

DAS PASSIVHAUSKONZEPT

Vermittlung der Grundlagen des Passivhauskonzepts für das Verständnis der darauf aufbauenden Vorlesungen im 2.Block.

INHALTSVERZEICHNIS

I.2	Das Passivhauskonzept.....	2
I.2.1	Passivhaus – Datenbank.....	2
I.2.2	Passivhaus – Standard: Kriterien, Vorteile, Wirtschaftlichkeit	5
I.2.3	Passivhauskonzept – Gebäudehülle	11
I.2.4	Passivhaus – Haustechnik	22
I.2.5	Qualitätssicherung.....	30
I.2.6	Anmerkung zur Geschichte	31

Dieses Skriptum ist ausschließlich als Studienunterlage für die Lehrveranstaltung „Integrierte und Nachhaltige Hochbauplanung“ geeignet.

Die Autoren übernehmen trotz sorgfältigster Recherche keinerlei Gewähr für eine bestimmte Beschaffenheit, Qualität oder Zuverlässigkeit der zusammengestellten Informationen und keinerlei Haftung für die Vollständigkeit und Richtigkeit von Informationsinhalten.

I.2 Das Passivhauskonzept

I.2.1 Passivhaus – Datenbank

I.2.1.1 Passivhäuser – Vergleich: Österreich – Deutschland – Schweiz

Klimagerechtes Bauen ist in der heutigen Zeit ein sehr wichtiges Thema. Vor allem das Passivhaus hat seit dem Klimabericht der UN 2007 an Bedeutung gewonnen. In Europa existieren bereits 10.000 Passivhäuser, allein 1.660 stehen in Österreich. Für die nächsten Jahre wird der Branche ein Wachstum zwischen 30 und 60 Prozent prognostiziert [IG PASSIVHAUS, 2007]

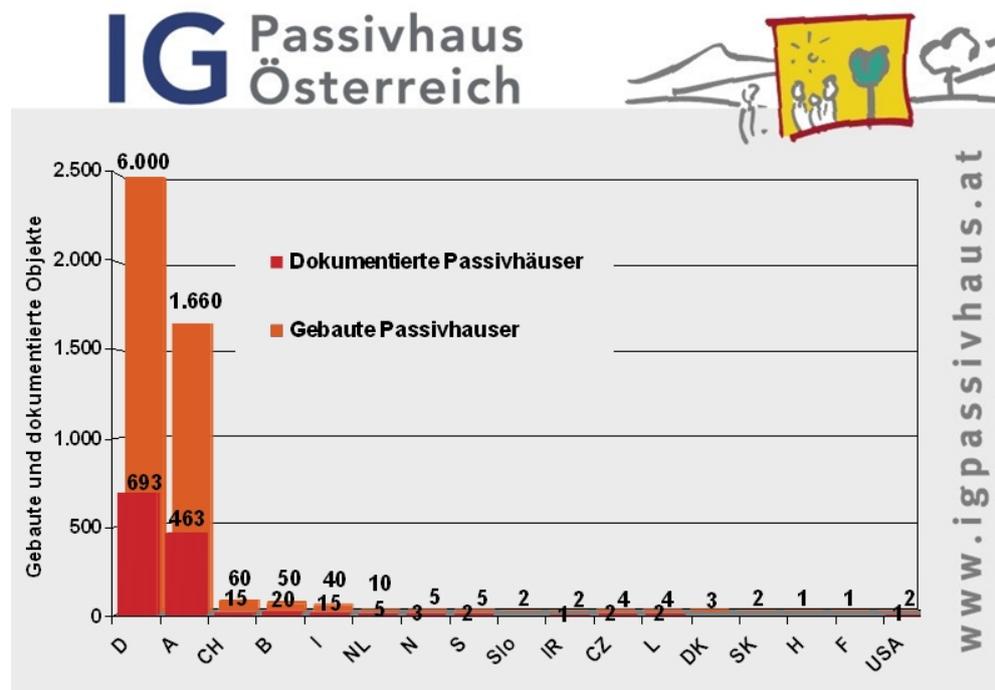


Abb. 1: Anzahl Passivhäuser im internationalen Vergleich mit Stand 2006. [IG PASSIVHAUS 2006]

Österreich

Österreich ist eines der führenden Länder im Bereich des Passivhauses. Während in der ersten Entwicklungsdekade der Anteil an Passivhäusern am Neubauvolumen im Promillebereich lag, erreichte er 2005 bereits 2 Prozent und verdoppelte sich 2006 auf 4 Prozent [MAYR, CH., 2007]. Für 2010 wird erwartet, dass dieser Anteil bereits 25 Prozent des Neubauvolumens ausmachen wird [IG PASSIVHAUS, 2007]. Im internationalen Vergleich liegt Österreich mit der Anzahl der Passivhäuser pro 1 Mio. Einwohner an der Spitze gefolgt von Deutschland und der Schweiz (Stand 2005). Die größte Dichte an Passivhäusern in Österreich weist das Bundesland Vorarlberg, mit 0,16 Objekten pro 1.000 Einwohner auf [Quelle: IG Passivhaus, 2007].

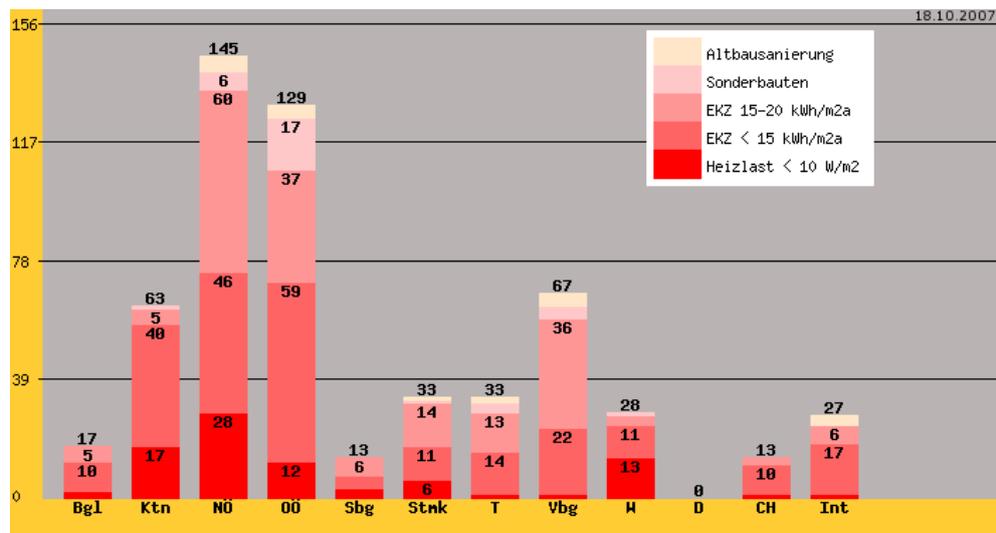


Abb. 2: Projektanzahl je Bundesland nach Kategorien, Stand 10/2007 [Quelle: IG Passivhaus, 2007]

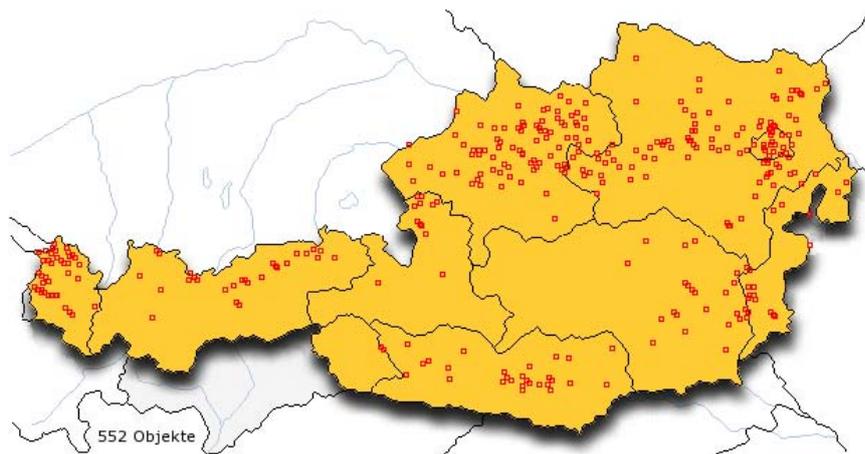


Abb. 3: Standorte der Passivhäuser in Österreich; 552 Objekte - Stand: 10/2007 [Quelle: IG Passivhaus, 2007]

Deutschland

Deutschland war mit dem Bau des ersten Passivhauses 1991 Vorreiter auf diesem Gebiet. Im Rahmen des "Experimentellen Wohnungsbaus Darmstadt Kranichstein K7" wurde von vier privaten Bauherrn (Bauherrengemeinschaft Passivhaus) und den Architekten Prof. Bott/ Ridder/ Westermeyer, eine Reihenhauszeile mit vier Wohnungen von je 156m² Wohnfläche errichtet. Die damals noch anfallenden Mehrkosten gegenüber einem konventionellen Gebäude, wurden vom Hessischen Umweltministerium zu 50 Prozent gefördert. Seit diesem ersten Passivhaus-Prototypen in Kranichstein sind die baulichen Mehrkosten für Passivhäuser um etwa den Faktor 7 gefallen, und auch die Förderprogramme verbessern die Ausgangsmöglichkeiten für den Bau von Passivhäusern.

Die Entwicklung der letzten Jahre zeigt auch in Deutschland einen starken Trend zum Bau von Passivhäusern. Ende 1999 waren bereits 300 Wohnungen in Passivhausbauweise bezogen, Ende 2000 waren es schon etwa 1000 und 2006

zwischen 6000 und 7000 [FEIST, 2006].

Nach einer Studie des Freiburger Büros für Solarmarketing in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer Institut und der Energieagentur Regio Freiburg wurden folgende Prognosen zur Entwicklung des Passivhauses in Deutschland aufgestellt [BÜHRING, A., et al., 2004]:

- Anzahl bereits gebauter Passivhäuser in Deutschland: ca. 4000 Stück
- Anzahl der voraussichtlich gebauten Passivhäuser bis einschl. 2006: 15.000 bis 20.000 Stück.
- Anzahl der gebauten Wohneinheiten (WE) bis 2010: 137.000 WE
- Anteil von Passivhäuser am gesamten Neubau bis 2010: mind. 20 Prozent

Schweiz

Der Passivhausstandard ist vor allem in Deutschland und Österreich weit verbreitet und beginnt auch langsam in der Schweiz Fuß zu fassen. In der Schweiz wurden (Stand 01/07) 56 Einfamilien- und 10 Mehrfamilienhäuser im Passivhausstandard errichtet. Ein Grund für die geringere Verbreitung ist, dass in der Schweiz Passivhäuser steuerlich nicht stärker gefördert werden als normale Minergie-Häuser [KLOSE, R., 2007].

Die Minergie ist ein in der Schweiz etablierter Standard für den Energiebedarf von Gebäuden, der jedoch nicht Passivhausqualitäten aufweist. Erst vor kurzem wurde dieser Standard um die Variante MINERGIE-P erweitert, die dem Passivhausstandard entspricht und auch Zertifikate in diesem Bereich vergibt.

I.2.2 Passivhaus – Standard: Kriterien, Vorteile, Wirtschaftlichkeit

I.2.2.1 Definition

Das Passivhaus ist keine bestimmte Bauweise, sondern ein Baustandard, welcher bestimmte Kriterien erfüllt. Laut dem Passivhaus-Institut Darmstadt ist ein Passivhaus ein Gebäude, in dem sowohl im Winter als auch im Sommer eine behagliche Temperatur ohne separates Heiz- bzw. Klimatisierungssystem erreicht werden kann. Es bietet erhöhten Wohnkomfort bei einem Heizwärmebedarf von weniger als 15 kWh/(m²a) und einem Primärenergiebedarf für alle Haushaltsanwendungen (Heizung, Warmwasserbereitung und Haushaltsstrom) von unter 120 kWh/(m²a) [FEIST, W., 2001]. Umgerechnet in Heizöl kommt ein Passivhaus im Jahr mit weniger als 1,5 l/m² für Heizwärme aus. Damit stellt das Passivhaus eine konsequente Weiterentwicklung des Niedrigenergiehauses dar, welches einen Heizwärmebedarf von 70 kWh/(m²a) nicht überschreiten darf. Im Vergleich dazu weist ein konventionelles Gebäude, das nach der Wärmeschutzverordnung 1995 erbaut wurde, einen Heizwärmebedarf von bis zu 140 kWh/(m²a) pro Jahr auf.

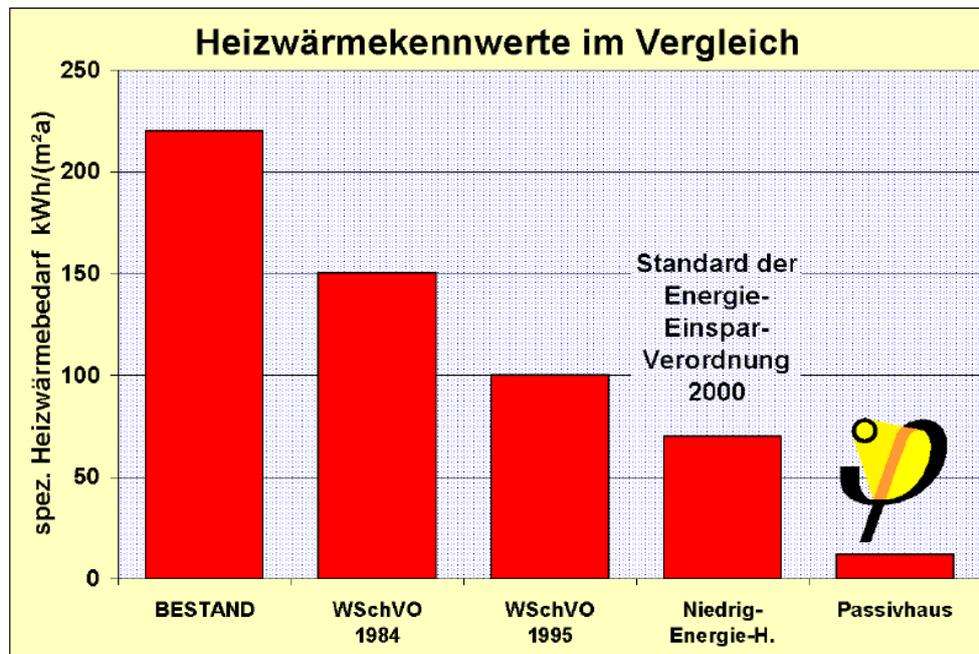


Abb. 4: Entwicklung des Energieverbrauchs für Raumwärme [Quelle: FEIST, W., 2001]

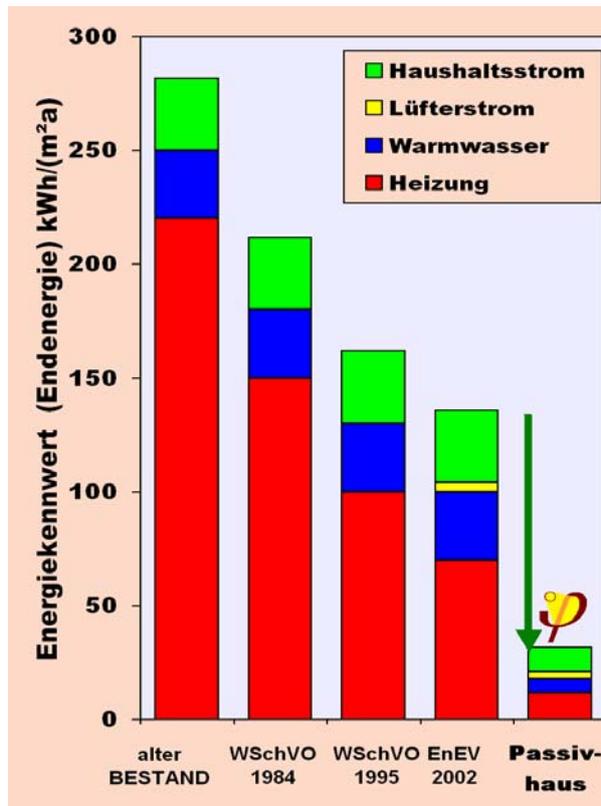


Abb. 5: Endenergiekennwerte im Vergleich [Quelle: PASSIVHAUS INSTITUT, 2008]

Womit wird verglichen?

