

Prof. Dr Krzysztof Wilmański
<http://www.mech-wilmanski.de>

Dom pasywny – passive house – Passivhaus Przykład

Wykład wprowadzający do Fizyki Budowli II

Budownictwo mieszkaniowe
z „zerowym” bilansem energetycznym

Uniwersytet Zielonogórski, 2006

Passive house

From Wikipedia, the free encyclopedia

A **Passive house** (*Passivhaus* in German) is an ultra-low energy building that meets the rigorous, voluntary, Passivhaus standard for thermal performance. It results in buildings that have a very low use of energy for space heating. The standard is controlled by the Passivhaus-Institut in Darmstadt. A similar standard, *MINERGIE-P®*, is used in Switzerland.

Contents

- 1 The standard
- 2 Development of the passive house
- 3 Design and construction
- 4 Comparison with zero energy buildings
- 5 See also
- 6 External links

The standard

The Passivhaus standard requires that the building is within the following limits [1] (<http://www.cepheus.de/eng/index.html>):

- Heating energy $\leq 15 \text{ kWh/m}^2\text{a}$
- specific heat load for heating source at design temperature $\leq 10 \text{ W/m}^2$
- an air leakage of not more than 0.6 times the house volume per hour, with the house pressurised to 50Pa by a blower door ($n_{50} \leq 0.6/\text{h}$)
- primary energy consumption (primary energy for electricity included) $\leq 120 \text{ kWh/(m}^2\text{a)}$

Particularly significant is that buildings constructed within these limits are able to dispense with conventional heating systems.

The standard will result in a building that requires space heating energy of 1 BTU per square foot per heating degree day compared with about 5 to 15 BTUs per square foot per heating degree day for a similar building built to meet the 2003 Model Energy Efficiency Code. This is between 75 to 95% less energy for space heating and cooling than current new buildings that meet today's US energy efficiency codes.

Development of the passive house

The Passive House standard originated from a cooperation of the Passive House Institute (Germany) and Lund University, and is an enhancement of the *Niedrigenergiehaus* Low-energy building standard. It combines the advantages of the "passive solar design" with the "superinsulated design" and marks the end of the related controversy. It can be applied to new building construction and to renovations.

While the movement toward very low energy buildings has seen more than 4000 units constructed in Europe in recent years, the concept is a development of initial experiments carried out in the USA and Canada in the 1970s under various names including low cal and superinsulated houses.

10 Jahre Passivhaus Institut

**Im September 1996 wurde in Darmstadt das Passivhaus Institut gegründet.
Das Passivhaus Konzept war bereits konkret greifbar.**

*Schon seit Oktober 1991 ist das allererste Passivhaus in Darmstadt Kranichstein bewohnt.
Es hat einen über viele Jahre stabilen Heizwärmeverbrauch von um 10 kWh/(m²a) - und es wird bewohnt
von vier Familien.*

*Bis heute haben die passiven Komponenten dieses Hauses keiner Reparatur bedurft;
bis heute funktioniert die Passivhaustechnik dort wie ursprünglich konzipiert.
Bis heute ist das Haus, sind alle Wohnungen dieser Reihenhausanlage, perfekt luftdicht geblieben.*

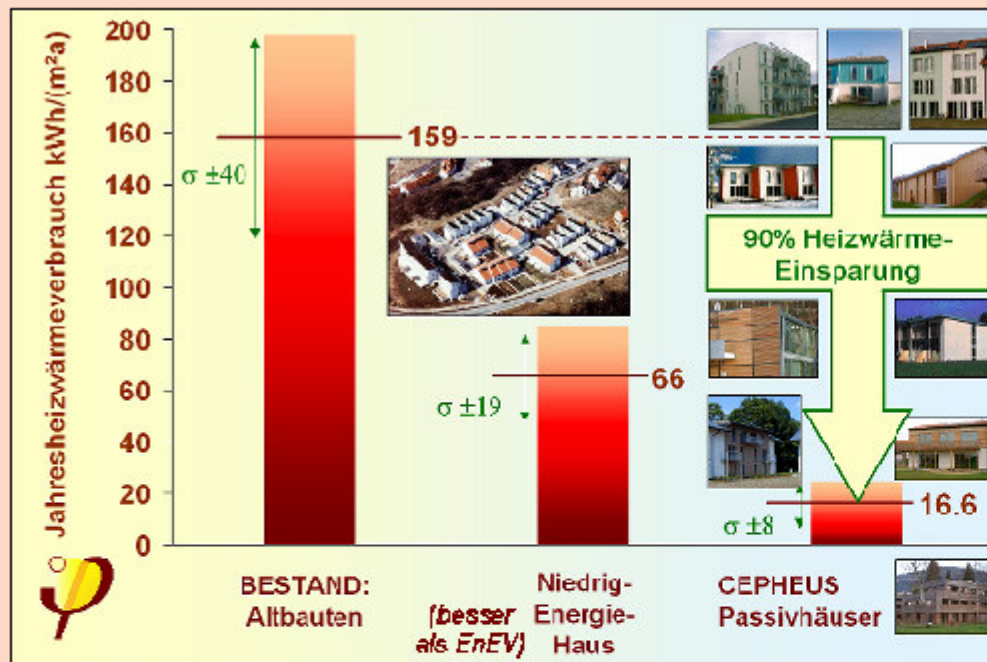
**Wir werden das Jubiläum des Institutes gemeinsam mit dem Jubiläum des Hauses
am 07. Oktober 2006
mit einer öffentlichen Veranstaltung würdigen.**

1996 ...



... 2006

Dom pasywny – wygoda poprzez wydajność



Passivhäuser sparen Energie - nicht nur ein Bisschen, sondern umfassend. Und sie sparen nicht nur rechnerisch auf dem Papier, sondern in der Praxis. Diese Grafik zeigt gemessene Verbrauchswerte in Gebäuden im Bestand, in Niedrigenergiehäusern und in Passivhaussiedlungen.

In den 114 Passivhauswohnungen des CEPHEUS-Projektes (ganz rechts) wurde eine durchschnittliche Einsparung von 90% gemessen. Das Passivhaus ist ein Faktor-10-Haus: Nur

Passivhaus: Behaglichkeit durch Effizienz

Das Passivhaus ist der führende Standard beim energiesparenden Bauen weltweit: Die Energieeinsparung beim Heizen beträgt über 80 % gegenüber den gesetzlich vorgeschriebenen Neubau-Standards. Der Heizwärmebedarf liegt unter 15 kWh/(m²a), die Heizkosten betragen nur 10 bis 25 € pro Monat - hohe Energiepreise können Passivhausbewohnern keine Angst machen.

Passivhäuser erreichen diese enorme Energieeinsparung durch besonders energieeffiziente Bauteile und durch Lüftungstechnik: Am Komfort wird nicht gespart, der wird sogar spürbar verbessert (vgl. Seite zur Behaglichkeit).

Aber das Passivhaus ist mehr als einfach nur ein Energiesparhaus. Das Passivhaus-Konzept ist ein umfassender Ansatz für preiswertes, qualitativ hochwertiges, gesundes und nachhaltiges Bauen. Jeder kann das Konzept leicht verstehen:

ein Zehntel des durchschnittlich üblichen Heizenergieverbrauchs von Altbauten wird gebraucht.

Durch das aufeinander abgestimmte Konzept wird eine neue Qualität erreicht, die sich in sehr guter Behaglichkeit, Wohngesundheit und vertretbaren Baukosten zeigt. Das Passivhaus-Konzept ist frei verfügbar. Jeder kompetente Architekt kann ein Passivhaus entwerfen. Schritt für Schritt kann bei jeder Neubauplanung der Passivhausstandard erreicht werden - [diese Seite zeigt das an einem Beispiel](#).

Ist der Bau von Passivhäusern wirtschaftlich? Eine Beispielrechnung finden Sie auf dieser Seite: [Wirtschaftlichkeit von Passivhäusern](#).

Auch bei der **Modernisierung von Altbauten** können Passivhaus-Komponenten gute Dienste leisten - [hier finden Sie Beispiele](#).

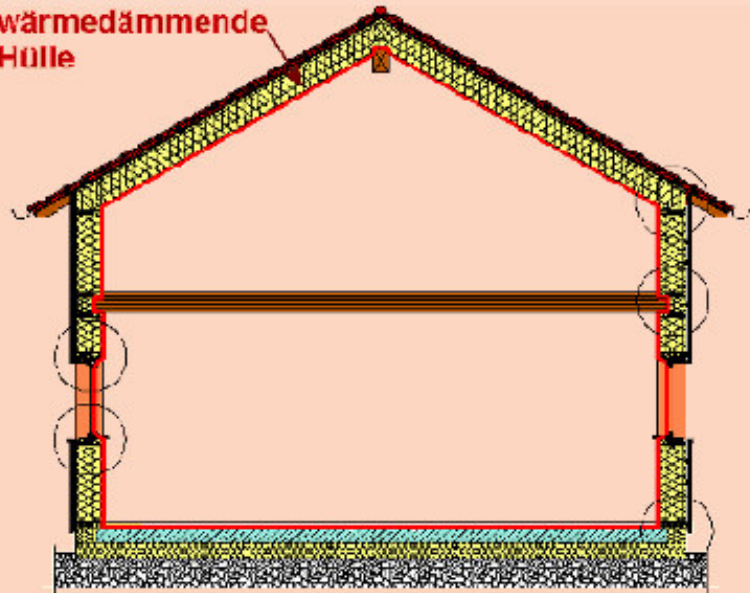
Passivhäuser kann man besichtigen: Einmal im Jahr ist der [Tag des Passivhauses](#). An diesem Tag öffnen Hunderte von Passivhausbewohnern ihre Häuser, um es jedem Interessierten zu ermöglichen, einmal selbst zu erleben, wie es sich in einem Passivhaus wohnt. Der Tag des Passivhauses wird organisiert von der

IG PASSIVHAUS
Informations-Gemeinschaft Passivhaus Deutschland



1. Heutige Neubauten sind so **ludlich** gebaut, dass die Lüfterneuerung allein durch Fugen und Ritzen unzureichend ist. Aber auch die viel empfohlene Fensterlüftung bringt keine überzeugenden Ergebnisse. Frische Luft ist nicht nur eine Frage des Wohnkomforts, sondern eine Notwendigkeit für ein gesundes Leben. Daher ist die **Wohnungslüftung** die Schlüsseltechnik für alle Wohngebäude und Wohnhaussanierungen der Zukunft.
2. Natürlich erfordern Wohnungslüftungsanlagen zusätzliche Investitionsmittel. Wenn sie hocheffizient gebaut sind, sparen sie aber spürbar Energiekosten ein. Lüftungsanlagen mit Passivhausqualität erlauben einen wirtschaftlichen Betrieb.
3. Jetzt kommt der entscheidende "Trick" des Passivhaus-Konzeptes: Mit der frischen Außenluft kommt ohnehin Luft in jeden Wohnraum. Wenn diese Luft auch die **Heizaufgabe** mit übernimmt - ohne hohe Luftmengen, ohne Umluft, ohne Geräusche und ohne Zugerscheinungen - dann macht sich die Lüftung gleich doppelt bezahlt.
4. Möglich ist dieses Konzept der "Frischluftheizung" aber nur in einem Haus mit **wirklich guter Wärmedämmung**. Eben in einem Passivhaus. Für die Experten: Die maximale Transmissionsheizlast muss weniger als **10 W/m²** betragen, damit die Frischluft auch die Wärme transportieren kann.

wärmedämmende
Hülle



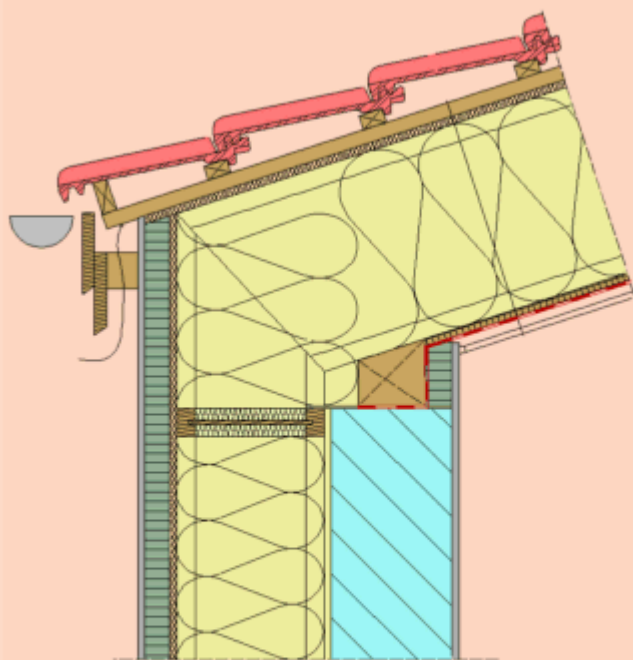
Passivhäuser sind Musterbeispiele für eine sehr gute Wärmedämmung. Es sind Häuser im warm gedämmten Kleid.

