

Das Passivhaus als erweiterte Kleidung



Zwei Hüllensysteme und zwei Komfortzonen innerhalb der Hüllen sind es in der Regel, die die Körpertemperatur schützen und die, die vom menschlichen Körper unaufhörlich produzierte Wärme abführen. Mit dem Passivhausstandard können auch in unserem Klima Gebäudehüllen konstruiert werden, die mehr als alle früheren Bauweisen als Fortsetzung der menschlichen Bekleidung beschrieben werden können.

Wärmeproduktion

Der menschliche Körper produziert im Aktivitätsniveau der „leichten sitzenden Tätigkeit“ Wärme mit einer Intensität von etwa 120 W (abhängig von der Größe der Körperoberfläche), wovon rund 95 W bei 19 °C als sensible Wärme, somit als Heizenergie, wirksam sind [Ebel 1997].

Wärmeabgabe

Die Wärme wird durch Strahlung, Konvektion, Leitung und Verdunstung über die Haut und über die Atemluft abgegeben und von der umgebenden Luft, den umgebenden Oberflächen und über berührte Gegenstände von der Umwelt aufgenommen.

Kühlleistung

Die Umwelt erbringt also eine Kühlleistung am menschlichen Körper, auch bei Sommerhitze und selbst in der Sauna. In heißen Umgebungen wie der Sauna wird die Wärme, die von der Haut auf den Schweiß übertragen wird und die Wärme, die von der umgebenden heißen Luft auf den Schweiß übertragen wird, als Verdunstungsarbeit wirksam, wodurch der Schweiß in Summe gekühlt statt erwärmt wird.

Regulation

Stimmen Wärmeproduktion des Körpers und Kühlleistung der Umwelt nicht genau überein, beginnt der Körper mit Regulationsaktivitäten, die subjektiv als Diskomfort wie Frieren und Schwitzen erlebt werden.

Erste Komfortzone

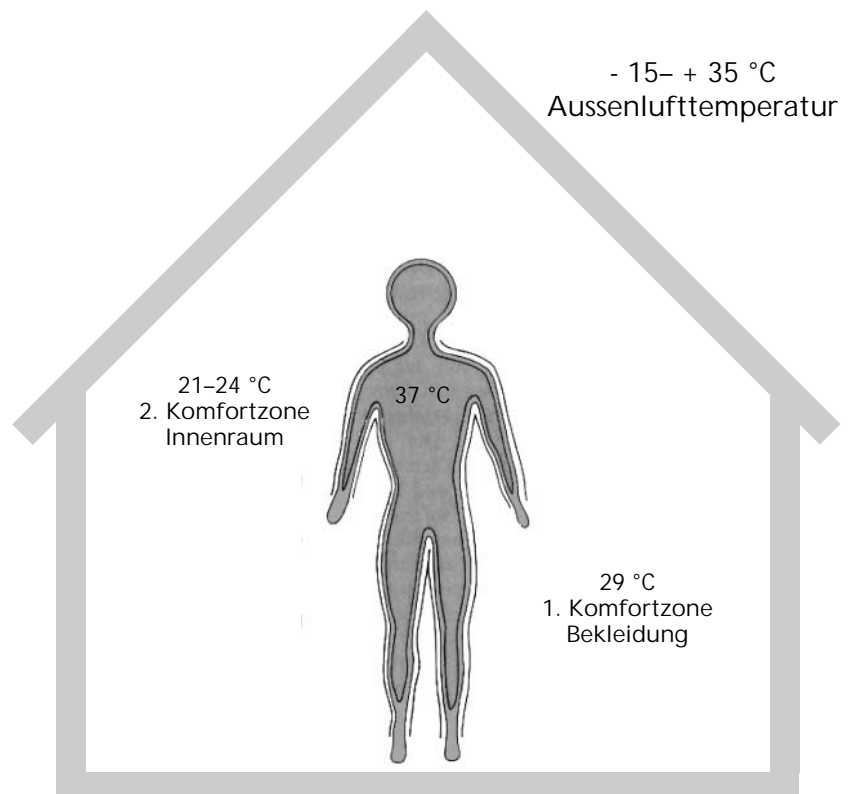
Damit, wie in unserem Beispiel, die Umwelt eine Kühlleistung von 120 W am menschlichen Körper erbringen kann, muss die Lufttemperatur und die Temperatur der Flächen, mit denen die Haut in Strahlungsaustausch („Sichtkontakt“) steht, 27–29 °C betragen.

