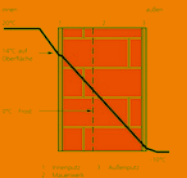
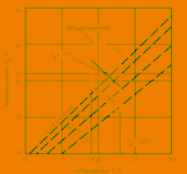
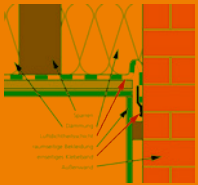
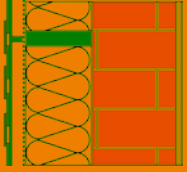


Thomas Königstein

Ratgeber energiesparendes Bauen und Sanieren

Neutrale Informationen für mehr Energieeffizienz

7., ergänzte und aktualisierte Auflage



Fraunhofer IRB  Verlag

Ratgeber

Energiesparendes Bauen und Sanieren

Thomas Königstein

Ratgeber

Energiesparendes Bauen und Sanieren

Neutrale Informationen für mehr Energieeffizienz

7., ergänzte und aktualisierte Auflage

Blottner Verlag Taunusstein
Fraunhofer IRB Verlag Stuttgart

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <<http://dnb.d-nb.de>> abrufbar.

ISBN 978-3-89367-156-4 (Blottner Verlag)

ISBN 978-3-7388-0370-9 (Fraunhofer IRB Verlag)

7., ergänzte und aktualisierte Auflage

Umschlaggestaltung für Blottner Verlag: Britta Blottner

(Titelbild mit freundlicher Genehmigung der Firma Regnauer Hausbau GmbH & Co. KG, Pollacher Str. 11, 83358 Seebruck)

Umschlaggestaltung für Fraunhofer IRB Verlag: Martin Kjer

(Titelbild mit freundlicher Genehmigung der HAAS Fertigbau GmbH, Falkenberg, www.haas-fertigbau.de)

Lektorat: Britta Blottner, Thomas Altmann

Satz, Layout, Grafiken und Fotos (teilweise von Herstellern): Thomas Königstein, Heilbronn

Grafikgestaltung: Martin Kjer

Druck und Bindung: jetoprint GmbH, 78048 VS-Villingen

Bei diesem Werk handelt es sich um eine inhaltlich identische Gemeinschaftsausgabe von:

© Blottner Verlag GmbH, 2020

An den Freitäckern 9A, D-65232 Taunusstein

Telefon (0 61 28) 2 36 00 ; Telefax (0 61 28) 2 11 80

E-Mail: blottner@blottner.de ; URL: www.blottner.de

© Fraunhofer IRB Verlag, 2020

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB

Nobelstr. 12, D-70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00 ; Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

E-Mail: irb@irb.fraunhofer.de ; URL: www.baufachinformation.de

Alle Rechte vorbehalten.

Dieses Werk ist einschließlich aller seiner Teile urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die über die engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes hinausgeht, ist ohne schriftliche Zustimmung der genannten Verlage unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen sowie die Speicherung in elektronischen Systemen. Die Wiedergabe von Warennamen und Handelsnamen in diesem Werk berechtigt nicht zu der Annahme, dass solche Bezeichnungen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und deshalb von jedermann benutzt werden dürften.

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z.B. DIN, VDI, VDE) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert werden, so kann der Verlag keine Gewähr für die Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für eigene Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.

Vorwort	7	4.2.2	Zwischensparren-Dämmung	83
		4.2.3	Aufsparren-Dämmung	84
		4.2.4	Kombinations-Dämmung	85
1 Behaglichkeit		4.2.5	Unbelüftetes Flachdach	85
– Wohlfühlen mit Komfort	8	4.2.6	Oberste Geschossdecke	86
1.1 Raumluftqualität	8	4.3	Kellerdecke und Bodenplatte	88
1.2 Raumklima	10	4.4	Wärmeschutz – wie viel und was?	90
2 Bauphysik zum Anfassen	16	5 „Atmende Wände?“	94	
2.1 Leistung und Verbrauch (kW und kWh)	16	6 Wärmebrücken	96	
2.2 Temperatur (K)	16	7 Fenster und Türen	102	
2.3 Wärmeleitfähigkeit λ	17	7.1 Fenster-U-Wert (U_w)	102	
2.4 Wärmedurchgangskoeffizient: U-Wert [$W/(m^2K)$]	18	7.2 Verglasung	104	
2.5 Spezifische Wärmekapazität c	20	7.3 Glas-Abstandhalter	105	
2.6 Wasserdampfdiffusion μ	21	7.4 Gesamtenergiedurchlassgrad g	107	
3 Bau- und Wärmedämmstoffe	22	7.5 Fensterrahmen	109	
3.1 Mauersteine für die Außenwand	22	7.6 Fensterarten	111	
3.2 Holzbau und Holzwerkstoffe	27	7.7 Rollladen und Co.	112	
3.3 Wärmedämmstoffe	33	7.8 Dachfenster	114	
3.3.1 Nenn- und Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit λ	36	7.9 Fazit und Empfehlung	116	
3.3.2 Wärmedämmstoffe im Detail	40	7.10 Türen (U_D)	118	
3.3.3 Sommerlicher Wärmeschutz	51	8 Luft- und Winddichtheit	119	
3.3.4 Schallschutz	54	8.1 Winddichtung	120	
3.3.5 Brandschutz	56	8.2 Luftdichtung (Dampfbremse)	122	
4 Wo dämme ich wie und wie viel?	62	8.3 Der Drucktest (Blower-Door)	125	
4.1 Die Außenwand:		9 Lüftung	129	
Das ‚falsche‘ Hauptthema	63	9.1 Lüften und Energiesparen	129	
4.1.1 Innendämmung	64	9.2 Fenster-Lüftung (Zufallslüftung)	136	
4.1.2 Kerndämmung	68	9.3 Kontrollierte (Bedarfs-)Lüftung	136	
4.1.3 Wärmedämmputz	69	9.3.1 Dezentrale Lüftungsanlagen	137	
4.1.4 Außendämmung	69	9.3.2 Zentrale Lüftungsanlagen	140	
4.1.5 Fazit und Empfehlung	77	9.3.3 Fazit und Empfehlung	146	
4.1.6 Transparente Wärmedämmung	80			
4.2 Dach	82			
4.2.1 Ausgangslage	82			

10	Gebäude-Dämmstandards	147	13	Warmwasser	222
10.1	Gesetzgebung und Politik	148			
10.2	Energetische Gebäudeplanung	152			
10.2.1	Standortplanung	153	14	Thermische Solaranlagen	225
10.2.2	Kompaktheit (A/V-Verhältnis)	154	14.1	Kollektor	226
10.2.3	Potenziale solarer Gewinne	156	14.2	Die Solaranlage	
10.3	KfW-Effizienzhaus-Standard	158		– mehr als ein Kollektor	227
10.4	Passivhaus-Standard	160	14.3	Solarspeicher	228
			14.4	Heizungsunterstützung	231
11	Heizungsanlagen	173			
11.1	Warmwasser-Pumpenheizung	173	15	Anhang	232
11.2	Energieträger	174	15.1	Tabellen/Umrrechnungen	232
11.3	Heizkessel	176	15.2	Quellenverzeichnis	235
11.3.1	Heizlastberechnung (Gebäude)	177	15.3	Stichwortverzeichnis	235
11.3.2	Öl- und Gasheizung	181			
11.3.3	Holzheizung	184			
11.4	Abgasleitung/ Kamin/Schornstein	191	Exkurse		
11.5	Braucht wirklich jedes Haus seinen eigenen Kessel?	192	Radon	9	
11.6	Blockheizkraftwerk (BHKW)	194	Schadstoffarme Planung	14	
11.7	Wärmepumpe (WP)	198	U-Wert-Berechnung	19	
			„Klimakiller“ Beton	25	
			Sinn von Wärmedämmung	35	
			Nachhaltiges Bauen	38	
12	Heizflächen/Wärmeverteilung	204	Alte Bau- und Wärmedämmstoffe	58	
12.1	Rohrnetz (Wärmeverteilung)	204	Innen- oder Außendämmung?	67	
12.2	Steuerung/Regelung	206	Wärmedämmung führt zu Schimmel?	78	
12.3	Heizflächen	209	U _w -Wert-Berechnung	103	
12.3.1	Heizlastberechnung (Raum)	209	Berechnung Luftwechselrate n (T1)	133	
12.3.2	Niedertemperatursystem	210	Berechnung Luftwechselrate n (T2)	146	
12.3.3	Kompaktheizflächen (Heizkörper)	210	Ökodesign-Richtlinie	176	
12.3.4	Flächenheizungen	212	Heizlastberechnung 1929 bis heute	177	
12.4	Hydraulischer Abgleich	215	Lärm von Luft-Wasser-WP	200	
12.5	Umwälzpumpe	219	Dämmung der Rohrleitung	205	
			Flinke Heizungsregelung	213	

Vorwort

Beim Bauen – ob es sich um einen Neubau oder eine Sanierung handelt, sollten einerseits das Wohlbefinden und die Gesundheit der Bewohner bzw. Nutzer und andererseits die Energieeinsparung einen wichtigen Platz einnehmen.

Dies haben u.a. Architekten, Bauträger oder Baustofflieferanten erkannt und Begriffe eingeführt wie z.B. „Biosolarhaus, Sonnenhaus, Niedrigstenergiehaus, Ökohaus, Nullenergie- oder Effizienzhaus“.

Leider tragen all diese scheinbaren Qualitätsmerkmale nicht zur Durchsetzung eines wirklich gesunden und gleichzeitig energiesparenden Bauens und Sanierens bei. Im Gegenteil – die Verwirrung ist größer denn je.

Deshalb dieses Buch. Es soll kompetenter Ratgeber sein und Ihnen produktneutrale, unabhängige Informationen an die Hand geben.



An besonders wichtigen und interessanten Stellen finden Sie zusätzlich hin und wieder dieses Ausrufezeichen!

Dazu hängt dem Begriff Energieeinsparung ein Hauch von Verzicht und Komfortverlust an. Völlig zu Unrecht! Und wenn es so ist, dann hat irgendjemand etwas falsch gemacht: Architekt, Energieberater, Planer, Handwerker, Bauherr oder alle zusammen.

Das Gegenteil ist der Fall: Energieeinsparung, oder besser Energieeffizienz, ist zuerst ein Beitrag zu einem höheren Komfort, zu einer größeren Wohnbehaglichkeit und zur Qualitätssteigerung sowie Werterhaltung Ihres Gebäudes.

Und mehr denn je geht es auch um den Klimaschutz. Die Zielsetzung der deutschen Politik: Bis 2050 sollen die Emissionen von Treibhausgasen gegenüber 1990 um mindestens 80 %, am besten um 95 % sinken. Dazu kommen die Beschlüsse der Pariser Klimakonferenz, die am 4.11.2016 in Kraft traten, nach denen die globale Erderwärmung auf deutlich unter 2°C begrenzt werden soll.

Der Gebäudesektor spielt dabei eine entscheidende Rolle! Nach dem Prinzip der Energieeffizienz einen Neubau zu realisieren oder einen Altbau zu sanieren, vermeidet u.a. Emissionen des Klimakillers CO₂.

Der Klimawandel hat uns, nicht nur in Deutschland, sondern weltweit schon lange im Griff; mit immer neuen „Jahrhundert“-Sommern, -Orkanshäden und -Hochwasserkatastrophen, mit nicht endenden Dürreperioden, schmelzenden Gletschern und tauenden Permafrostböden.

Energieeffizienz bedeutet schließlich die Schonung der immer knapper werdenden fossilen Ressourcen. Schon vergessen? Erdgas wird von der Förderung bis zum Verbrauch um die halbe Welt gepumpt. Erdöl wird unter enormem Aufwand gewonnen und über Leitungen oder Schiffe transportiert. Unfälle, Leckagen und Brände führen regelmäßig zu Naturkatastrophen. Und die Erdöl- bzw. Erdgasförderländer liegen in politisch instabilen Zonen, was zu weltweiten Spannungen bis hin zu Kriegen führt.

Ach ja – energieeffizientes Bauen und Sanieren spart auch noch Ihr Geld. Werden energieeffiziente Maßnahmen von Anfang an berücksichtigt und geplant, entstehen dafür heute nur geringe Mehrkosten. Umso höher aber ist die erzielte Einsparung an Betriebskosten für Wärme, Warmwasser und Strom – Jahr für Jahr für Jahrzehnte.

Wer heute konventionell, d.h. nicht energieeffizient immer gerade so an der Gesetzeslage entlang plant, baut oder saniert, sitzt mit Sicherheit schon bald „auf dem falschen Pferd“. Setzen Sie dagegen auf Energieeffizienz. Nutzen Sie Ihre Chance jetzt.

Thomas Königstein

„Ich kann freilich nicht sagen, ob es besser wird, wenn es anders wird; aber so viel kann ich sagen, es muss anders werden, wenn es gut werden soll.“
(Georg Christoph Lichtenberg)

1 Behaglichkeit – Wohlfühlen mit Komfort

Zwei grundlegende Voraussetzungen entscheiden über unser Wohlbefinden und unsere Gesundheit als Bewohner/Nutzer:

- eine gute Raumlufthqualität und
- ein gutes Raumklima.

Beide dürfen nicht miteinander verwechselt werden, denn es sind deutlich unterschiedliche Einflüsse für deren jeweilige Qualität verantwortlich.

1.1 Raumlufthqualität

Die Luftqualität in den Innenräumen, unsere Raumlufthqualität, wird durch eine Vielzahl von Faktoren wie die Außenluft, bauliche Gegebenheiten, Ausstattung, Lebens- und Konsumgewohnheiten beeinflusst.

Innenräume sind wesentlicher Bestandteil unserer Umwelt. Wir halten uns den weitaus größten Teil des Tages (gut 90 %) „drinnen“ auf wie z.B. in Wohnungen, Büros, Schulen, Kindergärten, Arbeitsstätten und öffentlichen Einrichtungen sowie in „Innenräumen“ von privaten und öffentlichen Verkehrsmitteln. Die Luftqualität dieser Innenräume ist somit ein sehr wichtiger Faktor für unser Wohlbefinden und selbstverständlich auch für unsere Gesundheit.

Die Innenraumschadstoffe („Wohngifte“) können verschiedene Quellen haben: Flüchtige organische Verbindungen (VOC = Volatile Organic Compounds) entweichen z.B. aus Lösemitteln neuer Farben, Teppichen, Bodenbelägen oder Möbeln in unsere Raumlufth. Sie verflüchtigen sich i.d.R. innerhalb einiger Wochen oder Monate.

Die schwerflüchtigen Substanzen dagegen dünnen Jahre bis Jahrzehnte aus. Deshalb sind sie – obwohl längst u.a. wegen Krebsgefahr verboten – noch immer im unsanierten Gebäudebestand vorhanden: In früheren Holzschutzmitteln (PCP = Pentachlorphenol, Lindan, DDT), in Fugendichtungsmaterialien, in Kondensatoren für Leuchtstofflampen (PCB = polychlorierte Biphenyle) oder in Klebemitteln mit Teer (PAK = Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe).

Obwohl die Belastungsquellen in unserer unmittelbaren Umgebung liegen, werden sie eher selten erkannt. Nicht jeder reagiert gleichermaßen. Und die auftretenden nicht spezifischen, teilweise sogar chronischen Symptome wie Kopfschmerzen, Allergien, Konzentrationsstörungen und häufigere Erkältungskrankheiten bis hin zu Krebs werden meist nicht mit Innenraumschadstoffen in Verbindung gebracht.

Wie gut ist nun die Qualität unserer Raum- bzw. Atemluft?

Beim Begriff „Luftverschmutzung“ denken die meisten zuerst an die Verschmutzung der Außenluft durch Feinstaub und Abgase aus Industrie, Hausbrand, Kraftwerken und Kfz. Für den modernen Menschen in Industrieländern, der sich „drinnen“ geschützt vor Kälte, Wind und Regen aufhält, ist Atemluft aber nicht zuerst die Außenluft, sondern die Luft des Innenraums.

Die Luft in Räumen, in denen wir uns aufhalten, kann allerdings niemals besser sein als die Luft im Freien. Im Gegenteil: Sie ist meist viel stärker verunreinigt. Damit wird die Raumlufthqualität also nicht allein von der Außenluft bestimmt, sondern ist vor allem von einer Vielzahl im Raum genutzter Produkte abhängig, deren Emissionen sich, ebenso wie die der Menschen, der Raumlufth beimengen. Und die Quellen der Belastung sind vielfältig.

Luftschadstoffe kommen unter anderem

1. aus dem Baugrund (z.B. radioaktive Belastung durch Radon);

2. aus Bau- und Dämmmaterialien (radioaktive Belastung bei Hochofenzement oder Bimsstein; Ausgasen von Zusatzstoffen in Bau- und Dämmmaterialien; Fasern aus den Dämmstoffen; krebserregende Kohlenwasserstoffe aus teerhaltigen Produkten; toxische Belastungen durch PCB);
3. aus dem Innenausbau (in Verkleidungen von Decken und Wänden, Anstriche, Tapeten, Bodenbeläge, Klebstoffe);
4. aus Einrichtungsgegenständen (Schrank, Küchen- oder Badmöbel, Betten, Polstermöbel);
5. aus der Nutzung (Bastel- und Heimwerkerprodukte, Reinigungs- und Pflegemittel, Staubsauger, Tabakrauch, Elektrosmog, Schädlingsbekämpfungsmittel).

Eine gute Raumluftqualität ist machbar. Die Belastungsquellen aus dem Baugrund sind zu umgehen: Beim Grundstückskauf wären z.B. Regionen mit hohen Radonkonzentrationen, die auf dem Eindringen von Bodengas durch winzige Risse oder Fugen in das Gebäude beruhen, zu meiden.

Ein radioaktiver Baustoff wie z.B. Bimsstein kann durch einen anderen ersetzt werden. PCB ist heute in Baustoffen verboten und teerhaltige Produkte sollten nicht im Innenraum eingesetzt werden.

Das Ausgasen von Zusatzstoffen, die z.B. als Flammschutz- oder Konservierungsmittel in Baustoffen enthalten sein können, oder das Eindringen von Fasern aus Dämmstoffen in den Raum muss durch die – ohnehin notwendige – luftdichte Ausführung des Gebäudes (→ S. 122) vermieden werden.

Bei Möbeln sind u.a. Span-, Tischler- oder Furnierplatten zu vermeiden, deren Leim Formaldehyd enthält (in Deutschland sind seit 1980 für Innenräume noch immer emissionsarme, sog. E1-Werkstoffe zugelassen). Alternativen bestehen in Platten mit Leim ohne Formaldehyd oder in der Nutzung von Massivholz.

Auch in zahlreichen Reinigungsmitteln ist Formaldehyd als Desinfektionsstoff enthalten. Hier, wie im gesamten Bereich der Nutzung, sind Luftschadstoffe vor allem durch

ein entsprechendes Kaufverhalten zu reduzieren. Die Qualität der Raumluft hängt also wesentlich ab von der Qualität

- der Außenluft
- des Gebäuestandorts
- des Innenausbaus
- der Einrichtungsgegenstände
- der Nutzung

– ist also überwiegend „hausgemacht“!

Die wichtigste Aufgabe besteht darin, die Schadstoffe zu erkennen und die dadurch möglichen chemischen Luftverunreinigungen der Raum(Atem)luft zu vermeiden.

Nur so ist ein umwelt- und damit gesundheitsfreundlicherer Aufenthalt in Gebäuden (= Wohlfühlen) möglich.

Exkurs Radon

Das natürlich vorkommende radioaktive Edelgas, das bei einer hohen Konzentration das Lungenkrebsrisiko stark erhöht, ist laut Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) ein kaum wahrgenommenes Risiko. Die Empfehlung, kein Grundstück in belasteten Regionen zu kaufen, lässt sich allerdings nur selten umsetzen, wenn man sich die Radonkarten einzelner Länder näher betrachtet.

Die höchsten Konzentrationen liegen u.a. in Nordtirol, Salzburg, Kärnten und Oberösterreich (Österreich); in Graubünden, Jura, Neuenburg, Tessin und Uri (Schweiz), im italienischen Südtirol im Vinschgau und im Pustertal sowie in Bayern, Thüringen und Sachsen (Deutschland) vor. Das deutsche Strahlenschutzgesetz verpflichtet alle Bundesländer, bis Ende 2020 die Gebiete mit den höchsten Konzentrationen auszuweisen.

Wo hohe Radonkonzentration anzutreffen und welche Maßnahmen zu ergreifen sind, erfahren Sie u.a. im Internet über eine Suchmaschine unter dem Stichwort „Radonkarte BfS“.

So ist z.B. beim Neubau eine dauerhaft radondichte Bodenkonstruktion herzustellen. Empfohlen wird u.a. eine durchgehende Betonfundamentplatte, ein dichter Wandanschluss an das Fundament und eine Außenisolierung. Alle Durchdringungen durch den Boden sind zu vermeiden und sollten, dicht isoliert, durch die Wände nach außen und unten geführt werden.

1.2 Raumklima

Wovon hängt nun ein gutes Raumklima ab, wenn es nicht die Raumluftqualität mit ihren chemischen, i.d.R. hausgemachten Luftverunreinigungen ist?

Eindeutig von physikalischen Einflüssen wie der Luftbewegung (Zugluft), der Luftfeuchte (zu trocken oder zu schwül) und der Lufttemperatur (zu warm oder zu kalt)!

Obwohl wir uns wechselnden äußeren Luftzuständen anpassen („wir uns akklimatisieren“) können, gibt es doch einen deutlichen Bereich, den Behaglichkeitsbereich, innerhalb dessen wir uns am wohlsten fühlen. Strenge Grenzen kann man nicht angeben, aber es ist durchaus möglich, Durchschnittswerte des Luftzustands anzugeben, bei denen wir Menschen uns thermisch am behaglichsten fühlen.

Dabei sind, abgesehen von der Kleidung und den körperlichen Aktivitäten, fünf Elemente des Luftzustands von Bedeutung:

- Luftbewegung (Zugluft)
- Luftfeuchte
- Lufttemperatur und deren Gleichmäßigkeit
- Umgebungsflächentemperatur (inkl. der weiteren Bauteile wie Fenster sowie der Heizflächen); besser: die mittlere Innen-Oberflächentemperatur
- Raumlufttemperatur als Mittelwert aus Luft- und Innen-Oberflächentemperatur.

Thermische Behaglichkeit und damit ein gutes Raumklima liegt dann vor, wenn wir mit der Luftbewegung, der Luftfeuchte und der Raumlufttemperatur in unserer unmittelbaren Umgebung (z.B. im Wohnraum) zufrieden sind.

Luftbewegung (Zugluft)

Während der Mensch im Freien eine leichte Luftbewegung keineswegs als unangenehm empfindet, reagiert er in geschlossenen Räumen umso sensibler auf jede Art von Luftbewegung. Vor allem dann, wenn die beweg-

te Luft eine geringere Temperatur als die Raumluft hat und vorwiegend aus einer bestimmten Richtung ein Körperteil trifft. Bereits unseren Vorfahren war die (unbehagliche) Zugluft ein Dorn im Auge. Um sie zu vermeiden, haben sie die vielen Ritzen ihrer Holzhäuser mit Moos und Lehm abgedichtet. Noch heute empfinden wir es als unangenehm, wenn es z.B. durch undichte Fenster „wie Hechtsuppe zieht“.

Undichte Ritzen und Fugen der Gebäudehülle sind deshalb durch eine wind- und vor allem luftdichte Bauweise zu vermeiden, worauf die DIN 4108 schon im Jahr 1969 hingewiesen hat:

524.9 : 536.2	DEUTSCHE NORMEN	August 1969
Wärmeschutz im Hochbau		DIN 4108

4.2. Luftdurchlässigkeit der Bauteile, besonders der Außenbauteile (Fenster und Türen)

4.2.1. Wände und Decken, namentlich wenn sie verputzt sind, sind im allgemeinen nur wenig luftdurchlässig, so daß der Wärmeverlust durch Wärmemittelführung gering ist. Dagegen gehen durch Undichtheiten an Fenstern und Türen große Wärmemengen verloren; deshalb sollen alle Fugen gut abgedichtet sein. Dies gilt besonders auch für die Fugen zwischen Fensterrahmen und Mauerwerk und für die Stoßfugen bei großflächigen Bauteilen (Plattenwänden).

Luftfeuchte

Die Luftfeuchte wird durch den Begriff der ‚Relativen Feuchte‘ [%] gekennzeichnet (→ S. 131).

Bei einer relativen Feuchte unter ca. 35 % (= relativ trockene Luft) wird die Staubbildung erleichtert und durch Verschmelzung von Staub z.B. auf Heizkörpern entstehen Ammoniak und andere Gase, welche die Atmungsorgane reizen. Auch Kunststoffe werden dann elektrisch aufgeladen und sammeln zusätzlich Staubteilchen. Die Schleimhäute unserer oberen Atemwege trocknen aus. Deshalb wird während der Heizzeit eine Befeuchtung der Raumluft auf über 35 % empfohlen, was gleichzeitig erkältungsvorbeugend wirkt.

Bei einer relativen Feuchte von über 70 % schlägt sich an kühlen Stellen leicht Feuchtigkeit (Taupunkt → S. 234) nieder; wobei

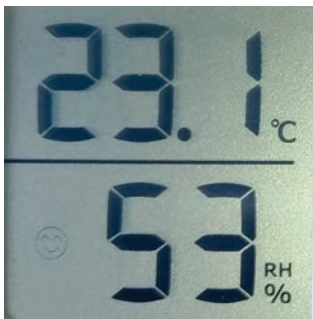
alle Teile des Raums, die organische Stoffe enthalten, durch Schimmel- und Moderbildung nicht nur Gerüche abgeben, sondern auch gesundheitsschädlich sind. Bau- und Materialschäden entstehen zusätzlich.

Da die Entwärmung des menschlichen Körpers zum Teil durch Verdunstung von der Haut erfolgt, hat auch die Luftfeuchte Einfluss auf die Behaglichkeit. Die Stärke der Verdunstung hängt bei sonst gleichen Verhältnissen vom Dampfdruckunterschied des Wassers an der Hautoberfläche und des Wasserdampfs in der Luft ab. Bei „normalen“ Raumlufttemperaturen um die 20°C spielt die Wärmeabgabe durch Verdunstung eine geringe Rolle. Ebenso wenig hat hier die Luftfeuchte einen besonderen Einfluss.

Dagegen spielt die Luftfeuchte bei hohen Raumtemperaturen eine dominierende Rolle, da dann der Einfluss der Hautverdunstung spürbar ansteigt. Bei 60 % Luftfeuchte beginnt schon bei 25°C die Schweißbildung; bei 50 % erst bei 28°C. Raumluftfeuchten von mehr als 70 % behindern unsere Wärmeabgabe so sehr, dass wir sie als äußerst unbehaglich empfinden.

Der Schwülebereich beginnt bei etwa 12 g Wasser/kg Luft (z.B. 81 % relative Feuchte bei 20°C oder 37 % bei 34°C).

Da wir kein richtiges Gefühl für Feuchte haben, wird unbedingt empfohlen, in mindestens zwei Räumen (Wohn- und Schlafzimmer oder Bad) ein entsprechendes Mess- und Anzeigergerät für die Temperatur (Thermometer) und die relative Feuchte (Hygrometer) aufzustellen!



Nur so lassen sich diese beiden wichtigen Parameter kontrollieren und „anpassen“.

Lufttemperatur

Es ist nicht richtig zu sagen, dass sich der Mensch bei einer bestimmten Temperatur wie z.B. 20°C am behaglichsten fühlt, da die anderen genannten Einflüsse ebenfalls zu berücksichtigen sind.

Für unser Klima wird bei normal gekleideten, ruhig sitzenden Menschen ohne körperliche Arbeit im Winter eine Lufttemperatur von 20°C angenommen, im Sommer bei mittleren Außenlufttemperaturen eine von 22 bis 24°C. Diese höhere Temperatur ist dadurch bedingt, dass der Mensch im Sommer leichter bekleidet ist und daher bei gleicher Körperoberflächentemperatur eine höhere Umgebungstemperatur benötigt, um dieselbe Wärmeabgabe nach außen aufrechtzuerhalten. Für einen unbedeckten Menschen wird 28°C als optimale Temperatur angegeben.

Es hat sich u.a. erwiesen, dass Räume, in denen sich Frauen aufhalten, wie z.B. in Büros, auf höheren Temperaturen zu halten sind, häufig auf 21 bis 23°C. Offenbar spielt hier die Bekleidung eine Rolle. Bei leichter Kleidung ist die Tendenz nach einer höheren Lufttemperatur eindeutig vorhanden. Ebenso sind Räume für alte Menschen (z.B. in Seniorenheimen), wärmer zu halten, während jüngeren Leuten eine geringere Temperatur genügt. Die Aufrechterhaltung einer bestimmten Lufttemperatur während der Heizzeit ist Aufgabe der Heizungsanlage.

Innen-Oberflächentemperatur

Die mittlere Temperatur der Umgebungsflächen einschließlich der Heizflächen (Heizkörper, Fußboden- oder Deckenheizung) in einem Raum ist verantwortlich für die Entwärmung des Menschen und damit sein Behaglichkeitsempfinden.

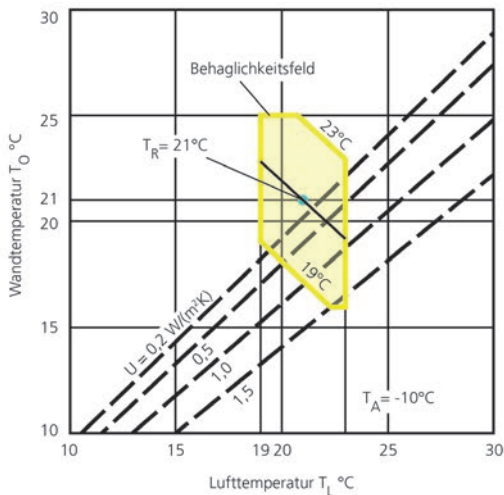
Luft- und mittlere Innen-Oberflächentemperatur haben auf diese Entwärmung einen gleich großen Einfluss. Wenn deshalb eine Lufttemperatur von 20°C als allgemein gültig und günstig angegeben wird, so setzt das voraus, dass die mittlere Temperatur der uns umgebenden (Bauteil-)Oberflächen ähnlich hoch ist wie die Lufttemperatur.

Ist z.B. die Wandtemperatur erheblich (4°C und mehr) niedriger als die Lufttemperatur, wie es im Winter vor allem bei nicht gedämmten Bauteilen der Fall ist, so wird eine Raumtemperatur von 20°C als zu kalt empfunden (zu starker Verlust von Körperwärme) und muss erhöht werden, um die gleiche Behaglichkeit zu erhalten – mit der Folge eines höheren Energieverbrauchs!

Raumlufttemperatur

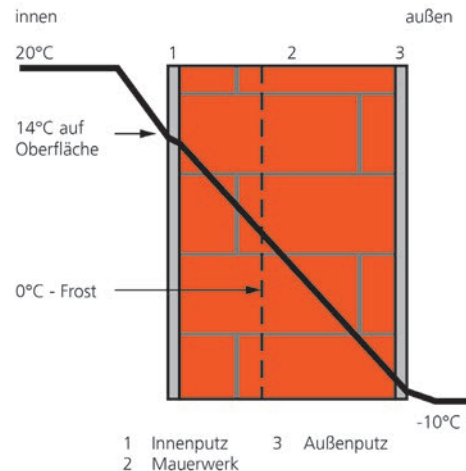
Der Mittelwert aus Luft- und Innen-Oberflächentemperatur wird „Empfundene Temperatur“ oder auch „Raumlufttemperatur“ genannt.

Als behaglich werden Raumlufttemperaturen von 19 bis 23°C bei relativen Feuchten von 40 bis 60% empfunden. Dabei soll die Differenz zwischen Luft- und Innen-Oberflächentemperatur (hier z.B. die Wandtemperatur) so gering wie möglich sein.



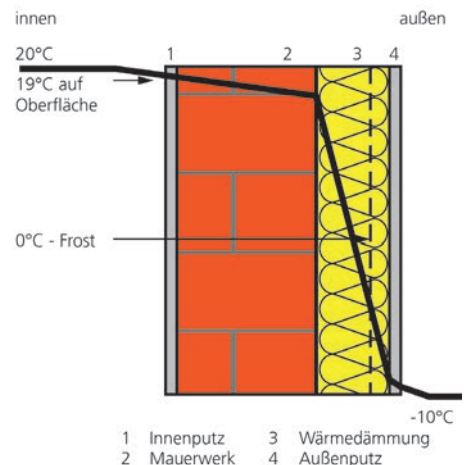
Wie Ihnen die Grafik zeigt, ist eine gute Dämmung aller Bauteile [hier z.B. für die Außenwand ein U-Wert von $0,2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$] die wichtigste Grundlage, um sogar bei einer tiefen Außentemperatur T_A von -10°C und bei üblichen Lufttemperaturen T_L eine hohe innere Oberflächentemperatur T_0 zu erreichen – und damit für eine hohe Behaglichkeit bei gleichzeitig niedrigem Energieverbrauch zu sorgen.

Am Beispiel der Außenwand wird auch klar, wie sich der Effekt einer außen angebrachten Wärmedämmung positiv nicht nur auf die Erhöhung der Innen-Oberflächentemperatur und damit einer Angleichung an die Lufttemperatur auswirkt, sondern wie auch die Frostgrenze aus der tragenden Wand verbannt wird und das Bauteil sogar wärmespeichernd wirken kann.



Der Temperaturverlauf ist bei dieser sog. monolithischen (einschaligen) Massivbauweise z.B. aus einem $36,5 \text{ cm}$ dicken Ziegelmauerwerk linear. Die Wandoberfläche innen bleibt mit 14°C relativ kalt, die Frostgrenze liegt in der tragenden Wand.

Deutlich günstiger ist dagegen der folgende, gleich starke (zweischalige) Aufbau.