Wärmedämmung von Passivhäusern

Der gute Wärmeschutz ist ein Schlüssel zur Funktion des Passivhauses. Wärmeverluste durch nicht lichtdurchlässige Bauteile (auch „opake Bauteile“ genannt) müssen sehr gering sein. Nur dann kann die Heizlast auch am kältesten Tag so gering sein, dass eine Heizung allein mit der Frischluft möglich wird - das zeigt die **Energiebilanz** eines Gebäudes. Der Wärmeverlust durch ein Regelbauteil, also eine Außenwand, einen Fußboden, eine oberste Geschossdecke oder ein Dach, wird durch den

Wärmedurchgangskoeffizienten oder U-Wert (U) gekennzeichnet (früher: k-Wert). Dieser Wert gibt an, wieviel Wärme pro Zeiteinheit durch eine Flächeneinheit des Bauteils nach außen übertragen wird, wenn die Temperaturdifferenz gerade ein Grad (1 Kelvin) beträgt. Die Maßeinheit des U-Wertes ist daher $W/(m^2K)$. Will man den Wärmeverlust durch eine Wand berechnen, so muss man den U-Wert mit der Fläche und mit der Temperaturdifferenz multiplizieren. Ein typisches Einfamilienhaus hat beispielsweise eine Außenwandoberfläche von $100 m^2$. Bei winterlichen Temperaturverhältnissen liegen in Mitteleuropa außen $-12^\circ C$ und innen $21^\circ C$ vor. Bei unterschiedlichen U-Werten ergeben sich die folgenden typischen **Wärmeverlustleistungen** durch die Außenwand:

Izolacja
ciepła



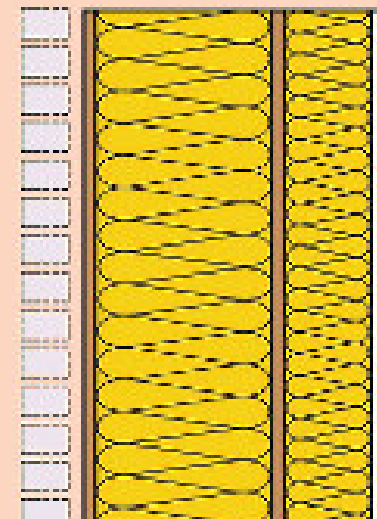
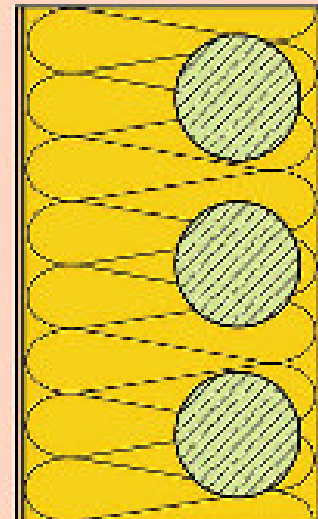
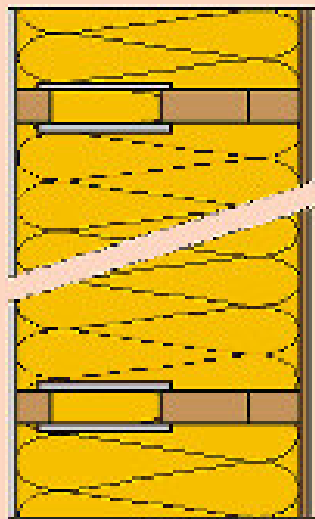
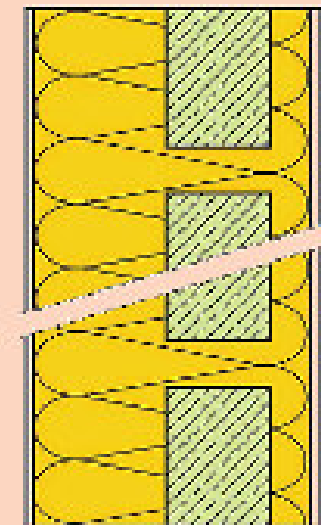
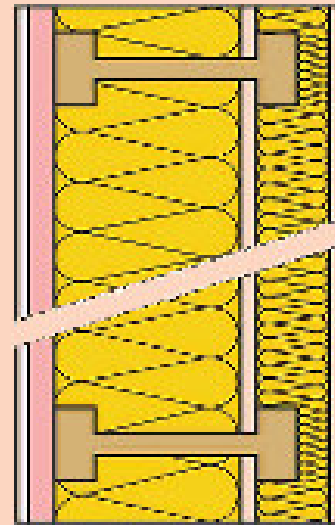
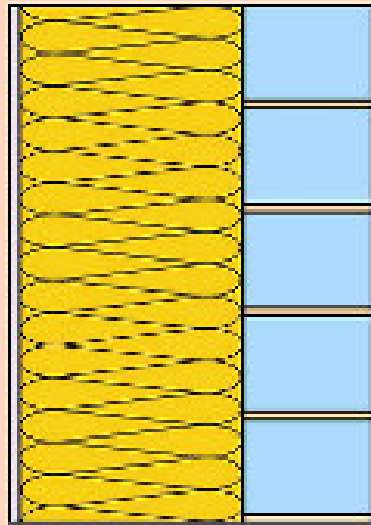
Beispiel für ein hervorragend wärmedämmtes Traufdetail mit vorbildlich wärmebrückenfreiem Anschluss (CEPHEUS-Projekt Horn/Österreich, Architekt Treberspurg/Wien).

Izolacja ciepłna

U - Wert W/m ² K	Wärme- verlust- leistung W	Jahresheiz- wärme- verlust kWh/(m ² a)	Jahreskosten ²⁾ (2005) nur Außenwand €/a
1,00	3300	78	429,-
0,80	2640	62	343,-
0,60	1980	47	257,-
0,40	1320	31	172,-
0,20	660	16	86,-
0,15	495	12	64,-
0,10	330	8	43,-

Der Wärmeverlust ist ein entscheidender Teil der Energiebilanz eines Gebäudes. Jeder Wärmeverlust muss durch einen entsprechenden Wärmegewinn ausgeglichen werden - sonst würde die Temperatur im Haus sinken.

Izolacja cieplna



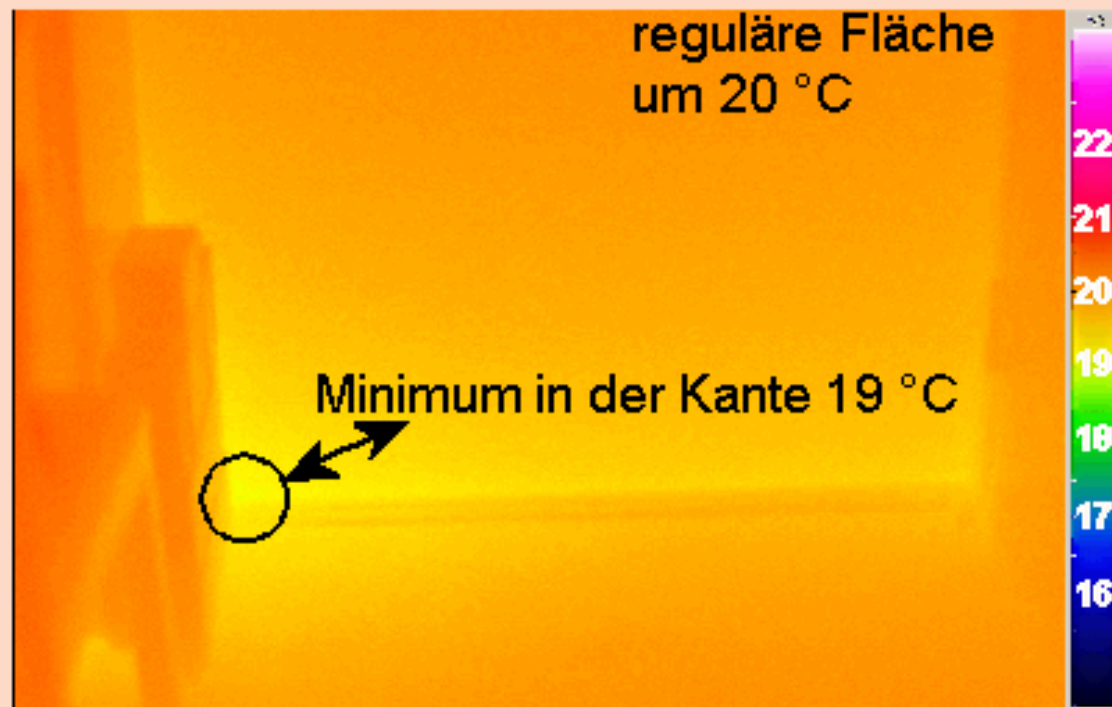
Beispiele von für das Passivhaus geeigneten
besonders gut gedämmten Außenwand-
Aufbauten.

Izolacja cieplna

Was bedeutet das für die wärmedämmende Gebäudehülle? Zum einen ist klar, dass derart niedrige U-Werte nur mit wirklich gut wärmedämmenden Materialien hergestellt werden können. Die folgende Tabelle zeigt, wie dick ein Außenbauteil sein muss, das allein aus dem aufgeführten Material besteht, um einen typischen Passivhaus-U-Wert von $0,13 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ zu erreichen:

Material	Wärmeleitfähigkeit W/mK	erforderliche Schichtdicke für $U=0,13 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ in m
Normalbeton	2,1	15,80
Vollziegel	0,800	6,02
Hochlochziegel	0,400	3,01
Nadelholz	0,13	0,98
Porenziegel, Porenbeton	0,11	0,83
Stroh	0,055	0,41
typischer Dämmstoff	0,04	0,30
hochwertiger konventioneller Dämmstoff	0,025	0,19
Nanoporöse Superdämmstoffe Normaldruck	0,015	0,11
Vakuumdämmstoff (Kieselsäure)	0,008	0,06
Vakuumdämmstoff (Hochvakuum)	0,002	0,015

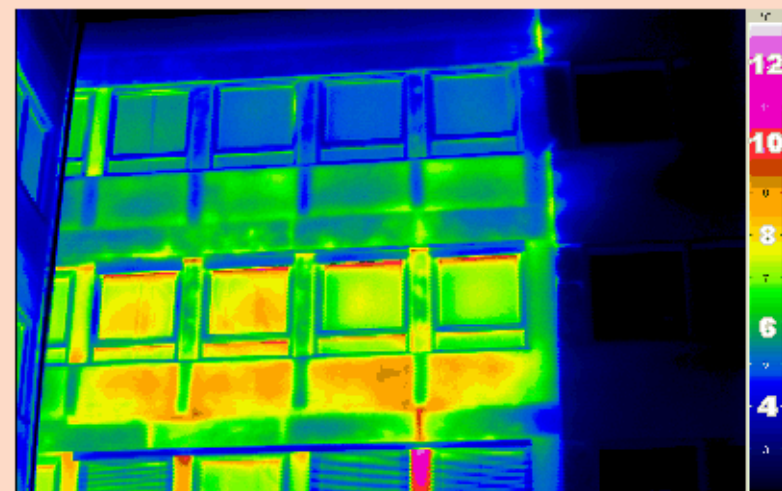
Izolacja cieplna



Wärmebildaufnahme am Fußpunkt einer Passivhaus-Außenwand von der *Innenseite*: Es gibt keine kalten Flecken mehr (Aufnahme: PHI). Guter Wärmeschutz geht mit warmen Innenoberflächen einher: Das verbessert den Bautenschutz, weil die Material-Feuchtigkeit dadurch abnimmt und es erhöht die