Das ist die Temperatur der ersten Komfortzone, der Zone zwischen der Haut und einer „zweiten Haut“, eine Zone, die jene tropischen Bedingun-

gen bieten muss, auf die der menschliche Körper von Natur aus eingerichtet ist.

Die zweite Haut

Die äußere Grenze der ersten Komfortzone kann in den Tropen oder auch in gemäßigten Breiten an milden Sommertagen die umgebende Landschaft sein, sie kann auch von der Luft und den raumumschließenden Flächen eines Badezimmers, eines Umkleideraums, eines Hallenschwimmbads gebildet werden. In der Regel ist aber, als „zweite Haut“, die Kleidung mit der thermischen Funktion einer Zwischendämmung eingeschaltet, die die erste Komfortzone gegen eine zweite Komfortzone abgrenzt. ➤



Zweite Komfortzone

Die zweite Komfortzone befindet sich zwischen der in Innenräumen üblichen Bekleidung und einer „dritten Haut“, als die ein Gebäude gerne bezeichnet wird. Die Bedingungen in dieser Zone werden als Raumklima bezeichnet.

Kleidung und thermischer Komfort in Innenräumen

Kleidung ist kulturabhängig und die Dämmwirkung von in Innenräumen üblicher Bekleidung ist daher sehr variabel. Sie ermöglicht eine Vielzahl von Komforttemperaturen in der zweiten Komfortzone, die lt. Literatur [referiert bei McIntyre 1982] von 32 °C bis hinab zu 16 °C reichen können. Die Norm ISO 7730 nennt als Komfortbedingung für Innenräume ein Winteroptimum von 20–24 °C und ein Sommeroptimum von 23–26 °C, die den Bekleidungsgewohnheiten in Innenräumen in den Industrieländern etwa entsprechen. Diese Luft- und Innenoberflächentemperaturen der Gebäudehülle müssen gegen das äußere Klima im Winter wie im Sommer aufrechterhalten werden.

Thermischer Widerstand von Bekleidung (ISO 7730; NEFF-Projekt 357) Der Wärmedurchgangswiderstand von Bekleidung hat die physikalische Dimension m^2K/W . Zusätzlich wurde, die Größe clo (für clothing unit) definiert, mit der man anschauliche Zahlenwerte erhält. Der Wärmedurchgangswiderstand des unbedeckten Körpers wird mit clo = 0 und der einer herkömmlichen Winterbekleidung für Innenräume mit clo = 1 gleichgesetzt.

Bekleidung	clo	m^2K/W
nackt	0,0	0,00
kurze Hose, T-Shirt	0,3	0,04
Hosen, Kurzarmhemd	0,5	0,08
Hosen, Hemd, Pullover (Winter)	1,0	0,16
ISO 7730: schwerer traditioneller europäischer Geschäftsanzug: Baumwollunterwäsche mit langen Beinen und Ärmeln, Hemd, Anzug bestehend aus Hose, Jacket und Weste, wollene Socken und schwere Schuhe	1,5	0,23

Passivhaus ist die Fortsetzung der Bekleidung mit anderen Mitteln

Passivhaus und konventionelle Gebäude: Winter
Das ist für winterliche Bedingungen in gemäßigten Klimaten erst durch Gebäudehüllen nach dem Passivhaus-Standard annähernd möglich geworden. Vorher mussten zu kalte raumumschließende Flächen, vor allem Fenster, durch zu warme aufgeheizte Luft und – in den besseren Fällen – durch strahlungswirksame Ofen- oder Heizkörperflächen im Raum kompensiert werden. Denn die Wärmedämmung wurde pragmatisch dimensioniert und die Heizanlage auf den verbleibenden Wärmebedarf angepasst.
Das Passivhauskonzept geht von den anzunehmenden

inneren Wärmequellen und -senken, Solargewinnen und einer vertretbaren Zuluft-Nachheizung aus und dimensioniert die Wärmedämmung – auch die der Fenster – entsprechend.

