

**„Das kostengünstige mehrgeschossige Passivhaus in
verdichteter Bauweise“**

Teil 1 des Abschlußberichtes:

Konstruktionshandbuch für Passivhäuser

**Der Forschungsbericht wurde mit Mitteln des Bundesamtes für
Bauwesen und Raumordnung gefördert.**

(Aktenzeichen: B 15-80 01 98-15)

Die Verantwortung für den Inhalt des Berichtes liegt beim Autor

Inhaltsverzeichnis

1	VORWORT	4
2	DER PASSIVHAUS-STANDARD - EINE PERSPEKTIVE AUCH FÜR DEN GESCHOß-WOHNUMGSAU?	5
	2.1 GESCHOßWOHNUNGSBAU-SPEZIFISCHE BESONDERHEITEN.....	8
	2.2 DIE LÜFTUNGSANLAGE IM GESCHOßWOHNUNGSBAU	9
3	BAUDETAILS	13
	3.1 VORBEMERKUNG	13
	3.2 DIE THERMISCHE UND DIE LUFTDICHTHE GEBÄUDEHÜLLE	14
	3.3 PLANUNG DER LUFTDICHTHEIT	15
	3.4 WÄRMEBRÜCKENFREIES KONSTRUIEREN.....	17
	3.5 BASISPUNKT-DETAILS	20
	3.5.1 Basispunkt einer massiven Außenwand über der Bodenplatte.....	20
	3.5.2 Basispunkt einer massiven Außenwand eines unterkellerten Hauses mit Wärmedämmung unter der Kellerdecke	25
	3.5.3 Basispunkt eines integrierten Bausystems (Dämmung unter der Kellerdecke)	28
	3.5.4 Basispunkt eines integrierten Bausystems Version 1 (Dämmung auf der Kellerdecke)	29
	3.5.5 Basispunkt eines integrierten Bausystems Version 2 (Dämmung auf der Kellerdecke)	30
	3.5.6 Basispunkt einer Trennwand zwischen Keller und Wohnraum	31
	3.5.7 Massivbauweise mit Schalungselementen aus Styropor	34
	3.5.8 Holzleichtbauweise, ein Fußpunkt über Keller	35
	3.6 PASSIVHAUS-FENSTER	36
	3.6.1 Fensterlaibung mit Befestigungsmöglichkeiten für den Einbau von Fenstern.....	42
	3.6.2 Das Fenster im Wärmedämmverbundsystem	43
	3.6.3 Der Einbau von Fenstern und Fenstertüren im Passivhaus	44
	3.6.4 Rolläden für Passivhäuser	45
	3.6.5 Temporärer Wärme- und Sonnenschutz	46
	3.6.6 Ein Solar-Dämmladen.....	47
	3.7 DACTERASSEN- UND DACHANSCHLUßDETAILS.....	48
	3.7.1 Übergang von einer Dachterrasse zur Außenwand (Traufbereich) mit der Möglichkeit, wärmebrückenfrei Geländer anzubringen.....	48
	3.7.2 Anschluß einer Dachterrasse an die aufsteigende Wand	49
	3.7.3 Dachterrassen oder Flachdachabschluß	50
	3.7.4 Dachkonstruktion in Zimmermannsbauweise.....	51
	3.7.5 Dachkonstruktion (Leichtbauweise).....	52
	3.7.6 Holz-Leichtbauweise, Anschluß Außenwand / Dach.....	53
	3.7.7 Massivdach-Konstruktion.....	54
	3.7.8 Anschlußbereich Schalungselement-Wand und Dach	55
	3.7.9 Dachgauben für Passivhäuser.....	56
	3.8 ANSCHLUßDETAILS WAND / ZWISCHENDECKE.....	57
	3.8.1 Holz-Leichtbauweise, Anschluß einer Zwischendecke.....	57
	3.8.2 Integriertes Bausystem im Bereich der Geschoßdecke	58
	3.9 TREPPEN ZWISCHEN WOHNÄUMEN UND ÄUMEN AUßERHALB DER THERMISCHEN GEBÄUDEHÜLLE (KELLER, TREPPENHÄUSER)	59
	3.10 VORGEHÄNGTE, HINTERLÜFTETE FASSADENBEKLEIDUNG AUS GROßFORMATIGEN KERAMIKPLATTEN.....	60
	3.11 „KRAFTBRÜCKE“ FÜR LEICHTE KONSTRUKTIONEN	61

Autoren:

Karl-Heinz Fingerling,
Wolfgang Feist,
Joachim Otte
Rainer Pfluger

Projektleitung:

Passivhaus Institut
Dr. Wolfgang Feist
Rheinstraße 44-46
64283 Darmstadt

Dieser Bericht entstand im Rahmen
der Forschungsarbeit

**„Das kostengünstige, mehr-
geschossige Passivhaus in
verdichteter Bauweise“**

Das Projekt wurde gefördert durch
das Bundesamt für Bauwesen und
Raumordnung, Bonn

1 Vorwort

Das vorliegende Konstruktionshandbuch für Passivhäuser ist Bestandteil der Forschungsarbeit "Das kostengünstige mehrgeschossige Passivhaus in verdichteter Bauweise", gefördert durch das Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, Bonn. Es soll dem Planer die Realisierung der wichtigsten Baudetails erleichtern.

Der Abschlußbericht ist insgesamt in vier Teilen aufgebaut, wobei der erste Teil auch als eigenständiger Band zur Veröffentlichung geeignet ist. Zur Vervollständigung wurden daher die wichtigsten Ergebnisse aus der Gebäudesimulation sowie dem Bereich Lüftungstechnik im Geschosswohnungsbau zusammengefasst und ebenfalls im Teil 1 aufgenommen. Für nähere Ausführungen und Details wird dagegen auf Teil 2 und 3 verwiesen.

Darüber hinaus wurde ein Nutzerhandbuch für den Geschosswohnungsbau erstellt, welches sowohl für die Bewohner als auch für die Gebäudeverwaltung eine einfach verständliche Anleitung geben soll. Diese Handbücher bilden den eigenständigen Teil 4 des Abschlußberichts.

Der vollständige Abschlußbericht gliedert sich wie folgt:

Teil 1: Konstruktionshandbuch für Passivhäuser

Teil 2: Simulation des thermischen Gebäudeverhaltens eines Passivhauses in Geschosswohnungsbau-Typologie und städtischer Bebauung

Teil 3: Anforderungen an kostengünstige, passivhausgeeignete MFH-Lüftungsanlagen und Überprüfung am Pilotprojekt

Abschnitt A: Kriterienkatalog

Abschnitt B: Dokumentation der Überprüfung am Pilotprojekt

Teil 4: Nutzerhandbuch für den Geschosswohnungsbau in Passivhaus-Standard

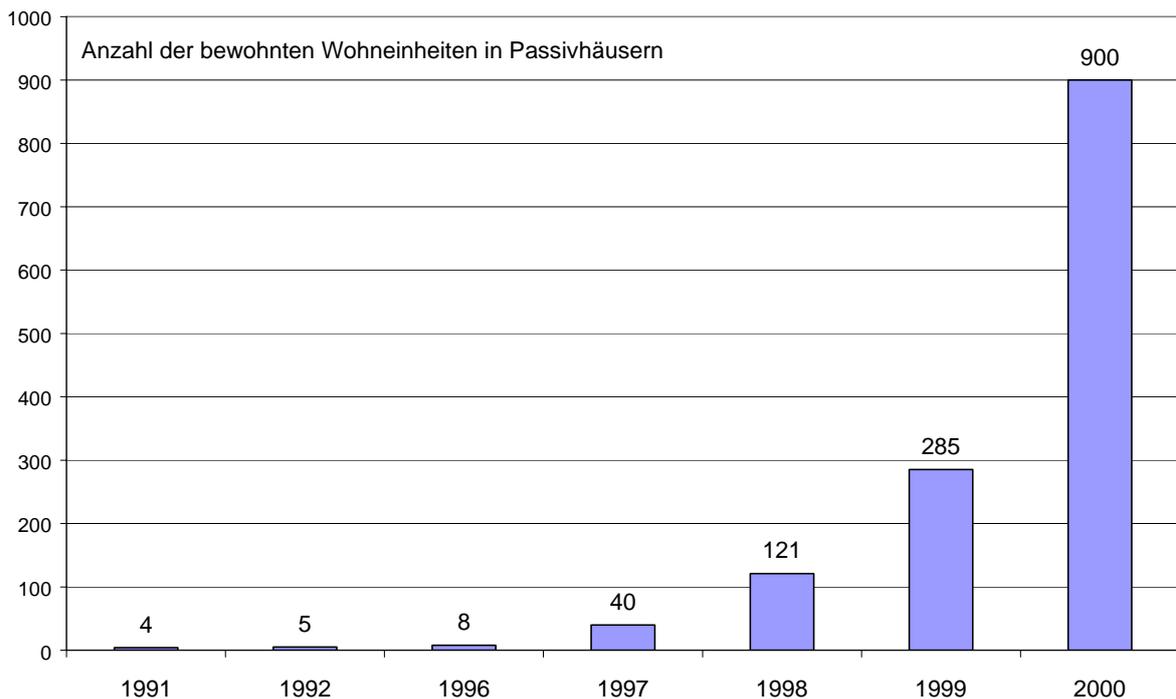
Abschnitt A: Nutzerhandbuch

Abschnitt B: Handbuch für die Gebäudeverwaltung

Abschnitt C: Wohnen im Passivhaus - auf einen Blick

2 Der Passivhaus-Standard - eine Perspektive auch für den Geschoss-Wohnungsbau?

Passivhäuser haben sich in kurzer Zeit im gesamten deutschsprachigen Raum ausgebreitet: Mitte 2000 sind bereits über 600 Wohneinheiten fertiggestellt und das Wachstum beträgt über 100% im Jahr (vgl. folgende Abb.). Damit verläuft die Einführung des Passivhaus-Standards weit rasanter als die Entwicklung zum Niedrigenergiehaus vor ungefähr einem Jahrzehnt.



Worin liegen die Ursachen für diese beschleunigte Entwicklung? Das Passivhaus ist von seinen baulichen und haustechnischen Grundprinzipien her nichts anderes als ein konsequent ausgeführtes Niedrigenergiehaus: Die für das Passivhaus erforderlichen Komponenten sind zwar in ihrer wärmetechnischen Qualität erheblich gegenüber dem Niedrigenergiehaus verbessert - aber es sind die gleichen Grundprinzipien, die Verwendung finden (siehe unten). Durch die weiteren Verbesserungen entsteht jedoch eine völlig neue Qualität - eben das Passivhaus, ein Gebäude, in welchem ein behagliches Innenklima im Winter ohne eine konventionelle Heizung besteht. Dieser qualitative Sprung ermöglicht eine erhebliche Vereinfachung bei der Haustechnik; Passivhäuser sind damit am Ende haustechnisch weniger aufwendig als Niedrigenergiehäuser und es ergeben sich Einsparpotentiale bei den Investitionskosten. Dies macht Passivhäuser besonders attraktiv:

- hohe Behaglichkeit durch rundum warme Umfassungsflächen,
- hohe Luftqualität durch dauerhaft gesicherte Wohnungslüftung,
- kostengünstige Bauweise durch vereinfachte Haustechnik,
- niedrige Betriebskosten wegen extrem geringem Energieverbrauch im Bereich von 10 bis 15 kWh/(m²a) für die Heizung,

- nachhaltiges Bauen durch den um mindestens einen Faktor 2 niedrigeren Primärenergieverbrauch und den damit verbundenen Klimaschutz und
- einfache Grundprinzipien auf der Basis heute verfügbarer Niedrigenergiehaus-Technologie.

Welche Grundprinzipien führen zum Passivhaus? Es sind dieselben Maßnahmen, die auch schon beim Niedrigenergiehaus angewendet wurden, nur in noch höherer Konsequenz umgesetzt:

- Unverzichtbar ist eine **exzellente Wärmedämmung** aller opaken Bauteile (Außenwand, Dach, Kellerdecke u.a.) mit Regel-U-Werten zwischen 0,1 und 0,2 W/(m²K) - dies bedeutet Dämmdicken zwischen 20 und 40 cm. Der Wärmeschutz muss lückenlos ("wärmebrückenfrei") und die Hüllfläche muss luftdicht ausgeführt sein. In diesem Konstruktionshandbuch finden sich zahlreiche Beispiele für Passivhaus geeignete gedämmte Bauteile und deren Anschlüsse aneinander.
- Eine Schlüsselfunktion haben **hochwertige Fenster** mit Wärmedurchgangskoeffizienten unter 0,8 W/(m²K). Diese hohe Dämmwirkung, die etwa doppelt so gut ist wie bei heute (Jahr 2000) üblichen Fenstern, ist erforderlich, um auch ohne Heizkörper den Komfort in Fensternähe sicherzustellen: Sowohl die Strahlungstemperatursymmetrie als auch Luftbewegung und Temperaturschichtung im Raum sind bei dieser Fensterqualität so gering, dass ein ausgezeichnetes Komfortniveau unabhängig von der Art der Heizung erreicht wird. Darüber hinaus sollen Passivhaus-Verglasungen einen Gesamtenergiedurchlassgrad über 50% aufweisen. Fenster, die nicht zu stark verschattet in Richtungen um Süd ($\pm 30^\circ$) orientiert sind, weisen dann in Mitteleuropa auch im Kernwinter eine positive Energiebilanz auf: Die passiv nutzbare Solarenergie ist größer als der stark reduzierte Wärmeverlust des hochgedämmten Fensters.
- Das dritte Basisprinzip des Passivhauses ist die **kontrollierte, hocheffiziente Wohnungslüftung mit Wärmerückgewinnung**. Diese ist im Passivhaus gleich aus drei Gründen unverzichtbar:
 1. Sie sichert eine zu allen Zeiten hohe Luftqualität;
 2. sie reduziert den Lüftungswärmeverlust um etwa einen Faktor vier und
 3. sie ermöglicht es, allein über die Zuluftleitung den restlichen Heizwärmebedarf durch eine einfache Nacherwärmung der Luft zu decken.

Damit dies mit hohem Komfort und bei geringem Hilfsenergieaufwand funktioniert, müssen strenge Anforderungen an die technische Qualität des Zentralgerätes und der Lüftungsanlage gestellt werden: ein sehr hoher Wärmebereitstellungsgrad (75% und mehr) und ein sehr geringer Stromverbrauch (0,45 Wh/m³ oder weniger). Genauer erläutert werden diese Anforderungen in Teil 3 dieses Abschlußberichtes.

Bei dem Großteil der bis zum Jahr 2000 bezogenen Passivhäusern handelt es sich um von den Eigentümern selbst genutzten Wohnraum. Damit wird eine sehr verantwortungsbewusste Bewohnergruppe angesprochen, die sich mit ihrem eigenen Haus in hohem Maße auseinandersetzt.

Passivhäuser im sozial gebundenen Geschosswohnungsbau bieten einerseits bautechnisch und haustechnisch keine unlösbaren Probleme, wie die Ergebnisse der hier in vier Teilen vorgelegten Berichte zum Forschungsprojekt zeigen. Andererseits ist die Aufgabenstellung durch die hier vorliegende Trennung zwischen Bauherr (Wohnungsbaugesellschaft) und Nutzer (Sozialmieter) grundsätzlich erschwert. Alle Systeme müssen von vorn herein auf die Tatsache hin geplant und ausgeführt werden, dass der künftige Nutzer möglicherweise nicht die geringste Vorstellung von der Funktion eines solchen Passivhauses hat und vielleicht auch nur begrenzt in der Lage oder Willens ist, sich eine solche zu verschaffen. Daher müssen auch schon die baulich und haustechnisch verwendeten Komponenten so projiziert werden, dass sie praktisch "narrensicher" funktionieren. Glücklicherweise ist das Passivhaus dafür durchaus geeignet, weil:

- Das erste Grundprinzip, die sehr gute Wärmedämmung, der Gebäudehülle baulich immanent ist und nicht auf ein bestimmtes Verhalten des Nutzers angewiesen ist - die Dämmung funktioniert in jedem Fall einfach aus sich heraus, es sei denn, sie wird bewusst und mutwillig zerstört - was gar nicht so einfach, eher unwahrscheinlich und im anderen Fall leicht erkennbar ist.
- Das zweite Grundprinzip, die hoch wärmedämmenden Fenster funktionieren ebenfalls rein passiv; hier kann es natürlich Fehlfunktionen durch die Nutzung geben, wenn etwa Fenster unnötigerweise über lange Zeiträume im Winter offen stehen bleiben. Zu erkennen, ob und gegebenenfalls in welchem Umfang dies der Fall ist, ist Gegenstand einer wissenschaftlichen Folgeuntersuchung des hier abgeschlossenen Forschungsprojektes. In diesem wird das Verhalten der Nutzer in dem Beispielgebäude "sozialer Mietwohnungsbau mit Passivhausstandard der GWG Kassel" erforscht werden. Bisherige Ergebnisse aus seit Jahren bewohnten Passivhäusern (allerdings Reihenhäuser) lassen einen großen Einfluss von zusätzlicher Fensterlüftung **nicht** erkennen.
- Die Wohnungslüftung, insbesondere in der bei diesem Projekt gewählten Konzeption, stellt ebenfalls keine besonderen Ansprüche an das Verhalten des Nutzers. Solange dieser das System "in Ruhe lässt", wird die Anlage die gewünschten Funktionen, nämlich hohe Luftqualität und eine bedeutende Energieeinsparung, erfüllen.

Natürlich müssen die Nutzer über die Funktionen und die Besonderheiten ihres Hauses aufgeklärt werden. Dies geschieht in dem als Teil 4 dieses Abschlussberichtes erstellten "Nutzerhandbuch für den Geschosswohnungsbau in Passivhausstandard". Nach vollständiger Bearbeitung dieses Handbuchs am Beispiel des in Kassel tatsächlich realisierten Gebäudes waren die Wissenschaftler am PHI selbst überrascht, auf wie wenige einfache Nutzungsratschläge sich die "Kurzinformation" am Ende reduzieren ließen:

1. Lassen Sie bitte im Winter wenn möglich die Fenster geschlossen. Für frische Luft sorgt die Wohnungslüftungsanlage.
2. Regeln Sie, wenn es Ihnen zu warm wird, zunächst den Wohnungsthermostat herunter. Wenn es Ihnen dann immer noch zu warm sein sollte: Öffnen Sie das Fenster.

3. Kühlen Sie im Sommer gezielt: durch Verwendung der Sonnenschutz-Schiebeläden und durch ausgiebige morgendliche Lüftung.
4. Wenn Sie eine Pollenallergie haben, können Sie auch im Sommer die Fenster geschlossen halten und gefilterte Frischluft über die Lüftungsanlage beziehen. Stellen Sie dazu Ihren Wohnungsregler auf "Sommerzuluft" ein.

Die wesentlichen Aufgaben bei der Realisierung von Passivhäusern ist eine wärmetechnisch sorgfältige Planung aller Details der Gebäudehülle und der Lüftungsanlage. Für den Geschosswohnungsbau wird dafür mit diesem ersten Teil des Abschlußberichtes ein Konstruktionshandbuch bereitgestellt. Hierin sind prototypisch wesentliche Basiskonstruktionen und Anschlussdetails in Bezug auf Wärmebrückenfreiheit und Luftdichtheit dargestellt. Die Darstellungen erfolgen in der Regel durch dreidimensionale Schnittzeichnungen. Dadurch wird nicht nur die Planung dokumentiert, sondern der gesamte Aufbau konstruktiv transparent, auch in den berühmten und häufig vergessenen allerletzten Eckpunkten, in denen drei oder mehr unterschiedliche Bauteile zusammenstoßen.

Natürlich kann die hier wiedergegebene Detailsammlung nicht erschöpfend sein; die Zahl der unterschiedlichen verfügbaren Passivhaus geeigneten Konstruktionen ist schon heute viel zu groß. Wir denken aber, dass hier exemplarisch Lösungen für sehr viele Anschlussdetails dargestellt sind, die in der Praxis wesentlich sind. Aus den Ansätzen bei diesen Lösungen lassen sich mit etwas Abstraktionsvermögen viele ähnlich gelagerte Fälle mit vergleichbarer Qualität ableiten.

2.1 Geschosswohnungsbau-spezifische Besonderheiten

Passivhäuser sind in den vergangenen Jahren vor allem als Reihenhäuser, aber auch als freistehende Einfamilienhäuser gebaut worden. Letzteres ist technisch sogar der schwierigste zu lösende Fall, da freistehende Einfamilienhäuser das größte A/V-Verhältnis und damit die höchsten Transmissionswärmeverluste haben. Sie weisen bei mittlerer Kompaktheit des Gebäudes ein Verhältnis A/V von 0,77-0,93 m²/m³ (ca. 50 % der Einfamilienhäuser) auf, aber auch Reihenhäuser liegen mit ca. 0,6 m²/m³ noch deutlich über den Mehrfamilienhäusern mit 2 Vollgeschossen plus Dachgeschoss bzw. 3 Vollgeschossen mit 0,43 bis 0,57 m²/m³ (ca. 50 % der Mehrfamilienhäuser). Bei geringerem A/V-Verhältnis kann der Passivhausstandard mit wesentlich geringerem Aufwand erreicht werden. Darüber hinaus ermöglicht die kompakte Bauweise den Passivhausstandard auch unter ungünstigen Verschattungsbedingungen bzw. ungünstige Ausrichtung der Hauptfassade.

Ziel der vorliegenden Forschungsarbeit war es, den Passivhaus-Standard speziell für den Geschosswohnungsbau zu untersuchen, um dessen Umsetzung in die Baupraxis zu beschleunigen.

Der Grund, warum der Geschosswohnungsbau im Passivhaus-Standard anfänglich nicht eine derart rasche Umsetzung erfahren hat wie z. B. der Reihenhausbau liegt an einigen Besonderheiten, die beachtet werden müssen. Folgende Spezifika sind hier gegenüber Einfamilien bzw. Reihenhäusern hervorzuheben:

1. Standort meist in städtischer Bebauung / Verschattungssituation,
2. Ausrichtung der Gebäude meist durch den Bebauungsplan vorgegeben,

3. starke thermische Kopplung der einzelnen Wohneinheiten,
4. strengere Brandschutzanforderungen,
5. erhöhter Planungsaufwand für zentrale bzw. semizentrale Lüftungskonzepte,
6. andere Nutzerklientel speziell im Mietwohnungsbau.

Die Punkte 1 bis 3 wurden im Teil 2 mit Hilfe der dynamischen Gebäudesimulation näher untersucht, die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Der Passivhausstandard lässt sich im Geschosswohnungsbau auch bei ungünstiger (ost / west-orientierter) Ausrichtung der Hauptfassade und gegenüberliegender Bebauung gleicher Geschosshöhe erreichen.
- Wärmeströme durch Wohnungstrennwände bzw. Decken und Böden bewirken, dass die Lufttemperatur einzelner Wohneinheiten auch ohne Beheizung nicht unter ca. 16 °C absinkt, die dann in den angrenzenden Wohneinheiten notwendige Heizleistung übersteigt das Passivhaus-Heizlastkriterium von 10 W/m² nicht.
- Mit einer ausschließlichen Beheizung über die Zuluft können einzelne Wohneinheiten auf maximal 5 K höhere Raumtemperaturen beheizt werden als die angrenzenden Wohneinheiten
- Wenn keine zusätzlichen Heizflächen zur Verfügung stehen (Heizleistungsbegrenzung bei 10 W/m²) sollte von einer Abschaltung der Nachheizung im Winterurlaub abgesehen werden, weil der Aufheizvorgang im ungünstigsten Fall 2 bis 3 Tage dauern kann. Die Heizwärmeeinsparung durch Nachtabsenkung fällt mit ca. 55 kWh/a pro Wohneinheit sehr gering aus und rechtfertigt nicht die Mehraufwendungen für das Vorhalten höherer Heizleistungen für ein rasches Wiederaufheizen.

Die Punkte 3 und 4 werden im vorliegenden Handbuch sowie im Teil 3 näher behandelt, es wird auf angepasste Baudetails und technische Lösungen eingegangen: Die eingesetzten Dämmstoffe z.B. im Bereich der Fensterlaibung müssen die Brandschutz-Auflagen erfüllen. Dies gilt natürlich auch für zentrale Lüftungsanlagen, welche Brandabschnitte überschreiten.

Das Nutzerhandbuch (Teil 4) soll das Wohnen im Passivhaus einfach und angenehm machen, spricht aber im Gegensatz zum Einfamilien- bzw. Reihenhaus nicht nur die Bewohner, sondern auch die Gebäudeverwaltung an. Der Großteil der haustechnischen Einrichtungen werden normalerweise von der Gebäudeverwaltung betreut und gewartet.

2.2 Die Lüftungsanlage im Geschosswohnungsbau

Die Lüftungsanlage in Passivhäusern ist eine Frischluftanlage, die für einen geregelten Luftaustausch sorgt und auch Heizfunktionen übernimmt. Beim Frischluftbedarf und hinsichtlich des Wärmeempfindens können die Anforderungen der Menschen jedoch sehr unterschiedlich ausgeprägt sein. Manche Nutzer fühlen sich z.B. partout erst bei höheren Raumtemperaturen wohl oder in Raucherhaushalten soll phasenweise mehr gelüftet werden können. Diesen Wünschen sollte eine Lüftungsanlage im Geschosswohnungsbau Rechnung tragen.

Daher ist es wichtig, dass die Lüftungsanlage bzgl. Luftmenge und Nachheizleistung wohnungsweise vom Bewohner beeinflusst werden kann.

Neben den nutzerspezifischen Anforderungen müssen passivhausgeeignete Lüftungsanlagen auch eine Reihe technischer Mindeststandards erfüllen. Hierzu zählen beispielsweise ein hoher Wärmebereitstellungsgrad der Wärmerückgewinnung, gute Frischluftqualität hinsichtlich der Reinheit der Luft (Filter und minimale interne Leckagen), ein geringer Stromeinsatz, balancierte Luftmengen zwischen Zu- und Abluft u.a.m..

Einige der Systeme zur Erfüllung der technischen Kriterien lassen sich bei Lüftungsanlagen für den Passivhaus-Geschosswohnungsbau so anordnen, dass sie nicht für jede Wohnung realisiert werden müssen, sondern zentral zur Verfügung stehen. Ein gutes Beispiel hierfür ist der Wärmetauscher für die Wärmerückgewinnung. Je besser der Wärmetauscher, umso besser die Jahresenergiebilanz; - gefordert werden mindestens 75% Wärmerückgewinnung bezogen auf „trockene“ Luft.

Für ein Passivhaus im Geschosswohnungsbau ist es erstrebenswert, die gesamte Frischluftversorgung über einen oder wenige Wärmetauscher zu realisieren. Auf diese Weise lässt sich der Kosteneinsatz optimieren: Statt in viele kleine, wohnungsweise angeordnete Wärmetauscher zu investieren, können die finanziellen Mittel auf höchste Effizienz bei der Wärmerückgewinnung, minimale Strömungswiderstände und einfache Wartung ausgerichtet werden.

Der Nutzer möchte prinzipiell saubere Luft in seiner Wohnung genießen können; diese bekommt er gerade in Passivhäusern quasi „frei Haus“ geliefert. Denn frischluftseitig vor dem zentralen Wärmetauscher befindet sich ein Feinstfilter (Filterklasse F7), das sogar Pollen zurückhält. Positiver Nebeneffekt für die Effizienz des Wärmetauschers ist dabei, dass das Filter natürlich auch den Wärmetauscher sauber hält und damit die hohe Effizienz der Wärmerückgewinnung dauerhaft gewährleistet bleibt.

Saubere Luft bedeutet auch geruchsfreie Luft, insbesondere was die Küchenabluft anderer Wohnungen betrifft. Im Geschosswohnungsbau wird Luft durch Sammelleitungen in Schächten geführt, diese Luftleitungen müssen dicht ausgeführt werden, was durch Wickelfalzrohre mit Lippendichtungen bei sorgfältiger Montage in ausreichender Weise realisiert werden kann. Der Fachbauleitung obliegt es dafür zu sorgen, dass auch die Lagerung der Rohre während der Bauphase in der Weise erfolgt, dass auch die Leitungen sauber bleiben. Der Einsatz zentraler Wärmetauscher erfordert ebenfalls eine sehr gute Verarbeitungsqualität hinsichtlich der Abdichtung zwischen den verschiedenen Luftströmen, insbesondere die interne Leckagerate muss für den Betrieb beim Geschosswohnungsbau auf Werte von weniger als 0.5% verringert werden.

Abluftseitig sind dem zentralen Wärmetauscher ebenfalls Filter vorgeschaltet. Das beginnt in den Ablufträumen der Wohnungen (Küche und Bad) mit einfachen Flusenfiltern vor den Abluftelementen (Grobfilter G3) und wird mit einem Feinfilter Klasse F6 direkt abluftseitig vor dem Wärmetauscher komplettiert. Auch hinsichtlich der Filter hat die Aufteilung der Lüftungsanlage in dezentral-nutzerorientierte Systemteile einerseits und zentrale-effizienzoptimierte Bestandteile andererseits

Vorteile sowohl bei Investitions- und Betriebskosten als auch in Bezug auf die Zugänglichkeit der Bauteile bei Wartung und Revision.

Als bevorzugter Ort für eine Lüftungszentrale bietet sich im Geschosswohnungsbau der Dachbereich bzw. ein Technikraum in der obersten Etage an. Letzterer hat den großen Vorteil, bereits in die wärmegedämmte Hülle integriert zu sein. Ebenso sollten die Rohrleitungen der Luftverteilung unbedingt innerhalb der wärmegedämmten Hülle zu der/den Zentrale(n) geführt werden, um aufwendige und kostenintensive Dämmarbeiten an Rohrleitungen überflüssig zu machen.