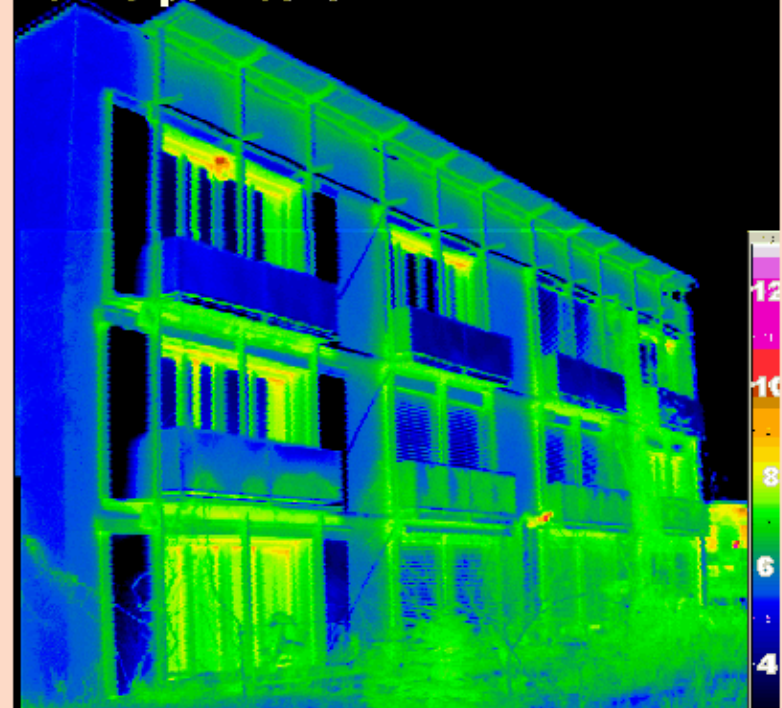
Außenthermographie eines Altbaus (oben) im Vergleich zu einem Passivhaus (Aufnahmen: PHI). Beim Passivhaus ist die Außenwandoberfläche gleichmäßig kalt (blau, um 5°C), in etwa so kalt wie frei stehende Objekte (z.B. Balkonbrüstung). Beim Altbau sind die Flächen dagegen "bunt" mit Oberflächentemperaturen bis zu 9°C . Entsprechend hoch sind die Wärmeverluste.

Izolacja
ciepłna



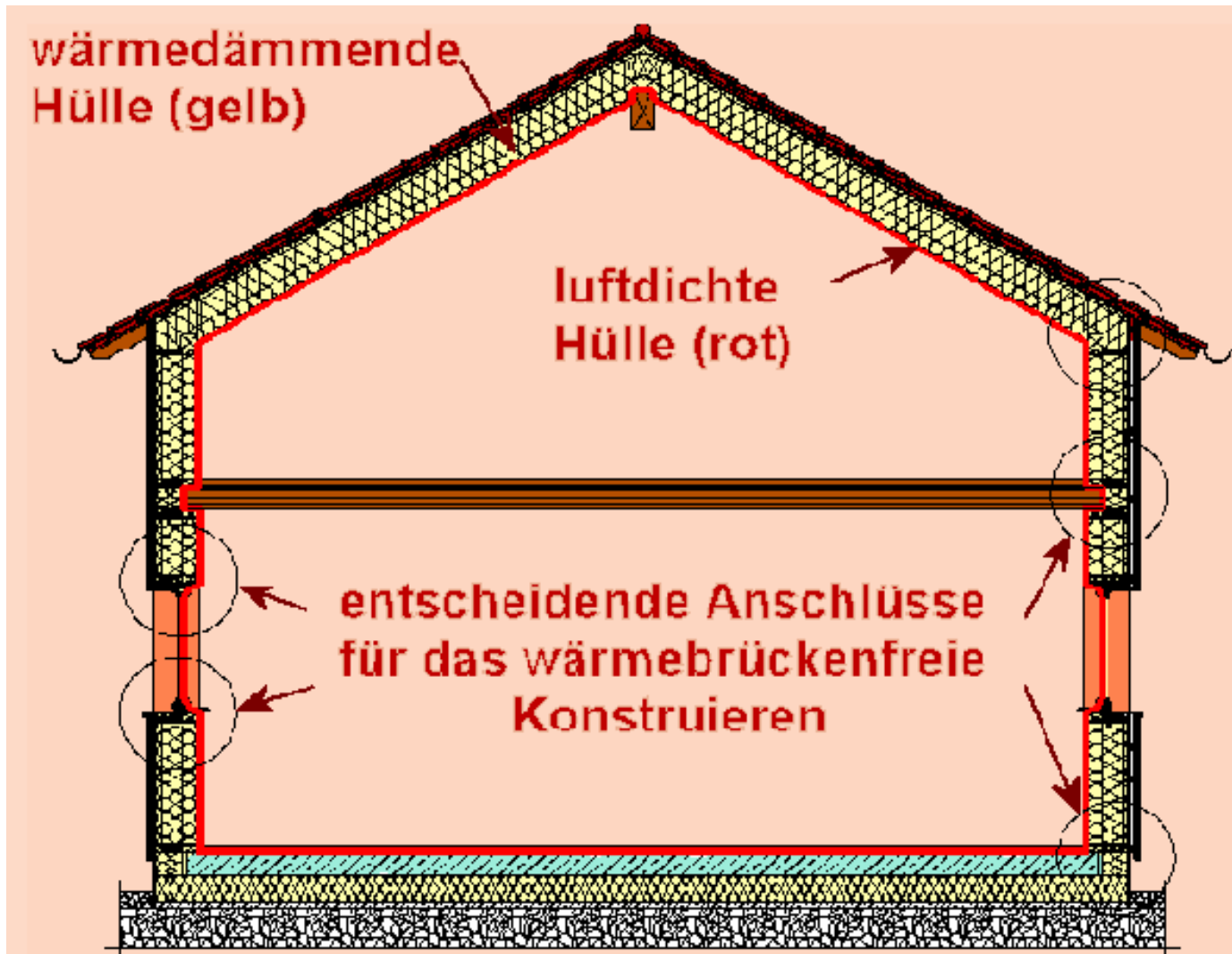
Altbau: Isoliervgls. & Heizkörpernischen

unbeheiztes Haus



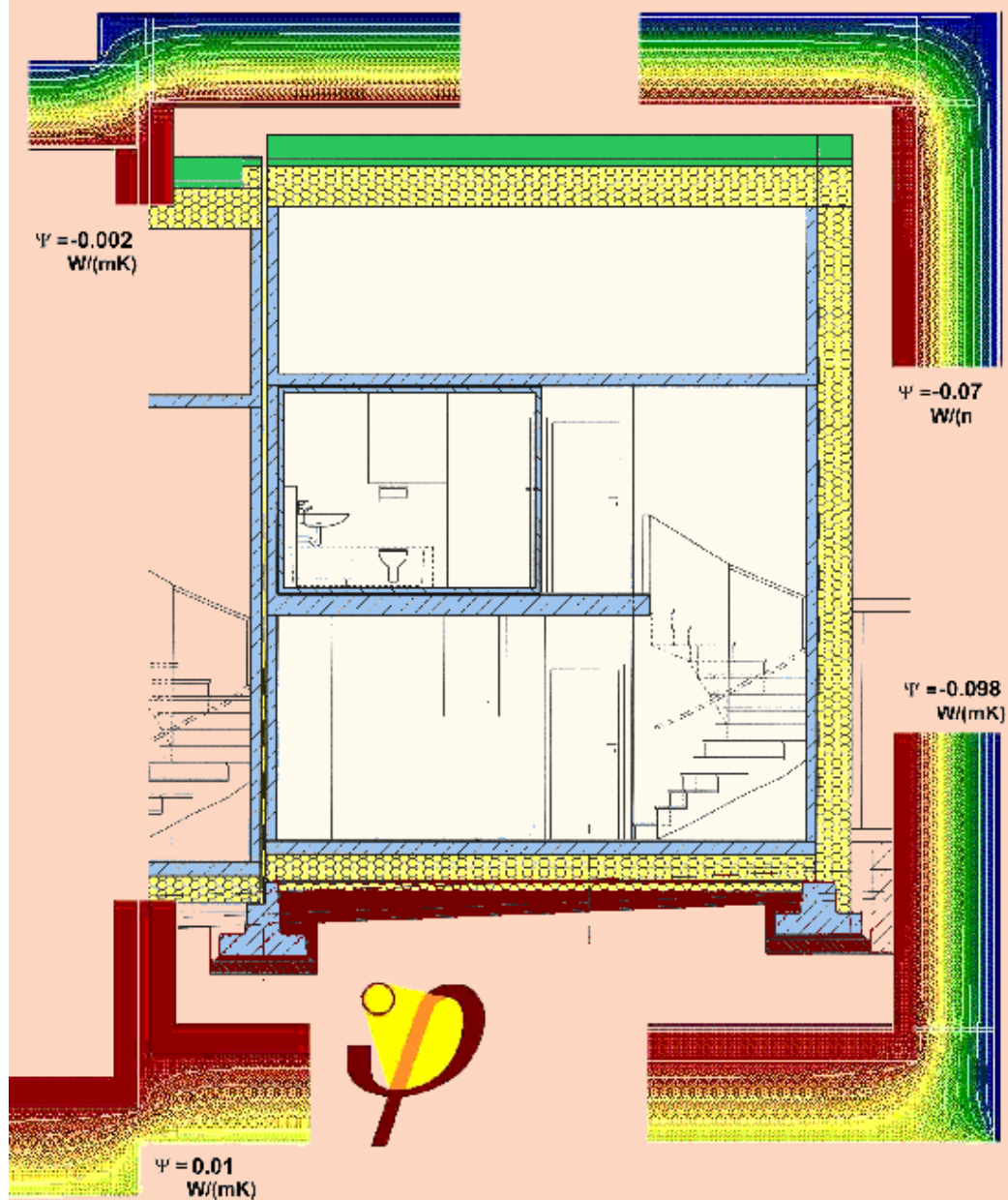
Passivhaus: Dreischiebenverglasung, Topdämmung

Mostki cieplne



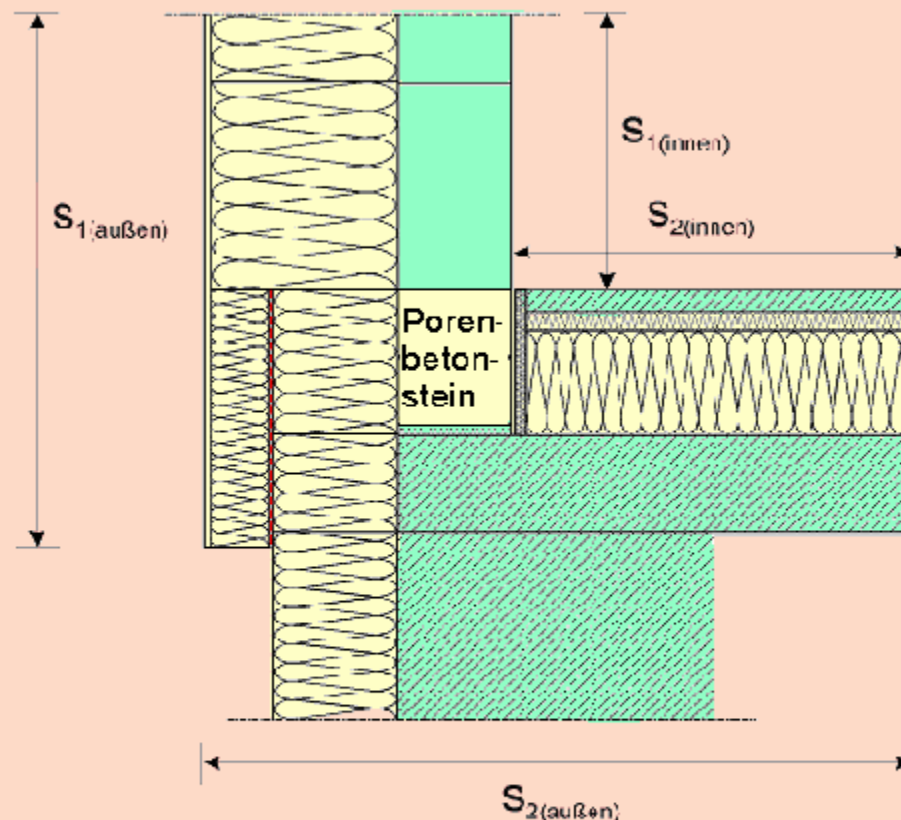
Das wichtigste Prinzip beim Passivhaus: eine ohne Unterbrechungen rund um das Gebäude gelegte **wärmedämmende Hülle (gelb)** verringert die Wärmeverluste wie ein warmer Mantel. Da die meisten Wärmedämmstoffe nicht luftdicht sind, muss es neben der dämmenden Hülle auch noch eine **luftdichte Hülle** geben - diese ist hier auch, nämlich als rote Linie gezeichnet. Sehr wichtig ist die Vermeidung von Wärmebrücken, für die eine eigene Planungsmethode, das "**wärmebrückenfreie Konstruieren**", entwickelt wurde.