Für die Kategorie "**Bestand**" mit dem durchschnittlichen Verbrauch der Gebäude aus den Baualterklassen vor 1984.

Für die Kategorie "**WSchVO 84**" mit dem dort festgelegten Anforderungsniveau (leider gibt es keine stichhaltige Statistik über tatsächliche Verbrauchswerte, diese liegen vermutlich höher, da die Verordnung wichtige Punkte nicht geregelt hat und weil gleichzeitig das Bauen immer "komplizierter" wurde). [Eschenfelder 1999]

Für die Kategorie "**WSchVO 1995**" mit dem dort festgelegten Anforderungsniveau (selbes Problem mit der Statistik).

Für die Kategorie "**EnEV 2002**" mit dem dort festgelegten Anforderungsniveau (selbes Problem mit der Statistik).

Die Stapelsäulen für das **Passivhaus** stellen die Messwerte aus dem Passivhaus Darmstadt Kranichstein dar. Diese passen zur statistischen Erhebung in gebauten Passivhaussiedlungen.

Wenn energieeffiziente Haushaltsgeräte verwendet werden, sind die hier gezeigten Werte typisch für heutige Passivhäuser. Erkennbar sind zwei bedeutende Schritte: Eine erste Stufe der Heizwärmeeinsparung vom typischen Altbau zur "EnEV", der freilich in drei Einzelschrittchen zerlegt wurde (1984, 1995 und 2002). Und die zweite Stufe der Heizwärmeeinsparung vom EnEV-Haus zum Passivhaus - besonders interessant, weil dabei nicht nur Energie eingespart wird, sondern das ganze System einfacher, krisensicherer und komfortabler wird. Freilich sollte in einem Passivhaus auch der Haushaltsstrom effizient genutzt werden.

Heizung erst einmal dominant

Die Grafik zeigt: In bestehenden Gebäuden ist es vor allem die Heizenergie, welche die Umwelt belastet (64% des Primärenergiebedarfs). Die Wärmeschutz-Verordnungen und die Energieeinsparverordnung haben dem Rechnung getragen - sie stellen vor allem Anforderungen an den Wärmeschutz der Gebäude, und das ist sinnvoll. Mit dem Qualitätsstandard der EnEV sinkt der Heizenergiebedarf gegenüber dem Mittelwert bei Altbauten auf weniger als die Hälfte. Nun ist der Primärenergieverbrauch für den Haushaltsstrom etwa so groß wie für die Heizung (jeweils mehr als 40%). Mit der EnEV wird der gesamte Primärenergieverbrauch gegenüber alten bestehenden Gebäuden insgesamt um etwa 40% verringert.

Im Passivhaus wird der Heizwärmebedarf noch weiter verringert; auch das ist unbedingt sinnvoll, denn er stellt immer noch den größten Einzelposten und eine bessere Dämmung ist wirtschaftlich attraktiv - sie erhöht zudem den Bautenschutz und die Behaglichkeit. Aber auch der Haushaltsstrom verdient Beachtung; durch effiziente elektrische Geräte, gute Regelung und Energiesparlampen ist es im Passivhaus Darmstadt Kranichstein gelungen, den Stromverbrauch um mehr als 50% zu senken. Auch dabei gibt es keine Komforteinbußen. Der Warmwasserbedarf, nicht so bedeutend wie Heizung oder Haushaltsstrom, wird im Passivhaus Darmstadt Kranichstein durch guten Wärmeschutz der Trinkwasserleitungen und eine Solaranlage um über 75% gegenüber dem Bestand reduziert.

Insgesamt verringert der Passivhaus-Standard den gesamten Primärenergiebedarf eines Wohngebäudes gegenüber üblichen Neubauten (EnEV) um mehr als 70%. Das ist absolut noch einmal etwa die Einsparung, die durch die EnEV gegenüber Altbauten erreicht wird. Es verbleibt gegenüber einem durchschnittlichen Altbau ein Primärenergieverbrauch, der etwa um einen Faktor 6 (auf 17%) verringert ist. *Entscheidend ist nun:* Weil der Primärenergiebedarf so gering ist, kann er dauerhaft und umweltschonend aus ortnahen erneuerbaren Quellen gedeckt werden. Das Passivhaus ist nachhaltig - es kann Teil einer auf Generationen stabilen Kreislaufwirtschaft sein. Und dies funktioniert mit vertretbarem Aufwand.

Besser als mit einem Passivhaus geht es nur, wenn auch der nun verbleibende größte Verbrauchsanteil, und das ist der Haushaltsstrom, bedeutend weiter verringert wird. Technisch ist das möglich - es setzt Entwicklungsarbeiten bei den Herstellern der Haushaltsgeräte voraus. Das Diagramm zeigt deutlich, dass es wenig sinnvoll ist, sich über das Passivhaus hinaus noch auf eine weitere Reduktion des Heizwärmebedarfs zu konzentrieren: Davon wird im Passivhaus ohnehin nur vernachlässigbar wenig verbraucht. "Nullheizenergiehäuser" sind aus Sicht des Umweltschutzes kein wichtiges Ziel. Ökonomisch sind sie es ohnehin nicht, denn beim Heizen gibt es ausgehend vom Passivhaus nicht mehr viel Geld zu sparen - und weitere Systemvereinfachungen gibt es auch nicht.

1.2.2.2 Kriterien - Richtlinien

Im Nachfolgenden sind Richtlinien für den Passivhausstandard gemäß dem Passivhaus-Institut aufgelistet [PASSIVHAUS INSTITUT, 2008]:

Spezifischer Heizwärmebedarf:	$\leq 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ nach PHPP ¹
Heizlast:	$\leq 10 \text{ W}/\text{m}^2$
Spezifischer Primärenergiebedarf:	$\leq 120 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$
Luftdichtheit n_{50} :	$\leq 0,6 \text{ h}^{-1}$ (Blow-Door bei 50 Pa Druckdifferenz)
Erforderliche U-Werte:	
Außenhülle:	$\leq 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ (wärmebrückenfrei)
Fenster gesamt:	$\leq 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, g-Wert um 50 Prozent
Südorientierung und Verschattungsfreiheit:	Passive Solarenergienutzung
Be- und Entlüftungsanlage:	Max. Luftwechsel $0,5 \text{ h}^{-1}$
Wärmerückgewinnung aus der Abluft:	Wärmebereitstellungsgrad ≥ 75 Prozent
Energiespargeräte:	Hocheffiziente Stromspargeräte für den Haushalt
Passive Luftvorerwärmung:	Optional: Erdreichwärmetauscher, Lufttemperatur auch im Winter über 5°C

1.2.2.3 Vorteile

Das Wohnen in einem Passivhaus zeichnet sich durch folgende Kriterien aus [TREBERSPURG, M., 2006]:

- **Behaglichkeit:** Durch den erhöhten Wärmeschutz der Außenbauteile sind alle raumseitigen Oberflächentemperaturen der Innenräume annähernd gleich hoch wie die Raumlufttemperatur. Das schafft eine hohe Behaglichkeit und ermöglicht eine volle Raumausnutzung.
- **Hoher Wohnkomfort:** Der Wohnkomfort als auch die Gebäudequalität eines Passivhauses sind durch die hohen Qualitätsstandards weit höher als bei konventionellen Häusern. Ein weiterer wichtiger Komfortgewinn ist die vermehrte direkte Sonneneinstrahlung in die Räumlichkeiten eines solaren Passivhauses durch die Glasflächen (Sonnenfenster, Sonnenwände und Wintergärten), die nicht nur Helligkeit, sondern auch passive solarenergetische Gewinne bringen und so die Räume erwärmen. Passivhäuser sind aber auch bei geringer solarer Einstrahlung (Verlust minimierend zu planen) möglich.
- **Frische Raumluft:** Da Passivhäuser mit einer kontrollierten Be- und Entlüftung ausgestattet sind, wird im Winter das Lüften über die Fenster überflüssig. Dies wiederum bringt viele Vorteile:
 - Durch eine Lüftungsanlage sind eine verbesserte und gleich bleibende Luftqualität und damit einhergehend eine konstante Wohnraumtemperatur und Luftfeuchtigkeit gewährleistet.
 - Sinkende Lärmbelastung (beispielsweise durch Straßenlärm), da die Fenster immer geschlossen bleiben können.
 - Der Einbau eines Filters in die Lüftungsanlage, mit dem Pollen und andere Allergien auslösende Partikel herausgefiltert werden können, bringt vor allem

¹ PHPP = Passivhaus Projektierungs Paket. Eingeführtes und bewährtes Berechnungsverfahren für die Planung von Passivhäusern.

für Allergiker entscheidende Vorteile.

- **Sparsamkeit und Wirtschaftlichkeit:** Der Bau eines Passivhauses verursacht höhere Investitionskosten, die durch Mehrkosten für verbesserte Fenster, Dämmung und Lüftung verursacht werden. Durch zusätzliche Fördergelder und deutlich geringere Betriebskosten bezogen auf die Nutzungsdauer kann der finanzielle Mehraufwand jedoch deutlich gemindert werden.
- **Sommertauglichkeit:** Durch die gut gedämmte Gebäudehülle, aber besonders durch eine gekühlte Frischluftzufuhr durch die Lüftungsanlage kann die sommerliche Überwärmung im Passivhaus vermieden werden. Wie bei konventionellen Gebäuden ist auf eine ausreichende Beschattung der Fenster und Verglasungen z.B. durch Vordächer zu achten.
- **Ökologische Aspekte:** Passivhäuser haben einen Heizwärmebedarf von weniger als 15 kWh/(m²a) und einen Primärenergiebedarf für alle Haushaltsanwendungen (Heizung, Warmwasserbereitung und Haushaltsstrom) von unter 120 kWh/(m²a). Dadurch reduzieren sich Umweltbelastungen wie CO₂- und Schwefeldioxid-Emissionen sowie weitere ökologische Belastungen wie Global Warming Potential (GWP), Primärenergie usw.
- **Krisensicherheit:** Durch den geringen Energieverbrauch und das Nutzen von erneuerbaren Energieträgern ist ein Passivhaus unabhängig von derzeit stetig steigenden Energiepreisen (Erdöl, Erdgas usw.) und sich möglicherweise ereignenden Energiekrisen. [KRAPMEIER, H., DRÖSSLER, E., 2001]
- **Architektonische Vielfalt:** Ein Passivhaus kann in allen Bauweisen errichtet werden und bietet eine Vielzahl an gestalterischen Möglichkeiten. [KRAPMEIER, H., DRÖSSLER, E., 2001]

Die oben angeführten Kriterien gelten zum Teil auch schon für Niedrigenergiehäuser, jedoch bei Passivhäusern sind diese Grundsätze und die damit zusammenhängenden Techniken zu optimieren. Nicht nur das technische Können der ausführenden Fachkräfte, sondern auch der Planer ist in erhöhtem Maße bei der Planung und Errichtung eines Passivhauses gefordert. Er muss das Konzept und alle Details auf die besonderen Anforderungen eines Passivhauses abstimmen.

Wie bei allen Häusern ist das Energiesparkonzept wesentlich auch vom Nutzer abhängig. Zum Beispiel können regelmäßig gekippte Fenster im Winter das Konzept eines Passivhauses schwer stören. Ein täglich für neun Stunden gekipptes Fenster ohne Querlüftung verursacht in etwa 14 kWh/(m²a) Lüftungswärmeverluste im Jahr. Der Nutzer muss deshalb für die Erfordernisse eines Passivhauses sensibilisiert und eingeschult werden. [GROBE, C., 2002]

1.2.2.4 Wirtschaftlichkeit

Das Interesse an Innovativen und effizienten Bauweisen ist gerade in Zeiten steigender Energiepreise stärker denn je. Energieeffizienz, Wohnkomfort und Behaglichkeit – diese Ansprüche stellen immer mehr Bauherren an ihr Bauobjekt. Doch wenn es um die Kosten geht, sind viele Interessenten verunsichert. Zu ungenau und widersprüchlich sind die Angaben über den tatsächlichen Mehraufwand des Passivhausstandards. Auch die Fördersituation gestaltet sich undurchsichtig; in Österreich gibt es in jedem Bundesland eigene Wohnbauförderungen mit beträchtlichen Unterschieden bei den Fördersummen von Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz.

Im Rahmen einer Untersuchung, durchgeführt vom Passivhaus-Institut Darmstadt, hat sich eindrucksvoll gezeigt, dass die Kosten überproportional ansteigen, wenn es sich um ein Niedrigenergiehaus mit hohem Dämmniveau handelt. Erst zu dem Zeitpunkt, an dem ein herkömmliches Heizsystem nicht mehr notwendig ist und dafür mit vergleichbaren Kosten eine hochwertige Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung eingesetzt werden kann, sinken die Mehrkosten schlagartig [Quelle: PASSIVHAUS INSTITUT, 2008].