Für die Positionierung der Installationsschächte ist grundsätzlich zu beachten, dass luftführende Leitungen mehr Platz benötigen als z.B. Wasserleitungen. Installationsschächte in Passivhäusern sind deutlich größer und benötigen mehr Platz (Faustformel: Mehrbedarf 0.7m^2) als solche in konventionellen Gebäuden. Abhängig vom Wohnungsgrundriss ist es mitunter günstiger, die Installationsschächte aufzuteilen in Wasser/Abwasser und Lüftung/Heizung. Idealerweise befindet sich die Revisionsöffnung zum Lüftungsschacht nahe dem Treppenhaus oder ist sogar darüber, z.B. von einem Abstellraum zugänglich. Eine Positionierung der Installationsschächte in Nähe des Bades bietet sich zwar an, stellt aber gestalterisch oftmals höhere Anforderungen (Spritzwasserfreiheit, Einfügung der Revisionsklappe in Fliesenspiegel, Zugänglichkeit der Revisionsklappe) gegenüber Revisionsklappen z.B. im Flurbereich einer Wohnung. Die Größe der Revisionsöffnungen für die Lüftungstechnik innerhalb der Wohnungen beträgt mindestens 80×80 cm.

Die Lüftungszentrale „oben“ befindet sich weitgehend außerhalb von Straßenstaub und im Bereich der besten Durchlüftung städtischer Ballungsräume. Die Frischluftansaugung kann daher kostengünstig auf kurzen Wegen (Frischluftgitter) realisiert werden. Die Möglichkeit der Vorschaltung eines Erdreichwärmetauschers (EWT) wird im Geschosswohnungsbau aufgrund der damit verbundenen aufwendigen Leitungsführung eher die Ausnahme bleiben. Ein EWT garantiert vereisungsfreien Betrieb des Wärmetauschers auch an den kältesten Tagen.

Der vereisungsfreie Betrieb einer Lüftungsanlage ist ein unverzichtbares Komfortkriterium. Weder eine Unterbrechung der Zuluft noch der Verzicht auf die Vorerwärmung der Zuluft (Bypassbetrieb) ist akzeptabel. Um den Wärmetauscher auch ohne EWT an sehr kalten Tagen vereisungsfrei betreiben zu können, bietet es sich an, die Frischluft über ein elektrisches Vorheizregister feinstufig so zu temperieren, dass fortluftseitig gerade keine Vereisung auftritt.

Die Dimensionierung von Rohrleitungen und Einbauten in der Lüftungsanlage ist auf geringe Systemdruckverluste auszulegen, um die erforderliche elektrische Antriebsenergie auf maximal 0.45 Wh/m^3 zu begrenzen. Neben der Rohrnetzkenlinie ist die Effizienz des Ventilators die zweite Einflussgröße für den erforderlichen Stromeinsatz.

Die vom und für den Nutzer gewünschte wohnungsweise Einstellbarkeit des Luftvolumenstroms lässt sich am besten über dezentral angeordnete Ventilatoren erreichen. Jede Wohnung verfügt dabei über einen Zu- und einen Abluftventilator, die in Luftmengenbalance betrieben werden. Sie ziehen die Zuluft über eine Sammelleitung von der Lüftungszentrale bzw. fördern die Abluft zu dieser.

Für diese vergleichsweise kleinen Ventilatoren sind zwingend elektronisch kommutierte Gleichstromantriebe zu verwenden. Damit werden elektrische Wirkungsgrade von 20-40% erreicht. Ein solches Konzept ist für Lüftungsanlagen mit kurzem, geradlinigem Rohrnetz und für max. 8 Wohneinheiten an einer Lüftungszentrale eine gute Lösung.

Bei weiter ausgedehnten Lüftungsanlagen wird das Konzept der wohnungsweise über Ventilatoren einstellbaren Luftmengen beibehalten, allerdings um zwei zentral angeordnete „große“ Ventilatoren ergänzt, welche die Druckverluste der entfernt liegenden Lüftungszentrale kompensieren. Auf diese Weise arbeiten die wohnungsweisen Ventilatoren bei günstigeren Betriebspunkten. Denn etwa die Hälfte der Rohrnetzdruckverluste entstehen in der Zentrale (Wärmetauscher, Filter, Vorheizregister), diese können dort von effektiveren Ventilatoren mit noch besserer Effizienz überwunden werden.

Zur Realisierung einer wohnungsweise einstellbaren Lüftungsanlage im Geschosswohnungsbau gehört auch, dass die Nutzer mit der Bedienung der Anlage zurechtkommen. Neben der gewünschten Funktionalität ist eine übersichtliche Bedienbarkeit unverzichtbar. Da Lüftungsanlagen hierzulande noch nicht die gleiche Selbstverständlichkeit wie Heizungsanlagen besitzen, ist eine mündliche Einweisung in die Anlage neben einer guten Bedienungsanleitung sehr empfehlenswert.

Im Pilotprojekt „Passivhäuser Kassel-Marbachshöhe“ hat sich gezeigt, dass die gesetzten Ziele für Lüftungsanlagen im Passivhaus-Geschosswohnungsbau im wesentlichen erreicht werden konnten (vgl. Teil 3 „Dokumentation der Überprüfung am Pilotprojekt“). Bei den technischen Randbedingungen wurden die Grenzwerte im wesentlichen eingehalten, mitunter sogar deutlich unterschritten. Und kurz nach Inbetriebnahme des Gebäudes kann hinsichtlich der Bedienerfreundlichkeit der wohnungsweisen Lüftungssteuerungen eine positive Bilanz gezogen werden.

Natürlich zeigt ein Pilotprojekt auch Möglichkeiten weiterer Verbesserungen auf, diese beziehen sich vorwiegend auf Detaillösungen und sind daher im Teil 3 dieses Berichtes wiedergegeben.

Das Konzept der hier vorgestellten semizentralen Lüftung ist grundsätzlich gut für Passivhäuser im Geschosswohnungsbau geeignet.

3 Baudetails

3.1 Vorbemerkung

Das Passivhaus-Konstruktionshandbuch soll für Planer und Ausführende Hilfe und Anregung sein, da beim Bau von Passivhäusern einiges anders ist als üblich. Ein besonderes Augenmerk muss auf eine wärmebrückenfreie beziehungsweise zumindest wärmebrückenminimierte Planung und Ausführung der thermischen Gebäudehülle gerichtet sein. Darunter braucht keineswegs die planerische Freiheit zu leiden.

Bei bisher unüblichen Dämmstärken von ca. 30 cm sind einige Besonderheiten zu beachten, die in den nachfolgenden Details dargestellt und beschrieben werden. Die vorgestellten Details sind zum großen Teil bereits in der Praxis erprobt worden.

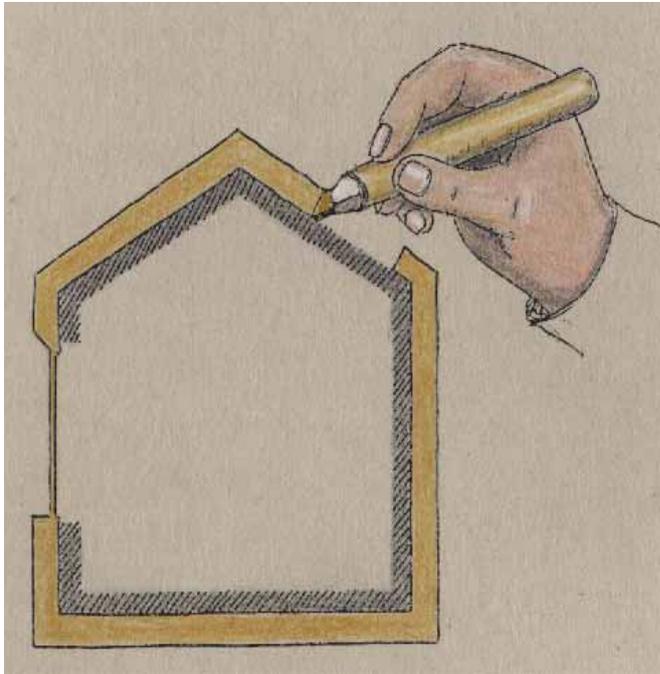
Das Erlangen einer allgemeinen baulichen Zulassung für Konstruktionen, Systeme oder Verfahren ist meist ein langwieriger Weg. Aus diesem Grund werden für viele passivhaustaugliche Konstruktionen heute noch keine allgemein baurechtlichen Zulassungen vorliegen. In etlichen Fällen wurden für neue Konstruktionen, Bauteile oder Verfahren Zustimmungen im Einzelfall erwirkt. Diese Zustimmungen setzten allerdings voraus, dass die für die Gebrauchstauglichkeit erforderlichen Prüfungen und Berechnungen durchgeführt wurden. Auf eine allgemeine baurechtliche Zulassung oder eine Zulassung im Einzelfall kann nur der Auftraggeber verzichten, oder der Planer greift auf Konstruktionen zurück, die den allgemein anerkannten Regeln der Technik entsprechen, aber gleichzeitig den thermischen Anforderungen der Passivhausbauweise gerecht werden.

Ein weiterer wesentlicher Komplex ist die erforderliche Luftdichtheit der Gebäudehülle. Um die geforderte Dichtheit zu erreichen, muss besonders auf Anschlüsse verschiedener Bauelemente geachtet werden. Auch hier haben sich einfache konstruktive Vorgehensweisen bewährt, die bei den verschiedenen Detailpunkten dargestellt und beschrieben werden.

Grundsätzlich gilt, dass alle dargestellten Details Vorschlagscharakter haben. Detailpläne und Arbeitsanleitungen von anbietenden Firmen sind grundsätzlich zu beachten, ebenso geltende DIN Bestimmungen.

3.2 Die thermische und die luftdichte Gebäudehülle

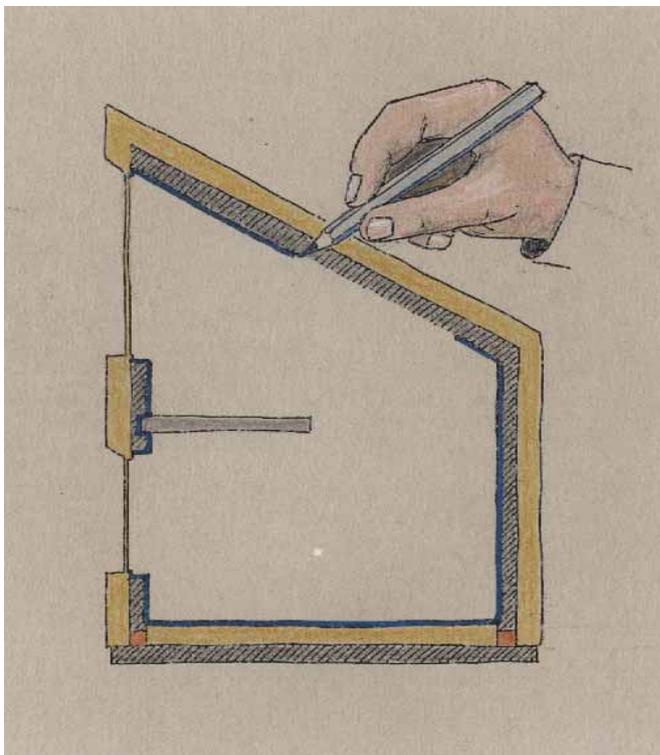
Die wesentlichen Grundprinzipien der Passivhausbauweise werden anhand von zwei Schnittdarstellungen veranschaulicht.



Schnitt 1:

Die thermische Gebäudehülle

Schon bei der ersten Skizze beim Planen eines Passivhauses sollte man das Ziel im Auge haben. Umfährt man den Entwurf mit einem Stift, der die Wärmedämmung darstellt, ohne absetzen zu müssen, dann ist eine wichtige Voraussetzung für die Planung von Passivhäusern bereits erfüllt - die Hülle ist Wärmebrückenfrei. Die Vielfalt der Lösungsmöglichkeiten bei verschiedenen Bauarten wird in nachfolgenden Detailvorschlägen dargestellt.



Schnitt 2:

Die luftdichte Gebäudehülle

Analog zur wärmedämmenden Gebäudehülle muss eine luftdichte Hülle ausgeführt werden, die in der Regel auf der Innenseite der Umfassungsflächen hergestellt wird. Auch hier darf die Umfassungslinie nicht unterbrochen werden, denn unkontrollierte Lüftungsverluste durch Undichtigkeiten müssen sorgfältig vermieden werden.

Bei Massivbauten stellt der Innenputz eine ausreichende Dichtheit her. Bei Leichtbauten ist die ohnehin erforderliche Dampfbremse auf der Innenseite der Umfassungsflächen die Dichtungsebene. In allen Fällen ist es immer der Wechsel zwischen verschiedenen Bauteilen bei dem die Anschlüsse besonders sorgfältig geplant und ausgeführt werden müssen.

In den Schnittdarstellungen der nachfolgenden Kapitel ist die luftdichte Ebene jeweils durch eine gestrichelte rote Linie gekennzeichnet.

3.3 Planung der Luftdichtheit

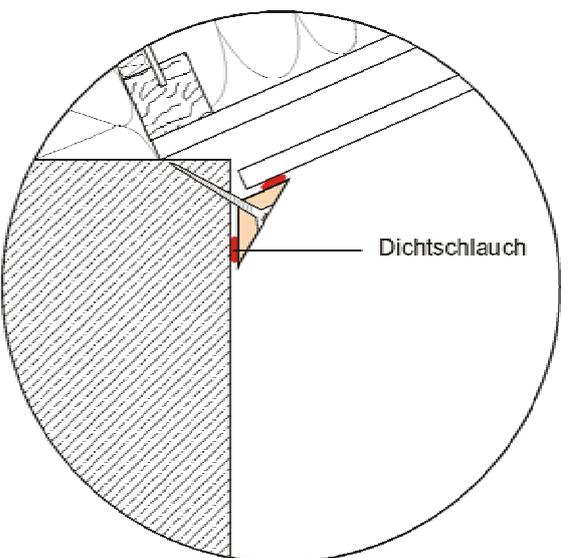
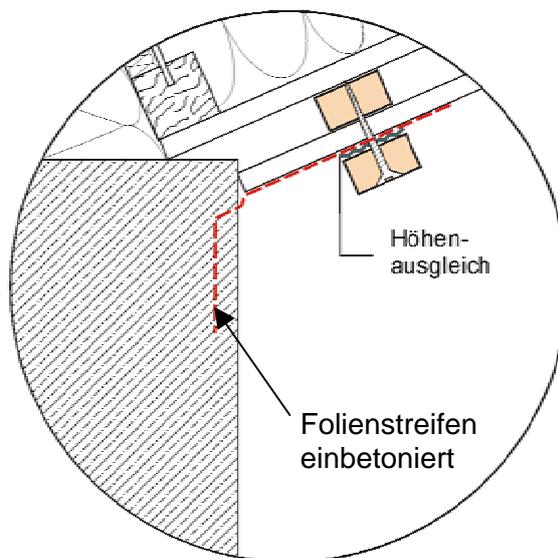
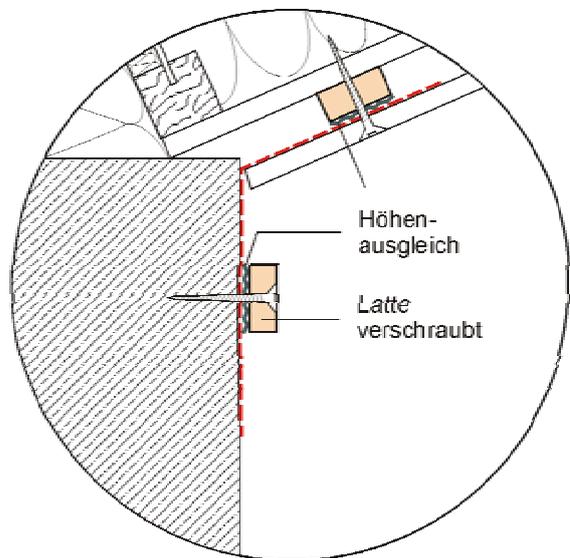
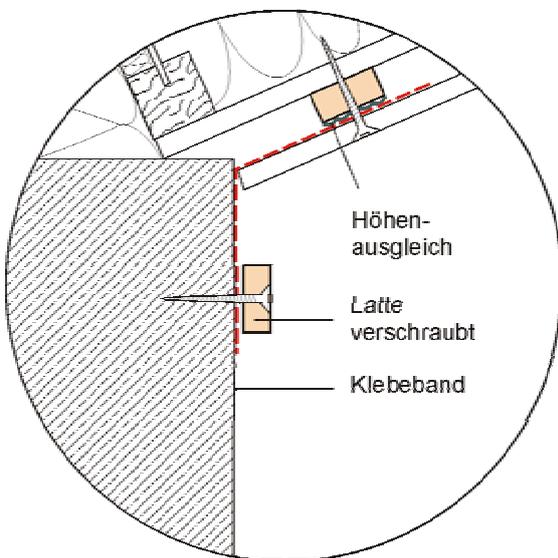
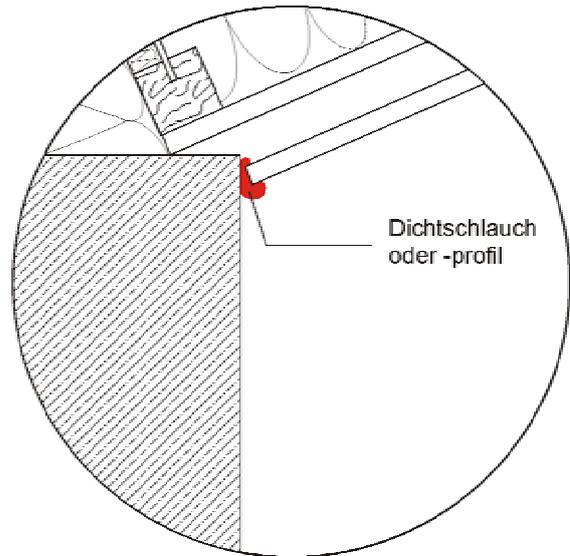
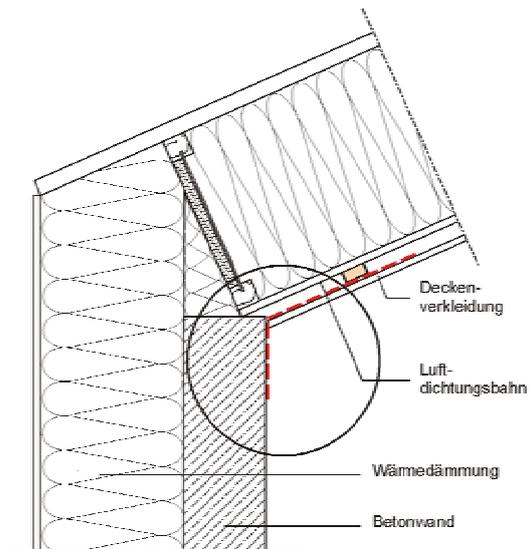
Aufgabe des Planers ist es, Detaillösungen für die Ausführung der Luftdichtheit vorzugeben. Mangelhafte Planung kann auch durch große Sorgfalt bei der Ausführung nicht kompensiert werden. Einfache Konstruktionsdetails können dagegen dazu beitragen, Mängeln bei der handwerklichen Arbeit weitgehend vorzubeugen. Es sollten also möglichst große geschlossene Flächen mit einer einzigen, einfachen Grundkonstruktion geplant werden. Dadurch werden weniger Wechsel im Material und somit weniger Probleme bei der Gestaltung der Anschlüsse erreicht. Nachfolgende Tabelle¹ gibt die Luftdurchlässigkeit verschiedener Materialien im nicht eingebauten Zustand an. Die fettgedruckten Materialien können als luftdichte Ebene eingesetzt werden.

Material	Luftdurchlässigkeit [m ³ /(m ² h)] bei 50 Pa	Bemerkungen
Kalk-Zement-Putz (Mindestdicke einhalten)	0,002 – 0,05	ausreichend luftdicht
Ziegel- oder KS-Stein	0,001 – 0,05	unverputztes Mauerwerk ist aber wegen der Fugen undicht
Porenbeton, Bimsbeton o.ä.	0,06 – 0,35	
Gipskartonplatte	0,002 – 0,03	luftdichte Anschlüsse sind schwer herzustellen
Sperrholz	0,004 – 0,02	besondere Sorgfalt für dauerhaft luftdichte Anschlüsse erforderlich
Spanplatten, MDF	0,05 – 0,22	ungeeignet
Hartfaserplatten	0,001 – 0,003	besondere Sorgfalt für dauerhaft luftdichte Anschlüsse erforderlich
Holzweichfaserplatten	2 – 3,5	ungeeignet
Holz div.	bis 0,0003	praktisch keine luftdichten Anschlüsse
Unterspannbahn	1	ungeeignet
PE-Folie 0,1 mm	0,0015	ausreichend luftdicht
Bitumenpappe	0,008 – 0,02	ausreichend luftdicht
Baupappe / Baupapiere	0,01 – 3	nur reißfeste Pappen/Papiere sind dauerhaft luftdicht
Mineralwolle	13 – 150	ungeeignet

Die zentrale Aufgabe bei der Planung der Luftdichtheit ist es, die Übergänge und Anschlüsse zwischen den einzelnen luftdichten Materialien herzustellen. Die hohe Zahl an Kombinationsmöglichkeiten und konstruktiven Lösungen erscheint zunächst unüberschaubar. In der CEPHEUS-Projektinformation² wird auf die einzelnen Fälle eingegangen und diese werden nach den wesentlichen Grundprinzipien systematisiert. In der nachfolgenden Grafik werden beispielhaft die luftdichten Anschlussmöglichkeiten zwischen einer Holzwerkstoffplatte und einer Betonwand dargestellt.

¹ Daten der Tabelle aus: Zeller, J.; Dorschky, S.; Borsch-Laaks, R.; Feist, W.: **Luftdichtigkeit von Gebäuden – Luftdichtigkeitsmessungen mit der Blower Door in Niedrigenergiehäusern und anderen Gebäuden**, Institut für Wohnen und Umwelt, Darmstadt 1995

² Peper S, Wolfgang F., Sariri V: **Luftdichte Projektierung von Passivhäusern**, CEPHEUS-Projektinformation Nr. 7, Fachinformation PHI- 1999/6



Quelle: CEPHEUS Projektinformation Nr. 7

Ein wichtiges Prinzip bei der Planung der Luftdichtheit ist die Vermeidungsregel: Grundsätzlich sollten Durchdringungen der dichtenden Hülle vermieden bzw. minimiert werden.

Bei der Auswahl der Detaillösungen und Materialien sollte man auf zuverlässige und bewährte Grundkonstruktionen zurückgreifen, einige Hersteller bieten bereits eine breite Palette von geeigneten Werkstoffen an. Für ein Passivhaus müssen keine völlig neuartigen oder exotischen Dichtprinzipien entwickelt werden. Wichtig ist jedoch, dass die notwendigen Materialien und Arbeitsgänge sowie die Luftdichtheitsprüfung im Leistungsverzeichnis berücksichtigt werden.

Die messtechnische Überprüfung der Luftdichtheit des Gebäudes mit der Blower Door Messung sollte durchgeführt werden sobald die Gebäudehülle fertiggestellt ist, so dass evtl. noch erforderliche Nachbesserungen mit vertretbarem Aufwand ausgeführt werden können.

3.4 Wärmebrückenfreies Konstruieren

Als Wärmebrücken werden Linien oder Punkte bezeichnet, an denen zusätzliche Wärmeverluste gegenüber den Regelbauteilen stattfinden. Das kann der Fall sein am Stoß von zwei oder mehr Bauteilen sowie an Durchdringungen der wärmedämmenden Ebene.

Linienförmige Wärmebrücken ergeben sich z.B. an Anschlüssen von Außenwänden an Dach oder Boden, bei Stößen von Verglasung und Rahmen im Fenster o.ä.. Punktförmige Wärmebrücken können Zuganker von Wärmedämmverbundsystem-Elementen sein, aber auch die Ecke, in der zwei Außenwände und das Dach bzw. der Boden eines Hauses zusammentreffen.

Die Auswirkungen linienförmiger Wärmebrücken werden rechnerisch durch einen Wärmebrückenverlustkoeffizienten Ψ erfasst: Ψ stellt den zusätzlichen Wärmeverlust je Meter Länge der Wärmebrücke und Kelvin Temperaturdifferenz dar, der im Vergleich zur ungestörten Konstruktion auftritt. Punktförmige Wärmebrücken haben definitionsgemäß keine Längenausdehnung, daher werden sie durch einen von der Raumdimension freien Wärmebrückenverlustkoeffizienten X beschrieben. X wird in W/K gemessen und gibt in analoger Weise den zusätzlichen Wärmeverlust je Kelvin Temperaturdifferenz gegenüber dem Regelbauteil an.

Ist der Wärmebrückenverlustkoeffizient Ψ bekannt, kann man den Wärmeverlust \dot{Q} z.B. durch zwei Wände und die dazwischenliegende Wärmebrücke wie folgt berechnen:

$$\dot{Q} = U_1 A_1 \Delta T_1 + U_2 A_2 \Delta T_2 + \Psi l \Delta T_\psi.$$

Darin bedeuten:

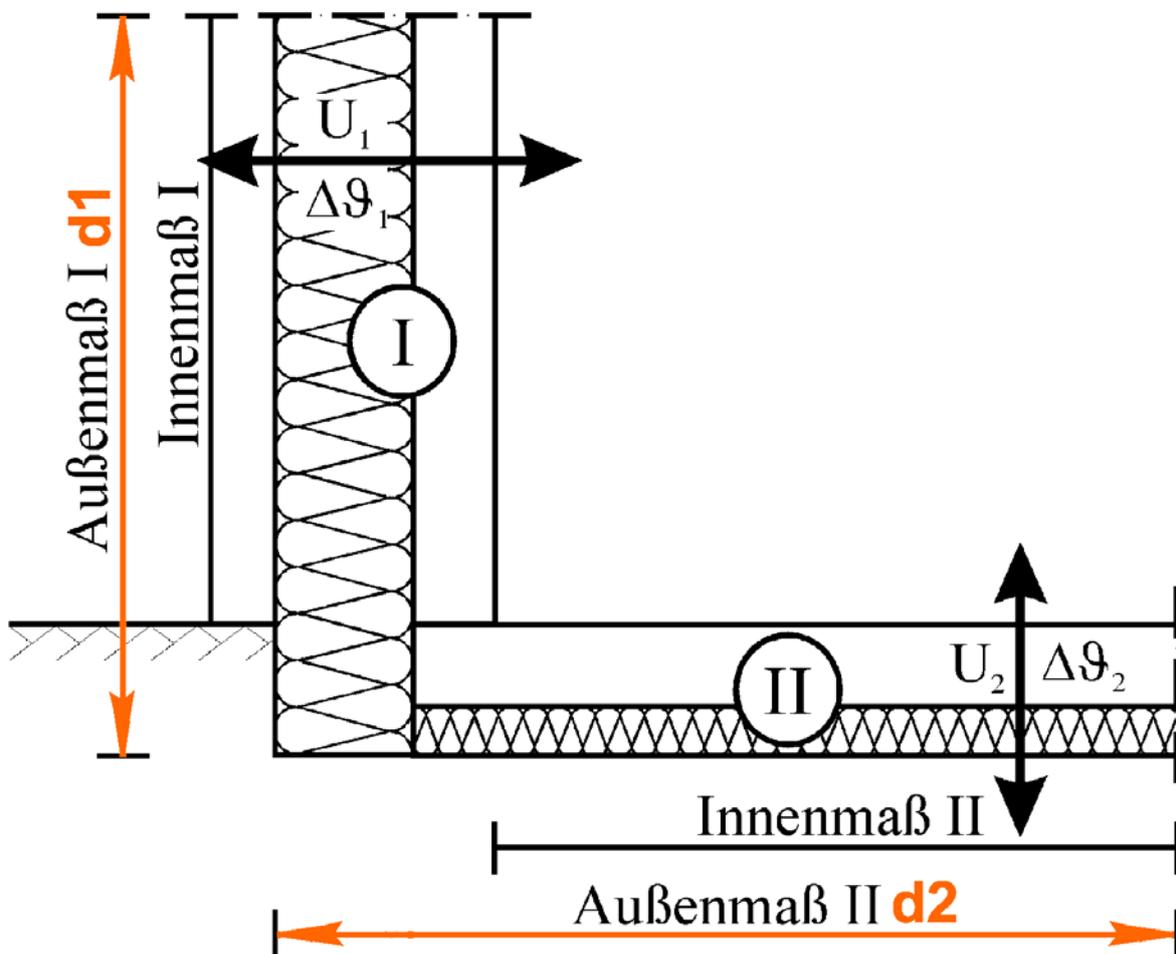
- U Wärmedurchgangskoeffizient der Wand in $W/(m^2K)$
- A Fläche der Wand in m^2
- ΔT Temperaturdifferenz am jeweiligen Bauteil in K
- Ψ Wärmebrückenverlustkoeffizient der Konstruktion in $W/(mK)$
- l Länge der Wärmebrücke in m

Die Temperaturdifferenzen an den Regelbauteilen können sich unterscheiden, z.B. beim Anschluss Außenwand–Bodenplatte. In diesem Fall muss beim Wärmebrückenverlustkoeffizienten angegeben sein, auf welche Temperaturdifferenz ΔT er sich bezieht.