Passivhaus und konventionelle Gebäude: Sommer
Unter sommerlichen Bedingungen konnten schon im traditionellen Hausbau die sommerliche Überwärmung durch geeignete Fenstergrößen, geeignete Orientierung der Fenster, Verschattung durch Nachbargebäude, Gelände, Vegetation oder Verschattungseinrichtungen sowie durch ausreichende speicherwirksame Massen im Gebäudeinneren gewährleistet werden. Das Passivhaus fügt diesem Konzept lediglich die z.B. durch Erdwärmetauscher vorgekühlte Zuluft einer kontrollierten Wohnraumlüftung hinzu.

Ohne zweite Komfortzone: Im Freien

Im Freien muss die Überbekleidung die Leistungen der Gebäudehülle ersetzen. Damit fällt eine zweite Komfortzone weg. Die Luftschicht zwischen der Überbekleidung und den darunterliegenden Bekleidungsschichten ist dünn und eine Fortsetzung der ersten Komfortzone zwischen Haut und Bekleidung. Nur unvollkommen und vorübergehend kann Kleidung die Gebäudehülle ersetzen. Fast in allen Klimaten ist der dauernde Aufenthalt im Freien über mehrere Tage, Wochen oder gar Monate lebensbedrohlich (so komisch das klingt!) und kann nur mit zusätzlicher Hilfe von Zelten oder durch Zuflucht in Höhlen oder dichte Vegetation erträglich gemacht werden.

Passivhaus als Fortsetzung der Bekleidung mit anderen Mitteln

Weil die Bekleidung die Funktionen der Gebäudehülle vorübergehend gut erfüllen kann, lassen sich Bekleidung und Gebäudehüllen miteinander vergleichen. Gemeinsamkeiten und Unterschiede sind lehrreich.

Im Freien: Winter

Kleidung für den Aufenthalt im Freien muss unter winterlichen Bedingungen das Luftpolster zwischen erster und zweiter Haut und dessen hohe Temperatur durch weitere Wärmedämmung, Wind-, Schnee- und Regendichtigkeit schützen.

Im Freien: Sommer

Unter sommerlichen Bedingungen ist der Schutz vor Sonnenbestrahlung, Regen und, außer in den Tropen, Wind und Kälte von außen vordringlich. Folglich sind in den trocken-heißen Gegenden der Erde leichte, weitgeschnittene, den ganzen Körper bedeckende Kleider üblich, die Sonnenschutz, ausreichende Ventilation und Schutz vor Wind und nächtlicher Kälte bieten.



Ventilation in Bekleidung und in Gebäuden

Mit dem Schutz vor Wärme, Kälte, Niederschlägen und Wind ist es nicht getan. Die Luftschicht, die im Inneren der Bekleidung wie der Gebäude als Komfortzone bewahrt werden soll, wird durch den Körper der TrägerInnen bzw. BewohnerInnen und durch ihre Aktivitäten mit Wasserdampf, Gerüchen und Kohlendioxid angereichert. Eine ausreichende Abfuhr von Wasserdampf und ein gewisser Luftaustausch muss gewährleistet sein.

Im Freien: Luftaustausch, Sommer wie Winter

Die Haut ist diffusionsoffen. Nicht nur Schweiß, sondern auch Wasserdampf werden abgegeben und müssen im Winter wie im Sommer durch die Bekleidungsschichten diffundieren können. Mangelnde Feuchtediffusionsfähigkeit der Kleidung (billige Regenkleidung) führt zu Kondensat in den Textilschichten und in weiterer Folge zu erhöhter Wärmeleitung. Die Bewegungen des Körpers unterstützen den Abtransport von Feuchtigkeit durch Luftaustausch durch die Öffnungen der Kleidung (Ventilation), können aber die Diffusion nicht ersetzen [Mecheels 1976]. Mit der ausgetauschten Luft wird auch Wärme abtransportiert, bei richtig gewählter Bekleidungsstärke geht aber über die Kleidung, über unbedeckte Hautpartien und Atemluft nicht mehr Wärme verloren als der Körper ohnehin nachliefert. Es ist also richtiger, hier von einer Entsorgung als von einem Verlust zu sprechen.