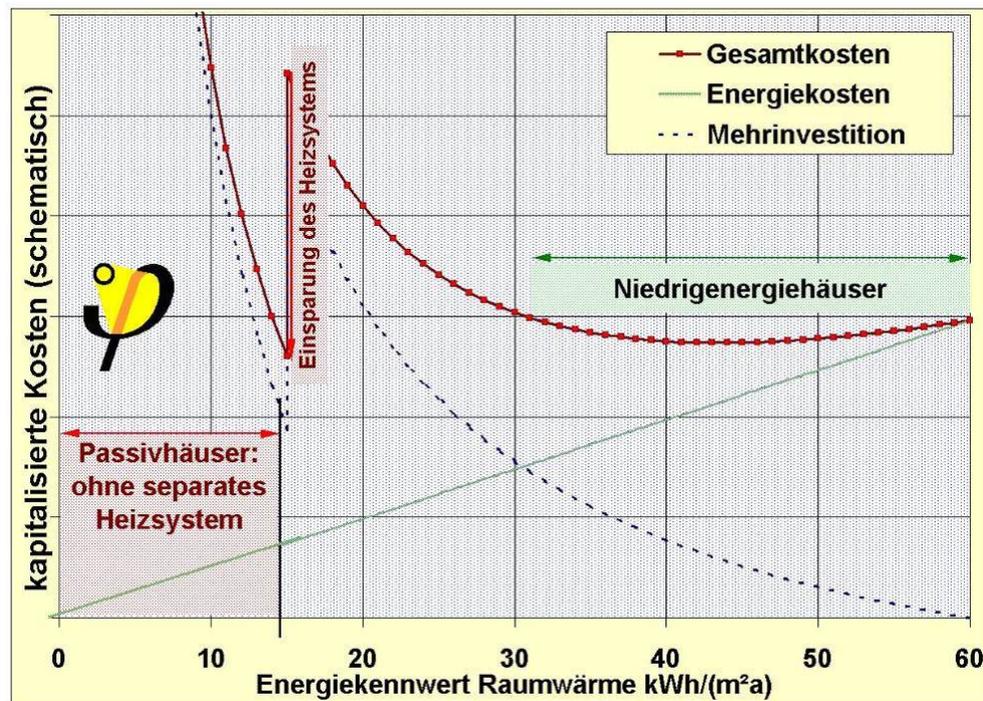


Abb. 6: Kapitalisierte Gesamtkosten als Funktion des Jahresheizwärmebedarfs [Quelle: PASSIVHAUS INSTITUT, 2008]

Für eine langfristige Betrachtung und Bewertung ist eine Fülle an Faktoren zu berücksichtigen [TREBERSPURG, M., 2006]:

- Investitionskosten,
- Staatliche Fördermittel ,
- Finanzierung,
- Betriebskosten z.B. für Energieverbrauch, Reinigung etc.,
- Instandhaltungskosten: Wartung,
- Lebensdauer der Komponenten (Haustechnik, Bauteile),
- Energiebedarf für den Hilfsstrom,
- Nebenkosten und Grundgebühren,
- Energiekostensteigerung,
- Erneuerungskosten z.B. für Umbau,
- Abbruch- und Entsorgungskosten.

I.2.3 Passivhauskonzept – Gebäudehülle

I.2.3.1 Konzept Architektonische Konstruktionsprinzipien

Verluste minimieren und passiv solare Energie gewinnen sind die Grundprinzipien eines solaren Niedrigenergiehauses und Passivhauses. Konstruktiv kann dies durch die Einhaltung verschiedener Prinzipien erreicht werden. Grundsätzlich werden beim Passivhausbau zwei Strategien unterschieden [TREBERSPURG, M, 1999]:

- Gewinnmaximierende Bauweise (Maximierung der energetischen Gewinne), welche beim Bauen im Freiland meist der Vorzug zu geben ist.
- Verlustminimierende Bauweise, die sich vor allem für das Bauen in städtischen Gebieten eignet.

Folgende Aspekte sollten bei der Planung eines Passivhauses eingehalten werden [TREBERSPURG, M., 2006]:

- Standortwahl des Gebäudes in einer möglichst wenig exponierten Lage. Als geschützte Lage gilt z.B. Südhang, als exponierte Lage gilt z.B. Kuppenlage.

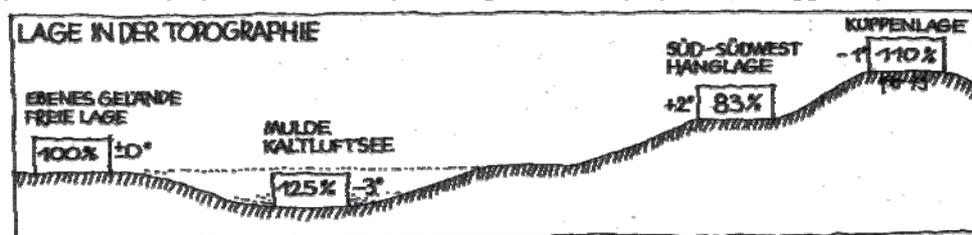


Abb. 7: Lage in der Topographie [Quelle: KRUSCHE, P. und M., 1982]

- Optimierung der „passiven Solarenergiegewinne“, daher Gebäudeorientierung möglichst nach Süden.

Die Raumaufteilung sollte so konzipiert werden, dass Nebenräume nach Norden und Wohnräume nach Süden angeordnet werden.

- Vermeidung von Verschattung des Gebäudes: Empfehlenswert ist es in der näheren Umgebung des Passivhauses nur Laubbäume zu pflanzen. Dies bringt zweierlei Vorteile: Zum einen sind im Winter, wenn die Bäume ihre Blätter abgeworfen haben, die solaren Gewinne größer und zum anderen bildet das Blätterdach im Sommer einen natürlichen, wirksamen Schutz vor Überhitzung.

- Kompakte Baukörperform:

Dieses drückt sich im A/V-Verhältnis, dem Quotienten aus Umfangsfläche und Bruttorauminhalt, aus. Je kleiner dieses Verhältnis ist, desto geringer wird die Fläche, über die Wärme nach außen abgegeben werden kann und desto geringer werden damit die Energieverluste (Einfamilienhaus ca. $0,75 \text{ m}^{-1}$, großvolumige Blockrandbebauung ca. $0,2 \text{ m}^{-1}$).

Neben der Größe des Baukörpers, die den A/V-Faktor entscheidend beeinflusst, wird dieser auch durch die geometrische Form und vor allem durch die Gliederung der Außenoberfläche verändert. Eine starke Gliederung der Fassaden eines Baukörpers durch Vor- und Rücksprünge, Erker und Nischen, Pfeilervorlagen und Gesimse kann die Außenoberfläche eines Gebäudes und somit die Fläche der Wärmeabstrahlung deutlich vergrößern.

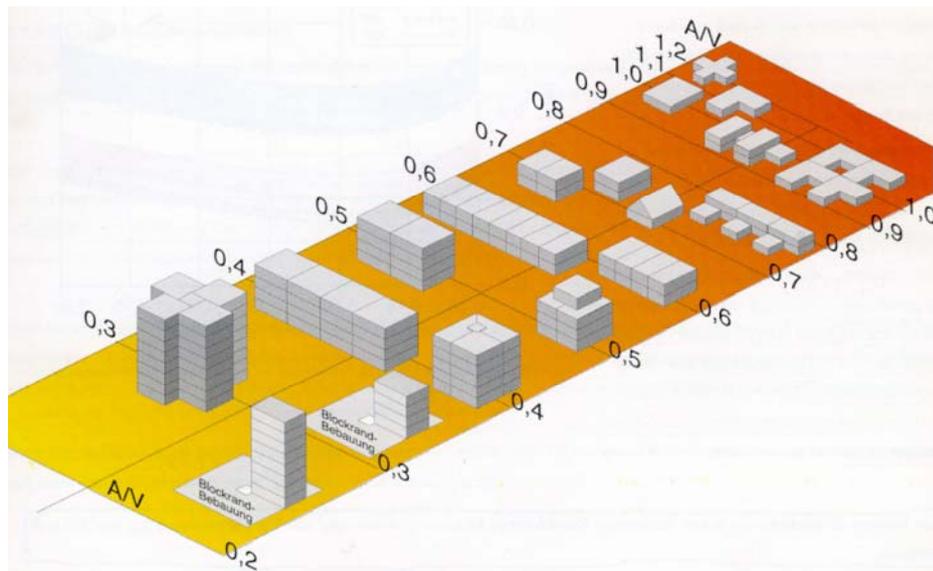


Abb. 8: Vergleich von Baukörperformen und ihrer Kompaktheit (A/V-Verhältnis) [Quelle: WIRTSCHAFTSMINISTERIUM BADEN-WÜRTTEMBERG (Hrsg.), 2004]

I.2.3.2 Konzept Gebäudehülle – opake Bauteile

Um die Transmissionswärmeverluste auf ein Minimum zu reduzieren, benötigt ein Passivhaus eine hoch gedämmte, wärmebrückenfreie und luftdichte Gebäudehülle. Bei opaken Bauteilen sollte der Wärmedurchgangskoeffizient $0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ nicht überschreiten [FEIST, W., 2001], wobei U-Werte von etwa $0,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ anzustreben wären. Konstruktive Wärmebrücken müssen soweit wie möglich vermieden werden.

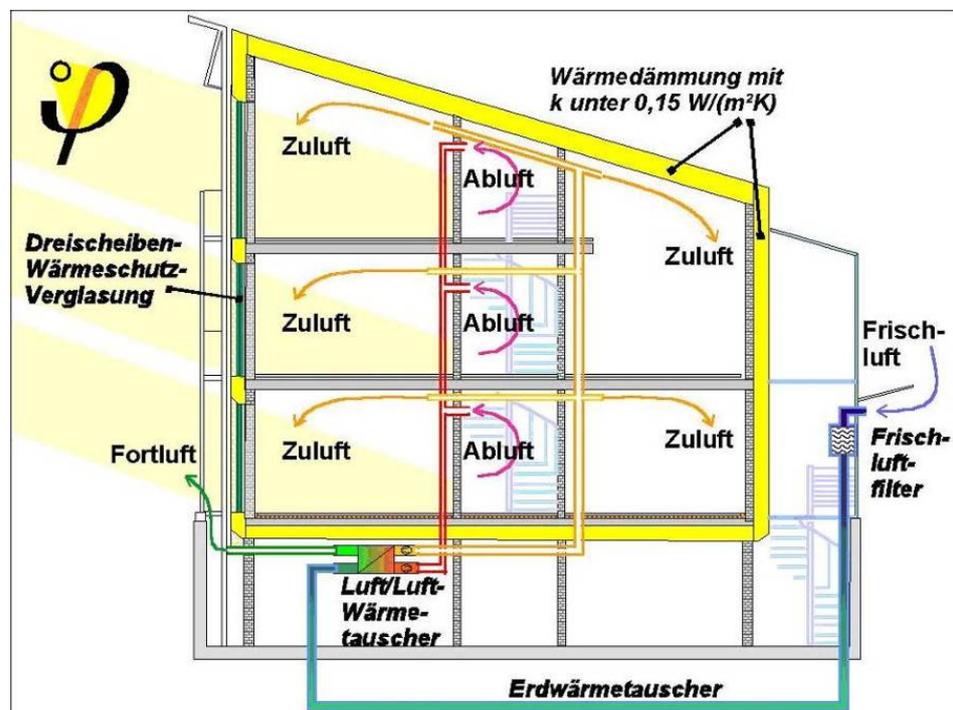


Abb. 9: Schnitt durch die thermische Hülle eines Passivhauses [Quelle: PASSIVHAUS INSTITUT, 2008]

Die nachfolgende Abbildung zeigt einen Überblick der erforderlichen U-Werte von opaken Bauteilen untergliedert in großvolumige Wohnbauten und Einfamilienhäuser.

Bauteil	Erforderlicher U-Wert [W/(m ² K)] im großvolumigen Wohnbau	Erforderlicher U-Wert [W/(m ² K)] im Einfamilienhausbau
Außenwand (beheizt zu Außenluft)	≤ 0,15	≤ 0,12
Dach (beheizt zu Außenluft)	≤ 0,13	≤ 0,11
Bodenplatte (beheizt zu Erdreich)	≤ 0,20	≤ 0,15
Außenwand (beheizt zu Erdreich)	≤ 0,15	≤ 0,12
Kellerdecke (beheizt zu unbeheiztem Keller)	≤ 0,20	≤ 0,15

Abb. 10: Erforderliche U-Werte von opaken Bauteilen untergliedert in großvolumige Wohnbauten und Einfamilienhäuser [Quelle: TREBERSPURG, M., ERTL, U., 2006]

Auswahl des Wärmedämmstoffes

Auf dem Markt wird eine große Anzahl an verschiedensten Wärmedämmstoffarten angeboten. Aus diesem Angebot muss jeweils die für den speziellen Anwendungsfall am besten geeignete Wärmedämmung ausgewählt werden.

In Abhängigkeit der Wärmeleitfähigkeit λ [W/mK] des Dämmstoffes sind unterschiedliche Dämmstoffdicken erforderlich. Dabei gilt, je geringer die Wärmeleitfähigkeit, desto besser ist der Wärmeschutz bei gleicher Dicke.

Für die Wahl eines geeigneten Dämmstoffes sind neben der Wärmeleitfähigkeit λ [W/mK] auch die Umweltverträglichkeit und viele weitere Kriterien zu nennen.

	Rohdichte	Wärmeleitfähigkeit	spez. Wärmekapaz.	Diffusionswiderstand	Brennbarkeitsklasse
	[kg/m ³]	[W/mK]	[kJ/kgK]		
Glaswolle	20-153	0,039-0,040	0,84	1-2	A
Steinwolle	27-149	0,039-0,040	0,84	1-2	A
Blähglimmer	60-180	0,065-0,070	0,88	3-4	A1
Blähperlit	85-145	0,044-0,053	1	1-3,5	A-B1
Blähton	300-700	0,10-0,16	-	1-8	A1
Schaumglas	120	0,042	1,1	dampf- dicht	A
Expandiertes Polystyrol (EPS)	11-25	0,036-0,044	1,5	20-80	B1
Extrudiertes Polystyrol (XPS)	45	0,032	1,5	80-200	B1
Polyurethanschaum (PU)	30	0,025-0,30	1,2	60-dicht	B2
Holzweichfaserplatte	160-170	0,045	2,1	5-10	B2
Holzwoleleichtbauplatte	400-800	0,09-0,15	2,1	4-7	B1
Zellulosefaser	55-75	0,040	1,7-1,9	1,5-2	B1-B2
Baumwolle	20-40	0,040	0,84	1-2	B2
Flachs	30	0,040	1,3	1	B2
Hanf	150	0,065	-	-	B2
Kokos	50-90	0,045-0,50	1,6	1	B2-B3
Kork	120	0,045	1,67	18	B2
Schafwolle	30-138	0,040-0,042	0,96	1-2	B2
Schilf	225	0,055	1,2	2	B2
Stroh	150	0,056-1,13	-	1-1,5	B2

Abb. 11: Übersicht verschiedenster Wärmedämmstoffarten [Quelle: OIB, 1999]

1.2.3.3 Konzept Gebäudehülle – transparente Bauteile / Fenster

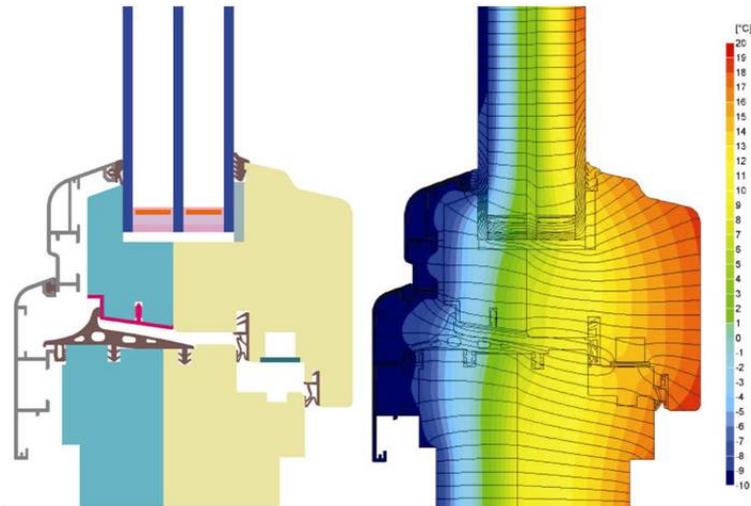
Beim Passivhaus haben die Fenster nicht nur eine architektonische, sondern auch eine wesentliche energietechnische Bedeutung und müssen daher einen geringen U-Wert von maximal 0,8 W/m²K besitzen [FEIST, W., 2001]. Weiters haben sie die Funktion ausreichend Sonnenenergie hindurch zu lassen um die passive Solarenergie zu nutzen. Daher sollte der Gesamtenergiedurchlassgrad (g-Wert = Anteil der für den Raum verfügbaren Solarenergie) bei Fenstern sollte zwischen 50 und 60 Prozent liegen.