Bei diesem Wandaufbau mit 24 cm Ziegel und 12 cm Wärmedämmung außen ist die Wandoberfläche innen mit 19°C nahezu so warm wie die Raumlufttemperatur von 20°C, und die Frostgrenze liegt günstig außerhalb der statisch tragenden Konstruktion in der Wärmedämmung.

Zu ähnlichen Ergebnissen kommt man bei allen anderen Bauteilen eines Gebäudes wie Dach, Decken oder Fußböden. Je besser die Wärmedämmung ausfällt, umso höher steigt auch an sehr kalten Wintertagen die Innen-Oberflächentemperatur.

Die Auswirkungen sind äußerst positiv:

- hohe (thermische) Behaglichkeit im Winter wie im Sommer
- gestiegener Wohnkomfort
- geringerer Energieverbrauch.

Zusammenfassung


Der Mensch fühlt sich in einem Gebäude wohl, wenn Raumluftqualität + Raumklima eine hohe Qualität haben.

Die relative Luftfeuchte von behaglichen 40 bis 60 % wird heute komfortabel und dauerhaft nur durch ein Frischluftsystem gewährleistet; also eine kontrollierte Lüftung, die bei jedem Neubau und möglichst auch bei jeder Sanierung längst Standard sein sollte (→ S. 136 ff).

Eindeutig hängt dagegen eine gute Raumluftqualität nicht von der Art und Stärke der eingesetzten Bau- und Dämmstoffe ab. Denn diese stehen bei einer luftdichten Bauweise nicht im direkten Kontakt mit der Raumluft.

Verantwortlich für eine schlechte Raumluftqualität sind chemische Luftverunreinigungen, die bereits in der Umgebung des Gebäudestandorts vorherrschen (vorhandene Außenluft oder Radon) und zusätzlich vor allem diejenigen, die „hausgemacht“ sind. Deshalb sollte man das Übel zuerst bei der Wurzel packen und die negativen Einflüsse auf die Raumluftqualität so gut wie möglich vermeiden. Und letztlich hilft beim Abführen der verbleibenden Luftschadstoffe auch hier ein automatisches „Frischluftsystem“.

Die Aufgabe des Architekten besteht darin, ein gutes Raumklima bereitzustellen.

 Die wichtigste Voraussetzung dafür ist das Konstruieren von „warmen“ Wand-, Fenster-, Decken-, Dach- und Fußbodenflächen durch eine sehr gute Wärmedämmung sowie eine wind- und (zug)luftdichte Bauweise unter konsequenter Vermeidung von Wärmebrücken!

In vielen europäischen Ländern gibt es dazu bauphysikalische Regelungen in Form von Normen und Richtlinien.

Die wichtigste deutsche Bauphysik-Norm ist die DIN 4108 „Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden“. In ihr sind allerdings nur die Mindestanforderungen festgelegt; es ist immer möglich und „erlaubt“, deutlich über diese hinaus zu gehen:

Beiblatt 2: Wärmebrücken – Planungs- und Ausführungsbeispiele

T 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz, an die Luftdichtheit und an den sommerlichen Wärmeschutz

T 3: Klimabedingter Feuchteschutz

T 4: Wärme- und feuchteschutztechnische Bemessungswerte

T 7: Luftdichtheit von Gebäuden, Anforderungen, Planungs- und Ausführungsempfehlungen sowie -beispiele

T 10: Anwendungsbezogene Anforderungen an Wärmedämmstoffe – Werkmäßig hergestellte Wärmedämmstoffe

T 11: Mindestanforderungen an die Dauerhaftigkeit von Klebeverbindungen mit Klebbandern und Klebmassen zur Herstellung von luftdichten Schichten.

Wer also auch ingenieurtechnisch an das „energiesparende Bauen und Sanieren“ herangehen will, dem sei zusätzlich zu diesem Buch eine Beschäftigung mit der DIN 4108 empfohlen.

Für alle anderen sind die wichtigsten Grundlagen der Bauphysik verständlich im folgenden Kapitel 2 erläutert.

„Alle Mittel bleiben nur stumpfe Instrumente, wenn nicht ein lebendiger Geist sie zu gebrauchen versteht.“ (Albert Einstein)

Exkurs Schadstoffarme Planung

Das Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) hat sich in seiner Schriftenreihe „Zukunft Bauen: Forschung für die Praxis“ auch dem Aspekt „Schadstoffarmes Bauen“ gewidmet.

Neben dem Einfluss eines eingesetzten Bauproduktes auf den globalen Klimawandel (siehe auch Nachhaltiges Bauen → S. 38) geht es hier vor allem um die lokalen Umwelt- und Gesundheitsaspekte von Baustoffen.



Um eine ökologische Baustoffwahl überhaupt ermöglichen zu können, betreibt das BBSR gemeinsam mit der Bayerischen Architektenkammer seit Jahren das ökologische Baustoffinformationssystem WECOBIS. Dieses bietet für wichtige Bauproduktgruppen und Grundstoffe umfassende, strukturiert aufbereitete, herstellernerneutrale Informationen zu gesundheitlichen und umweltrelevanten Aspekten einschließlich möglicher Anwendungsbereiche. Diese Informationen werden für die Lebenszyklusphasen Rohstoffe, Herstellung, Verarbeitung, Nutzung und Nachnutzung zur Verfügung gestellt. Die baustoffbezogenen Schwerpunkte sind die Ökobilanzierung, die Vermeidung von Risiken für die lokale Umwelt, eine nachhaltige Materialgewinnung und Biodiversität, die Innenraumlufthygiene mit Fokus auf Lösemittel und Formaldehyd sowie Rückbau, Trennung und Verwertung.

Das System steht unter www.wecobis.de allen am Thema interessierten Menschen, Bauherren, Planern und Handwerkern zur Verfügung.

Entwicklung des schadstoffarmen Bauens

In den 1980er Jahren entstand das kritische Bewusstsein für gesundheitliche Auswirkungen von Baustoffen, zunächst mit Verboten für das hochtoxische Lindan und die krebserzeugenden poly-

chlorierten Biphenyle PCB, die wegen ihrer Brandschutzfunktion eingesetzt wurden. Pentachlorphenol (PCP) verhinderte als Fungizid den Pilzbefall z.B. von Holz und war bis zum Verbot 1989 das am häufigsten eingesetzte Holzschutzmittel.

Fluorkohlenwasserstoffe (FCKW) sind seit 1990 als Treibmittel zur Herstellung von Dämmstoffen wie XPS und PU (→ S. 42 und 46) verboten. Es folgten 1993 das Asbestverbot und ab dem Jahr 2000 die Forderung nach veränderten Eigenschaften von Mineralwolle in Bezug auf Faserlänge und Biolöslichkeit.

Polyaromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), die z.B. in der Teerproduktion vorkommen, wurden vielfach eingesetzt. Bei innenraumrelevanten Bauprodukten wurde Teer durch Bitumen ersetzt, der kaum oder keine PAK enthält. Seit 2016 liegt der PAK-Grenzwert in Gummi- und Kunststoffprodukten bei 1 mg/kg.

Viele weitere chemische Stoffe sind allerdings bis heute Gegenstand der Diskussion. Zwar sind mittlerweile Formaldehyd-Emissionen aus Holzwerkstoffen oder Lösemittel-Emissionen (VOC = Volatile Organic Compounds bzw. flüchtige organische Verbindungen) aus Klebstoffen, Lacken, Farben oder Verdünnern streng geregelt, auch ersetzen veränderte Rezepturen Schadstoffe und regeln Fachinformationen ausführlich das Verarbeiten und Verwenden der Produkte. Doch – je nach Anwendungsfall und falscher Verarbeitungsprozesse sind bis heute unerwünschte Emissionen in Innenräumen möglich.

Schadstoffarme Planung

Die Vermeidung von Emissionen oder die Freisetzung bestimmter Stoffe z.B. durch Diffusion, Abrieb oder Auslaugung muss im Vordergrund jeder Planung stehen. Schadstofffreie Produkte gibt es im Baubereich kaum. Deshalb ist zu prüfen, ob es für den jeweiligen Einsatzfall schadstoff- und emissionsarme Bauprodukte gibt. Und neben dem Verzicht auf Produkte mit Problemstoffen sind weitere gesundheitsfördernde Maßnahmen notwendig; z.B. Schutzmaßnahmen bei der Verarbeitung, die Wahl emissionsarmer Pflege- und Instandhaltungsprodukte während der gesamten Nutzungsphase oder auch die Planung einer kontrollierten Lüftung (→ S. 136), also eines Frischluftsystems für einen regelmäßigen Luftwechsel und damit für eine gute Innenraumluftqualität.

Besonders problematische Stoffe

Der erste Ansatzpunkt zur Herstellung eines schadstoffarmen Bauprodukts ist es, Stoffe mit problematischen Eigenschaften, die besonders schwerwiegende und langfristige Wirkungen auf Gesundheit und Umwelt haben, völlig zu vermeiden. Dazu hat die europäische Chemikalienverordnung REACH die „besonders besorgniserregenden Stoffe“ (SVHC – Substances of Very High Concern) definiert: Als SVHC gelten danach krebserzeugende, erbgutverändernde oder fortpflanzungsgefährdende Stoffe sowie Stoffe, die persistent (schwer abbaubar), bioakkumulierend und toxisch oder aus anderen Gründen vergleichbar besorgniserregend sind. Erklärtes politisches Ziel der EU ist es, mittelfristig alle ca. 400 Industriechemikalien, die als SVHC eingestuft (aber nicht alle Bauprodukte) sind, soweit möglich durch weniger problematische Stoffe zu ersetzen. Unter SVHC fallen im Baubereich u.a. Schwermetallhaltige Verbindungen (Pigmente, Stabilisatoren), organische Flammschutzmittel oder Weichmacher.

Umweltzeichen können helfen

Eine Orientierung bei der Produktwahl können sog. Typ I-Umweltzeichen (DIN EN ISO 14024) bieten, bei denen die Überprüfung nicht durch den Hersteller selbst erfolgt, sondern durch unabhängige Einrichtungen. Hierzu zählen z.B. der „Blaue Engel“ (www.blauer-engel.de), das „Österreichische Umweltzeichen“ (www.umweltzeichen.at) oder „nature plus“ (www.natureplus.org).

Biozide vermeiden

In Deutschland gibt es mehr als 30.000 Biozidprodukte, die vielfach auch in Bauprodukten eingesetzt werden, um sie gegen Algen, Pilze oder tierische Schädlinge zu schützen: Das können Farben, Lacke, Kleb- und Dichtstoffe, Holz, Putze, Dachsteine oder sogar Gehwegplatten sein. Auch wenn es zugelassene Biozid-Produkte sind – aus Umweltschutzgründen gilt es, diese Produkte zu vermeiden und Alternativen zu planen, z.B. wenn es um Algen auf Fassaden geht (→ S. 72).

Hier lautet die erste Planungsstrategie: Konstruktiver vor chemischem Schutz. Die nächste Möglichkeit besteht in der Wahl einer Produktalternative: So haben z.B. begrünte Dächer meist einen Wurzelschutz. Die oft eingesetzten Polymerbitumenbahnen werden mit einem Herbizid zum Schutz vor Durchwurzelung geschützt. Der

Wirkstoff Mecoprop wird über die Nutzungsdauer teilweise ans Regenwasser abgegeben. Eine Alternative wäre eine Polyolefin-Dichtungsbahn, die keinen chemischen Schutz braucht.

Teppiche, Textilien oder natürliche Dämmstoffe können Insektizide enthalten, um vor Fraßschäden geschützt zu sein. Und in Fugenabdichtungen in feuchten Innenräumen werden auch Dichtstoffe mit Fungiziden eingesetzt. Hier gibt es längst biozidfreie Produkte (Umweltzeichen).

VOC verringern

Hier sind wasserbasierte Farben und Lacke zu bevorzugen, da sie wesentlich geringere Lösungsmittelanteile haben. Bei Produkten für den Innenraum wie Bodenbelägen, dazugehörigen Klebstoffen, Bodenbeschichtungen und Wandbekleidungen sind Produkte mit einem Umweltzeichen die erste Wahl.

Formaldehyd (HCHO) beachten

Es ist seit 2016 als nachweislich krebserzeugend eingestuft und wird u.a. für Kunststoffe, als Hilfsmittel in der Textil- und Papierindustrie oder in Kosmetika eingesetzt; bei Bauprodukten in erster Linie zur Herstellung von Leim- und Tränharzen für Holzwerkstoffe (z.B. Span- und OSB-Platten). Seit 1980 (!) unverändert gilt die Emissionsklasse E 1 (0,10 ppm). Fachleute fordern längst Holzplatten mit max. 0,05 ppm Formaldehydgehalt, die der Markt schon bietet.

Mineralwolle-Dämmstoffe werden teils immer noch mit einem formaldehydhaltigen Bindemittel hergestellt. Umso wichtiger ist eine luftdichte Bauweise und – seit 2009 gibt es auch formaldehydfreie Produkte (nachfragen)!

Flammschutzmittel (FSM)

Sie sind aus Brandschutzgründen in Elektrogeräten, Textilien, Polstermöbeln oder Autos und in Kabeln oder Dämmstoffen enthalten. Es gibt eine unüberschaubare Vielfalt von FSM, vor allem auf Basis von Brom (z.B. Hexabromcyclododekan bzw. kurz HBCD) oder als Borate. Beide werden in synthetischen und natürlichen Dämmstoffen eingesetzt. Nur Mineralwolle kommt ohne FSM aus.

Fazit

Schadstofffreies Bauen, wie es auch Begriffe wie Öko- oder Biohäuser gerne suggerieren, ist nicht möglich. Schadstoffarmes Bauen aber kann bei guter Planung mit ökologischen Baustoffen gelingen – auch beim energiesparenden Bauen!

2 Bauphysik zum Anfassen

Für ein besseres Verständnis der Zusammenhänge ist es wichtig, sich mit ein paar Grundlagen der Bauphysik zu beschäftigen.

Keine besonders schwierige Aufgabe, wie Sie gleich feststellen werden. Im Wesentlichen geht es um sieben Begriffe.

2.1 Leistung und Verbrauch (kW und kWh)

Die Leistung hat die Einheit Watt [W] bzw. Kilowatt [kW], ist ein Momentanwert und gibt an, wie viel Energie (Joule) in einer Sekunde benötigt wird ($1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$).

Der Verbrauch (auch Arbeit genannt) dagegen hat die Einheit Wattsekunde [Ws] bzw. Kilowattstunde [kWh] und gibt an, wie lange Leistung bezogen wurde (\rightarrow S. 232).

Als privater Nutzer zahlt man nicht die Leistung, sondern den von der Nutzungszeit abhängigen Verbrauch in kWh.

So verursacht z.B. ein elektrisches Gerät mit einer hohen Leistung, das nur wenige Minuten am Tag eingeschaltet wird, einen niedrigen Verbrauch. Dagegen hat ein anderes Gerät mit geringer Leistung, das aber den ganzen Tag eingeschaltet ist, einen hohen Verbrauch zur Folge.

Zwei technische Beispiele:



Steht ein Fernsehgerät, das im Leerlauf-Betrieb nur eine Leistung von 10 Watt aufnimmt, jeden Tag 21 Stunden auf stand by, summiert sich der Energieverbrauch im Jahr auf stolze 77 kWh

bei Stromkosten von immerhin 23,10 €. ($10 \text{ W} = 0,01 \text{ kW}$; $0,01 \text{ kW} \times 21 \text{ Stunden/Tag} \times 365 \text{ Tage/Jahr} = 77 \text{ kWh/Jahr}$; $77 \text{ kWh/Jahr} \times 0,30 \text{ €/kWh} = 23,10 \text{ €/Jahr}$)



Ein Fön mit 1.500 Watt Leistung dagegen, der täglich nur fünf Minuten benutzt wird, verbraucht im Jahr gerade einmal 45 kWh Strom im Wert von 13,50 €.

($1.500 \text{ W} = 1,5 \text{ kW}$; $1,5 \text{ kW} \times 0,083 \text{ Stunden/Tag} \times 365 \text{ Tage/Jahr} = 45 \text{ kWh/Jahr}$; $45 \text{ kWh/Jahr} \times 0,30 \text{ €/kWh} = 13,50 \text{ €/Jahr}$)

Ein Beispiel aus dem Sport:



Ein 100-Meter-Läufer erbringt eine sehr viel höhere Leistung als ein Marathonläufer.

Da der Sprinter jedoch nur 10 Sekunden benötigt, der Andere aber mehr als zwei Stunden läuft, ist der Energieverbrauch des Langstreckenläufers wesentlich höher.

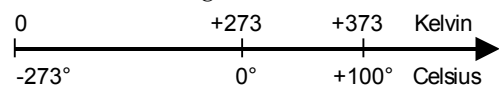


2.2 Temperatur (K)

Temperaturen werden in Kelvin [K] oder in Grad Celsius [°C] gemessen, wobei in der Physik die Temperaturen in °C, die Temperaturdifferenzen aber in K angegeben werden.

So wird z.B. die Lufttemperatur im Raum mit +20°C und die Lufttemperatur draußen

mit -10°C angegeben, während dann die Temperaturdifferenz zwischen innen und außen 30 K beträgt.



Vergleichsskala K und °C

2.3 Wärmeleitfähigkeit λ

Sie beschreibt, wie viel Energie durch ein Material (hier: Bau- oder Dämmstoff) hindurchwandert und ist damit eine Stoffgröße.

Die Wärmeleitfähigkeit gibt an, welche Leistung bzw. Wärmemenge pro Sekunde durch einen Stoff von 1 m Länge bei einem Temperaturunterschied von 1 K an den beiden Enden (erst dann entsteht ja ein Wärmestrom) strömt. Die Einheit des Wärmestroms ist Watt bzw. Joule pro Sekunde [$1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$]. Die Einheit der Wärmeleitfähigkeit ergibt sich somit zu $\text{J}/(\text{smK})$ bzw. üblicherweise zu $\text{W}/(\text{mK})$ und wird mit dem griechischen Buchstaben λ (sprich: lambda) bezeichnet. Hier ein paar typische Größen für die Wärmeleitfähigkeit von Baustoffen.

Material	$\lambda \text{ [W/(mK)]}$
Aluminium	160,00
Stahlbeton	2,00
Zementestrich	1,40
Hochlochklinker	1,05
Kalkzementputz	1,00
Ziegel um 1930	0,80
Kalksandstein	0,56
Ziegel um 1960	0,52
Hohlblockstein um 1970	0,50
Gipsputz	0,35
Ziegel um 1975	0,30
Nadelholz	0,13
Dämmstoff (Durchschnitt)	0,04

Je weniger Wärme durch ein Material strömt, je schlechter ist die Wärmeleitfähigkeit, umso kleiner die Zahl. Unter Fachleuten spricht man vom „Bemessungswert“ der Wärmeleitfähigkeit. Er ist für die Berechnung des U-Wertes (\rightarrow S. 19) einzusetzen.

Das gilt auch für Dämmstoffe: Hier aber ist die Ausgangsgröße der „Nennwert“ der Wärmeleitfähigkeit λ_D – eine Herstellerangabe, aus der sich der Bemessungswert ergibt. Darauf wird unter 3.3.1 (\rightarrow S. 36) noch im Detail eingegangen.

Da Luft prinzipiell ein schlechter Wärmeleiter ist wird klar, dass das λ auch von der Rohdichte (\rightarrow S. 22) abhängt. Je leichter ein

Stoff, desto mehr Luft ist in vielen kleinen Poren (z.B. Porenbeton \rightarrow S. 24) oder Zellen (Wärmedämmstoffe \rightarrow S. 40) eingeschlossen und umso kleiner wird λ . Dagegen erhöht sich die Wärmeleitfähigkeit mit zunehmender Feuchte (Wasser leitet Wärme gut)!

Achtung: Luftschichten selbst (auch eingeschlossene, scheinbar ruhende Luft) dämmen wenig bis gar nicht, da sie durch Konvektion in Bewegung geraten. Die Wärmeleitfähigkeit von ruhenden Luftschichten hängt von ihrer Wärmestromrichtung ab (\rightarrow horizontal, \uparrow aufwärts oder \downarrow abwärts).

Schichtdicke	$\lambda \text{ [W/(mK)]}$		
	\rightarrow	\uparrow	\downarrow
1 cm	0,07	0,07	0,07
3 cm	0,16	0,18	0,15
5 cm	0,27	0,31	0,23
10 cm	0,54	0,62	0,45
20 cm	1,08	1,23	0,88

So hat eine senkrechte Luftschicht (horizontaler Wärmestrom) von 1 cm zwar ein λ von 0,07 $\text{W}/(\text{mK})$, bei 5 cm steigt das λ schon auf 0,27 $\text{W}/(\text{mK})$ und 20 cm Luft dämmen mit $\lambda = 1,08 \text{ W}/(\text{mK})$ so wenig wie ein Hochlochklinker (siehe Tabelle links)!

Statt der Angabe der Wärmeleitfähigkeit [z.B. $\lambda = 0,035 \text{ W}/(\text{mK})$] wird noch immer von der Wärmeleitfähigkeitsgruppe WL_G, in diesem Fall WL_G 035, oder von WLS 035 als Wärmeleitfähigkeitsstufe gesprochen. Beides hilft Ihnen nur nicht weiter: Sie interessiert weder die Gruppe noch die Stufe, sondern nur der exakte Bemessungswert des Dämmstoffs, der eingesetzt werden soll!

Je kleiner (niedriger) λ ist, desto besser (höher) ist seine Dämmwirkung, desto besser ist der Wärmeschutz.

Deutlich werden die Unterschiede der verschiedenen, bei Gebäuden eingesetzten Bau- und Wärmedämmstoffe im Vergleich. Für den gleichen Wärmeschutz [z.B. U-Wert von 0,20 $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$] haben 0,20 m Dämmstoff dieselbe Dämmwirkung wie 0,65 m Nadelholz oder 10 m Stahlbeton (Faktor 50!!).

2.4 Wärmedurchgangskoeffizient: U-Wert [$\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$]

Sind Flüssigkeiten oder Gase unterschiedlicher Temperatur durch ein festes Bauteil voneinander getrennt, so findet eine Energieübertragung statt, die als Wärmedurchgang bezeichnet wird. Im Gebäudebereich findet der Wärmedurchgang z.B. durch die Außenwand oder das Fenster vom warmen (beheizten) Innenraum zur kalten Außenluft statt.

Achtung – Energie fließt immer von der höheren zur niedrigeren Temperaturseite. Wärme will stets zur kalten Seite – und niemals Kälte zur warmen Seite.



Deshalb wird auch grundsätzlich von Wärmebrücken gesprochen, keinesfalls von Kältebrücken. Das ergäbe ein völlig falsches Bild!

Maß des Wärmedurchgangs durch jedes Bauteil ist der sog. Wärmedurchgangskoeffizient, kurz U-Wert (aus dem Englischen: U = Unit of Heat Transfer). Bekannt ist der Wert noch immer unter der längst nicht mehr zulässigen Bezeichnung k-Wert.

Seine Einheit ist Watt pro Quadratmeter und Kelvin [$\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$]. Sie gibt an, wie viel Energie durch 1 m^2 eines Bauteils bei 1 K Temperaturdifferenz von innen nach außen abgegeben wird. Es handelt sich beim U-Wert also nicht um eine Stoff-, sondern um eine Bauteilgröße.

Der U-Wert jedes Bauteils lässt sich näherungsweise einfach berechnen: Sie dividieren die Dicke des Baustoffs in $[\text{m}]$ durch seine Wärmeleitfähigkeit und nehmen anschließend den Kehrwert des Ergebnisses!

Ein Ziegel von $36,5 \text{ cm}$ Dicke hätte ein kleines („gutes“) λ von $0,12 \text{ W}/(\text{mK})$, d.h.:

$$0,365 \text{ m} : 0,12 \text{ W}/(\text{mK}) = 3,042 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

$$U = 1 : 3,042 \text{ (m}^2\text{K)/W} = 0,33 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

Ein Dämmstoff von 12 cm Stärke hätte ein typisches λ von $0,04 \text{ W}/(\text{mK})$, d.h.:

$$0,120 \text{ m} : 0,04 \text{ W}/(\text{mK}) = 3,000 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

$$U = 1 : 3,000 \text{ (m}^2\text{K)/W} = 0,33 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

Der Vergleich: 12 cm Standarddämmstoff bringen das gleiche Ergebnis wie $36,5 \text{ cm}$ eines „guten“ Ziegelsteins (\rightarrow S. 23).

Bau- und Dämmstoffe lassen sich natürlich auch kombinieren und zusammen berechnen. Ziegel + Dämmung ergeben z.B.:

$$3,042 + 3,000 = 6,042 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

$$U = 1 : 6,042 \text{ (m}^2\text{K)/W} = 0,17 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

Auch beim U-Wert gilt: Je kleiner (niedriger) dieser Wert wird, desto besser (höher) ist die Wärmedämmung.

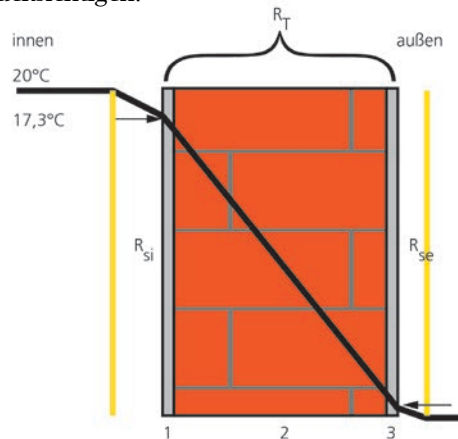
Achtung!

Der Begriff „isolieren“ wird beim Schutz vor Stromspannungen und Wasser verwendet! Beim Wärme- oder auch Schallschutz wird fachlich richtig ausschließlich der Begriff „dämmen“ benutzt!

Die Vorschriften für die europaweit einheitliche U-Wert-Berechnung von opaken (lichtundurchlässigen) Bauteilen wie Wand, Dach oder Boden sind in der EN ISO 6946 und von transparenten Bauteilen (Fenster) in der EN ISO 10077-1 festgelegt.

Alle Länder Europas haben diese Europäischen Normen unverändert übernommen. In Deutschland und z.B. Österreich wurden sie bereits 1996 als DIN EN ISO 6946 bzw. ÖNORM EN ISO 6946 und im Jahr 2000 als DIN EN ISO 10077-1 bzw. ÖNORM EN ISO 10077-1 eingeführt.

Für die exakte U-Wert-Berechnung sind alle Bauteilschichten (z.B. noch Innen- und Außenputz) eines Bauteils sowie die Wärmeübergangswiderstände R_{si} und R_{se} zu berücksichtigen.



Exkurs U-Wert-Berechnung

Beispiel Außenwand Altbau 1975

Sie besteht aus 30 cm Ziegelstein (2) mit $\lambda = 0,33 \text{ W/(mK)}$, aus 1,5 cm Gipsputz (1) innen mit $\lambda = 0,35 \text{ W/(mK)}$ und aus 2,0 cm Kalkzementputz (3) außen mit $\lambda = 1,00 \text{ W/(mK)}$.

Die Wärmeleitfähigkeiten sind in Baustoffdatenbanken von EDV-Programmen hinterlegt oder können der DIN 4108-4 entnommen werden.

Damit lässt sich nun R_T berechnen, in dem man von innen nach außen wie folgt vorgeht:

$$R_T = (0,015 : 0,35) + (0,30 : 0,33) + (0,02 : 1,00) = 0,972 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

Das ist der Widerstand, den das Bauteil dem Durchgang der Wärme entgegensetzt und deshalb als Wärmedurchgangswiderstand R_T bezeichnet wird, wobei der Index T für das englische Transmission steht.

Addiert werden jetzt noch die Wärmeübergangswiderstände R_{si} und R_{se} (Index si steht für surface interior, se für surface exterior), die je nach Wärmestromrichtung festgelegt sind.

Wärmeübergangswiderstände (m ² K)/W		Richtung des Wärmestroms		
		→	↑	↓
	R_{si}	0,13	0,10	0,17
zur Außenluft	R_{se}	0,04	0,04	0,04
zum Erdreich	R_{se}	0,00	0,00	0,00
zur Innenluft	R_{se}	0,13	0,10	0,17

Für die Außenwand (senkrecht Bauteil) sind die Werte für den horizontalen Wärmestrom wie folgt einzusetzen und zu einem gesamten Wärmedurchgangswiderstand R zu addieren:

$$R = R_{si} + R_T + R_{se} = 0,13 + 0,972 + 0,04 = 1,142 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

R-Werte werden immer auf drei Dezimalstellen gerundet, U-Werte dagegen auf zwei.

Für energetische Betrachtungen wird nicht der Durchgangswiderstand, sondern der Wärmeübergangskoeffizient U benötigt. Er errechnet sich durch Bildung des Kehrwerts des Wärmeübergangswiderstandes ($U = 1 : R$).

$$U = 1 : 1,142 \text{ (m}^2\text{K)/W} = 0,88 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Dies ist ein typisch schlechter U-Wert für eine Außenwand. Zum Vergleich: Passivhäuser haben einen U-Wert von $< 0,15 \text{ W/(m}^2\text{K)}$.

Beispiel Kellerdecke Altbau 1958

14 cm Stahlbeton [$\lambda = 2,00 \text{ W/(mK)}$], 2,0 cm Trittschalldämmung Kokos [$\lambda = 0,046 \text{ W/(mK)}$] und 4,0 cm Zementestrich [$\lambda = 1,40 \text{ W/(mK)}$].

Die Richtung des Wärmestroms ist abwärts, da es um die Berechnung des Wärmeverlusts des beheizten Erdgeschosses zum unbeheizten Kellergeschoss geht.

$$R = R_{si} + R_T + R_{se} = 0,17 + [(0,04 : 1,40) + (0,02 : 0,046) + (0,14 : 2,00)] + 0,17 = 0,34 + 0,533 = 0,873 \text{ (m}^2\text{K)/W};$$

$$U = 1 : 0,873 \text{ (m}^2\text{K)/W} = 1,15 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Hier verbessern die beiden Wärmeübergangswiderstände mit 0,34 den geringen Wärmedurchgangswiderstand von 0,533 deutlich.

Beispiel Außenwand Neubau 2017

2,0 cm Gipsputz [$\lambda = 0,35 \text{ W/(mK)}$], 17,5 cm Kalksandstein [$\lambda = 0,56 \text{ W/(mK)}$], 18,0 cm Steinwollgedämmung [$\lambda = 0,036 \text{ W/(mK)}$] und 0,8 cm Silikatputz [$\lambda = 0,80 \text{ W/(mK)}$].

$$R = R_{si} + R_T + R_{se} = 0,13 + [(0,02 : 0,35) + (0,175 : 0,56) + (0,18 : 0,036) + (0,008 : 0,80)] + 0,04 = 0,17 + 5,494 = 5,550 \text{ (m}^2\text{K)/W};$$

$$U = 1 : 5,550 \text{ (m}^2\text{K)/W} = 0,18 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Allein wegen des hohen Wärmedurchgangswiderstands der Dämmung (5,000) spielen hier weder die Wärmeübergangswiderstände mit 0,17 noch die anderen Bauteilschichten eine Rolle.

Beispiel Dach Altbau 1969

Das Schrägdach ist innen mit einer Gipskartonplatte [$\lambda = 0,35 \text{ W/(mK)}$] verkleidet. Dahinter befinden sich in einer Bauteilschicht 14 cm starke Holzsparren [$\lambda = 0,13 \text{ W/(mK)}$] und 6 cm Glaswolle [$\lambda = 0,040 \text{ W/(mK)}$] als sog. Zwischensparrendämmung. Den äußeren Abschluss bilden eine Folie, die Konterlattung und Dachziegel.

Da sich in einer Schicht zwei Materialien befinden, handelt es sich um ein sog. inhomogenes Bauteil, dessen Berechnung „zu Fuß“ sehr aufwändig ist. Mit Hilfe einer Software ergibt sich als U-Wert $0,53 \text{ W/(m}^2\text{K)}$. Gut gedämmte Dächer haben einen U-Wert von $< 0,15 \text{ W/(m}^2\text{K)}$.

Professionelle Berechnung

Für die eigene U-Wert-Berechnung von einfachen homogenen und inhomogenen Bauteilen ist das Online-Rechentool unter www.ubakus.de zu empfehlen.

Für die exakte Berechnung auf Grundlage der DIN EN ISO 6946 mit der richtigen λ -Wahl und bei komplizierten Bauteilen (Schrägdämmung, Dübel- und Luftspaltenberücksichtigung) sollten Sie stets einen unabhängigen Energieberater beauftragen!

2.5 Spezifische Wärmekapazität c

Die spezifische Wärmekapazität eines Materials, einer Flüssigkeit oder eines Gases ist ebenfalls eine Stoffgröße. Sie gibt an, welche Energiemenge man einer bestimmten Masse eines Stoffs zuführen muss, um seine Temperatur um ein Kelvin zu erhöhen und wird mit dem Buchstaben c bezeichnet, die Einheit ist $\text{J}/(\text{kgK})$.

Für die Berechnung von Wärmemengen in kWh sind jedoch $\text{Wh}/(\text{kgK})$ bei Flüssigkeiten und festen Stoffen sowie $\text{Wh}/(\text{m}^3\text{K})$ bei Gasen wie z.B. Luft als Einheit der spezifischen Wärmekapazität üblich und besser geeignet.

Wasser hat (einmal abgesehen von Helium) die höchste spezifische Wärmekapazität aller sonstigen Stoffe.

Material	$c [\text{Wh}/(\text{kgK})]$
Wasser	1,163
Zellulosefasern	0,597
Holzfaserdämmplatte (WF)	0,583
Laubholz	0,472
Hanfdämmmatte	0,444
Polystyrolämmplatte (EPS)	0,417
Gasbetonstein	0,292
Beton	0,277
Ziegelstein	0,255
Kalksandstein	0,244
Glaswollämmmatte (MW)	0,233

Bei Gasen gibt es dazu noch eine Druck- und Temperaturabhängigkeit: Luft hat (bei 20°C) ein c von $0,34 \text{ Wh}/(\text{m}^3\text{K})$.

