiten $\leq 3 \text{ m/s}$ projektieren
- Mess- und Abgleichvorrichtungen einplanen. Schallschutz, Brandschutz berücksichtigen
- Luftauslässe: Kurzschlussluftströme vermeiden. Wurfweite, Abgleichmöglichkeit vorsehen
- Abluftdurchlässe nicht über Heizkörpern (falls vorhanden) anordnen
- Überströmöffnungen auf Druckverlust $D_p \leq 1 \text{ Pa}$ dimensionieren
- Evtl. Zusatzdämmung von Zentralgerät und Nachheizregister vorsehen.

- Rückwärmzahl $\geq 75 \%$, Luftdichtheit (Umluft $< 3 \%$), Stromeffizienz beachten ($< 0,4 \text{ Wh}/\text{m}^3$)
- Schalldämmung und gute Wärmedämmung des Gehäuses beachten.
- Steuerung der Lüftung sollte nutzerseitig stufenweise möglich sein: „schwach“, „normal“, „stark“; evtl. zusätzliche Bedarfsschalter in der Küche und in Bädern und Toiletten
- Sommerbypass für Wärmetauscher vorsehen

Erdreichwärmetauscher:

- Ist nicht unbedingt nötig, aber als Frostschutz und in Zusammenhang mit Wärmepumpen-Kompaktaggregat zu empfehlen
- Luftdichtheit der Rohre zum Erdreich beachten
- Genügend Abstand kalter Leitungsteile vom Haus einhalten

Sonstiges:

- Dunstabzugshauben: auf hohen Auffanggrad bei kleinem Volumenstrom achten
- Umlufthauben verwenden
- Fettfilter vorsehen

6. Ausführungsplanung übrige Haustechnik

- Sanitär, Warmwasser: Kurze Leitungen vorsehen, gut gedämmt und innerhalb der Hülle
- Sanitär, Kaltwasser: Kurze Leitungen, normal gedämmt gegen Schwitzwasserbildung
- Warmwasser- und Heizungsarmaturen dämmen
- Wasserspar-Armaturen und Warmwasseranschlüsse für Wasch- und Spülmaschinen vorsehen
- Abwasser: Kurze Leitungen vorsehen (nur ein Fallrohr)
- Unterdach-Rohrbelüfter vorsehen (bevorzugt) oder gedämmtes Entlüftungsrohr
- Sanitär und Elektroinstallation: Möglichst keine Durchdringungen der luftdichten Gebäudehülle planen, dort wo unumgänglich, Dichtheit sicherstellen
- Energiesparende Haushaltsgeräte einsetzen (Bestandsaufnahme für PHPP sinnvoll)
- Qualitätskontrolle für die Ausführung der gesamten Haustechnik durchführen

7. Ausführung, Bauleitung Baukörper

- **Wärmebrückenfreiheit: Qualitätssicherungstermine auf der Baustelle**
- **Dämmarbeiten: auf ununterbrochene Dämmschichten achten, Lufträume vermeiden**
- **Luftdichtheit: Anschlussdetails kontrollieren, solange zugänglich**
- **Luftdichtheit: Drucktest während der Bauphase durchführen lassen!**
 - Wann? Sobald luftdichte Hülle vollständig hergestellt, aber noch zugänglich ist
 - Wie? Drucktest mit Blower-Door einschließlich Leckageaufnahme und Nachbesserung

8. Ausführung, Bauleitung Lüftung

- **Durchführungen müssen luftdicht sein**
- Kanäle: Sauber einbauen, sorgfältig abdichten
- Zentralgerät: Zugänglichkeit der Filter zum Wechseln und Schalldämmung überprüfen
- Dämmung der Kanäle kontrollieren
- **Einregulierung Luftströme im Normalbetrieb**
 - Messung der Zu- und Abluftströme zum Balance-Abgleich
 - Abgleich der Zu- und Abluftverteilung in den verschiedenen Räumen überprüfen
 - Messung der elektrischen Leistungsaufnahme des Zentralgeräts überprüfen

9. Ausführung, Bauleitung übrige Haustechnik

- **Kontrolle der luftdichten Durchführungen**
- **Kontrolle der Wärmedämmung der Leitungen**
- **Qualitätskontrolle über die Ausführung der gesamten Haustechnik**

10. Zertifikat

Zur Qualitätssicherung der Planung kann beim Passivhaus Institut [26] für jedes Gebäude das Zertifikat „Geprüftes Passivhaus“ beantragt wer-

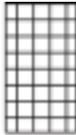
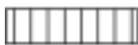
den. Im Rahmen der Prüfung werden die vorgeannten Eigenschaften geprüft und eine detaillierte Energiebilanz nach PHPP erstellt.