Fenstersysteme setzen sich zusammen aus:

- Rahmenkonstruktion und
- Verglasung.

Rahmenkonstruktion

Rahmenkonstruktionen, wie sie bei Niedrigenergiehäusern angewendet werden, können bei Passivhäusern nicht eingesetzt werden. Hier müssen spezielle Rahmen aus Holz oder Kunststoff mit integrierter Wärmedämmung, Kammern und Abdichtungen verwendet werden.



Lederbauer 'ÖKOplus Alu'			
Rahmenmaterial: Holz-Aluminium-Rahmen mit Polystyrol- oder Kork Dämmung			
Verglasung 44 mm mit $U_g = 0.7 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ (4/16/4/16/4)			
Falzdichtung als raumseitige Flügelüberschlagsdichtung, Mitteldichtung im Flügelrahmen, Entwässerung über Dichtungsprofil			
		Laibung	Brüstung
Rahmenkennwerte	U_r [$\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$]	0.73	0.73
	Ansichtsbreite [mm]	139	139
Randverbund: Swisspacer V mit Edelstahlfolie	Ψ_g [$\text{W}/(\text{mK})$]	0.019	
Glaseinstand	d [mm]	29	
U_w -Wert (1.23 m x 1.48 m)	U_w [$\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$]	0.75	
Hersteller:	Lederbauer, Firma Lederbauer, Eberschwang 81, A-4906 Eberschwang, Tel.: 0043 7753/2511-0		
Berechnung:	PHI		

Abb. 12: Beispiel eines Zertifikats eines Passivhausfensters [Quelle: LEDERBAUER, 2008]

Verglasung

Die Verglasung der Fenster in Passivhäusern muss folgende Anforderungen erfüllen:

- Möglichst kleiner Wärmedurchgangskoeffizient U [$\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$]
- Möglichst großer Gesamtenergiedurchlassgrad g [dimensionslos]

Üblicherweise korrespondiert ein kleiner U -Wert mit einem kleinen g -Wert und umgekehrt. Somit muss für jeden Einzelfall der bestmögliche Kompromiss zwischen beiden Anforderungen ermittelt werden. Passivhausgeeignete Verglasungen weisen einen U -Wert von $0,5 - 0,8 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ auf und einen g -Wert von $\geq 0,45$. [PASSIVHAUS INSTITUT, 2008]

Für Passivhäuser kommen nur Wärmeschutzverglasungen als 3-Scheiben-Isolierglas mit zwei Wärmeschutzbeschichtungen und Gasfüllung in den Scheibenzwischenräumen in Frage. Die Wärmeschutzbeschichtung reduziert die Wärmeabstrahlung der Scheiben und die Gasfüllung reduziert die Transmissionswärmeverluste. Als Gasfüllung werden Edelgase wie Argon, Krypton oder Xenon verwendet.

Bei konventionellen Isolierverglasungen sind die einzelnen Scheiben am Rand durch Abstandhalter („Spacer“) aus Aluminium verbunden. Hierbei wird ein erheblicher Wärmeverlust über den Randverbund in Kauf genommen. Passivhausfenster müssen Abstandhalter aus Kunststoff oder Nirosta aufweisen. Außerdem muss der Randverbund der Scheiben vom Rahmen weiter überdeckt werden als bei normalen Isoliergläsern d.h. der Randeinstand im Rahmen muss größer sein um Wärmeverluste über den Glasrand zu reduzieren.

Sonnenschutz

Die Dichtheit der Gebäudehülle von Passivhäusern und die großflächigen Verglasungen an den Ost-/ Süd- und Westflächen zur optimalen Nutzung der passiven Sonnenenergie haben in den warmen Sommermonaten den Nachteil, dass die Temperaturen in den Räumen dahinter bei starker Sonneneinstrahlung rasch ansteigen und den Behaglichkeitsbereich übersteigen. Durch die gute Dämmung bildet sich eine Art Treibhauseffekt. Das Öffnen der Fenster bringt zu den Zeiten starker Sonneneinstrahlung keinen gewünschten Kühleffekt, da die Außentemperatur selbst oft mehr als 26 °C beträgt.

Ziel der Sommertauglichkeit von Passivhäusern ist daher, auf aktive Kühlsysteme zu verzichten (Aspekt geringer Energieverbrauch) und stattdessen auf passive Kühlsysteme z.B. Beschattungssysteme an den besonnten Fassadenflächen zurückzugreifen um für ein behagliches Raumklima zu sorgen.

Ein gewünschter Kühleffekt durch eine niedrigere Innenraumtemperatur kann in der Passivhaustechnologie auf folgende Weise erreicht werden:

- Das Lüftungssystem des Passivhauses über den Erdwärmetauscher fungiert im Sommer als Kühlsystem.
- Um eine Überwärmung zu verhindern ist an den von der Sonne stark beschienenen Flächen ein ausreichendes Sonnenschutzsystem (außen liegendes System wirksamer als innen liegendes) einzuplanen.
- Durch energiesparende Elektrogeräte können die internen Wärmegewinne reduziert werden
- Helle Materialien (niedrige Absorption, hohe Reflexion)
- Speichermassen von opaken Flächen (Mauern, Böden), die erst dann einen wärmenden Effekt haben, wenn die umliegende Temperatur kühler ist.

In der Sonnenschutztechnik werden am Markt zahlreiche Konstruktionen aus unterschiedlichen Materialien (Textilien, Glas, Kunststoffe, Metalle, Verbundstoffe) angeboten, deren Ziel es ist, durch eine möglichst günstige Kombination des Reflexions-, Transmissions- und Absorptionsvermögens der Sonneneinstrahlung für einen optimalen Kühl- und Beschattungseffekt zu sorgen.

Folgende Konstruktionen sind als Sonnenschutz möglich [BÄCKERMANN, R, 1998]:

- Natürlicher Sonnenschutz (Bäume, Sträucher etc.)
- Bautechnische Sonnenschutzanlagen (Holzwände etc)
- Markisen
- Jalousien (außen/zwischen/innen)
- Roll-, Lamellen- und Raffsysteme
- Vorhänge und Gardinen
- Fenster - Sonnenschutz Verbundsysteme
- Elektrooptische und physikalische Systeme
- Lichtleitsysteme

In der ÖNORM B 8110 - 3 sind folgende Richtwerte für die Abschattungsfaktoren von Sonnenschutzsystemen angegeben. Faktor 1 bedeutet dabei, dass keine Abschattungsvorrichtung vorhanden ist (je geringer der Wert umso besser die Wärmeschutzwirkung).

Abschattungsvorrichtung	Abminderungsfaktor z
Außenjalousie	0.27
Zwischenjalousie	0.53
Innenjalousie	0.75
Vordächer, Loggien, Balkone	0.3 - 0.32
Markisen	0.43 - 0.5
Rollläden, Fensterläden	0.32
Vorhänge und Innenmarkisen	0.75
Pflanzen	0.5 - 1
Textilien	0.4 - 0.7

Abb. 13: Abschattungsfaktoren für Sonnenschutzsysteme gemäß ÖNORM B 8110 - 3. [Quelle: ÖNORM B 8110, 1999]

1.2.3.4 Wärmebrückenminimierung

Wärmebrücken sind örtlich begrenzte Schwächungen des Wärmeschutzes in flächigen Bauteilen, wodurch eine lokale Reduzierung der inneren Oberflächentemperatur entsteht. An solchen Stellen kann die Taupunkttemperatur unterschritten werden, sodass mit Tauwasserbildung und Feuchtigkeitsschäden gerechnet werden muss. [PREGIZER, D., 2002]

Je höher der Wärmeschutz eines Gebäudes ist, desto erheblicher wird der Einfluss von Wärmebrücken. Das kann dazu führen, dass der Wärmeschutz der Gebäudehülle stark eingeschränkt wird.

Wärmebrücken können in Form von linien- oder punktförmigen Wärmeverlusten auftreten. Unterschieden werden weiters:

- geometrische (Kanten, Ecken) und
- materialbedingte Wärmebrücken, wie sie bei Durchdringungen und Anschlüssen auftreten können.

Während sich geometrische Wärmebrücken eher selten vermeiden lassen, besteht bei materialbedingten Wärmebrücken die Möglichkeit, durch bauphysikalisch einwandfreie Konstruktionen den Wärmeverlust zu minimieren.

Um Wärmebrücken zu vermeiden sollten folgende Planungs- und Ausführungshinweise berücksichtigt werden [PREGIZER, D., 2002]:

- Die gesamte Wärme abgebende Gebäudehülle muss lückenlos und möglichst in gleicher Dicke und Qualität mit Wärmedämmung versehen werden
- Luftdichte Ausführung der Gebäudehülle
- Durchdringungen der Wärmedämmebene verhindern. Wenn die Dämmung dennoch durchstoßen werden muss, dann möglichst mit Bauteilen, die einen geringen Wärmedurchgangswiderstand aufweisen.
- Kanten mit möglichst stumpfen Winkeln wählen um geometrische Wärmebrücken zu vermeiden.
- Installationen raumseitig in einer eigenen Installationsebene führen
- Bei der Planung auf wärmebrückenfreie Detailanschlüsse achten. Kritische Detailanschlüsse z.B. auskragende Balkonplatte, Attikaanschluss, Fensteranschlüsse, Deckenaufleger, usw.

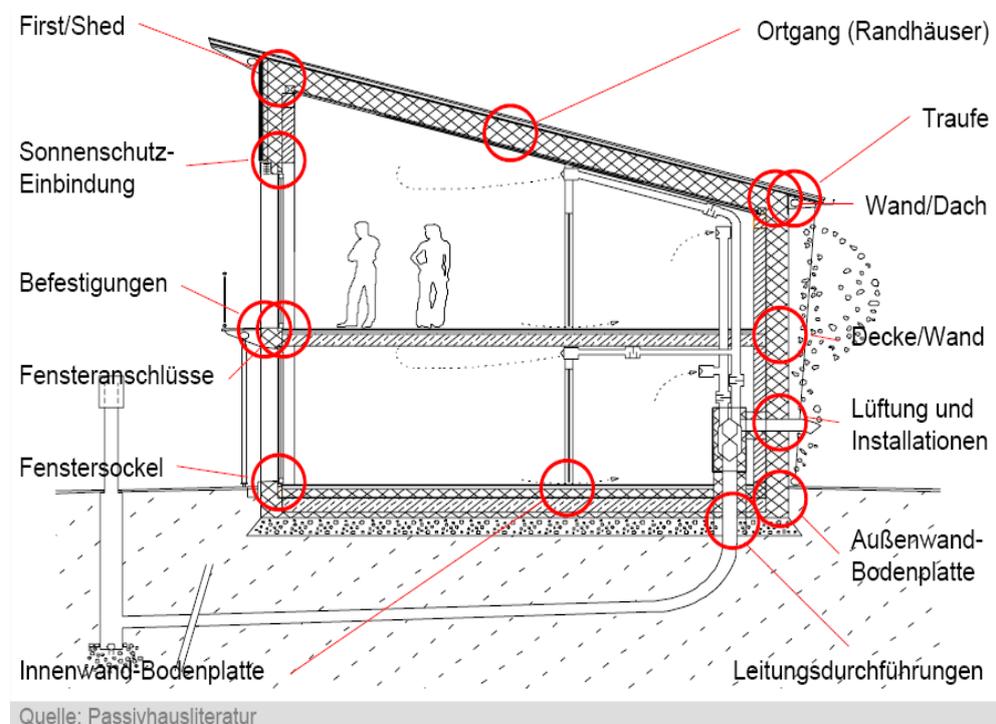


Abb. 14: Schwachstellen (Wärmebrücken) in der Gebäudehülle [Quelle: DONAUUNIVERSITÄT KREMS, 2007]

1.2.3.5 Konzept Luftdichtheit

Die Luftdichtheit der Gebäudehülle ist von zentraler Bedeutung. Bei schlecht gedämmten Gebäuden wird der Jahresheizwärmebedarf zum Großteil durch den hohen Wärmeverlust der Bauteile (Transmissionswärmeverlust) verursacht. Die Lüftungswärmeverluste durch Fenster- und Fugenlüftung sind hingegen eher unbedeutend gering.

Bei einem Passivhaus herrscht der gegenteilige Sachverhalt vor. Durch die niedrigen Transmissionswärmeverluste steigt der Anteil der Lüftungswärmeverluste. Der gesamte Lüftungswärmeverlust setzt sich aus einem

- Gebäudefugenanteil und
- einem Bedarfslüftungsanteil

zusammen. Letzterer entspricht der Fensterlüftung bzw. dem Verlust durch die kontrollierte Be- und Entlüftung. [FEIST, W., 2001]

Leckagen können bei Passivhäusern einen so genannten Lüftungskurzschluss hervorrufen, da jede natürliche Druckdifferenz eine Luftbewegung erzeugt und den gewollten, künstlich aufgebauten Differenzdruck der Lüftungsanlage stört. Dieser Lüftungskurzschluss entsteht, wenn sich Leckagen in den Ablufträumen befinden. Diese fungieren dann als Zuluftöffnungen und machen keine oder nur eine unzureichende Belüftung der Zuluft Räume möglich. Dabei geht die Effizienz dieser Anlagen je nach Grad der Luftundichtigkeit teilweise oder ganz verloren.

Wird zusätzlich ein Wärmetauscher integriert, so kann auch dieser nicht den versprochenen Wärmerückgewinn leisten, da die warme Abluft zu großen Teilen durch die Leckagen wandert und nicht durch den Wärmetauscher.