Die Gleichung, um Wärmemenge, Masse, Temperaturänderung und spezifische Wärmekapazität in Zusammenhang zu bringen, lautet: $Q = m \times c \times \Delta T$

Q ist die Wärmemenge, m ist die Masse, c die spezifische Wärmekapazität und ΔT die Temperaturerhöhung.

Beispiel I

Eine 5-köpfige Familie verbraucht täglich im Schnitt 175 l (bzw. ca. 175 kg) Warmwasser, das von 10°C (Kaltwassertemperatur) auf typische 60°C (Speichertemperatur) erwärmt wird. Die dazu erforderliche Wärmemenge lässt sich nun wie folgt berechnen:

$$Q = 175 \text{ kg/d} \times 1,163 \text{ Wh}/(\text{kgK}) \times 50 \text{ K} \\ = 10.176 \text{ Wh/d bzw. } 10,2 \text{ kWh/d}$$

An 365 Tagen (d) pro Jahr (a) ergibt sich eine Wärmemenge von 3.714 kWh/a, die über die Heizungsanlage und/oder eine solarthermische Anlage gedeckt werden muss.

Berücksichtigt man einen Nutzungsgrad (oft wird auch nur vom Wirkungsgrad gesprochen) etwa eines Ölkessels von z.B. 75 % zur Umwandlung des Heizöls in diese Wärmemenge, so ergibt sich ein Ölverbrauch zur Warmwasserbereitung von 4.952 kWh/a ($3.714 : 0,75$). Aus dem Heizwert des Heizöls (\rightarrow S. 174) von 10 kWh/l errechnet sich ein Heizölverbrauch von 495 l/a. Bei einem Ölpreis von 0,70 €/l betragen die Energiekosten für das Warmwasser dieser Familie damit fast 350 € pro Jahr.

Aus der Gleichung lassen sich mit Kenntnis der spez. Wärmekapazität c weitere Berechnungen ableiten und durchführen.

Beispiel II

Auf wie viel Grad Celsius können 200 l (= 200 kg) Wasser von 10°C aufgeheizt werden, wenn über einen Zeitraum von 30 Minuten (bzw. 0,5 h) 15 kW Heizleistung eines Wärmeerzeugers zugeführt werden? In diesem Fall ist Q „quasi“ schon bekannt:

$$Q = 15 \text{ kW} \times 0,5 \text{ h} = 7,5 \text{ kWh} = 7.500 \text{ Wh}$$

Nun wird die Gleichung $Q = m \times c \times \Delta T$ einfach nach $\Delta T = Q : (m \times c)$ umgestellt:

$$\Delta T = 7.500 \text{ Wh} : [200 \text{ kg} \times 1,163 \text{ Wh}/(\text{kgK})] \\ = 32,2 \text{ K}$$

Ergebnis: 42,2°C. Das Kaltwasser wird bei 15 kW Heizleistung innerhalb von 30 Minuten um 32,2 K von 10 auf 42,2°C erwärmt!

Die spezifische Wärmekapazität ist ein wichtiger Bestandteil vieler Berechnungen und Betrachtungen, z.B. zur Bestimmung des Wärmebedarfs für die Lüftung oder, wenn es um den immer wichtiger werden den sommerlichen Wärmeschutz von Bauteilen wie z.B. dem Dach geht (\rightarrow S. 84), zur Berechnung der Phasenverschiebung und der Wärmespeicherzahl (\rightarrow S. 52).

2.6 Wasserdampfdiffusion μ

Man sieht ihn nicht, man riecht ihn nicht, und er ist auch nicht feucht, der Wasserdampf – Wasser in gasförmigem Zustand, wie Physiker sagen. Aber jedes Kind weiß, dass Dampf auskondensieren, sich „niederschlagen“ kann. Beschlagene Fensterscheiben oder Kondensat am Spiegel im Bad gehören zu unseren Alltagserfahrungen.



Die Beheizung von Aufenthaltsräumen und die stetige Feuchtigkeitszufuhr durch deren Nutzung führen im Winter zu einem überhöhten Wasserdampfgehalt der Raumluft im Vergleich zur Außenluft. Dadurch ist im Raum der Wasserdampfdruck höher als draußen. Diese Druckdifferenz bewirkt eine Wasserdampfwanderung – Diffusion – von innen durch die Außenbauteile nach außen (→ S. 94, 124). Das kann Bauschäden verursachen. Trifft nämlich Wasserdampf auf kühle Flächen, kann es zur Kondensation (Wasserausfall) kommen. Entscheidend ist die sog. Taupunkttemperatur (→ S. 234), die von der Lufttemperatur und der relativen Feuchte abhängt.

Hier kommen wieder die inneren Oberflächentemperaturen von Außenbauteilen ins Spiel, die für unsere thermische Behaglichkeit eine wichtige Rolle spielen (→ S. 12). Sind sie niedrig, liegen sie also (dauerhaft) unter der Taupunkttemperatur, kommt es z.B. in einer Fensterlaibung, in einer Außenwanddecke oder auf dem Fenster zu Kondensat- und somit längerfristig zur Schimmelbildung. Deshalb sollten die Oberflächentemperaturen vor allem an kalten Wintertagen (sie

lassen sich gerade dann mit speziellen Oberflächenthermometern gut messen) deutlich über 13°C liegen. Im Standardfall beheizter Wohnraum (z.B. 20°C Lufttemperatur und eine typische relative Feuchte von 60 %) liegt die Taupunkttemperatur bei 12°C. Die Folge ist Kondensat auf kälteren Bauteilflächen (< 12°C) und vor allem bei Wärmebrücken (→ S. 96).

Unabhängig von dieser Oberflächenkondensation wandert stets ein Teil des Wasserdampfs durch ein Bauteil. Diesem Wasserdampftransport wird in Abhängigkeit vom Material und seiner Schichtdicke ein Widerstand entgegengesetzt, der Wasserdampfdiffusionswiderstand.

Er wird durch die dimensionslose Zahl μ (sprich: mü) gekennzeichnet. Sie gibt an, wie dicht ein Material für Dampf ist und bezieht sich auf den Widerstand von Luft.

Je höher μ ist, desto dichter ist ein Material. Holz hat ein μ von 40, ist also 40-mal so dicht wie Luft oder Steinwolle. Polystyrol ist doppelt so offen wie Holz, aber 4-mal dichter als Ziegel, Beton wiederum 3,5-mal dichter als Polystyrol.

Material	μ
Luft	1
Stein- und Glaswolle (MF)	1
Kalksandstein	5
Ziegelstein	5
Kork (ICB)	5
Kalkputz, Zementestrich	15
Polystyrol (EPS)	20
Polyurethan-Hartschaum (PU)	30
Holz	40
Beton	70
OSB-Platte	100
Bitumendachbahn	80.000
Schaumglas (CG)	dampfdicht

Wasserdampfdiffusionswiderstands-Faktoren

Benötigt werden diese Werte zur Berechnung des s_d -Wertes und zur Beurteilung einer Luftdichtung bzw. Dampfbremse.

3 Bau- und Wärmedämmstoffe

Grundsätzlich gibt es weder „gute“ noch „schlechte“ Bau- und Wärmedämmstoffe. Jedes Material hat seine Berechtigung und seine besonderen Einsatzbereiche. Bei der Auswahl zu beachten sind Regelwerke wie Landesbauordnungen oder DIN-Normen sowie Anforderungen an den Schall-, Brand- und Wärmeschutz oder die Statik.

In diesem Kapitel werden die wichtigsten Mauersteine, der vielseitig einsetzbare Baustoff Holz und zahlreiche Wärmedämmstoffe beschrieben. Letztere lassen sich in natürliche (tierische, pflanzliche, mineralische) und in synthetische (mineralisch-synthetische) Dämmstoffe (→ S. 33) unterteilen.

3.1 Mauersteine für die Außenwand

Ausgangsmaterialien sind Sand, Bims, Kalk, Ton und Gips. Bausteine werden durch Hitze, Druck, Wasserdampf und Beimischung verschiedener Chemikalien hergestellt.

Die oft immer noch übliche Bauweise ist monolithisch (oder einschalig); d.h. im Bereich der Außenwand wird nur eine Schicht, der Mauerstein, eingesetzt und innen wie außen mit einem Putz versehen.

Um einen akzeptablen Wärmeschutz zu erzielen, sind Mauersteine ab 36,5 cm Stärke erforderlich.

Vorteile

- gute Statik
- guter Schallschutz
- sehr guter Brandschutz
- einfache Bauweise

Nachteile

- durchschnittliche Wärmedämmung
- niedrige innere Oberflächentemperatur
- Verstärkung der Wärmebrücken
- Putz(ab)risse im Außenbereich
- erhöhte Energiekosten

Rohdichte ρ (sprich: rho)

Mauersteine haben je nach Material und Porosität (Lufteinschlüsse) eine geringere oder höhere Wärmeleitfähigkeit. Je weniger Löcher und damit Luft im Stein sind, desto dichter und schwerer ist er. Ein wichtiges Maß ist die Rohdichte ρ [kg/m³].

Bau- und Dämmstoffe, z.B.:	ρ kg/m ³	λ W/(mK)
porosierter Ziegelstein	580	0,09
	630	0,14
	680	0,18
Porenbetonstein (Gasbetonstein)	350	0,09
	500	0,14
	650	0,18
Kalksandstein	1.000	0,50
	1.200	0,56
	1.600	0,79
Stahlbeton	2.100	2,00
Nadelholz	600	0,13
Laubholz	800	0,18
Polystyrol (EPS)	30	0,04
Kork (ICB)	100	0,04
Holzfaser (WF)	150	0,04

Die Werte in der Tabelle machen deutlich: Je weniger Luft im Material eingeschlossen ist, desto höher ist die Rohdichte, umso höher die Wärmeleitfähigkeit λ (umso schlechter die Wärmedämmung), bei allerdings gleichzeitig immer besser werdenden schallschutztechnischen, statischen und sogar wärmespeichernden Eigenschaften.

Je mehr Luft im Bau- oder Dämmstoff, desto leichter wird er, umso geringer ist λ (umso besser die Wärmedämmung), allerdings bei stetig schlechter werdenden Eigenschaften bezüglich Statik, Schallschutz oder auch Wärmespeicherung.

Ziegelstein



Der Stein mit dem größten Marktanteil ist der rote, porosierte Ziegel (Markennamen z.B. Unipor, Wienerberger Poroton oder Thermopor) in Stärken von 300, 365, 425

oder 490 mm für einschalige Außenwände. Er entsteht durch das Brennen von Lehm bei 900 bis 1.100°C. Je nach Einsatzbereich sind gemäß DIN 105 drei Hauptarten zu unterscheiden.

Vollziegel (Mz)	Lochanteil < 15 %
Hochlochziegel (HLz o. LHLz)	Lochanteil > 15 %
Block-/Planziegel	porosiert

Früher führten die zahlreichen Lagerstätten des Ausgangsmaterials Lehm zu kurzen Transportwegen. Heute jedoch ist die Ziegelproduktion in Europa zentralisiert. Der Primärenergieverbrauch zur Herstellung variiert wegen der unterschiedlichen Systeme stark: Für Hochlochziegel ca. 430 kWh/m³, für Klinker dagegen etwa 1.750 kWh/m³. Die Verarbeitung ist unbedenklich, der Rohstoff Lehm (Ton) kommt massenhaft vor.

Eingesetzt werden:

- Klinker oder Vormauerziegel für Sichtmauerwerk. Sie sind besonders druckfest und frostbeständig mit Rohdichten von 1.000 bis 2.200 kg/m³.
- Hochloch- und Leichtlochlochziegel für verputztes oder verblendetes Mauerwerk mit Rohdichten von 1.000 bis 1.400 kg/m³.
- Porosierte Ziegel für „wärmedämmendes“ Mauerwerk mit Rohdichten von etwa 500 bis 800 kg/m³.

Solch geringe Rohdichten, die durch Beimengung von Sägespänen oder z.B. Polystyrolkugeln erreicht werden, ermöglichen geringe Wärmeleitfähigkeiten von bis zu 0,080 W/(mK). Beim Brennen der Ziegel vergasen die Beimengungen, wodurch sich der Porenanteil (Luftanteil) des Ziegels vergrößert. Beim Brennen vor allem der porosier-

ten Ziegel entstehen Benzol- und Styrolemissionen, die in modernen Anlagen aber abgesaugt und nachverbrannt werden.

Um entstehende Wärmebrücken durch die Mörtelschichten zu reduzieren, kommen Blockziegel mit ca. 12 mm und Planziegel mit nur noch 1 mm Dünnbettmörtel aus.

Reine Ziegelsteine (also ohne Dämmstofffüllung) mit den bisher niedrigsten λ -Werten von 0,08 und 0,09 W/(mK) sind die teuersten Mauersteine.

Kalksandstein (KS-Stein)

Er wird unter Dampfdruck bei ca. 200°C aus Quarzsand und Branntkalk (Verhältnis 9 : 1) hergestellt. Dieser weiße Mauerstein wird in vielen Formaten und Rohdichten angeboten. Nach DIN 106 lassen sich drei Hauptarten unterscheiden.

Kalksand-Vollstein (KS)	Lochanteil < 15 %
Kalksand-Lochstein (KSL)	Lochanteil > 15 %
Kalksand-Hohlblockstein	Lochanteil > 15 %

Bei Rohdichten von 600 bis 2.200 kg/m³ haben sie viel schlechtere Dämmeigenschaften als Ziegel, dafür ist aber ihre Druckfestigkeit deutlich höher. Der Primärenergieverbrauch zur Herstellung ist relativ gering (330 kWh/m³ für $\rho = 1.400 \text{ kg/m}^3$), die Verarbeitung ist unproblematisch und die erforderlichen Rohstoffe sind ebenfalls massenhaft vorhanden.

Eingesetzt werden:

- Vormauer-Kalksandsteine für frostbeständiges Sicht- und Verblendmauerwerk.
- Kalksand-Vollsteine und -Lochsteine für Haustrennwände sowie Innen- und Kellermauern.
- KS-Plansteine für Außenmauerwerk von 1.000 bis 2.200 kg/m³ Rohdichte und einer entsprechend hohen Wärmeleitfähigkeit ab $\lambda = 0,50 \text{ W/(mK)}$. Dafür ist es ein relativ preisgünstiger und statisch hervorragend geeigneter Baustoff, der mit geringen Wandstärken von nur 24 oder 17,5 cm auskommt und in großen Formaten angeboten wird. Bei den Außenwänden kombiniert man deshalb diese Vorteile in Verbindung mit einer zusätzlichen Wärmedämmung von außen.



Man spricht dann von einem zweischaligen Wandaufbau und in diesem Fall auch von einem Wärmedämm-Verbundsystem WDVS (\rightarrow S. 70). Die Wärmedämmung wird auf die im oberen Bild nur 17,5 cm starke Wand aus großformatigen Steinen aufgeklebt (und je nach System noch verdübelt).

Betonstein

Vor allem aus Sand und Zement werden in Verbindung mit verschiedenen Zusatzstoffen Mauersteine unterschiedlicher Eigenschaften hergestellt. Da Beton wegen seiner hohen Rohdichte von mehr als 2.000 kg/m^3 keinerlei Wärmedämmung bietet, sind Zusatzstoffe zur Verringerung der Rohdichte und damit zur Verbesserung der Wärmedämmeigenschaften notwendig. Eingesetzt werden:

- Hüttensteine (HS) mit gleichen Formaten und Druckfestigkeiten wie KS-Steine. Sie werden aus Hochofenschlacke (Hüttensand) nach DIN 398 hergestellt (ca. 500 kWh/m^3).

- Beton-Hohlblocksteine für Garagen und Kellerwände. Sie werden heute in Normalform oder als T-Hohlblock selten verwendet.

- Leichtbetonsteine als Voll- (V), Loch- oder Hohlblocksteine (Hbl) für Außenwände. Sie werden nach DIN 18151 mit einer bis vier Kammern hergestellt, wobei als porige Zuschläge u.a. Ziegelsplitt, Blähton, Hüttenbims, Naturbims, Korkschröt oder Holzmehl beigefügt werden. So sind vergleichsweise niedrige Rohdichten (500 bis 1.200 kg/m^3) mit geringen Wärmeleitfähigkeiten möglich.

Je nach Zuschlagstoff und Herstellungsverfahren schwankt der Primärenergiever-

brauch: Für einen Blähton-Leichtbetonstein liegt er bei etwa 470 kWh/m^3 , dagegen für einen Bimsbetonstein bei nur 200 kWh/m^3 .

Wie bei den Ziegelsteinen ist es gelungen, einen Vollblock aus Naturbims mit einem niedrigen λ von nur $0,09 \text{ W/(mK)}$ herzustellen (Markenname Bisotherm).



Zusätzlich werden Dünnbettmörtel eingesetzt, um die Fugen als Wärmebrücken zu minimieren. Das Foto zeigt aber auch den Nachteil der einschaligen Bauweise: Die Betondecke als starke Wärmebrücke muss mit einer eigenen Dämmung versehen werden.

Porenbetonstein (Gasbeton)

Er ist eine Sonderform der Betonsteine und wird gemäß DIN 4165 zu 70 % aus feinem Sand und einem porenbildenden Zusatzmittel z.B. auf Aluminiumbasis hergestellt.

Die richtige Bezeichnung lautet Porenbeton-Blockstein (G) oder -Planstein (GP). Sie werden für Außen- und Innenmauern eingesetzt.

Bekannt sind diese weißen Steine vor allem unter der Bezeichnung ‚Gasbetonstein‘ mit Markennamen wie Ytong (Xella), Hebel, Porit oder Greisel.

Sie haben trotz einer vergleichsweise hohen Festigkeit ein geringes Gewicht (Rohdichten von 350 bis 800 kg/m^3) und erzielen deshalb ebenfalls geringe Wärmeleitfähigkeiten von bis zu $\lambda = 0,080 \text{ W/(mK)}$. Je nach Rohdichte liegt der Primärenergieaufwand zur Herstellung bei ca. 300 bis 550 kWh/m^3 .

Da sie als Vollblöcke hergestellt werden, liegt im Vergleich mit Ziegelsteinen der Vorteil im maßgenauen und verlustfreien Zuschneiden sowie im Fräsen von Löchern (z.B. für Steckdosen) und Schlitzern (z.B. für unter Putz verlegte Elektrokabel).

Exkurs „Klimakiller“ Beton

Sand und Kies, ein bisschen Zement, etwas Wasser dazu und ein paar Zusatzstoffe: Fertig ist der Beton, der beliebteste Baustoff der Welt. Er ist frei formbar, druckfest, robust und brennt nicht. Ein idealer Baustoff für Decken und Wände – wäre da nur nicht die katastrophale Klimabilanz.

Zement ist der Betonkleber. Zu seiner Herstellung wird Kalkstein benötigt. Nach dem Abbau wird er zerkleinert und mit Sand und Ton vermischt. In einem Drehofen wird das Kalkgemisch bei über 1.400°C gebrannt – dadurch entsteht Zementklinker, der zentrale Bestandteil im Zement: Er lässt den Beton später hart werden. Bei diesem Produktionsschritt werden riesige Mengen an Treibhausgasen frei: Ca. 800 kg CO₂ pro Tonne Klinker. Etwa 60 % davon entstehen durch die Entsäuerung des Kalksteins und 40 % durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe. Derzeit werden jährlich vier Billionen Tonnen Zement produziert; damit gehen 8 % der globalen CO₂-Emissionen auf das Konto dieses Baustoffs (das ist mehr als die CO₂-Emissionen aus dem weltweiten Flugverkehr!). Wäre die Betonindustrie ein Staat, wäre sie nach China und den USA aktuell der weltweit drittgrößte CO₂-Emittent.

Deshalb sollte der Slogan „Beton – es kommt drauf an, was man draus macht“ endlich neu interpretiert werden: Am besten möglichst wenig.

„Dämmsteine“

Alle Steinhersteller haben Dämmsteine mit dem Ziel entwickelt, die Wärmeleitfähigkeit unter 0,08 W/(mK) zu senken, um mit ihrem einschaligen Angebot gegenüber zweischaligen Systemen konkurrenzfähig zu sein.

Das geschieht durch Füllen der Hohlräume im Beton- oder Ziegelstein durch mineralische Dämmstoffe wie z.B. Perlit (rechtes Foto) oder Steinwolle (linkes Foto).



Damit werden bei Ziegelsteinen Wärmeleitfähigkeiten von $\lambda = 0,070 \text{ W/(mK)}$ erzielt; z.B. mit dem Poroton-T7-36,5-P oder dem Unipor WS07 Coriso 36,5.



Biotherm erreicht mit seinem Bisomark (organische Dämmstoff-Füllung) einen Wert von 0,065 W/(mK), Ytong bei seinem Energy+ durch eine dazwischen gepresste Mineraldämmplatte ein λ von 0,067 W/(mK).



Als Variante bieten weitere Hersteller z.B. Blähtonsteine mit anbetonierten Dämmblöcken aus Polystyrol an.



Nicht nur bei Ziegeln stellt sich dann jedoch die Frage, welche Bedeutung die in der Herstellerwerbung gerne eingesetzten Adjektive „natürlich“ oder „ökologisch“ haben sollen.

Schalungs- oder Mantel„steine“

Zur Herstellung von energiesparenden Außenwänden gibt es – mit sehr geringem Marktanteil – weitere Lösungen in Form von Schalungs- oder Mantel„steinen“, die innen mit Beton (siehe Exkurs) gefüllt werden.

Der „Stein“ kann dann z.B. aus einer Schale aus Holzwolleleichtbauelementen, Holzspanbeton oder Blähton mit eingesetzten Dämmstoffblöcken (meist Polystyrol) bestehen, bei dem ein Leerraum verbleibt, der mit Stahl bewehrt und anschließend mit Beton vergossen wird (u.a. Gisoton oder Isospan).

Alternativ gibt es zudem Polystyrol-Wand-schalungselemente, die raumhoch wie Lego-

steine nur aufeinander gesetzt und danach ausbetoniert werden (u.a. isorast).

Bei diesen Systemen wird nicht die Wärmeleitfähigkeit, sondern gleich der U-Wert für die jeweilige Wandstärke angegeben.

Zusammenfassung

Mit den besten Ziegel-, Beton-, Porenbeton- oder Bimssteinen sowie den Dämmsteinen lassen sich durchaus sehr gut gedämmte Außenwände mit einem U-Wert $< 0,20 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ herstellen, jedoch teilweise erst mit Mauerstärken von 49,0 cm, wie die Beispiele für U-Wert-Berechnungen ergeben (mit Innen- und Außenputz und den Wärmeübergangswiderständen R_{si} und R_{se}).

Außenwand	U-Wert $\text{W/(m}^2\text{K)}$	λ W/(mK)	Stärke cm
Ziegel oder Porenbeton	0,23	0,090	36,5
Wärmedämmsteine	0,18	0,070	36,5
Ziegel oder Porenbeton	0,16	0,080	49,0
Wärmedämmstein	0,13	0,065	49,0
Passivhausanforderung	$< 0,15$		

Mit Schalungs- oder Mantelsteinen liegen die U-Werte je nach Dämmstoff bei einer Wandstärke von 36,5 cm zwischen 0,13 und $0,22 \text{ W/(m}^2\text{K)}$.

Einen Nachteil von einschaligen, monolithischen Außenwandkonstruktionen nur aus Mauersteinen verdeutlicht dieses Foto.



Im Bereich der Fenster (Sturz, Rollläden) und Decken entstehen konstruktionsbedingte Wärmebrücken (\rightarrow S. 97), die mittels Dämmstreifen nur ungenügend verringert

werden und dazu oft zu Bauschäden z.B. durch Putzabbrisse führen. Auch ein wärmebrückenfreier Anschluss z.B. an die Dach- oder Kellerdeckendämmung ist im Prinzip nicht realisierbar.

Die bessere Alternative sind zweischalige Bauweisen, die insgesamt nicht teurer sind als die besten monolithischen Außenwände. Die Standsicherheit (Statik) ist durch schmale, schwere (hohe Rohdichte und Wärmeleitfähigkeit) und damit relativ preisgünstige Steine wie z.B. Kalk-, Ziegel- oder auch Betonstein gewährleistet.

Die erforderliche gute Wärmedämmung übernehmen vergleichsweise dünne Dämmstoffe auf der Außenseite, welche gleichzeitig die tragende Mauer gegen Witterungseinflüsse und vor sommerlicher Überhitzung schützen, aber vor allem dabei helfen, die Wärmebrücken zu vermeiden, auch wenn z.B. Betondecken bis zur Außenkante der Mauer reichen. Sie werden überdämmt.



Ob die Wärmedämmung dann verputzt wird oder hinter einer vorgehängten Fassade verschwindet, hängt von preislichen und gestalterischen Vorgaben ab. Die Gesamtstärke der Wand liegt ebenfalls unter 40 cm, wie drei Beispiele zeigen.

Bauteil	U-Wert $\text{W/(m}^2\text{K)}$	λ W/(mK)	Stärke cm
Bimsbetonstein + Polystyrol (EPS)	0,17	0,240 + 0,031	24,0 + 14,0
Kalksandstein + Steinwolle (MW)	0,18	0,560 + 0,036	17,5 + 18,0
Ziegelstein + Holzfaser (WF)	0,18	0,180 + 0,040	24,0 + 16,0

3.2 Holzbau und Holzwerkstoffe

Eine Alternative zum üblichen Mauerwerksbau ist der Holzbau. Nadel- und Laubholz haben mit $\lambda = 0,13$ bzw. $0,18 \text{ W/(mK)}$ allerdings nur ähnliche Dämmeigenschaften wie ein durchschnittlicher Ziegelstein. Unabhängig für einen guten Wärmeschutz von Holzbauten ist deshalb immer eine zusätzliche Wärmedämmung.

Heutige Techniken machen die vielen positiven Eigenschaften des Baustoffs Holz für die anspruchsvollen Standards modernen Wohnens nutzbar.

Ein Vorteil liegt im ökologischen Bereich: Herstellung und Verarbeitung sind unbedenklich, der Rohstoff ist nachwachsend und der Baustoff wiederverwendbar. Problematisch ist die Nutzung exotischer Hölzer aus Südamerika oder Asien wegen des Raubbaus an der Natur und dem hohen Transportenergieaufwand.

Fachleute sprechen Holz weitere Vorteile zu: Es unterstütze das räumliche Wohlbefinden, vermindere Stressgefühle, wirke antiseptisch und soll eine ausgleichende Wirkung auf die Luftfeuchtigkeit haben.

Ein wachsendes Umweltbewusstsein, die Anwendung von Industrialisierungsmethoden, vereinfachte Technologien und gute statisch-konstruktive Möglichkeiten geben dem Holzbau heute Chancen, Marktanteile am Wohnungsbau zurückzugewinnen.



Neue Methoden in der Holzverarbeitung (Spanplatten, brett-schichtverleimte Hölzer) sowie neue Bautechnologien (vereinfachte Verbindungs- und Montagetechniken) lassen nun Systeme zu, die den historischen Block-, Bohlen- und Fachwerkbau abgelöst haben.

Die modernen Holzbausysteme werden unterschieden in

- Massivholz- oder Blockbau
- Holzrahmen- und Tafelbau
- Holzskelettbau
- Brettlagenbauweise
- Leimfreie, verdübelte Holzbauweise
- Brettstapelbauweise
- Holzbausteine
- Holzfertighäuser.

Massivholz- oder Blockbau

Der Massivholz- oder Blockbau genießt einen baubiologisch guten Ruf. Solche Blockhäuser werden aus Naturstämmen oder verleimten Blockbalken überwiegend einschalig bis zu einer Stärke von ca. 20 cm oder aus Blockbohlen mehrschalig bis zu 24 cm Stärke angeboten.



Aus der energetischen Sicht ist nicht das Blockhaus, sondern nur der Blockbohlenbau (außen und innen 70 mm Bohlenstärke, dazwischen eine Kerndämmung von 100 mm aus Korkschat, Zellulose, Mineral- oder Schafwolle) akzeptabel, bei dem ein U-Wert von etwa $0,28 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ erreicht wird und so z.B. mit durchschnittlichen Ziegelaußenwänden konkurrieren kann.

Eine Schwierigkeit des Massivholzbaus liegt in der Berücksichtigung des Schwindens und Setzens von Wandteilen, was auch bei Fenstern, Türen, Treppen und der technischen Installation beachtet werden muss. Pro Geschoss ist z.B. mit 5 bis 10 cm Setzung zu rechnen.

Holzrahmen- und Tafelbau

Der Holzrahmenbau ist als Flächentragwerk konzipiert und wird aus tafelförmigen Elementen mit tragenden Rahmen und aussteifender Beplankung gebildet. Diese kann aus diagonal verlaufenden Brettverschalungen, aus Holzwerkstoffen wie Mehrschichtplatten, Bau-Furniersperrholz, Spanplatten und OSB-Flachpressplatten oder aus faserverstärkten Gipsplatten gefertigt werden.

Zwischen den Holzrahmen ist Platz für jede Art von Wärmedämmung. Zusätzliche Dämmstärken können auf der Außenseite angebracht werden. Es handelt sich um eine sehr flexible Bauweise, die auf der Innenseite der Außenwand noch eine Installationsebene vorsieht. Die Decken werden oft als Balkendecken auch in Kombination mit Brettstapeldecken gestaltet.

Alle Elemente können vorgefertigt und vor Ort sehr schnell montiert werden.

Der Tafelbau ist eng mit dem Rahmenbau verwandt und unterscheidet sich vor allem im Grad der Vorfertigung. Diese bringt jedoch Einbußen in der individuellen Gestaltungsfreiheit mit sich.



Holzskelettbau

Das charakteristische Tragwerksystem des Holzskelettbaus besteht aus vertikalen und horizontalen Stützen, dem ‚Skelett‘. Es ist mit dem Fachwerkbau verwandt. Diese Bauweise eignet sich vor allem für leichte Konstruktionen. Nach Errichtung der Holzkonstruktion wird sie verschalt und werden die Hohlräume mit Dämmmaterial gefüllt.

Da Holz mit $\lambda = 0,13$ bis $0,18 \text{ W/(mK)}$ im Vergleich zu einem Dämmstoff mit einem λ von $0,04 \text{ W/(mK)}$ etwa 3- bis 4-mal besser die Wärme leitet, sollte zur Vermeidung von Wärmebrücken über die Holzbalken innen zusätzlich eine Querlattung mit Wärmedämmung angebracht werden.

Bei Verwendung von Brettschichtholz sind im Gegensatz zum natürlichen Vollholz auch gekrümmte Elemente möglich. Charakteristisch für den Skelettbau sind ein großer, weiter Rasterabstand von Stützen und Trägern, die Unabhängigkeit der Gebäudehülle vom Haupttragwerk, biegesteife Holzverbindungen und eine Gebäudeaussteifung mit Diagonalverstreibungen in Stahl und Holz.

Haupt- und Nebentragwerk können voneinander unabhängig ausgebildet werden. Für ergänzende Nebentragwerke wie Dachbalken, Sparren und Pfetten wird i.d.R. Vollholz eingesetzt. Die Anordnung und das Material von Stützen und Trägern richten sich nach dem Entwurf der Fassaden und Trennwände.

Für die Innenraumaufteilung hat die konstruktive Trennung sämtlicher Wände vom Tragsystem den Vorteil hoher Flexibilität und Gestaltungsfreiheit.

Brettlagenbauweise

Diese Massivholzbauweise wird auch Kreuzlagenholz oder Dickholz genannt. Im Unterschied zur Rahmen- oder Skelettbauweise besteht die Brettlagenbauweise aus durchgehend gleich starken Holzflächenanteilen. Sie ist in der Gestaltungsfreiheit sehr flexibel, lässt fast jede Grundrissform zu und ermöglicht kürzeste Bauzeiten bei Kosten auf Fertighausniveau.

Die verwendeten Massivplatten sind oft drei- oder fünflagig. Dabei wird das Quellen und Schwinden durch die kreuzweise Verleimung auf ein Minimum reduziert. Es handelt sich um ein industrielles Rohprodukt, das noch verschalt oder auch verputzt wird. Die Wärmedämmung (i.d.R. Dämmplatten aus Holzfasern) wird außen unabhängig von der Tragebene angebracht.



Die Brettlagenbauweise hat den Vorteil einer sehr kurzen Bauzeit, da sämtliche Wand- und Deckenöffnungen wie Fenster, Türen und Treppen millimetergenau vorgefertigt werden. Mit Plattenlängen von bis zu 15 m lassen sich gebäudehohe Bauteile als Wände ausbilden, an denen anschließend die Decken eingehängt werden.

Im Vergleich zum Massivbau sind die Bauteilstärken deutlich geringer. Auch runde und gekrümmte Bauteile sind möglich. Deshalb zählt im Holzbau die Brettlagenbauweise neben der Stapelbauweise zu den innovativsten Entwicklungen in den vergangenen fünfzehn Jahren.

Leimfreie, verdübelte Holzbauweise

Die leim- und metallfreie Variante der Holztafelbauweise ist die verdübelte Bauweise. Dabei werden senkrechte, waagrechte und diagonale Lagen aus unbehandelten, sägerohren Brettern und Pfosten zu kompakten Wandelementen geschichtet. Die Verbindung erfolgt durch ein genau berechnetes Raster aus trockenen Buchenholzdübeln. Sobald diese in die Bohrungen eingeführt werden, quellen sie durch die geringe Restfeuchte im Holz der Bretter und Pfosten auf. Das Ergebnis ist eine massive, formfeste, leim- und metallfreie Holztafel, die bei entsprechender Dicke auch einen vergleichsweise guten Wärmeschutz bringt und als Dach, Wand oder Decke in einem Element gefertigt werden kann.

Brettstapelbauweise

Dafür werden einzelne Brettstapel aus nebeneinander hochkant gestellten und mit

Nägeln oder Hartholzdübeln oder durch Leimung verbundenen Brettern oder Bohlen hergestellt. Der Brettstapel ist ein massives, flächiges Bauteil. Die Dicke liegt bei Wänden zwischen 8 und 16 cm, bei Decken zwischen 8 und 22 cm, je nach statischen Erfordernissen. Aneinandergereiht eignen sie sich auch zur Herstellung von ganzen Fassaden und ermöglichen ästhetisch anspruchsvolle Oberflächengestaltungen.