9. Begriffe, Symbole, Formelzeichen

PHPP	Passivhaus Projektierungs Paket, Heizenergiebilanz nach EN 832, mit Randbedingungen, die speziell auf das Passivhaus zugeschnitten sind.
U-Wert [W/(m²K)]	Wärmedurchgangskoeffizient eines flächigen Bauteils, berücksichtigt auch regelmäßig vorkommende Wärmebrückenbeiträge, z. B. bei Fenstern oder Holzständerbauweise. Alte Bezeichnung: k-Wert. $\sum U \cdot A \cdot \Delta \vartheta = Q_{\text{reg}}$ Regelwärmestrom durch Bauteil mit Fläche A. Man benutze Außenmaße für alle Hüllflächen, vgl. Abschnitt 3.2.
λ [W/(mK)]	Wärmeleitfähigkeit eines Materials
U_w [W/(mK)]	Fenster-U-Wert nach DIN 10077 (<u>W</u> indow) wird berechnet nach [75]
U_D	U-Wert einer Tür (<u>D</u> oor)
U_g	U-Wert im Zentrum einer Verglasung, Wärmebrückeneffekte am Glasrand werden darin nicht berücksichtigt
U_f	U-Wert eines Fensterrahmens (engl. <u>f</u> rame) berechnet nach DIN 10077 [75]
Ψ_a [W/mK]	linearer Wärmebrückenverlustkoeffizient, auf <u>A</u> ußenmaße der Bauteile bezogen. Generell alle Ψ -Werte in diesem Leitfaden sind außenmaßbezogen, siehe Abschnitt 3.2.
Ψ_i [W/mK]	<u>i</u> nnenmaßbezogener linearer Wärmebrückenverlustkoeffizient, in dieser Schrift nicht verwendet.
Ψ_g [W/mK]	linearer Wärmebrückenverlustkoeffizient am Glasrand eines Fensters
Ψ_E [W/mK]	linearer Wärmebrückenverlustkoeffizient, der beim <u>E</u> inbau eines Fensters in die Wand entsteht
χ [W/K]	punktuelle Wärmebrückenverlustkoeffizient z.B. einer Durchdringung der Dämmebene aus Metall
g [%]	<u>G</u> esamtenergiedurchlassgrad durch transparente Bauteile (Verglasungen), auch g-Wert genannt
Drucktest	mit der „Blower-Door“ (engl. für Gebläsetür), damit wird die luftdichte Hülle eines Gebäudes geprüft
n₅₀-Wert [1/h]	Luftvolumenstrom bei einer Druckdifferenz von 50 Pa beim Drucktest, bezogen auf das Nettovolumen des Gebäudes, gibt ein Maß für die Luftdichtheit eines Gebäudes.

Legende für Schraffuren

Die luftdichte Ebene kann in vielen Fällen mit flächigen Bauteilen wie z.B. Holzwerkstoff-Platten, Innenputz an Mauerwerk oder Betondecken realisiert werden. In diesen Fällen ist keine separate Folie notwendig. In den Zeichnungen werden diese Bauteile durch die dargestellte hellrote strichpunktier- te Linie markiert. Abklebungen von Plattenstößen etc. sind nochmals mit einer separaten dunkelroten gestrichel- ten Linie dargestellt. Sonstige Folien (Feuchtesperren) sind mit einer schwarz gestrichelten Linie markiert.

	Holz mit Faserrichtung		druckfester, hochdämmender Massivbaustoff, z.B. Porenbeton
	Hirnholz		Estrich
	Dämmstoff		Normalbeton, bewehrt
	Holzwerkstoff-Platte		Normalbeton, unbewehrt
	Gipswerkstoff-Platte		
	Diffusionsoffene HW-Platte		Putzschicht
	Putzträgerplatte		
	Trittschalldämmung		Kies/Schotter
	Luftdichte Ebene; keine Folie		
	Abklebung		Erdreich
	Folie		
	Blähton		Mauerwerk