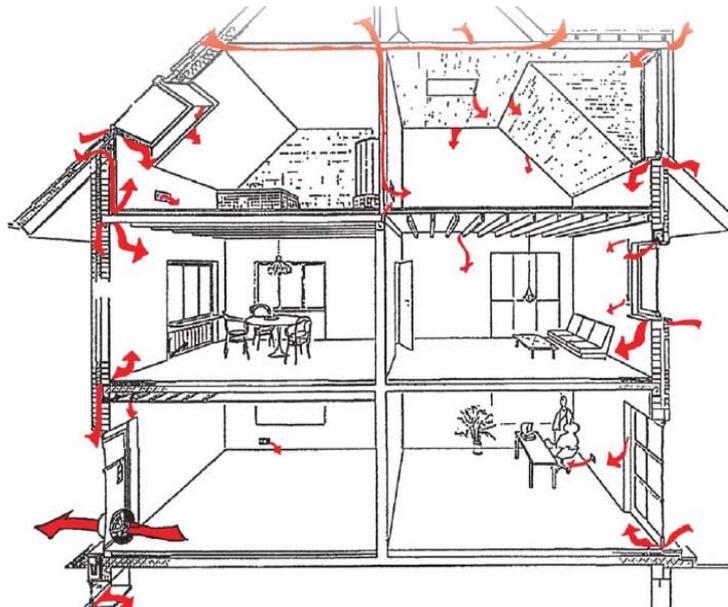
Eine unangenehme Nebenerscheinung dieser Wärmeverluste durch Konvektion ist die Kondensatbildung in der Dämmebene. Bei einer möglichen Durchströmung der Wärmedämmung kann es durch Abkühlung der warmen Raumluft auf ihrem Weg nach außen zu Tauwasserbildung kommen.

Mit ansteigendem Grad der Undichtigkeiten sinkt die Behaglichkeit und der Wohnkomfort im Gebäude: Gelangen kalte Luftmassen unkontrolliert in ein Gebäude, erzeugen sie aufgrund der höheren spezifischen Dichte eine unangenehme Zegerscheinung über dem Fußboden (Fußkälte).

Der Luftfeuchtegehalt von kalter Luft ist geringer als der von warmer Luft. Beim Eintreten dieser Luftmassen in das Gebäude wird die warme Raumluft zusätzlich durch die kalte Luft ausgetrocknet, was eine unangenehm und ungesund niedrige Raumluftfeuchte zur Folge hat. [TREBERSPURG, M., 2006]

Um Wärmeverluste durch Fugenlüftung zu vermeiden ist die Herstellung einer besonders luftdichten Gebäudehülle notwendig. Der Sollwert bei Passivhäusern ist eine Luftwechselrate von $n_{50} \leq 0,6$ pro Stunde bezogen auf das Gebäudeluftvolumen bei einem Luftdruckunterschied von 50 Pascal.

Um solch eine Luftdichtheit zu gewährleisten, müssen bereits in der Planungsphase Detaillösungen bei kritischen Anschlusspunkten konzipiert werden.



Quelle: Energie und Umweltzentrum (EUZ)

Abb. 15: Potentielle Undichtheiten in der Gebäudehülle [Quelle: DONAUUNIVERSITÄT KREMS, 2007]

Die Messung der Luftdichtheit erfolgt mit dem Blow-Door-Test. Hierzu wird in eine Außentür oder Außenfenster ein Messgerät, bestehend aus einem Metallrahmen mit Kunststoffbespannung, einem Ventilator sowie einem Druckmessgerät eingebaut. Mit dem Ventilator kann im Gebäude Unter- als auch Überdruck erzeugt werden. Dabei wird die vom Ventilator transportierte Luftmenge gemessen, wodurch der Luftwechsel ermittelt werden kann. Bei der Messung wird ein Differenzdruck zwischen innen und außen von 50 Pascal zugrunde gelegt. Der bei diesem Differenzdruck ermittelte Luftwechsel wird als n50-Wert bezeichnet.



Quelle: Passivhaus Institut Darmstadt

Abb. 16: Luftdichtheitestest „Blow-Door-Test“ [Quelle: DONAUUNIVERSITÄT KREMS, 2007]

Ein geforderter Nachweis die Qualität der Ausführung eines Passivhauses zu überprüfen ist die Durchführung einer thermographischen Untersuchung. Hierbei kann mit einer speziellen Wärmebildkamera ein Wärmefluss sichtbar gemacht werden. Diese Untersuchung dient meist dazu, die Luftdichtheit und Wärmebrückenfreiheit des Passivhauses nachzuweisen.

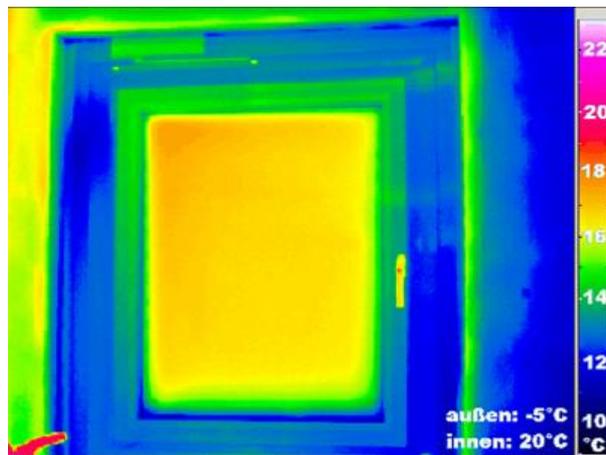


Abb. 17: Thermographische Aufnahme einer Fenstertür mit 2-fach-WS-Glas (raumseitig) [Quelle: TREBERSPURG, M., 2006]



Abb. 18: Thermographische Aufnahme eines Passivhausfensters (raumseitig). [Quelle: TREBERSPURG, M., 2006]

I.2.4 Passivhaus – Haustechnik

I.2.4.1 Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung

Die Lüftung dient der Deckung des hygienischen Lüftungsbedarfs und ermöglicht eine kontinuierliche Frischluftzufuhr. Gleichzeitig werden Geruchsstoffe, CO₂ und verbrauchte Luft permanent abgesaugt, damit einerseits keine baulichen Schäden (z. B. Tauwasserausfall mit dem daraus oft resultierenden Schimmelbefall) auftreten können und andererseits ein einwandfreies Raumklima entsteht.

In einem Passivhaus dient die Lüftungsanlage nicht nur der kontinuierlichen Frischluftzufuhr, sondern fungiert gleichzeitig als Heizung (Deckung des Restheizwärmebedarfs $\leq 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$), wobei folgende Wärmemengen genutzt werden und in die Wärmebilanz eines Passivhauses eingehen:

- Interne Wärmegewinne wie z.B. Körperabwärme der Bewohner und Abwärme von elektrischen Geräten sowie der Beleuchtung
- Solare Wärmegewinne

Für Wohngebäude mit mechanischer Lüftungsanlage wird ein dauerhafter Luftwechsel zwischen 0,4-fach und 0,8-fach angestrebt. Als Orientierungswert dient eine Außenluftmenge von 30m³ pro Stunde und Person. [PREGIZER, D., 2002]

I.2.4.2 Lüftung und Luftfeuchtigkeit

Die Höhe der relativen Raumluftfeuchtigkeit in Innenräumen hängt von folgenden beiden Einflussgrößen entscheidend ab:

- der Intensität der inneren Feuchtequellen (z.B. Blumen, Kochen, Trocknen,...),
- der Menge der zugeführten Frischluft von außen.

Der aus den inneren Feuchtequellen stammende Wasserdampf wird durch die zugeführte frische Außenluft verdünnt. Dabei spielt es keine Rolle, ob die Außenluft durch Fugen, durch Fenster oder durch eine Lüftungsanlage (jedenfalls solange keine Be- oder Entfeuchtung stattfindet) hereingebracht wird. Und es spielt auch keine Rolle, ob die Luft (z.B. durch eine Wärmerückgewinnung) erwärmt wird - die Masse des im Luftstrom enthaltenen Wassers ändert sich nämlich bei allen diesen Vorgängen nicht.

Besonders stark ist dieser Verdünnungseffekt im Winter; kalte Außenluft enthält nämlich nur sehr wenig Wasserdampf (bei -5°/90% z.B. nur etwa 3 g je Kubikmeter Luft). Wird diese Luft in den Raum gebracht, wo sie letztendlich auf 20° erwärmt ist, dann beträgt ihre relative Feuchtigkeit nur noch 17,6% - solange, wie kein weiteres Wasser aus inneren Quellen der Raumluft zugeführt wird. Bei haushaltsüblichen Feuchtequellen (330 g/h - individuell verschieden) und einer "normgerechten" Lüftung (im Beispiel 120 m³/h - es gilt hier DIN 1946) resultiert unter diesen Bedingungen eine relative Innenluftfeuchtigkeit von 33,5%. Dies ist ein in der Regel noch komfortabler Wert, wenn die Luft einigermaßen sauber (wenig staubhaltig) ist.

Wenn bei normgerechter Lüftung den Bewohnern die sich einstellende Luftfeuchtigkeit zu niedrig erscheint, so ist leicht Abhilfe möglich: Durch eine Verringerung der Außenluftvolumenströme steigt die relative Innenluftfeuchtigkeit an, weil die Wasserdampfquellen weniger verdünnt werden. Nimmt man im obigen Beispiel die Außenluftmenge in der kalten Zeit auf 80 m³/h zurück - was in jedem Fall noch zulässig ist und immer noch eine ausreichend gute Raumluftqualität ergibt - so steigt die Raumluftfeuchtigkeit auf ca. 41% an.

Niemand sollte mehr lüften, als es seinem eigenen Behaglichkeitsempfinden bzgl. der Luftfeuchtigkeit entspricht. Konventionelle Lüftungsplaner neigen dazu, Luftmengen von Wohnungslüftungsanlagen eher hoch zu dimensionieren; es gab Zeiten, da wurde ein 0,5-facher oder gar 0,8-facher Luftwechsel für notwendig gehalten - und zwar gerade, um die Raumluftfeuchtigkeit im Winter niedrig zu halten; dann ist nämlich die Gefahr von Tauwasserbildung und damit verbunden die Schimmelpilzgefahr gering. Diese beiden Gefahren bestehen im Passivhaus aber ohnehin nicht, denn wegen des guten Wärmeschutzes sind alle Innenoberflächen von Außenbauteilen ohnehin so warm, dass auch bei 60% Raumluftfeuchtigkeit noch keine Tauwasserbildung auftritt. Daher kann die Außenluftmenge im Passivhaus ruhig in kalten Perioden etwas niedriger gehalten werden, insbesondere dann, wenn die Raumluftfeuchtigkeit von den Bewohnern sonst als zu gering empfunden wird. "Anhaltswerte" für Wohnungen sind Luftwechsel der Lüftungsanlage zwischen 0,3 und 0,4-fach. Für Passivhäuser geben wir generell die Empfehlung, die Luftmengen eher an diesen unteren Werten zu orientieren. Dann bleibt die Raumluftfeuchtigkeit bei guter Luftqualität im komfortablen Bereich.

Abhilfe bei niedrigen Raumluftfeuchtigkeiten:

- Luftmengen geringer einstellen
- evtl. zusätzliche Feuchtequellen in die Wohnräume (z.B. Blumen)
- Wohnungen möglichst staubfrei halten: öfter mit einem guten Staubsauger mit Feinststaubfilter saugen.

Praktisch staubfreie Luft wird auch bei ganz geringen Feuchtigkeiten nicht als "zu trocken" empfunden; in kalter Höhenluft fühlen wir uns wohl. Allerdings lässt sich Luft in Wohnungen mit vertretbarem Aufwand nicht staubfrei halten. Daher gibt es tatsächlich auch eine Untergrenze für die relative Raumluftfeuchtigkeit (bei ca. 30%) unterhalb der die meisten Nutzer die Luft als zu trocken empfinden.

Wenn die Außenluftmengen für eine noch als ausreichend "feucht" gehaltene Innenluft zu gering werden, um eine ansonsten gute Raumluftqualität zu erhalten, so gibt es als weiterführende technische Lösung separat aufgestellte Luftbefeuchter, die jedoch regelmäßig gereinigt werden müssen.

In kalter Luft ist nur eine geringe Wassermenge enthalten (im Beispiel: 3 g/m³) und dies sind bereits 90% der Feuchtigkeit, die Luft bei -5°C überhaupt aufnehmen kann (Sättigungsfeuchtigkeit bei -5°C). Wärmere Luft kann deutlich mehr Wasserdampf aufnehmen, bei 20°C z.B. bis zu 17,3 g/m³. Wird kalte Luft durch Lüften in den Raum gebracht und auf 20°C erwärmt, so entsprechen die darin enthaltenen 3 g Wasser je m³ einer relativen Feuchtigkeit von nur 17,6%.

Je höher die zugeführte Außenluftmenge, desto geringer wird die sich im Innenraum einstellende relative Raumluftfeuchtigkeit.

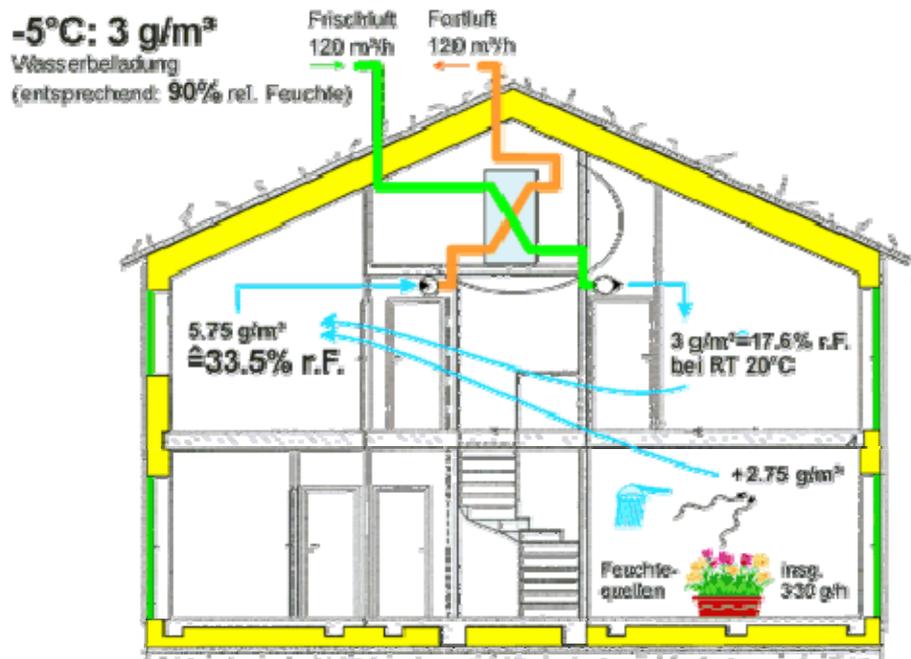


Abb. 19: Beispiel von Luftzufuhr mit 120m³/h [Quelle: www.passivhaustagung.de]

Bei "normaler Lüftung" mit **120 m³/h** wird die im Haus freigesetzte Feuchtigkeit so weit verdünnt, dass bei den dargestellten Außenluftbedingungen eine relative Feuchtigkeit von etwas über 33% im Innenraum entsteht. In der Regel ist das akzeptabel. (Luftmenge je Person 30 m³/h gemäß DIN 1946, Luftwechsel bezogen auf das Luftvolumen etwa 0,37 h⁻¹).