Ähnlich dem Holzrahmenbau ist diese Bauweise äußerst flexibel, was sich besonders bei Sanierungen von Altbauten als Vorteil erweist.

Es lässt sich zwar jede Grundriss- und Gebäudeform verwirklichen. Aus wirtschaftlichen Gründen sind jedoch einfache (rechtwinkelige) Grundrisse zu empfehlen. Überhaupt ist das Schwinden und Quellen der Brettstapel nach wie vor ein Problem. Der Feuchteschutz und die unzureichende Maßhaltigkeit bei Fenstern und Türen bereiten noch immer Schwierigkeiten. Dagegen sind Brettstapel wegen ihrer hohen Masse gerade bei Decken von Vorteil, da sie sehr gute schalltechnische Eigenschaften haben. Ein guter Schallschutz ist im Holzbau sonst nur mit hohem Aufwand zu realisieren.

Holzbausteine

Es handelt sich um ein Bausystem, das die Stärken einer gemauerten Wand mit den Vorteilen des Holzbaus verbinden soll.

Systemkernstück sind handliche Module, die wie „Legobausteine“ neben- und aufeinander gesteckt werden. Die so erstellten Innen- und Außenwände sind zugleich tragend und raumbildend. Die einzelnen Elemente sind rund 5 kg schwer und die Montage des Rohbaus geschieht ohne aufwändige Werk- und Hebezeuge relativ zügig. Der Kraftschluss erfolgt durch Zapfen-, Nut- und Federverbindungen.

Durch verschiedene Modulmaße können auch unterschiedliche Bauhöhen realisiert werden. Die Kombination mit allen gängigen Fenstern, Türen oder Dachkonstruktionen ist möglich und es lassen sich verschiedene Oberflächenstrukturen herstellen.

Holzferthäuser

Eine kostenmäßig interessante Alternative in diesem Bereich sind sog. Fertighäuser. Die Hersteller bieten heute alle Dämm-Standards bis zum Passivhaus (→ S. 160) an. Typisch ist der Bauteilaufbau von innen nach außen: Gipskartonplatte, Luftdichtung (Dampfbremse), Holzwerkstoffplatte, Wärmedämmung zwischen der Holztragkonstruktion, Holzwerkstoffplatte, Putzträger mit Außenputz oder wie abgebildet eine Holzfassade.



Ein Hauptverkaufsargument ist die integrierte, zusätzlich angebotene Haustechnik (Solarkollektoren oder -zellen, Regenwasseranlagen, Lüftungsanlagen, Wärmepumpen, Gebäudeleittechnik), die aber nicht das Wesen eines energieeffizienten Gebäudes ausmacht.

Ein Vorteil dieser wie aller Holzbauweisen ist der hohe Grad der Vorfertigung. Das ermöglicht vergleichsweise schnelles und trockenes Bauen!

Übersicht Holzwerkstoffe

Wer Interesse am Holzbau hat merkt rasch, dass der Grundwortschatz mit Balken, Brett und Platte längst nicht mehr reicht. Begriffe und Abkürzungen wie Triobalken, BS-Holz, OSB, MDF, XLam oder KVBH® zeigen die Vielfalt moderner Holzbauweisen.

Im Folgenden werden einige der vielen Holzwerkstoffe zur ersten Orientierung vorgestellt. Allen gemeinsam ist die Trocknung. Mit trocken eingebautem und trocken bleibendem Holz ist der Verzicht auf chemischen Holzschutz möglich.

Sofern zur Herstellung Verklebungen gehören, werden sie mit formaldehydarmen

Klebstoffen unterhalb des Wertes für die Emissionsklasse E1 oder auch formaldehydfrei ausgeführt. In allen Fällen sollte auf Qualität geachtet werden, mindestens auf das sog. Ü-Zeichen (→ S. 37) als Nachweis der Übereinstimmung mit den technischen Regeln durch Fremdüberwachung.

■ Konstruktionsvollholz, KVBH®

Für Holzhausbau, Stützen, Balken, Sparren, Rahmen. Über der Norm. „Herzgetrennter“ oder „herzfreier“ Einschnitt, ggf. Keilzinkenverbindung für größere Längen, gehobelte oder egalisierte Oberflächen, gefaste Kanten. Verwendet wird das KVBH sichtbar für Balken, Stützen und Sparren oder nicht sichtbar im Rahmen-/Tafelbau. Vorteile: Maßhaltig, formstabil, minimierte Rissbildung.

■ Duo/Triobalken (Trilam)

Für Holzhausbau, sichtbare Anwendungen. Für Duobalken werden zwei getrocknete, nach Festigkeit sortierte, keilgezinkte Bohlen oder Kanthölzer flachseitig hochfest miteinander verklebt, für Triobalken drei. Der Einsatzbereich ähnelt dem KVBH®, meist jedoch in sichtbarer Ausführung.

■ Kreuzbalken

Für Holzhausbau, sichtbare Anwendungen. Vier Viertelhölzer werden aus Rundhölzern erzeugt und festigkeitsorientiert mit der Innenseite nach außen gewendet und unter Pressdruck verklebt, wobei eine Innenröhre entsteht. Darin lassen sich u.a. Leitungen führen. Einsatz in allen konstruktiven Bereichen. Vorteile: Ruhige Optik, Formstabilität und weitestgehende Rissreduzierung.

■ Brettschichtholz (BS-Holz)

Für Holzhaus- und Hallenbau, Dachpfetten, Unterzüge. Das bekannteste Vollholzprodukt besteht aus Brettlamellen, die unter Druck flächig verklebt und anschließend allseitig gehobelt und gefast werden.



Vorteile: Neben großen Querschnitten und großen Spannweiten sind gerade, gedrehte und gebogene Formen möglich.

■ Furnierstreifenholz (Parallam)

Für Holzhausbau, Dachpfetten und Unterzüge. Schmale Furnierstreifen aus Nadelhölzern werden beleimt und parallel zur Balkenlängsachse miteinander verpresst, dann werden Teilquerschnitte herausgeschnitten. Der Holzwerkstoff in Balkenform wird wie BS-Holz z.B. auch für Träger eingesetzt.

■ Kreuzlagenholz (KSH, X-Lam)

Für jeden Einsatz vom Ein- bis zum Mehrfamilienhaus nutzbar. Es werden Bretter abwechselnd kreuzweise in jeder erforderlichen Stärke beleimt und verpresst.



■ Doppel-T-Träger bzw. I-Träger

Für Wand-, Decken- und Dachkonstruktionen. Die Gurte (= Querstriche des Doppel-T) bestehen aus Furnierschichtholz (FSH) mit faserparallel verklebten Furnieren. Der Steg aus OSB (s.u.) wird in die Nuten der Gurte eingelassen und verklebt. Als effizienter Verbund von zwei Holzwerkstoffen werden diese I-Träger (→ S. 84) meist unsichtbar in Wand-, Decken- und vor allem Dachkonstruktionen eingesetzt. Vorteile: Die hohe Tragfähigkeit bei geringem Gewicht, Formstabilität und besonders viel Platz für Wärmedämmung z.B. aus Zellulose.

■ OSB

Für Beplankung im Holzrahmenbau, Dach- und Sichtschalung sowie Unterboden. Es handelt sich um eine Platte, die aus speziellen Langspänen (Strands) hergestellt wird (OSB = Oriented Strand Board). Sie werden beleimt und in den Deckschichten parallel zur Plattenlängsrichtung und in der Mittelschicht quer dazu orientiert. Das Vorprodukt

wird unter Pressdruck und Hitze ausgehärtet, auf Format geschnitten und klimatisiert.



Die Einsatzmöglichkeiten (auch mit Nut und Feder) sind vielfältig, sie ist dampfbremsend und wird schon länger auch als dekoratives Element in der Innenarchitektur eingesetzt.

■ MDF

Für außenseitige Wandbekleidung und Unterdach. Die ‚mitteldichte Faserplatte‘ wird aus Holzfasern unter Zugabe von geringem Bindemittelanteil unter Druck und Hitze erzeugt. Für den Einsatz als Wasser abweisende, diffusionsoffene Platte wird Paraffin zugegeben und eine etwas geringere Dichte eingestellt als bei MDF für den Möbelbau oder Drechselteile. Wand- und Dachplatten gibt es mit Nut- und Federverbindungen. Sie fungieren u.a. als Winddichtung. Eine gängige Lösung im Holzrahmenbau ist ein Verbund aus OSB innen, KVH® mit Wärmedämmung im Kern und MDF außen z.B. mit vorgehängter hinterlüfteter Holzfassade.

■ Brettstapel, Blocktafeln, Dickholz

Für Wand-, Decken- und Dachelemente. Wie schon auf S. 29 beschrieben, handelt es sich um miteinander vernagelte oder verleimte hochkante Bretter oder Bohlen bzw. Tafeln, die aus miteinander verklebten Holzschichten bestehen.

Qualität im Holzbau

Besonderes Augenmerk ist bei Holzbauten der Luftdichtheit zu schenken. Holz ist ein „lebendiger“ Baustoff, d.h. er bewegt sich auch noch nach Jahren.

Sie kennen sicher den uralten Witz: „Was ist der Unterschied zwischen Holz und einem Beamten? Holz arbeitet.“

Das gilt selbst bei Einsatz der beschriebenen modernen Holzwerkstoffe. Bei nicht fachgerechter Ausführung können Fugen entstehen, durch die wortwörtlich der Wind pfeift. Hohe Wärmeverluste und Unbehaglichkeit (Zugluft) für die Bewohner sind die Folge.

Deshalb ist an der Außenseite (wie bei jedem Dach) eine Wind- und an der Innenseite eine Luftdichtung (→ S. 122) anzubringen. Dazu eignet sich innen z.B. eine dampfbremsende Folie, die mit Klebändern an sämtlichen Fugen und Ritzen, Anschlussstellen, Stößen aber auch Durchdringungen absolut luftdicht verklebt wird. Um diese Luftdichtung nicht zu beschädigen, ist es im Holzbau üblich, innen eine Installationsebene u.a. für Heizungsrohre, Kabel oder Steckdosen vorzusehen. Dabei ist dann auch die innere Verkleidung z.B. aus OSB-Platten an allen Stößen luftdicht zu verkleben.



Um eventuelle Planungs- und vor allem Ausführungsmängel rechtzeitig erkennen und beheben zu können, wird unbedingt ein Drucktest (→ S. 125) empfohlen!

Der Schallschutz muss (außer bei Brettstapeln) durch das Einbringen von Masse verbessert werden. Schwere Schüttungen in Böden und Zwischenwänden helfen, Wärme zu speichern und Schall zu schlucken. Dazu sind einige Planungshilfen verfügbar, wie z.B. die von Saint-Gobain Rigips mit einem Vorschlag zur Erhöhung der Masse in einer Geschossdecke.



Insgesamt kann Trittschall aber nur durch konsequentes Vermeiden von Schallbrücken

(durchgehende Bauteile, die den Schall leiten wie Rohre, Träger usw.) unterbunden werden. Bei Mischbauweisen (z.B. Außenwände Holzständer, Innenwände aus Lehm oder Ziegel) kommt es wegen der Bewegung des Holzes zu Rissen und Fugen zwischen Holz und Wand, was auch schalltechnisch zu Problemen führt.

Ein Schwachpunkt aller Holz(leicht)bauweisen: Wegen der fehlenden Massen ist der sommerliche Wärmeschutz gering. So wird bei Fertighäusern vielfach mit einer Füllung aus Glaswolle gearbeitet. Damit wird zwar ein guter winterlicher, nicht aber ein guter sommerlicher Wärmeschutz erreicht. Deshalb sind – passend zum Baustoff Holz – ausschließlich natürliche Wärmedämmstoffe wie z.B. Flachs, Hanf, Holzfaser oder Zellulose mit relativ hoher Rohdichte für zusätzliche Masse zu empfehlen.

Gut gedämmte Gebäude, bis hin zum Passivhaus, sind im Holzbau bei hoher Qualität möglich und nachweisbar. Vorher sollten Interessenten jedoch den jeweiligen Holzbaubetrieb, seine Baustellen und Referenzgebäude prüfen. Zu empfehlen sind Betriebe, die sich – organisiert in einem Verband oder Verein – durch bauaufsichtlich anerkannte Institute überwachen oder zertifizieren lassen. Beispielhaft genannt seien hier der DHV (Deutscher Holzfertigbau-Verband e.V.) und der Verband des Zimmerer- und Holzbaugewerbes Baden-Württemberg in Ostfildern.

Diese bieten zudem, vor allem den Schreibern und Zimmerern, entsprechende Weiterbildung oder Fachbroschüren und Richtlinien zur praktischen Unterstützung an.



3.3 Wärmedämmstoffe

Eine große Rolle spielt in allen Diskussionen die Wahl der richtigen Wärmedämmung. Aber, den idealen Dämmstoff – geeignet für jeden Einsatzbereich, preisgünstig, gesundheitsverträglich, ressourcenschonend, feuerbeständig, nachwachsend oder schadstofffrei – gibt es nicht. Weder in der Gruppe der natürlichen noch in der Gruppe der synthetischen Dämmstoffe.

Wichtige Kriterien für den einzusetzenden Dämmstoff sind dagegen u.a. die Beachtung von gesetzlichen Vorgaben wie z.B. von Landesbauordnungen, die Einhaltung von DIN-Normen oder die bauphysikalische Eignung für den jeweiligen Einsatzzweck. So sind bei der Dämmung gegen Erdreich oder außen bei einem Flachdach natürliche Dämmstoffe bauaufsichtlich gar nicht zugelassen.

Das grundsätzliche Dämmstoffangebot

Die Einteilung von Dämmstoffen erfolgt nach ihrer Rohstoffbasis. Dabei wird zunächst nach organischem und anorganischem (mineralischem) Ursprung des Rohstoffs unterschieden. Die Dämmstoffe innerhalb dieser beiden Gruppen gliedern sich in Abhängigkeit von der Weiterverarbeitung der originär verwendeten Rohstoffe in die natürlichen und synthetischen Dämmstoffe.

Bei den sog. natürlichen Stoffen bleibt der Rohstoff prinzipiell unverändert. Einige enthalten aber in relativ großen Mengen Zusätze wie brandhemmende Salze (Borate), Imprägnierungen, Stützfasern oder Bindemittel, die nicht natürlichen Ursprungs sind. Um sie dennoch als natürliche Dämmstoffe bezeichnen zu können, sollen die Zusätze weniger als 25 % des Materialanteils haben.

Wird der originäre Rohstoff durch eine spezielle Bearbeitung in seiner mineralogischen Zusammensetzung geändert, damit also technisch hergestellt oder zusammengesetzt, spricht man von synthetischen Stoffen.

Außerhalb dieser Systematik stehen noch Entwicklungen wie die Transparente Wärmedämmung oder die Vakuumdämmung, die keiner Rohstoffbasis zugeordnet werden können.

■ Organische Dämmstoffe

natürlich	Baumwolle
	Flachs
	Getreidegranulat
	Hanf
	Holzfaser (WF)
	Holzspäne
	Holzwolle (WW)
	Kokosfaser
	Kork (ICB)
	Schafwolle
	Schilfrohr
	Seegras
	Stroh
	Torf
	Wiesengras
synthetisch	Zellulose
	Melaminharzschaum (MF)
	Phenolharzschaum (PF)
	Polystyrol expandiert (EPS)
	Polystyrol extrudiert (XPS)
	Polyurethan (PU)
	Polyesterfasern
	Polyethylenschaum (PE)

■ Anorganische Dämmstoffe

natürlich	Bläherlit
	Blähton
	Naturbims
	Vermiculite (EV)
synthetisch	Blähglas
	Glaswolle (MW)
	Kalziumsilikatschaum
	Nanogel (Aerogel)
	Pyrogene Kieselsäure
	Schaumglas (CG)
	Schaumglasschotter
	Steinwolle (MW)

Gerade die Vielfalt des Dämmstoffangebots ermöglicht auch einen differenzierten Einsatz und die optimale Anpassung an die jeweiligen baulichen Gegebenheiten. Sämtliche Dämmstoffe haben eines gemeinsam: Die Notwendigkeit einer guten Bauausführung – denn nur so kann eine lange Lebensdauer erreicht werden.

Eine Durchfeuchtung in der Bau- und Nutzungsphase sowie Wärmebrücken sind bei allen Konstruktionen unbedingt zu vermeiden. Letztlich bleibt es aber der Bauherrin oder dem Bauherrn überlassen, ob und in welchem Umfang zur Entscheidungsfindung auch Parameter wie umweltfreundliche Produktionsweise, Regionalität, Transportwege, Nachhaltigkeit, Recycling oder die endgültige Entsorgung herangezogen werden.

Die Wirkung von Wärmedämmung beruht auf Lufteinschlüssen im Dämmmaterial, d.h. nicht das Material dämmt, sondern die vielen kleinen Luftkammern, die das Material einschließt. Voraussetzung für die Dämmwirkung dieser Lufteinschlüsse ist der Schutz vor Luftbewegung.

Deshalb haben die Wind- und Luftdichtheit (→ S. 119) des Gebäudes oberste Priorität für die Dämmwirkung.



Auch die Dämmwirkung eines dicken Wollpullovers beruht auf den unbewegten Lufteinschlüssen der Fasern. Bläst der Wind, lässt die Dämmwirkung drastisch nach. Zieht man eine dünne Windjacke über den Pulli, ist die wärmedämmende Wirkung des Pullovers wieder voll hergestellt.

Aus nachhaltiger Sicht spielt der Bereich Herstellung und Entsorgung die größte Rolle. Hier haben die synthetischen Dämmstoffe deutliche Nachteile. Die langen Herstellungsprozessketten stehen in direkter Verbindung mit der Chlor- und Petrochemie; Ozonschicht zerstörende Treibmittel, Treibhausgase sowie krebserregende Substanzen werden bei ihrer Produktion freigesetzt. Recycling benötigt von allen Seiten immer noch guten Willen, meist folgt die Entsorgung auf der Deponie und die Rohstoffreserven (z.B. Erdöl) sind begrenzt.

Aber auch die natürlichen Dämmstoffe haben Nachteile. Probleme gibt es durch Monokulturen oder Pestizideinsatz bei der Massenproduktion (so z.B. bei Hanf oder Flachs), durch hohen Transportenergieaufwand (z.B. durch Schafwolle aus Neuseeland oder Kork aus Portugal), durch Veredelung (chemische Behandlung der Schafwolle) oder durch Be-

lastungen bei der Herstellung (z.B. Abwasserbelastungen bei Zellulose, sehr hoher Energieeinsatz bei Holzfaser).

Da die natürlichen Dämmstoffe aus Gründen des Brandschutzes teilweise mit bis zu 10 % Borsalz imprägniert sind, müssen sie im Fall der Entsorgung deponiert oder besonders aufwändig verbrannt werden.

Hinsichtlich innenraumrelevanter Schadstoffe sind alle Dämmstoffe bei fachgerechtem Einbau völlig unproblematisch.

Außenwand- und Bodendämmungen sollten ohnehin außen auf dem zu dämmenden Bauteil angebracht werden, bei Dachdämmungen sind bei Einhaltung der Bauvorschriften (z.B. einwandfreie Ausführung der Luftdichtung) und ihrem fachgerechten Einbau Faserfreisetzungen in Innenräume nachweislich nicht feststellbar!

Auch hinsichtlich der Freisetzung flüchtiger organischer Verbindungen, radioaktiver Strahlung oder unangenehmer Gerüche spielen alle Dämmstoffe keine Rolle, wenn die Gebäudeluftdichtheit gewährleistet ist und Faserfreisetzungen oder Ausgasungen in den Wohnraum damit nicht möglich sind!

Ein Großteil der Wohnraumgifte (→ S. 8) kommt u.a. aus Fußbodenbelägen, Möbeln oder Farben – nicht aus der Dämmung!

Bezüglich der physikalischen Daten sind die synthetischen Dämmstoffe im Vorteil.

Eine wichtige Größe ist der Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit λ . Je höher er ist, desto schlechter ist die Wärmedämmung. Prinzipiell haben synthetische Dämmstoffe eine geringere Wärmeleitfähigkeit von ca. 0,021 bis 0,045 W/(mK), die natürlichen Dämmstoffe dagegen eine höhere von 0,038 bis 0,090 W/(mK).

Primärenergetisch ist jeder Dämmstoff nachhaltig und deshalb zu empfehlen.

Alle Dämmstoffe haben noch etwas gemeinsam: Der Aufwand an Energie zu ihrer Herstellung, Montage und Abfallbehandlung ist gering. Es ist eine Tatsache, dass sich jede Dämmung energetisch betrachtet sehr rasch (oft in Monaten → S. 39) amortisiert – bei Nutzungsdauern der Dämmung in den Bauteilen von 30 und mehr Jahren.

Exkurs Sinn von Wärmedämmung

In den letzten Jahren haben kritische und dabei oft unsachliche Medienberichte (Print und Fernsehen) zum baulichen Wärmeschutz und dabei vor allem zum Thema Wärmedämmstoffe stark zugenommen. Sie sollen „Unsinn“, ein „Schadensrisiko“, ein „Brandrisiko“ oder sogar ein „Gesundheitsrisiko“ darstellen.

Dazu haben bereits im Jahr 2014 fünf unabhängige Institutionen aus Deutschland und Österreich (ebök, Fraunhofer IPB, KEA, KIT und das Energieinstitut Vorarlberg) in einem gemeinsamen Positionspapier zu den häufigsten Einwänden, Vorurteilen und Missverständnissen zum baulichen Wärmeschutz und Einsatz von Dämmstoffen Stellung bezogen. Thematisiert werden insgesamt 13 Einwände gegen die Durchführung von Wärmedämm-Maßnahmen, die teilweise in den weiteren Kapiteln des Buchs an geeigneter Stelle erläutert werden.

Die Autoren geben auch Antwort auf die Frage, warum ein baulicher Wärmeschutz grundsätzlich erforderlich und dringend notwendig ist.

Plädoyer für den Wärmeschutz

Die Begrenzung eines bereits stattfindenden Klimawandels, die Erhöhung der Versorgungssicherheit durch Reduzierung der Importabhängigkeit aus krisengefährdeten Gebieten der Welt, abnehmende fossile Energieressourcen und die dadurch steigenden Energiepreise sind wesentliche Gründe dafür, den Verbrauch fossiler Energieträger wie z.B. Erdgas, Heizöl oder Flüssiggas drastisch zu senken.

Etwa 35 % des Endenergieverbrauchs entfällt in Deutschland auf den Gebäudesektor, mehrheitlich auf die Beheizung; allein im Wohngebäudebereich geht es um rund 41 Mio. Wohnungen in ca. 19 Mio. Gebäuden. Am Markt verfügbar sind technisch ausgereifte, wirtschaftliche Lösungen, mit denen der Energieverbrauch leicht um den Faktor vier, bei ambitionierten Sanierungen auch bis um den Faktor 10 gegenüber unsanierten Bestandsbauten reduziert werden kann.

Der zur Reduzierung des Heizwärmeverbrauchs erforderliche bauliche Wärmeschutz hat dabei eine zentrale Bedeutung, beim Altbau wie beim Neubau. Ein baulicher Wärmeschutz

■ ist notwendig für die Vermeidung von Bauschäden durch Feuchtigkeitsbildung auf der Innenseite

von Außenbauteilen (feuchteschutztechnischer Wärmeschutz).

■ verhindert die Bildung von Schimmel, der zu Bauschäden und Gesundheitsrisiken beitragen kann (hygienischer Wärmeschutz).

■ garantiert ausreichend hohe Oberflächentemperaturen der Innenseiten von Außenbauteilen im Winter, die zur Behaglichkeit beitragen (behaglichkeitssichernder Wärmeschutz); dieselbe Behaglichkeit lässt sich hierdurch mit geringeren Raumlufttemperaturen und damit niedrigerem Energieverbrauch erreichen.

■ verringert den unerwünschten Eintrag von Wärme und dadurch eine Überhitzung von Räumen im Hochsommer (sommerlicher Wärmeschutz).

■ trägt im Winter und im Sommer zur Reduzierung des Energieverbrauchs bei (energiesparender Wärmeschutz).

■ unterstützt die Schonung von Ressourcen und die Entlastung der Umwelt (ökologisch motivierter Wärmeschutz).

■ kann die Dauerhaftigkeit der Baukonstruktion unterstützen und zur Bauschadensbehebung beitragen (nachhaltig motivierter Wärmeschutz).

■ trägt zur Reduzierung der Heiz- und Kühlkosten sowie zur Wertstabilität der Immobilie bei (ökonomisch motivierter Wärmeschutz).

■ kann zur gestalterischen Aufwertung von Fassaden genutzt werden (gestalterisch motivierter Wärmeschutz).

■ kann im Bestand – insbesondere bei einer Kopplung mit ohnehin notwendigen Sanierungsmaßnahmen – wirtschaftlich realisiert werden.

Nicht zuletzt trägt der bauliche Wärmeschutz entscheidend auf dem Weg zu einer klimaneutralen Gesellschaft in der Mitte des 21. Jahrhunderts bei, die zum Ziel hat, bis zum Jahr 2050 nahezu klimaneutrale Städte und Gemeinden zu realisieren – und dabei die Lebensqualität weiter zu verbessern.

Ein wichtiger Bestandteil bei der Umsetzung bis 2050 ist bei Bestandsgebäuden die Erhöhung der Modernisierungsrate von aktuell nur 0,8 % auf mindestens 2,5 % pro Jahr. Werden die aktuellen Maßnahmen rund um die energetische Sanierung der Gebäudehülle nicht erhöht, ist das Ziel einer Reduktion der Treibhausgase um 80 bis 100 % bis zum Jahr 2050 unmöglich erreichbar.

3.3.1 Nenn- und Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit λ

In Bezug auf die Wärmeleitfähigkeit von Baustoffen wurde in Deutschland 2004 der Teil 4 der DIN 4108 überarbeitet und zuletzt in der Fassung vom März 2017 aktualisiert. Er dient als Beitrag zur nationalen Umsetzung der Ergebnisse der europäischen Normung und erfolgte mit der Einführung europäischer technischer Spezifikationen für Bauprodukte.

Dabei handelt es sich u.a. um das CE-Zeichen und um harmonisierte europäische Produktnormen für werkmäßig hergestellte Dämmstoffe (EN 13162 bis EN 13171) wie z.B. Mineralfaser, Polyurethan, Kork, Holzfaser oder Polystyrol.

Auf Grundlage der EN ISO 10456 wurde in diesem Zuge der frühere sog. Rechenwert der Wärmeleitfähigkeit λ_R durch den „Bemessungswert“ der Wärmeleitfähigkeit λ ersetzt, welcher im Rahmen von Berechnungen wie z.B. von Bauteil-U-Werten nach EN ISO 6946 (→ S. 19) einzusetzen ist!

DIN 4108-4:

Es gibt zwei Kategorien für Dämmstoffe: Die Kategorie I gilt für Dämmstoffe, die nur mit dem CE-Zeichen gekennzeichnet sind. Die Kategorie II gilt für Dämmstoffe, die den harmonisierten Normen entsprechen und eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung besitzen. Diese Produkte tragen das CE- sowie das Ü-Zeichen.

Kurzer Auszug aus DIN 4108-4:

Dämmstoff	Kategorie I		Kategorie II	
	Nennwert λ_D	Bemessungswert λ	Grenzwert λ_{grenz}	Bemessungswert λ
Steinwolle	0,035	0,042	0,0333	0,035
(MW)	0,036	0,043	0,0343	0,036
	0,037	0,044	0,0352	0,037
Polystyrol	0,033	0,040	0,0309	0,033
(EPS)	0,034	0,041	0,0319	0,034
	0,035	0,042	0,0329	0,035
Holzfaser	0,040	0,048	0,0381	0,040
(WF)	0,041	0,049	0,0390	0,041
	0,042	0,050	0,0400	0,042
Bläh-Perlite	0,045	0,054	0,0428	0,045
(EPB)	0,047	0,056	0,0448	0,047
	0,054	0,065	0,0514	0,054

CE ist die Abkürzung für Communauté Européenne (Europäische Union EU), dessen Schriftbild durch eine Rasterung genau festgelegt ist. CE steht als äußeres Zeichen



für die Konformität mit den europäischen Richtlinien und wird am Produkt angebracht, damit dieses als zugelassen zum freien Verkehr in der EU gekennzeichnet ist. Es dokumentiert die Erklärung des Herstellers, dass die Bestimmungen der von ihm angewandten EU-Richtlinien eingehalten werden. I.d.R. gilt, dass der Hersteller, Lizenznehmer oder Importeur das CE-Zeichen selbst anbringt, wobei er mit Bußgeld und Strafen rechnen muss, falls er die Richtlinien nicht einhält.

Anzuwenden ist das CE-Zeichen u.a. für folgende Produktgruppen aus dem Energiebereich: Gasverbrauchseinrichtungen, elektrische Geräte, Warmwasserheizkessel und nicht zuletzt Bau- und Wärmedämmstoffe.

Zur CE-Kennzeichnung gehören:

- das CE-Zeichen
- Herstelleradresse und Herstellungsjahr
- verschlüsselte Produkteigenschaften
- die Übereinstimmungserklärung des Herstellers.

Jeder Dämmstoff, für den eine europäische Produktnorm gültig ist, muss unabhängig vom Herkunftsland ein CE-Zeichen tragen. Es befindet sich auf dem Produkt, dem Etikett oder der Verpackung. Produkte,

für die es keine Produktnormen gibt, benötigen nach wie vor eine allgemeine bauaufsichtliche oder eine europäische technische Zulassung.

Das CE-Zeichen ist damit eine Art technischer Reisepass für Bauprodukte. Es ist gesetzlich vorgeschrieben und signalisiert deutlich, dass das Produkt die entsprechenden Prüfverfahren durchlaufen hat. Es erfüllt somit bestimmte Mindestanforderungen; bei den Dämmstoffen für die allgemeine Gebrauchstauglichkeit „Wärmedämmung von Gebäuden“.

Mit der CE-Kennzeichnung ist jedoch nicht die Angabe des Bemessungswertes λ , sondern die des Nennwertes λ_D vorgeschrieben. Er gilt bei einer unter normalen Bedingungen erwarteten Nutzungsdauer. Das führt schnell zu Verwechslungen, weil der Nennwert nicht mit dem Bemessungswert (er beschreibt die Eigenschaft eines Dämmstoffs unter bestimmten äußeren und inneren Bedingungen) identisch ist.

Der Bemessungswert wird aus dem Nennwert mit einem Aufschlag von 20 % berechnet. Es gilt: $\lambda = \lambda_D \times 1,20$.

Das CE-Zeichen ist kein Qualitätszeichen! Es zeigt auch nicht, dass die vom Hersteller angegebenen Produkteigenschaften regelmäßig fremdüberwacht werden.

Das Übereinstimmungskennzeichen (Ü-Zeichen) darf ein Dämmstoff dann tragen, wenn er von einer unabhängigen und staatlich anerkannten Prüfstelle fremdüberwacht wird und das Übereinstimmungszertifikat vorliegt. Neben dem Ü-Zeichen sind die Zulassungsnummer, das Bildzeichen der Prüfstelle und die Kennzeichnung für den Verwendungszweck anzugeben.

Die Übereinstimmung des Dämmstoffprodukts mit der jeweiligen technischen Regel dokumentiert der Hersteller, indem er das Zeichen einschließlich zusätzlicher Angaben auf dem Produkt, dem Beipackzettel oder der Verpackung anbringt.

Dann kann der Bemessungswert auch direkt aus dem Übereinstimmungszertifikat entnommen werden. Dort ist die Wärmeleitfähigkeit in Form des Grenzwertes angegeben, der im Rahmen der Produktion nicht überschritten werden darf. Der Bemessungswert wird mit einem Aufschlag von 5 % auf den Grenzwert berechnet. Dabei gilt: $\lambda = \lambda_{\text{grenz}} \times 1,05$.

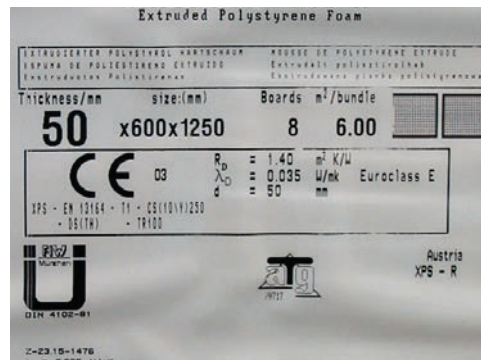
Was heißt das nun für die Praxis? Ganz einfach! Hat ein Dämmstoff nur das CE-Zeichen, so handelt es sich um ein Kategorie-I-Produkt; d.h., der angegebene Nennwert λ_D muss mit 1,2 mal genommen werden, um den für die U-Wert-Berechnung entscheidenden Bemessungswert zu erhalten!



Da in diesem Beispiel das Ü-Zeichen fehlt, gehört das Produkt eindeutig zur Kategorie I. Gerechnet wird also mit $1,20 \times 0,035 = 0,042$ W/(mK) als Bemessungswert λ .

Obwohl diese Steinwolle (Rockwool Italia) gemäß CE-Zeichen der Produktnorm für Mineralwolle EN 13162 entsprechen müsste, wird dies durch das hier angegebene λ nicht klar. Es fehlt der Index D zur eindeutigen Kennzeichnung als Nennwert λ_D .

Im unteren Bild sind CE- + Ü-Zeichen auf dem Beipackzettel einer XPS-Dämmung vorhanden. Es handelt sich um ein Kategorie-II-Produkt. Damit ist der Nennwert λ_D gleich dem Bemessungswert und darf in einer U-Wert-Berechnung mit $\lambda = 0,035$ W/(mK) eingesetzt werden.



Mit der Zulassungsnummer Z-23.15-1476 und $\lambda = 0,035$ W/(mK) wird das auf dem Beipackzettel (unten links) dokumentiert.