Entsprechend ergibt sich der Wärmestrom durch ein Regelbauteil mit einer punktförmigen Wärmebrücke zu

$$\dot{Q} = UA\Delta T + X \Delta T.$$

Bei der Angabe von Ψ -Werten ist zwischen Innen- und Außenmaßbezug zu unterscheiden. Folgende Abbildung zeigt, was damit gemeint ist. In diesem Handbuch wird durchwegs mit Außenmaßbezug gerechnet, die Maße sind jeweils mit d_1 und d_2 gekennzeichnet.

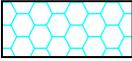


Als wärmebrückenfrei bezeichnen wir ein Gebäude, wenn alle Details so ausgeführt sind, dass die Transmissionswärmeverluste des gesamten Gebäudes bei Berechnung allein der Verluste über die Regelflächen bei Verwendung der Außenmaße größer sind als unter vollständiger Berücksichtigung der Wärmebrücken. Dieses Ziel kann man als erreicht betrachten, wenn für die Wärmebrückenverlustkoeffizienten aller linearen Anschlüsse

$$\Psi_a \leq 0,01 \text{ W/(mK)}$$

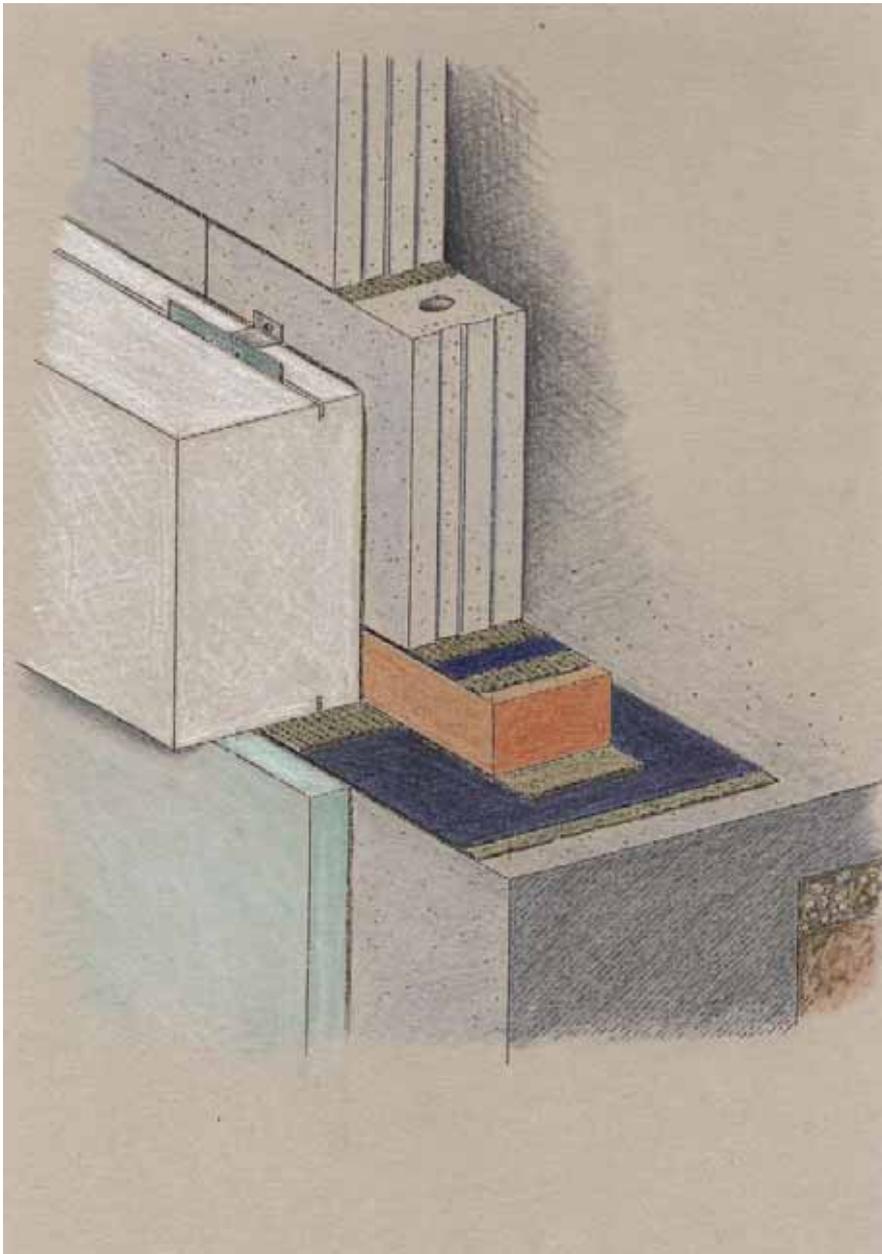
ist. Kleinere positive Wärmebrückenverlustkoeffizienten, wie sie etwa an Innenwandanschlüssen auftreten können, sind nach diesem Kriterium noch zulässig.

In den folgenden Kapiteln werden für einige typische Baudetails die außenmaßbezogenen Wärmebrückenverlustkoeffizienten berechnet. Die Wärmeleitfähigkeiten der eingesetzten Baustoffe sind in nachstehender Tabelle aufgeführt.

Baustoff	Schraffur	Wärmeleitfähigkeit W/(mK)
Wärmedämmstoff		0,04
Purenit		0,07
Stahlbeton		2,10
Kalksandstein		0,99
Zementestrich		1,20
Innenputz		0,70
Außenputz		0,35
PH-geeignetes Fenster		$U_W = 0,8 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

3.5 Basispunkt-Details

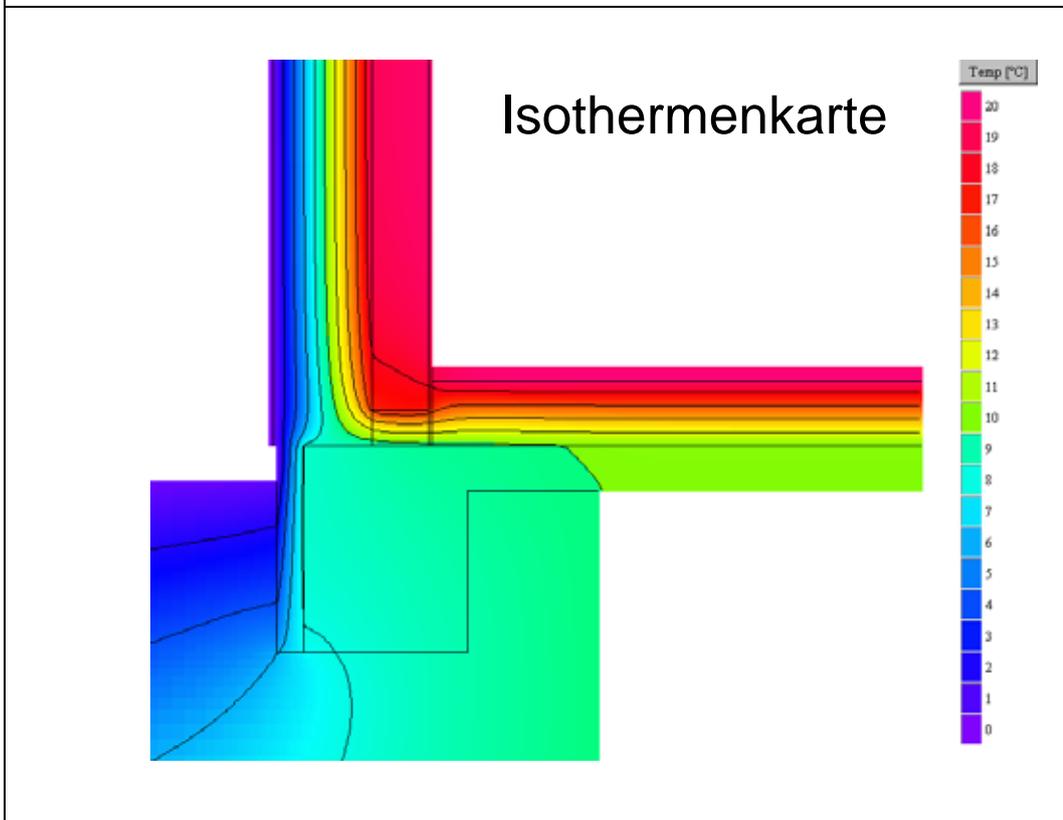
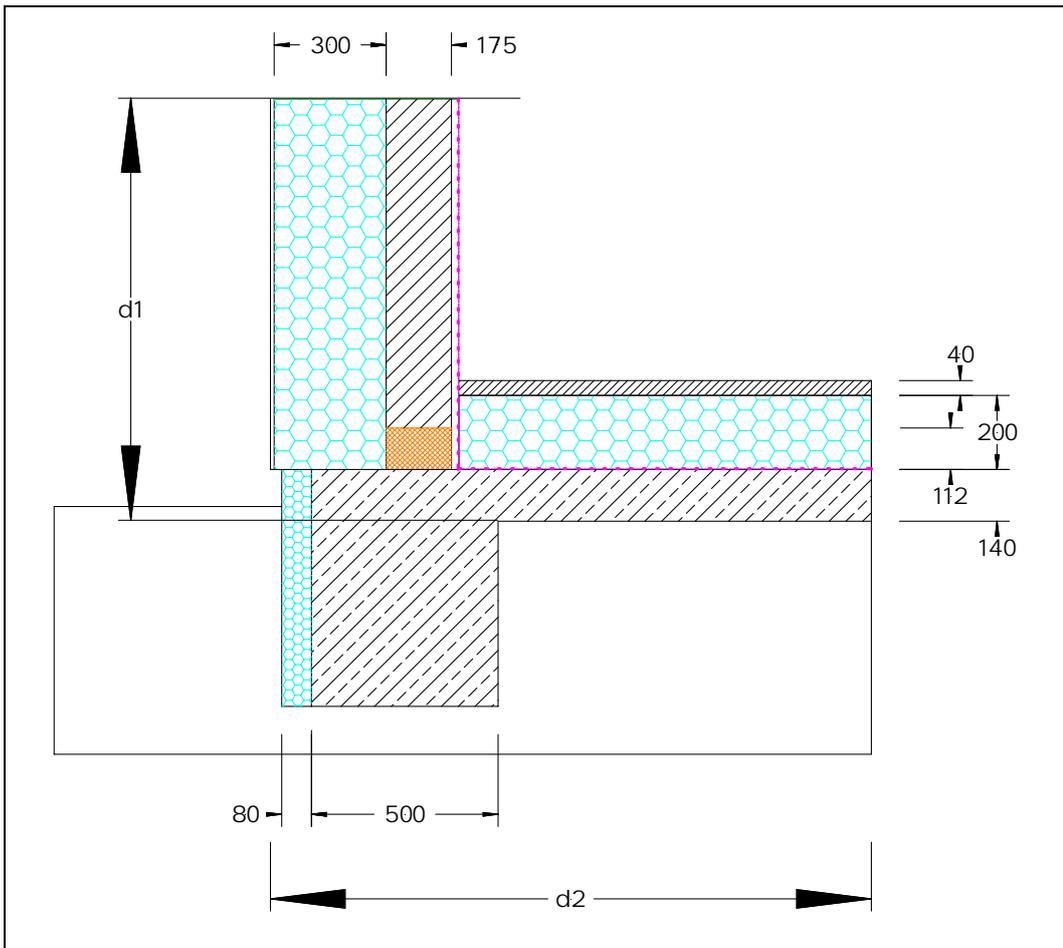
3.5.1 Basispunkt einer massiven Außenwand über der Bodenplatte



Über der Bodenplatte, die wie üblich ausgeführt wird, wird die erforderliche Feuchtigkeitssperre in Klebemörtel verlegt. Gegenüber dem sonst üblichen Vorgehen ist im Passivhaus eine thermische Trennung zwischen Bodenplatte und aufgehendem Mauerwerk erforderlich. Diese thermische Trennung wird durch eine Schicht aus wärmedämmendem Material erreicht, die zugleich als sogenannte Kimmschicht¹ in Mörtel verlegt wird. Der Wärmedurchgangswiderstand ($1/\Lambda$) dieser Trennschicht sollte $> 0,7 \text{ m}^2\text{K/W}$ sein. Bisher übliche Materialien sind Porenbeton (25 cm hoch) oder wie in der Abbildung dargestellt, ein PU-Recyclingprodukt mit einer

Wärmeleitfähigkeit von $\lambda = 0,07 \text{ W/(mK)}$ und einer zulässigen Druckspannung von ca. 8 N/mm^2 . Auf diese Schicht wird dann wie üblich das aufgehende Mauerwerk erstellt. Bodenplatte und Fundament werden außen mit einer Perimeterdämmung versehen. Die Außendämmung als Wärmedämmverbundsystem wird entsprechend den Verlegeanleitungen des Systemanbieters angebracht. Wenn, wie in diesem Fall, die thermische Trennung oberhalb der Bodenplatte ausgeführt wird, dann kommt auch die Wärmedämmung auf der Bodenplatte zu liegen.

Wärmebrückenberechnung Außenwand-Bodenplatte



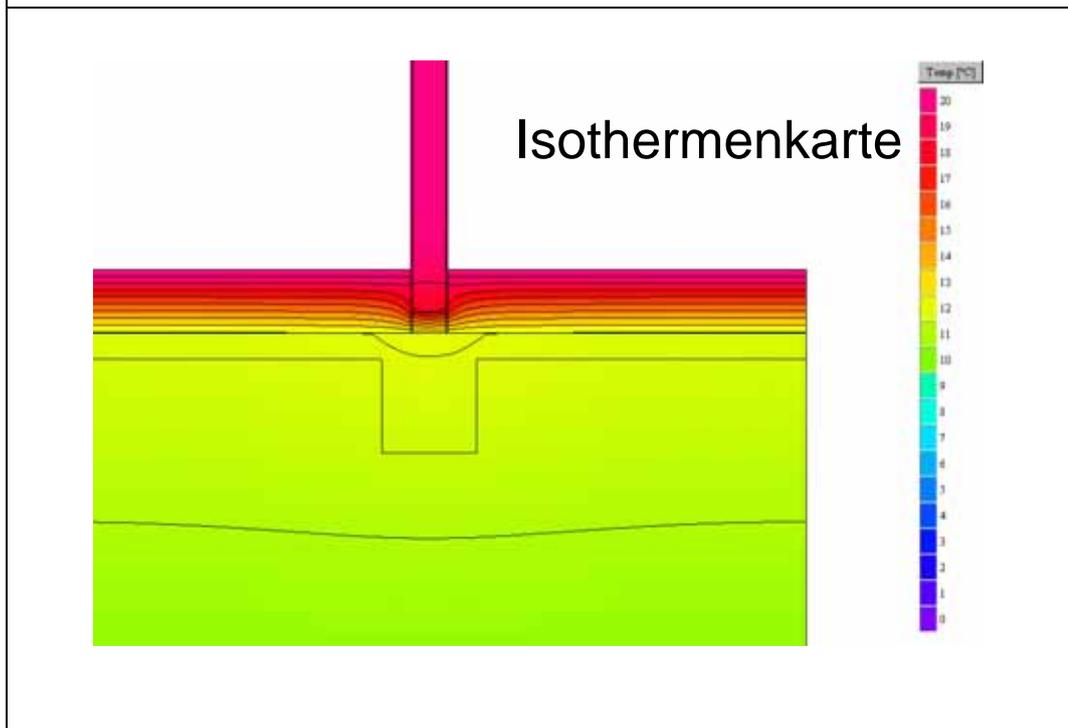
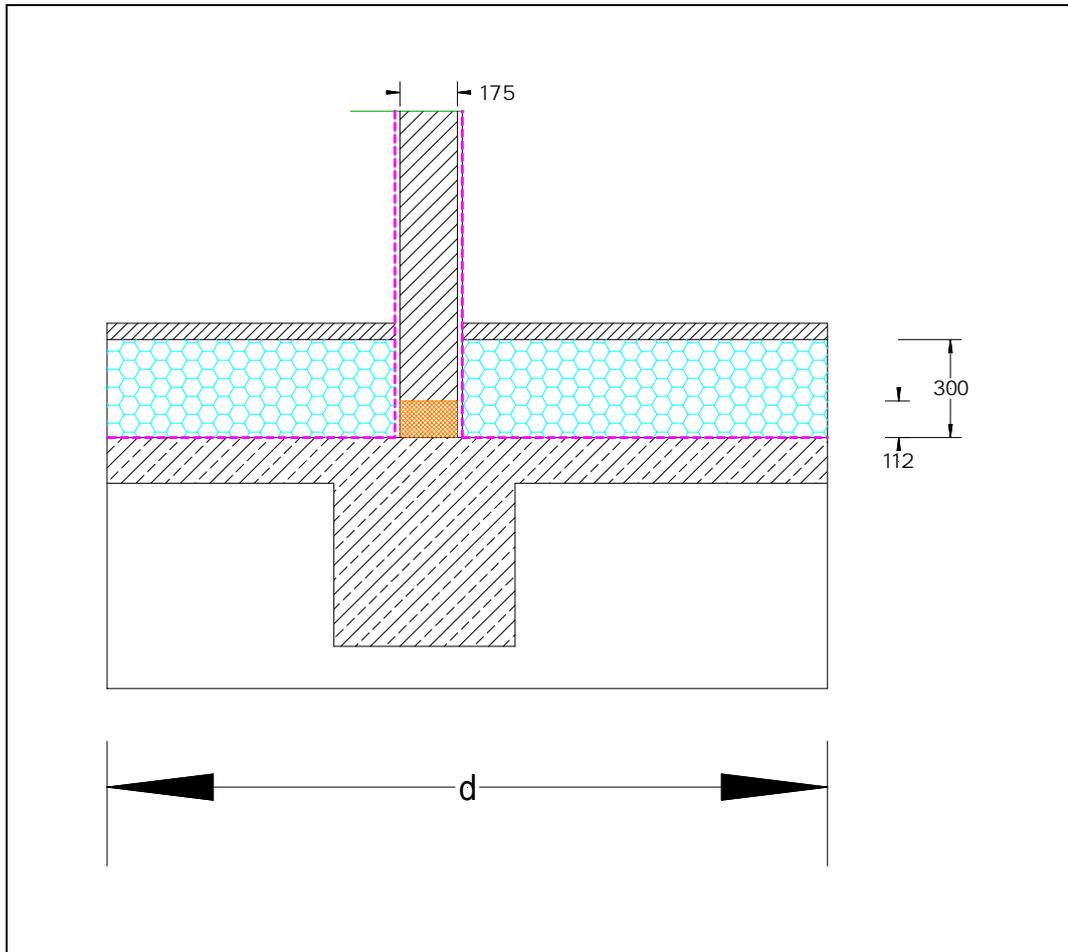
Aufbau der Regelbauteile:

1		Außenwand 1	
Bauteil Nr. Bauteil-Bezeichnung			
Wärmeübergangswiderstand in m ² K/W		innen 1/α _i :	0.13
		außen 1/α _a :	0.04
Wärmeleitfähigkeit λ		in W/(mK)	
Dicke d		in mm	
Teilfläche 1	Teilfläche 2 (optional)	Teilfl. 1	Teilfl. 2
1. Außenputz		0.350	
2. Wärmedämmung		0.040	
3. KS 175		0.990	
4. Innenputz		0.700	
5.			
6.			
Anteil Teilfläche 2 :			
		U-Wert:	0.127 W/(m ² K)
			Summe 50.0 cm

3		Bodenplatte 1	
Bauteil Nr. Bauteil-Bezeichnung			
Wärmeübergangswiderstand in m ² K/W		innen 1/α _i :	0.17
		außen 1/α _a :	0.17
Wärmeleitfähigkeit λ		in W/(mK)	
Dicke d		in mm	
Teilfläche 1	Teilfläche 2 (optional)	Teilfl. 1	Teilfl. 2
1. Estrich		1.200	
2. Wärmedämmung		0.040	
3. Stahlbeton-Decke		2.100	
4.			
5.			
6.			
Anteil Teilfläche 2 :			
		U-Wert:	0.184 W/(m ² K)
			Summe 38.0 cm

Wärmebrückenverlustkoeffizient: $\Psi_a = -0.008 \text{ W/(mK)}$

Wärmebrückenberechnung Innenwand-Fundament



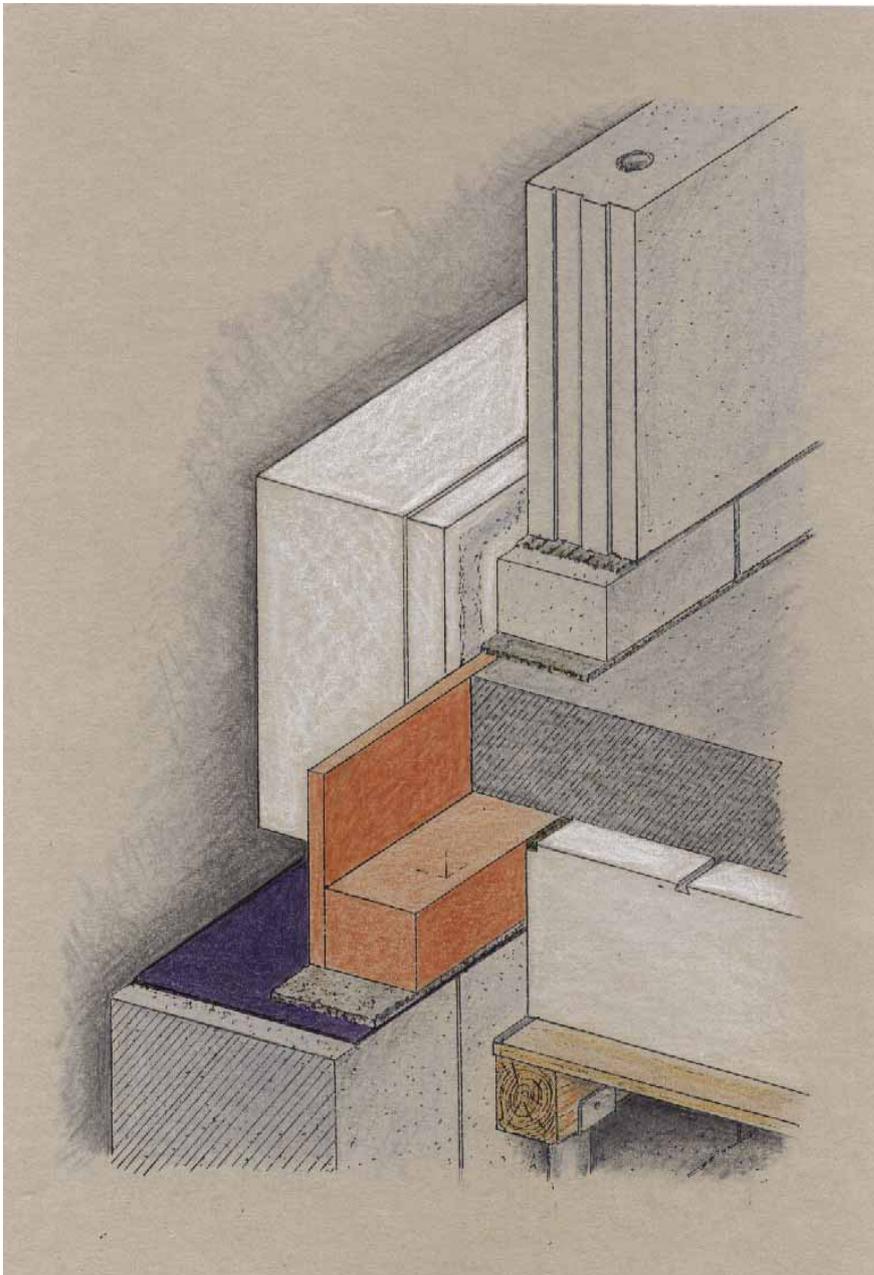
Aufbau der Regelbauteile

3		Bodenplatte 2			
Bauteil Nr. Bauteil-Bezeichnung					
Wärmeübergangswiderstand in m ² K/W		innen 1/α _i :		0.13	
		außen 1/α _e :		0	
		Wärmeleitfähigkeit λ		Dicke d	
		in W/(mK)		in mm	
Teilfläche 1		Teilfläche 2 (optional)			
1.	Estrich			1.200	40
2.	Wärmedämmung			0.040	300
3.	Stahlbeton-Decke			2.100	140
4.					
5.					
6.					
Anteil Teilfläche 2 :		U-Wert:		0.129	Summe
				W/(m ² K)	48.0

Berechnungsergebnis:

Wärmebrückenverlustkoeffizient: $\Psi_a = 0.079 \text{ W/(mK)}$

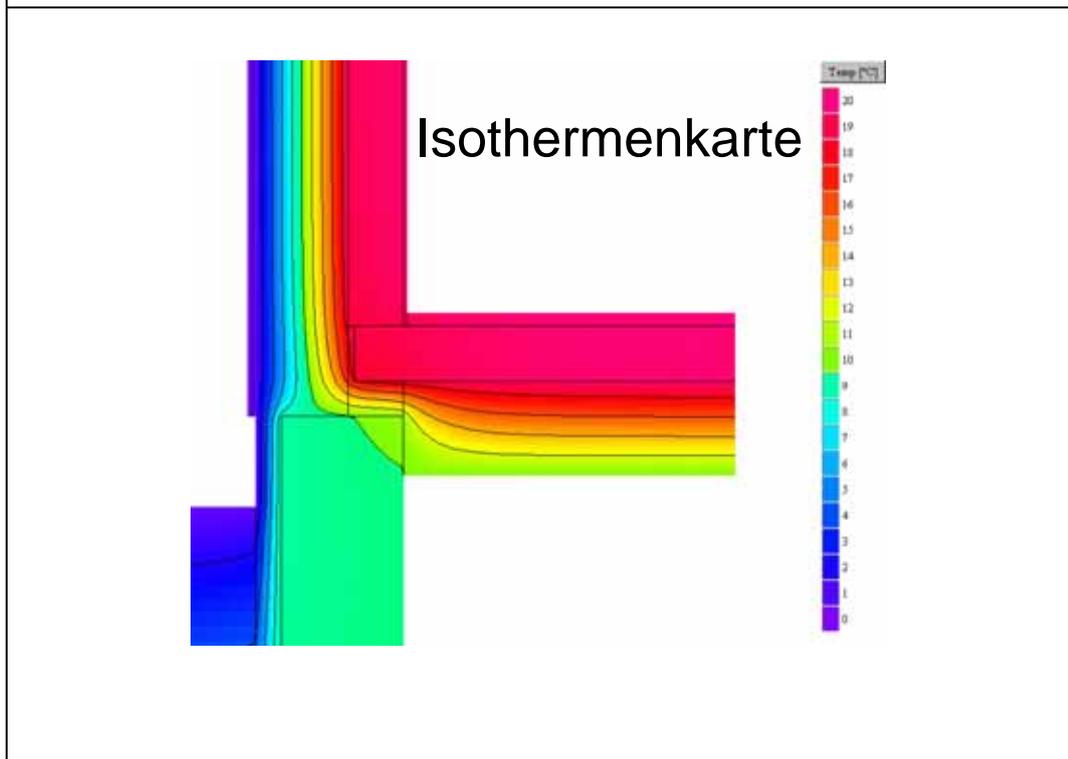
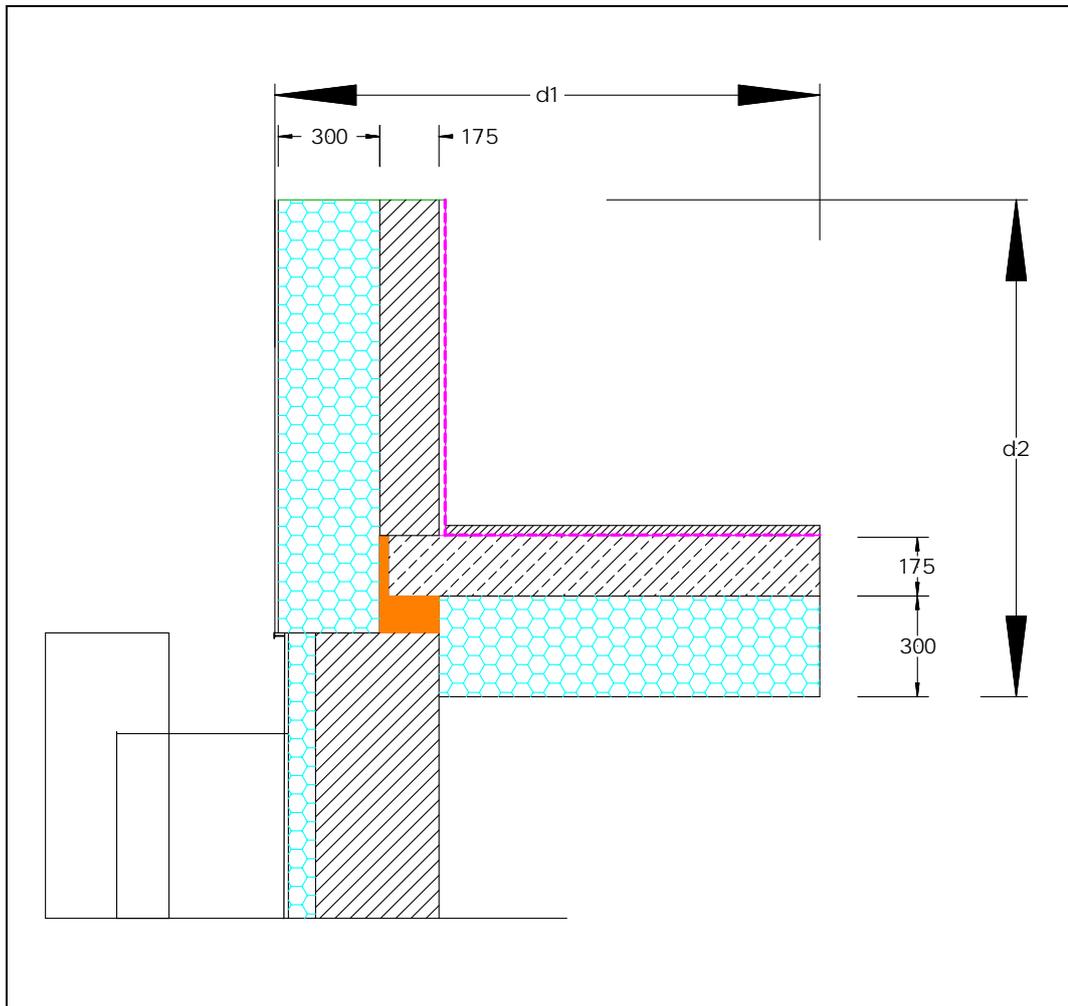
3.5.2 Basispunkt einer massiven Außenwand eines unterkellerten Hauses mit Wärmedämmung unter der Kellerdecke



Wenn die Wärmedämmung unter der Kellerdecke angebracht wird, dann muss auch die thermische Trennung der Wand in dieser Ebene angebracht werden. Die thermische Trennung ist im hier dargestellten Fall gleich als Deckenrandschalung ausgebildet. Die Wärmedämmung der Kellerdecke kann als „verlorene“ Schalung ausgeführt werden. Die Dämmplatten müssen dabei mit Schwalbenschwanz-Nuten ausgestattet sein um eine sichere Verbindung zu gewährleisten. Bei dieser Vorgehensweise müssen alle Fugen und Anschlüsse gut abgedichtet werden, damit der Beton nicht in die Fugen läuft. Die Außenwand-Wärmedämmung

wird dann entsprechend den Verlegeanleitungen des Systemanbieters ausgeführt.