wärmebrückenfreie Hülle bei Mischbauweise



**Mostki
cieplne**

Mostki cieplne



Beispiel für einen wärmebrückenfreien Anschluss des aufsteigenden Außenmauerwerkes an die wärmegegedämmte Bodenplatte (mit Darstellung der Maßbezüge: gerechnet wird vereinbarungsgemäß immer mit der "außen"-Maßkette). Für

Fachinformation zum Wärmebrückenfreien Konstruieren

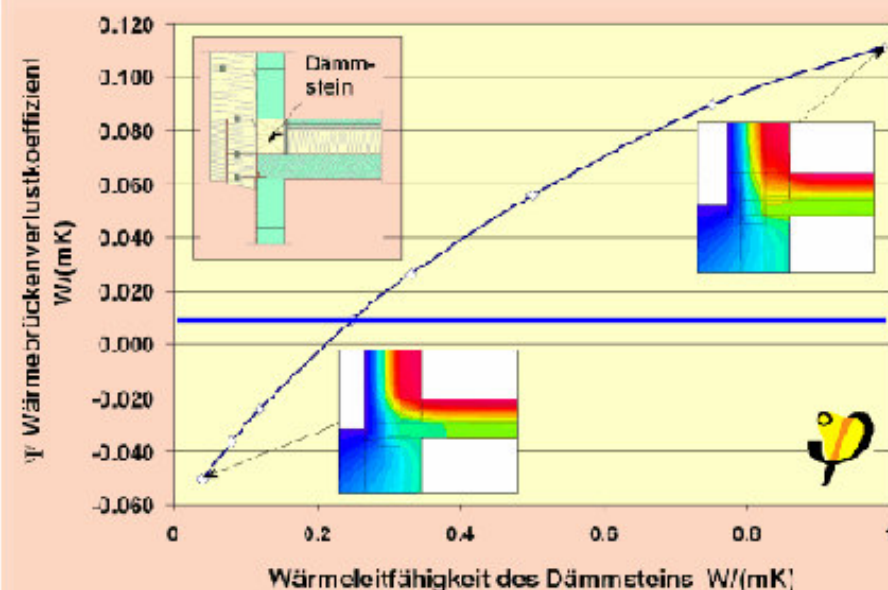
Zur Definition des Wärmebrückenfreien Konstruierens

Eine Gebäudehülle heißt wärmebrückenfrei, wenn der Transmissionswärmeverlust unter Berücksichtigung aller Wärmebrücken nicht höher ist als es die Berechnung allein mit den Außenoberflächen und den U-Werten der Regelbauteile ergibt. Regelmäßige Wärmebrücken in den Regelbauteilen müssen dabei schon in den Regel-U-Werten berücksichtigt werden [AkkP 16]. Im Folgenden wird dies in Formeln gefasst.

Der gesamte temperaturspezifische Wärmeverlust wird durch den Transmissionsleitwert H_T charakterisiert. Er setzt sich aus den regulären Verlusten aller Flächen A mit ihren regulären Wärmedurchgangskoeffizienten U

$$U \cdot A$$

dieses Detail wurden die Wärmebrückenverlust-Koeffizienten in Abhängigkeit vom verwendeten Fußpunktstein berechnet. (nach [AkkP 16]).



Abhängigkeit des Wärmebrückenverlustkoeffizienten (Ψ -Wert) von der Wärmeleitfähigkeit λ des Fußpunktsteines. Wenn diese kleiner als 0,25 W/(mK) wird, ist $\Psi \leq 0,01$ W/(mK) und das Detail folglich wärmebrückenfrei. Das Kriterium ist durch eine blaue waagrechte Linie markiert. Man erkennt aber auch, dass mit "normalen" Steinen ($\lambda > 0,8$ W/(mK)) beträchtliche Wärmebrückenverluste resultieren können (aus [AkkP 16]). Dieses Beispiel zeigt, dass "Wärmebrückenfreies Konstruieren" oft mit wenigen, ganz einfachen Änderungen der Details erreicht werden kann und überdies keine hohen Kosten erzeugen muss. Allerdings muss dies bereits während der Planung erkannt und berücksichtigt werden. Eine nachträgliche Änderung im fertiggestellten Gebäude würde unvermeidbar teuer.

und den Wärmebrückenbeiträgen ($\Psi \square l$) sowie χ zusammen; da die punktförmigen Beiträge in der Regel unbedeutend sind, werden sie im Folgenden nicht näher betrachtet. (Ψ ist der lineare, χ der punktförmige Wärmebrückenverlustkoeffizient).

„Wärmebrückenfreies Konstruieren“ ist dann folgt definiert: Die durch die „Wärmebrückenterme“ gegebenen Beiträge sind kleiner oder gleich Null:

$$\sum \Psi \square l + \sum \chi \leq 0$$

[Definition wärmebrückenfrei]

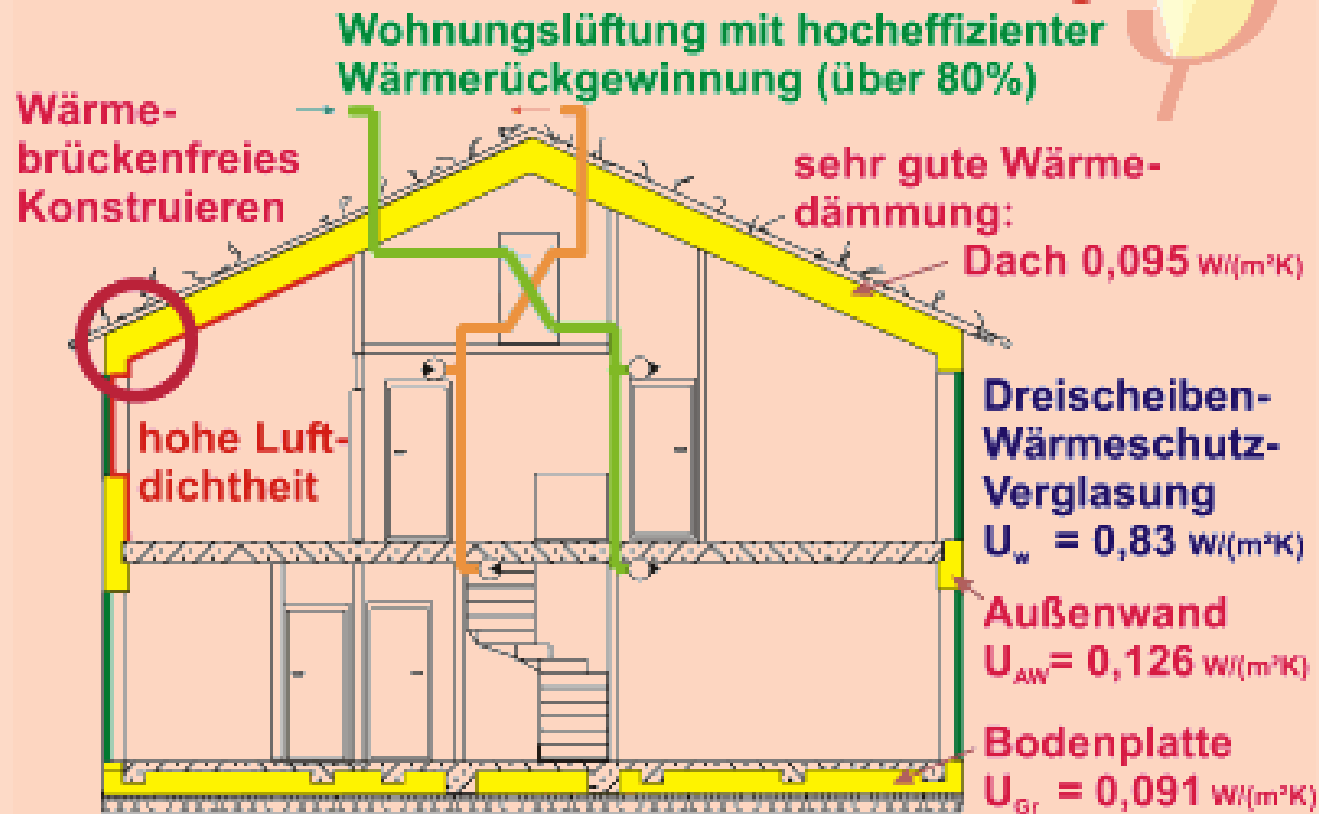
Dann ist es zulässig, die Wärmebrückeneffekte gar nicht erst einzubeziehen und damit die Rechnung erheblich zu vereinfachen. Damit gleichbedeutend ist die Aussage

$$\Delta U_{WB} \leq 0.$$

Dabei ist ΔU_{WB} der Wärmebrückenzuschlag nach Energieeinsparverordnung.

**Mostki
cieplne**

Passivhäuser Hannover Kronsberg



Mostki
cieplne

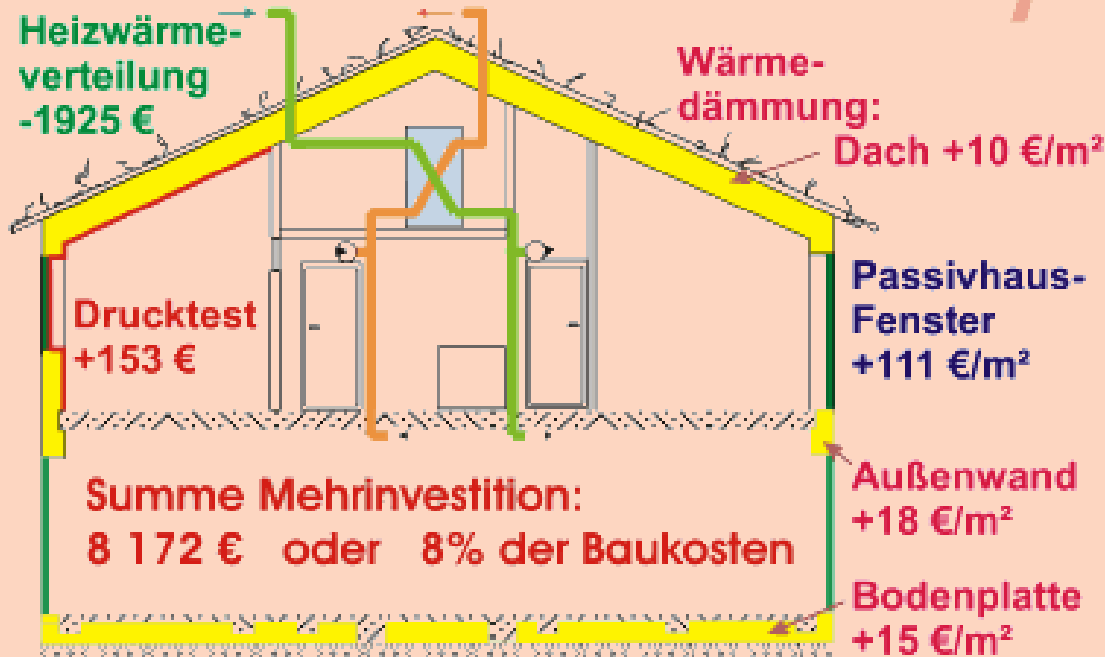
Abb.1: Schnitt durch die Passivhäuser der Siedlung in Hannover Kronsberg (Ansichtsfoto vgl. ganz unten). Hervorgehoben sind die Verbesserungen gegenüber durchschnittlichen Häusern des gleichen Jahrgangs.