Achtung: Es gibt wie so oft noch eine Ausnahme. Bei Dämmmaterialien aus Kork und Holzfaser muss wegen ihrer Aufnahmefähigkeit für Feuchte der Bemessungswert noch um 5 % erhöht werden.

„Schon die Mathematik lehrt uns, dass man Nullen nicht übersehen darf.“ (Gabriel Laub)

Exkurs Nachhaltiges Bauen

Geschichte der Nachhaltigkeit

Der Begriff der Nachhaltigkeit gilt seit mehreren Jahren als Leitbild für eine zukunftsfähige, nachhaltige Entwicklung der Menschheit.

Erstmals wurde das Prinzip der Nachhaltigkeit vor 300 Jahren von Hans Carl von Carlowitz, Oberberghauptmann am kursächsischen Hof in Freiberg, formuliert. Denn in der sächsischen Forstwirtschaft kam es damals zu einem Raubbau an den Wäldern. Der Bergbau in der Region forderte Umengen an Holz: Als Brennmaterial für die mit Holzkohle betriebenen Schmelzöfen und als Baustoff für den Grubenausbau sowie für viele weitere Verwendungszwecke. Schon bald wurde der übermäßige Holzverbrauch sichtbar und es wurde nach Ideen für eine sinnvolle Holznutzung gesucht.

Als Konsequenz forderte von Carlowitz, dass immer nur so viel Holz geschlagen werden sollte, wie durch planmäßige Aufforstung durch Säen und Pflanzen wieder nachwachsen konnte. Er gilt deshalb als „Erfinder“ der Nachhaltigkeit, auch wenn das Konzept zu jener Zeit einen rein ökonomischen Hintergrund hatte.

Für den Begriff ‚nachhaltig‘ entstand über die französische Übersetzung mit ‚production soutenu‘ bzw. ‚soutenir‘ im Englischen so die Bezeichnung ‚sustainable‘.

Erst auf den UN-Konferenzen in Stockholm 1972 und Rio de Janeiro 1992 entwickelte sich in Diskussionen zu tragfähigen Zukunftskonzepten der Begriff der „Nachhaltigen Entwicklung“ bzw. des „sustainable development“.

Als die meistgebrauchte Definition von Nachhaltigkeit gilt die von Nachhaltiger Entwicklung des Brundtland-Berichts der UN von 1987:

„Dauerhafte (nachhaltige) Entwicklung ist Entwicklung, die die Bedürfnisse der Gegenwart befriedigt, ohne zu riskieren, dass künftige Generationen ihre eigenen Bedürfnisse nicht befriedigen können.“



Als Nachhaltigkeitsmodell gilt heute, die drei Dimensionen Ökologie, Ökonomie und Soziales bzw. Kulturelles gleichberechtigt zu berücksichtigen.

Nachhaltiges Bauen

Bei der ökonomischen Dimension der Nachhaltigkeit werden über die Anschaffungs- bzw. Errichtungskosten hinausgehend vor allem die Bau- und Folgekosten betrachtet, die über die gesamte Lebens- bzw. Nutzungsdauer anfallen.

Bei der ökologischen Dimension wird die Schonung der Ressourcen durch einen optimierten Einsatz von Baumaterialien und -produkten sowie eine Minimierung der Verbräuche (z.B. Heizen, Strom oder Wasser) angestrebt. Damit ist i.d.R. gleichzeitig eine Minimierung der Umweltbelastungen (z.B. Treibhauspotenzial bezüglich der Klimawärmerückführung) verbunden.

Bei der soziokulturellen Dimension stehen neben den Fragen der Ästhetik und Gestaltung vor allem Aspekte des Gesundheitsschutzes und der Behaglichkeit im Vordergrund. Der winterliche und sommerliche Wärmeschutz tragen ebenso zur Behaglichkeit bei wie z.B. der Schallschutz. Durch gezielte Baustoffauswahl (z.B. schadstoffarme Produkte → S. 14) lassen sich mögliche gesundheitliche Beeinträchtigungen vermeiden.

Datenbank ÖKOBAUDAT

Mit der Plattform ÖKOBAUDAT stellt die Bundesregierung allen Akteuren eine vereinheitlichte Datenbasis für die Ökobilanzierung von Bauwerken zur Verfügung (www.oekobaudat.de). Sie wurde im Rahmen von Projekten der Forschungsinitiative ‚ZukunftBau‘ mit Unterstützung der Deutschen Baustoffindustrie bereits im Jahr 2009 entwickelt.

Im Zentrum steht die Online-Datenbank mit über 1.200 Ökobilanz-Datensätzen zu Baustoffen, Bau-, Transport-, Energie- und Entsorgungsprozessen. Sie bietet sowohl generische Datensätze als auch firmen- oder verbandsspezifische Datensätze aus Umweltproduktdeklarationen an.

Mit Hilfe von Ökobilanzierungstools kann mit der Datenbank der Lebenszyklus eines Bauwerks zusammengesetzt oder z.B. die Nachhaltigkeit ausgewählter Baustoffe miteinander verglichen werden. Die Daten unterliegen strengen Qualitätsmerkmalen und sind kostenfrei zugänglich. Die Verantwortung für Inhalte und Werte verbleibt beim Eigner der Datensätze.

Die ÖKOBAUDAT wird laufend aktualisiert und ist u.a. die verbindliche Datenbasis des Bewertungssystems Nachhaltiges Bauen (BNB).

Anwendungsbeispiel Wärmedämmung

Bewertet werden soll die Nachhaltigkeit von Dämmstoffalternativen für die Wärmedämmung der Außenwand eines Altbaus in Frankfurt in Bezug auf den Primärenergieaufwand.

Als Grunddaten liegen vor:

- $U_{IST} = 1,00 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
- $U_{SOLL} < 0,24 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
- Gradtagzahl $G_t = 3.349 \text{ Kd/a}$
- Heizungsnutzungsgrad = 86 %

Es wird eine Auswahl von synthetischen und natürlichen Dämmstoffen verglichen (Polystyrol, Steinwolle, Zellulose und Holzfaser). Der jeweils enthaltene Primärenergieaufwand PEe und PEne (erneuerbar und nicht erneuerbar) in Megajoule pro Kubikmeter (MJ/m^3) wurde der Datenbank ÖKOBAUDAT entnommen; zur weiteren Beurteilung auch noch die Werte zum GWP (Globales Erwärmungspotenzial). Erforderlich sind außerdem die (relativ unterschiedlichen) Wärmeleitfähigkeiten:

Material	GWP (kg CO ₂)	λ W/(mK)	PE (e + ne)
EPS (grau)	77	0,032	1.442 MJ/m ³
Steinwolle	70	0,035	940 MJ/m ³
Zellulose	-74	0,042	885 MJ/m ³
Holzfaser	-119	0,045	5.420 MJ/m ³

Um den U_{SOLL} -Wert von $0,24 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ zu unterschreiten, werden zuerst die jeweils erforderliche Dämmstoffstärke und daraus der neue U-Wert berechnet.

Material	Stärke (cm)	U_{NEU} W/(m ² K)
EPS (grau)	12	0,21
Steinwolle	12	0,23
Zellulose	14	0,23
Holzfaser	16	0,22

Aus dem PE-Aufwand und den erforderlichen Dämmstärken ergibt sich der jeweilige PE-Aufwand je m² Wärmedämmung (mit Umrechnung von MJ in kWh: siehe S. 232).

Material	PE (kWh/m ²)
EPS (grau)	48
Steinwolle	31
Zellulose	34
Holzfaser	241

Nun wird die Einsparung an Endenergie pro m² Außenwanddämmung und Jahr ($\text{kWh}/\text{m}^2\text{a}$) ermittelt,

mit der u.a. die Kosteneinsparung berechnet wird. In die Berechnungen geht die jeweilige U-Wert-Verbesserung (zwischen 0,79 und 0,77 $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$) ebenso ein wie die Gradtagzahl am Gebäudestandort (\rightarrow S. 233), der Umrechnungsfaktor 0,024 (\rightarrow S. 234) sowie der Nutzungsgrad der Heizungsanlage [Berechnungsgang z.B. für EPS: $(0,79 \times 3.349 \times 0,024) : 0,86$].

Material	Endenergie [$\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})$]
EPS (grau)	74
Steinwolle	72
Zellulose	72
Holzfaser	73

Es zeigt sich, dass die Ergebnisse kaum voneinander abweichen, ganz gleich, welcher der vier Dämmstoffe eingesetzt wird; ein höheres λ wird durch eine höhere Stärke kompensiert. Dividiert man nun die eingesparte Endenergie (Verbrauch) durch den erforderlichen Primärenergieaufwand PE, so ergibt sich als Bewertungs- und Vergleichsgrundlage die energetische Amortisationszeit. Sie zeigt, wie lange es dauert, bis die durch die Dämmung erzielte Energieeinsparung den für das Dämmmaterial erforderlichen Gesamtenergieaufwand „amortisiert“ hat.

Material	energetische Amortisation (Jahre)
EPS (grau)	0,65
Steinwolle	0,43
Zellulose	0,47
Holzfaser	3,30

Ergebnis

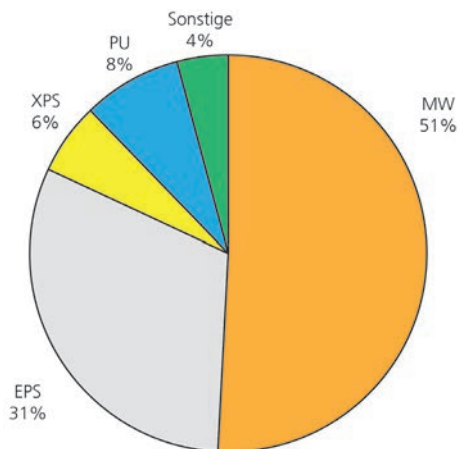
Bei einer Nutzungsdauer der Wärmedämmung von mindestens 30 Jahren liegt die energetische Amortisationszeit (Gesamtenergieaufwand für den Dämmstoff dividiert durch die tatsächliche Endenergieeinsparung je m²) im Bereich von Monaten – und spielt deshalb in der Nachhaltigkeitsbetrachtung eine sehr untergeordnete Rolle.

Die synthetische Steinwolle und die natürliche Zellulose schneiden am besten ab; es sind auch relativ preiswerte Produkte. Das synthetische Polystyrol ist besser als von vielen wahrscheinlich vermutet. Mit 3,3 Jahren hat die allgemein als besonders ökologisch gehandelte Holzfaser den mit Abstand höchsten Wert, der aber auch völlig okay ist im Vergleich zu über 30 Jahren Nutzung.

Betrachtet man zusätzlich den GWP-Wert, liegt in diesem Beispiel das Ergebnis auf der Hand.

3.3.2 Wärmedämmstoffe im Detail

In Deutschland werden Jahr für Jahr bis zu 30 Mio. m³ Dämmstoffe im Hochbau verarbeitet. Dabei beherrschen die synthetischen Dämmstoffe mit deutlich über 90 % den Markt: Mineralwolle (Glas- und Steinwolle), Polystyrol (EPS und XPS) sowie Polyurethan (PU) hatten im Absatzhoch des Jahres 2012 die folgenden Anteile, wobei der Beitrag der natürlichen Dämmstoffe bei 4 % lag.



Natürliche Dämmstoffe haben seit Mitte der 1990er Jahre einen geringen, aber relativ stabilen Marktanteil, der zwischen 4 und ca. 7 % schwankt. Diese Quote zeigt auch, dass die natürlichen Dämmstoffe leider kaum über den klassischen Baumarkthandel angeboten werden.

Die höchsten Anteile haben Zellulose und Holzfaser. Flachs und Hanf haben nicht zuletzt wegen der öffentlichen Marktanreizprogramme spürbar zugelegt. Hier bemüht sich nach wie vor die Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe (FNR), Gülzow (www.fnr.de), den Markt weiter zu erschließen.

In den folgenden Kurzbeschreibungen der gebräuchlichsten Wärmedämmstoffe sind jedoch die Produkte mit einem nicht messbaren Marktanteil wie z.B. Baumwolle, Getreidegranulat, Kokos- oder Polyesterfasern, Seegras, Schilfrohr, Strohballen oder Vermiculit nicht enthalten, weil sie oft keine (Bau)Zulassung haben und weil es den Rahmen dieses Buches sprengen würde.

Die folgende Aufzählung der Produkte in alphabetischer Reihenfolge ist als Entscheidungshilfe und keineswegs als Empfehlung zu verstehen.

Das Warenangebot

Die meisten Dämmstoffe können an verschiedenen Bauteilflächen eingesetzt werden. Zu unterscheiden sind schütt-/einblasfähige Materialien, Matten und Bahnen sowie Platten.

Schüttungen und eingeblasene Materialien neigen dazu, sich nach dem Einbringen zu setzen, wodurch Hohlräume auftreten können. Deshalb sollten solche Dämmstoffe nur durch vom Hersteller zertifizierte Fachunternehmen „eingebaut“ werden.

Bei plattenförmigen, unflexiblen Dämmstoffen wie z.B. Polystyrolplatten ist das Entstehen von Fugen (und damit von Wärmebrücken) selten zu vermeiden. Deshalb sollten Platten großflächig, mehrlagig und dabei versetzt verlegt werden.

Blähglas

Als Rohstoffe dienen Altglas und ein Blähmittel (Aktivator). Das Glas wird zu Glasmehl gemahlen und mit einem mineralischen Aktivator gemischt. Nach dem Blähvorgang bei ca. 900°C wird das Material auf ein Stahlband aufgetragen und beim Abkühlen in verschiedene Korngrößen gebrochen (grober Schotter) oder mit einem Granulierteller zu rundem Blähglasgranulat verarbeitet. Es ist die kostengünstigste Alternative zum Schaumglas (Plattenware) und wird deshalb auch als Schaumglasschotter bezeichnet.



Sein Einsatzbereich liegt im Neubau als Perimeterdämmung unter der Bodenplatte und/oder seitlich zur Kellerwand.

So wird z.B. der Schotter unter der Bodenplatte nur auf ein Geotextil geschüttet und verdichtet. Fertig ist der Unterbau. Entfallen können eine Rollierung, eine Sauberkeitsschicht oder eine sog. Frostschräge.



Da die Wärmeleitfähigkeit gut doppelt so schlecht (hoch) wie bei der Schaumglasplatte ist, wird für den gleichen U-Wert auch mindestens die doppelte Dicke benötigt.

Gesundheitliche Gefährdungen bei Verarbeitung und Nutzung sind nicht bekannt. Blähglas ist ein Recyclingprodukt. Dem relativ hohen Energieaufwand bei seiner Herstellung stehen eine hohe Verfügbarkeit und vergleichsweise kurze Transportwege gegenüber.

physikalische Eigenschaften, Hersteller (Marke)	
λ_D [W/(mK)]	0,070 bis 0,120
ρ [kg/m ³]	125 bis 400
c [Wh/(kgK)]	0,250
μ [-]	4 bis 5
Glapor, Geocell, Misapor, Poraver, Technopor	

Bläh-Perlite (EPB)

Vulkanisches Perlitgestein wird zerkleinert und kurzfristig Temperaturen über 1.000°C ausgesetzt. Dabei verwandelt sich das eingeschlossene Wasser in Dampf und bläht das Material um das Fünffzehn- bis Zwanzigfache seines ursprünglichen Volumens auf. Wegen ihres Ursprungs können Bläh-Perlite auch schwach radioaktiv sein.

Als natürlicher Dämmstoff, dessen Rohstoff weltweit ausreichend zur Verfügung steht, eignet er sich zur Wiederverwendung. Letztlich werden sie deponiert oder als Füllmaterial sowie als Bodenverbesserer in der Landwirtschaft eingesetzt. Sie sind feuchteempfindlich, sehr diffusionsoffen und nicht

brennbar. Bläh-Perlit wird seit 1955 als Dämmung eingesetzt: Als Schüttung (S) vor allem in Hohlräumen und Fußböden, bei der Verarbeitung ist eine starke Staubeentwicklung möglich. Als Platten (P), zu denen zermahlendes Perlit mit Zellulosefasern vermischt wird, werden sie vor allem im Bereich der Innendämmung eingesetzt.

physikalische Eigenschaften, Hersteller (Marke)	
λ_D [W/(mK)]	0,040 bis 0,065
ρ [kg/m ³]	(S) 50 - 190; (P) 150 - 200
c [Wh/(kgK)]	0,278
μ [-]	2 bis 4
Bachl, Europerl, Klein-Dämmstoffe, Knauf, Rotec	

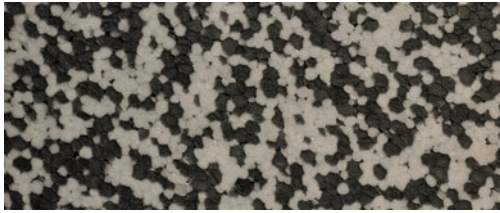
Expandiertes Polystyrol (EPS)

EPS wird in komplexen Prozessen aus Erdöl und Erdgas gewonnen, wobei vielfältige Belastungen für die Umwelt auftreten (u.a. Emissionen von Kohlenwasserstoffen). Spuren von organischen Verbindungen entweichen in den ersten drei Monaten nach der Herstellung („Ausgasen“), danach liegen die Werte unter der Nachweisgrenze.

Der Rohstoff für expandiertes Polystyrol ist polymerisiertes Styrol, dem als Treibmittel Pentan sowie andere Hilfsstoffe hinzugegeben werden. Mit Hilfe von Wasserdampf wird das perlenförmige Polystyrolgranulat bei Temperaturen über 90°C vorgeschäumt. Dabei blähen sich die Perlen um etwa das 20- bis 50-fache ihres ursprünglichen Volumens auf. Anschließend werden sie in Silos gelagert, damit sie die zur Weiterverarbeitung erforderliche Stabilität erhalten.

Als synthetischer Dämmstoff, dessen Rohstoffe nur eingeschränkt zur Verfügung stehen, ist er nur in reiner Form recycelbar und muss sonst wegen seiner Unverrottbarkeit verbrannt werden. Er ist nicht feuchteempfindlich und diffusionsoffener als Holz.

Erhältlich als Plattenware in Stärken bis 30 cm von mehr als 20 Herstellern, handelt es sich um den preisgünstigsten Dämmstoff. Sowohl innen wie außen überall einsetzbar: beim Schrägdach, an der Fassade, als Trittschalldämmung im Estrichbereich, an Innenwänden und auch unter Bodenplatten.



EPS-Platten sind i.d.R. weiß. Es gibt sie aber auch farblich verändert (z.B. weiß-grau gesprenkelt) bis hin zu schwarzen Platten mit dem Markennamen Neopor. Solche Platten enthalten zusätzlich Graphitpartikel, durch welche die Wärmestrahlung gestreut und so die Wärmeleitfähigkeit auf bis zu 0,031 W/(mK) gesenkt wird.

EPS ist nicht geeignet zum sommerlichen Wärmeschutz und zur Luftschalldämmung. Unproblematische Verarbeitung.

physikalische Eigenschaften, Hersteller (Marke)	
λ_D [W/(mK)]	0,031 bis 0,050
ρ [kg/m³]	15 bis 30
c [Wh/(kgK)]	0,417
μ [-]	20 bis 100
Bachl, BASF, Caparol, Saint Gobain, Steinbacher	

Extrudiertes Polystyrol (XPS)

XPS wird wie EPS hergestellt. Am Ende werden die Styrolperlen allerdings noch mit Treibgasen aufgeschäumt (extrudiert). Seit



Jahren geschieht dieser Prozess relativ umweltverträglich z.B. mit CO₂ als Treibgas, das der Atmosphäre entnommen wird. Luft ersetzt dann in kurzer Zeit das CO₂ durch einen Austauschprozess.

physikalische Eigenschaften, Hersteller (Marke)	
λ_D [W/(mK)]	0,031 bis 0,041
ρ [kg/m³]	25 bis 45
c [Wh/(kgK)]	0,389
μ [-]	80 bis 250
Austrotherm, Bachl, BASF, Jackson Insul., Ursa	

XPS ist, mit überwiegend ähnlichen Eigenschaften wie EPS, ein synthetischer Dämmstoff, als Plattenware in allen Stärken erhältlich, sehr druckfest bei extrem geringer Wasseraufnahme. Einsatz: in Nassbereichen

(als Perimeterdämmung), bei Dächern als Aufdachdämmung und unter Bodenplatten.

Besonderheit der XPS-Wärmeleitfähigkeit

Durch das Herstellungsverfahren Extrusion ist die Plattenstärke auf 20 cm begrenzt. Während die äußere Haut stets fein und dadurch sehr porös ist, nimmt mit zunehmender Plattendicke die Porigkeit im Kern immer mehr ab. Der Effekt – je dicker die Platte desto höher die Wärmeleitfähigkeit, wie das Beispiel Styrodur (BASF) zeigt.

Styrodur-Dicke	λ_D [W/(mK)]
20 mm	0,031
30 mm	0,032
40 mm	0,033
50 mm	0,034
60 mm	0,035
80 mm	0,036
100 mm	0,038
120 mm	0,039
160 mm	0,040
200 mm	0,041

Architekten beachten das nicht immer. In ihren U-Wert-Berechnungen wird XPS in 10 oder 12 cm Stärke vielfach mit einem λ von 0,031 oder gar 0,030 W/(mK) berechnet.

Man könnte nun auf die Idee kommen, dünne Platten mit kleinem λ mehrlagig zu verlegen. Doch dann wird der Wert noch höher (schlechter) und liegt je nach Einbauport (Wand oder unter Bodenplatte) zwischen 0,035 (< 60 mm) und 0,046 (200 mm).

Das liegt an der Fuge zwischen den einzelnen Plattenlagen, die eine Schwachstelle der mehrlagigen Verlegung ist. In der Fuge kann sich dann ein Wasserfilm bilden, der auf lange Sicht einen Feuchtigkeitseintrag in die Dämmplatte bedingt und damit die Dämmfähigkeit senkt.

Flachs

Der Rohstoff Flachs, auch als Lein bekannt, wird seit Jahrhunderten als Nutzpflanze angebaut. Für die Dämmstoffherstellung werden die in der Textilindustrie nicht verwertbaren Kurzfasern eingesetzt. Diese werden nach dem Entfernen der Bastschicht zu einem Faservlies verarbeitet. Dabei dienen die

Zugabestoffe Kartoffelstärke (10 %) als Bindemittel, Borsalz (10 %) als Brandschutz und Polyesterfasern als Stützarmierung bei dickeren Matten.



Als natürlicher, nachwachsender Dämmstoff eignet er sich zum Wiedereinbau, wegen seiner Borsalzipräßnung ist er aber nicht kompostierbar. Damit bleibt am Ende die Deponierung oder Verbrennung. Flachs hat gute Dämmeigenschaften, wirkt feuchteausgleichend und ist alkalibeständig. Der wenig druckfeste und sehr diffusionsoffene Dämmstoff wird als Matte und Platte von 3 bis 20 cm Stärke hergestellt, aber auch als Stopfwohle oder in Rollen geliefert.

Einsatz als Zwischensparrendämmung sowie in Holzständerwänden, Innenwänden und Decken als Hohlraumdämmung. Die Verarbeitung ist unproblematisch.

physikalische Eigenschaften, Hersteller (Marke)	
λ_D [W/(mK)]	0,038 bis 0,045
ρ [kg/m ³]	30 bis 50
c [Wh/(kgK)]	0,444
μ [-]	1 bis 2
Flachshaus, Hempflax, Heraklith, Naturbauhof	

Glaswolle (MW)

Glaswolle besteht aus Quarzsand und zu ca. 60 % aus Altglas, zu 14 % aus Soda, aus Dolomit, Feldspat, Kalkstein und Phenol-Formaldehyd als Bindemittel.

Die Rohstoffe werden in Wannen bei ca. 1.500°C geschmolzen und anschließend in eine Zerkleinerungsmaschine geleitet, die je nach Hersteller unterschiedlich arbeitet. So wird z.B. beim Blasverfahren die Schmelze als dünner Strahl angeblasen und so zerkleinert. Dabei wird das in Wasser gelöste Bindemittel zugeführt. Das Wasser verdampft und die Fasern kühlen so schnell ab, dass sie

glasig erstarren. Die Fasern werden abschließend geschichtet und zur Aushärtung des Bindemittels bei 200 bis 250°C getrocknet.

Glaswolle ist ein synthetischer Dämmstoff, dessen Rohstoffe weltweit noch ausreichend zur Verfügung stehen. Sie eignet sich zum Wiedereinbau, ansonsten muss sie verbrannt werden. Sie ist sehr diffusionsoffen, feuchteempfindlich und relativ preisgünstig in Stärken bis zu 20 cm als Matten- und Rollenware in der ihr typisch gelben Farbe erhältlich.

Sowohl innen als außen vielseitig einsetzbar: beim Schrägdach, an der Fassade, bei Innenwänden oder in Hohlräumen. Da Faserstäube freigesetzt werden, die einen Juckreiz verursachen können, ist die Verarbeitungsempfehlung, u.a. Schutzbrille und Handschuhe zu nutzen. Die heute kurzen Fasern sollen nicht mehr krebserregend sein, und nach einem fachgerechten Einbau liegen die Faserstaub-Emissionen klar unter der Nachweisgrenze.

physikalische Eigenschaften, Hersteller (Marke)	
λ_D [W/(mK)]	0,032 bis 0,040
ρ [kg/m ³]	13 bis 100
c [Wh/(kgK)]	0,233
μ [-]	1 bis 2
Knauf, Saint Gobain, Superglass, Ursal	

Hanf

Hanf (Cannabis sativa) gehört in Europa zu den Pflanzen mit der längsten Anbautradition. Nachdem er lange Zeit verboten war, dürfen in Deutschland seit 1996 rauschgiftarme Sorten wieder kultiviert werden. Aus den Fasern werden unter Zugabe von bis zu 5 % Soda (als Brandschutzmittel) und bis zu 10 % Stützfasern (übrigens meist aus Polyester) Dämmvliese hergestellt.

Als natürlicher Dämmstoff ist Hanf widerstandsfähig gegen Schädlinge und Schimmelpilz, sehr diffusionsoffen und hat eine sehr hohe Wärmespeicherkapazität. Er wird in Form von Rollen oder Matten und Platten von 3 - 22 cm und auch als Einblasdämmung geliefert. Er lässt sich problemlos verarbeiten und eignet sich zum Wiedereinbau.

Einsatz als Zwischensparrendämmung sowie in Holzständer- und Innenwänden sowie in Decken als Hohlraumdämmung.

physikalische Eigenschaften, Hersteller (Marke)	
λ_D [W/(mK)]	0,040 bis 0,048
ρ [kg/m ³]	35 bis 50
c [Wh/(kgK)]	0,650
μ [-]	1 bis 2
Hempflax, Hock, Naporo, Steico, Thermo Natur	

Holzfaser (WF)

Vor allem Resthölzer aus der Sägeindustrie werden zerkleinert und durch Einsatz von Wasser und vergleichsweise viel Energie zu einem feinen Holzfaserbrei verarbeitet. Der Brei wird in Pressen zu Platten geformt und dann getrocknet, wobei die Platten überwiegend durch die holzeigenen Naturharze zusammenhalten.



Je nach Herstellungsverfahren werden Latex oder Wachs mit Aluminiumsulfat sowie Borsäure als Schädlings- und Brandschutz zugesetzt. Je nach Einsatzgebiet werden die Platten zur Feuchteresistenz mit einer Bitumen- oder Naturharzemulsion hydrophobiert.

physikalische Eigenschaften, Hersteller (Marke)	
λ_D [W/(mK)]	0,040 bis 0,050
ρ [kg/m ³]	110 bis 270
c [Wh/(kgK)]	0,583
μ [-]	3 bis 10
Agepan, Gutex, Homatherm, Pavatex, Steico	

Als natürlicher Dämmstoff ist er kompostierbar oder zum Wiedereinbau geeignet, wird vorwiegend als Platte (0,6 bis 20 cm) angeboten und ist diffusionsoffen. Einsatz der Platten im Innen- und Außenbereich: z.B. zwischen den Sparren als Vollsparrendäm-

mung, mehrlagig als Aufdachdämmung, für Außen- und Innenwände oder für Trockenfußböden – mit sehr guten Schallschutzeigenschaften. Mit hoher Rohdichte und Wärmekapazität bietet sie einen guten sommerlichen Wärmeschutz (www.holzfaser.org).

Kalziumsilikatschaum

Seit mehr als 25 Jahren auf dem Markt, erfolgt die Herstellung aus porösen Kalksilikaten und Zellulose (ca. 5 %).

Als natürlicher Dämmstoff, dessen Rohstoffe weltweit noch ausreichend zur Verfügung stehen, kann er recycelt werden. Die Platte ist nicht brennbar und besonders diffusionsoffen, sie nimmt also Feuchtigkeit gut auf und gibt sie leicht wieder ab.

Einsatz im Innenbereich bei Modernisierungen ohne Dampfbremse: als nachträgliche Innendämmung von Außenwänden bei denkmalgeschützten Gebäuden und bei der innenseitigen Sanierung von feuchten Mauern. Problemlose Verarbeitung.

physikalische Eigenschaften, Hersteller (Marke)	
λ_D [W/(mK)]	0,045 bis 0,067
ρ [kg/m ³]	130 bis 310
c [Wh/(kgK)]	0,278
μ [-]	3 bis 20
Cellco, Calsitherm, Epasit, Knauf, Redstone	

Kork (ICB)

Kork ist abgestorbenes Zellgewebe der Korkenziehe, die vor allem in Portugal, Spanien und Nordwestafrika angebaut wird. Der Rohkork wird getrocknet, zerkleinert und unter Luftabschluss und Druck bei 370°C heißem Wasserdampf ausgedehnt. Dabei klebt das Granulat durch korneigene Harze zusammen.



Es werden auch Produkte angeboten, bei denen das Korkgranulat mit künstlichen Klebern zu Platten verklebt wird. Bei der Ausdehnung entsteht Phenol. Kork entwickelt oft einen starken Eigengeruch, wobei auch krebserregende Substanzen (PAK) auftreten können.

Als natürlicher Dämmstoff ist er trotzdem selten wieder einsetzbar. Er ist vergleichsweise diffusionsoffen und wird meist als Platte bis 12 cm Stärke oder als Korkschat angeboten. Einsatz der Platten: bei Fassaden, aber auch bei Fußböden (unter dem Estrich) oder als Schüttung (Korkschat). Die Verarbeitung ist problemlos.

physikalische Eigenschaften, Hersteller (Marke)	
λ_D [W/(mK)]	0,040 bis 0,044
ρ [kg/m ³]	95 bis 160
c [Wh/(kgK)]	0,500
μ [-]	5 bis 25
Capatect, Cellco, DIB Potthast, Haacke, Henjes	

Mineralschaum

Die Grundstoffe dieses Produkts sind Quarzsand, Zement, Kalkhydrat, Anhydrit, Proteinschaum, Hydrophobiermittel und Wasser. Die Aushärtung der Platten erfolgt in Dampfdruckkesseln. Ihnen wird danach in einem Trocknungsverfahren die Feuchtigkeit entzogen.



Als synthetischer Dämmstoff, dessen Rohstoffe weltweit noch ausreichend zur Verfügung stehen, eignet er sich nicht zum Wiedereinbau, sondern wird in Bauschuttdeponien entsorgt. Die Platte ist feuchteunempfindlich, diffusionsoffen und in Stärken von 6 bis 20 cm erhältlich.

Einsatzgebiet: besonders geeignet für Fassaden- und grundsätzlich für alle Außenwanddämmungen, aber auch bei Dach- und

unterseitigen Deckendämmungen einsetzbar. Problemlose Verarbeitung.

physikalische Eigenschaften, Hersteller (Marke)	
λ_D [W/(mK)]	0,045 bis 0,060
ρ [kg/m ³]	85 bis 115
c [Wh/(kgK)]	0,361
μ [-]	3 bis 5
Dennert, Multipor, Redstone, Xella	

Mineralwolle (MW)

Mineralwolle oder auch Mineralfaser ist der Sammelbegriff für die künstlichen Faserdämmstoffe Glas- und Steinwolle mit den Ausgangsstoffen Quarzsand/Altglas bzw. Gestein (siehe Glaswolle und Steinwolle).

Nanogel (Aerogel)

Es wird vorwiegend aus Silikaten hergestellt, die unter Zugabe eines Katalysators gelieren. Das Gel wird dann unter hohem Aufwand zu einer spröde-festen Konsistenz getrocknet. Dieses „Sol-Gel-Verfahren“ wurde schon um 1930 entwickelt und immer weiter verbessert. Heute sind Porengrößen im Nanometerbereich von bis zu fünf Millionstel Millimetern möglich.

Das Gel hat sehr gute Wärmedämmeigenschaften, ist gut schalldämmend und temperaturbeständig bis 1.200°C. Es ist beständig gegen Feuchtigkeit und zeigt auch bei dauernder Einwirkung von UV-Strahlung keine Verfärbungen. Nanogel ist sehr teuer.



Dieser Dämmstoff ist sehr diffusionsoffen und nicht brennbar. Als Granulat (Schütt- oder Einblasdämmung) ist Nanogel ideal für Hohlräume, die wegen räumlicher Begrenzungen nur sehr geringe Dämmstoffdicken zulassen, was auch für die Kerndämmung schmaler Luftschichten z.B. hinter Klinkerfassaden gilt.

Als (extrem dünne Platte im Millimeterbereich) wird Aerogel innen und außen (Böden, Decken, Wände) eingesetzt. Als Granulat hat es bisher keine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung.

physikalische Eigenschaften, Hersteller (Marke)	
λ_D [W/(mK)]	0,017 bis 0,021
ρ [kg/m ³]	85 bis 95
c [Wh/(kgK)]	0,222
μ [-]	2 bis 3
Agitec, Aspen, Beck&Heun, Cabot Industries, Sto	

Phenolharzschaum (PF)

Die Rohstoffe sind Phenolharz und Pentan als Treibmittel. Das Phenolharz (Kunstharz) wird mit dem Treibmittel und einem Härter gemischt und in kontinuierlichen Verfahren als Bandware geschäumt. Der zunächst viskose Schaum wird dabei zur Fixierung beidseitig mit Glasvliesen kaschiert.