Wärmebrückenberechnung Außenwand-Bodenplatte (Wärmedämmung an der Kellerdecke)



Aufbau der Regelbauteile

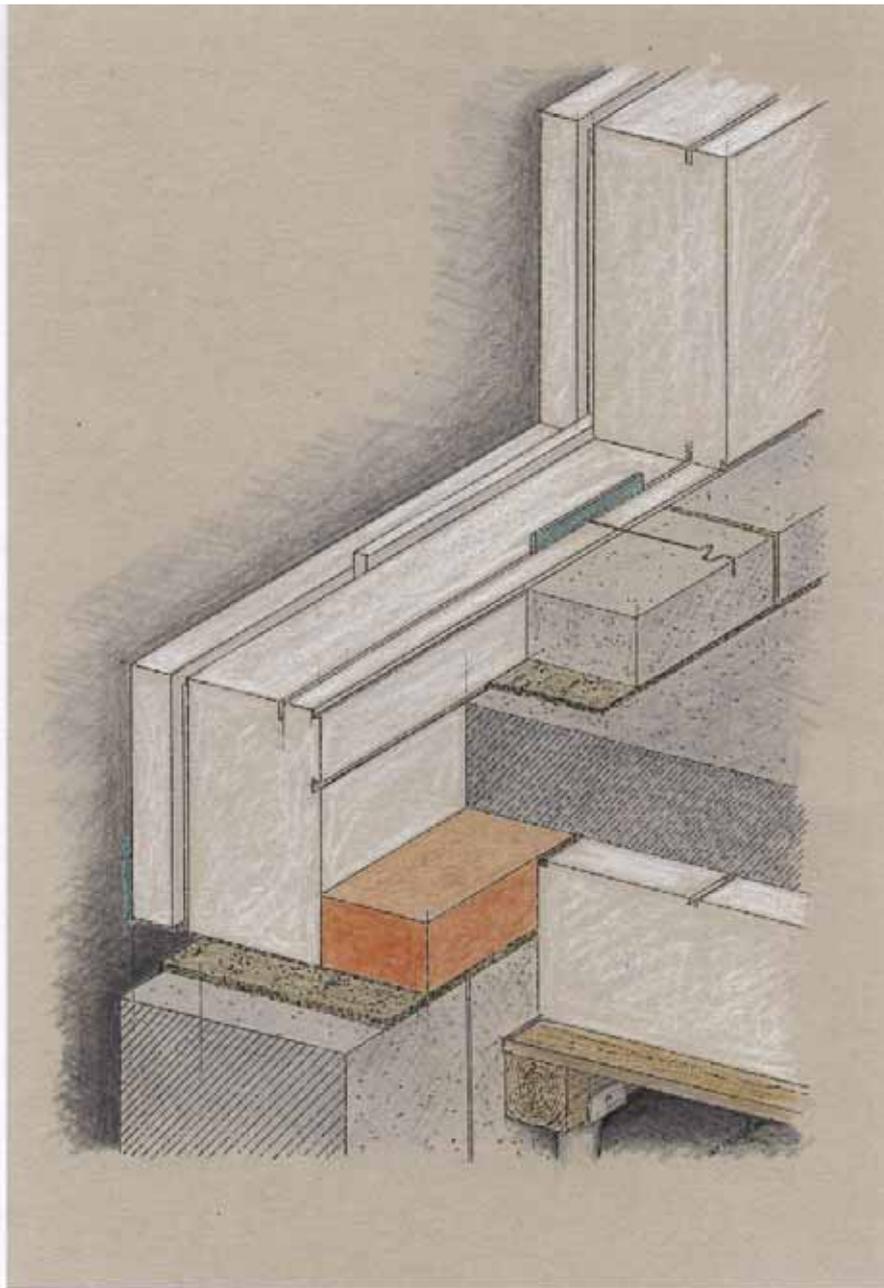
1 Außenwand 1				
Bauteil Nr. Bauteil-Bezeichnung				
Wärmeübergangswiderstand in m ² K/W innen 1/α _i : 0.13				
außen 1/α _a : 0.04				
Wärmeleitfähigkeit λ in W/(mK)				
Dicke d in mm				
Teilfläche 1	Teilfläche 2 (optional)			
Teilfl. 1	Teilfl. 2			
1. Außenputz		0.350		15
2. Wärmedämmung		0.040		300
3. KS 175		0.990		175
4. Innenputz		0.700		10
5.				
6.				
Anteil Teilfläche 2 : <input type="text"/>		U-Wert: 0.127 W/(m ² K)		Summe 50.0 cm

3 Bodenplatte 3				
Bauteil Nr. Bauteil-Bezeichnung				
Wärmeübergangswiderstand in m ² K/W innen 1/α _i : 0.17				
außen 1/α _a : 0.17				
Wärmeleitfähigkeit λ in W/(mK)				
Dicke d in mm				
Teilfläche 1	Teilfläche 2 (optional)			
Teilfl. 1	Teilfl. 2			
1. Estrich		1.200		40
2. Stahlbeton-Decke		2.100		175
3. Wärmedämmung		0.040		300
4.				
5.				
6.				
Anteil Teilfläche 2 : <input type="text"/>		U-Wert: 0.126 W/(m ² K)		Summe 51.5 cm

Wärmebrückenverlustkoeffizient: $\Psi_a = -0.010$ W/(mK)

3.5.3 Basispunkt eines integrierten Bausystems (Dämmung unter der Kellerdecke)

Bei diesem Bausystem wird der übliche Bauablauf umgekehrt, das heißt, dass zuerst die Wärmedämmung aufgestellt und anschließend von innen dagegen gemauert wird. Der sonst übliche Klebprozess entfällt dabei und wird quasi als Nebenprodukt beim Mauern mit erledigt. In den Dämmblöcken befinden sich Nuten, die auf die Schichthöhe des verwendeten Mauerwerks abgestimmt sind. Diese Nuten werden beim Mauern mit Mörtel ausgefüllt, es entsteht damit die Verbindung zwischen Dämmung und Mauerwerk. Zusätzlich wird noch eine Verbindung über einen Draht-Federanker hergestellt.

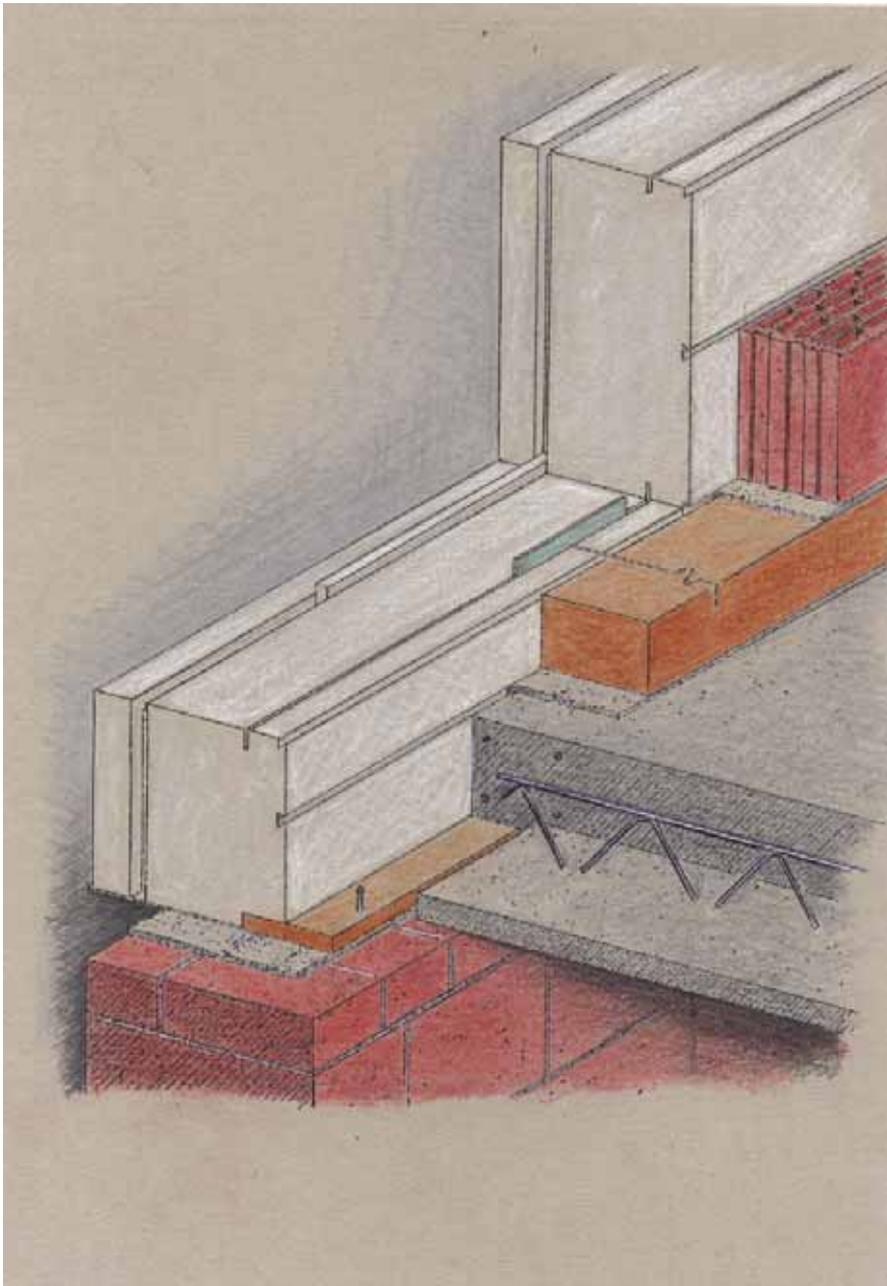


In der nebenstehenden Abbildung ist der Basispunkt für eine Ausführung mit der Wärmedämmung unter der Kellerdecke dargestellt. Die Dämmung mit eingefrästen Schwalbenschwanz-Nuten wird als „verlorene“ Schalung auf die Deckenschalung gesetzt.

Ein Basiselement aus Wärmedämmung und Thermische Trennung wird in Mörtel auf die Kellerwand verlegt. Dieses Basiselement ist damit zugleich ein Schalelement für die Betondecke. Eine eingefräste Nut ist der Anhaltspunkt für die Oberkante der Betondecke. Die Oberkante des Basiselements ist gleichzeitig die Oberkante der erforderlichen Kimm-schicht. Kimm-schicht

und Basiselement werden zusätzlich noch mit dem Draht-Federanker verbunden. Die nächste Schicht des Dämmsystems wird darauf verlegt und anschließend wird z.B. mit großformatigen Mauersteinen dagegen gemauert.

3.5.4 Basispunkt eines integrierten Bausystems Version 1 (Dämmung auf der Kellerdecke)

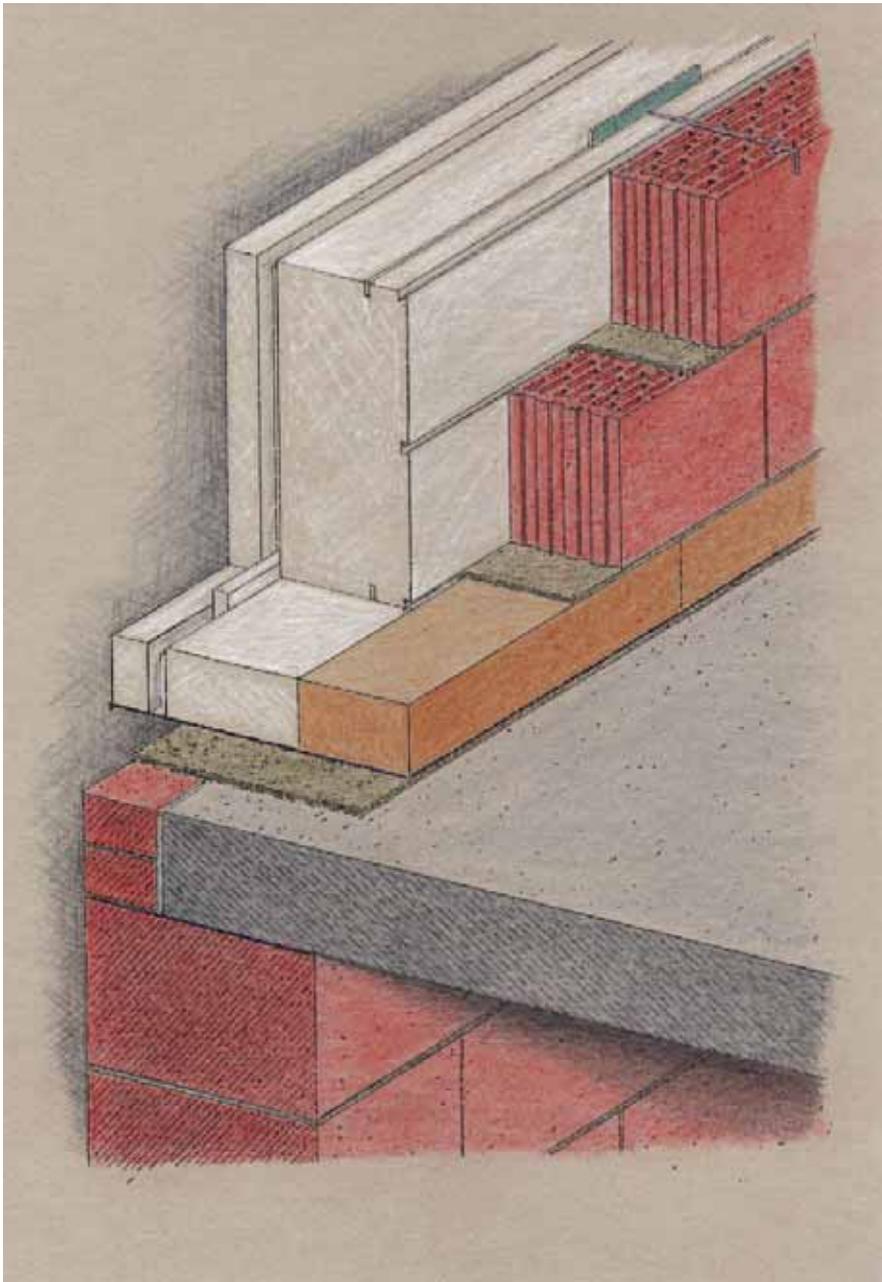


Bei dieser Variante des Bausystems ist die Wärmedämmung über der Kellerdecke vorgesehen.

Das Basiselement des Systems ist gleichzeitig die Deckenrand-Schalung. Auch hier ist die Oberkante der Decke durch eine waagrechte Nute markiert und die Oberkante des Dämmelements ist wieder die Oberkante Kimmschicht, die in diesem Fall aus einem druckfesten und zugleich wärmedämmenden Material besteht. Kimmschicht und Dämmelement werden mit dem Draht-Federanker verbunden. In der Abbildung ist der Dämmblock der zweiten Schicht für kleinformatiges Mauerwerk mit einer Schichthöhe von 25 cm vorgesehen.

Die Schwalbenschwanznutte in der Mitte des Dämmblocks gibt die genaue Schichthöhe an und wird beim Mauern mit Mörtel ausgefüllt. Die Ober- und Unterkante der Dämmelemente weisen jeweils eine halbe Schwalbenschwanznut auf, so dass beim aufeinander setzen der Elemente eine Schwalbenschwanznut entsteht, die ebenfalls mit Mörtel ausgefüllt wird. Zusammen mit den Draht-Federankern entsteht in einem Arbeitsgang die wärmegeämmte Außenwand mit solider Verbindung zwischen Wand und Wärmedämmung.

3.5.5 Basispunkt eines integrierten Bausystems Version 2 (Dämmung auf der Kellerdecke)

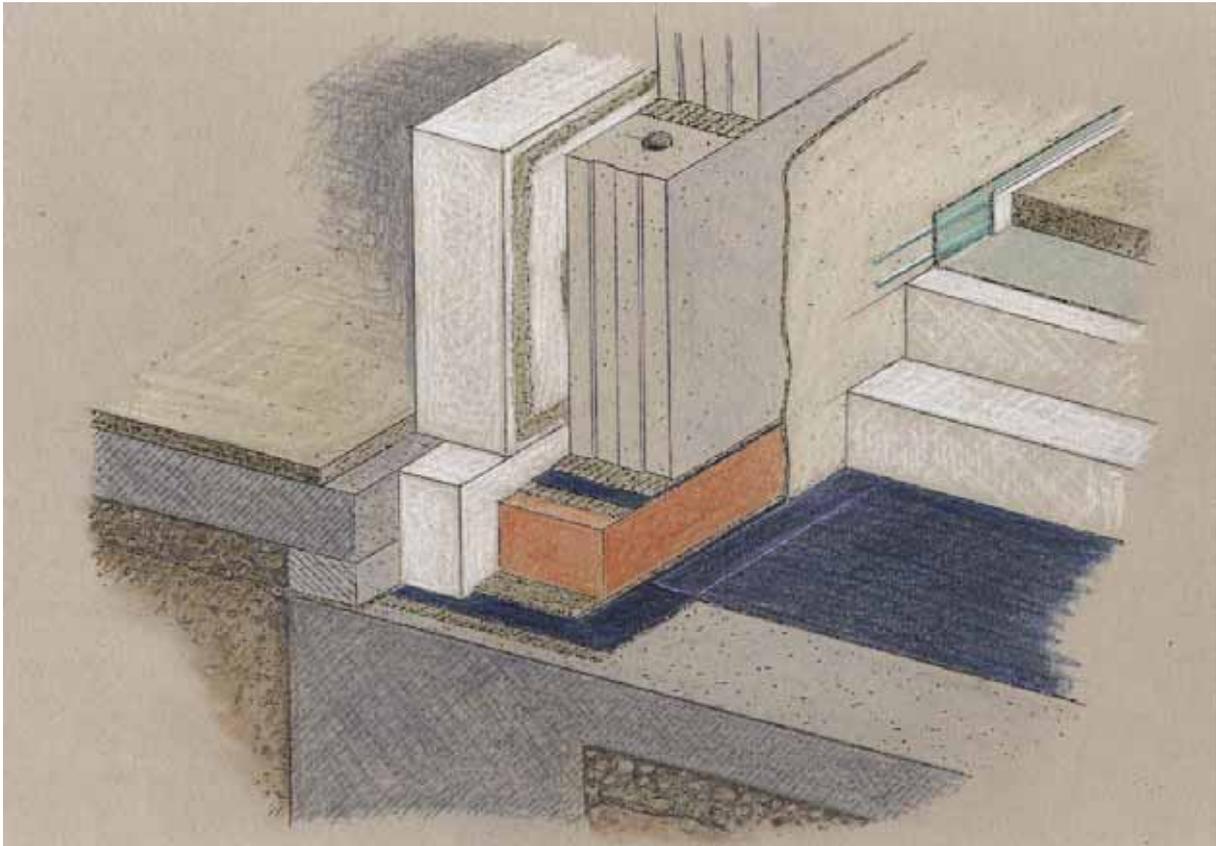


Wenn die Wärmedämmung auf der Kellerdecke ausgeführt wird, muss die thermische Trennung unter dem aufgehenden Mauerwerk und oberhalb der Kellerdecke hergestellt werden.

Ein vorgefertigtes Basis-Komplettelement mit unterer Putzabschlusskante und Putzbeschichtung auf der Unterseite ist zugleich die Deckenschalung. Die Innenkante des Basiselements ist gleichzeitig die Außenkante des Mauerwerks.. Die Oberkante des Basiselements ist wieder zugleich die Oberkante der Kimmschicht, die in diesem Fall aus wärmedämmenden Material bestehen muss. Diese erste Schicht wird, wie immer, besonders sorgfältig verlegt.

Nach dem Aushärten des Mörtels wird die erste Schicht der Dämmelemente verlegt. Ein Nut-Federsystem sorgt für eine exakte Verlegung der Dämmelemente. Dadurch, dass in den Dämmblöcken die genaue Schichthöhe durch die eingefrästen Schwalbenschwanz-Nuten vorgegeben ist, ist gleichzeitig eine Arbeitshilfe beim Erstellen des Mauerwerks entstanden. Ist erst einmal die Basisschicht exakt verlegt, dann kann der Maurer Wasserwaage und Schnur beiseite legen. Durch diese Arbeitshilfe eignet sich dieses Bausystem auch für den Selbstbau.

3.5.6 Basispunkt einer Trennwand zwischen Keller und Wohnraum



Basispunkt einer Innenwand, die gleichzeitig eine Trennwand zwischen einem Wohnraum und einem Kellerraum, der außerhalb der thermischen Hülle liegt, ist. Wenn man einen Höhenversprung zwischen Wohnraum und Keller vermeiden will, dann muss, entsprechend der Dämmstärke mit Fußbodenaufbau die Wohnraumbodenplatte tiefer liegen. Die thermische Trennung unter dem Mauerwerk wird bei allen Innenwänden wie vorher beschrieben wurde ausgeführt. Zwischen der Bodenplatte des Kellers und der Mittelwand muss eine Perimeterdämmung eingebaut werden. Diese Trennwand muss dann auf der Kellerseite mit einer Wärmedämmung versehen werden, wobei eine Dämmstärke von 15 bis 20 cm ausreichend ist.

Der Innenputz sorgt für die erforderliche Luftdichtheit. Es ist daher besonders sorgfältig darauf zu achten, dass er überall dicht an andere Bauteile anschließt. Wie in der Abbildung dargestellt, muss bis zur Bodenplatte verputzt werden. Dann wird die Horizontalabdichtung gegen Feuchtigkeit durchgeführt. Hierbei ist zu beachten, dass diese Schicht tauwasserfrei bleibt, das heißt, dass die Folie unter dem Estrich einen höheren S_d -Wert haben muss. Nach dem Aufbringen der Wärmedämmung wird die PE-Folie verlegt. Das Verlegen dieser dampfbremsenden Schicht muss sehr sorgfältig erfolgen, vor allem der Anschluss am Putz ist dicht herzustellen. Dies geschieht durch Verkleben der Folie am Putz oder ein Anpressen der Folie durch den Estrich über einen elastischen Randstreifen.

Aufbau der Regelbauteile

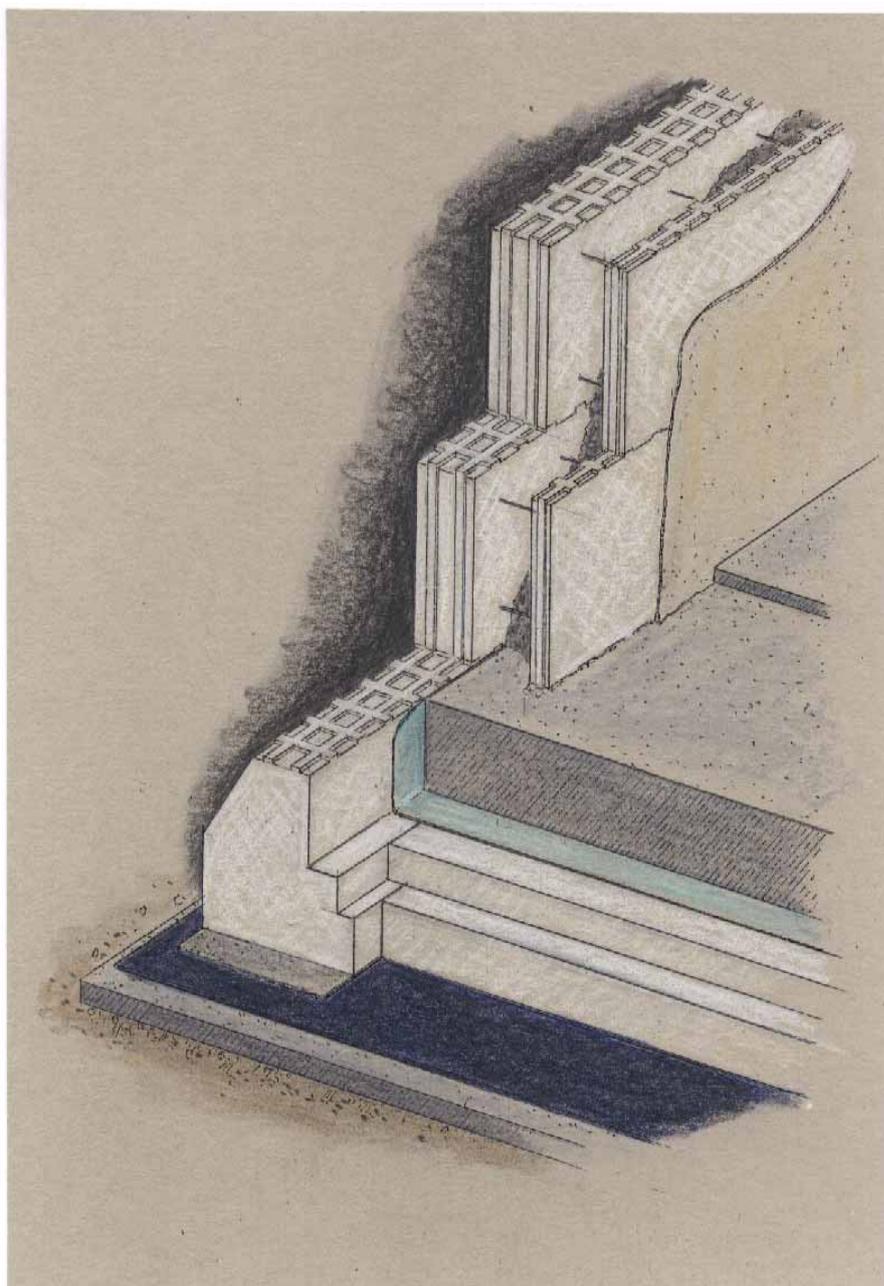
1	Außenwand 2		
Bauteil Nr. Bauteil-Bezeichnung			
Wärmeübergangswiderstand in m ² K/W		innen 1/α _{oi} :	0.13
		außen 1/α _{oa} :	0.17
Wärmeleitfähigkeit λ		in W/(mK)	
Dicke d		in mm	
Teiffläche 1	Teiffläche 2 (optional)	Teiffl. 1	Teiffl. 2
1. Wärmedämmung		0.040	
2. KS 175		0.990	
3. Innenputz		0.700	
4.			
5.			
6.			
Anteil Teiffläche 2 : <input type="text"/>		U-Wert: 0.236	W/(m ² K) 33.5 cm

3	Bodenplatte 2		
Bauteil Nr. Bauteil-Bezeichnung			
Wärmeübergangswiderstand in m ² K/W		innen 1/α _{oi} :	0.13
		außen 1/α _{oa} :	0
Wärmeleitfähigkeit λ		in W/(mK)	
Dicke d		in mm	
Teiffläche 1	Teiffläche 2 (optional)	Teiffl. 1	Teiffl. 2
1. Estrich		1.200	
2. Wärmedämmung		0.040	
3. Stahlbeton-Decke		2.100	
4.			
5.			
6.			
Anteil Teiffläche 2 : <input type="text"/>		U-Wert: 0.129	W/(m ² K) 48.0 cm

Wärmebrückenverlustkoeffizient: $\Psi_a = 0.007 \text{ W/(mK)}$

3.5.7 Massivbauweise mit Schalungselementen aus Styropor

Mehrere Anbieter von Schalungselement-Bausystemen haben den Passivhausstandard mit in ihr Lieferprogramm aufgenommen. Die bekannten Schalungselemente aus Styropor wurden durch neue Außenwandelemente mit einer dickeren Wärmedämmschicht auf der Außenseite ergänzt.