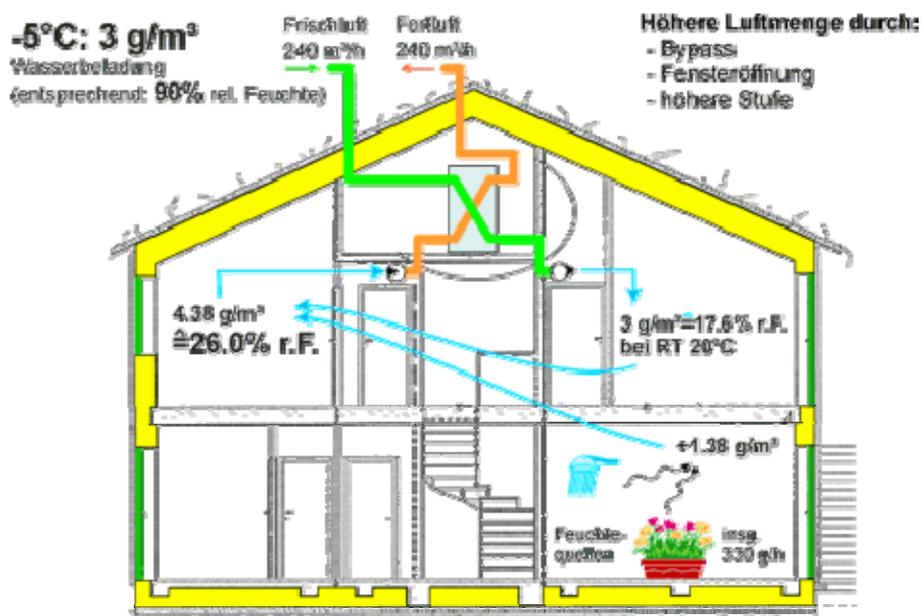


Abb. 20: Beispiel von Luftzufuhr mit 240m³/h [Quelle: www.passivhaustagung.de]

Bei "erhöhter Lüftung" mit **240 m³/h** wird die im Haus freigesetzte Feuchtigkeit stärker verdünnt. Nun herrscht nur noch eine relative Feuchtigkeit von ca. 27%. Dies wird im Allgemeinen als zu trocken empfunden. Eine Außenluftmenge von 60 m³/h je

Luft wird nach außen geführt (Fortluft).

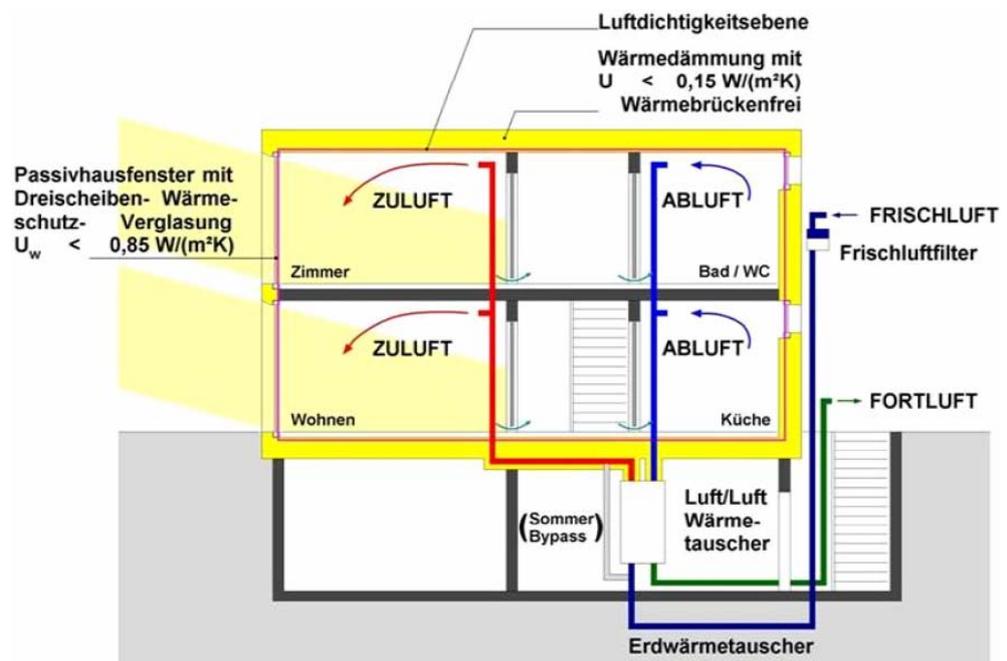


Abb. 22: Funktionsschema Passivhaus-Haustechnik [Quelle: KRAPMEIER, H., DRÖSSLER, E., 2001]

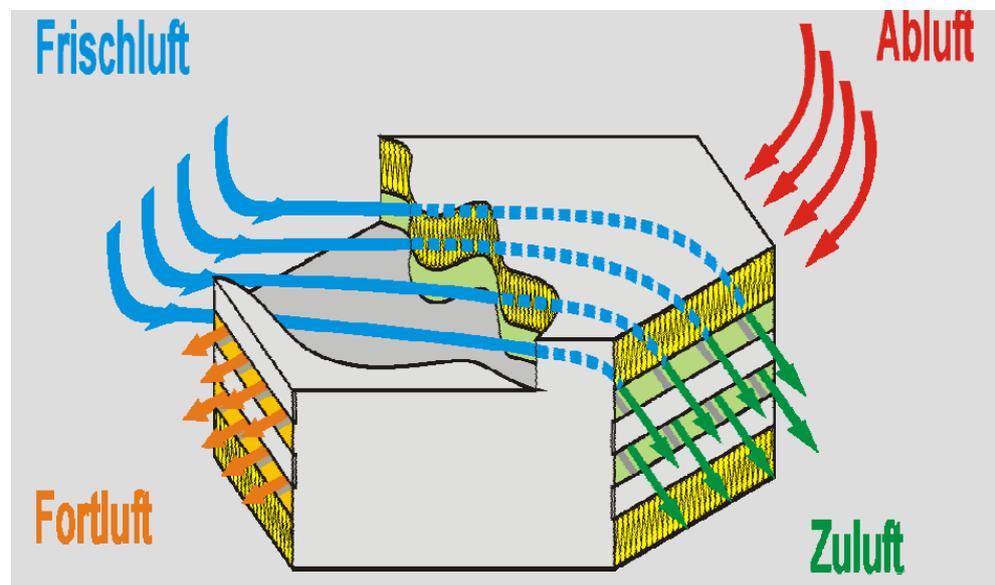


Abb. 23: Gegenstrom-Wärmetauscher: Prinzipdarstellung Wärmeübertragung. [Quelle: FEIST, W., 2001]

Der Wärmetauscher des Zentralgeräts muss einen Wärmebereitstellungsgrad von mindestens 85 Prozent aufweisen, d.h. mindestens 85 Prozent der in der Abluft enthaltenen Wärmeenergie müssen entzogen und auf die Zuluft übertragen werden. [PREGIZER, D., 2002]

Erdwärmetauscher

Die angesaugte Frischluft kann vor dem Eintritt ins Gebäude über einen Erdwärmetauscher (auch Erdkollektor genannt) geführt werden. Dabei handelt es sich um eine Rohrleitung, die in ca. 2 m Tiefe (Jahresdurchschnittstemperatur ca. +12°C) verlegt wird. Aufgrund der im Erdreich relativ konstant bleibenden Temperatur wird die durch den Erdreichwärmetauscher angesaugte Außenluft im Winter vorgewärmt.

Folgende Punkte sind bei der Planung und Ausführung eines Erdreichwärmetauschers vorzusehen:

- Leitungslänge 30 bis 40 m
- Leitungsdurchmesser 150 bis 200 mm
- Glatte Innenflächen (Vermeidung von Schmutzansammlungen)
- Verlegetiefe mindestens 2 m
- Kondensatablauf an der tiefsten Stelle vorsehen
- Ausreichendes Gefälle (eventuelle Setzungen berücksichtigen)
- Sorgfältige Wahl des Luftansaugbereichs (Luftqualität, Vermeidung von Schmutzeintrag)
- Einbau eines Filters im Luftansaugbereich, der regelmäßig getauscht werden kann.
- Reinigungsmöglichkeit der Luftrohre (Putzstücke) vorsehen

1.2.4.3 Restheizung und Warmwasserbereitung

Auch ein Passivhaus kommt bei entsprechend kalten Witterungsbedingungen nicht ohne eine Restheizung aus, jedoch darf der Restheizwärmebedarf den Wert von 15 kWh/(m²a) nicht überschreiten. Aus diesem Grund ist ein herkömmliches Heizsystem überflüssig, da es einerseits überdimensioniert und andererseits viel zu teuer ist.

Für die Deckung des Restwärmebedarfs gibt es zahlreiche Möglichkeiten, wobei erneuerbaren Energieträgern der Vorzug zu geben ist. Entscheidend bei der Wahl des Restheizsystems sind die Energieeffizienz, die primärenergetische Situation und die Wirtschaftlichkeit. Je effizienter das System arbeitet, umso weniger Primärenergie wird verbraucht. Energieeffizienz ist wichtig, um die Kosten für den Energieträger so gering wie möglich zu halten.

Beheizungsmöglichkeiten

Die Beheizung der Zuluft kann auf zwei Arten erfolgen:

- Zentral als Nachheizung im Lüftungsgerät oder
- dezentral in den Zuluftkanälen der jeweiligen Räume.

Für die Beheizung der Zuluft und Warmwasserbereitung gibt es folgende Möglichkeiten [PREGIZER, D., 2002]:

- Wärmepumpe: Wärmepumpen werden meist als System in Verbindung mit Heizungswärme- und Warmwasserbereitungsanlagen angeboten. Bei der Brauchwasseranwendung ist dabei in jedem Fall ein Pufferspeicher notwendig, da die Wärmepumpe die Wärme nicht wie herkömmliche Gaskessel unmittelbar in der geforderten Menge bereitstellen kann.

Wärmepumpen können die warme Abluft, Grundwasser oder das Erdreich als Wärmequelle nutzen und arbeiten nach dem umgekehrten "Kühlschrankprinzip". In Wärmepumpen wird mittels eines Trägermediums (Kältemittel) im Verdampfer

Wärme der Luft oder dem Boden entzogen und im Wärmetauscher an des Heizsystem eines Hauses wieder abgegeben. Das Kältemittel, mit extrem niedrigem Siedepunkt (je nach Kältemittel bei bis zu $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ und tiefer), wird nach der Wärmeabgabe (im Wärmetauscher) im Kondensator im Expansionsventil expandiert und dadurch auf etwa $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$ abgekühlt. Das kalte, flüssige und drucklose Arbeitsmittel wird anschließend durch den Verdampfer geführt, wo es durch die Aufnahme von Wärme aus der Umwelt (Erdreich, Wasser oder Luft) auf ca. 2 bis $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ erwärmt und verdampft wird.

Die geringfügig abgekühlte Umwelt wird durch die Sonne rasch wieder erwärmt. Mit dieser Temperatur gelangt das noch immer dampfförmige Mittel in den elektrisch betriebenen Kompressor und wird mechanisch verdichtet. Durch die Kompression wird das Arbeitsmittel auf ein höheres Temperaturniveau von ca. $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $65\text{ }^{\circ}\text{C}$. Bei dieser Temperatur ist es dann möglich, die Wärme in dem Wärmetauscher an das Heizwasser oder direkt an die Lüftung. Im Zuge dieser Wärmeabgabe kondensiert das Kältemittel unter hohem Druck: Es wird flüssig. Anschließend wird das Arbeitsmittel, welches einen sehr niedrigen Siedepunkt hat, im Expansionsventil wieder expandiert, wodurch es wieder auf ca. $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$ abkühlt. Damit ist der thermodynamische Kreisprozess (verdampfen, verdichten, verflüssigen und entspannen) einmal durchlaufen und geschlossen. Der Kreisprozess einer Wärmepumpe durchläuft stets diese vier Schritte [VAILLANT, 2007].

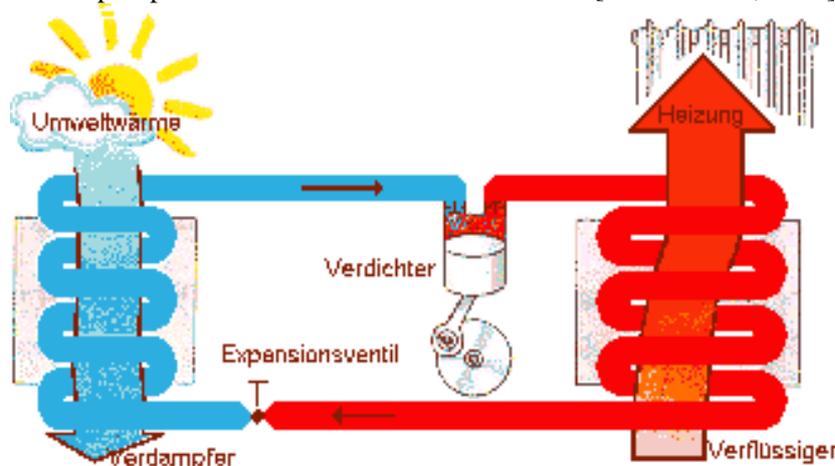


Abb. 24: Schema einer Wärmepumpe. [Quelle: MÜLLER, H., 2007]

- **Kleinst-Brennwertthermen:** Mittlerweile sind auch Kleinst-Brennwertthermen auf dem Markt, die an den minimalen Heizenergiebedarf von Passivhäusern angepasst sind. Die Energieträger können dabei Öl, Gas oder vorzugsweise Holzpellets sein. Damit kann sowohl die Heizwärme für die Luftnachheizung als auch für die Warmwasserversorgung bereitgestellt werden.
- **Beheizung mit Holz:** Ein holzbefuerter Ofen, dessen Leistungsbereich auch auf geringe Heizleistungen regulierbar ist, sei hier zu nennen. Günstig ist in diesem Fall ein Pelletsofen, der mit Pellets (= kleinteilige, gepresste Holzabfälle) betrieben wird. Pellets werden in einem Behälter zwischengelagert und automatisch mittels eines Schneckengetriebes zum Ofen gefördert.
- **Nah- oder Fernwärme:** Dort wo ein Fern- oder Nahwärmeanschluss vorhanden ist, sollte dieser genutzt werden, besonders bei Biomassenetzen oder Abwärmenutzung, da diese unübertroffen umweltverträglich sind. Vorteile: Kein Kosten für Kesseltausch oder Kessel-Reparaturen, meist gute Förderungen möglich.