Aus Phenolharz wurden schon 1909 erste Kunststoffe (Bakelit) entwickelt. Dämmplatten, auch als Resol-Hartschaumplatten bezeichnet, gibt es seit den 1970er Jahren. Sie haben sehr gute Dämmeigenschaften (besser als PU), sind beständig gegen Chemikalien, Insekten und Nagetiere und einigermmaßen druckfest sowie dampfbremsend.

Direkter Kontakt mit Feuchtigkeit ist zu vermeiden, da sich dann aus dem Phenol Sulfonsäure lösen kann, die zu Korrosionsschäden führt. Die Verarbeitung ist sonst problemlos. Die Platten werden vor allem bei Dächern und Außenwänden (vorgehängte hinterlüftete Fassade) eingesetzt.

physikalische Eigenschaften, Hersteller (Marke)	
λ_D [W/(mK)]	0,021 bis 0,025
ρ [kg/m ³]	30 bis 100
c [Wh/(kgK)]	0,472
μ [-]	20 bis 60
Austrotherm, Kingspan, Meha Dämmstoffe, Sto	

Polyurethan-Hartschaum (PU)

Die Ausgangsprodukte sind Erdöl und Ribenzucker. In einer komplexen Prozesskette unter massivem Einsatz der Chlorchemie und von Flammenschutzmitteln werden Platten

wie bei den XPS mit den Treibmitteln CO₂ oder Pentan aufgeschäumt.

Die Polyurethan-Hartschaumplatten haben nach den Phenolharzschaumplatten die niedrigste Wärmeleitfähigkeit und werden auch noch mit PUR bzw. PIR bezeichnet. Der kleine Unterschied: Bei PIR ist der (auch bei PUR enthaltene) Anteil am Grundstoff Isocyanat erhöht, wodurch eine bessere Form- und auch Temperaturbeständigkeit erreicht wird. Seit 2013 werden die gemäß EN 13165 hergestellten Produkte unter der Oberbezeichnung PU zusammengefasst.

PU ist ein künstlicher Dämmstoff, dessen Rohstoffe nur noch eingeschränkt zur Verfügung stehen. Er ist nicht feuchteempfindlich, dampfbremsend und kann nur über Müllverbrennungsanlagen entsorgt werden.

Als Plattenware u.a. mit beidseitiger Alukaschierung erhältlich, liegen die Einsatzgebiete vor allem in den Bereichen, wo eine hohe Druckfestigkeit erforderlich ist – so z.B. als Perimeter- oder Aufdachdämmung – und wo konstruktiv für eine starke Dämmung mit Materialien durchschnittlicher Wärmeleitfähigkeit wenig Platz vorhanden ist. Beim Zuschneiden der Platten wird empfohlen, das Einatmen der Stäube zu vermeiden.

Auch aus PU bestehen Ort- und Montageschäume. Sie sind nicht beständig gegen Sonnenlicht, nehmen Feuchtigkeit auf und vertragen keinen Frost. Beim Einbau werden Di-Isocyanate frei, die Atemwegserkrankungen hervorrufen können (in Österreich anerkannt als Berufskrankheit). Bei der Verarbeitung sind gute Durchlüftung und Atemschutz zu empfehlen. Bessere Dichtungsalternativen für Fenster oder Türen sind Hanf-, Baumwolle- oder Flaszöpfe.

physikalische Eigenschaften, Hersteller (Marke)	
λ_D [W/(mK)]	0,024 bis 0,030
ρ [kg/m ³]	50 bis 230
c [Wh/(kgK)]	0,417
μ [-]	40 bis 200
Bachl, Bauder, Bosig, Caparol, Puren, Soniflex	

Besonderheit der PU-Wärmeleitfähigkeit

Die Platten werden bis 30 cm Dicke hergestellt. Im Gegensatz zu XPS nimmt die Wär-

meleittfähigkeit mit zunehmender Dicke ab, die Wärmedämmung also zu.

Dicke	λ_D [W/(mK)]
< 80 mm	0,028
> 80 mm	0,027
> 120 mm	0,026

Alukaschierte PU-Dämmplatten, die als einlagige Aufdachdämmung eingesetzt werden, erreichen mit $\lambda = 0,024$ W/(mK) und einer Dicke von 20 cm einen passivhaustauglichen U-Wert unter 0,12 W/(m²K).

Schafwolle

Die Wolle, die entweder heimisch ist oder aus Neuseeland importiert wird, wird mit Kernseife und Soda gewaschen, mit Motten- und Käferschutzmitteln versehen und mechanisch zu Vliesen und Filz vernadelt.

Dieser natürliche Dämmstoff eignet sich zum Wiedereinbau. Er ist wegen der Borsalz-impregnierung nicht deponierbar. Der feuchteempfindliche und diffusionsoffene Dämmstoff wird als Dämmfilz, Matte oder Stopfwolle angeboten. Einsatz der Matten: im Schrägdach als Dämmung zwischen den Sparren, in Holzständeraußen- und Trennwänden zur Hohlraumdämmung. Einsatz der Stopfwolle: In Ritzen und Hohlräumen. Die Verarbeitung ist unproblematisch.

physikalische Eigenschaften, Hersteller (Marke)	
λ_D [W/(mK)]	0,040 bis 0,045
ρ [kg/m ³]	25 bis 50
c [Wh/(kgK)]	0,333
μ [-]	1 bis 5
Alchimea, Baur, Doscha, fiwo, Isolena	

Schaumglas (CG)

Die Ausgangsprodukte entsprechen der Glasherstellung (Quarzsand, Feldspat, Kalk, Soda, auch viel Altglas). Bei 1.400°C wird eine Glaschmelze hergestellt, wieder abgekühlt, zerkleinert und zu Glaspulver gemahlen. Unter Zugabe von Kohlenstoff wird das Pulver erneut auf über 1.000°C erhitzt, wobei der Kohlenstoff oxidiert und Gasblasen bildet, die das Gemisch aufschäumen. Der synthetische Dämmstoff enthält keine Treibgase,

Binde- oder Flammschutzmittel und wurde bereits in den 1940er Jahren entwickelt.

Die Rohstoffe stehen weltweit noch ausreichend zur Verfügung, er eignet sich aber nicht zum Wiedereinbau und muss auf Bauschuttdeponien entsorgt werden. Schaumglas ist absolut feuchteunempfindlich und diffusionsdicht.



Sehr gut geeignet für feuchtigkeitsempfindliche Gebäudeteile wie z.B. Flachdächer oder erdreichberührte Bauteile (Perimeterdämmung) bei problemloser Verarbeitung.

physikalische Eigenschaften, Hersteller (Marke)	
λ_D [W/(mK)]	0,040 bis 0,050
ρ [kg/m ³]	100 bis 165
c [Wh/(kgK)]	0,278
μ [-]	dampfdicht
Deutsche Foamglas, Glapor	

Steinwolle (MW)

Steinwolle wird seit 1935 produziert und besteht zu 97 % aus Basalt, Diabas und Dolomit. Sie wird ansonsten über eine Schmelze von 1.400°C ähnlich wie die Glaswolle hergestellt.



Steinwolle ist ein synthetischer Dämmstoff, dessen Rohstoffe weltweit noch ausreichend zur Verfügung stehen. Sie eignet sich zum Wiedereinbau, ansonsten muss sie

verbrannt werden. Sie ist sehr diffusions-offen, feuchteempfindlich und in Stärken bis 18 cm als Platten- und Mattenware erhältlich.

Sowohl innen wie außen überall einsetzbar: beim Flach- und Schrägdach, an der Fassade, als Trittschalldämmung im Estrichbereich, bei Innenwänden und in Hohlräumen. Für die Faserstäube gelten die gleichen Aussagen wie zur Glaswolle.

physikalische Eigenschaften, Hersteller (Marke)	
λ_D [W/(mK)]	0,032 bis 0,040
ρ [kg/m ³]	20 bis 165
c [Wh/(kgK)]	0,233
μ [-]	1 bis 2
Isover, Knauf, Paroc, Rockwool, Sto, Vedag	

Vakuum-Dämmung (VIP)

Vakuum-Isolations-Paneele (VIP) bestehen aus einer gasdichten Hülle (vakuum- und wasserdampfdichte Kunststoffolie, die metallisch bedampft ist) und einem druckstabilen Kern, der aus mikroporösem Kieselsäurepulver (SiO₂) und einem Trübungsmittel besteht und evakuiert ist. So wird eine Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0,004$ bis $0,008$ W/(mK) erreicht.

Vakuum ist der beste Wärmeschutz und wird seit langem bei der Thermoskanne genutzt. Die VIP wurde als evakuierte Dämmplatte speziell für den Baubereich entwickelt und ist rund 5- bis 10-mal besser als herkömmliche gute Dämmstoffe, sodass sich bereits mit sehr dünnen Platten hervorragende Dämmwirkungen erzielen lassen.



Auf dem Markt sind Produkte mehrerer Hersteller verfügbar, wobei das Angebot der Plattenstärken von 10 bis 50 mm reicht.

Standardlieferformate sind u.a. 100 x 60, 120 x 50 und 60 x 50 cm. Da die Platten aber

nicht geschnitten werden dürfen, sind die zu dämmenden Flächen vorher genau zu vermessen, um über die Standardformate hinaus entsprechende Sonderformate anfertigen und liefern zu können. Ihr Flächengewicht ist mit 2 bis 10 kg/m² sehr niedrig. Zur Entsorgung gibt es noch keine Aussagen. Es ist davon auszugehen, dass sich das Vakuum auf Dauer nicht vollständig aufrechterhalten lässt. Rechnerisch erhöht sich das λ nach 25 Jahren auf ca. 0,006 bis 0,012 W/(mK).

Einsatz überall dort, wo kein Platz für die Materialstärken der Standarddämmstoffe ist und wo kritische Bereiche am Bau nur ungenügend oder überhaupt nicht gedämmt werden können, vor allem im Bereich der Sanierung: hinter Heizkörpern, als Bodendämmung, für Balkone, Türfüllungen, Dachgauben, aber auch für die WDVS. Statt 20 cm üblichem Dämmstoff mit $\lambda = 0,040$ W/(mK) reichen ja nun gerade 2 bis 4 cm VIP.

Da die Platten nicht zerschnitten werden dürfen, werden sie auch mit XPS- oder PU-Anpassstreifen geliefert.



Zudem bieten Hersteller die Platten mit zusätzlichen Deckschichten aus Sperrholz, GFK, Gummi, Perliten, PU, XPS oder EPS an, die gebrauchstauglich sind und Designwünsche erfüllen.

physikalische Eigenschaften, Hersteller (Marke)	
λ_D [W/(mK)]	0,004 bis 0,008
ρ [kg/m ³]	190 bis 220
c [Wh/(kgK)]	0,292
μ [-]	dampfdicht
Porextherm, Vaku-Isotherm, Va-Q-tec, Variotec	

Zellulose

Sie wird aus sortiertem Zeitungspapier hergestellt. Altpapier wird in mehrstufigen Zerreiß- und Mahlverfahren zerfasert und zum Schutz gegen Brand, Ungeziefer und Mäuse mit ca. 8 % Borsalzen vermischt. Seit über 85

Jahren wird sie erfolgreich u.a. in Kanada und Skandinavien genutzt.

Ein natürlicher Dämmstoff (da Recyclingprodukt), der sich trotzdem nicht zum Wiedereinbau eignet. Er ist feuchteempfindlich und sehr diffusionsoffen und ist wegen der Borsalzimprägnierung nicht deponierbar.

Zellulose wird als Platte, überwiegend jedoch lose als Schüttung (watteartige Flocken) oder zum Einblasen in Hohlräume angeboten. Zur Plattenherstellung werden die Flocken mit Stützfasern und Bindemitteln vermengt, unter Einwirkung von Wasserdampf gepresst und nach der Trocknung zugeschnitten. Einsatz: als Dämmung zwischen den Sparren, in Holzständeraußenwänden, in und vor allem auf Obergeschossdecken, in Fußböden und in Trennwänden. Dabei ist darauf zu achten, dass keine Hohlräume entstehen. Bei Verwendung von Plattenware lassen sich Hohlräume vermeiden, da der Einbau kontrollierbar ist. Bei der Verarbeitung ist eine starke Staubbildung möglich.

physikalische Eigenschaften, Hersteller (Marke)	
λ_D [W/(mK)]	0,039 bis 0,042
ρ [kg/m ³]	30 bis 60
c [Wh/(kgK)]	0,597
μ [-]	1 bis 2
Dämmstatt, Homatherm, Isocell, Isofloc, Warmcel	

Kosten

Die Auswahl des geeigneten Dämmstoffs ist komplex. Zu beachten sind im Wesentlichen vier Anforderungen, nämlich an

- den Einsatzbereich (konstruktiv)
- die Bauphysik (winterlicher und sommerlicher Wärmeschutz, Schallschutz, Brandschutz)
- die Ökologie (Rohstoff, Herstellung, Entsorgung, Nachhaltigkeit) und
- die Ökonomie (Kosten).

Die Preisunterschiede sind erheblich: Bei einer Dämmstärke von 10 cm sind je m² etwa zwischen 10 und 80 Euro zu investieren. Günstig ist EPS. Etwas teurer sind z.B. Zellulose, Glas- und Steinwolle, Hanf oder Flachs. Klar darüber liegen Holzfaser, XPS, PU oder Mineralschaum. Kostenintensiv sind

Schaumglas und Kalziumsilikat. Ganz aus dem Rahmen fallen Nanogel und Vakuumdämmung als sehr teure Sonderanwendungen. Da auch die Wärmeleitfähigkeiten sehr unterschiedlich sind, ist ein Preisvergleich – am besten in Bezug auf den gleichen Ziel-U-Wert – unumgänglich.

Weitere Dämmstoffe

Wie eingangs erwähnt, gibt es vor allem im Bereich der natürlichen Dämmstoffe noch einige mehr, auf die hier aber nicht im Detail eingegangen wird, da das den Rahmen des Buches sprengt: Wärmedämmung ist nur ein Aspekt des energiesparenden Bauen und Sanierens. Und, gleich ob Baumwolle, Blähglimmer, Getreidegranulat, Jute, Kokosfaser, Seegras, Schilfrohr oder Stroh – alle Dämmstoffe sind noch so selten, dass es nur selten verlässliche Angaben zu Herstellern und bauphysikalischen Daten gibt.

Je nach Bedarf wird deshalb empfohlen, sich zum jeweils bevorzugten Dämmstoff Informationen und vor allem Bezugsquellen und Preise über das Internet zu besorgen.

Sanierungsfall Hohlräume

Im Gebäudebestand wird die Bedeutung von Hohlräumen vielfach unterschätzt. Dabei lassen sich zahlreiche finden, die mit Schütt- oder Einblasdämmstoffen einfach, preiswert und schnell zu dämmen sind.



Es geht um Hohlräume in vorgehängten Fassaden, in Hohl-schicht-mauerwerk (typische norddeutsche Klinkerfassade → S. 68), in Trennfugen zwischen Gebäuden, in hohlen Decken über dem Keller, in Kehlbalkendecken und in obersten Geschossdecken über beheizten Räumen. Eine Potenzialstudie zeigt, dass für die Füllung aller Hohlräume in deutschen Altbauten ca. 165 Mio. m³ Dämmstoff erforderlich sind.

Während bei Neubau und Sanierung im Regelfall Matten- oder Plattenware zum Einsatz kommt, ist hier schütt- und einblasfähiges Dämmmaterial gefragt.

Bekannt sind rund 30 Schüttdämmstoffe; die Auswahl reicht von Dinkel-Spelzen bis hin zu diversen Hanf-Mischungen mit Lehm oder Blähton. Am häufigsten eingesetzt werden Blähperlite und Blähton. Wichtige Kriterien bei Schüttdämmstoffen sind die Korn-

größe sowie die Fließfähigkeit und natürlich die Wärmeleitfähigkeit.

Die Einblasdämmung ist eine Schlüsseltechnologie der Altbausanierung. Einige der zuvor im Detail beschriebenen Dämmstoffe gibt es auch zum Einblasen; insgesamt kennt der Markt bis zu 25 Produkte. Für die Auswahl des geeigneten Einblasdämmstoffs sind die Stärke der Hohlschicht und die Anzahl der Bohrlöcher entscheidend.

Übersicht und Vergleich der im Detail beschriebenen Wärmedämmstoffe

	λ_D [W/(mK)]	* Dicke [cm]	ρ [kg/m³]	μ [-]	c Wh/(kgK)
Blähglas	0,070 - 0,120	50,0	125 - 400	4 - 5	0,250
Bläh-Perlite (EPB)	0,040 - 0,065	28,6	50 - 200	2 - 4	0,278
Exp. Polystyrol (EPS)	0,031 - 0,050	22,1	15 - 30	20 - 100	0,417
Extr. Polystyrol (XPS)	0,031 - 0,041	22,1	25 - 45	80 - 250	0,389
Flachs	0,038 - 0,045	27,1	30 - 50	1 - 2	0,444
Glaswolle (MW)	0,032 - 0,040	22,9	13 - 100	1 - 2	0,233
Hanf	0,040 - 0,048	28,6	35 - 50	1 - 2	0,650
Holzfaser (WF)	0,040 - 0,050	28,6	110 - 270	3 - 10	0,583
Kalziumsilikat	0,045 - 0,067	32,1	130 - 310	3 - 20	0,278
Kork (ICB)	0,040 - 0,044	28,6	95 - 160	5 - 25	0,500
Mineralschaum	0,045 - 0,060	32,1	85 - 115	3 - 5	0,361
Nanogel (Aerogel)	0,017 - 0,021	12,1	85 - 95	2 - 3	0,222
Phenolharzschaum (PF)	0,021 - 0,025	15,0	30 - 100	20 - 60	0,472
Polyurethan (PU)	0,024 - 0,030	17,1	50 - 230	40 - 200	0,417
Schafwolle	0,040 - 0,045	28,6	25 - 50	1 - 5	0,333
Schaumglas (CG)	0,040 - 0,050	28,6	100 - 165	dampfdicht	0,278
Steinwolle (MW)	0,032 - 0,040	22,9	20 - 165	1 - 2	0,233
Vakuum (VIP)	0,004 - 0,008	2,9	190 - 220	dampfdicht	0,292
Zellulose	0,039 - 0,042	27,9	30 - 60	1 - 2	0,597

- * Dämmstoffdicke in cm, um unter der Annahme des jeweiligen Bestwertes der Wärmeleitfähigkeit λ_D einen zu Vergleichszwecken äquivalenten U-Wert von 0,14 W/(m²K) zu erreichen.

3.3.3 Sommerlicher Wärmeschutz

Durch die zunehmende Klimaerwärmung spielt der sommerliche Wärmeschutz eine immer größere Rolle. Er hat die Aufgabe, an heißen Sommertagen die Temperatur in den Räumen – vor allem in Wohnräumen im Dachgeschoss – auf einem erträglichen Niveau ($\leq 26^\circ\text{C}$) zu halten und eine aktive Kühlung durch Klimaanlage, die teuren Strom kostet, möglichst zu vermeiden.

Dazu einzuhalten sind die Anforderungen aus der DIN 4108-2 „Mindestanforderungen an den Wärmeschutz ... und an den sommerlichen Wärmeschutz“. Zu begrenzen sind entweder die Sonneneintragskennwerte oder die Übertemperatur-Gradstunden. Die Einhaltung der Übertemperatur-Gradstunden wird durch eine von der Norm vorgegebenen Simulationsrechnung nachgewiesen.

Der Sonneneintragskennwert wird aus einem Basiskennwert ermittelt, der von der jeweiligen Klimaregion abhängt, in der das Gebäude steht. Dieser Basiskennwert wird um verschiedene Korrekturwerte, die z.B. Bauart, Neigung und Orientierung sowie Verschattung der Fensterflächen und die Art der Verglasung berücksichtigen, erhöht oder vermindert.

Damit bei Neubauten, aber auch bei umfassenden energetischen Sanierungen die Mindestanforderungen eingehalten werden, sollten schon im Vorfeld der Planung alle Faktoren beachtet und beeinflusst werden, welche die Raumtemperatur an heißen Sommertagen bestimmen.

Sonneneinstrahlung durch Fenster

Die größte Rolle spielen die Fenster. Die Intensität der einfallenden Sonnenstrahlung wird durch den Anteil der Fensterflächen an der Außenwand- und/oder Dachfläche bestimmt. Auch das Verhältnis der Fensterfläche zur Grundfläche eines Raums spielt eine Rolle.

Hinzu kommen Orientierung (Himmelsrichtung), Neigung, Art der Verglasung und Rahmenanteil der Fenster.

Durch Sonnenschutzmaßnahmen bei der Verglasung (Sonnenschutzglas mit einem

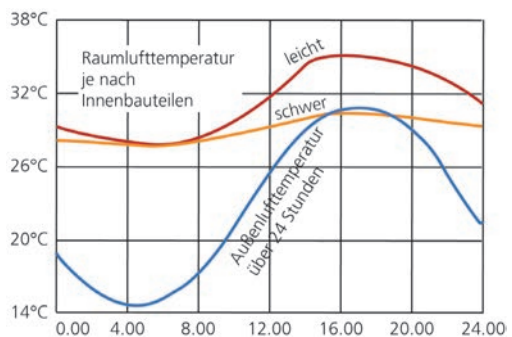
niedrigen g-Wert) oder an den Fenstern (außen angebrachte Jalousien, Markisen, Roll-, Schiebe- oder Klapppläden), aber auch durch baulich konstruktive Maßnahmen (z.B. größerer Dachüberstand, Balkone, umlaufende Auskragungen, PV-Elemente), kann das Eindringen von solarer Strahlungsenergie – gerade in den Sommermonaten mit einer steil am Himmel stehenden Sonne – und damit die Aufheizung von Räumen spürbar reduziert werden. In Kapitel 7 „Fenster und Türen“ wird noch genauer auf diese Aspekte eingegangen.

Nächtliche Lüftung

Wichtig ist auch eine gute Belüftung der Räume in der Nacht. Auf diese Weise wird die in den Wänden, im Fußboden und in Decken tagsüber gespeicherte Wärme wieder abgeführt. Diese „Speichermassen“ können am nächsten Tag Sonnenenergie aufnehmen, wodurch die Raumtemperatur abgesenkt wird. Von Vorteil ist hier eine kontrollierte (Bedarfs-)Lüftung (→ S. 136).

Schwere Innenbauteile

Im Sommer schwankt die Außenlufttemperatur vergleichsweise stark in einem 24-Stunden-Rhythmus.



Die Raumlufthtemperatur hängt dann auch vom Wärmespeichervermögen der Innenbauteile ab. So speichert ein schweres Bauteil (Beton oder Kalksandstein) die Wärme besser als ein leichtes und ein stärkeres Bauteil kann mehr Wärme aufnehmen als ein Schmales.

Einfluss von Wärmedämmung

Eine gute Wärmedämmung sorgt dafür, dass die Wärme im Winter nicht von innen nach außen „abfließt“. Das ist genauso unbestritten wie die Tatsache, dass eine von außen gedämmte Wand für einen guten sommerlichen Wärmeschutz sorgt, da die Wärme nicht von außen nach innen „eindringt“.

Dagegen streiten Gelehrte wie Hersteller wenn es darum geht, ob für den sommerlichen Wärmeschutz in den leichten Holzkonstruktionen (z.B. Dachschrägen, Fertighauswände) die Speicherfähigkeit von Dämmstoffen eine Rolle spielt oder nicht.

Hersteller von Schaumkunststoffen und Mineralwolle, die eine geringe Wärmespeicherkapazität c bei gleichzeitig geringem Gewicht (kleine Rohdichte) haben, sagen, die Speicherfähigkeit von Dämmstoffen sei „vernachlässigbar gering“. Dagegen stellen die Hersteller der schweren Dämmstoffe wie z.B. Holzfaser, Hanf oder Zellulose (die gleichzeitig eine sehr hohe Wärmespeicherkapazität haben) fest, dass es keinen besseren sommerlichen Wärmeschutz gibt.

In diesem Zusammenhang geht es um zwei Begriffe: Die Phasenverschiebung und das Temperaturamplitudenverhältnis (TAV).

Phasenverschiebung

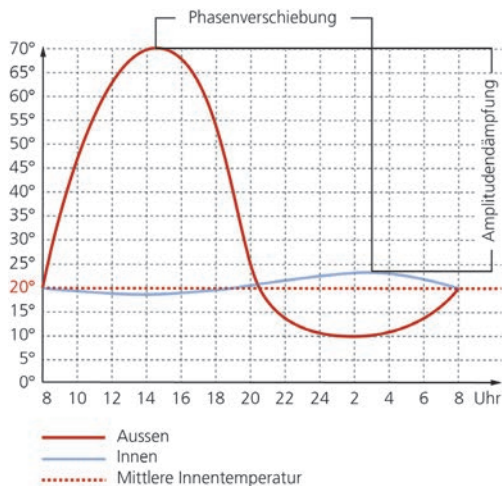
Während des Tagesverlaufs schwankt die Außentemperatur zwischen einem Maximalwert am Nachmittag und einem Minimalwert in den frühen Morgenstunden. Die Raumlufttemperatur folgt der Außenlufttemperatur mit einer bestimmten zeitlichen Verzögerung. Dieser zeitliche Versatz wird als Phasenverschiebung bezeichnet.

Bei einem massiven Gebäude mit hoher Speichermasse ist die zeitliche Verschiebung zwischen der max. Außenluft- und Raumlufttemperatur größer als bei einem Gebäude in Leichtbauweise, da die Wärme in den Bauteilen gepuffert werden kann.

Temperaturamplitudenverhältnis (TAV)

Das Verhältnis der max. Temperaturschwankung an der inneren Bauteiloberfläche zur max. Schwankung an der äußeren Bauteiloberfläche wird als Temperaturamplitudenverhältnis (TAV) bezeichnet.

Das Verhältnis sollte möglichst klein sein.



Während nun TAV und Phasenverschiebung beim gesamten Gebäude einen messbaren Einfluss auf den sommerlichen Wärmeschutz haben sollen, wird dies einzelnen Bauteilen und damit auch Bauteilschichten aus Dämmstoffen abgesprochen.

Wie eingangs erwähnt, geht es beim sommerlichen Wärmeschutz im direkten Zusammenhang mit Dämmstoffen vor allem um Wohnräume im Dachgeschoss. Natürlich müssen hier zuerst alle Dachfenster von außen zu verschatten sein und selbstverständlich ist eine Nachtlüftung sehr sinnvoll.

Die größte Hüllfläche, die im Winter die Wärme drinnen und im Sommer draußen halten soll, ist hier das nach oben raumabschließende Dach. Und das besteht (bis auf die innere Verkleidung, ein paar Sparren und den Dachziegel) aus nichts weiter als Wärmedämmung.

Die praktische Erfahrung zeigt, dass hier eine Dämmung mit großem Gewicht und hoher Wärmekapazität durchaus einen spürbaren Beitrag zum sommerlichen Wärmeschutz liefert, wobei auch eine große Dämmstärke wichtig ist.

Wärmespeicherzahl S

Die Dauer der Phasenverschiebung lässt sich durch die Wärmespeicherzahl S recht anschaulich darstellen.

Dabei gilt als Faustregel: Je höher die Rohdichte, desto größer die Wärmespeicherzahl und desto länger die Phasenverschiebung. Natürliche Dämmstoffe haben eine höhere Rohdichte und Wärmekapazität als synthetische Dämmstoffe und bieten gerade im Dach den besseren sommerlichen Wärmeschutz. Es gilt die Gleichung: $S \text{ [Wh/m}^3\text{K]} = \text{Wärmekapazität } c \text{ [Wh/kgK]} \times \text{Rohdichte } \rho \text{ [kg/m}^3\text{]}$

Dämmstoffe	c [Wh/(kgK)]	ρ [kg/m ³]
Hanf, Jute	0,652	35 - 40
Zellulose	0,597	40 - 60
Holzfaser (WF)	0,583	40 - 270
Kork (ICB)	0,500	100 - 220
Flachs	0,461	30 - 50
EPS, PU	0,417	15 - 100
XPS	0,389	25 - 45
Schaumglas (CG)	0,236	115 - 220
Glaswolle (MW)	0,233	13 - 100
Baustoffe	zum Vergleich	
Porenbetonstein	0,292	350
Ziegelstein	0,255	630
Kalksandstein	0,244	1.200
Beton	0,277	2.000
Naturstein	0,277	3.500

Die Dämmstoffe sind in der Reihenfolge ihrer spezifischen Wärmekapazität gelistet. Sie haben (außer Schaumglas und Glaswolle) im Vergleich mit den massiven Baustoffen hohe Werte. Umgekehrt verhält es sich mit den Rohdichten. Die massiven Baustoffe sind zum Teil um ein Vielfaches schwerer als die Dämmstoffe.

Durch Multiplikation von Kapazität und Rohdichte lassen sich nun die Wärmespeicherzahlen S errechnen und vergleichen:

■ Holzfaser (mit 180 kg/m ³)	105 Wh/(m ³ K)
■ Hanf (mit 40 kg/m ³)	26 Wh/(m ³ K)
■ Zellulose (mit 40 kg/m ³)	24 Wh/(m ³ K)
■ Glaswolle (mit 40 kg/m ³)	9 Wh/(m ³ K)
■ EPS (mit 20 kg/m ³)	9 Wh/(m ³ K)
■ Naturstein	970 Wh/(m ³ K)
■ Beton	554 Wh/(m ³ K)
■ Kalksandstein	293 Wh/(m ³ K)
■ Ziegelstein	161 Wh/(m ³ K)
■ Porenbetonstein	102 Wh/(m ³ K)

Bereits diese Zahlen sprechen für sich. Während bei den Dämmstoffen für eine ho-

he Speicherzahl eine hohe Wärmekapazität wichtig ist, spielt diese bei massiven Baustoffen keine Rolle. Bei Bezug auf eine beispielhafte Bauteilstärke von 0,30 m ergeben sich durch weitere Multiplikation folgende Werte in Bezug auf einen m² Bauteilfläche:

■ Holzfaser (WF)	32 Wh/(m ² K)
■ Hanf	8 Wh/(m ² K)
■ Zellulose	7 Wh/(m ² K)
■ Glaswolle (MW)	3 Wh/(m ² K)
■ Polystyrol (EPS)	3 Wh/(m ² K)
■ Naturstein	291 Wh/(m ² K)
■ Beton	166 Wh/(m ² K)
■ Kalksandstein	88 Wh/(m ² K)
■ Ziegelstein	48 Wh/(m ² K)
■ Porenbetonstein	31 Wh/(m ² K)

Die Wärmespeicherzahl von Holzfaser ist elfmal höher als die von Glaswolle oder EPS – bei 30 cm Dicke, was der Dämmstärke des Dachs eines Passivhauses entspricht. Daher liegt ihre Phasenverschiebung laut Herstellerangaben bei bis zu 13 Stunden (übrigens ohne dass die für den winterlichen Wärmeschutz maßgebende Wärmeleitfähigkeit leidet), während sie bei EPS nur bis zu vier Stunden beträgt.

Da bei ausgebauten Dachgeschossen das Dach (und die Gauben) – wie auch Gebäude in Holzleichtbauweise – überwiegend aus Dämmstoff bestehen (und somit i.d.R. wärmespeichernde Massen fehlen), ist bei der Dachdämmung Holzfaser oder Zellulose der Glaswolle oder dem EPS vorzuziehen.

Und es sollte niemanden mehr wundern, dass es in bestehenden Altbauten mit 8 cm Zwischensparrendämmung aus Glaswolle [und einem S von nur 0,7 Wh/(m²K)] keinen sommerlichen Wärmeschutz gibt.

Den bieten „auf natürliche Weise“ Burgen, Schlösser oder Kirchen mit ihren wesentlich dickeren und schweren Mauern und werden deshalb im Hochsommer als kühle Gebäude auch gerne aufgesucht.

Zum guten Schluss: Da unsere massiven Steingebäude durch ihre hohe Wärmespeicherzahl bereits einen guten sommerlichen Wärmeschutz bieten, ist hier bei der zusätzlichen Dämmung der Außenwand das Material tatsächlich nicht zu beachten.

3.3.4 Schallschutz

Während die Anforderungen an den winterlichen und sommerlichen Wärmeschutz, an die Luftdichtheit oder an zu vermeidende Wärmebrücken in Deutschland in der DIN 4108 geregelt sind, wird der Schallschutz in der DIN 4109 behandelt. Als Schallquellen werden unterschieden:

- **Luftschall:** Der Schall breitet sich in der Luft z.B. von einer Schallquelle im Raum oder in der äußeren Umgebung aus.
- **Körperschall:** Dieser breitet sich in festen Stoffen aus, z.B. über Installationen oder beim Türenzuschlagen.
- **Trittschall:** Er entsteht als Körperschall und wird teilweise weitergeleitet und in benachbarte Räume abgestrahlt wie z.B. beim Gehen oder Stühle rücken.

Ein guter Schallschutz vermeidet bzw. verringert die Schallquellen deutlich, wenn die Bauteile die in der Tabelle empfohlenen Schalldämmmaße erreichen.

Bauteil	Luftschalldämmung R'_w (dB)	Trittschalldämmung $L'_{n,w}$ (dB)
Gebäude-trennwand	> 67	-
Wohnungs-trennwand	> 55	-
Wohnungs-trenndecke	> 56	< 46
Außenwand, Dach	30 - 50 je Außenlärmpegel	-
Trennwand in Wohnung	> 47	-
Decke in Wohnung	> 50	< 56

R'_w (dB): bewertetes Schalldämmmaß in Dezibel mit Schallübertragung über flankierende Bauteile (je größer desto besser) – $L'_{n,w}$ (dB): bewerteter Norm-Trittschallpegel in Dezibel (je kleiner desto besser)

Grundsätzlich wird eine Luftschalldämmung dadurch erreicht, dass der Schalldurchtritt durch Bauteile möglichst verhindert oder gemindert wird. Die Schallausbreitung in festen Körpern sollte zu ihrer Vermeidung möglichst unterbrochen oder verringert werden. Trittschall ist durch die Ver-

hinderung der Schallweiterleitung zu unterbinden.