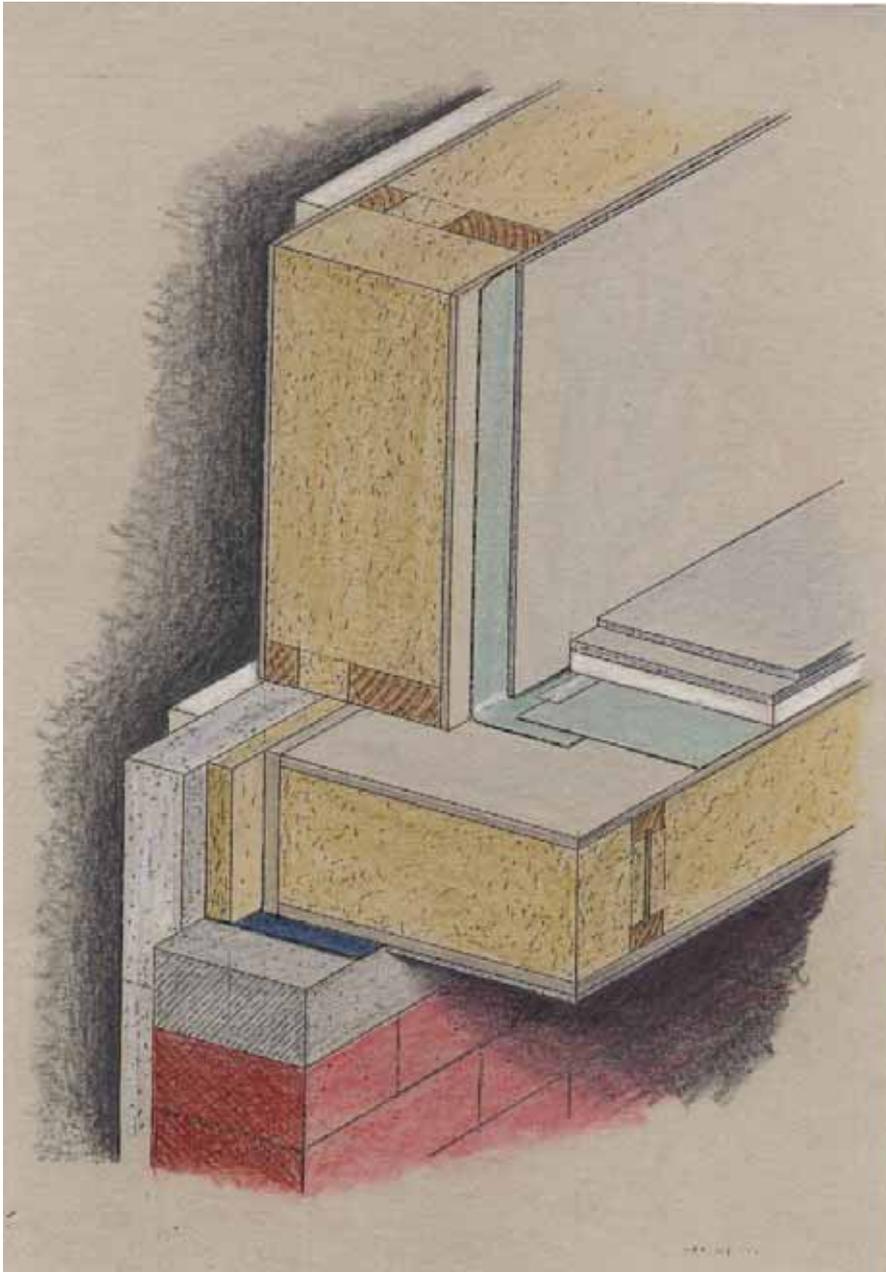


Auf diesem Blatt wird eine Basisausbildung dargestellt für ein nicht unterkellertes Haus mit der Wärmedämmung unter der Bodenplatte. Auf einer Sauberkeitsschicht mit Feuchtigkeitssperre wird ein Basiselement exakt nach Plan und in Waage in Mörtel gesetzt. Dann wird die druckfeste Wärmedämmung verlegt. Darauf kommt eine Dampfbremse, die einen größeren s_d -Wert aufweisen muss als die Feuchtigkeitssperre. Das Basiselement ist zugleich Schalung für die Bodenplatte. Nach dem betonieren der Bodenplatte werden die Schalelemente der Außen- und Innenwände aufeinander gesetzt und anschließend mit Beton verfüllt.

Der Innenputz muss an die Bodenplatte anschließen, er stellt die innere luftdichte Schicht dar. Der Estrich kann dann als Verbund- oder Trittschallestrich hergestellt werden.

3.5.8 Holzleichtbauweise, ein Fußpunkt über Keller

Eine Anzahl Fertighaushersteller bietet bereits Passivhäuser an. Hierbei kommen verschiedene Holzkonstruktionen zur Anwendung, die hier nur beispielhaft dargestellt werden können. Bei der Holzleichtbauweise muss das Augenmerk besonders auf das Luftdichtungskonzept gerichtet werden.



Bei Fertighäusern wird in der Regel ein Keller in konventioneller Bauweise erstellt, der mit dem Ringanker oberhalb der Wände endet. Bevor die vorgefertigten Deckenelemente versetzt werden, muss auf dem Ringbalken eine Feuchtigkeitssperre verlegt werden. In die großformatigen Wandelemente ist meist eine Dampfbremse (PE-Folie) integriert. Die Dampfbremse muss an allen Anschlusspunkten ausreichend überstehen (ca. 20 – 30 cm), um eine sichere Abdichtung zu anderen Wand- oder Deckenelementen herstellen zu können. Der Folienüberstand wird auf die Decke gelegt und die Dampfbremse der Kellerdecke wird daran angeschlossen.

Bevor die Trittschalldämmplatten verlegt werden, empfiehlt es sich, die Folienanschlüsse zumindest in den Ecken zu verkleben.

Die Außenwände werden, wie bei Fertighäusern üblich, verkleidet oder mit einem Wärmedämmverbundsystem versehen.

3.6 Passivhaus-Fenster

hohe Behaglichkeit, positive Energiebilanz

Die gute Wärmedämmung von Passivhäusern im Bereich der Wände, Dächer und Decken ist eine Technik, die prinzipiell schon seit einigen Jahrzehnten zur Verfügung steht. Dass die in diesem Handbuch dokumentierten Details nicht schon früher entwickelt und verbreitet wurden, liegt vor allem daran, dass der Mainstream der Bauwirtschaft weder eine Notwendigkeit noch einen Sinn in einer derart umfassenden Verbesserung der Wärmedämmung gesehen hat. Diese Einschätzung hatte sogar eine gewisse Berechtigung; allein die Dämmung der opaken Bauteile zu verbessern, während andere Komponenten bei den üblichen hohen Wärmeverlusten beharren, würde irgendwann keinen bedeutenden Effekt mehr bringen.

Völlig anders ist die Situation beim Bauteil Fenster: Hier stehen industriell gefertigte Verglasungen und Fensterrahmen, die den hohen Qualitätsansprüchen des Passivhausstandards genügen, erst seit Mitte der neunziger Jahre zur Verfügung. Der Übergang vom "normalen" zum für das "Passivhaus geeigneten" Fenster ist ein qualitativer Sprung in zweierlei Hinsicht:

- Passivhaus-Fenster erlauben es erstmals, auch in unserem Klima eine hervorragende Behaglichkeit in Kälteperioden unmittelbar in Fensternähe **ohne Heizkörper unter dem Fenster** zu gewährleisten.
- Passivhaus-Fenster erlauben es darüber hinaus, auch in der Kernzeit des mitteleuropäischen Winters mehr passiv nutzbare Sonnenenergie in die dahinterliegenden Räume zu bringen, als Wärme durch sie verloren geht. Damit wird mit Passivhaus-Fenstern eine passiv solare Architektur auch in Mitteleuropa möglich.

In einem Passivhaus soll die Behaglichkeit auch ohne konventionelle Heizkörper garantiert werden. Dabei stellen die Fenster traditionell den kritischsten Punkt dar: Auch sehr gute Fenster haben nämlich einen weit höheren Wärmedurchgangskoeffizient als gut gedämmte opake Wände. Daher ist bei kaltem Wetter in der Nacht die innere Oberflächentemperatur beim Fenster am niedrigsten. Bei heute üblichen Wärmeschutzverglasungen und normalen Fensterrahmen liegen die Oberflächentemperaturen jedenfalls unter 15°C. Dies hat beim normalen Fenster folgende Konsequenzen:

- Sitzt oder steht man vor dem Fenster, so beträgt die **Strahlungstemperaturasymmetrie** (Differenz der Wärmestrahlung aus dem Raum (um 21°C) und vom Fenster (um 15°C)) mehr als 6 Kelvin. Diese Differenz ist wahrnehmbar und wird wie eine Zugscheinung empfunden.
- Luft aus dem Raum kühlt sich an der kalten Fensteroberfläche ab. Die kalte Luft ist dichter als die warme Raumluft und fällt daher am Fenster entlang nach unten. Die Geschwindigkeit dieser Luftströmung ist jedenfalls am Fenster, aber auch in einer Bewegungsfahne am Boden entlang höher als 0,2 m/s. Insbesondere kalte Luftströmungen mit solchen Geschwindigkeiten sind als **Zugscheinung** am Knöchel wahrnehmbar (DIN 1946).
- Die kalte Abluftströmung am Fenster lagert sich am Boden als **"Kaltluftsee"** ab, Hier liegt das größte der aufgeführten Probleme: Die Temperatur am Fußboden kann unter 17°C betragen, während unter der Decke 26°C herrschen. Auch eine solche Schichtung wird als unbehaglich empfunden.

Der Leser wird sich fragen, warum bei den drei genannten Problemen dann unsere normalen Wohnungen überhaupt behaglich bewohnbar sind. Die geschilderten Probleme sind in der Tat schon lange bekannt; die Lösung schafft die Heizung - eines der Grunddogmen der Heizungstechnik lautet: **Unter das Fenster gehört ein Heizkörper**. Mit dem Heizkörper unter dem Fenster lösen sich die drei genannten Probleme in Wohlgefallen auf:

- Die warme Heizkörperoberfläche gleicht die niedrige Strahlungstemperatur des Fensters aus.
- Kalte Luft kann nicht mehr von der Fensteroberfläche in den Raum fallen, weil der warme Luftstrom vom Heizkörper im Gegenteil eine Umkehrung der Raumlufthalze erzwingt. Die Luftgeschwindigkeiten liegen deutlich unter 0,2 m/s.
- Aus diesem Grund kann auch kein Kaltluftsee mehr entstehen.

Im **Passivhaus** jedoch gibt es den Heizkörper u.U. nicht mehr. Die gewohnte Behaglichkeit muss nun durch die Qualität des Fensters allein garantiert werden; dazu müssen die **inneren Oberflächentemperaturen** bei maximal raumhohen (2,50 m) Fenstern jedenfalls **über 17°C** liegen. Dann

- ist die Strahlungstemperatur-Asymmetrie so gering, dass sie nicht mehr wahrgenommen werden kann. Man kann sich unmittelbar bei -10°C Außentemperatur innen vor ein Passivhaus-Fenster stellen und spürt keinen Kälteentzug,
- sinken die maximalen Luftgeschwindigkeiten am Boden auf deutlich unter 0,2 m/s, auch wenn kein Heizkörper unter dem Fenster steht,
- beträgt die Temperatur am Fußboden um 20°C, unter der Decke maximal 22°C; auch die Temperaturschichtung im Raum liegt daher im Behaglichkeitsbereich.

Damit ist das Passivhausfenster trotz der nur quantitativen Verbesserung der Wärmedämmung in seinen qualitativen Auswirkungen revolutionär: Bei mitteleuropäischen Auslegungsbedingungen und maximal raumhohen (2,5 m) Fenstern kann der Raum ohne Störung der Behaglichkeit auch ohne Heizkörper unter dem Fenster auskommen.

Welches sind nun die Anforderungen an ein Passivhaus-Fenster?

Um bei üblichen Auslegungsbedingungen (-10°C außen, 20°C innen) eine innere Oberflächentemperatur von mindestens 17°C zu erhalten, darf der Wärmedurchgangskoeffizient des Fensters U_W (w für englisch "window") nicht größer als

$$U_W \leq 0,8 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

[PH-Fen]

sein. Diese Bedingung ist für den tatsächlich wirksamen Wärmedurchgang zu erfüllen, d.h. für den auf die Fensterfläche gemittelten Wärmeverlust inklusive

- Verlust durch die Verglasung (bestimmt durch U_g , Glas-Wärmedurchgangskoeffizient)
- Regelverlust durch den Rahmen (bestimmt durch U_f , f für englisch "frame")

- Wärmebrückenverlust durch den Randverbund (bestimmt durch den Wärmebrückenverlustkoeffizienten Ψ_g des Anschlusses Glas/Rahmen).

Nach der bis vor kurzem in Deutschland üblichen Berechnung wurde der letztgenannte Verlust einfach vernachlässigt. Das ist bei Fenstern der hier erforderlichen Qualität nicht mehr statthaft, da die Bedeutung des Zusatzverlustes am Glasrandverbund so stark zunimmt, dass es zu schädlichen Fehleinschätzungen kommt. Die neue europäische Norm EN 10077 berücksichtigt alle oben genannten Verluste und bestimmt den Fenster- U_w -Wert zu

$$U_w = (A_g U_g + A_f U_f + I_{\text{Glasrand}} \Psi_g). \quad \text{[U-Fen]}$$

Der so bestimmte U_w -Wert kommt den tatsächlichen Verhältnissen am Fenster sehr nahe. Die Passivhausbedingung [PH-Fen] ist daher in Bezug auf diesen, nach EN 10077 bestimmten Fenster-U-Wert zu verstehen. Darüber hinaus ist dafür Sorge zu tragen, dass auch durch die Einbauwärmebrücke keine bedeutenden zusätzlichen Wärmeverluste entstehen. Wie ein solcher wärmebrückenfreier Einbau eines Fensters in eine gedämmte Fassade aussehen kann, wird auf den folgenden Seiten dieses Konstruktionshandbuches dargestellt und erläutert.

Neben der Behaglichkeitsbedingung [PH-Glas] muss ein für das Passivhaus geeignetes Fenster aber auch noch eine ausreichend hohe Energieeffizienz aufweisen. Auf Grund des viel höheren Wärmeverlustes eines Fensters im Vergleich zu einer opaken Wand scheint dies zunächst schwierig. Durch das Fenster kommt aber andererseits Solarenergie in den Raum, die im Winter als passiv solarer Gewinn quasi mitheizt. Für den solaren Energieeintrag sind der Gesamtenergiedurchlassgrad g der Verglasung, der Glasflächenanteil, die Verschmutzung und die Verschattung maßgeblich. Wenn die Bedingung

$$1,6 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}) g \geq U_g \quad \text{[EN-Fen]}$$

erfüllt ist, dann gibt es für normale Fenster mit nicht zu hoher Verschattung bei Orientierungen in Südrichtung $\pm 33^\circ$ eine positive Energiebilanz: Die Wärmegewinne überwiegen dann die Wärmeverluste des Fensters in der Heizperiode eines Passivhauses.

Wie muss ein Passivhaus-Fenster aussehen, das alle Bedingungen erfüllt?

Ein Blick auf die Bestimmungsgleichung [U-Fen] zeigt schnell, dass sowohl die Verglasung, als auch der Rahmen und sogar der Randverbund außerordentlich hohe Qualitäten aufweisen müssen, um den kleinen Wärmedurchgangskoeffizienten von $0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ für das gesamte Fenster zu erreichen. Weder

- eine normale Wärmeschutzverglasung (2-Scheiben, $U_g=1,2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$), noch
- ein normaler Fensterrahmen mit U_f zwischen $1,6$ und $2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, noch
- ein normaler Randverbund und Glaseinstand (Ψ_g um $0,04$ bis $0,06 \text{ W}/(\text{mK})$)

sind in einem Passivhaus-Fenster tolerierbar. Schon eine "Normalkomponente" der oben genannten Art macht es unmöglich, U_w kleiner 0,8 W/(m²K) einzuhalten. Passivhausfenster müssen daher dreierlei Elemente aufweisen:

- Sie brauchen eine sehr gute Verglasung mit U_g kleiner oder gleich 0,8 W/(m²K); dazu sind derzeit nur **Dreischeiben-Wärmeschutzverglasungen** auf dem Markt.
- Sie brauchen einen **hochgedämmten Rahmen**, wobei U_f -Werte zwischen 0,5 und 0,7 W/(m²K) mit vertretbarem Aufwand erreichbar sind.
- Sie brauchen einen thermisch getrennten Randverbund **und** einen **erhöhten Glaseinstand**, um die Wärmebrücke am Glasrand zu reduzieren.

Glücklicherweise bietet die Industrie heute alle oben genannten Essentials eines Passivhaus-Rahmens in großer Auswahl am Markt an. Dies war noch vor 3 Jahren (1997) nicht der Fall. Heute gibt es

- Dreischeiben-Wärmeschutzverglasungen von mindestens vier verschiedenen Herstellern mit U_g -Werten (Bundesanzeiger) zwischen 0,6 und 0,8 W/(m²K) und g-Werten zwischen 38% und 60%,
- Fensterrahmen mit U-Werten zwischen 0,5 und 0,7 W/(m²K) mit einem hohem Glaseinstand von 10 verschiedenen Herstellern aus Holz, Holz/Alu, gedämmten PVC-Profilen und Polyurethan-Integralschaum. Die Autoren dieses Konstruktionshandbuches haben mittelständische Betriebe maßgeblich bei der Entwicklung dieser verbesserten Fenster unterstützt.
- Thermisch getrennte Abstandshalter (englisch "warm edge", warme Kante) von mehr als 3 verschiedenen Anbietern am deutschen Markt.

Aus dem vielfältigen Angebot wird für nahezu jeden Geschmack etwas zufriedenstellendes zu finden sein. In den folgenden Abbildungen sind einige der heute am Markt verfügbaren Passivhaus-Fenster dargestellt (ohne Anspruch auf Vollständigkeit und ohne spezifische Empfehlung).

In erster Linie geht es somit beim Passivhaus-Fenster um eine geeignete Produktauswahl unter qualitativ sehr hochwertigen Fenstern. In zweiter Linie geht es aber auch darum, diese Fenster in geeigneter Form in die Passivhaus-Außenwand einzubauen. Bei dieser Aufgabe will das vorliegende Konstruktionshandbuch helfen.

Der Fenstereinbau soll

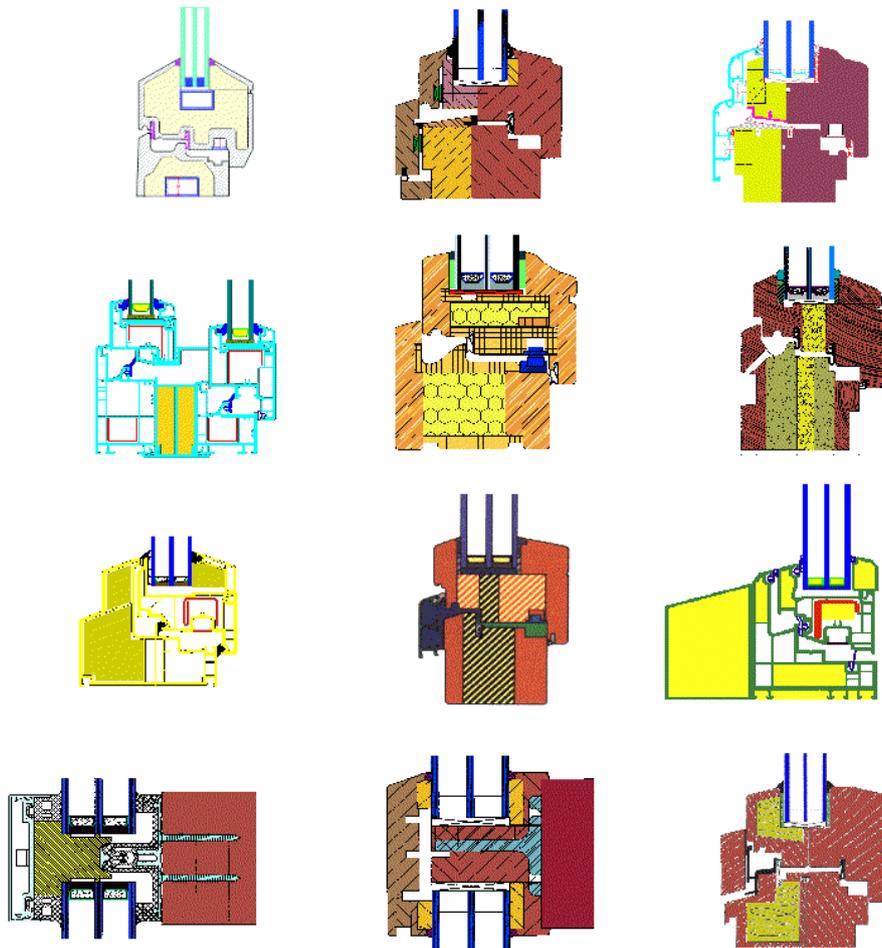
- luftdicht und
- wärmebrückenfrei

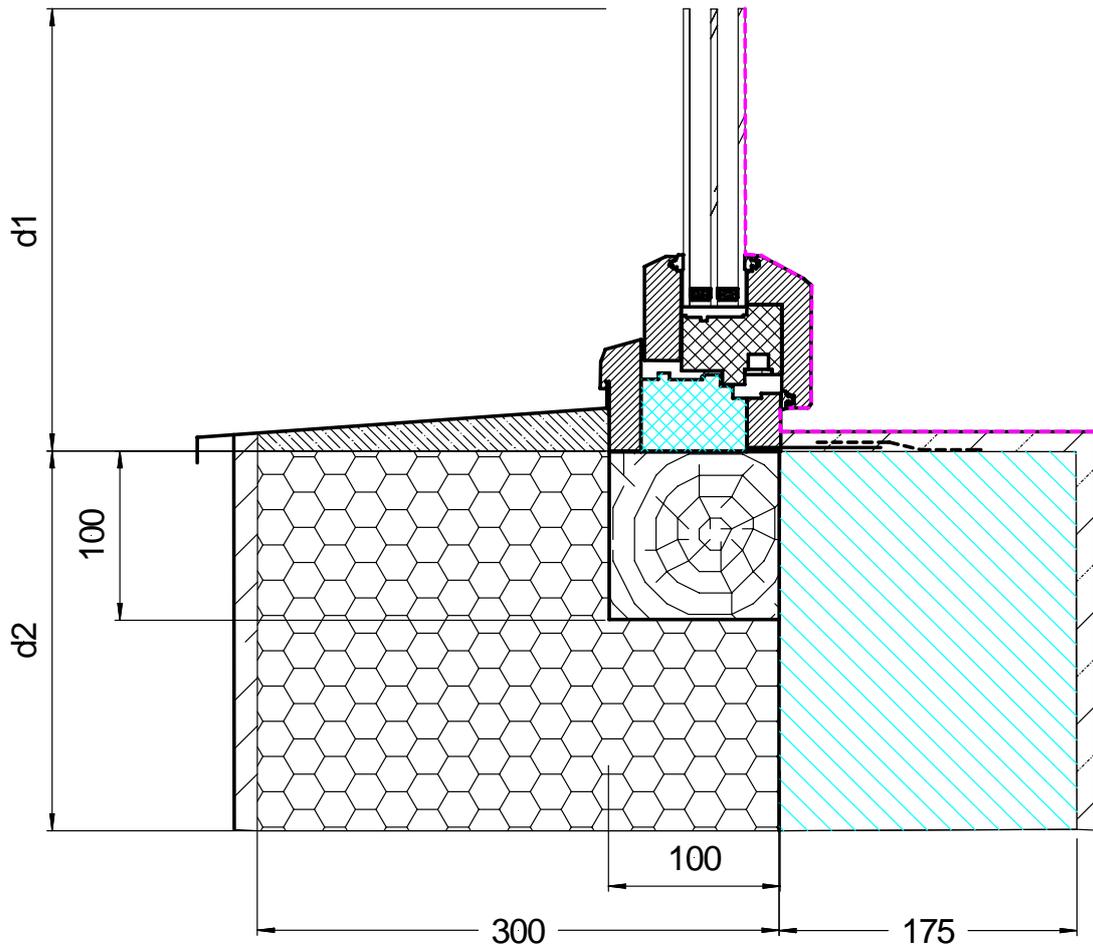
erfolgen. Dies ist unter Beachtung der gleichen Prinzipien möglich, wie bei den anderen schon beschriebenen Bauteilanschlüssen:

- Man bedenke zunächst den flächigen wärmebrückenfreien Anschluss des Fensters in der umlaufenden Dämmebene der Außenwand und
- achte dann auf einen lückenlosen Übergang von der Dichtebene des Fensters (i.d.R. Innenoberfläche des Rahmens) an die Dichtebene der Außenwand (welche durch den Putz, durch eine Werkstoffplatte oder durch eine Dichtbahn (Folie/Kraftpapier) gegeben ist).

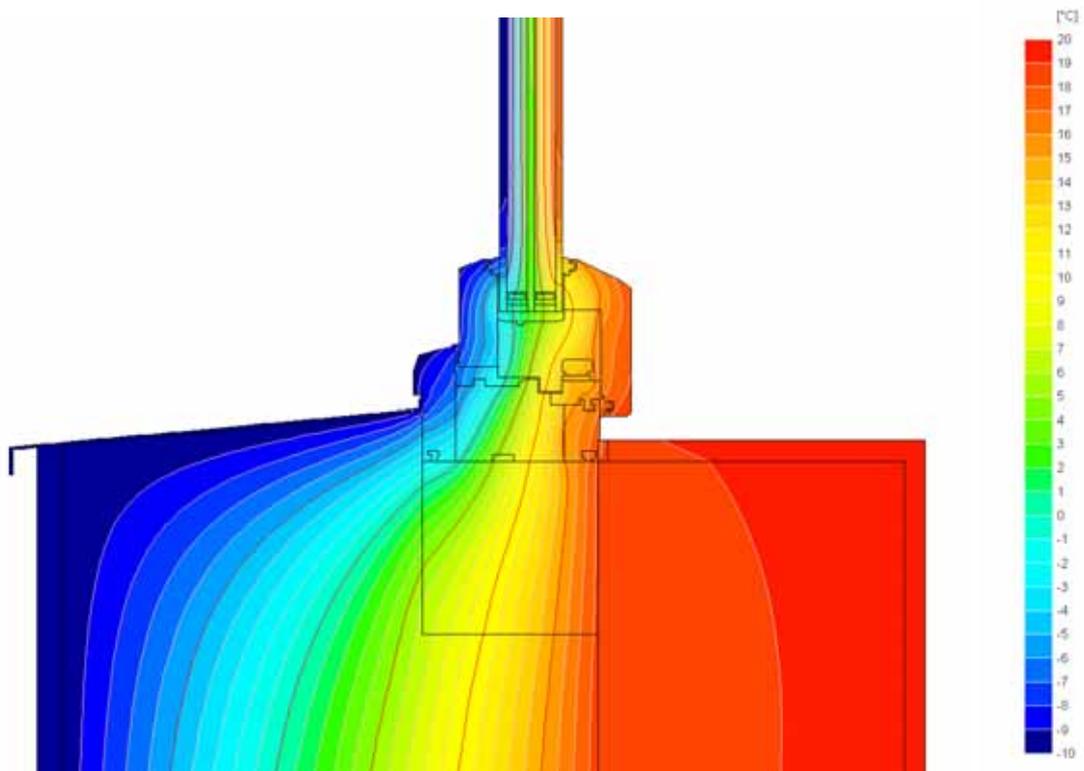
Wie beide Prinzipien hochwertig und dauerhaft erfüllt werden können, zeigen die folgenden beispielhaften Details.

Für die ebenfalls dokumentierten Anschlussberechnungen haben wir ein prototypisches Passivhaus-Fenster verwendet, welches nicht unter den in der Abb. zu findenden am Markt verfügbaren Fenstern ist. Wir vermeiden dadurch eine Bevorzugung/Benachteiligung ausgewählter Hersteller.