10. Literatur

- [1] Feist, W., Passivhaus Darmstadt Kranichstein, Planung, Bau, Ergebnisse, Fachinformation PHI-1997/4, Passivhaus Institut, Darmstadt, 1997
- [2] Feist, W. (Hrsg.), Lüftung im Passivhaus, Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser, Protokollband Nr. 4, Passivhaus Institut, Darmstadt, 1997
- [3] Feist, W. (Hrsg.), Haustechnik im Passivhaus, Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser, Protokollband Nr. 6, Passivhaus Institut, Darmstadt, 1997
- [4] Feist, W. (Hrsg.), Stromsparen im Passivhaus, Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser, Protokollband Nr. 7, Darmstadt, 1997
- [5] Feist, W. (Hrsg.), Materialwahl, Ökologie und Raumlufthygiene, Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser, Protokollband Nr. 8, Passivhaus Institut, Darmstadt, 1997
- [6] Feist, W. (Hrsg.), Messtechnik und Messergebnisse, Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser, Protokollband Nr. 10, Passivhaus Institut, Darmstadt, 1997
- [7] Feist, W. (Hrsg.), Wärmebrückenfreies Konstruieren, Passivhaus Institut, Darmstadt, Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser, Protokollband Nr. 16, 2. Auflage 2001
- [8] Schnieders, J., Wärmebrückenfreies Konstruieren mit dem Beton-Schalungsstein, in [7], S. 59
- [9] Feist, W. (Hrsg.), Dimensionierung von Lüftungsanlagen, Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser, Protokollband Nr. 17, Passivhaus Institut, Darmstadt, 1999
- [10] Feist, W. (Hrsg.), Qualitätssicherung beim Bau von Passivhäusern, Passivhaus Institut, Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser, Protokollband Nr. 18, Darmstadt, 1999
- [11] Feist, W., Peper, S., Oesen, M., CEPHEUS-Projektinformation Nr. 18, Klimaneutrale Passivhaussiedlung Hannover-Kronsberg, Hannover, 2001
- [12] Peper, S., Feist, W., Kah, O., CEPHEUS-Projektinformation Nr. 19, Klimaneutrale Passivhaussiedlung Hannover-Kronsberg, Meßtechnische Untersuchung und Auswertung, Hannover, 2001
- [13] Schnieders, J., Feist, W., Pfluger R., Kah O.: CEPHEUS – Projektinformation Nr. 22, Wissenschaftliche Begleitung und Auswertung, Endbericht, Fachinformation 2001/9, Passivhaus Institut, Darmstadt, 2001
- [14] Hübner, H., Hermelink, A., Sozialer Mietwohnungsbau gemäß Passivhausstandard, Beitrag zur 7. PH-Tagung, Hamburg 2003, Tagungsband S. 345, Passivhaus Institut, Darmstadt, 2003
- [15] Hallmann, S., Lohmann, G., Mack, B., Wohnzufriedenheit und Wohnerfahrungen in der Siedlung Wiesbaden-Lummerlund, Beitrag zur 7. PH-Tagung, Hamburg 2003, Tagungsband S. 337, Passivhaus Institut, Darmstadt, 2003
- [16] Danner, M., Institut für Umweltkommunikation, Universität Lüneburg, Nutzererfahrungen in der Passivhaussiedlung in Hannover-Kronsberg, Beitrag zur 7. PH-Tagung, Hamburg 2003, Tagungsband S. 337, Passivhaus Institut, Darmstadt, 2003
- [17] Gräppi, M. Künzli, S., Meyer, R., Betschart, W., Zweifel, G., Hochschule für Technik+Architektur, Luzern, Schweiz, Wohnerfahrungen im Passivhaus, Beitrag zur 7. PH-Tagung, Hamburg 2003, Tagungsband S. 329, Passivhaus Institut, Darmstadt, 2003
- [18] REN-Breitenförderung des Landes NRW (Rationelle Energieverwendung und Nutzung unerschöpflicher Energiequellen). Die aktuelle Förderkriterien sind im Internet abrufbar: www.ils.nrw.de
- [19] Wortmann, R., Scheerer, M., Wember, K., Grauthoff, M., Lonsing, R., Mook, V., Planungsleitfaden: 50 Solarsiedlungen in Nordrhein-Westfalen, Hrsg. Murschall, H., MSWKS, Gries, A., Landesinitiative Zukunftsenergien NRW, 3. Auflage, Düsseldorf, Nov. 2002, weitere Informationen: internet: www.50-solarsiedlungen.de
- [20] Zahl der bewilligten Förderanträge der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW), Frankfurt. Die Förderung wird in Form eines zinsverbilligten Darlehens gewährt. Die aktuellen Förderkriterien sind im Internet abrufbar (www.kfw.de)
- [21] Verdingungsordnung für Bauleistungen (VOB), Verordnung über die Honorare für Leistungen der Architekten und der Ingenieure (HOAI), Textausgabe mit Einführung von U. Werner TH Aachen und W. Pastor, Oberlandesgericht Köln,