Passivhäuser Hannover Kronsberg

Wohnungslüftung mit Wärmerückgewinnung

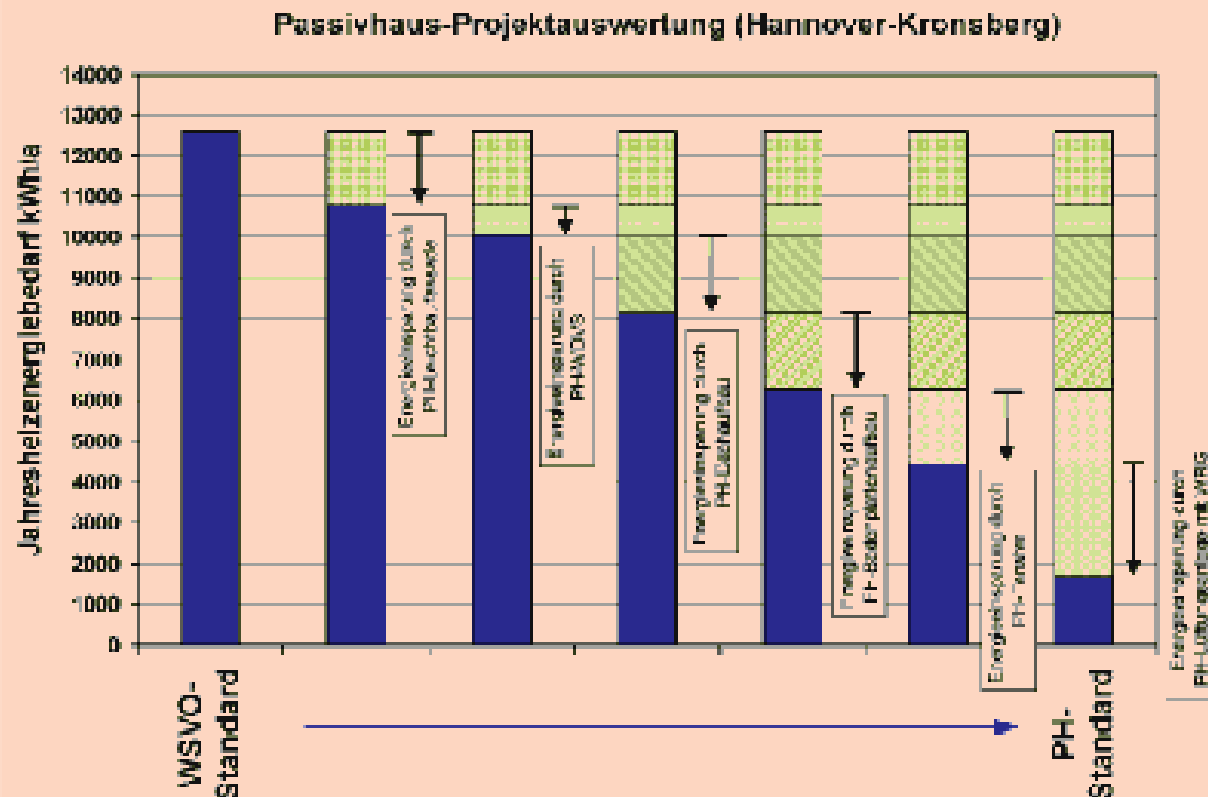
+4602 €

Heizwärme-
verteilung
-1925 €



Koszty

Abb.2: Die zusätzlichen Kosten des verbesserten Wärmeschutzes und der Gebäudetechnik bei jedem einzelnen Bauelement. Das Passivhauskonzept zeichnet sich gerade dadurch aus, dass die ohnehin erforderlichen Bauteile so optimal wie möglich verbessert werden.



**Bilans
energii**

Abb.3: Heizwärmebedarf vom Normalhaus zum Passivhaus: Die dargestellten Bedarfswerte wurden mit PHPP berechnet; die gemessenen Verbrauchswerte stimmen sehr gut mit der gerechneten Bilanz überein. Messergebnisse aus diesem Projekt wurden publiziert, eine Zusammenfassung findet sich [hier](#).

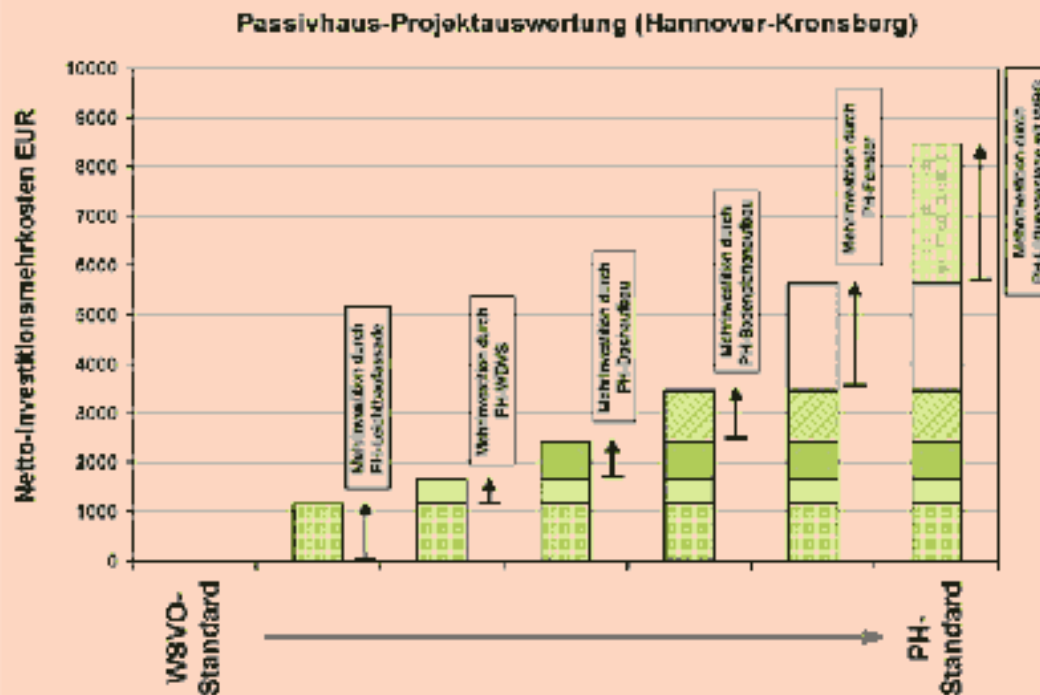


Abb.4: Ansteigen der Investitionskosten Schritt für Schritt bei der Umplanung zu einem Passivhaus: Ein durchschnittliches Reihenhauses dieser Siedlung wird etwa 8200 € teurer als ein Haus, das eben nur die gesetzlichen Bestimmungen erfüllt. Dafür sparen die Häuser Jahr für Jahr etwa 650 € an Heizkosten ein - das entspricht einer internen Verzinsung von 6,5%/a (steuerfrei). Geldanlagen mit einer solchen Rendite muss man anderswo lange suchen - zudem mit einem derart geringen Risiko.

Koszty energii

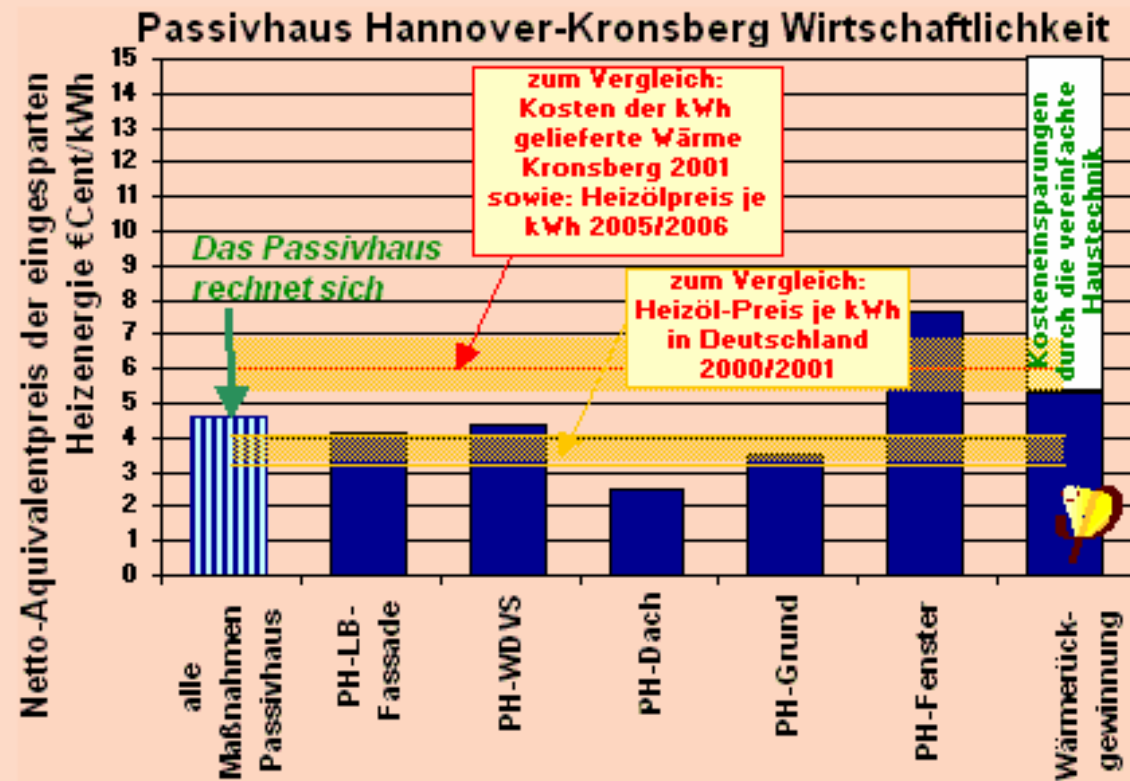


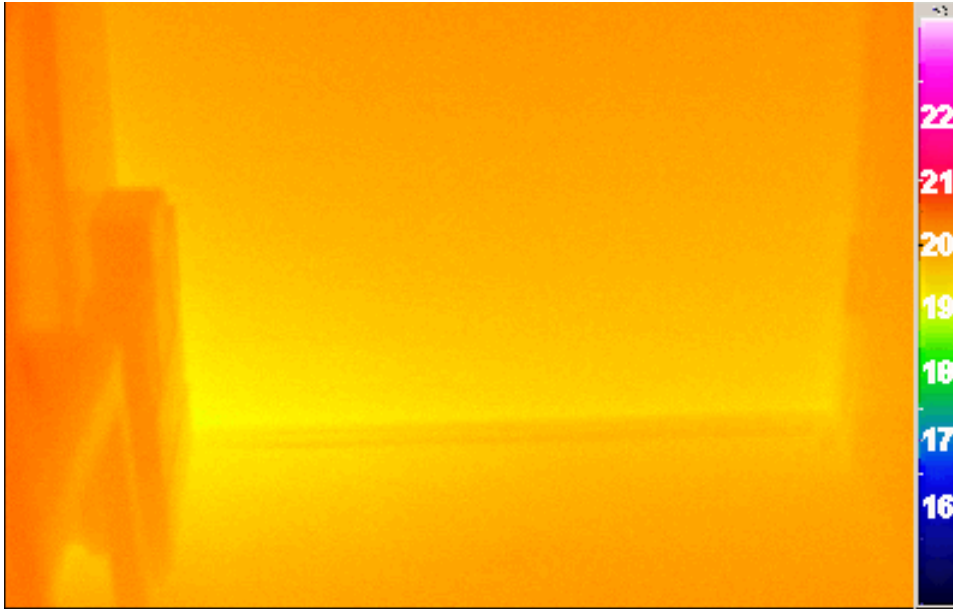
Abb.5: Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen: Für jede Einzelmaßnahme sind die Investitionskosten (Abb.4), die damit erzielte Energieeinsparung (Abb.3) und der Nutzungszeitraum bekannt. Daraus wurden die äquivalenten Kosten für die durch die Maßnahme eingesparte Energie berechnet: Das ist der Preis, zu dem die Maßnahmen Energie ersetzen können. Passivhäuser erweisen sich als wirtschaftlich, bereits bei heutigen Energiepreisen - das zeigt der Vergleich der Säule ganz links mit 4,7 €Cent/kWh für die Gesamtheit aller Maßnahmen, die zum Passivhaus führen. Tatsächlich kostet Heizenergie heute über 5,5 €Cent/kWh. (Ein Klick auf das Diagramm zeigt eine vergrößerte Version; diese Rechnung gilt für das konkrete Beispiel des behandelten Reihenhauses.)