- Brennstoffzellen: Brennstoffzellen wandeln Brennstoff über einen elektrochemischen Prozess in Strom und Wärme um. Als Brennstoff kommt Wasserstoff zum Einsatz, der sich mit Sauerstoff zu Wasser verbindet, wobei Energie dabei freigesetzt wird. Der hierbei erzeugte Strom kann entweder in das Netz eingespeist oder selbst verbraucht werden. Die Wärme dient zur Warmwasserbereitung und zur Gebäudebeheizung.
- Bei den derzeit verwendeten Brennstoffzellen handelt es sich um Prototypen. Mit der Serienproduktion einsatzfähiger Geräte für Gebäudeheizung, Warmwasserbereitung und Stromerzeugung ist voraussichtlich erst in 2 bis 3 Jahren zu rechnen.

Warmwasserbereitung

Der Energiebedarf für Warmwasser beeinflusst entscheidend den Energieverbrauch eines Passivhauses und kann in manchen Fällen den Energiebedarf für Raumheizung übersteigen. Daher ist es sinnvoll bei Passivhäusern den Warmwasserbedarf mittels thermischer Solarkollektoren zu decken.

Um Wärmeverluste und Investitionskosten durch Rohrleitungen und dem Warmwasserspeicher möglichst gering zu halten, sollten folgende Aspekte berücksichtigt werden [PREGIZER, D., 2002]:

- Kurze Rohrleitungswege
- Möglichst nah beieinander und geschossweise übereinander liegende Wasserzapfstellen
- Verlegung innerhalb der beheizten Hülle
- Rohrleitungen mit Wärmedämmung versehen
- Warmwasserspeicher mit sehr guter Wärmedämmung versehen

I.2.4.4 Solare Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung

Thermische Solaranlagen sind ein Paradebeispiel für den Einsatz erneuerbarer Energieträger. Sonnenkollektoren beruhen auf dem Prinzip der Sonnenenergie-Absorption. Die Absorberflächen des Kollektors wandeln die Energie der auftretenden direkten und diffusen Sonnenstrahlung zum Großteil in Wärme um und geben diese an ein Wärmeträgermedium weiter. Damit wird Brauchwasser, Heizwasser oder die Luft für eine Lüftungsanlage erwärmt. [TREBERSPURG, M., 1999]

Heizen mit Sonnenenergie

Die Verringerung der Sonnenscheindauer im Winterhalbjahr, zu einem Zeitpunkt, wenn der Bedarf an Heizenergie am größten ist, erfordert für das Beheizen eines Passivhauses ausschließlich durch Sonnenenergie einen hohen technischen und finanziellen Aufwand sowie einen Wasserspeicher (Saisonspeicher).

Warmwasserbereitung mit Sonnenenergie

Der Warmwasserbedarf ist über das Jahr gesehen relativ gleichmäßig. Aus diesem Grund ist es vorteilhaft und bei Großanlagen zum Teil besonders wirtschaftlich Sonnenenergie zur Warmwasserbereitung zu verwenden. Je nach Anlage kann in den Sommermonaten der Energiebedarf für die Warmwasserbereitung bis zu 100 Prozent gedeckt werden. Über das gesamte Jahr gesehen liegt der Bereitstellungsgrad bei etwa 50 bis 70 Prozent. [TREBERSPURG, M., 2006]

I.2.5 Qualitätssicherung

Die Planung und Ausführung eines Passivhauses erfordert von allen Beteiligten, Planern und Ausführenden, einen erhöhten Arbeitsaufwand und genaue Präzision.

Eine Qualitätssicherung ist beim Bau eines Passivhauses unerlässlich. Jeder Baufehler kann einen Wärmeverlust verursachen, mehrere Fehler können dazu führen, dass der Wärmebedarf nicht mehr von der Restheizung gedeckt werden kann. In diesem Fall wären Nachrüst- oder Instandsetzungsmaßnahmen erforderlich, die wesentlich teurer sein können, als wenn bereits im Vorfeld durch eine baubegleitende Qualitätssicherung für eine dem Stand der Technik entsprechende Ausführung gesorgt worden wäre. [TREBERSPURG, M., 2006]

Bei der Qualitätssicherung sind [PASSIVHAUS INSTITUT, 2008]:

- die wärmegeämmte Hülle
- das wärmebrückenfreie Konstruieren
- die Luftdichtheit
- eine gute Lüftungsplanung für eine hocheffiziente Lüftung mit guter Regelbarkeit und Steuerung
- die Qualitätskontrolle von zentraler Bedeutung.

Randbedingungen ergeben sich aus der Lage, Größe und der Kompaktheit des Gebäudes, durch die Bewohner und deren Nutzergewohnheiten.

I.2.5.1 Planungsphase

Die Realisierung eines Passivhauses ist, gemessen an anderen Gebäudestandards, mit einem höheren Aufwand in der Planungsphase und mit höherer Präzision der Ausführung verbunden. Dabei spielt die Qualitätssicherung eine entscheidende Rolle für die einwandfreie Erstellung von Plänen und Berechnungen sowie für die Ausführung der einzelnen Arbeitsschritte. Die Baumaßnahme beginnt nicht erst auf der Baustelle, sondern bereits im frühesten Stadium der Planung. Hierzu ist vorab ein Konzept zu erstellen, welches auf die Randbedingungen genau abgestimmt wird. Es ist nicht möglich, ein fehlendes Konzept auf der Baustelle hinreichend zu kompensieren! [PREGIZER, D., 2002]

Zu den notwendigen Unterlagen, die in der Planungsphase zu erstellen sind, zählen u.a.:

- Planunterlagen z.B. Details von Baukonstruktionen, Wärmeschutz sowie Wärmebrücken, Luftdichtheit und Haustechnik
- Heizwärmebedarfsberechnungen gemäß PHPP

I.2.5.2 Bauphase

Für die baubegleitende Qualitätssicherung ist es erforderlich, dass nach Fertigstellung bestimmter Bauteile oder Bauabschnitte eine Überprüfung des Baufortschritts durchgeführt wird. Diese Prüfungen sollten sowohl mit dem Architekten als auch den ausführenden Handwerkern abgestimmt werden und gemeinsam erfolgen. Wichtig ist die Ergebnisse des Ortstermins in einem Protokoll zusammenzufassen und im Falle von erforderlichen Nachbesserungen müssen diese ebenfalls im Protokoll mit einer dafür festgelegten Nachbesserungsfrist aufgelistet werden.

Zusätzlich sollten regelmäßig unangekündigte Baustellenbesuche des Qualitätsprüfers durchgeführt werden um eine hohe Qualität bei der Ausführung sicher zu stellen. [PREGIZER, D., 2002]

Nach Einbau der haustechnischen Anlagen muss eine Funktionsprüfung der einzelnen Komponenten durchgeführt und einreguliert werden. Der Bauherr ist darauf hinzuweisen, wie und wie oft die Filter für die Lüftungsanlage zu wechseln sind, oder beispielsweise der Erdwärmetauscher gereinigt werden muss.

Eine weitere, äußerst wichtige Qualitätsüberprüfung ist der Luftdichtheitstest, welcher am besten mit der Blow-Door-Messung durchgeführt wird. Sowie zur Ortung von Leckagen die Thermografie mit der Infrarot-Kamera. Jede Wärmebrücke oder Leckage wird dabei durch ihre Farbzuordnung sichtbar.

I.2.6 Anmerkung zur Geschichte

I.2.6.1 Traditionelle Passivhäuser

In vielen Klimaregionen der Welt braucht man keine Heizung und keine aktive Kühlung, wenn man einigermaßen "vernünftig" baut (Teile Irans, Küste Portugals, Teile Südchinas,...). Dort wurden schon immer auch "passive Häuser" gebaut, wenn gleich auch nicht als solche klassifiziert. Dies tat B. Adamson (1990) und aus der Frage, ob dies mit technisch vertretbaren Mitteln auf Europa übertragen werden kann, entstand die Idee zum Forschungsprojekt "passive Häuser".



Abb. 25: Traditionelle Gebäude in Südchina. Bei diesem Klima stellt eher der Sommer eine Kühlaufgabe; Wohnhäuser brauchen keine Heizung [Quelle: www.passivhaustagung.de]

I.2.6.2 Traditionelle Passivhäuser in Island

In Island gab es nach der Brennholzkrise im Mittelalter eine Tradition der "Torfrasenbauweise". Das waren Passivhäuser, wenngleich ohne angemessene Fenster und ohne ausreichende Lüftung.

Brennholzkrise: Im 17. und 18. Jh. wurde in Europa das Brennholz durch Übernutzung der Wälder knapp. Die Lösung war hier die Förderung von Kohle. In Island gab es diese Lösung nicht. Not macht erfinderisch: Die Isländer haben schnell herausgefunden, dass gut gedämmte Häuser auch von selbst warm bleiben.

Von der Existenz dieser Häuser hat der Autor 1998 erfahren.



Abb. 26: Torfrasenhäuser in Island [Quelle: www.passivhaustagung.de]

I.2.6.3 Forschungsschiff Fram war Passivhaus

Das erste wirklich funktionsfähige und vollwertige Passivhaus war kein Haus, sondern ein Schiff: Die Fram von *Fritjof Nansen* (1883). Er selbst schreibt: "... Die Wände sind mit geteertem Filz bedeckt, darauf folgt Korkfüllung, dann eine Vertäfelung aus Tannenholz, dann wieder eine dicke Filzlage, dann luftdichtes Linoleum und schließlich wieder eine Täfelung. Die Decken ... sie haben alles in allem eine Dicke von ungefähr 40 cm. Das Fenster, durch das die Kälte besonders leicht eindringen konnte, wurde durch dreifache Scheiben und auf andere Weise geschützt. (Hier) ist ein warmer, gemütlicher Aufenthaltsort. Ob das Thermometer 5° oder 30° unter dem Nullpunkt steht, wir haben kein Feuer im Ofen. Die Ventilation ist ausgezeichnet, ...da sie geradezu frische Winterluft durch den Ventilator hinabtreibt. Ich gehe daher mit dem Gedanken um, den Ofen ganz wegnehmen zu lassen; er ist nur im Wege." (aus Nansen: "In Nacht und Eis", 1887)



Abb. 27: Die "Fram", das Polarschiff von Fritjof Nansen, war ein Passivhaus (1883) [Quelle: www.passivhaustagung.de]

1.2.6.4 Systematische Forschung: Vagn Korsgaard und das DTH-Nullenergiehaus

Auch das "DTH-Nullenergiehaus" von Prof. Vagn Korsgaard (Kopenhagen, 1973) war ein Passivhaus. Systematisch wurden an der Dänischen Technischen Hochschule Simulationen durchgeführt, Entwürfe optimiert und das erste solche Haus gebaut.

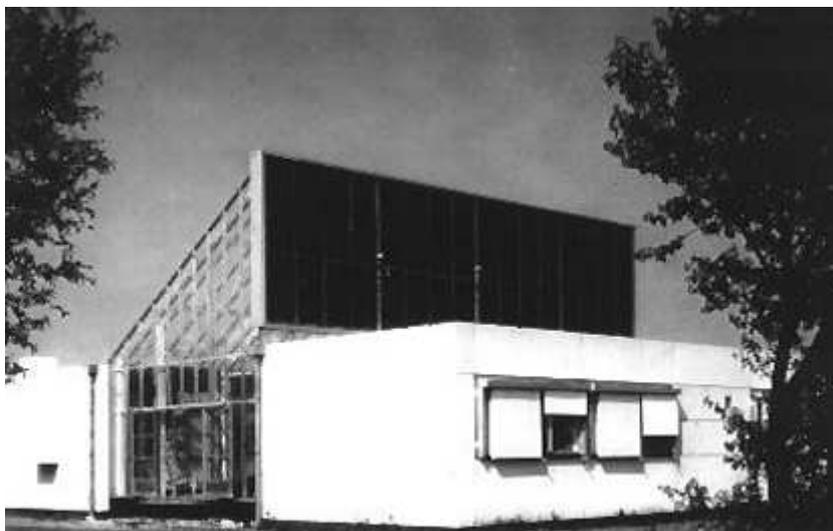


Abb. 28: Das DTH-Nullenergiehaus auf dem Campus in Kopenhagen [Quelle: www.passivhaustagung.de]

Das Objekt ist nach wie vor als Gästehaus der Universität in Gebrauch - alle passiven Systeme funktionieren auch noch. Allerdings: Die aktive Solartechnik wurde nach Defekten nicht erneuert.

Die Zielsetzung "Nullenergiehaus" wurde in der Folge an der DTH zugunsten des "Niedrigenergiehauses" zurückgestellt.

I.2.6.5 Systematische Arbeiten in Deutschland: Hörster und Steinmüller mit dem Philips-Experimentierhaus

Zeitgleich zu den skandinavischen und amerikanischen Entwicklungen gab es auch in Deutschland mit Förderung durch das Bundes-Forschungsministerium eine systematische Untersuchung zu energieeffizienten Gebäuden, die von H. Hörster (Leiter der Arbeitsgruppe), B. Steinmüller und anderen durchgeführt wurde. Mit Simulationen wurden die entscheidenden Parameter für energiesparende Häuser in Deutschland bestimmt und im Feldversuch bestätigt. Das Ergebnis war ein supergedämmtes Einfamilienhaus mit aktiver Solartechnik, das als Experimentierhaus diente, jedoch nicht bewohnt war.

I.2.6.6 Pioniere in Nordamerika: William A. Shurcliff und Wane Shick

Eine ganze Reihe nordamerikanischer Entwicklungen der späten 70er und frühen 80er Jahre ("superinsulated houses") waren sehr nahe am Passivhaus. William A. Shurcliff (1981) hat zahlreiche Publikationen hierzu verfasst. Diese Arbeiten waren eine wichtige Grundlage für die Niedrigenergie- und Passivhäuser in Europa.



Abb. 29: Das Philips-Experimentierhaus (Quelle: Hörster et al)



Abb. 30: Beispiel eines "superinsulated home" in den USA

I.2.6.7 Passiv in 2164 m Höhe: Das Rocky Mountains Institute von Amory & Hunter Lovins

Amory Lovins, weltweit bekannt durch seine Publikationen zu alternativen Energiepfaden, beließ es nicht bei der Theorie. In 2164 m Höhe baute er in Old Snowmass, Colorado, ein extrem gut wärmegeämmtes und zugleich passiv solares Haus. Im Wintergarten gedeiht tropische Vegetation, der Ofen wird nur selten benutzt.

Diese Erfahrungen gaben der Passivhaus Forschung die Sicherheit und das Vertrauen, dass die Physik auch in der Praxis funktioniert. A. B. Lovins hat 1995 das Passivhaus Darmstadt Kranichstein besucht. Von Lovins kam die Anregung, das Passivhaus nicht nur als Forschungsprojekt zu begreifen, sondern als Lösung für einen Energiestandard der Zukunft.



Abb. 31: Das "Rocky Mountains Institute (rmi)" von A. and H. Lovins

I.2.6.8 Das "Nulli" in Dörpe

Das "Nullenergiehaus" von Erhard Wiers-Keiser und dem Verein "Ökologische Zukunftswerkstatt Minimal- und Nullenergiehäuser e.V." (1989) hatte rechnerisch geringere Bedarfswerte als ein Passivhaus, im Betrieb aber leider höhere Verbrauchswerte. Probleme bereitete die Luftdichtheit (unverstärkte Baupapiere), die innenliegenden Dämmflächen und die solare Speichertechnik. Der 10 m³ Solarjahresspeicher wurde später entfernt, um Platz für einen Flügel zu schaffen. Das Haus wird aber nach wie vor genutzt - als "Fast-Passivhaus". Robert Borsch Laaks hat entscheidende Beiträge an der Detailentwicklung geleistet.