- Deutscher Taschenbuch Verlag, 21. Auflage, München, 2002
- [22] HOAI, Verordnung über die Honorare für Leistungen der Architekten und der Ingenieure (Honorarordnung für Architekten und Ingenieure), Ausgabe: 1991-03-04, Beuth Verlag
- [23] Die HOAI in der Praxis, mit vielen Mustern prüffähiger Honorarabrechnungen, Ausgabe: 2002, Veröffentlicht in: BGBl I (1991), einschließlich aller technisch relevanten Änderungen
- [24] Feist, W. (Hrsg.), Passivhaus-Versorgungstechnik, Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser, Protokollband Nr. 20, Passivhaus Institut, Darmstadt, 2000
- [25] DIN EN ISO 7730, Ausgabe: 1995-09, Gemäßigtes Umgebungsklima - Ermittlung des PMV und des PPD und Beschreibung der Bedingungen für thermische Behaglichkeit (ISO 7730:1994); Deutsche Fassung EN ISO 7730: 1995, Beuth Verlag
- [26] Passivhaus Institut, Rheinstrasse 44/46, 64283 Darmstadt.
email: mail@passiv.de
internet: www.passiv.de
Eine Liste von realisierten Passivhausprojekten und Herstellern von Komponenten wird ständig aktualisiert. Die Liste enthält auch die wichtigsten technischen Daten von Passivhaus geeigneten Produkten, z.B. Fensterrahmen, Bausystemen oder Lüftungsanlagen mit WRG.
- [27] Feist, W. (Hrsg.), Passivhaus Sommerfall, Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser, Protokollband Nr. 15, Passivhaus Institut, Darmstadt, 2. Auflage 2001.
- [28] Feist, W. (Hrsg.), Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser, Protokollband Nr. 22, Sommerlicher Wärmeschutz, Passivhaus Institut, Darmstadt, 2003
- [29] (Norm-Entwurf) DIN 4109-10, Ausgabe: 2000-06, Schallschutz im Hochbau - Teil 10: Vorschläge für einen erhöhten Schallschutz von Wohnungen, Beuth Verlag
- [30] (Norm-Entwurf) DIN 4109 Beiblatt 1/A1, Ausgabe: 2001-01 Schallschutz im Hochbau - Ausführungsbeispiele und Rechenverfahren; Änderung A1, Beuth Verlag
- [31] Gesetzliche Regelungen der Landesbauordnungen sind zu beachten, siehe zum Beispiel: Schlöbcke, W., Landesbauordnung Nordrhein-Westfalen – Düsseldorf, Wernerverlag, 2002 oder:
Imig, K., Landesbauordnung für Baden-Württemberg (LBO) vom 8. August 1995 (GBl. S. 617), geändert durch Gesetze vom 15. Dezember 1997 (GBl. S. 521) und vom 19. Dezember 2000 (GBl. S. 760). Mit Allgemeiner Ausführungsverordnung, Verfahrensverordnung, Feuerungsverordnung, Garagenverordnung und weiteren ergänzenden Vorschriften. 24. Aufl. - Stuttgart; Berlin; Köln: Kohlhammer, 2001.
- [32] Pfluger, R., Feist, W., CEPHEUS-Projektinformation Nr. 16, Kostengünstiger Passivhaus-Geschoßwohnungsbau in Kassel Marbachshöhe, Endbericht, Fachinformation PHI-2001/3, Passivhaus Institut, Darmstadt, 2001
- [33] DIN EN 12056-1, Ausgabe: 2001-01, Schwerkraftentwässerungsanlagen innerhalb von Gebäuden - Teil 1: Allgemeine und Ausführungsanforderungen; Deutsche Fassung EN 12056-1:2000, Beuth Verlag
- [34] DIN EN 12056-2, Ausgabe: 2001-01, Schwerkraftentwässerungsanlagen innerhalb von Gebäuden - Teil 2: Schmutzwasseranlagen, Planung und Berechnung; Deutsche Fassung EN 12056-2: 2000, Beuth Verlag
- [35] DIN EN 12056-5, Ausgabe: 2001-01, Schwerkraftentwässerungsanlagen innerhalb von Gebäuden - Teil 5: Installation und Prüfung, Anleitung für Betrieb, Wartung und Gebrauch; Deutsche Fassung EN 12056-5: 2000, Beuth Verlag
- [36] DIN EN 12380, Ausgabe: 2003-03, Belüftungsventile für Entwässerungssysteme - Anforderungen, Prüfverfahren und Konformitätsbewertung; Deutsche Fassung EN 12380: 2002, Beuth Verlag
- [37] Preisig, H.R., Dubach, W., Kasser, U., Viridén, K., Der ökologische Bauauftrag, WIRD Verlag CRB, Zürich, 1999
- [38] Preisig, H.R., Dubach, W., Kasser, U., Viridén, K., Der ökologische Bauauftrag, Verlag Callwey, 2001 (deutsche Ausgabe von [37])
- [39] Viridén, Karl, Projektbericht Zürich Mutschellenstraße
- [40] Othmar Humm, Hrsg., NiedrigEnergie und Passivhäuser, Konzepte, Planung, Konstruktion, Beispiele, Ökobuchverlag, Staufen bei Freiburg 1. Auflage 1998