Koszty energii



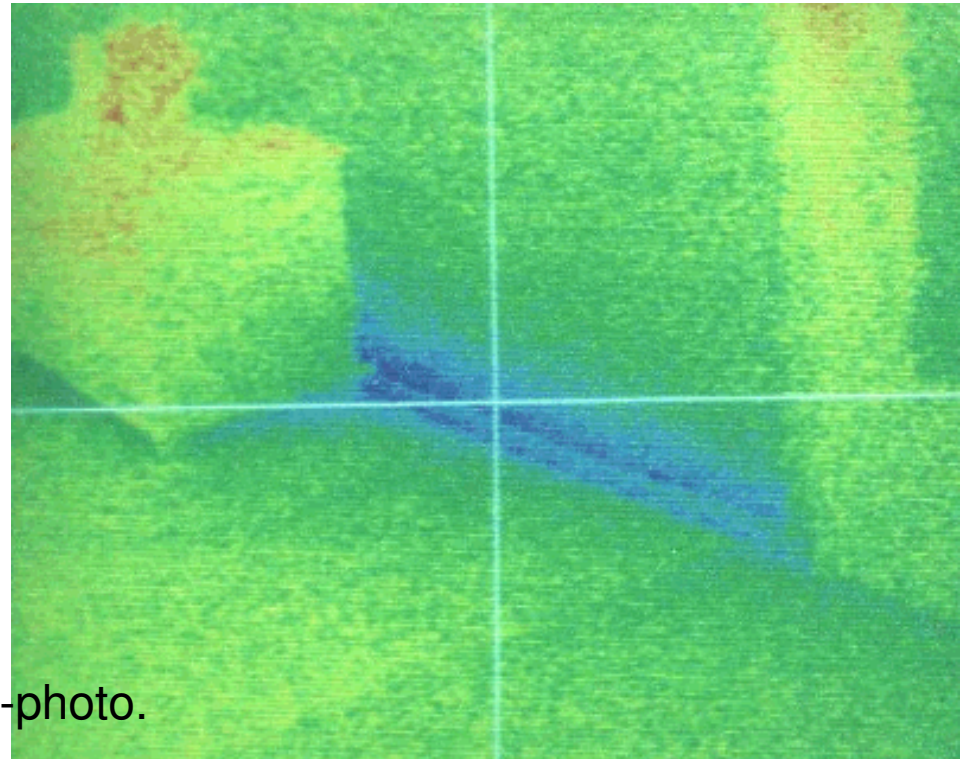
An example: The thermal bridge at the joint of the interior masonry wall with the slab-on-grade can be avoided almost completely if a porous concrete block (yellow) is used for the first row of bricks

It is not difficult to use highly insulating porous concrete blocks for the first row at the building site. In this photo a difference in color of the blocks can be seen.



This is an infrared picture documenting that the thermal separation of the external wall from the concrete basement floor is working: There is no significant temperature drop (IR-photo taken by PHI).

This is how it looks if no care is taken about the thermal separation: a cold band (blue) all along the baseboard is visible (Photo: Klaus Michael, Director of the Institute for Low Energy Construction, Detmold, Chairman in workshops of the 10th conference on Passive Houses). This will often cause damages by high humidity. It can be eliminated by a design for avoiding thermal bridges - for new construction which is not cost prohibitive, see the three illustrations above this last IR-photo.





Verglasung	1-Scheibe	2-Isolier	2- Wärme-Schutz	3-Wärme-schutz
U_g -Wert ($W/(m^2K)$)	5.60	2.80	1.20	0.65
Ob.-Temp.	-1.8 °C	9.1 °C	15.3 °C	17.5 °C
g-Wert	0.92	0.80	0.62	0.48

Die Entwicklung führte zu immer besseren Verglasungen:

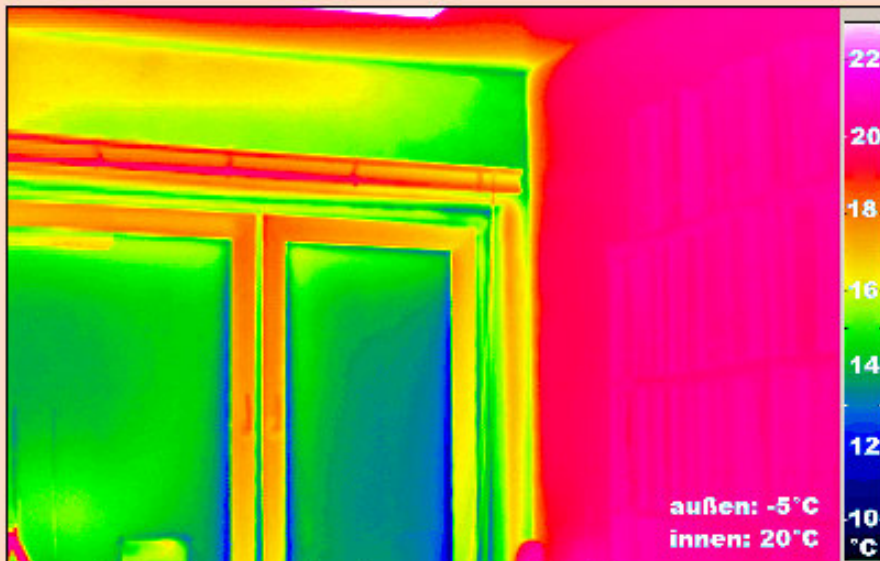
Vom 1-fach-Glas (ganz links) bis zu den Passivhaus geeigneten Verglasungen (ganz rechts). Nur diese haben auch bei strenger Kälte behaglich warme Innenoberflächen. Geringerer Energieverlust und bessere Behaglichkeit gehen Hand in Hand.

Passivhausfenster – höchste Qualität bei transparenten Bauteilen



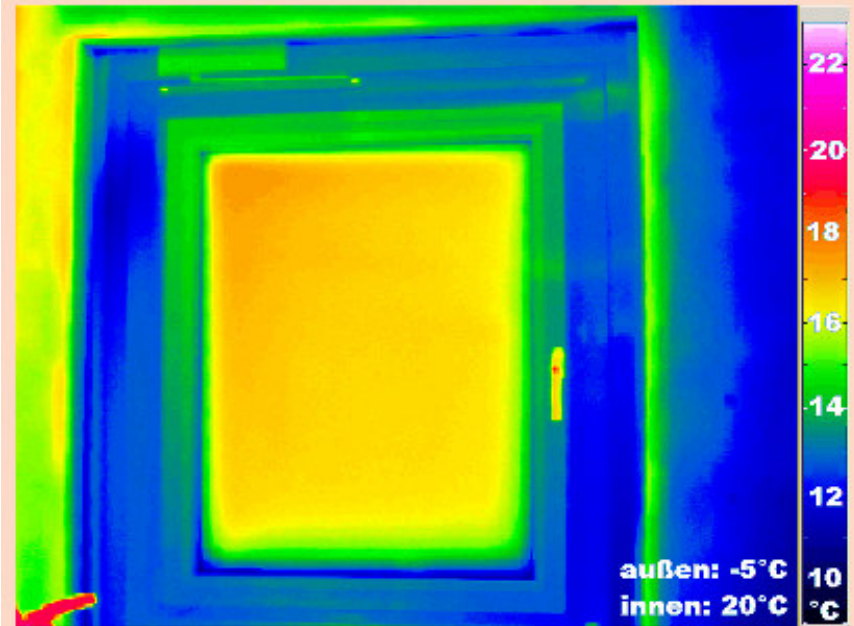
Wärmebildaufnahme eines Passivhausfensters von der Innenseite. Alle Oberflächen sind angenehm warm: Blockrahmen, Flügelrahmen und die Verglasung. Selbst am Glasrand sinkt die Temperatur in diesem Bild nicht unter 15 °C ab (Aufnahme: PHI, Passivhaus Darmstadt Kranichstein; dort stehen die Heizkörper an den Innenwänden).