Zunächst sind vor allem schwere Materialien mit hoher Rohdichte wie Beton oder Kalksandstein gut zur Luftschalldämmung geeignet. Daneben sind jedoch auch einige Dämmstoffe gut bis sehr gut geeignet: Neben Holzfaser, Hanf oder Flachs ebenso Glas- und Steinwolle oder Zellulose. Ungeeignet sind EPS, XPS, PU oder Schaumglas.

Zwar wird EPS bei der Trittschalldämmung sehr oft z.B. als Lage zwischen der Betondecke und dem (schwimmenden) Estrich genutzt – die Schalldämmung selbst wird aber nicht durch den Dämmstoff, sondern durch die Trennung des (begangenen) Estrichs von der (tragenden) Betondecke und den umlaufenden Wänden erreicht (Körperschallunterbrechung).



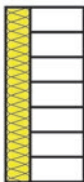
Für die Wirkung der Schalldämmung von Dämmstoffen ist u.a. deren dynamische Steifigkeit (s' in MN/m^2) wichtig: Je niedriger die Steifigkeit, desto größer ist das Federungsvermögen und damit die Wirkung. Daher sind offenporige, weich federnde Dämmmaterialien zu empfehlen.



Insofern ist umgekehrt unbedingt zu beachten, dass eine besonders biegesteife Wärmedämmung den Schallschutz auch (sogar erheblich) verschlechtern kann.

Beispiel 1: Außenwand


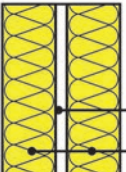
Hier sind die Schallschutzanforderungen abhängig vom Außenlärmpegel. In reinen Wohngebieten ist der Lärmpegel relativ niedrig, in Innenstädten höher und z.B. an viel befahrenen Hauptstraßen hoch. Wie beschrieben, ist das Maß der Schalldämmung abhängig vom Gewicht der Außenwand und der Steifigkeit des Dämmmaterials. Bekleidungen aus vollflächig angebrachten Dämmplatten mit hoher Steifigkeit verschlechtern den Schallschutz durch Resonanz. Zur Verbesserung sind biegeweichere Produkte wie u.a. MW oder EPS als spezielle, sogenannte elastifizierte Platten einzusetzen.

Bauteil-konstruktion	Schall-dämmmaß
 Ausgangs-konstruktion: 24 cm KSL, 1.400 kg/m ³	$R'_w = 52 \text{ dB}$
 gedämmte Konstruktion 1: 24 cm KSL, 1.400 kg/m ³ 10 cm EPS, $s' = 50$	schlechter: $R'_w = 49 \text{ dB}$
 gedämmte Konstruktion 2: 24 cm KSL, 1.400 kg/m ³ 10 cm MW, $s' = 17$	besser: $R'_w = 54 \text{ dB}$

Der Schallschutz der Kalksandsteinwand (KSL) verschlechtert sich mit 10 cm EPS und verbessert sich z.B. mit 10 cm Steinwolle.

Beispiel 2: Gebäudetrennwand

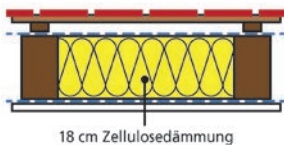
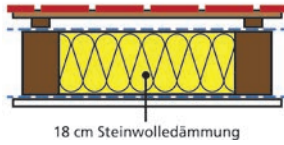
Nicht nur im Massivbau, auch im Holzleichtbau ist ein sehr guter Luftschallschutz möglich.

Bauteil-konstruktion	Schall-dämmmaß
 Massiv-Bau: 3 cm Steinwolle, je 17,5 cm Ziegel	$R'_w = 71 \text{ dB}$
 Holz-Leichtbau: Luftschicht, je 18 cm Zellulose	$R'_w = 68 \text{ dB}$

Beispiel 3: Dach

Hier gelten die gleichen Anforderungen wie bei Außenwänden. Je nach Außenlärm-

pegel ist ein geringerer oder höherer Schallschutz erforderlich. Von Vorteil sind hier ebenfalls biegeweiche Faserdämmstoffe.

Bauteilkonstruktion	Schall-dämmmaß
 18 cm Zellulosedämmung	$R'_w = 49 \text{ dB}$
 18 cm Steinwollendämmung	$R'_w = 51 \text{ dB}$

Das Schalldämmmaß ist weitgehend unabhängig von der Art des Faserdämmstoffs. Wichtig sind die Dämmstärke und der Füllgrad des Sparrenzwischenraums. Auch eine größere Dicke verbessert – neben der Wärmedämmung – die Schalldämmung. Da hier der Sparren als Schallbrücke wirkt, ist auch die Art der raumseitigen Verkleidung (doppellagig, entkoppelt) wichtig.

Nicht nur Masse dämmt den Schall, auch biegeweiche Dämmstoffe in den richtigen Konstruktionen erreichen die notwendigen guten Schalldämmmaße. Dabei kommen Zellulose oder Holzfaser auf etwa gleiche Luft- und Körperschall-Dämmeigenschaften wie z.B. Steinwolle.

Gerade bei den äußeren Außenwand (WDVS → S. 70) und Dachdämmungen sollte beachtet werden, dass die Wärmedämmung den Schallschutz verschlechtern kann. Ein Ausgleich oder auch eine Verbesserung kann durch einen Wechsel des Dämmstoffs und/oder durch eine höhere Rohdichte z.B. des Mauersteins erreicht werden!

Liegt das Gebäude an einer stark befahrenen Straße, sollte die zur Straße liegende Außenwand auf keinen Fall mit einem biegesteifen EPS, sondern z.B. mit biegeweicher Steinwolle oder (dem teureren elastifizierten EPS) gedämmt werden.

Übrigens: Eine Verringerung von R'_w um 10 dB entspricht einer Halbierung der Lautstärkeempfindung.

3.3.5 Brandschutz

Das Brandverhalten von Dämmstoffen sorgt in Print und Fernsehen immer wieder für großes (negatives) Aufsehen. In der Kritik steht vor allem die Dämmung der Außenwand durch Wärmedämmverbundsysteme (WDVS) aus Polystyrol (EPS). Sie wären unverantwortlich, weil leicht brennbar.

Die Berufsfeuerwehr in Frankfurt a.M. hat das mit einer bundesweiten Umfrage längst widerlegt: Von 180.000 Brandfällen im Jahr war nur viermal ein WDVS betroffen. Dabei entstand der Brand nicht innerhalb, sondern stets außerhalb des noch in der Bauphase befindlichen Gebäudes u.a. durch einen brennenden Baustoffcontainer. In Fassadennähe sind deshalb zu dieser Zeit Brandlasten wie Holzschuppen oder Müllcontainer ebenso zu vermeiden wie Materiallagerung.

Gemäß der DIN EN 13501 (harmonisierte Klassifizierungsnorm) werden Baustoffe in sieben Euroklassen A bis F eingeteilt (mit Zusätzen, die in der Tabelle nur auszugsweise angeführt sind).

Benennung	Euroklasse	Baustoffklasse
nichtbrennbar	A1	A1
	A2 -s1, d0	A2
schwerentflammbar	A2 -s2, d0	B1
	A2 -s1, d2	
	B -s1, d0	
	B -s3, d2	
	C -s2, d0	
	C -s1, d1	
normalentflammbar	D -s1, d0	B2
	D -s3, d2	
	E	
	E -d2	
leichtentflammbar	F	B3

Baustoffe der Euroklasse F bzw. der Baustoffklasse B3 dürfen nicht mehr verwendet werden.

Die Zusätze -s und d beschreiben die Rauchentwicklung mit -s1 (vernachlässigbar), -s2 (schwach) und -s3 (stark) und das Abtropfverhalten mit d0 (kein brennendes Abtropfen in den ersten 10 Minuten), d1 (mit einer Nachbrennzeit > 10 Sekunden) und d2 (weder d0 noch d1).

Während der Nachweis des Brandverhaltens für Dämmstoffe Euroklassen A1 und E nach DIN EN 13501-1 erfolgt, gibt es für die

Dämmstoffe der übrigen Euroklassen A2 bis D für eine Übergangszeit allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen mit Bezug auf die DIN 4102-1, welche die Dämmstoffe nach den Baustoffklassen A1 bis B3 einteilt.

Anforderungen an Wohngebäude

In Deutschland regeln die Landesbauordnungen die Anforderungen an das Brandverhalten von Fassadensystemen, zu denen auch ein WDVS gehört, wie folgt.

Anwendungsfall	Anforderung
Gebäude geringer Höhe (< 7 m)	normalentflammbar D, E bzw. B2
Gebäude > 7 m bis 22 m	schwerentflammbar A2, B, C bzw. B1
Gebäude > 22 (Hochhäuser)	nichtbrennbar, jeweils A1, A2

Die Höhe ist das Maß der Fußbodenoberkante des höchstgelegenen Geschosses, in dem Wohnräume möglich sind, über der mittleren Geländeoberfläche.

Deshalb darf beispielsweise ein Einfamilienhaus grundsätzlich mit einem E- bzw. B2-Dämmstoff wie EPS gedämmt werden.



Mit den steigenden Anforderungen an den Wärmeschutz nehmen aber die Dicken von WDVS zu – Stärken von weit über 10 cm sind heute üblich und sinnvoll. Sehr verbreitet, weil kostengünstig, sind nach wie vor EPS-Dämmplatten, die jedoch ab einer Stärke von 10 cm den Status der Schwerentflammbarkeit (B1) nach DIN 4102 verlieren. Um einen Brandüberschlag und das Abtropfen geschmolzener Dämmplatten zu verhindern, schreiben deshalb Landesbauordnungen für Gebäude > 7 m entweder über jeder Öffnung (Fenster, Tür) einen Sturzschutz oder einen umlaufenden, nicht brennbaren Brandriegel vor.

Wärmedämmverbundsysteme (WDVS)

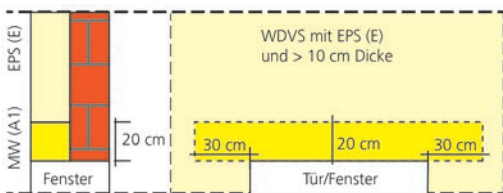
WDVS können also aus brennbaren und aus nichtbrennbaren Dämmstoffen bestehen. Im Brandfall verhalten sich dann WDVS z.B. aus Mineralwolle (A1) wesentlich günstiger als aus schwer entflammbaren Dämmstoffen wie z.B. aus EPS (B2). Bei diesen Systemen ist das einzige, was richtig brennt und damit zu einer Brandweiterleitung führt, der (brennbare) Dämmstoff.

Insofern ist es wichtig, dass der entflammbare Dämmstoff vollständig in nichtbrennbare Deckschichten wie Putz eingepackt und geschützt wird, sodass Flammen möglichst lange keinen Zutritt zum Dämmstoff haben. So findet i.d.R. über alle Putzoberflächen keine Brandweiterleitung statt, wenn diese die bauaufsichtlichen Mindestanforderungen erfüllen.

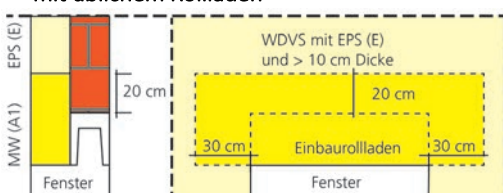
Falls die Flammen doch den entflammbaren Dämmstoff erreichen, ist eine Brandausbreitung und -weiterleitung nach oben möglich. Dann ist es sinnvoll, oberhalb jeder Öffnung (Türen und Fenster) im Bereich der Stürze eine „Feuerbarriere“ anzuordnen. Die Intensität ist vor allem von der Dämmstoffstärke und -art abhängig.

Die allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen bei EPS-Dämmplatten mit Dicken über 10 cm sehen deshalb Anforderungen an den Brandschutz vor, die im Folgenden bildlich dargestellt sind.

ohne Rollläden

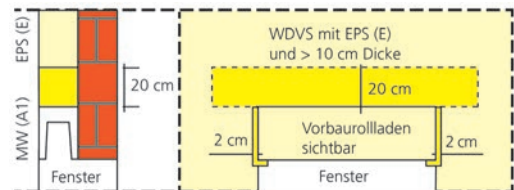


mit üblichem Rollladen

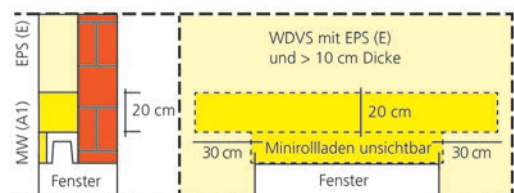


Durch die Sturzdämmung mit nichtbrennbaren Materialien wie z.B. Steinwolle (MW) wird verhindert, dass sich Feuer über geborstene Fensterscheiben oder Glastüren auf die Fassade ausdehnt und binnen weniger Minuten unter dem abplatzenden Oberputz beim EPS-Dämmstoff üppige Nahrung findet, um darüber liegende Geschosse bzw. Nachbarwohnungen in Brand zu setzen.

mit vorgebautem Rollladen



mit verdecktem Minirollladen



Hat das Feuer auf die Dämmplatten übergriffen, ist es für die Feuerwehr nicht nur schwierig, den Brand einzugrenzen, sondern auch die Menschen mit Drehleitern über die Fenster zu retten. Deshalb muss verhindert werden, dass Rauch und abtropfende Dämmstoffschmelze Retter und Bewohner zusätzlich in Gefahr bringen.

Deshalb ist auch bei Einfamilienhäusern zu empfehlen, bei einem EPS-WDVS nicht auf die nichtbrennbare Sturzdämmung über den Fenstern zu verzichten.



Die grundsätzlich bessere Alternative besteht darin, die Dämmung komplett in weniger brennbarem Material auszuführen, z.B. mit Steinwolle oder natürlichen Produkten.

Exkurs Alte Bau- und Wärmedämmstoffe Recherche von „Wärmeleitzahlen“

Bei der Altbausanierung ist für die Berechnung des Jahres-Heizwärmebedarfs (Transmissionswärmeverluste), der Gebäude-Heizlast (für die Größe des Wärmeerzeugers) und der Raum-Heizlast (für die Größe der Heizflächen und den hydraulischen Abgleich) die Ermittlung der U-Werte aller wärmeübertragenden Bauteile eine unabdingbare Voraussetzung. Dafür ist vor allem die Kenntnis der „Wärmeleitzahl“ (also der Wärmeleitfähigkeit λ) der vor mehr als 25 Jahren eingesetzten Bau- und Wärmedämmstoffe wichtig.

Die Erfahrung zeigt, dass selbst Fachleute (Architekten, Handwerker oder Energieberater) diese alten Werte selten kennen und stattdessen oft die aktuelle DIN 4108-4 als Berechnungsgrundlage heranziehen oder eben einfach nur (meist zu hohe) Werte für die Wärmeleitfähigkeit schätzen.

In vielen Fällen werden in der Folge zu hohe bzw. schlechte U-Werte berechnet, was zwar rein rechnerisch für den Energieberater oder Planer eine gute Ausgangslage für jede Wärmedämm-Maßnahme bedeutet, im Ergebnis aber realitätsferne Energie- und Kosteneinsparungen hervorbringt, die dann nicht nur von Dämmstoffgegnern kritisiert werden. Und – Heizlasten werden zu hoch berechnet und damit Wärmeerzeuger und Heizflächen viel zu groß dimensioniert.

Datengrundlagen

Für die U-Wert-Berechnung ist es also notwendig, neben den Bauteilschichtdicken, auch die verwendeten Materialien zu ermitteln. Aufschluss können hier Baubeschreibungen, Materialreste, freiliegende Wand- und Deckenbereiche oder Putz-Fehlstellen geben.

Welcher Mauerstein?

Da die Außenwände i.d.R. verputzt sind, hilft zur Erkennung wenigstens der Steinart (leider sind weder Produktkürzel noch die Rohdichte als Anhaltswert erkennbar) ein Blick in das meist unbeheizte Dachgeschoss. Dort wurde früher i.d.R. am Innenputz gespart, sodass erkennbar ist, ob ein roter Ziegel (Foto 1), ein grauer Leichtbetonstein (Fotos 2 und 3, Hbl), ein weißer Kalksandstein oder z.B. eine Fachwerkwand mit Strohlehm errichtet wurde.

Grundsätzlich möglich, aber viel zu aufwändig und der Aufgabe nicht angemessen, ist eine tech-

nische (teilweise recht ungenaue) Bestimmung von wärmetechnischen Kenndaten z.B. über Kernbohrungen oder Labor- und Handmessgeräte.



Foto 1: Unbeheizter Dachraum, Einfamilienhaus Bj. 1961, unverputzte Außenwand (rot)



Foto 2: Typisches Mehrfamilienhaus Bj. 1984



Foto 3: Unverputzte Giebelwand im unbeheizten Dachraum des MFH, 30 cm Hbl (grau)

Recherche

Sinnvoll ist es dagegen, abhängig vom Alter des Gebäudes, die dazu passenden „Wärmeleitzahlen“, also die bis in die 1990er Jahre geltenden Rechenwerte der Wärmeleitfähigkeit, aus den vorhandenen Literaturquellen zu ermitteln und diese in die entsprechende U-Wert-Berechnung einzusetzen.

DIN 4108-4

In Teil 4 der DIN 4108 „Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Wärme- und feuchteschutztechnische Bemessungswerte“ sind neben den Werten zur Rohdichte und zur Wasserdampfdiffusion auch die Werte für die Wärmeleitfähigkeit von Bau- und Wärmedämmstoffen angegeben.

Die DIN 4108-4 spiegelt (mehr oder weniger) den jeweils aktuellen Stand wieder, nicht aber den Baustandard vor 25, 40 oder mehr Jahren. Viele der früher gebräuchlichen Materialien sind hier nicht aufgeführt, da es sie nicht mehr gibt. Deshalb ist sie als Datengrundlage ungeeignet.

Hans W. Bobran (1967)

Sein „Handbuch der Bauphysik“ aus dem Jahr 1967 befasst sich auf 344 Seiten u.a. mit den Berechnungs- und Konstruktionsunterlagen für den Wärme- und Feuchtigkeitsschutz. Ausführlich sind die Stoffwerte von Bau- und Dämmstoffen auf dem Stand der damaligen Zeit dargestellt.

Der Autor schreibt in seinem Vorwort: „Das Bauen wird heutzutage von Architekten und oft auch von Bauherren zu sehr unter rein optischen Gesichtspunkten betrachtet. ... Ein Bauwerk muß zweifellos weit mehr sein als ein Monument der Eitelkeit. ... Die neueren Baustoffe ... stellen uns vor physikalische und anwendungstechnische Probleme ... Das ist der Grund dafür, dass sich von der Bautechnik das Arbeitsgebiet der Bauphysik als selbstständige Disziplin abgespalten hat und dass vor allem ... der Wärmeschutz ... im Vordergrund des fachlichen Interesses steht. Die vorliegende Arbeit wendet sich nicht nur an Baufachleute, sondern auch an Praktiker anderer Fachrichtungen. Für den Bauphysiker enthält sie viele wichtige Daten, die er bei der täglichen Arbeit in der Baupraxis braucht.“

Und diese Daten sind heute für die Berechnung von Gebäuden aus den 1960er und 1970er Jahren gut geeignet. Allerdings muss zuvor noch die da-

mals übliche Einheit für die Wärmeleitfähigkeit [$\text{kcal}/(\text{mhgrd})$], die früher sog. „Wärmeleitzahl“, mit dem Faktor 1,163 in die heute übliche Einheit [$\text{W}/(\text{mK})$] umgerechnet werden.

Da auch google hier an seine Grenzen stößt: Wen mehr interessiert, der sollte in Buchantiquariaten stöbern. Der „Bobran“ erschien nach der 1. Ausgabe 1967 noch 1972, 1976, 1979, 1982 und zuletzt 1990 in weiteren überarbeiteten Auflagen.

Leopold Sautter (1948)

Schon 1928 bis 1932 hielt der Regierungsbaumeister sog. Vortrags- und Übungslehrgänge an Hochschulen zum damals noch kaum bekannten Gebiet des Wärmeschutzes.

Im Vorwort zu seinem Fachbuch „Wärmeschutz und Feuchtigkeitsschutz im Hochbau“ schreibt Leopold Sautter im Jahr 1948: „Unsere wirtschaftliche Lage verlangt gebieterisch, dass wir mit Baustoffen und Brennstoffen auf das Zweckmäßigste, Sparsamste und Wirtschaftlichste verfahren. ... Zu den wichtigsten Mitteln, die dem Baufachmann in die Hand gegeben sind, ..., gehören der ausreichende Wärmeschutz und der zweckmäßige Feuchtigkeitsschutz unserer Bauten, sowohl bei der Wiederherstellung beschädigter Häuser wie erst recht bei jedem Neubau.“

Die hier aufgeführten „Wärmeleitzahlen“ sind geeignet, um heute für Gebäude aus den 1920er bis 1950er Jahren sinnvolle U-Wert-Berechnungen durchführen zu können.

Weitere Datenquellen

Damit decken für die Ermittlung der Wärmeleitfähigkeit alter Bau- und Wärmedämmstoffe bereits zwei alte Fachbücher einen Zeitraum von etwa 1920 bis Mitte der 1970er Jahre ab.

1977 trat die 1. Wärmeschutzverordnung (→ S. 149) in Kraft mit der Folge, dass vor allem die Hersteller von Mauersteinen und Wärmedämmstoffen ihre Produkte weiterentwickelten. Für die weiteren 20 Jahre bis Mitte 1990 stehen daher neben neueren Bauphysikbüchern und fortgeschriebenen Normen auch viele weitere Quellen (Wärmetechnisches Handbuch, 24. Auflage 1988, G+H Montage GmbH; Wasserdampfdiffusion - Ein Beitrag zur praktischen Bauphysik, G. Wiese, B.G. Teubner Verlag Stuttgart, 1985; Lehrbuch der Bauphysik, B.G. Teubner, Stuttgart, 1989) zur Verfügung, zunehmend auch von Herstellern mit Veröffentlichungen im Internet.

So findet man dort von einem Ziegelhersteller eine 2007 veröffentlichte Zusammenstellung von Wärmeleitfähigkeiten seiner Produkte aus den Jahren 1969 bis 2006. Angegeben ist der λ_R -Wert, unterschieden nach dem eingesetzten Mörtel (NM = Normalmörtel und LM = Leichtmörtel, DBM = Dünnbettmörtel).

POROTON		λ_R in W/(mK)		
Jahr	Produkt	NM	LM	DBM
1975	PH 500/30	0,28	-	-
1976	PH 0,8	0,34	0,28	-
1982	PH 0,7 T	0,26	0,20	-
1983	PH 0,7	0,30	0,21	-
1984	PH E	0,24	0,18	-
1986	PH 0,8 T	0,21	0,16	-
1987	PH T 0,18	0,24	0,18	-
1993	PH Plan-T	-	-	0,18
1995	PH T 0,16	0,21	0,16	-
1998	Plan-T 14	-	-	0,14

Die Tabelle zeigt, dass seit 1975 (bis auf eine Ausnahme) die Wärmeleitfähigkeit der in Außenwänden verbauten Mauerziegel (Leichthochlochziegel – LHLz) bereits unter 0,30 W/(mK) liegt.

Damit liegt der U-Wert einer typischen, beidseitig verputzten 30 cm starken Ziegelwand aus dem Jahr 1975 bei 0,77 W/(m²K) und bei 36,5 cm Wandstärke sogar bei „nur“ 0,65 W/(m²K). Mit Steinen von 1984 ergeben sich unter Einsatz von LM sogar U-Werte von 0,53 bzw. 0,44 W/(m²K) bei den gleichen Mauerstärken.

Dagegen gibt es vergleichsweise viele Energieberater, die für diese 35 bis 45 Jahre alten Häusern oft höhere Wärmeleitfähigkeiten einsetzen und damit schnell U-Werte > 1,00 W/(m²K) ermitteln. Dass sich daraus im IST-Zustand zu hohe Transmissionswärmeverluste errechnen, liegt auf der Hand.

Recherche-Ergebnis

In den heutigen EDV-Programmen sind zwar umfangreiche Baustoffdatenbanken integriert, in Bezug auf spezifische Angaben zu alten Materialien sind sie aber, falls überhaupt vorhanden, sehr unvollständig. Deshalb ist es für die Aufnahme des IST-Zustands von Altbauten und die Planung der energetischen Sanierung sinnvoll, diese Datenbanken auf Grundlage eigener Recherchen mit Stoffwerten mindestens zur Wärmeleitfähigkeit

zu ergänzen, um dem Baujahr entsprechend „vernünftige“ U-Werte berechnen zu können.

Die Tabelle auf der nächsten Seite soll Interessierte dabei unterstützen: Sie stellt einen Auszug von Werten der Wärmeleitfähigkeit in W/(mK) aus der eigenen Recherche u.a. aus den genannten Quellen dar (selbstverständlich ohne einen Anspruch auf Vollständigkeit und ohne Gewähr).

Früher wurden bei Holz noch unterschiedliche Werte für parallel und quer (senkrecht) zur Faser angegeben, wobei Erste doppelt so hoch waren. Auf die Darstellung dieser heute nicht mehr üblichen Unterscheidung wurde ebenso verzichtet wie z.B. auf die Aufsplittung in kurz- und langfaserige Mineralwolle.

Zu den Wärmedämmstoffen: Erste qualifizierte Dämmstoffe kamen schon mit der Industrialisierung auf. Die Betriebe senkten ihre Brennstoffkosten durch Dämmung ihrer Kessel, Speicher und Rohrleitungen. Kork und Kieselgur (1880) waren erste Materialien für den industriellen Markt, aber auch für den Kühlhaus- und Schiffsbau.

Obwohl der Wohnungsbau bis zur ersten Ölkrise Anfang der 1970er Jahre nur eine untergeordnete Rolle spielte, entwickelten sich auch für diesen Bereich neue Dämmstoffe (expandierter Kork 1906; Schlackenwolle 1910; Kokos-, Seegrasmatten, Kork-, Torf- und Holzwolleleichtbauplatten 1921; Steinwolle 1938; Hartschäume 1938, 1950). Mit der Putzträger- und Dämmplatte des 1924 gegründeten Unternehmens Heraklith war diese Firma Jahrzehnte Marktführer.

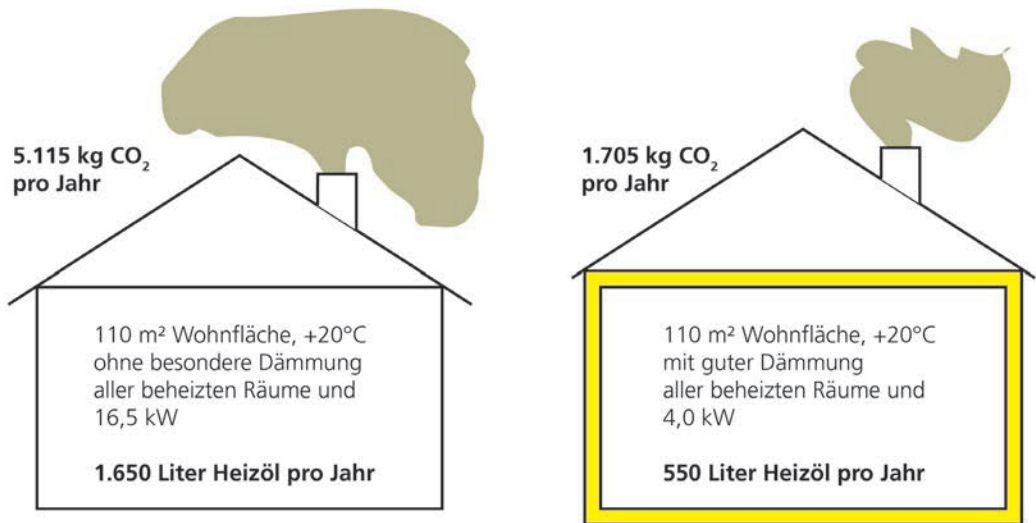
Die Tabelle zeigt, dass außer bei Zementmörtel, Schwerbeton sowie Kalksand- und Ziegelvollstein die Wärmeleitfähigkeiten zum Teil deutlich unter 1,00 W/(mK) lagen und bis zum Jahr 1975 „gar nicht so schlecht“ waren.

Von 1985 bis 1995 haben sich die Werte nicht verändert – bis auf die leichte Verringerung der Wärmeleitfähigkeit beim Wärmedämmputz, den LHLz und Gasbetonsteinen. Die Entwicklung stagnierte also ab Mitte der 1970er Jahre – auch bei den Wärmedämmstoffen. Erst zur Einführung der Wärmeschutzverordnung 1995 investierten die Hersteller in Verbesserungen und Neuentwicklungen. Da die Wärmeleitfähigkeit u.a. von der Rohdichte abhängt, sind teilweise Wertebereiche angeführt. Es ist zu empfehlen, eher auf die niedrigeren Werte zu setzen.

Wärmeleitfähigkeiten λ („Wärmeleitzahlen“) alter Baustoffe, umgerechnet in W/(mK)

Materialgruppe	Baustoff	bis 1950	bis 1975	bis 1985	bis 1995
Putze	Kalkzementmörtel/-putz	0,87	1,20	0,87	0,87
	Zementmörtel, Beton-Estrich	1,50	1,40	1,40	1,40
	Kalkgips-, Gipsmörtel	0,41	0,80	0,70	0,70
	Gipsputz	-	-	0,35	0,35
Gipsplatten	Gipsdielen, Vollgipsplatten	0,35	0,58	-	-
	Porengipsplatten (Porolyt), Gipskartonplatten	0,22	0,21	0,21	0,21
	Rabitz-Wände bis 1950, Gips-Wandbauplatten	0,29	0,33	0,29 - 0,58	0,29 - 0,58
Schwerbeton	Stahl-, Kies, Splittbeton (Normalbeton)	1,90	2,00	2,10	2,10
	Ziegelsplittbeton	0,87	0,80	-	-
	Haufwerkporige Betone (1.400 - 1.900 kg/m³)	-	0,60 - 1,10	0,57 - 1,20	0,57 - 1,20
Leichtbeton	Wandbauplatte (Naturbims)	0,29	0,29	0,29	-
	Wandbauplatte (Schlacke)	0,52	0,47	-	-
	Wandbauplatte (Bimsbeton, Tuff, Lava)	-	0,60	-	-
	Wandbauplatte (Blähton, Hüttenbims)	-	0,35	-	-
	Gasbeton-Bauplatten (500 - 800 kg/m³)	-	-	0,19 - 0,29	0,19 - 0,27
Mauerwerk	Kalksand-Vollstein	1,05	1,05	0,99 - 1,30	0,99 - 1,30
	Kalksand-Lochstein	-	0,70	0,50 - 0,79	0,50 - 0,79
	Mauerziegel/Vollklinker (2.000 kg/m³)	-	1,13	0,96	0,96
	Vollziegel (1.000 - 1.800 kg/m³)	0,70 - 0,87	0,47 - 0,80	0,50 - 0,81	0,50 - 0,81
	Quer- und Langlochziegel (LLz)	0,58	-	-	-
	Hüttenbimsstein	0,87	0,70	0,38 - 0,76	0,47 - 0,76
	Blähton-/Bims-Vollstein	-	-	0,20 - 0,31	0,20 - 0,31
	Splittbeton-Hohlblock (3 bis 5 Kammern)	0,70	0,62	-	-
	Leichtbeton-Hohlblock (2 und 3 Kammern)	-	0,56	0,29 - 0,73	0,29 - 0,73
	Hohlblock aus Normalbeton (2 bis 4 Kammern)	-	-	0,93 - 1,30	0,93 - 1,30
	Gas-/Schaumbetonstein (500 - 1.200 kg/m³)	0,38 - 0,85	0,35 - 0,47	0,14 - 0,23	0,12 - 0,20
Dämmung	Mineralwolle (Glas- und Steinwolle)	≤ 0,055	0,040	≤ 0,040	≤ 0,040
	Pflanzliche Faserstoffe (z.B. Kokos, Schilf)	-	0,046	≤ 0,045	≤ 0,045
	Schlackenwolle	0,060	0,070	-	-
	Holzfasерplatten (Insulite, Hermaltext, Isotex)	0,058	≤ 0,074	0,045	0,045
	Holzwole-Leichtbauplatten (50 bis 15 mm)	0,09 - 0,14	0,08 - 0,14	0,09 - 0,15	0,09 - 0,15
	Torffaser-, Torfplatten	0,058	-	-	-
	Schilfrohrplatte (Neusiedler)	-	0,093	0,060	-
	Kieselgurplatte	0,091	0,093	-	-
	Seegrasmatte	0,041	-	-	-
	Vermiculite (Blähglimmer)	-	0,047	0,070	0,070
Füllstoffe	Massivlehm und Lehmformlinge	0,81	0,93	-	-
	Strohlehm und Strohlehmwickel	0,47	0,47 - 0,81	-	-
	Bimskies	0,22	0,19	0,19	0,22
	Schlacke (Hochofenschäum-, Kessel-)	0,30	-	-	-
Holz	Laubolz	-	0,18	0,20	0,20
	Nadelholz	0,14	0,14	0,13	0,13
	Spanplatten	-	0,10	0,13	0,13

4 Wo dämme ich wie und wie viel?



Es stellt sich zunächst die Frage, was Sie bei einem Neubau oder einer Gebäudesanierung wirklich wollen?

Die Antwort liegt auf der Hand – Sie wollen sich in ihren „vier Wänden“ wohlfühlen. In Bezug auf das Thema Energie heißt das: Im Winter wünschen Sie sich eine angenehm warme Raumlufttemperatur z.B. von +20°C in den Räumen, im Sommer dagegen soll es möglichst kühl bleiben.



Es geht also nur um den Effekt, der durch den Einsatz von Energie erzielt werden soll: In der Fachwelt wird dies allgemein als Energiedienstleistung bezeichnet.