- [41] Valentin, R., Technische Universität München, Beitrag in: Stadtplanerische Instrumente zur Umsetzung von Passivhäusern, Feist, W. (Hrsg.) Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser, Protokollband Nr. 19, Darmstadt, 2000.
- [42] Goretzki, P., Maass, I., Solarfibel – Städtebauliche Maßnahmen: Solare und energetische Wirkungszusammenhänge und Anforderungen, Hrsg: Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg, Eigenverlag 1998.
- [43] Tonne, F., Besser Bauen, Beschreibung des Horizontoskops und seiner Anwendung in der Architektur, Stuttgart 1954, wird vermutlich neu aufgelegt
- [44] Neufert, E., Bauentwurfslehre, Stichwort: Tageslicht, S. 161, 35. Auflage, Friedr. Vieweg Verlagsgesellschaft, Braunschweig, Wiesbaden 1998
- [45] Passivhaus-Projektierungs-Paket (PHPP) mit Handbuch, Darmstadt, Ausgabe 2002 / update Frühjahr 2003
- [46] Schnieders, J., Ein vereinfachtes Verfahren zur Abschätzung des sommerlichen Luftwechsels, Beitrag in [28] Seite 33. Das zugehörige Programm „SommLuft“ steht unter www.passiv.de zum download bereit.
- [47] Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden, Berechnung des Heizenergiebedarfs von Wohngebäuden. Deutsche Fassung DIN EN 832:1998-12, Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin 1998.
- [48] Hauser, G., Otto, F., Ringeler, M., Stiegel, H., Holzbau und die EnEV, INFORMATIONSDIENST HOLZ, holzbau handbuch, Reihe 3, Teil 2, Folge 2, DGFH, München, Dezember 2000
- [49] Verordnung über den energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden, Energieeinsparverordnung – EnEV, verkündet am 21. Nov. 2001 im Bundesgesetzblatt Nr. 59, in Kraft getreten am 1. Februar 2002
- [50] Feist, W. Thermische Gebäudesimulation, kritische Prüfung unterschiedlicher Modellansätze, 1. Auflage, Verlag C.F. Müller, Heidelberg, 1994
- [51] Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden. Vornorm DIN V 4108 Teil 6-10, Berechnung des Jahresheizwärme und des Jahresheizenergiebedarfs, Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin 2001
- [52] Feist, W., PHPP und Vornorm DIN-V-4108-6: 2001, Bewertung mit Ergebnissen aus dem CEPHEUS Projekt, Energie Effizientes Bauen, Heft 4/2001 und 5/2001
- [53] Stellungnahme zur Vornorm DIN V 4108 Teil 6: 2001 aus Sicht der Passivhausentwicklung, CEPHEUS Projektinformation Nr. 39, Passivhaus Institut, Darmstadt, 2001
- [54] Schulze Darup, B., Passivhäuser, Fallbeispiele, Hrsg: Kalksandstein-Information GmbH + Co KG Hannover, Verlag Bau+Technik, GmbH, Düsseldorf, 2000
- [55] Keh, K., Pellet-Primärofen-Technik im Passivhaus, Beitrag zur 7. PH-Tagung, Hamburg 2003, Tagungsband S. 369, Passivhaus Institut, Darmstadt, 2003
- [56] Haas, A., Dorer, V., Aspekte der Wärme und Luftverteilung im Passivhaus, Beitrag zur 7. PH-Tagung, Hamburg 2003, Tagungsband S. 97, Passivhaus Institut, Darmstadt, 2003
- [57] Fingerling, K.-H., Feist, W., Otte, J., Pfluger, R. „Konstruktionshandbuch für Passivhäuser“, Teil 1 des Forschungsberichts zum Projekt: „Das kostengünstige mehrgeschossige Passivhaus in verdichteter Bauweise“ gefördert mit Mitteln des Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung, Passivhaus Institut, Darmstadt, 2000.
- [58] Borsch-Laaks, R., Ein Passivhaus der besonderen Art, die neue quadriga 6/2000, Verlag Kastner, Wolnzach
- [59] Müller, A., Sessing, J., Schwaner, K., Wiegand, T., Außenbekleidungen mit Holzwerkstoffplatten, INFORMATIONSDIENST HOLZ, holzbau handbuch, Reihe 1, Teil 10, Folge 4, DGFH, München, Dezember 2001
- [60] Schulze, H., Baulicher Holzschutz, INFORMATIONSDIENST HOLZ, holzbau handbuch, Reihe 3, Teil 5, Folge 2, DGFH, München, September 1997
- [61] Cheret, P., Grohe, G., Müller, A., Schwaner, K., Winter, S., Zeitter, H., Holzbausysteme, INFORMATIONSDIENST HOLZ, holzbau handbuch, Reihe 1, Teil 1, Folge 4, DGFH, München, Dezember 2000
- [62] Colling, F., Lernen aus Schäden im Holzbau, Ursachen, Vermeidung, Beispiele, DGFH, München, 2000. Teil A. Ursachen und Vermeidung. Teil B. Typische Beispiele