Okna



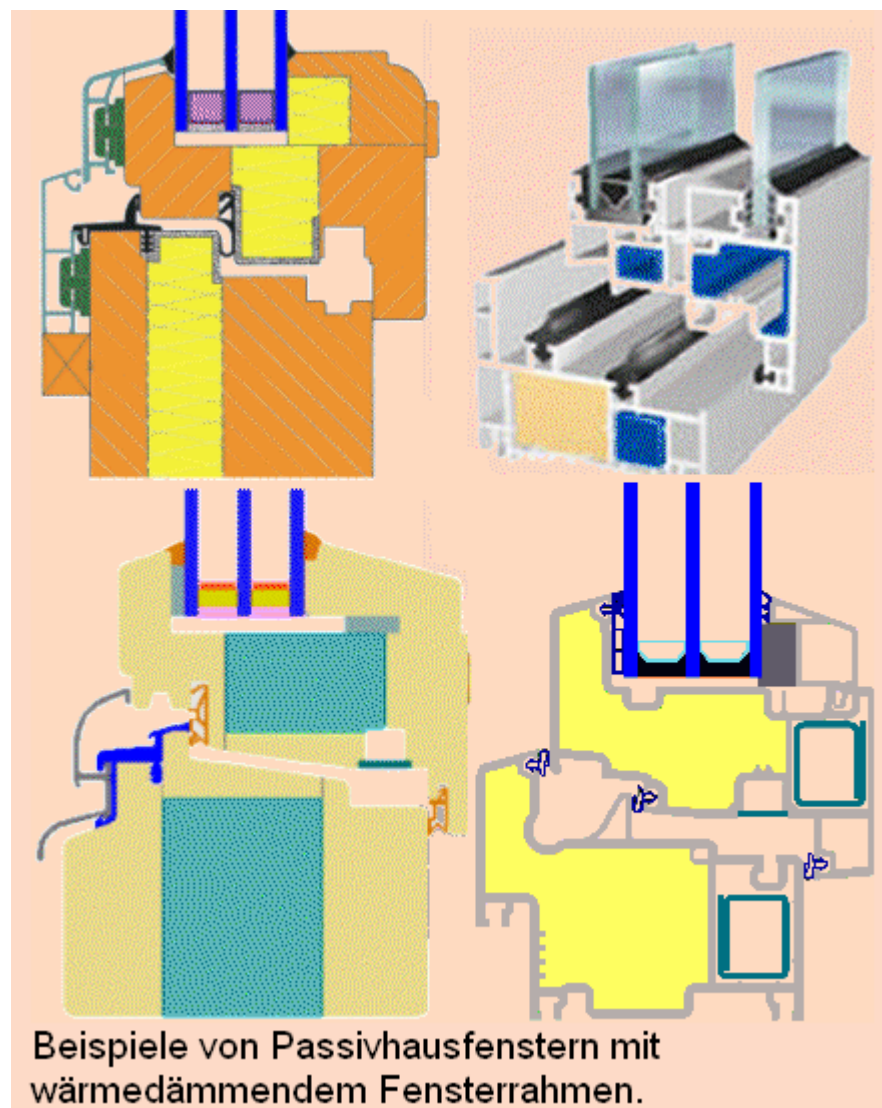
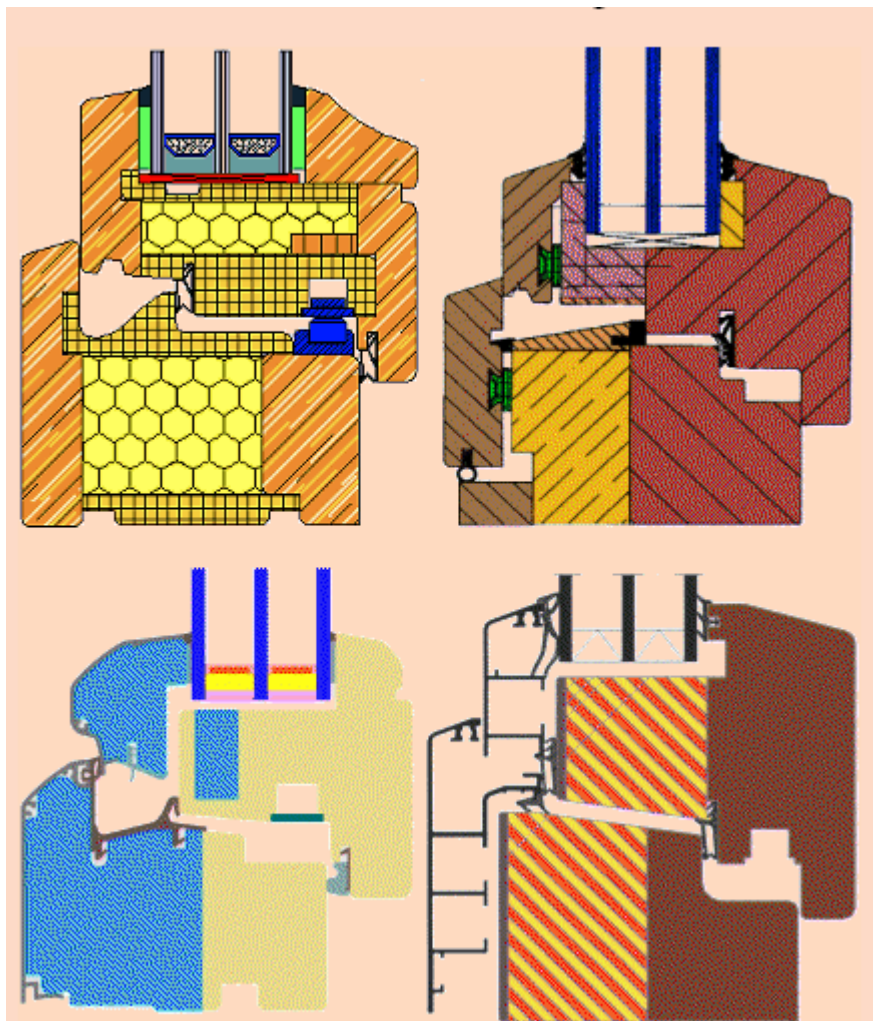
Zum Vergleich ein isolierverglastes Altbaufenster: hier liegen schon die mittleren Oberflächentemperaturen unter 14 °C. Aber auch der Einbau zeigt auffällige Wärmebrücken, besonders am Betonsturz. (Aufnahme: PHI)

Okna

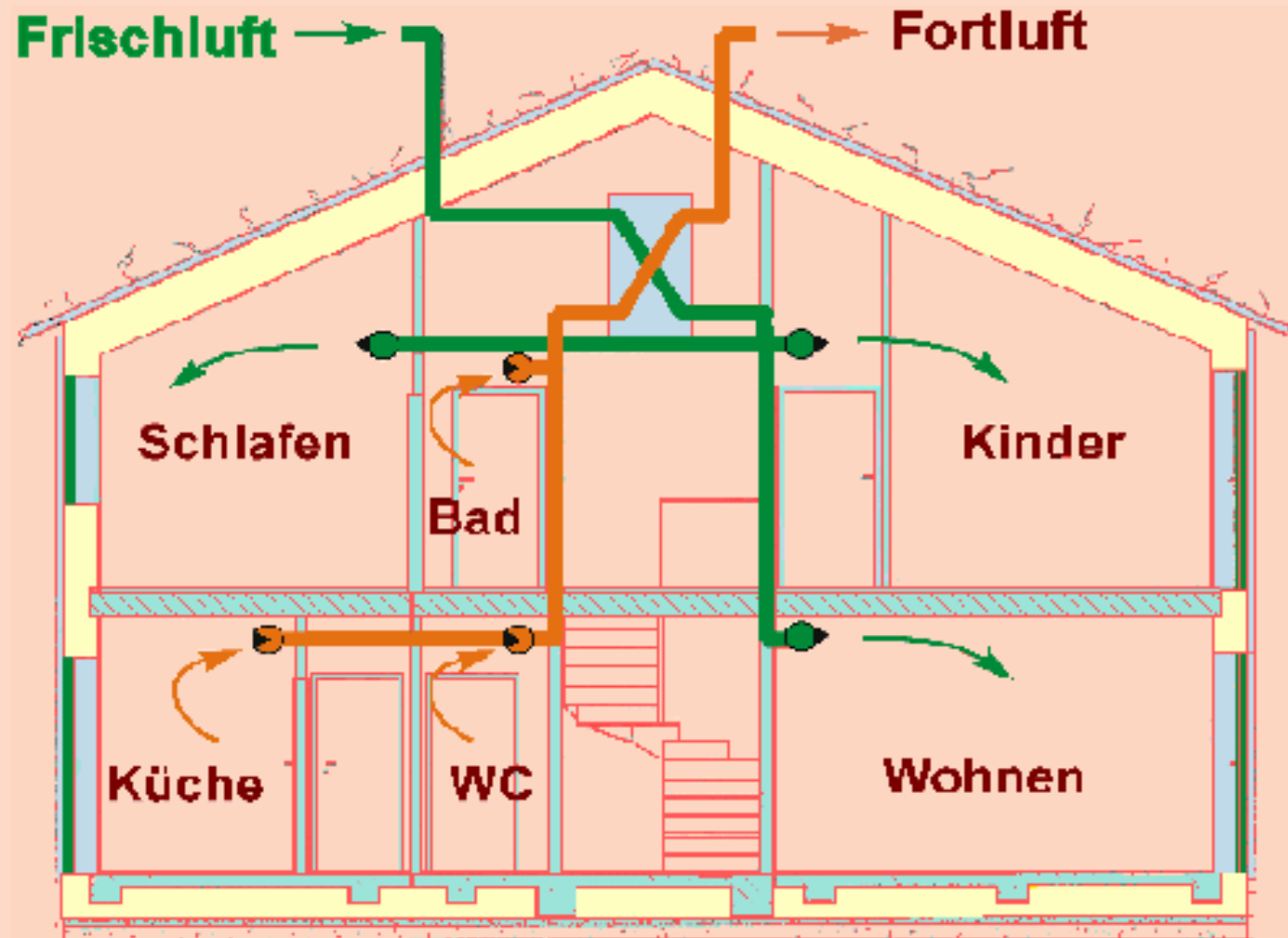


Zum Vergleich: Zweischeiben-Wärmeschutzverglasungen (hier bei einer neu eingebauten Fenstertür) haben schon höhere Oberflächentemperaturen (16 °C im Mittel). Auffällig ist bei dieser Aufnahme die sehr schlechte Dämmung des konventionellen Fensterrahmens. So hohe Wärmeverluste und niedrige Oberflächentemperaturen müssen heute nicht mehr sein: Passivhausrahmen erlauben eine bedeutende Qualitätsverbesserung.

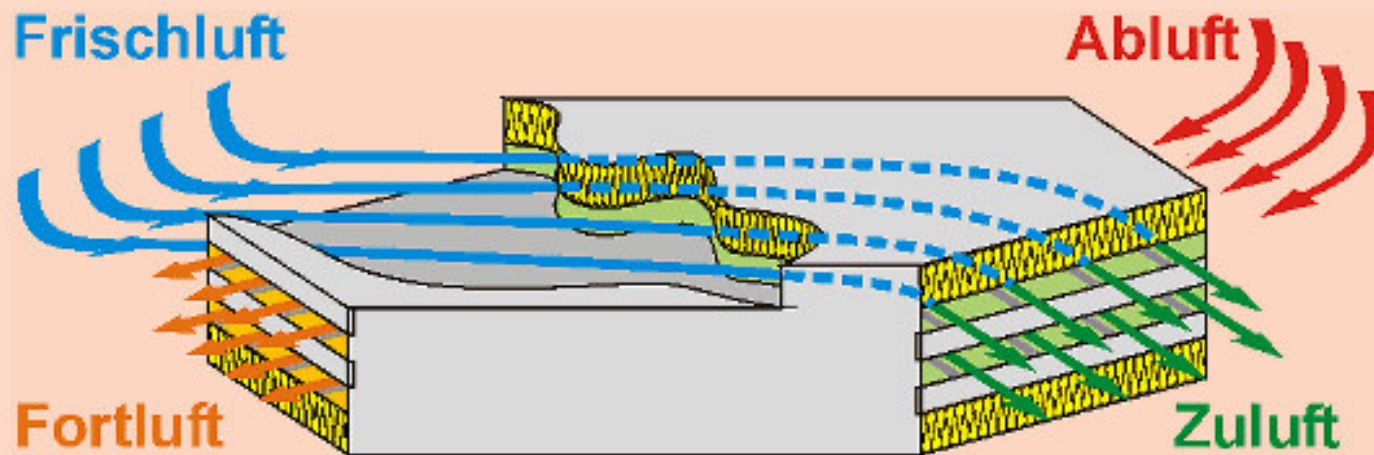
Okna



Wentylacja



Das Prinzip einer komfortablen Wohnungslüftung:
Verbrauchte Luft (braun) wird ständig aus den am meisten belasteten Räumen abgezogen. Frische Luft (grün) wird in die Aufenthaltsräume zugeführt. Gute Luft ist eine wichtige Voraussetzung für gesundes und behagliches Wohnen.

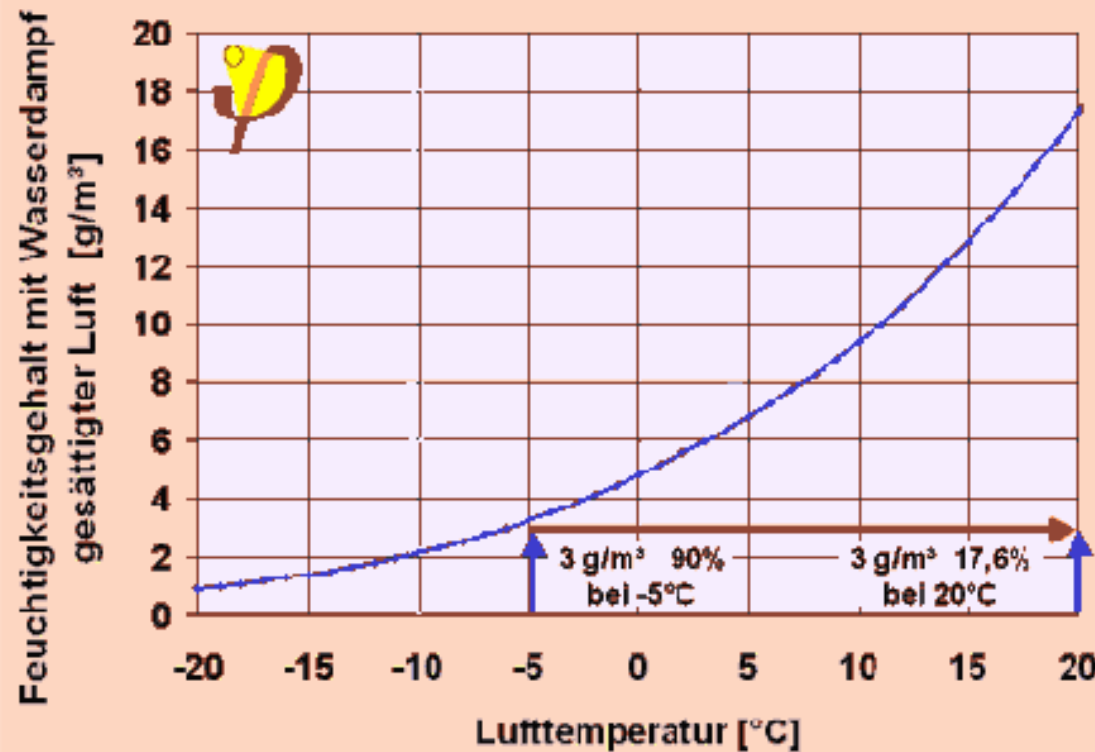


Wentylacja

Und so einfach funktioniert ein **Gegenstrom-Wärmeübertrager**: Die verbrauchte Abluft (rot) strömt durch einen Kanal und gibt Wärme an die obere und untere Platte ab. Sie tritt abgekühlt als Fortluft (orange) aus. Auf der anderen Seite der Platten strömt in eigenen Kanälen unbelastete Frischluft. Sie nimmt die Wärme auf und steht erwärmt (aber immer noch unbelastet) als Zuluft (grün) zur Verfügung. Wegen des Gegenstromprinzipes können fast 100% des Temperaturunterschiedes überbrückt werden.