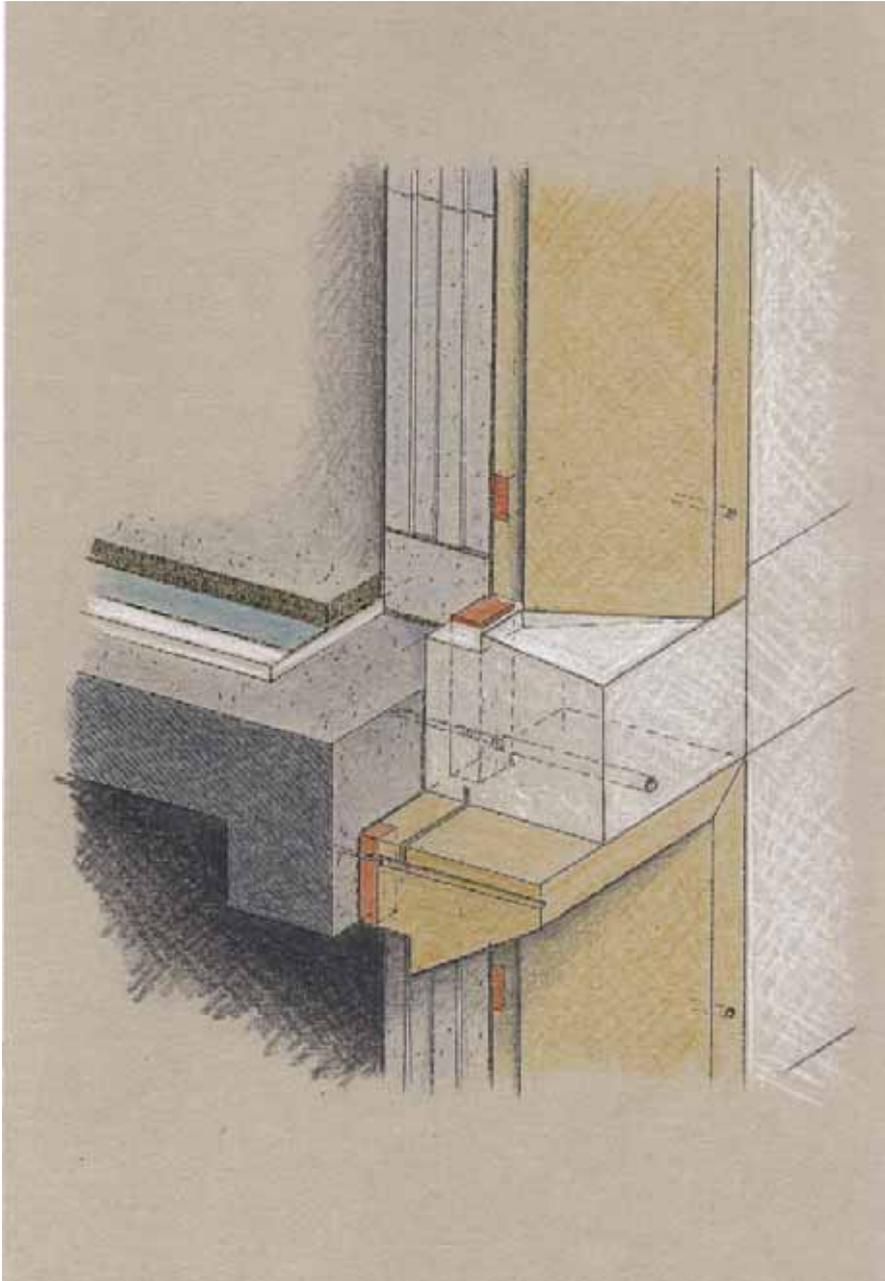




Fenstereinbau unten mit Holzklotz ($\Psi_{\text{Einbau}} = 0,053 \text{ W/mK}$), bzw. Polyuretanrecyclat ($\Psi_{\text{Einbau}} = 0,037 \text{ W/mK}$) oder Befestigungswinkeln ($\Psi_{\text{Einbau}} = 0,020 \text{ W/mK}$)



3.6.1 Fensterlaibung mit Befestigungsmöglichkeiten für den Einbau von Fenstern

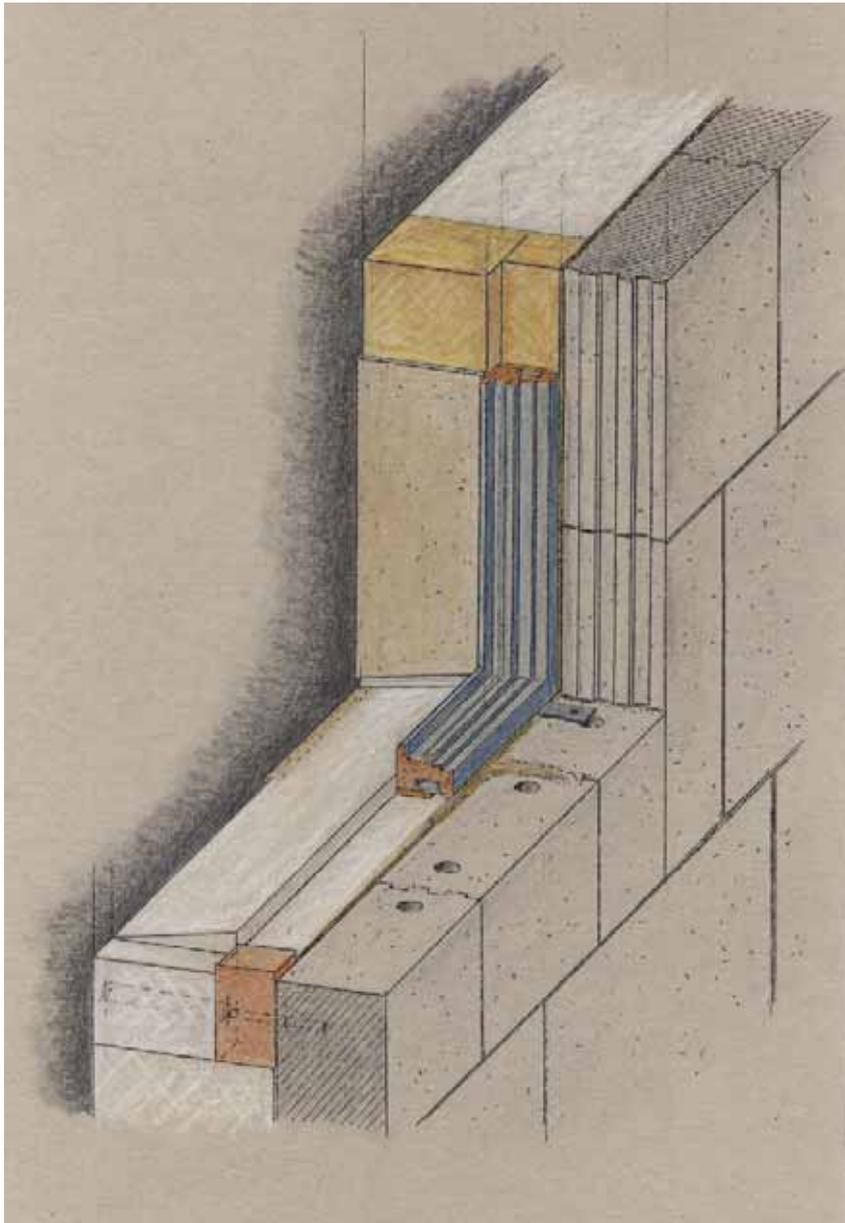


Um Wärmebrücken zu vermeiden, ist es erforderlich, dass bei Passivhäusern Fenster und Fenster-Türen in der Dämmebene liegen. Der Einbau von Fenstern ist in erster Linie die Angelegenheit des Fensterbauers, der in der Regel auch für die dichten Anschlüsse zu sorgen hat. Eine Grundsatzentscheidung ist, ob die Fenster vor oder nach dem Anbringen der Wärmedämmung eingebaut werden. Wenn die Fenster vor dem Anbringen der Wärmedämmung eingebaut werden, dann sind Metallwinkel oder Metallplatten, die die Lasten des Fensters auf die Wand übertragen, eine übliche Befestigungsform. Hierbei sollte allerdings geprüft werden, ob die damit verbundenen

Wärmebrücken unproblematisch sind. Vorgefertigte Fensterlaibungselemente mit Befestigungsmöglichkeiten für den Einbau von Fenstern sind im nebenstehendem Detail dargestellt. Die Laibungselemente aus Dämmstoff sind mit einem Anschlag für die Fenster versehen, wodurch der Fensterrahmen noch zusätzlich gedämmt wird. In die Laibungselemente sind Konsolen aus einem PU-Recyclingmaterial eingeklebt, die zum einen zur Befestigung der Elemente an der Wand herangezogen werden und zum andern der wärmebrückenminimierten Befestigung und Lastabtragung der Fenster dienen. In der Abbildung sind die Laibungselemente abgeschrägt dargestellt, das hat den Vorteil, dass die Verschattung der Fenster verringert wird.

3.6.2 Das Fenster im Wärmedämmverbundsystem

Die Anforderungen, die an passivhaustaugliche Fensterrahmen gestellt werden, können auf verschiedene Art und Weise erreicht werden. Die derzeit angebotenen Fenster lassen sich in drei Hauptgruppen gliedern: Rahmen vollständig aus PU-Schaum, PVC Rahmen mit Dämmung und Verbundkonstruktionen aus Holz PU-Schaum und PU-Recyclingmaterial oder Holzdämmstoffen. Für alle Konstruktionen gilt, dass die Fenster in der Wärmedämmebene montiert werden sollen.

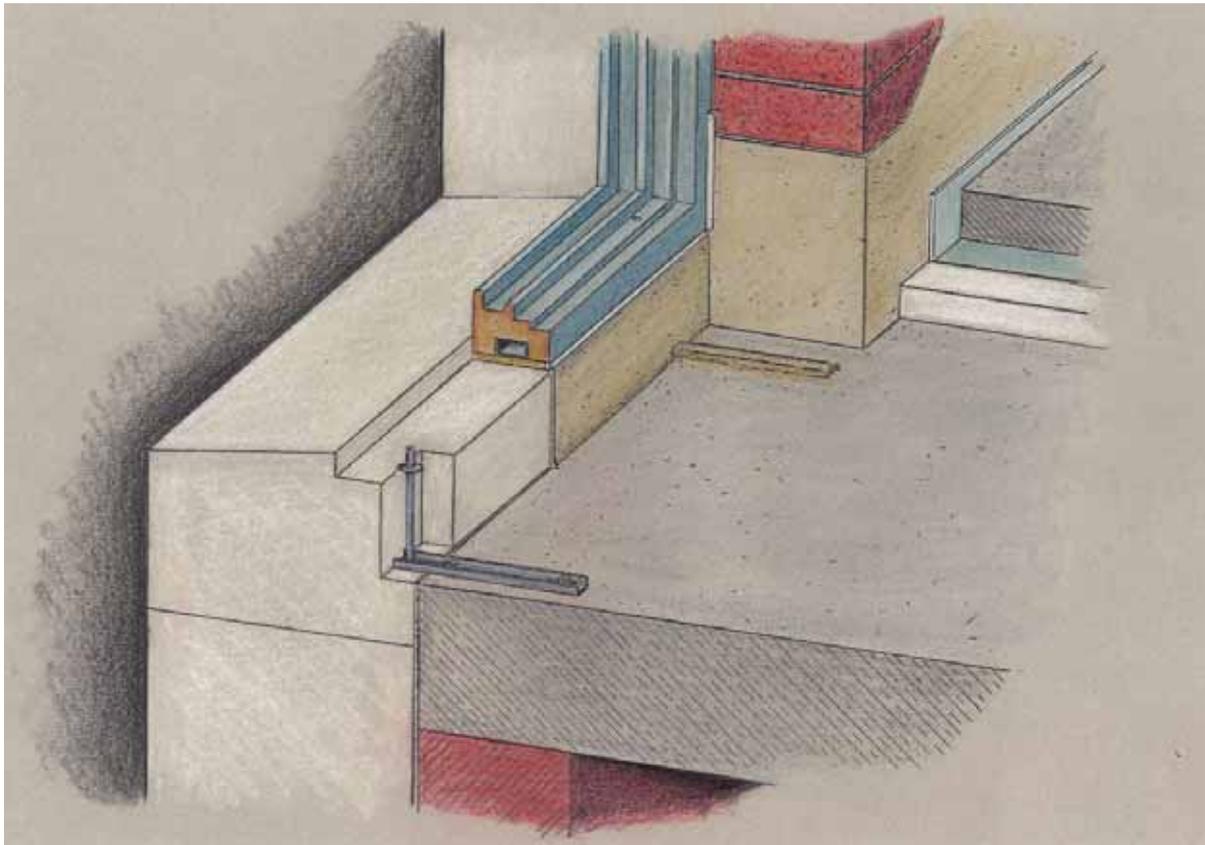


Auf der nebenstehenden Abbildung ist ein PU-Rahmen dargestellt, der in ein vorgefertigtes Laibungselement eingesetzt ist, das den Rahmen zum Teil überdeckt. Grundsätzlich gilt, dass der Fensteranbieter für den luftdichten Einbau der Fenster sorgen muss.

Die Luftdichtigkeit bei Massivbauten wird mit dem Innenputz hergestellt. Der Putz muss dauerhaft luftdicht an den Rahmen angeschlossen werden. Das kann z.B. auch durch einen Kellenschnitt mit anschließender dauerelastischer Verfürgung erfolgen. Die Lasten des Fensters werden z.B. über Metallaschen abgeleitet

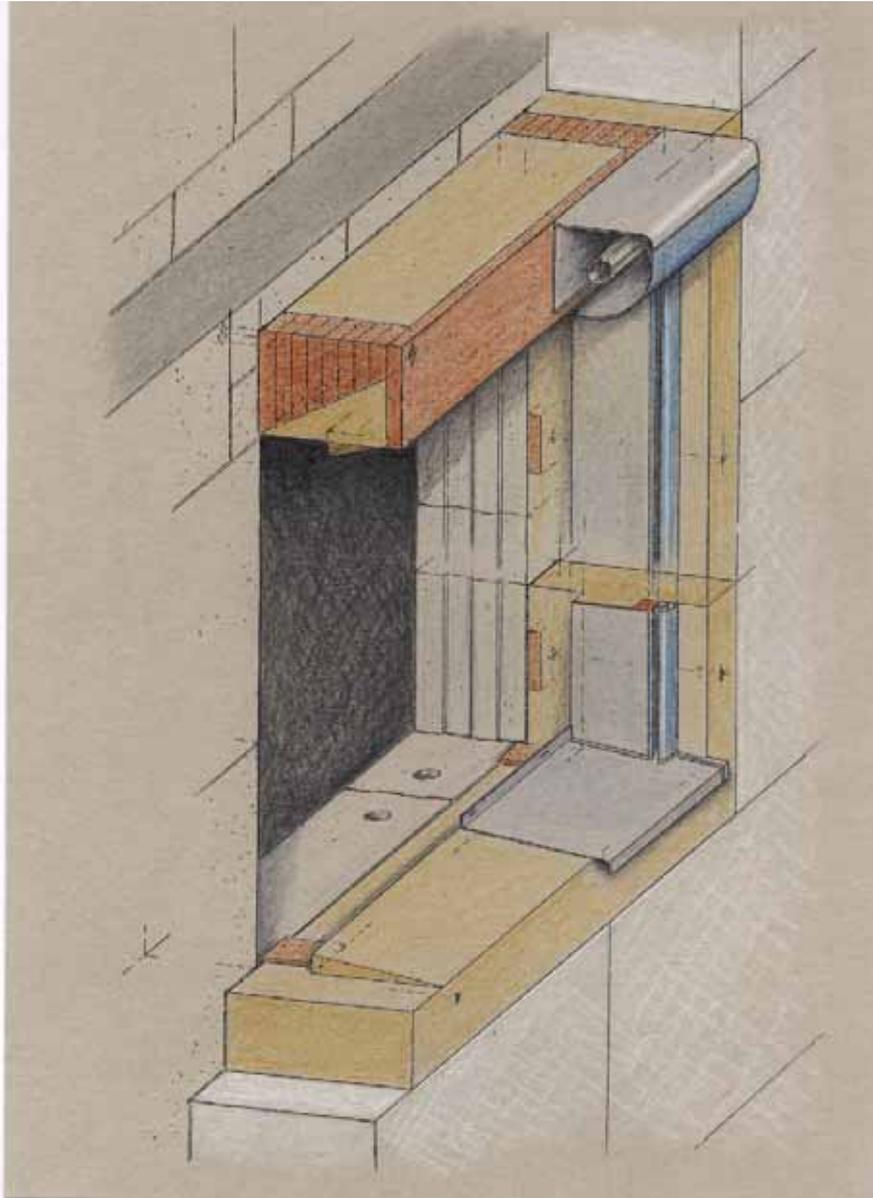
oder, wie in der Abbildung dargestellt, über Konsolen, die im Laibungselement eingeklebt sind. Die Einbautoleranz von ca. 1 cm wird dann in zwei Lagen mit Montageschaum ausgefüllt. Am Fensterrahmen werden innen und außen Putzanschlussprofile angeklebt und eingeputzt, damit ist eine gute Luftdichtigkeit hergestellt. Eine andere Art den luftdichten Anschluss herzustellen, ist ein am Fensterrahmen angeklebter Folienstreifen, der mit Streckmetall am Mauerwerk befestigt und eingeputzt wird.

3.6.3 Der Einbau von Fenstern und Fenstertüren im Passivhaus



Beim Einbau von Fenstertüren müssen in der Regel größere Lasten abgetragen werden und gleichzeitig die Höhendifferenz des Estrichs mit Trittschall- oder Wärmedämmung überbrückt werden. Hierfür stehen verschiedene Einbauelemente zur Verfügung, die an die Decke angedübelt werden und die, mittels einer Stell-schraube, exakt eine Höhenjustierung ermöglichen. Diese Einbauelemente müssen im Auflagerbereich in die Wärmedämmung eingebaut werden. Die Innenseite der Wärmedämmung muss dann, wie beim Außenputz, mit Klebemörtel und Gewebe-armierung verputzt werden. Dabei ist darauf zu achten, dass der Putzstreifen sicher an die Betondecke angeschlossen wird und gleichzeitig die Einbauschielen mit eingeputzt werden. Die Anschlussfuge zwischen Fensterrahmen und Putz muss mit einer dauerelastischen Versiegelung ausgeführt werden. Der Anschluss des Innenputzes an den Fensterrahmen erfolgt z.B. mit einen Putzprofil, das an den Rahmen angeklebt wird.

3.6.4 Rolläden für Passivhäuser

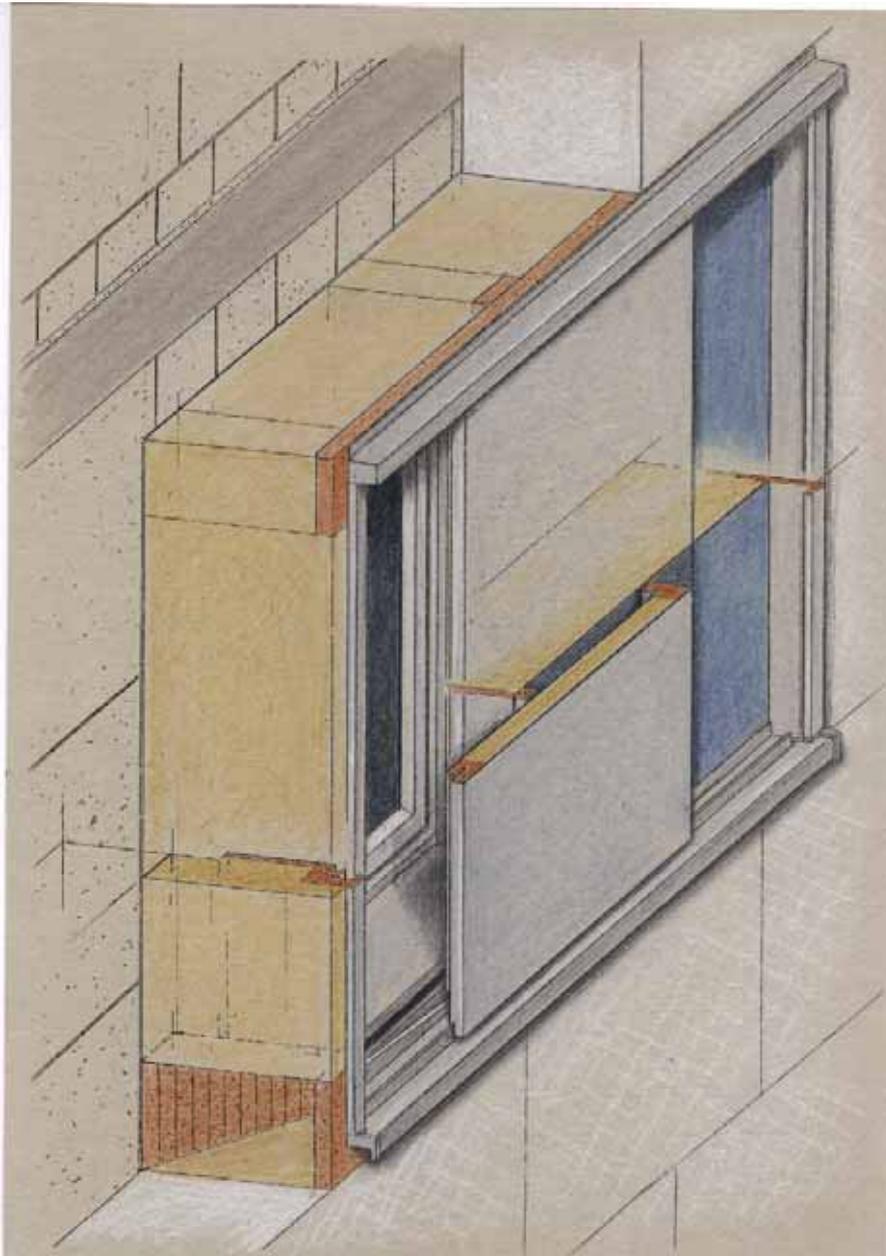


Häufig besteht bei Bauherrn der Wunsch, ein Gebäude mit Rolläden auszustatten. Bei Passivhäusern gilt auch hier der Grundsatz einer Wärmebrückenfreien Detailausbildung.

In der nebenstehenden Abbildung ist ein wärmebrückenfreier Einbau für handelsübliche Rolläden dargestellt. Hierfür können vorgefertigte Laibungselemente aus Polyurethan verwendet werden. Durch die geringere Leitfähigkeit des PU-Materials ist bei gleichem Dämmwert ein rückspringender Einbau möglich. Die Lastabtragung des Rolladenkastens erfolgt über Kraftanker, die in eine Konsole aus einem druckfesten PU-Recyclingprodukt im oberen Laibungselement eingepasst

sind. In die unteren und seitlichen Laibungselemente sind ebenfalls Konsolen eingearbeitet. Mit diesen Konsolen werden die Laibungselemente an der Wand angedübelt. Diese Konsolen dienen auch zur Befestigung und Lastabtragung der später anzubringenden Fenster, die bei Passivhäusern immer in der Dämmebene positioniert sein sollen. Die Laibungselemente sind mit einem Anschlag für den Einbau der Fenster versehen.

3.6.5 Temporärer Wärme- und Sonnenschutz



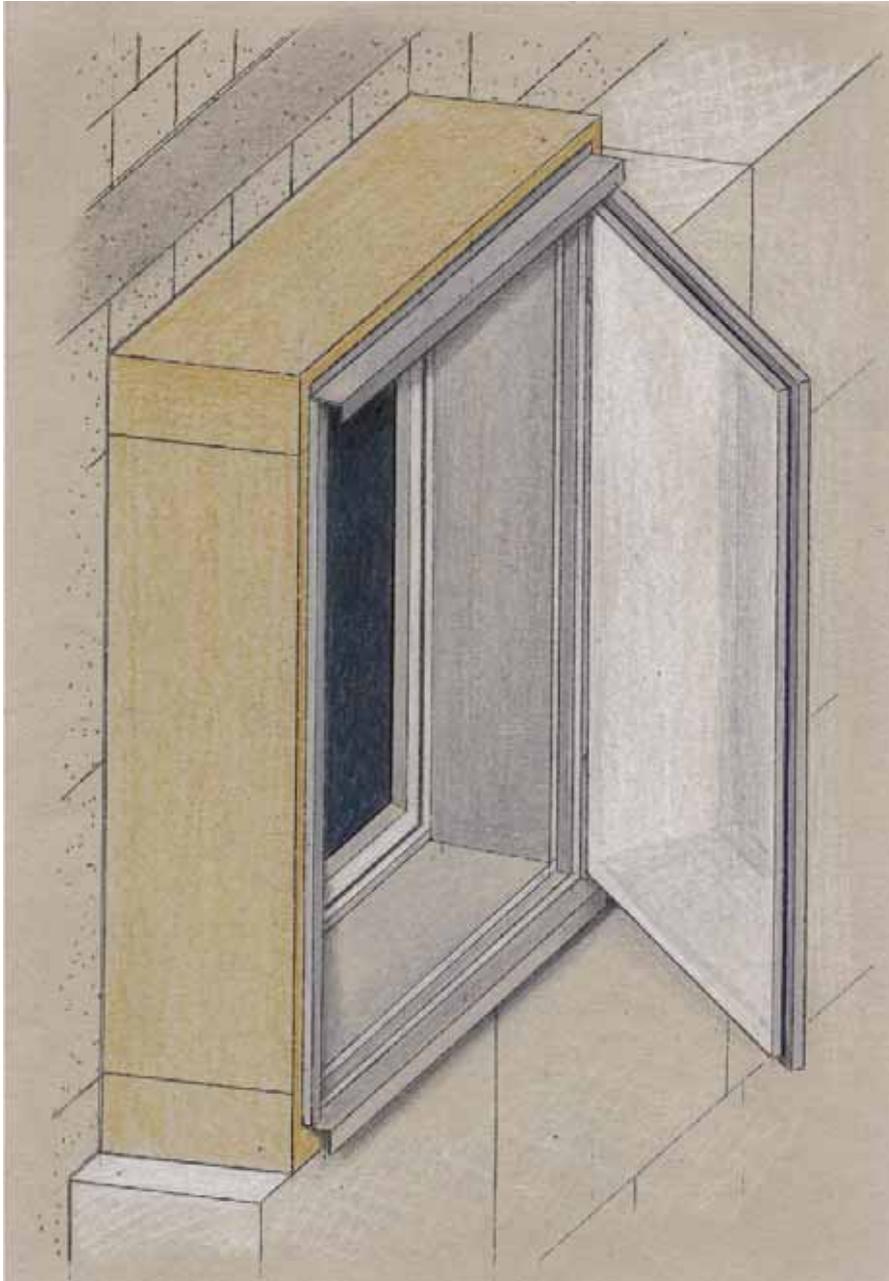
Die wichtigste Wärmequelle für Passivhäuser ist die Solarenergie. Nachts, wenn kein Solarangebot zur Verfügung steht, ist der Energieverlust über die Fenster ca. fünf mal größer als durch eine gleich große Wandfläche. Eine Möglichkeit, diese Energieverluste zu reduzieren, ist ein temporärer Wärmeschutz, der allerdings dicht schließen muss.

In der nebenstehenden Abbildung ist eine Konstruktion mit Schiebeläden aus beschichteten PU-Wärmedämmplatten dargestellt. Die Dämmplatten haben umlaufend eine besondere Profilierung und ein Dichtungsprofil. Die Schiebekonstruktion ist bündig mit der Außenwandoberfläche.

Der Bereich der Außenwand, über den der geöffnete Schiebeladen geschoben wird, weist eine etwas dünnere Wärmedämmung auf; dies wird aber durch die Verwendung von Polyurethan-Dämmstoff mit geringerer Wärmeleitfähigkeit ausgeglichen.

Das untere Basiselement wird mit dem Kraft- Konsolenanker an der Wand befestigt. In diesem Element ist auch der Antrieb integriert. Der Dämmladen wird über eine verdeckt montierte Zahnstange mit einem Motor oder durch eine Kurbel betrieben. Die seitlichen und oberen Elemente sind passgenau vorgefertigt und können zusammen mit der Wärmedämmung oder nachträglich montiert werden.

3.6.6 Ein Solar-Dämmladen

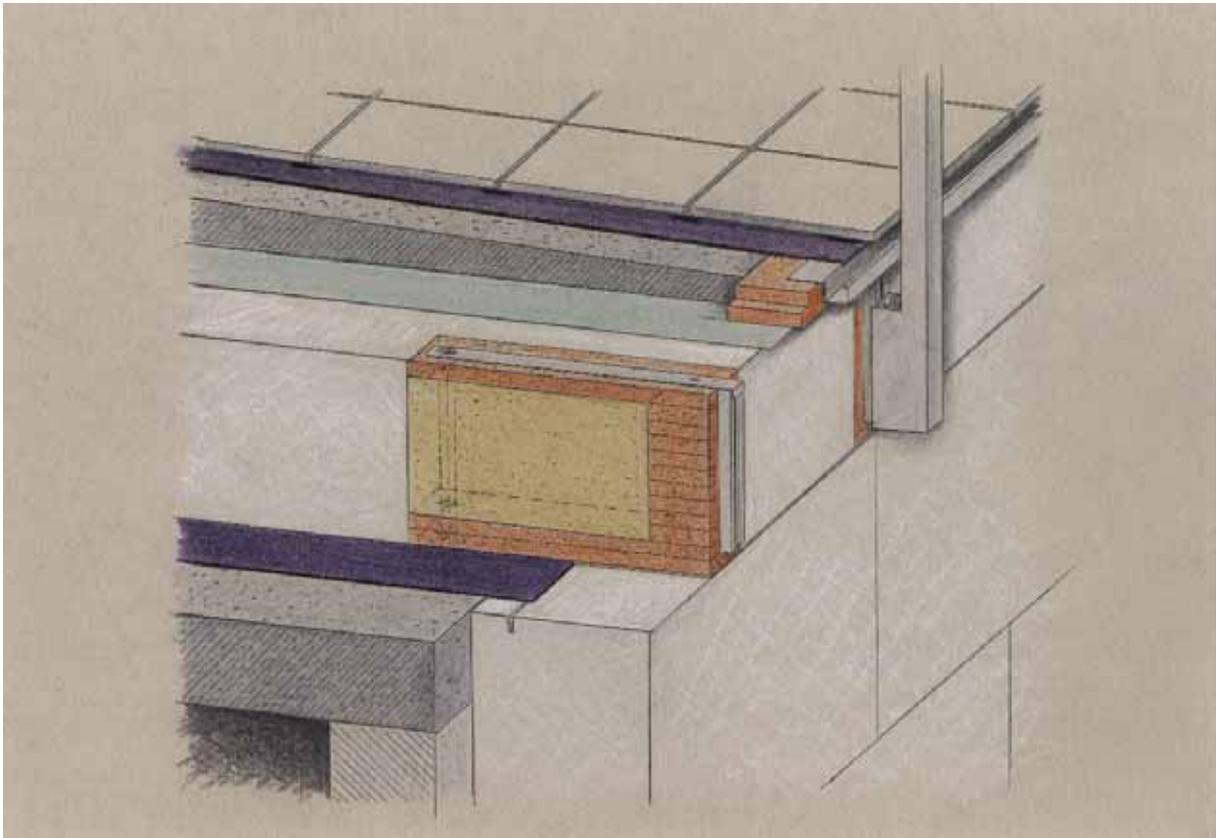


Nebenstehend ist ein Fensterladen abgebildet, der als temporärer Wärmeschutz aus beschichteten Dämmplatten besteht und dicht schließt. Über eine verspiegelte Innenfläche des Dämmladens können im Winter auch bei einer Ost- oder Westfassade Sonnenstrahlen umgelenkt und damit energetisch nutzbar gemacht werden. Ein angenehmer Nebeneffekt ist Sonneneinstrahlung in den Raum in Bereiche, die sonst nicht von der Sonne getroffen werden.