- [63] Kaufmann, B., Feist, W., John, M., Nagel, M., Das Passivhaus – Energie-Effizientes-Bauen, INFORMATIONSDIENST HOLZ, holzbau handbuch, Reihe 1, Teil 3, Folge 10, DGfH, München, Oktober 2002.
- [64] Kaufmann, B., Feist W., Die Frischlufttheizung hat sich bewährt. Tagungsband zur 6. Europäischen Passivhaustagung, Seite 129, Basel 2002.
- [65] Hauser, Gerd, Stiegel, Horst, Wärmebrückenatlas für den Holzbau, Bauverlag, Wiesbaden und Berlin 1992
- [66] Hauser, G.; Stiegel, H., Wärmebrücken, INFORMATIONSDIENST HOLZ, holzbau handbuch, Reihe 3, Teil 2, Folge 6, DGfH, München, Oktober 1997, Nachdruck August 2000
- [67] Hauser, G., Otto, F., Ringeler, M., Stiegel, H., Holzbau und die EnEV, INFORMATIONSDIENST HOLZ, holzbau handbuch, Reihe 3, Teil 2, Folge 2, DGfH, München, Dezember 2000
- [68] Hauser, G.; Stiegel, H. und Haupt, W.: Wärmebrückenatlas auf CD-ROM. Ingenieurbüro Prof. Dr. Hauser GmbH, Bauatal, 1998
- [69] Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V. München, FIW, Prüfbericht D1.2-4/01, München 2001
- [70] Heidt, F., Ausführungskontrolle durch thermografische Untersuchungen, in [10] Seite 93
- [71] Peper, S., Feist, W., Sariri, V., Luftdichte Projektierung von Passivhäusern, Eine Planungshilfe, CEPHEUS Projektinformation Nr. 7, Fachinformation PHI-1999/6, Passivhaus Institut, Darmstadt, 1999
- [72] Feist, W., (Hrsg.) Fenster für das Passivhaus, Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser, Protokollband Nr. 14, Passivhaus Institut, Darmstadt, 1998
- [73] Schnieders, J., Passivhausfenster, 4. Passivhaustagung, Kassel, März 2000
- [74] Kaufmann, B., Schnieders, J., Pfluger, R., Passivhaus-Fenster. Tagungsband zur 6. Europäischen Passivhaustagung, Seite 289, Basel, 2002
- [75] Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen, Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten, DIN EN ISO 10077-Teil 1:2000. Teilweise Ersatz für DIN V 4108-4: 1998-10, Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin 1998. Enthält insbesondere einen Algorithmus zur Berechnung des Rahmen U-Wertes U_f und der Wärmebrücke am Glasrand Ψ_g
- [76] Mitteilung von Andreas Bührung, Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme, Freiburg
- [77] RAL-GZ 996, Ausgabe: 1987-07, Haustüren, Gütesicherung, Formstabilität von Türen
- [78] Mitteilung von Manfred Brausem, Architekt, Köln
- [79] DIN 18101, Ausgabe:1985-01, Türen; Türen für den Wohnungsbau; Türblattgrößen, Bandsitz und Schloßsitz; Gegenseitige Abhängigkeit der Maße, Beuth Verlag
- [80] Marx, L., Liedl, P., Barrierefreies Bauen im staatlichen Hochbau, Dokumentation ausgewählter Beispiele, Hrsg.: Institut für Landes- und Stadtentwicklungsforschung und Bauwesen des Landes Nordrhein-Westfalen (ILS), Aachen, 2001
- [81] DIN 18024-2, Ausgabe: 1996-11, Barrierefreies Bauen - Teil 2: Öffentlich zugängliche Gebäude und Arbeitsstätten, Planungsgrundlagen
- [82] DIN EN ISO 9999, Ausgabe: 2003-04, Technische Hilfen für behinderte Menschen - Klassifikation und Terminologie (ISO 9999: 2002); Deutsche Fassung EN ISO 9999:2002
- [83] DIN 32977-1, Ausgabe: 1992-07, Behindertengerechtes Gestalten; Begriffe und allgemeine Leitsätze
- [84] Borsch-Laaks, Robert, Holzbauwände für das Passivhaus, ein wärmetechnischer Systemvergleich, die neue quadriga 5/2001, Verlag Kastner, Wolnzach
- [85] Horn, Gerrit, Vergleich energieeffizienter Holzbausysteme: Wärmebrücken, Luftdichtheitskonzepte, Kosten. Tagungsband zur 3. Passivhaustagung 1999, Bregenz und Darmstadt 1999
- [86] Michael, K., Qualitätskontrolle bei der Bauausführung von Passivhäusern, Beitrag in [10]
- [87] Trykowski, M. Tollkühn, K., Integration von Öffnungsanteilen in die Gebäudehülle, Tagungsband zur 7. Internationalen Passivhaustagung, Seite 549, Hamburg / Darmstadt 2003
- [88] J. Otte, innovaTec, Kassel, Besonderheiten bei der Ausführungsplanung einer Lüftungsanlage im Geschosswohnungsbau (Kassel-Marbachhöhe), Beitrag in [9], Seite 91