Mit einer Wärmerückgewinnung ist Energiesparen nicht nur kostensparend und umweltfreundlich, sondern auch gesund: Ohne ständiges Fensteröffnen gibt es immer frische Luft im Haus. Das gilt für alle Gebäude, nicht nur für das Passivhaus.

Wentylacja wilgotność



In kalter Luft ist nur eine geringe Wassermenge enthalten (im Beispiel: 3 g/m^3) 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 $17,3 \text{ g/m}^3$. Wird kalte Luft durch Lüften in den Raum gebracht und auf 20°C erwärmt, so entsprechen die darin enthalten 3 g Wasser je m^3 einer relativen Feuchtigkeit von nur 17,6%.

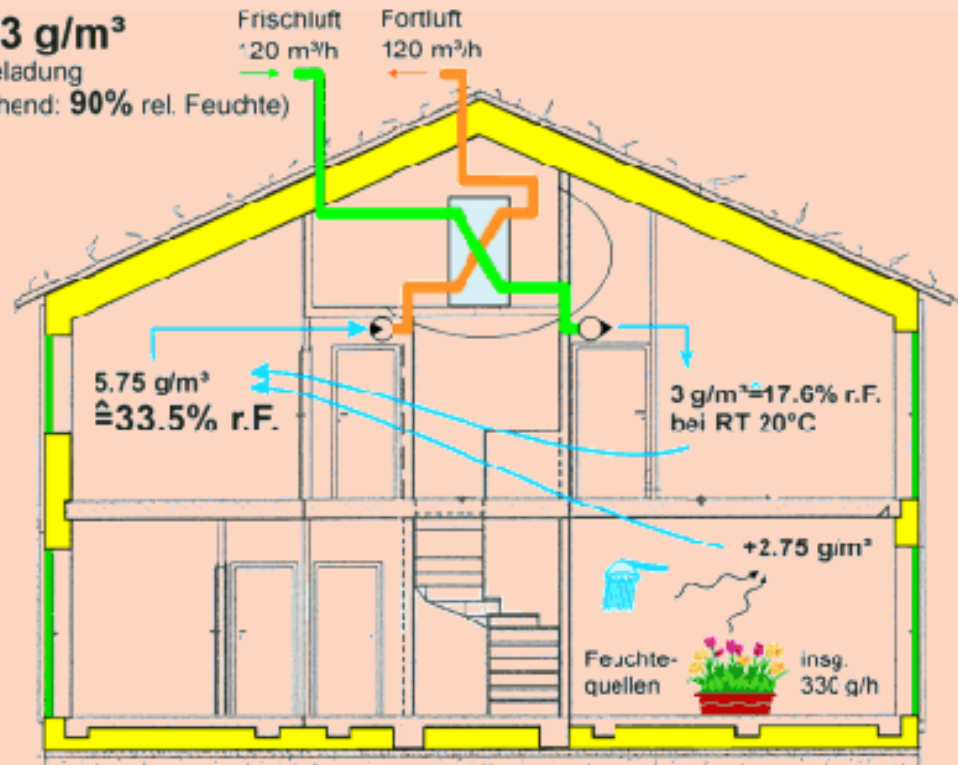
Je höher die zugeführte Außenluftmenge, desto geringer wird die sich im Innenraum einstellende relative Raumluftfeuchtigkeit.

-5°C: 3 g/m³

Wasserbeladung
(entsprechend: **90% rel. Feuchte**)

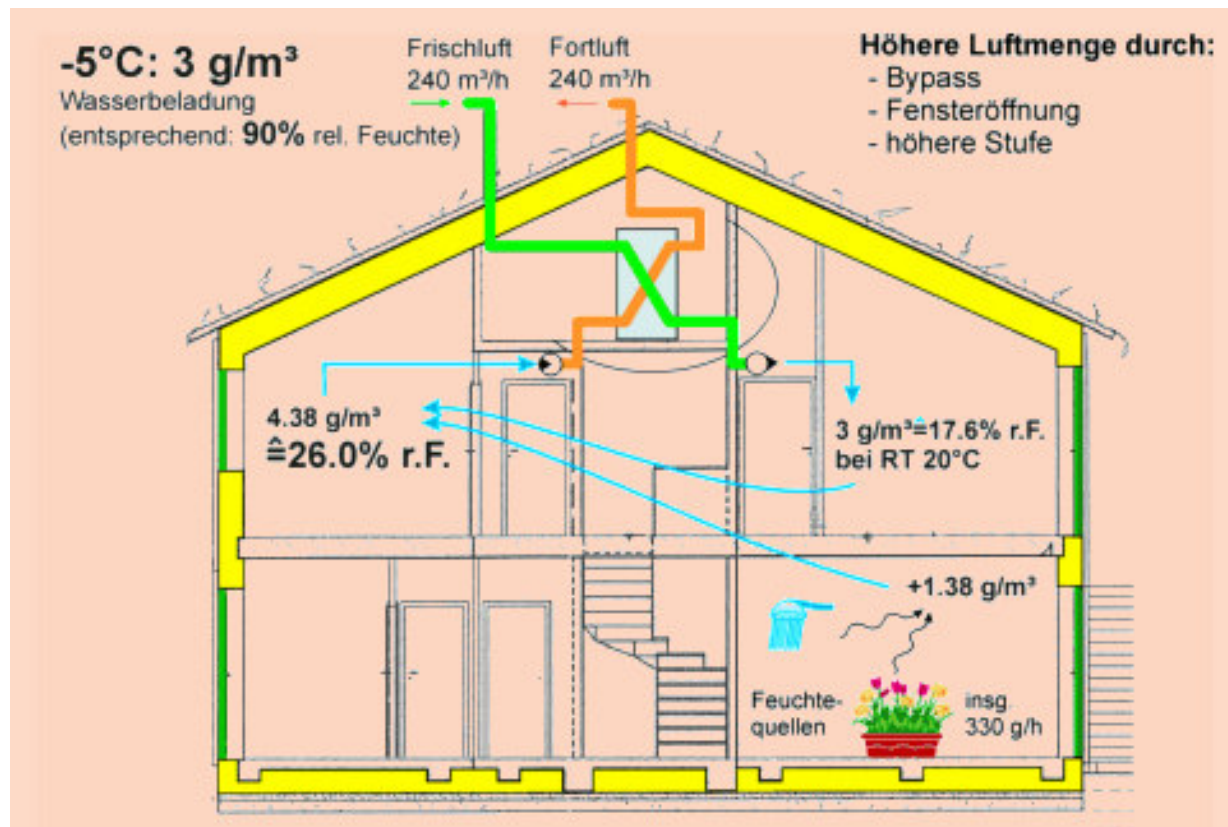
Frischlufte
120 m³/h

Fortluft
120 m³/h



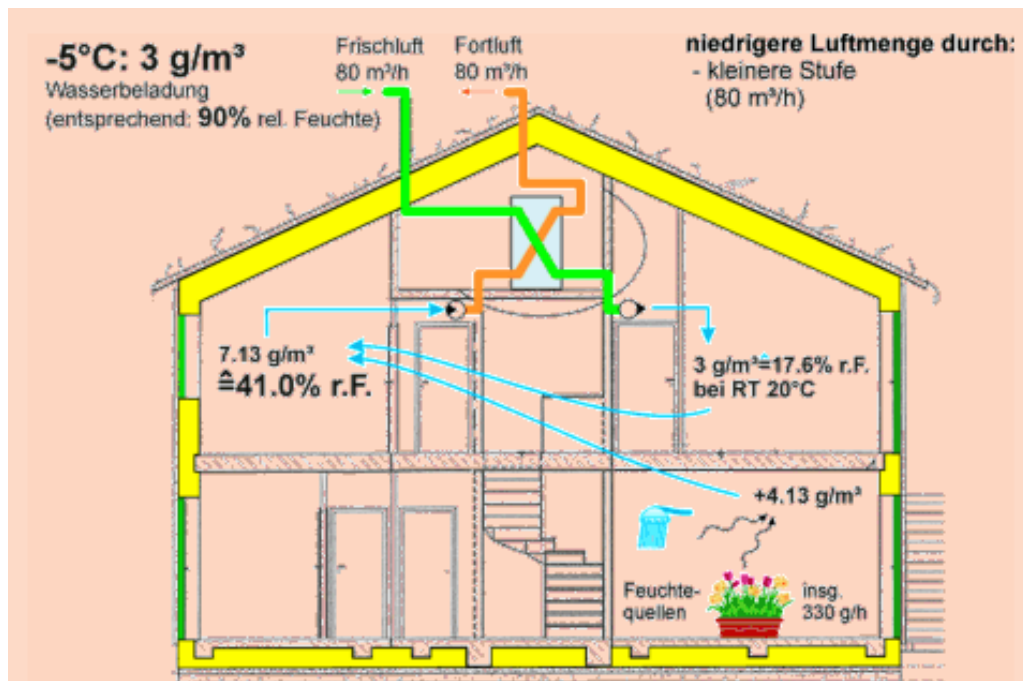
Bei "normaler Lüftung" mit **120 m³/h** wird die im Haus freigesetzte Feuchtigkeit so weit verdünnt, dass bei den dargestellten Außenluftbedingungen eine relative Feuchtigkeit von etwas über 33% im Innenraum entsteht. In der Regel ist das akzeptabel. (Luftmenge je Person 30 m³/h gemäß DIN 1946, Luftwechsel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

**Wentylacja
wilgotność**



Wentylacja wilgotność

Bei "erhöhter Lüftung" mit $240 \text{ m}^3/\text{h}$ 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 $60 \text{ m}^3/\text{h}$ je Person ist somit bzgl. der Feuchtebilanz "des guten zu viel". (Luftwechsel bezogen auf das Luftvolumen etwa $0,75 \text{ h}^{-1}$)



Wentylacja wilgotność

Will man die Luftfeuchtigkeit in der kalten Zeit höher halten, so ist der einfachste Weg dazu, die Frischluftmengen zu reduzieren und so die Feuchtigkeit in der Raumluft weniger zu verdünnen. Eine Außenluftmenge von $80 \text{ m}^3/\text{h}$ entsprechend $20 \text{ m}^3/\text{h}$ je Person reicht für eine akzeptable Innenlufthygiene erfahrungsgemäß immer noch aus (vgl. Messungen in verschiedenen Passivhäusern).

Mit einer solchen Außenluftmenge stellt sich die Luftfeuchtigkeit im Haus auf etwa 41% ein. (Der Luftwechsel beträgt dann nur noch etwa $0,25 \text{ h}^{-1}$ bezogen auf das ganze Haus; da das Gebäude aber dauerhaft gleichmäßig mit frischer Luft versorgt wird, ist die Luftqualität auch damit ausreichend. Geringer als etwa $0,25 \text{ h}^{-1}$ sollte der Luftwechsel allerdings nicht werden. Das zeigen Erfahrungen mit langjährigen Messungen der Luftqualität im Passivhaus Darmstadt Kranichstein.)