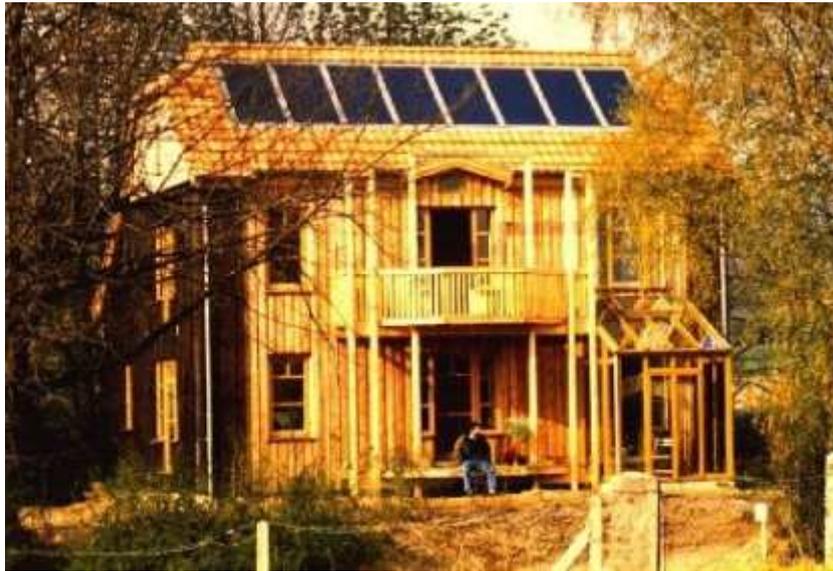


Abb. 32: Das "Nullenergiehaus" in Dörpe bei Hannover

Wesentliche Probleme bei den frühen Häusern waren:

Das noch fehlende Bewusstsein über die Notwendigkeit einer dauerhaften Luftdichtheit. Erkenntnisse dazu wurden vor allem in Schweden gesammelt. Prof. Arne Elmroth ist einer der entscheidenden Pioniere in dieser Frage.

Fehlende gute Lösungen für energieeffiziente Fenster (Lovins: "Wir hätten eine bessere thermische Trennung der Fensterrahmen verwenden sollen."). Dadurch waren die Fenster oft klein oder sie mussten aufwändig mit temporärer Dämmung verdeckt werden. Beides waren Gründe, warum der Ansatz in der Breite nicht aufgenommen wurde.

Fehlende Zuverlässigkeit der Energieeffizienz der verwendeten Technik. In vielen Projekten kam es zum Effekt der "technological christmas trees", komplizierter Technik, die am Ende nicht oder nicht lange funktionierte.

Weiter zu nennen sind die Entwicklungen und Erfahrungen vieler Pioniere in der Schweiz (z.B. Conrad U. Brunner, Ruedi Kriesi und Josef Jenni) und in Österreich (Helmut Krapmeier, Richard Caldonazzi, Sture Larsen).

I.2.6.9 Super-Niedrigenergiehäuser von Hans Eek

In Schweden wurde der Weg des "Niedrig-Energie-Hauses" beschritten. Die Erfahrungen mit komplizierter, unzuverlässiger Technik hatte man dort schon früh gemacht und gelernt, die wesentlichen Dinge richtig zu machen: Luftdichtheit, sehr gute Wärmedämmung, gute Fenster, zuverlässige mechanische Lüftung. Ein wichtiger Pionier in Schweden ist Hans Eek - seine Lebensgeschichte spiegelt die Erfahrungen der Bauforschung direkt wider: Vom "technological christmas tree" über das Super-Niedrigenergiehaus zum Passivhaus. Hier abgebildet sind Reihenhäuser aus dem deutsch-schwedischen Ingolstadt-Halmstad Projekt. Diese Häuser sind zwar keine Passivhäuser, aber zum Passivhaus ist es nur ein kleiner Schritt.

Hans Eek war und ist Kooperationspartner in allen Phasen der Passivhaus-Entwicklung.



Abb. 33: Ingolstadt-Halmstadt: Niedrigenergiehäuser (30 kWh/(m²a) Heizwärmebedarf) in zwei Ländern von Architekt Hans Eek (1985) [Quelle: www.passivhaustagung.de]

I.2.6.10 Das energieautarke Solarhaus in Freiburg

Das "energieautarke Solarhaus" (ISE, Freiburg 1991/92, Wilhelm Stahl) wurde praktisch zeitgleich mit dem Passivhaus in Darmstadt errichtet. Es kommt ebenfalls einem Passivhaus sehr nahe. Die zum Teil sehr aufwendige autarke Versorgungstechnik mit Wasserstoffspeicher wurde nach Ende des Messzeitraumes nicht weiter betrieben. Die passiven Techniken und die Wärmerückgewinnung haben sich sehr gut bewährt. Heute testet das ISE in diesem Haus Passivhaus-Kompaktheizgeräte unter Praxisbedingungen auf ihre Tauglichkeit.

Mit dem ISE und mit Wilhelm Stahl hat sich die Passivhaus-Gruppe während des Baus der Projekte ausgetauscht und es wurde gegenseitige Unterstützung geleistet.



Abb. 34: Das energieautarke Solarhaus des ISE in Freiburg. Das Gebäude wird heute wie ein Passivhaus genutzt.

I.2.6.11 Das Passivhaus Darmstadt Kranichstein

Ein Team von Wissenschaftlern war am "Bauvorbereitenden Forschungsprojekt Passive Häuser" beteiligt - eine internationale Kooperation, an der auch Bo Adamson und Gerd Hauser beteiligt waren. Systematisch wurden mit Förderung durch das Land Hessen die Bedingungen für energieeffiziente Häuser erforscht und Prototypen neuer Bauteile entwickelt und gefertigt: U.a. gedämmte Fensterrahmen, reduzierte Wärmebrücken und CO₂-geregelter Lüftung.



Abb. 35: Passivhaus Darmstadt Kranichstein, Südaufnahme [Quelle: www.passivhaustagung.de]

Nach Plänen von Prof. Bott/Ridder/Westermeyer wurde 1990/91 von einer privaten Bauherrengemeinschaft vier Reiheneinheiten errichtet. Die Häuser sind seit 1991 normal bewohnt. Ein begleitendes Messprogramm förderte Erkenntnisse zu hochwärmedämmenden Bauteilen, Fenstern, der Lüftungs-Wärmerückgewinnung, dem Nutzerverhalten, der Raumluft-Qualität, dem Aufkommen an inneren Wärmequellen und vieles mehr.

Unter normaler Wohnnutzung bestätigte dieses Projekt die einwandfreie Funktion aller wesentlichen Komponenten - und dies ungestört bis heute. Der gemessene Energieverbrauch für Heizung ist seit 15 Jahren stabil geringer als 10 kWh/(m²a), die Einsparung gegenüber traditionellen Gebäuden beträgt somit mehr als 90%. Dabei wurde eine sehr gute Luftqualität gemessen und die hohe thermische Behaglichkeit durch Feldmessungen und durch Befragungen der Nutzer bestätigt.

Die meisten Komponenten (z.B. gedämmte Fensterrahmen) waren bei diesem Projekt einzeln handwerklich gefertigte Sonderlösungen; deren einwandfreie Funktion war der ausschlaggebende Anlass, Serienproduktionen von Bauteilen dieser Qualität aufzunehmen.



Abb. 36: Passivhaus Kranichstein, Nordseite [Quelle: www.passivhaustagung.de]

Das Passivhaus ist ein Konzept für höchste Behaglichkeit mit sehr geringem Heizenergiebedarf - die präzise Definition lautet:

"Ein Passivhaus ist ein Gebäude, in welchem die thermische Behaglichkeit (ISO 7730) allein durch Nachheizen oder Nachkühlen des Frischluftvolumenstroms, der für ausreichende Luftqualität (DIN 1946) erforderlich ist, gewährleistet werden kann - ohne dazu zusätzlich Umluft zu verwenden."

Diese Definition ist rein funktional, enthält keinerlei Zahlenwerte und gilt für jedes Klima. Die Definition zeigt, dass es nicht um einen willkürlich gesetzten Standard geht, sondern um ein grundlegendes Konzept.

Das Passivhaus wurde also nicht erfunden - das Passivhaus-Prinzip wurde vielmehr entdeckt.

Gar nicht selten in der Geschichte wurden Prinzipien angewendet, bevor man sich ihrer bewusst wurde. An der Entdeckung waren viele Institutionen und Personen beteiligt, ohne jeden Einzelnen hätte ein wichtiges Stück im Puzzle gefehlt. Jede Liste ist unvollständig, da wissenschaftliche Arbeiten immer auf vielen früheren Ergebnissen aufbauen, ohne sich dessen bewusst zu sein. Wichtig waren immer auch die Kontrahenten: Personen, die deutlich machten, dass sie rein gar nichts von diesem Ansatz hielten. Sie halfen, die Gedanken zu schärfen und das Prinzip klarer herauszuarbeiten.

"Passivhaus" ist auch nicht einfach nur ein neuer Name für "Superinsulated Houses", obwohl ein Passivhaus in kalten Klimaregionen einem superwärmegedämmten Haus meist sehr ähnlich wird. Das Passivhaus-Konzept schreibt nämlich die Technik, mit welcher das funktionale Ziel erreicht wird, nicht vor. Auch die "Passive Solar Homes" alter Provenienz können Grundlage für ein funktionierendes Passivhaus sein. "Passive Solar Homes" und "Superinsulated Houses" wurden lange Zeit von ihren jeweiligen Verfechtern als konkurrierende Konzepte verstanden. Robert Hastings, Pionier der amerikanischen "passive solar architecture" half entscheidend mit, diese Gegensätze zu überwinden.

Literatur

- [1] BÄCKMANN, R., 1998. *Sonnenschutz: Systeme, Technik und Anwendung, Automation*. Kleffmann, Bochum.
- [2] DONAUUNIVERSITÄT KREMS, 2007a. *Passivhaus Schulungsunterlagen 1.0, 3.3 Minimierung von Wärmebrücken*.
- [3] DONAUUNIVERSITÄT KREMS, 2007b. *Passivhaus Schulungsunterlagen 1.0, 3.4 Luftdichtheit*.
- [4] FEIST, W., 2001. *Gestaltungsgrundlagen Passivhäuser*. Das Beispiel. Darmstadt.
- [5] GROBE, C., 2002. *Passivhäuser planen und bauen. Grundlagen – Bauphysik – Konstruktionsdetails – Wirtschaftlichkeit*. Callwey. München.
- [6] KRAPMEIER, H., DRÖSSLER, E., 2001. *CEPHEUS Wohnkomfort ohne Heizung*. Springer. Wien.
- [7] KRUSCHE, P. und M., 1982. *Ökologisches Bauen*. Bauverlag, Berlin.
- [8] ÖSTERREICHISCHES INSTITUT F. BAUBIOLOGIE, 1999. *Ökologischer Bauteilkatalog*. Springer, Wien.
- [9] PREGIZER, D., 2002. *Grundlagen und Bau eines Passivhauses*. Müller. Heidelberg.
- [10] TREBERSPURG, M., 1999. *Neues Bauen mit der Sonne*. 2. Auflage. Springer. Wien
- [11] WIRTSCHAFTSMINISTERIUM BADEN-WÜRTTEMBERG (Hrsg.), 2004. *Solarfibel*. Stuttgart.
- [12] ÖNORM B 8110-3, 1999. *Wärmeschutz im Hochbau - Wärmespeicherung und Sonneneinflüsse*. Ausgabe 1999-12-01. ON Österreichisches Normungsinstitut. Wien
- [13] TREBERSPURG, M., 2006. *Ressourcenorientiertes Bauen. Arbeitsunterlagen zur Lehrveranstaltung*. 2. Auflage. Universität für Bodenkultur. Wien.
- [14] KLOSE, R., 2007. *Von wegen kalt. Sind Häuser ohne Heizung tatsächlich kalt?* Wissen.Ökologie. FACTS 1.07.
- [15] MAYR, CH., 2007. *Auszug Artikel aus Wiener Zeitung vom 10.07.2007*.
- [16] TREBERSPURG, M., ERTL, U., 2006. *Das ökologische Passivhaus*. OIB aktuell, 7. Jg., Heft 1, 03/2006, S. 9 ff.
- [17] HOLZER, P., KRAPMEIER, H., 2008. PHS 2.0 Passivhaus Schulungsunterlagen. Version 2, Department für Bauen und Umwelt Donau-Universität Krems, Energieinstitut Vorarlberg Dornbirn. Abgerufen im Februar 2008. <http://www.passivhausunterlagen.at>

[18] PHI, 2008. Passivhaus Grundlagenkurs im Internet. Website der Internationalen Passivhaustagung 11.-13. April 2008 in Nürnberg. Passivhausinstitut (PHI), Darmstadt. http://www.passivhaustagung.de/Passivhaus_D

[19] BÜHRING, A., et al., 2004. *Marktpotenzial für Passivhäuser und 3-Liter-Häuser*. http://www.future-proved.de/schwerpunkte/213_passivhaus_15.htm
Abgerufen am 27.02.2008

[20] FEIST, W., 2001. www.passiv.de
Abgerufen am 27.02.2008

[21] FEIST, W., 2006. *15-jähriges Jubiläum für das Passivhaus Darmstadt-Kranichstein*. http://www.passivhaustagung.de/Kran/Passivhaus_Kranichstein.htm
Abgerufen am 27.02.2008

[22] IG PASSIVHAUS 2006. *Ergebnisse des Forschungsprojektes "1000 Passivhäuser in Österreich" Dokumentationsphase 2004-2006 im Rahmen der Programmlinie "Haus der Zukunft" im Auftrag des BMVIT*. www.igpassivhaus.at
Abgerufen am 27.02.2008

[23] IG PASSIVHAUS, 2007. www.igpassivhaus.at
Abgerufen am 18.10.2007

[24] LEDERBAUER, 2008
http://www.e2a.de/e2a/img/aktuell/200501/zukunftshaus/09%20Passivhauskomponenten/Fenster/Daten/D_Lederbauer_%D6KOplus-Alu.pdf
Abgerufen am 27.02.2008

[25] MÜLLER, H., 2007. www.haustechnik-mueller.de.
Abgerufen am 27.11.2007

[26] PASSIVHAUS INSTITUT, 2008. www.passiv.de
Abgerufen am 27.02.2008

[27] PASSIVHAUS TAGUNG, 2008. www.passivhaustagung.de
Abgerufen am 22.03.2008

[28] VAILLANT AUSTRIA GMBH, 2007. www.vaillant.at.
Abgerufen am 25.11.2007