- [89] Bestimmung der Luftdurchlässigkeit von Gebäuden, Differenzdruckverfahren, DIN 13829, Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin, 2001
- [90] Luftdichtheit von Wohngebäuden – Messung, Bewertung, Ausführungsdetails, Herausgegeben von der RWE, Essen, verfaßt von J. Zeller, ebök, Tübingen, zu beziehen über Fachverband Luftdichtheit im Bauwesen e.V., Kassel, (www.flib.de)
- [91] Hauser, G. und Maas A.: Auswirkungen von Fugen und Fehlstellen in Dampfsperren und Wärmedämmschichten. Aachener Bausachverständigentage 1991. Bauverlag Wiesbaden 1991, S. 88-95; DBZ 40 (1992), H. 1, S. 97-100
- [92] Luftdichte Projektierung von Passivhäusern, CEPHEUS Projektinformation Nr. 7, 4. Auflage, Darmstadt, 2002
- [93] Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden. DIN V 4108 Teil 7, Luftdichtheit von Gebäuden, Anforderungen, Planungs- und Ausführungsempfehlungen sowie -beispiele, Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin 2001
- [94] DIN EN 779, Ausgabe: 2003-05, Partikel-Luftfilter für die allgemeine Raumluftechnik – Bestimmung der Filterleistung; Deutsche Fassung EN 779:2002 DIN EN 779, Beuth Verlag
- [95] DIN 18017-1, Ausgabe: 1987-02, Lüftung von Bädern und Toilettenräumen ohne Außenfenster; Einzelschachtanlagen ohne Ventilatoren, Beuth Verlag
- [96] DIN 18017-3, Ausgabe: 1990-08 Lüftung von Bädern und Toilettenräumen ohne Außenfenster, mit Ventilatoren, Beuth Verlag
- [97] Pfluger, R., Feist, W. Ludwig, S., Otte, J., Nutzerhandbuch für den Geschosswohnungsbau in Passivhausstandard, Passivhaus Institut, Darmstadt, 2000.
Teil A: Nutzerhandbuch,
Teil B: Handbuch für die Gebäudeverwaltung,
Teil C: Wohnen im Passivhaus – auf einen Blick
Die drei Teile sind unter www.passiv.de als Text-Dateien erhältlich, sodass sie von jedermann für weitere Projekte verwendet bzw. angepasst werden können. Das Nutzerhandbuch wurde erstellt als Teil des Abschlussberichts zum Projekt: „Das kostengünstige mehrgeschossige Passivhaus in verdichteter Bauweise“, gefördert mit Mitteln des Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung,
- [98] Peper, S., Pfluger, R., Feist, W., Nutzerhandbuch für die Passivhaus-Siedlung „Lummerlund“ in Hannover Kronsberg, im Auftrag der Stadtwerke Hannover, im Rahmen des Forschungsprojektes CEPHEUS, Passivhaus Institut, Darmstadt, 2000
- [99] Verband für angewandte Thermografie e.V., Auf Gehm 12, D 72336 Ballingen 1, email: info@vath.de, internet: www.vath.de
- [100] Fachverband Luftdichtheit im Bauwesen e.V., Ludwig-Erhard-Str.10, 34131 Kassel, email: info@flib.de, internet: www.flib.de
- [101] Architektenkammer Nordrhein-Westfalen, Zollhof 1, 40221 Düsseldorf, eMail: info@aknw.de, internet: www.aknw.de