Über ein Getriebe kann der Dämmladen in jeder beliebigen Position angehalten werden. Der Antrieb erfolgt von innen über eine Kurbel oder durch einen Motor.

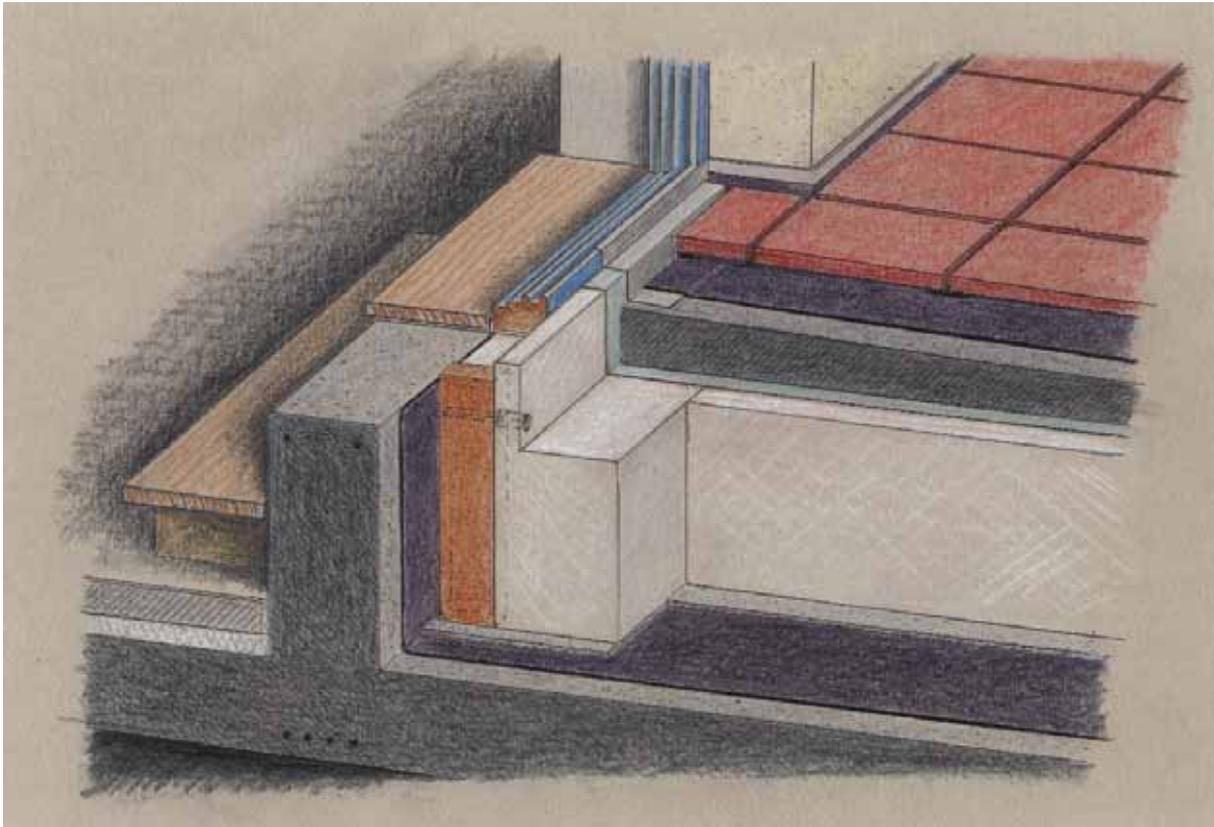
3.7 Dachterrassen- und Dachanschlussdetails

3.7.1 Übergang von einer Dachterrasse zur Außenwand (Traufbereich) mit der Möglichkeit, wärmebrückenfrei Geländer anzubringen



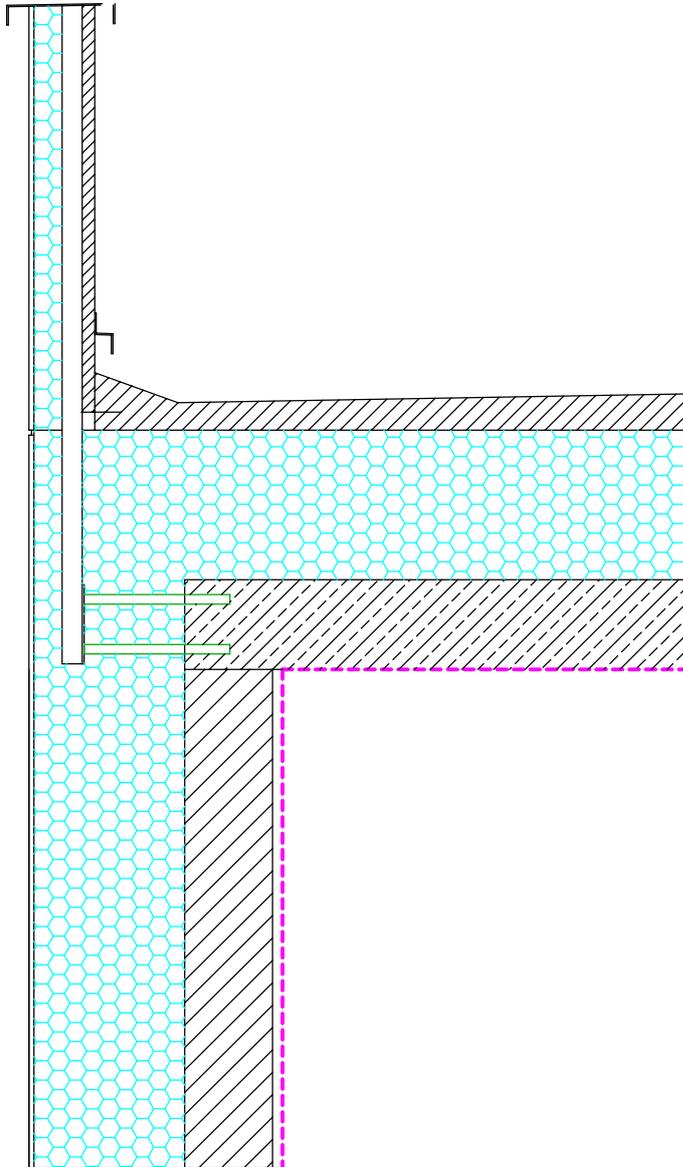
Die Wärmedämmung einer Dachterrasse zur Außenwand muss nahtlos ausgeführt werden. Im Terrassenbereich muss eine Dampfbremse aufgebracht werden, weil der weiter oben folgende Dachaufbau relativ dampfdicht ist und eine Tauwasserbildung verhindert werden muss. Der Deckenaufbau folgt weiter in üblicher Art und Weise: Dampfsperre, Wärmedämmung, Folie, Gefälleestrich, Dichtungsbahn und Belag. Zur Befestigung eines Geländers ist eine „Kraftbrücke“ erforderlich, die in die Wärmedämmung eingearbeitet wird. Die hier dargestellte „Kraftbrücke“ ist ein vorgefertigtes Bauelement aus Dämmstoff, in dem ein Zugstab und eine Druckzone integriert sind. Der Zugstab wird mit einem Zwei-Komponenten-Reaktionskleber in der Decke eingeklebt. Auf der Außenseite ist eine Ankerschiene befestigt, an der die Geländerpfosten angeschraubt werden. Diese Elemente sind gleichzeitig eine Auflage für eine Randbohle (Purenit-Recyclingmaterial), an die auch eine Dachrinne angebracht werden kann.

3.7.2 Anschluss einer Dachterrasse an die aufsteigende Wand



Der Terrassendachaufbau ist gleich wie im vorherigen Detail beschrieben. Dachterrassen werden in der Regel ca. zwei Stufen über dem Fußboden des angrenzenden Raumes liegen, wenn man einen Höhenversprung der Decke vermeiden will. Ein Deckenüberzug trägt im dargestellten Detail die Lasten der Wand. Das Gewicht der Fenster wird über eine angedübelte Tragkonsole auf die Decke oder den Überzug übertragen. Durch ein abgekantetes Blech wird der Fensterrahmen vor Beschädigungen geschützt und ein sicherer Anschluss an die Terrassenabdichtung ermöglicht.

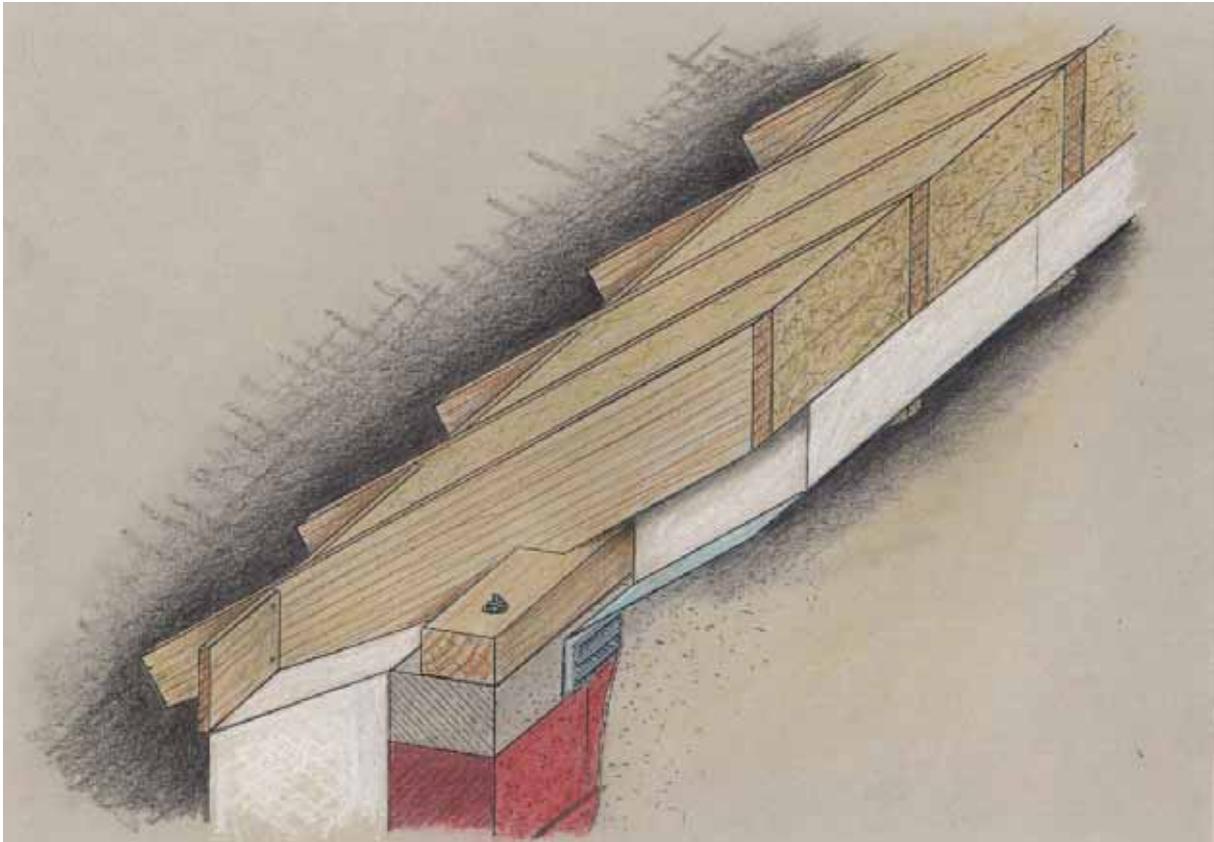
3.7.3 Dachterrassen oder Flachdachabschluss



Manchmal besteht der Wunsch das Geländer einer Dachterrasse nicht als gesondertes Bauteil in Erscheinung treten zu lassen und die Putzfläche bis an die Oberkante des Geländers durchzuführen. Nebenstehend ist für solche Anforderungen ein Vorschlag abgebildet. Die Geländerpfosten werden an eine gering wärmeleitende Unterkonstruktion (Kraftanker oder angedübelte Schichtholzklötze) angeschraubt. Auf der Innenseite werden an die Pfosten wasserbeständige Bauplatten geschraubt, auf die dann außenseitig dünne Wärmedämmplatten aufgeklebt werden. Um eine größere Steifigkeit zu erreichen sollte an die Geländerpfosten eine Lochblechlasche angebracht sein, die in den Gefälleestrich einbetoniert wird. Die Dachabdichtung wird dann an der Innenseite des Geländers hochgezogen und mit einer

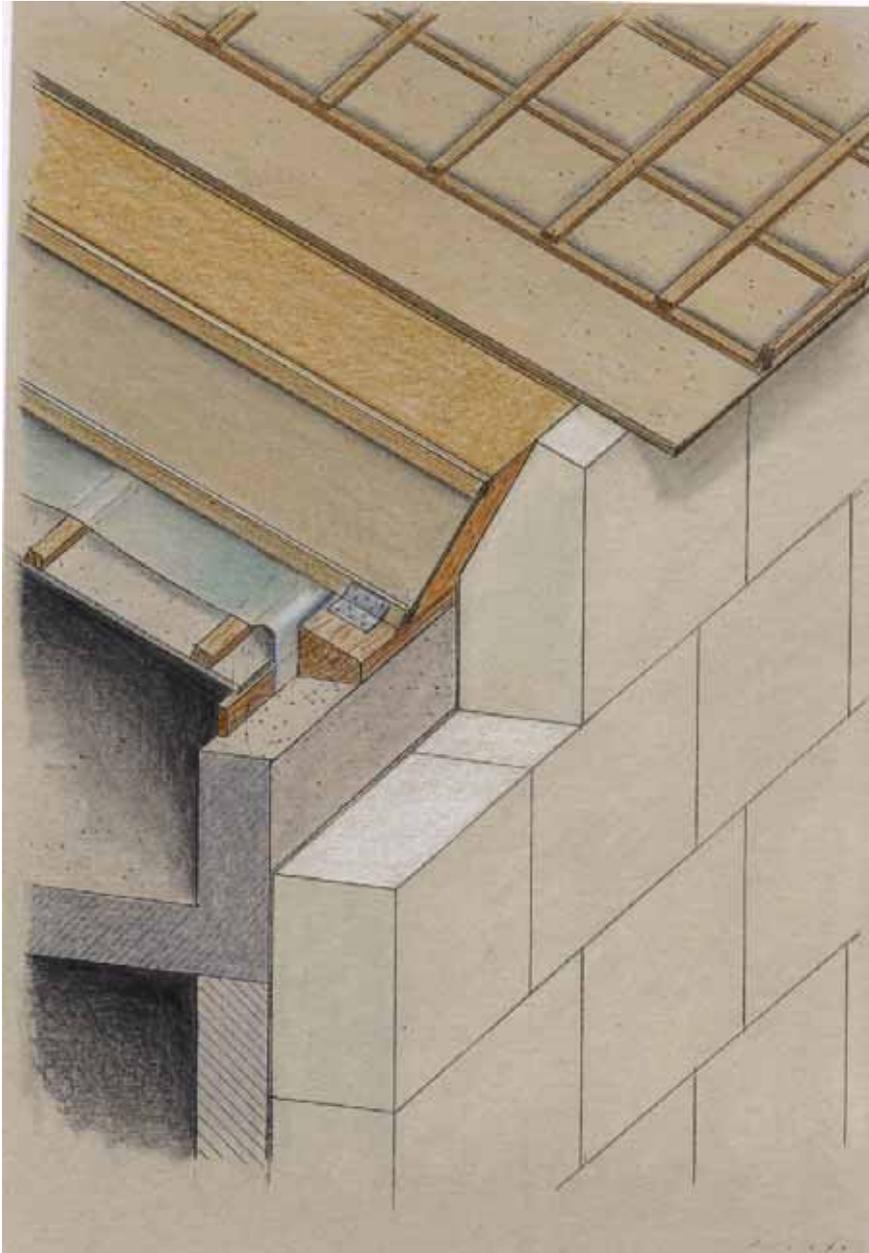
Abschlußschiene befestigt. Mit einer oberen Geländerabdeckung ist dann die Konstruktion fertiggestellt und kann verputzt, bzw. gestrichen werden

3.7.4 Dachkonstruktion in Zimmermannsbauweise



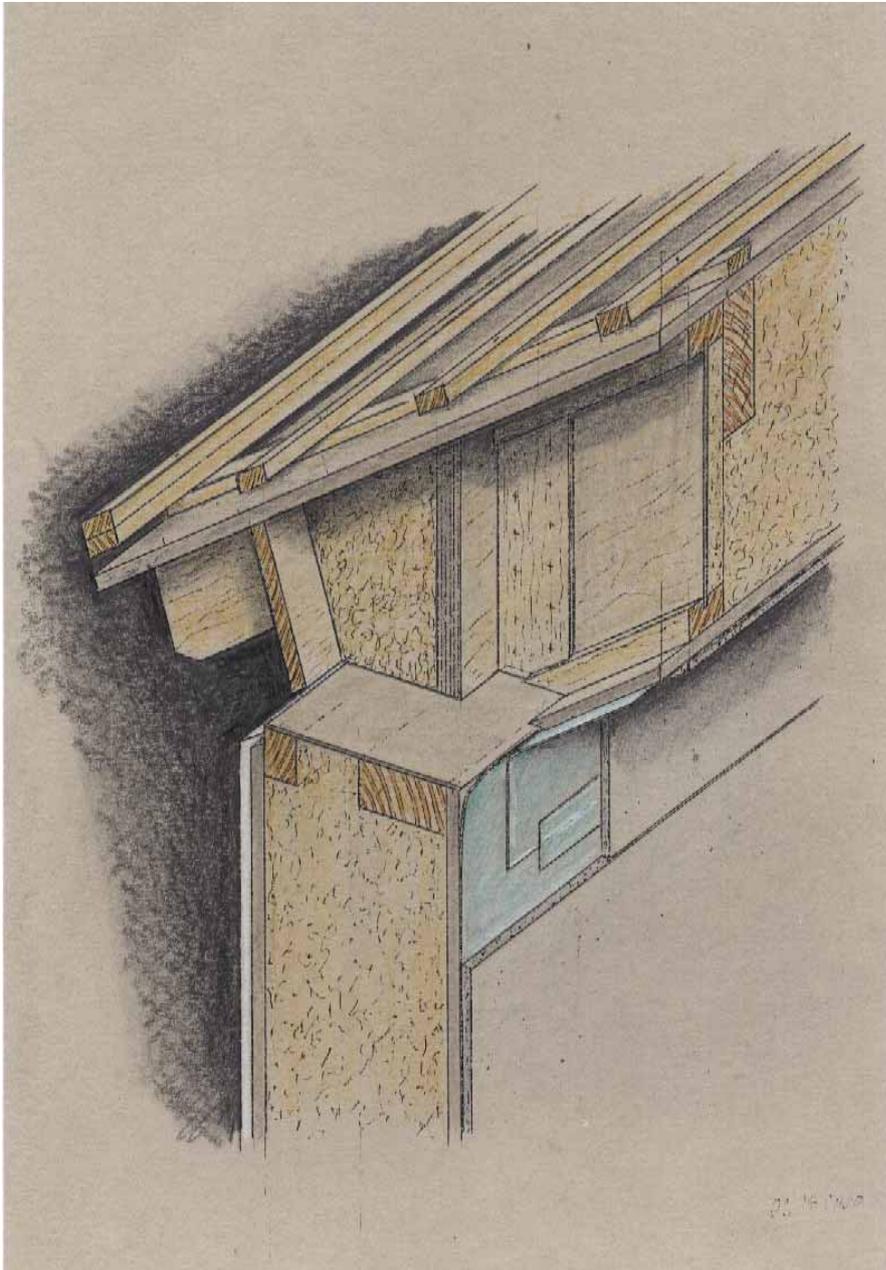
Eine Dachkonstruktion für Passivhäuser in üblicher Zimmermannsbauweise. Hierfür wird ein schlanker Holzquerschnitt gewählt (ca. 1/20 cm), um eine möglichst dicke Zwischensparrendämmung ausführen zu können und die Wärmebrücke, die die Hölzer darstellen, gering zu halten. Zusätzlich wird noch eine Untersparrendämmung ausgeführt, die zusammen mit einer PE-Folie und einer Lattung (längs oder quer) an die Dachsparren angeschraubt wird. Die Stöße der Dichtungsfolie müssen sorgfältig verklebt werden. Die Enden der Folie werden am Mauerwerk mit Streckmetallstreifen angenagelt und eingeputzt. An der unteren Lattung kann dann jede beliebige Deckenverkleidung, wie Leichtbauplatten oder Holzpaneele angebracht werden. Elektroleitungen werden im Zwischenraum verlegt.

3.7.5 Dachkonstruktion (Leichtbauweise)



Bei Dachkonstruktionen im Passivhausbau werden häufig Holz-Leichtbauträger eingesetzt. Mit einer Steghöhe von 30 bis 40 cm wird die erforderliche Dämmstärke erreicht. Der dünne Steg aus Holzwerkstoff stellt keine nennenswerte Wärmebrücke dar. Auf der Unterseite wird die luftdichte Ebene wie bei der zuvor beschriebenen Dachkonstruktion (Abschnitt 3.7.4) ausgeführt. Auf der Oberseite wird eine Platte aus Holzwerkstoff aufgeschraubt, und darauf eine Konterlattung, an die die Dachlatten angenagelt werden. Die Dachrinne kann an der Spanplatte befestigt werden.

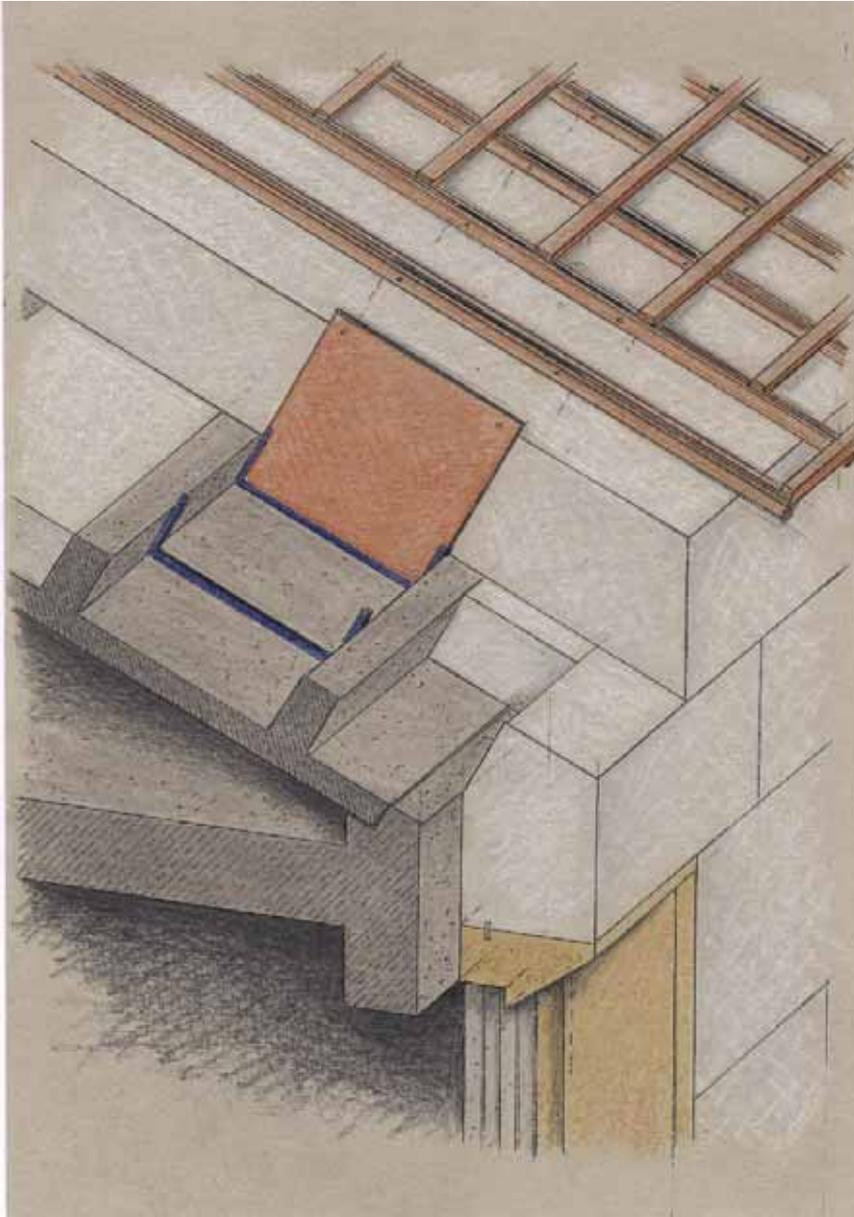
3.7.6 Holz-Leichtbauweise, Anschluss Außenwand / Dach



So unterschiedlich die Konstruktionsarten bei einer Leichtbauweise auch sein mögen, die Ausführung der luftdichten Hülle bleibt doch im wesentlichen gleich. Wichtig ist, dass immer genügend Platz für eine sichere Abdichtung der Folienschlüsse vorhanden ist.

An der oberen Kante der Außenwände wird ein Streifen der inneren Wandverkleidung zurückgelassen, so dass die Dichtungsfolie der Dachelemente dort verklebt werden kann. In der gleichen Art müssen auch die Anschlüsse im Giebel- und Firstbereich ausgeführt werden, bevor die Fertigputzplatten angebracht werden.

3.7.7 Massivdach-Konstruktion

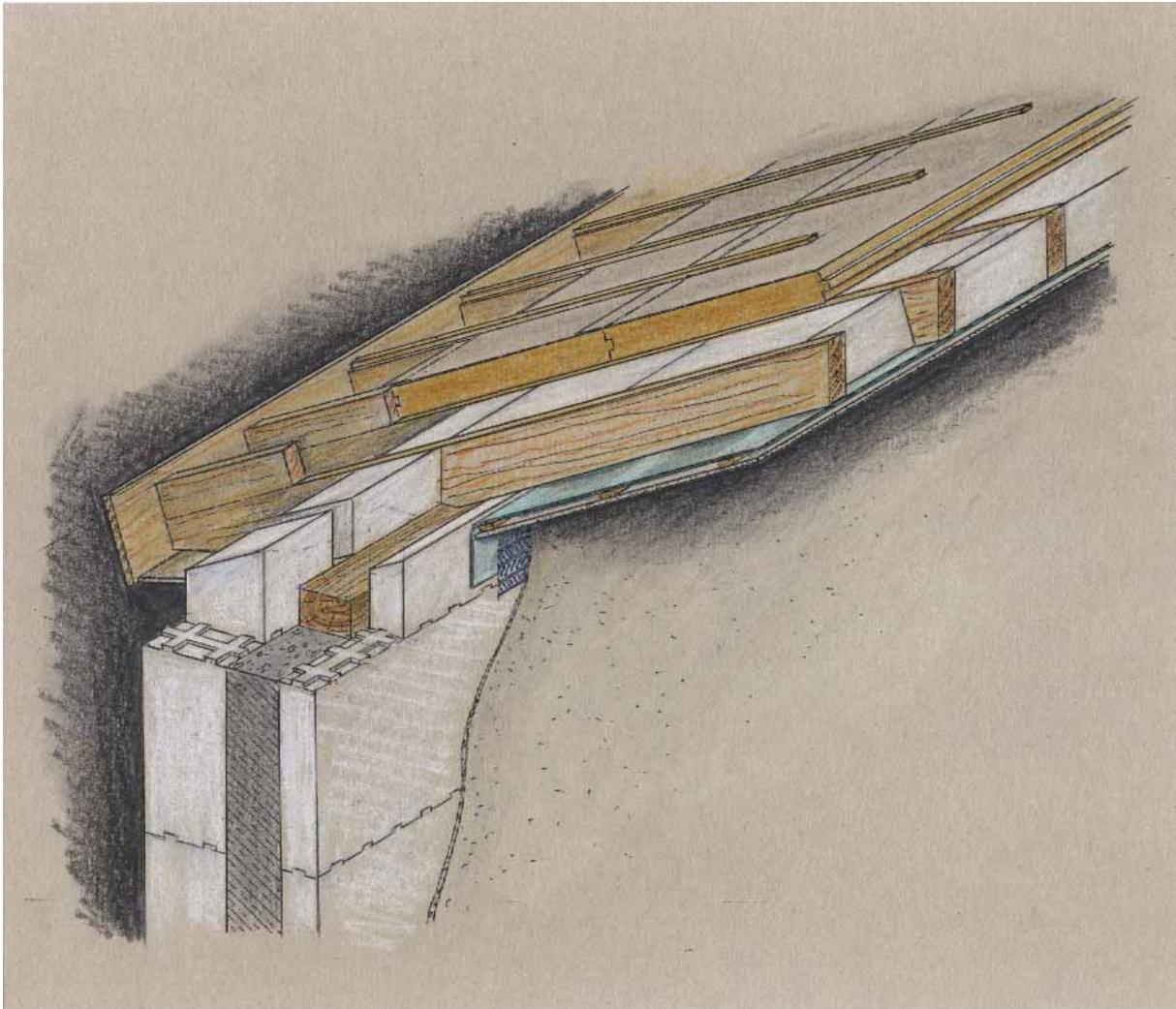


Nebenstehend ist eine eigens für Passivhäuser entwickelte Massivdachkonstruktion dargestellt. Es ist eine umgekehrte Rippendecke, die parallel zur Traufe gespannt wird. Die Elemente werden bis zu einer Spannweite von 6,50 m Länge gefertigt. Die Dachelemente werden auf den Wänden vollflächig in Mörtel verlegt, wodurch gleichzeitig die Luftdichtigkeit hergestellt wird. Die Unterseite ist eine glatte Betonfläche, bei der nur noch die Stoßfugen der Elemente verspachtelt werden müssen.