Luftaustausch in Gebäuden: Winter

In Gebäuden müssen nicht nur Feuchtigkeit, sondern auch Gerüche und Kohlendioxid aus der Atemluft abtransportiert werden. Der dafür notwendige Luftwechsel ist viel höher als bei der Kleidung. Der damit einhergehende Lüftungswärmeverlust ist im Winter meist tatsächlich ein Verlust, der – bei kontrollierter Wohnraumlüftung – durch Abluftwärmerückgewinnung gemindert, oder bei konventionellen, natürlich belüfteten Gebäuden durch Heizung kompensiert werden muss. Freilich werden zu große Wärmeverluste gerne auch durch unzureichende Lüftung vermieden.

Luftaustausch in Gebäuden: Sommer

Je wärmer es wird, desto eher können die Fenster offen bleiben – solange es nicht regnet oder der Wind zu stark ist. Offene Fenster müssen also überwacht werden – so gesehen ist auch die natürliche Belüftung konventio-

neler Gebäude tunlichst „kontrolliert“. Statt zu Wärmeverlusten kommt es mit Herannahen des Sommers zunehmend zu Wärmeeintrag. Die Speichermassen hinter den Innenoberflächen nehmen die überschüssige Wärme aus der Luft auf und können die sommerliche Überwärmung vermindern. Im Passivhaus besteht die zusätzliche Option, statt „kontrollierter“ offener Fenster die kontrollierte Wohnraumlüftung mit vorgekühlter Luft bei geschlossenen Fenstern laufen zu lassen – für Arbeitsstätten sicher die zu bevorzugende Option.

Innere Wärmequellen

Bekleidung und Passivhäuser haben gemeinsam, dass ausschließlich oder doch in erster Linie innere, durch die Nutzung ohnehin gegebene Wärmequellen das Gleichgewicht mit den Wärmesenken gewährleisten müssen. Die Wärmequellen im Falle der Bekleidung (im Freien) sind der Stoffwechsel des menschlichen Körpers und Erwärmung durch Sonneneinstrahlung, im Falle des Passivhauses kommen Zuluftheizung, Abwärme von Geräten und von Warmwasser hinzu. Die Wärmesenken sind im Falle der Bekleidung der Wärmeverlust durch Wärmeleitung in den Textilschichten, der „Lüftungs“ wärmeverlust durch Ventilation bei Bewegungen des Körpers durch die Öffnungen der Bekleidung sowie die Verdampfungswärme von Feuchtigkeit auf der Haut. Im Passivhaus kommen Wärmeverluste durch Kaltwasser, das Abfließen von Warmwasser, die Verdampfungswärme von Zimmerpflanzen und von trocknender Wäsche hinzu.

Dramatisch unterschiedlich ist das Verhältnis von Wärmequellen und Wärmesenken bei Bekleidung und Passivhaus, was uns oben veranlasst hat, im einen Fall von einer „Entsorgung“ von Wärme, im anderen Fall (zumindest unter winterlichen Bedingungen) von einem „Verlust“ zu sprechen. Ebenso unterschiedlich sind die Luftvolumina und die inneren Speichermassen, die zwischen Wärmequellen und -senken als Puffer eingeschaltet sind. Dies soll im Folgenden beleuchtet werden.



Das Passivhaus als erweiterte Kleidung

Fortsetzung von Seite 17

Temperaturänderungen: Luftvolumina und innere Speichermassen

Das zu erwärmende Luftvolumen ist im Falle der Bekleidung vernachlässigbar klein (ca. $0,02 \text{ m}^3 = 20 \text{ l}$), im Falle des Hauses beträgt es pro Bewohner zum Beispiel 35 m^2 mal $2,5 \text{ m}$ Raumhöhe = $87,5 \text{ m}^3$ [PHPP 2002]. Bei der Bekleidung stehen weder Luftvolumen noch Speichermassen (max 2 kg) einer raschen Aufwärmung der Kleidung im Wege. Allenfalls ist das Erlebnis bekannt, im Winter einen Mantel oder Schuhe anzuziehen, die in einem unbeheizten Raum aufbewahrt worden waren. Es dauert dann einige Minuten, bis sich die Kleidung nicht mehr kalt anfühlt. In Häusern puffern innere, thermisch wirksame Speichermassen die Schwankungen der Raumtemperaturen, was im Sommer wie im Winter zum thermischen Komfort beiträgt.