Impressum

Herausgeber	Institut für Landes- und Stadtentwicklungsforschung und Bauwesen des Landes Nordrhein-Westfalen (ILS NRW) Theaterplatz 14, 52062 Aachen Im Auftrag des Ministeriums für Städtebau und Wohnen, Kultur und Sport des Landes Nordrhein-Westfalen (MSWKS)
Bearbeitung	Dr. Berthold Kaufmann Dr. Wolfgang Feist Dr. Rainer Pfluger Markus John Matthias Nagel Passivhaus Institut, Darmstadt
Betreuung	Andrea Berndgen-Kaiser Institut für Landes- und Stadtentwicklungsforschung und Bauwesen des Landes Nordrhein-Westfalen
Begleitgruppe	Andrea Berndgen-Kaiser, ILS NRW Janette Reul, ILS NRW Rainer Janssen, MSWKS NRW Sven Kersten, Ingenieurkammer-Bau NRW Martin Klima, Ingenieurbüro INCO, Aachen Dr. Hartmut Murschall, MSWKS NRW Jan Schüsseler, Architektenkammer NW
Internet	http://www.ils-forschung.de und www.passiv.de
Layout	typeline, Aachen
Druck	print production, Aachen

© ILS Aachen 2004

Die technischen Informationen dieses Leitfadens wurden mit größter Sorgfalt und nach bestem Wissen zum Zeitpunkt der Drucklegung zusammengestellt. Für eventuelle inhaltliche Mängel oder Druckfehler kann jedoch keine Gewähr übernommen werden. Jegliche Haftung für die Richtigkeit des Inhalts ist deshalb ausgeschlossen. Werden spezielle Eigenschaften von Werkstoffen beschrieben, so sind generell die Verarbeitungshinweise der Hersteller zu beachten.

Danksagung an begleitende Arbeitsgruppe

Die Autoren bedanken sich bei den Vertretern des Herausgebers und den Mitgliedern der begleitenden Arbeitsgruppe für die konstruktive Kritik und die angenehme Zusammenarbeit bei der Erstellung dieses Leitfadens.

Fotonachweis: Titelfoto (Umschlag):

Links: Passivhaus in Havixbeck | Architekt Palazzo Presto in Düren

Rechts: Passivhaus-Bildungsherberge in Hagen | Architekten Kuhn, Buhlke, Kuboth in Dortmund