Zwischen den oberen und unteren Betonrippen werden Scheiben aus Holzwerkstoff eingebaut, die die Schubkräfte der oberen Dachkonstruktion in die Rippendecke

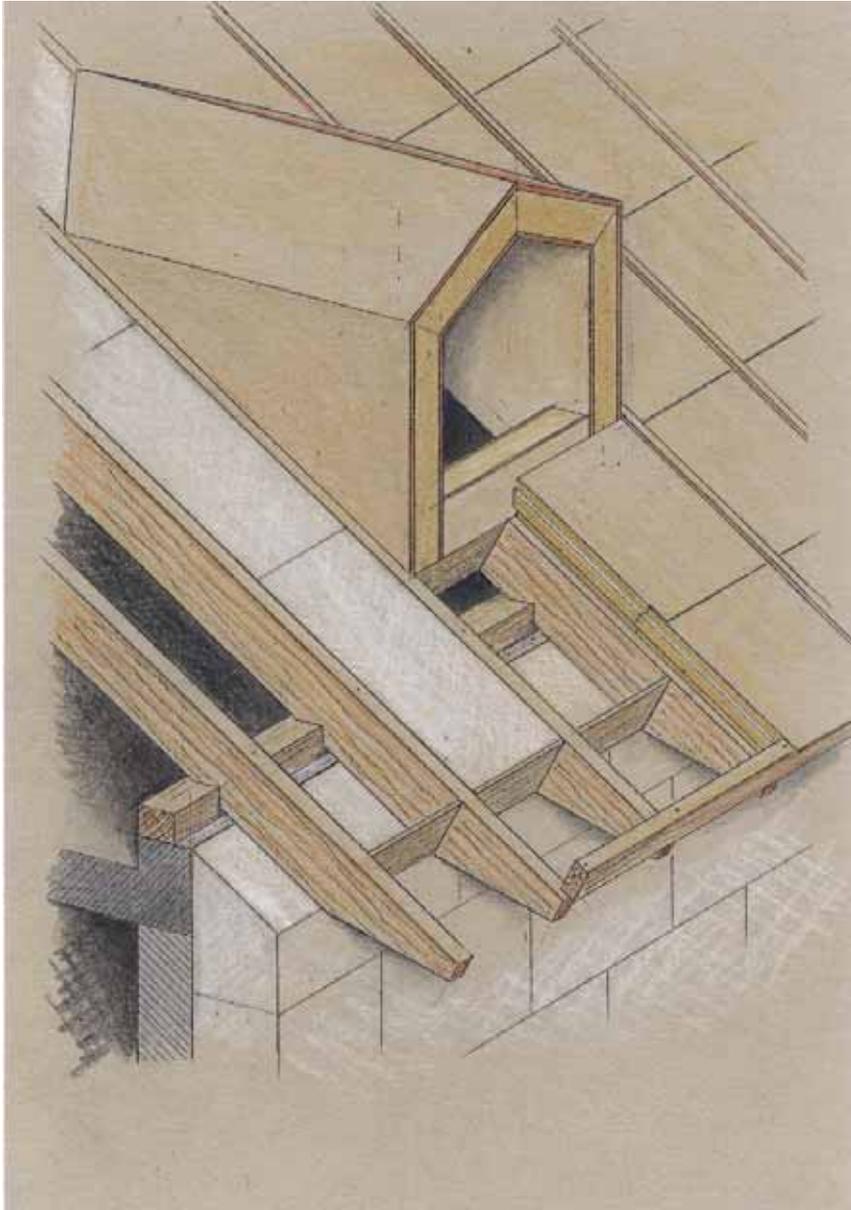
ableiten. Bei dieser Konstruktion ist keine Unterspannbahn erforderlich. Auf die verlegte Rippendecke werden parallel zum Giebel großformatige Styroporplatten in einer Stärke von 30 cm verlegt. Falls Fugen zwischen den Platten auftreten müssen diese ausgeschäumt werden. An der Oberseite der Scheiben wird die Konterlattung angeschraubt, an die dann die Dachlatten angenagelt werden.

3.7.8 Anschlussbereich Schalungselement-Wand und Dach



Auf den Betonkern der Traufwände wird die Fußpfette der Dachkonstruktion befestigt und daran, wie üblich, die Dachsparren angebracht. Die Wärmedämmung der Dachfläche besteht aus einer Zwischensparrendämmung (z.B. aus Styropor) und einer Aufsparrendämmung aus Polyurethanplatten. Mit der Konterlattung werden diese Dämmplatten an die Sparren angenagelt. Eine andere Form der Übersparrendämmung können Styropor-Dämmelemente sein, auf die die Dachziegel direkt verlegt werden. Die luftdichte Ebene wird unter den Dachsparren ausgeführt. Eine PE-Folie wird zusammen mit der Konterlattung an die Sparren angenagelt. Alle Folienstöße müssen sorgfältig verklebt werden. Besonders muss darauf geachtet werden, dass die Folie nicht verletzt wird. An den Übergängen zur Wand wird die Folie mit einem Streifen aus Streckmetall an die Wand angenagelt. Vor dem Anbringen der inneren Dachverkleidung aus Bauplatten werden die Wände verputzt. Danach sollte die Luftdichtheitsprüfung erfolgen, damit eventuell noch bestehende Undichtigkeiten beseitigen werden können.

3.7.9 Dachgauben für Passivhäuser



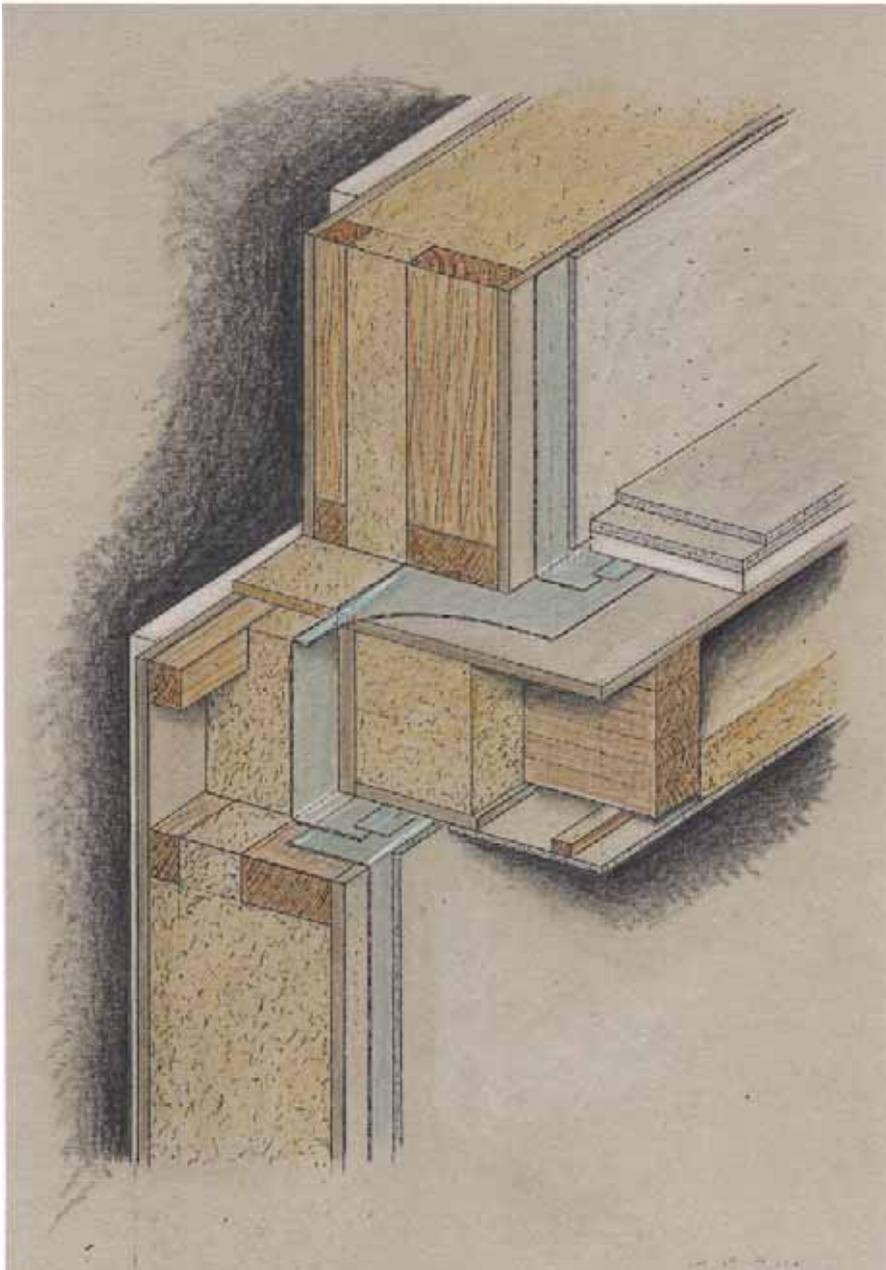
Passivhaustaugliche Dachflächenfenster stehen derzeit noch nicht zur Verfügung, sind jedoch von verschiedenen Herstellern in der Entwicklung. Eine andere attraktive Möglichkeit Dachräume zu belichten sind Dachgauben. Solche Dachaufbauten können in konventioneller Art ausgeführt werden, wenn die Passivhaus Anforderungen eingehalten werden. Eine konventionelle Bauweise hat allerdings den Nachteil, dass relativ dicke Hüllflächen erforderlich werden.

Von der Industrie werden vorgefertigte Bausysteme als Bausatz aus Verbundwerkstoffen angeboten. Die Vorteile bestehen in

einem hohen Vorfertigungsgrad und einer geringen Bauteilstärke. Auf dieser Abbildung ist eine Satteldachgaube für ein konventionelles Sparrendach dargestellt. Die Wärmedämmung der Dachfläche besteht aus einer Zwischensparrendämmung aus und einer Aufsparrendämmung mit einer oberen diffusionsfähigen, überlappenden Kaschierung.

3.8 Anschlussdetails Wand / Zwischendecke

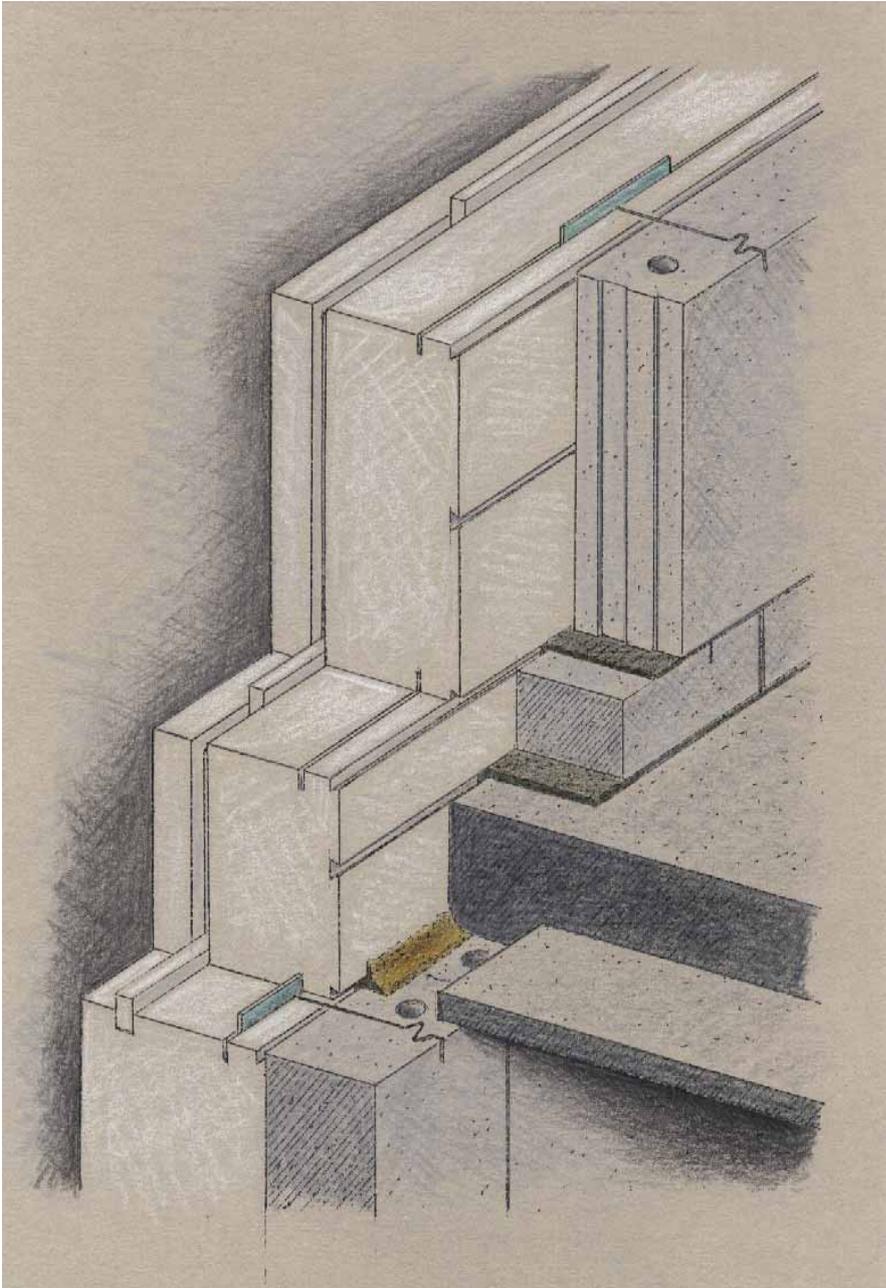
3.8.1 Holz-Leichtbauweise, Anschluss einer Zwischendecke



Beim Anschluss einer Zwischendecke wird ein Folienstreifen um den Auflagebereich der Zwischendecke gelegt. Auf diese Art lässt sich eine ununterbrochene Abdichtung sicher herstellen. Hierbei muss allerdings darauf geachtet werden, dass außerhalb der Dampfbremse genügend Wärmedämmung vorhanden ist, um einen Tauwasseranfall auf der Innenseite der Folie auszuschließen. Eine Alternative ist die Verwendung einer diffusionsoffenen Folie an dieser Stelle.

Alle weiteren Anschlüsse sind so auszuführen wie auf dem vorherigen Blatt 3.5.8 beschrieben.

3.8.2 Integriertes Bausystem im Bereich der Geschossdecke

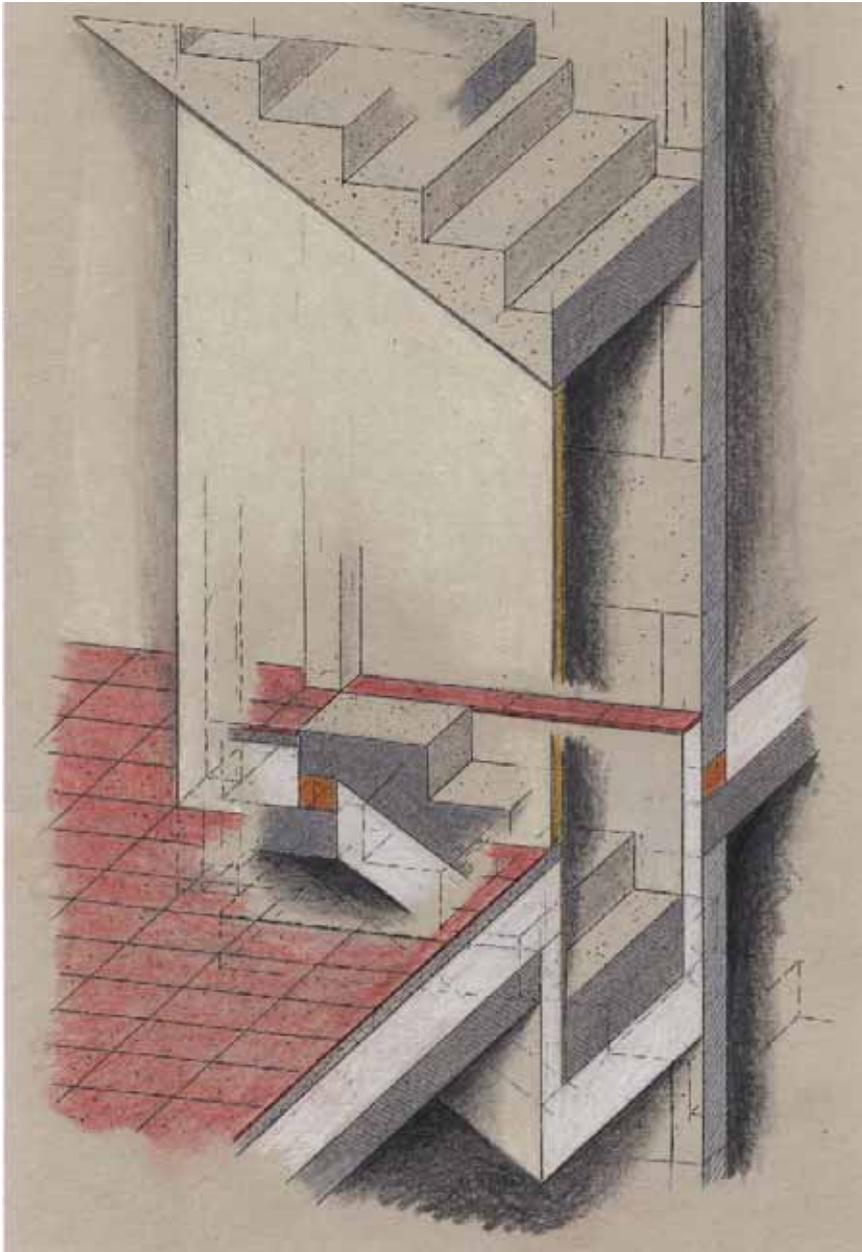


Wand und Wärmedämmung enden an der Unterkante der Geschossdecke. Dann wird, wie üblich, die Platten- decke verlegt. Ein Dämmstoff- Aus- gleichselement wird als Deckenrand- schalung versetzt. Durch eine Nut ist die Oberkante des aufzubringenden Ortbeton markiert. Die Oberkante des Ausgleichelements ist gleichzeitig wieder die Oberkante der nächsten Kimm- schicht aus Mauer- steinen. Vor dem Betonieren muss in der Ecke zwischen Oberkante Mauer- werk und dem Aus- gleichselement eine Hohlkehle aus Kle- bemörtel hergestellt werden. Dadurch wird vermieden, dass beim Betonieren der Decke Beton-

schlämme zwischen Mauer und Wärmedämmung gelangt. Nach dem Aushärten des Betons wird die Kimm- schicht exakt bis zur Oberkante des Wärmedämm- Ausgleich- elements hergestellt. Nach dem Aufsetzen der nächsten Wärmedämm- schicht wird, wie in der Abbildung dargestellt, mit großformatigen Mauer- steinen die Wand auf- gestellt. Beim Mauern, in diesem Fall mit Klebemörtel, ist darauf zu achten, dass die Nut im Dämmelement immer gut mit Mörtel ausgefüllt wird.

In allen Fällen ist die Arbeitsanweisung des Systemanbieters einzuhalten.

3.9 Treppen zwischen Wohnräumen und Räumen außerhalb der thermischen Gebäudehülle (Keller, Treppenhäuser)

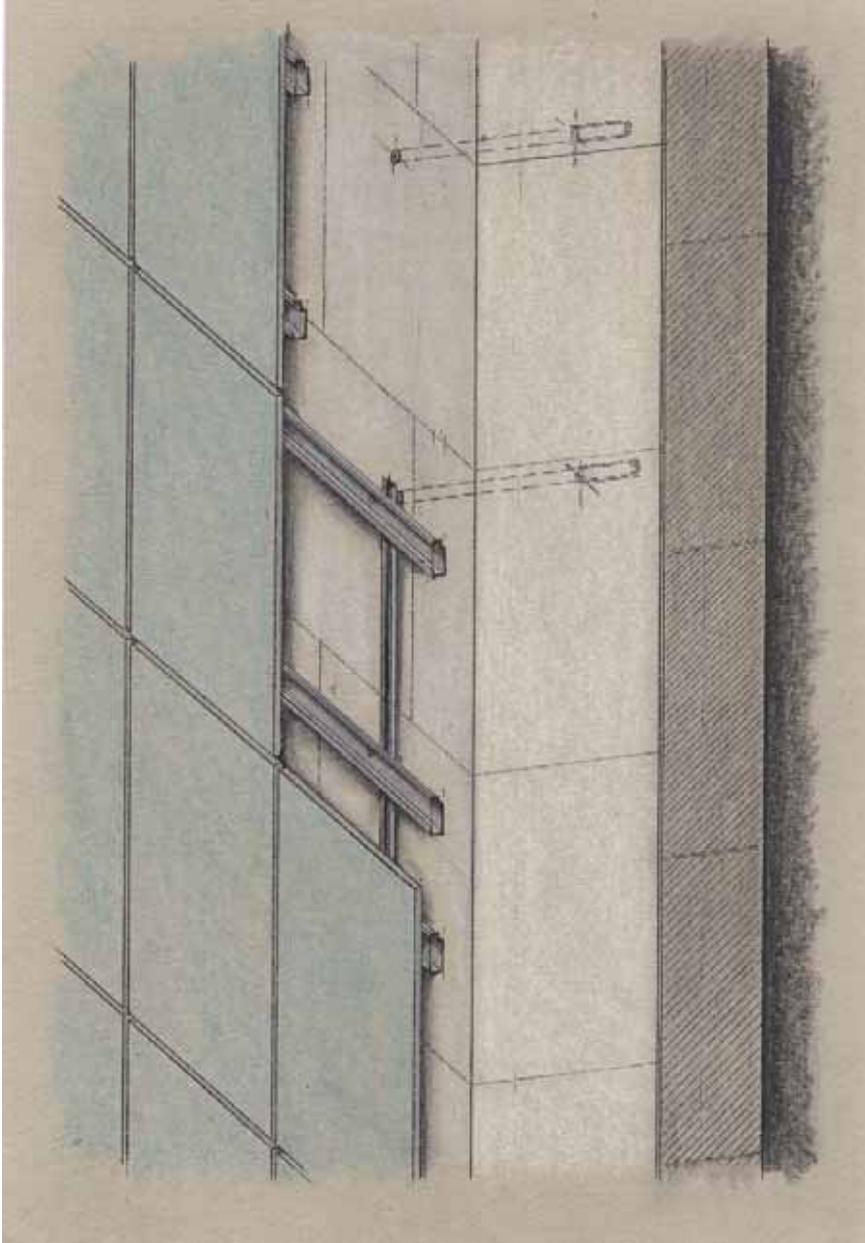


Treppen, die zum Beispiel Wohnräume und Keller miteinander verbinden, müssen wärmegeklämt werden.

Bei dem nebenstehenden Beispiel liegt die thermische Hüllfläche zwischen Wohnräumen und Keller auf der Kellerdecke. Die tragende Innenwand ist durch eine thermische Trennung oberhalb der Decke abgetrennt. Der Kellerabgang wird im hier dargestellten Fall in den beheizten Bereich aufgenommen: Die Wärmedämmung liegt dann unter der als Beton-Fertigelement ausgeführten Kellertreppe. Der beheizte Bereich muss dann am unteren Ausgang der Kellertreppe durch eine gedämmte und

dichtschließende Tür abgeschlossen werden. Die Treppe selbst liegt oben und unten auf tragenden thermischen Trennschichten (vgl. Detail 3.5.1) auf. Alle Kellerwände, die den warmen Treppenraum umschließen, müssen ebenfalls gedämmt werden. Dies ist für eine tragende Massivwand (hier als Innendämmung) und für eine Leichtbauwand (vorne) dargestellt.

3.10 Vorgehängte, hinterlüftete Fassadenbekleidung aus großformatigen Keramikplatten

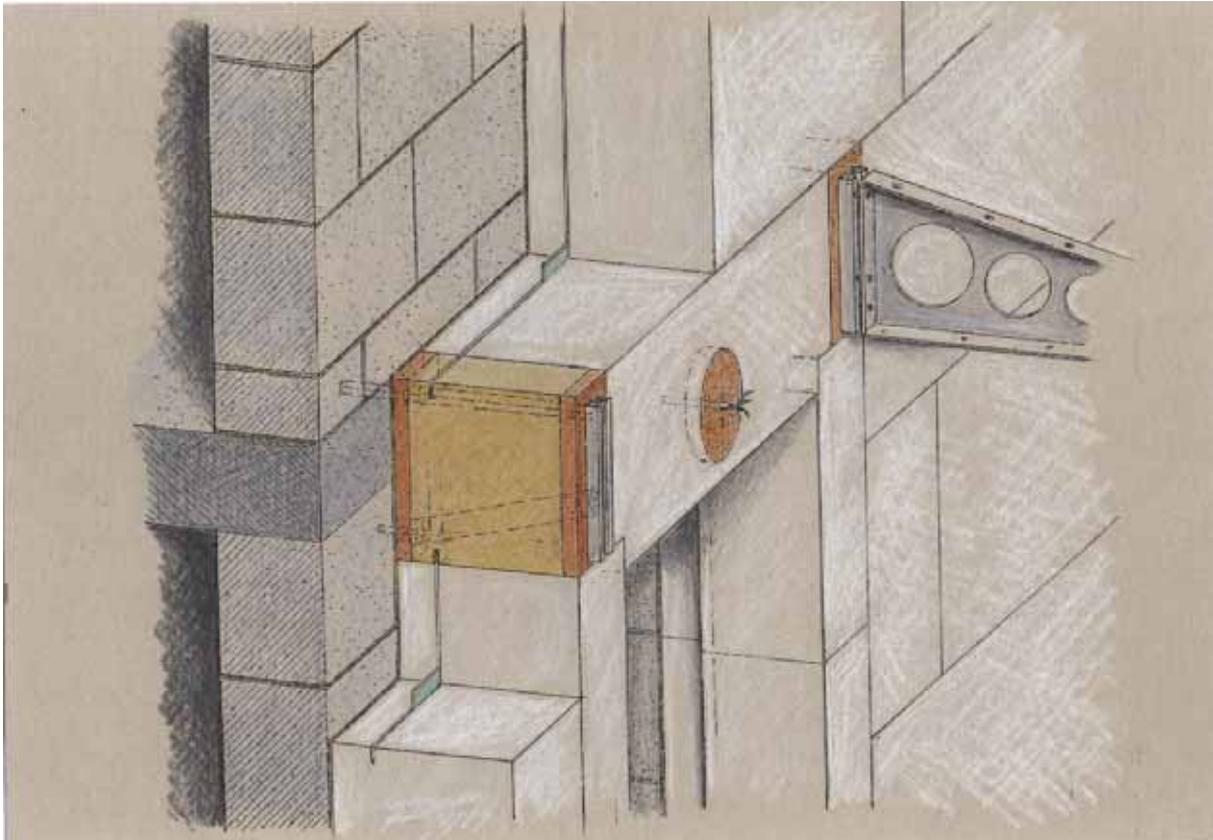


Unterkonstruktionen für vorgehängte und hinterlüftete Fassadenbekleidungen werden in der Regel direkt an die Wand gedübelt. Für Passivhäuser sind allerdings besondere Maßnahmen erforderlich, um bedeutende Wärmebrücken zu vermeiden.

Mit Hilfe von Kraftankern, die hohe Zug- und Druckkräfte übertragen können, wird in nebenstehendem Beispiel die vertikale Unterkonstruktion an der Wand befestigt. Die Kraftanker werden ca. 9 cm in die tragende Wand eingelassen und mit einem Zweikomponenten-Reaktionsmörtel befestigt. Die Wärmebrückenwirkung der Kraftanker ist zu vernachlässigen

(punktueller Wärmebrückenverlustkoeffizient χ eines Kraftankers mit einem Durchmesser von 20 mm aus faserverstärktem Kunststoff mit 3 mm Wandstärke: $\chi=0,00386$ W/K). Wenn die Wärmedämmung dagegen mit Metallteilen durchdrungen wird, dann kann der Wärmebrückeneffekt u.U. so groß werden, dass auf der Wandinnenseite Tauwasser entstehen kann.

3.11 „Kraftbrücke“ für leichte Konstruktionen



Um Vordächer oder andere leichte Konstruktionen an einer Passivhausfassade anbringen zu können, ist eine „Kraftbrücke“ erforderlich. Damit können die anfallenden Lasten und Kräfte, die von der anzubringenden Konstruktion ausgehen, auf die Decke oder Wand übertragen werden. Die hier dargestellte „Kraftbrücke“ ist ein Bauelement aus Dämmstoff, in dem ein Zugstab und eine Druckelement integriert sind. Der Zugstab wird mit einem Zwei-Komponenten-Reaktionskleber in der Wand oder Decke befestigt. Auf der Außenseite kann eine Ankerschiene befestigt werden, die zur leichten Befestigung verschiedener Konstruktionen dienen kann.

Für die Befestigung von Beleuchtungskörpern oder ähnlichen Bauelementen kann in die Wärmedämmung eine Scheibe aus schraubbarem Material eingeklebt werden. Häufig ist auch ein handelsüblichen Iso-Dübel ausreichend, der in die Wärmedämmung eingeschraubt wird.