Wärmeverluste

Die Wärmeverluste steigen mit den Oberflächen der angenommenen Bekleidung, bzw. den Außenoberflächen der angenommenen Räume, wie die Formel für den Wärmedurchgang durch Gebäudeteile U [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$] oder die inverse Formel für den Wärmedurchgangswiderstand für Bekleidung lcl [$\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$] zeigen. Weil die Oberfläche von Gebäuden bei gleichen Wärmequellen viel größer sind als die Oberfläche der Bekleidung (2 m^2) müssen die Wärmedurchgangswerte von Gebäudehüllen zum Ausgleich um Größenordnungen kleiner sein als die von Bekleidungshüllen.

$lcl = 2 \cdot 22/95 = 0,46 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$, das entspricht U (Bekleidung) = $2,16 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$, ein „luxuriöser“ U -Wert! (Annahmen: Oberfläche 2 m^2 , Temperaturdifferenz 22 K , Wärmeleistung 95 W).

Für ein Modellhäuschen verwenden wir zum Vergleich Messwerte aus bewohnten Passivhäusern, die vom Passivhaus-Institut in Darmstadt gemessen und in [Krapmeier 2001] zitiert sind. Die Objekte zeigen je nach Orientierung der Fenster spezifische Wärmeströme von $32\text{--}52 \text{ kWh}/\text{m}^2\text{a}$, die sich gewinnseitig aus – sehr unterschiedlichen –

Anteilen von solaren Gewinnen, und – recht ähnlichen – Anteilen von inneren Wärmequellen (Personen, Geräte) und Zuheizung zusammensetzen. Verlustseitig sind – recht ähnliche – $8 \text{ kWh}/\text{m}^2\text{a}$ als Lüftungswärmeverluste und der – recht unterschiedliche – Rest als Transmissionswärmeverluste ausgewiesen. Aus einem Mittelwert von $42 \text{ kWh}/\text{m}^2\text{a}$ ergibt sich bei Division durch die zugrunde gelegten 225 Heizztage/a zu 24 h ein durchschnittlicher Wärmestrom/ m^2 von $42/(225 \cdot 24) = 7,78 \text{ W}/\text{m}^2$

Mit diesem Wert ergibt sich für ein modellhaftes 35m^2 -EiPersonen-Häuschen mit quadratischem Grundriss ein mittlerer Wärmedurchgang von $U = 0,1240 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$, der noch mit dem Passivhaus-Standard vereinbar wäre. In der Praxis sollte allerdings nicht mit einer durchschnittlichen Außentemperatur aus den Heizgradtagen sondern mit der geringsten über einen längeren Zeitraum anzunehmenden Temperatur gerechnet werden, die tiefer liegt.

Dämmstärken.

Aus den U -Werten folgen Dämmstärken unter der Annahme eines typischen Dämmstoffs mit $\lambda = 0,04 \text{ W}/\text{mK}$ für eine „Bekleidung“ bzw. raumumschließenden Flächen:

$$d(\text{Bekleidung}) = 0,04/2,16 = 0,019 \text{ m}$$

$$d(\text{Modellhäuschen}) = 0,04/0,1240 = 0,32 \text{ m}$$

Literatur

McIntyre, Donald A.: Chamber Studie – Reductio ad absurdum? Energy and Buildings, 5 (1982) 89–96

Ebel, Witta: Interne Wärmequellen – Erfahrungen aus dem Passivhaus. In: Protokollband 5. Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser. Passivhaus Institut Darmstadt 1997 Seite 65–86.

Krapmeier; Drössler: CEPHEUS – Wohnkomfort ohne Heizung. Wien, New York: Springer 2001

Passivhaus-Projektierungs-Paket 2002. Darmstadt: Passivhaus-Institut 2002

Waltjen, Tobias: Wärmeansprüche des Menschen. Wien: IBO 2003

Dr. Tobias Waltjen

Dieser Beitrag ist eine weiterentwickelte Fassung des Vortrags beim IBO-Werkstattgespräch am 1. Dezember 2003