In Wirklichkeit interessieren Sie also nur die Energiedienstleistungen. Was Sie sich in Wahrheit wünschen, ist

- Mobilität (kein Auto)
- Unterhaltung (kein Fernsehgerät)
- saubere Wäsche (keine Waschmaschine)
- gutes Licht (keine Lampe)
- 20°C Raumtemperatur (keine Heizung).

Nicht der Energieeinsatz ist also wichtig, sondern was durch ihn erreicht wird.

Was ist nun der Unterschied beim Bau?

Sie können das exakt gleiche „warme“ Haus (mit 110 m² Wohnfläche und +20°C in allen Räumen) auf zwei Arten erreichen:

1. Sie bauen es (Bild links) ohne besondere Wärmedämmung, aber mit einer großen und leistungsstarken Heizung (16,5 kW).
2. Sie bauen es mit einer guten Dämmung und einer kleinen, effizienten Heizung.

Die Energiedienstleistung ist die Gleiche, Sie haben im Winter 110 m² Wohnfläche auf +20°C erwärmt, um es angenehm und vor allem behaglich zu haben.

Nur die Folgen sind für Sie und unser Klima völlig anders. Im 1. Fall sind Sie gezwungen, viel Energie einzukaufen und zu bezahlen, die Emissionen u.a. an CO₂ sind hoch, der Kessel mit 16,5 kW Leistung groß!

Im 2. Fall betragen Ihre Energiekosten nur einen Bruchteil und Sie leisten einen Beitrag zum Schutz der begrenzten Energieressourcen und unseres Klimas!

Damit ist die Titelfrage bis auf das „wie“ eigentlich schon beantwortet: Sie dämmen die gesamte wärmeübertragende Gebäudehülle so gut wie möglich!

Vor jeder Überlegung nach der richtigen Heizungstechnik steht die Verringerung der Wärmeverluste durch alle Außenbauteile, also die Reduzierung der Transmissionswärmeverluste. Denn das ist zweifellos die nachhaltigste Maßnahme mit dem größten Einsparpotenzial.

Vorweg einige Grundsätze:

■ Die Stärke der Wärmedämmung ist unabhängig vom Standort. Die Unterschiede z.B.

in Deutschland zwischen bergigen und flachen, südlichen, nördlichen, östlichen oder westlichen Regionen sind (bis auf sehr wenige Ausnahmen) vergleichsweise gering.

■ Innenwände, oberste Decke und Kellerdecke müssen konsequent in ein wärmedämmtechnisches Gesamtkonzept mit einbezogen werden.

■ Wärmebrücken (→ S. 96) sollten Sie eine besondere Aufmerksamkeit schenken.

4.1 Die Außenwand: Das ‚falsche‘ Hauptthema

Dämm-Diskussionen mit Architekten, Baubiologen und Bauherren konzentrieren sich in kürzester Zeit auf ein Bauteil: Die Außenwand.

Während z.B. 18 cm Glaswolle im Dachbereich zwischen den Sparren (nur durch eine dünne Gipskartonplatte vom Wohnraum getrennt) als (nahezu) selbstverständlich angesehen und deshalb auch ohne Bedenken akzeptiert wird, stößt dagegen der Vorschlag von 18 cm Steinwolle oder Polystyrol auf der Außenwand direkt auf Ablehnung – und somit auch gleich das Gesamtkonzept „Gute Gebäudewärmedämmung“.

Damit gekoppelt ist oft die irrige Vorstellung, dass die Hülle eines Gebäudes zu 70 bis 80 % aus Außenwänden besteht.

Haus- typ	WF m ²	Bauteil	Hüll- fläche m ²	Anteil Hüll- fläche %
EFH	110	Außenwand	117,6	39
		Dach	78,0	26
		Grundfläche	72,8	24
		Fenster	33,0	11
		Gesamt	301,4	100
MFH (8 WE)	844	Außenwand	484,3	39
		Dach	333,7	27
		Grundfläche	248,0	20
		Fenster	165,7	14
		Gesamt	1.231,7	100

WF = Wohnfläche; EFH = Einfamilienhaus;

MFH = Mehrfamilienhaus; WE = Wohneinheiten

Deshalb wird die vermeintliche Rundumverpackung gefühlsmäßig abgelehnt, während der vermutete „kleine“ Rest von Dach und Grundflächendämmung Akzeptanz findet. Richtig ist jedoch, dass der Anteil der Außenwände (siehe Tabelle unten links) an der Gesamthüllfläche eines Gebäudes je nach Haustyp nur 35 bis 45 % ausmacht und insofern die Außenwanddämmung nur eine Komponente unter mehreren darstellt.

Außenwand-Dämmsysteme stehen in verschiedensten Ausführungen zur Verfügung. Sie sind (bis auf die Innendämmungen) bauphysikalisch einwandfrei aufgebaut, gewährleisten Schimmelfreiheit, bringen hohe Behaglichkeit und sind seit langem bewährt – mit Herstellergarantien ab 10 Jahren.

Für die Errichtung einer gut wärmegeprägten Außenwand sind viele Konstruktionen (Aufbauten) möglich, z.B.:

■ Mauerwerk mit Innendämmung
■ Zweischaliges Mauerwerk mit Kerndämmung

■ Mauerwerk mit Wärmedämmputz

■ Mauerwerk mit Außendämmung (Wärmedämmverbundsystem, WDVS)

■ Mauerwerk mit Außendämmung (Vorgehängte hinterlüftete Fassade, VHF)

■ Mauerwerk mit transparenter oder transluzenter Wärmedämmung

■ Holzrahmen-, Holzskelett-, Brettlagenbau

Alle Systeme bewähren sich in der Praxis seit Jahrzehnten – und lassen sich bei ausreichender Erfahrung kostengünstig bauen.

4.1.1 Innendämmung

Bei der Planung eines Neubaus sollte grundsätzlich auf eine Innendämmung verzichtet werden. Hier ist eine Außendämmung stets die bessere Alternative.

Dagegen ist sie bei der Sanierung für die Verbesserung des Wärmeschutzes an den Außenwänden bestehender Gebäude dann das geeignete Dämmverfahren, wenn eine Dämmung von außen unmöglich oder nicht erlaubt ist.

So ist die Innendämmung u.a. in den folgenden Fällen die erste Wahl:

- Das Gebäude oder die Fassade stehen unter Denkmalschutz.



- Die Fassade soll erhalten bleiben (Sichtfachwerk oder Sichtmauerwerk).
- Eine Außendämmung kann wegen fehlender Grenzabstände oder technischer Probleme nicht ausgeführt werden.
- Kellerräume sollen nachträglich beheizt werden.
- Das Gebäude wird dauerhaft nur teilgenutzt und teilbeheizt.

Übrigens ist die Rückseite (Hofseite) von Gebäuden mit einer erhaltenswerter Fassade (Straßenseite) häufig weder mit Ornamenten versehen noch verputzt und kann deshalb außen gedämmt werden.

Umstrittene Feuchtgebiete

Obwohl sich die Innendämmung seit Jahrzehnten in der Praxis schadensfrei bewährt, scheuen viele Planer, Denkmalschützer und Handwerker diese Variante.

Die „Verlagerung des Taupunktes in die Wand“ erscheint nach wie vor zu riskant und löst große Ängste vor unkontrollierba-

ren Schäden im Querschnitt der Außenwand aus. Genährt werden derartige Befürchtungen durch die normierten Dampfdiffusionsberechnungen (z.B. Glaser), die aber maximal die halbe feuchtetechnische Wahrheit wiedergeben. Erfahrung und Praxis zeigen, dass die Innendämmung nur dann Feuchte- oder Schimmelschäden verursacht, falls sie nicht richtig geplant und fachgerecht ausgeführt wird!

Denn im Unterschied zu einer Außenwanddämmung muss bei der Planung und Dimensionierung einer Innendämmung unbedingt die Bestandskonstruktion betrachtet und berücksichtigt werden, woraus sich als Ansatz für eine langfristig schadenfreie Innendämmung diese Reihenfolge ergibt:

1. Bestandsanalyse
(Schlagregen- und Feuchteschutz, Gebäudestandort, Wärmebrücken, Tauwasserbildung)
2. Planung
3. Ausführung

So wird in Deutschland der Schlagregen (Regen mit Wind) gemäß DIN 4108-3 in drei Beanspruchungsgruppen nach den durchschnittlichen Niederschlagsmengen eingeteilt: Gruppe I (< 600 mm), Gruppe II (600 bis 800 mm) und Gruppe III (> 800 mm).

Während nun der Feuchteeintrag von innen in die Außenwand durch Wasserdampfdiffusion – berechnet nach Glaser – im ungünstigen Fall nur ca. 2 bis 3 kg/m² beträgt, kann der Feuchteeintrag durch Schlagregen bei z.B. 700 mm Niederschlag (das entspricht einer Belastung von 700 l/m² bzw. kg/m²; davon treffen max. 70 % oder ca. 490 kg/m² auf die Außenwand, wovon mindestens die Hälfte direkt abläuft) schnell 200 bis 250 kg/m² betragen.

Der Vergleich zeigt, dass zwischen einem möglichen Feuchteeintrag durch Diffusion (von innen in die Außenwand) oder durch Schlagregen (von außen in die Außenwand) ein Faktor 100 besteht. Die Gefahr von Schäden in der Außenwand kommt also zuerst von außen.

Schadensträchtiger als der Feuchteeintrag durch Diffusion ist die in der Wand aufstei-

gende Feuchte durch fehlende oder defekte Sperren (Isolierungen!) im Bereich des Sockels. Und schließlich können noch ein ungünstiger Gebäudestandort wie z.B. Bach- oder Flussnähe und die Fassadenausrichtung (Himmelsrichtung) eine nicht zu vernachlässigende Rolle spielen.

Was hat das mit der Innendämmung zu tun? Bei einer Wand ohne Dämmung kann die eingedrungene Feuchte nach beiden Richtungen, also auch zur Raumseite hin, austrocknen. Bei einer Innendämmung, vor allem in Verbindung mit der vielfach empfohlenen Dampfsperre, wird jedoch die Austrocknung nach innen verringert oder unterbunden. Da zudem das Temperaturniveau der Wand sinkt, wird auch die Trocknung nach außen verlangsamt. Das kann dann auf Dauer zu Feuchteschäden führen.

Es sollte klar geworden sein, dass eine Innendämmung nicht im Do-it-yourself-Verfahren durchgeführt, sondern richtig geplant werden muss, was mit einer sorgfältigen Bestandsanalyse beginnt. Sind die äußeren Feuchtebelastungen z.B. bei einer bepflanzten Nordfassade wegen einem fehlenden Dachüberstand zu hoch, muss entweder auf eine Innendämmung verzichtet werden oder sie ist z.B. ohne Dampfsperre auszuführen.

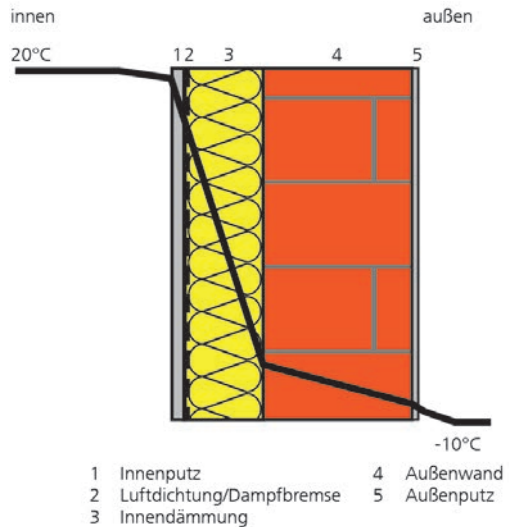
Da die Innendämmung allein ein eigenes Buch füllt, wird auf die weitere Vertiefung der Bauphysik verzichtet und empfohlen, für die Planung einen erfahrenen Bauphysiker hinzuziehen.

Innendämmsysteme (IDS)

Ausgelöst durch die Ölpreiskrisen in den 1970er Jahren wurden oft nur 24 cm starke Mauern schon damals mit einem Standardsystem innen gedämmt: Eingebaut wurden Verbundplatten (Gipskartonplatte mit 2 cm Polystyrol klebt), die oft noch heute ihren Dienst tun.

Der Raumverlust war verschmerzbar. Dafür wurde es behaglicher, weil die innere Oberflächentemperatur stieg, und die Energieeinsparung war direkt am Geldbeutel messbar. So konnte durch diese Maßnahme z.B. der U-Wert einer Außenwand aus 24 cm

Hohlblocksteinen von 1,20 W/(m²K) um 38 % auf 0,74 W/(m²K) verringert werden.



Die Innendämmung wird heutzutage als System angeboten und besteht immer aus mehreren Komponenten, die je nach Ausführung, Dämmstoff und Anbieter in den folgenden Varianten auf dem Markt sind:

■ Verbundplatten

Dämmstoff und Deckplatte sind hier werkseitig verklebt (teils mit integrierter Dampfsperre). Sie werden an der Außenwand verdübelt/verklebt und die Deckplatte wird verspachtelt und gestrichen oder verputzt.

■ Innenputzsystem

Eine Dämmplatte wird verdübelt/verklebt und direkt nass verputzt oder es handelt sich um einen Wärmedämmputz.

■ Unterkonstruktion

Der Dämmstoff wird zwischen einer Holz- oder Alu-Konstruktion montiert und darüber eine Innenverkleidung (Putzträgerplatte mit Putz, Gipskartonplatte, Profilbretter, usw.) angebracht, teilweise mit Luftdichtung bzw. Dampfbremse.

Bei der Dämmstoffwahl gibt es kaum eine Einschränkung. Einsetzbar sind Zellulose, Mineralschaum, Mineralwolle, Polystyrol, Holzfaser, Schafwolle, Kalziumsilikat, Hanf oder Bläherlit ebenso wie Schaumglas, Nanogel oder Vakuumplatten (VIP) – je nachdem, was die Fachplanung ergibt.

Während eine innere Dampfsperre (z.B. Verbundplatte in Verbindung mit einer VIP oder Schaumglas) nur geplant wird, wenn die äußeren Feuchteinträge gering sind, kann eine separate Dampfbremse dann erforderlich sein, wenn bei Unterkonstruktionen die Wandbekleidung zusammen mit einem Dämmstoff keinen ausreichenden Widerstand gegen eindringenden Wasserdampf bietet, wie das bei Profilbrettern der Fall ist.

Innenputzsysteme kommen ohne Luftdichtung oder Dampfbremse aus. Dazu nennt die DIN 4108-3 Konstruktionen und Voraussetzungen: Es muss sich um Mauerwerk handeln, die Dämmung muss verputzt sein (was die Luftdichtheit garantiert) und der Dämmstoff muss einen s_d -Wert $> 0,5$ m haben (→ S. 124). Als Dämmmaterialien gut geeignet sind hier Bläherlit- und Kalziumsilikatplatten. Durch ihre hohe Kapillarität haben sie die Eigenschaft, Feuchtigkeit aufzunehmen, zu puffern und (bei entsprechender Lüftung) schnell wieder abzugeben. Eine Kalziumsilikatplatte wirkt wachstumshemmend auf Schimmelpilze, reagiert jedoch alkalisch und sollte nicht mit Säuren in Kontakt kommen. Beide Platten werden gerne bei Fachwerkhäusern und denkmalgeschützten Gebäuden eingebaut – aber auch bei Sanierungen von Schimmelpilzbefall.

Bei Unterkonstruktionen sind die Herstellung einer luftdichten Ebene und der luftdichte Anschluss an die benachbarten Bauteile wichtig. Sie haben die Aufgabe, verbleibende Fugen und Ritzen an den Stößen und vor allem an den Anschlusspunkten zu Decke und Boden luftdicht zu machen. Sonst kann die feuchtwarme Luft aus dem Raum hinter die Dämmung gelangen (nur durch Konvektion, nicht durch Diffusion) und auf der kalten Außenwandinnenoberfläche zu Tauwasser kondensieren. Materialien zur Luftdichtung gibt es viele und sie haben oft auch eine leicht dampfbremsende Wirkung (→ S. 122).

Leider durchbrechen oft Elektrounterputzdosen Wärmedämmung und Luftdichtung. Lässt sich dies nicht vermeiden, sind Hohlwanddosen (dichte Wandungen) zu verwenden,

den, die an der Innenverkleidung befestigt werden (sonst gibt es Tauwasserausfall in der Dose). Der Luftraum zwischen Dose und Außenwand ist sehr sorgfältig zu dämmen.

Besser für Installationen im Bereich der Außenwand eignen sich Systeme, bei denen die Heizrohre und Elektroinstallation in einer Fußleiste verlegt werden können; Innendämmung und Luftdichtung werden dann nicht „verletzt“.

Dämmstoffstärke und Lebensdauer

Anders als bei den Außenwanddämmungen (hier soll ein bestimmter U-Wert erreicht werden), wird bei der Innendämmung eine Dämmstoffstärke von maximal 8 cm empfohlen [mit $\lambda = 0,035$ W/(mK)].

Höhere Dämmstärken führen nur noch zu geringen zusätzlichen Energieeinsparungen, da bei der Innendämmung zwangsläufig die Wärmebrücken verbleiben, über welche nach wie vor Heizwärme abfließt (z.B. Innenwände, Geschossdecken). Außerdem ist der Wohnraumverlust zu beachten.

Die Lebensdauer einer Innendämmung entspricht der eines Innenputzes. Sie liegt nicht unter 25 Jahren. Bei einer von der Dämmung getrennt ausgeführten Innenverkleidung (z.B. Holzverschalung) kann die Verkleidung sogar ohne mechanische Verletzungen der Dämmung erneuert werden.

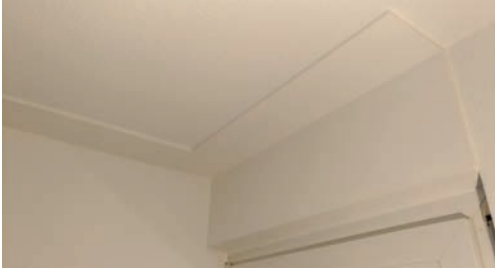
Wärmebrücken

Bei den Außenecken der Außenwände reduziert die Innendämmung sogar die Wärmebrückenwirkung: Die Wärmeabflüsse über diese Außenecken werden um bis zu 25 % vermindert.

Neue Wärmebrücken ergeben sich dagegen u.a. an den Kontaktstellen von Außen- und Innenwänden (einbindende Innenwände) sowie Außenwänden und Geschossdecken (einbindende Geschossdecke). Hier entstehen Zonen mit abgesenkter Oberflächentemperatur und erhöhtem Wärmeverlust.

Das Ziel Energieeinsparung allein rechtfertigt die Dämmung auch dieser einbindenden Bauteile nicht. In Einzelfällen kann dort

jedoch Oberflächenkondensation auftreten. Die Dämmung der einbindenden Bauteile ist dann mit einem 20 bis 50 cm in den Raum hineingeführten Dämmstreifen etwa in der Dicke des Putzes möglich (Putz abschlagen). Alternativ können Dämmstreifen auch aufgesetzt werden. Es sind sogar z.B. 30 cm lange Dämmkeile erhältlich, die sich verjüngen.



Kalziumsilikatplatte (10 mm) gegen Schimmelpilz

Fenster- und Außentürlaibungen sind auf jeden Fall in Innendämmmaßnahmen mit einzubeziehen. Das Absinken der Innenoberflächentemperatur, vor allem bei (Fenster-) Kippstellung, ist in diesen Bereichen so groß, dass ohne Dämmung das Risiko von Oberflächenkondensat besteht. Das Dämmmaterial kann aus Platzgründen häufig nur 1 bis 3 cm dick sein. Deshalb ist ein Dämmstoff mit geringer Wärmeleitfähigkeit zu wählen.

Auch zu beachten

■ Bei Innendämmung besteht für die in der Außenwand liegenden Kaltwasser- oder Heizungsrohre Frostgefahr. Diese sind u.U. zu verlegen (z.B. Fußleisteninstallation).

■ Die Schalldämmung lässt sich durch die Wahl von geeigneten biegeweichen Dämmstoffen verbessern. Schallbrücken sind konsequent zu vermeiden. Bei Dämmplatten muss die erhöhte Schalllängsleitung (Resonanzeffekt) durch die Wahl von Platten mit niedriger dynamischer Steifigkeit (→ S. 54) und Gipskartonplatten mit einer Stärke von mindestens 12,5 mm vermieden werden.

■ Heizkörpernischen sind auf jeden Fall in die Dämmmaßnahme einzubeziehen, auch wenn nur geringe Dämmstoffdicken realisiert werden können (selbst bei 1 cm). Der Abstand zwischen Heizkörper und Außen-

wand sollte allerdings drei Zentimeter nicht unterschreiten. Unter Umständen lohnt es sich, die Heizkörper zu versetzen.

■ Dämmtapeten sind zur Wärmedämmung ungeeignet und haben ein schlechtes Preis-Leistungs-Verhältnis. Im Gegenteil: Meist entstehen dann erst die Schimmelp Probleme wegen undichter Stöße und Anschlüsse.

■ Vor dem Anbringen einer Innendämmung sind eventuell vorhandene Feuchteschäden oder Schimmelpilzbefall zu beseitigen.

Der richtige Zeitpunkt

Er ist für die Innendämmung dann gekommen, wenn eine der folgenden Maßnahmen ohnehin ausgeführt werden soll: Neu tapezieren, Fenstererneuerung, neuer Innenputz, Raummodernisierung, Ersatz von Einzelöfen durch eine Zentralheizung, Ausbau von Kellerräumen zu Wohnzwecken oder bei Behebung von Feuchte- oder Schimmelschäden. Innendämmungen können auch schrittweise immer dann ausgeführt werden, wenn in einem Raum eine der genannten baulichen Maßnahmen ansteht.

Exkurs Innen- oder Außendämmung?

Die Frage ist eindeutig falsch gestellt. Zwar hat eine außen angebrachte Wärmedämmung ohne Zweifel Vorteile, denn sie kann nicht nur dicker ausgeführt werden; sie vermeidet oder reduziert auch zusätzlich die Wärmeverluste einer Vielzahl von Wärmebrücken.

Bei Gebäuden, deren Außenwände nicht von außen gedämmt werden können, sollte aber nicht auf die Verbesserung des Wärmeschutzes verzichtet werden. Gerade ältere Gebäude mit erhaltenen oder denkmalgeschützten Fassaden haben, falls überhaupt, einen sehr dürtigen Wärmeschutz (z.B. ca. 12 bis 16 cm dünne Fachwerkwand oder stark wärmeleitende Vollziegel), der durch die Innendämmung um mehr als 60 % verbessert werden kann.

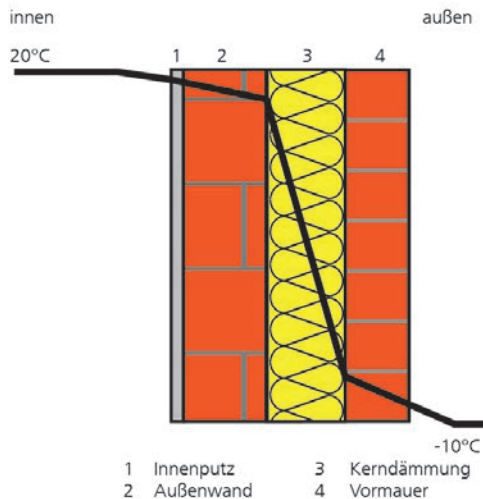
Bei manchen Gebäudearten und -nutzungen ist die Innendämmung sogar vorzuziehen. Bei Gebäuden mit täglich oder saisonal kurzen Heizzeiten (z.B. Übungs- oder Kellerräumen, Ferienwohnungen), bei denen es auf eine Schnellaufheizung ankommt, ist sie die bessere Dämmmaßnahme.

4.1.2 Kerndämmung

Der Aufbau (manchmal wie das WDVS ebenfalls zweischalige Bauweise genannt) erfüllt alle Anforderungen, die an eine Außenwand gestellt werden können.

Sämtliche Funktionen, welche die Außenwand erfüllen soll, werden hier durch unterschiedliche Schichten wahrgenommen:

- 2 Sowohl Statik als auch Wärmespeicherung übernimmt eine 18 bis 25 cm starke Außenwand als möglichst schwere innere Mauer.
- 3 Der Wärmeschutz folgt in einer etwa 15 bis 25 cm starken Dämmschicht.
- 4 Den Wetterschutz übernimmt eine ca. 8 bis 12 cm dicke Vormauer, welche an der inneren Wand verankert wird.



Als Dämmware sind beim Neubau Matten, Platten oder Schüttungen geeignet.

Vorteile

- relativ große Dämmstärken möglich
- keine Wärmebrücken
- hohe Lebensdauer
- gute Schalldämmung
- sehr guter sommerlicher Wärmeschutz
- Wärmespeicherfähigkeit

Nachteile

- sehr große Wandstärken
- sehr teures System
- aufwändige Details bei den Anschlüssen, u.a. bei Fenstern und Dach

Diese Bauweise mit der sehr witterungsbeständigen, widerstandsfähigen Vormauer ist z.B. typisch für Norddeutschland (den „rauen Norden“).

Sanierung

Zu den Zeiten, als das Thema Energiesparen noch keine besondere Rolle spielte, wurden solche zweischaligen Wandaufbauten allerdings noch ohne die Kerndämmung hergestellt: Es blieb einfach ein Hohlraum aus Luft von mehreren Zentimetern.

Zur Verbesserung des Wärmeschutzes ist hier bei geplanten Sanierungen eine nachträgliche Kerndämmung des Hohlraums zu empfehlen – statt einer Innen- oder Außendämmung. Solche Lösungen sind nämlich nahezu wirkungslos! Denn innerhalb der Hohlachicht zirkuliert Luft, die an Ritzen und Fugen ein- und austritt und dabei konvektiv Wärme abführt. Die richtige Wahl ist die Hohlraumdämmung, wozu sich als kostengünstige und effektive Methode nur die Einblasdämmung anbietet (→ S. 49).

Das Verfüllen des Hohlraums geschieht dabei maschinell über ein Gebläse mit angeschlossenem Schlauch, das die in Säcken angelieferten losen Dämmstoffe gezielt und verlustfrei bis in die letzten Ecken und Ritzen der zu dämmenden Hohlachicht befördert.

Die Auswahl des Dämmstoffs richtet sich zuerst nach der technischen Eignung für diesen Einbaufall. Grundsätzlich dürfen nur solche mit bauaufsichtlicher Zulassung verwendet werden, die hydrophob (d.h. wasserabweisend) sind; die Einbauunternehmen müssen geschult, qualifiziert und beim Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) eingetragen sein. Einblasbar in den Hohlraum sind anorganische oder organische Dämmstoffe (→ S. 33). Das sind einerseits rieselförmige Produkte wie Blähglas, Perlite, Nanogel oder Polystyrol und andererseits nicht rieselfähige Materialien wie z.B. Steinwollegranulat.

Bei einer geringen Spaltbreite ist abzuwägen, ob teurere Dämmstoffe mit einer niedrigen Wärmeleitfähigkeit oder billigere mit einem höheren λ eingesetzt werden.

4.1.3 Wärmedämmputz

Die Grundidee besteht darin, statt der klassischen Außendämmung mit Dämmplatten eine relativ dicke Putzschicht (mit mehreren Zentimetern Dicke) auf die Außenwand aufzutragen, die aus einem Material mit einer geringen Wärmeleitfähigkeit besteht. Der Putz kann wie üblich die Grundlage für einen Anstrich sein.

Typische Materialien für Putze sind mineralische Gemische wie z. B. Kalkzement, die mit $\lambda = 1,00 \text{ W/(mK)}$ allerdings eine hohe Wärmeleitfähigkeit haben.

Als Wärmedämmputz werden besondere Putze bezeichnet, deren $\lambda < 0,20 \text{ W/(mK)}$ ist (jedoch noch ca. 5-mal besser die Wärme leiten als die üblichen Dämmstoffe). Die deutlich verringerte Wärmeleitfähigkeit wird durch Zugabe von leichten, porösen Materialien wie Perlite, Blähglas, Bimsstein oder Kügelchen aus Polystyrol erreicht.

Der Anteil solcher Leichtzuschläge ist dadurch begrenzt, dass die mechanische Stabilität nicht zu sehr leiden darf. Deshalb ist es unmöglich, ähnlich niedrige λ -Werte wie mit der Außendämmung z.B. durch Dämmplatten zu erzielen.

Den größten Marktanteil haben die EPS-Dämmputze, da sie mit einer Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0,080 \text{ W/(mK)}$ die beste Dämmwirkung erzielen. Außerdem wird hier auch recyceltes EPS verwendet.

Mit neuartigen Aerogel-Dämmputzen sind zwar λ -Werte von $0,03 \text{ W/(mK)}$ möglich – vergleichbar mit PU – ihre Anwendung erfordert jedoch angepasste Methoden, damit die Dämmwirkung nicht beim Auftragen durch Beschädigung der feinen luftgefüllten Poren zerstört wird.

Da der Putz einer Außenwand gut wasserbeständig sein muss, sich diese Eigenschaft aber nicht unbedingt mit einer geringen Wärmeleitfähigkeit verbinden lässt, sollte man eine Kombination aus einem wärmedämmenden Unterputz und einem wasserabweisenden Oberputz wählen.

Ein Wärmedämmputz ist keine Alternative zur Außendämmung, sondern kommt nur dort zum Einsatz, wo es zur Verbesse-

rung des Wärmeschutzes keine andere Möglichkeit gibt.



Seine Vorteile bestehen darin, dass die Dämmschicht fugenlos hergestellt werden kann und dass sich der Dämmputz gut allen geometrischen Formen von

Putzgründen wie z.B. Rundungen anpassen lässt. Als nachteilig wirkt sich die begrenzte Dämmstärke von maximal 10 cm aus, bei vergleichsweise hoher Wärmeleitfähigkeit.

Insgesamt benötigt das (schichtweise) Auftragen einer gleichmäßig dicken Putzschicht mehr Zeit und Fachkenntnis als bei einem herkömmlichen dünnen Putz. Für Aerogel-Dämmputze sind sogar besondere Methoden des Auftragens nötig.

Da die mechanische Stabilität dieses besonders leichten und dicken Putzes geringer ist als bei dem sonst üblichen Standardputz, könnte das auch zu einer verringerten Lebensdauer führen.

4.1.4 Außendämmung

Sie ist die klassische und nach wie vor sinnvollste Variante zur wirksamen Dämmung einer Außenwand. Auf ihr werden auf der Außenseite Dämmplatten verklebt und/oder verdübelt.

Vorteile

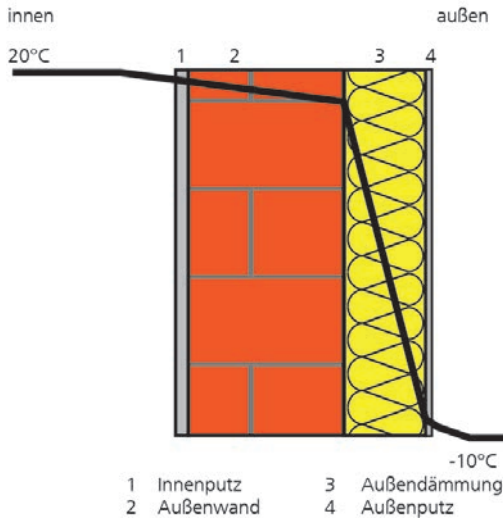
- große Dämmstärken möglich
- Vermeidung von Wärmebrücken
- für Neubau und Sanierung
- sommerlicher Wärmeschutz nimmt zu
- Wärmespeicherfähigkeit nimmt zu
- kostengünstiges System WDVS

Für eine Putzfassade wird auf der Dämmschicht ein Armierungsgewebe angebracht und dann verputzt. Die Bezeichnung dafür lautet Wärmedämmverbundsystem (WDVS).

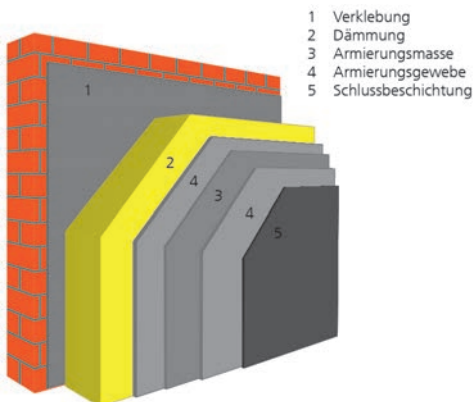
Alternativ wird die Dämmung durch eine äußere Fassade aus unterschiedlichen Materialien (sog. Vorgehängte hinterlüftete Fassade – VHF) ganz außen geschützt.

Wärmedämm-Verbundsystem – WDVS

Das Wärmedämm-Verbundsystem, leider oft noch als (unangenehme) „Thermohaut“ bezeichnet, eignet sich sowohl für den Neubau als auch für die nachträgliche Wärmedämmung von Gebäuden und ist das preiswerteste Außenwanddämmsystem.



Es besteht aus Dämmplatten, die direkt auf die Mauer (Neubau) oder den vorhandenen Außenputz (Altbau) aufgeklebt und/oder verdübelt werden. Das immer notwendige Armierungsgewebe nimmt die Dehnungsspannungen auf und bietet gleichzeitig die Grundlage für den Außenputz als Schlussbeschichtung.



Wie schon der Name sagt, handelt es sich um ein Dämmsystem, das aus aufeinander abgestimmten Materialien des jeweiligen An-

bieters besteht. Eine sorgfältige Ausführung ist unerlässlich und sollte nur vom Fachbetrieb übernommen werden, der dann auch die notwendigen Garantien übernimmt.

Geeignete Dämmstoffe

Es stehen viele Dämmstoffe zur Verfügung. Die Auswahl erfolgt sowohl nach preislichen und technischen als auch nach individuellen und nachhaltigen Gesichtspunkten.

Stehen dämmtechnische Aspekte (niedrige Wärmeleitfähigkeit und dicke Dämmstoffstärken > 18 cm) im Vordergrund, kommt man i.d.R. nicht an Polystyrol (EPS) vorbei.

Spiele Brand- und/oder Schallschutz sowie Nachhaltigkeitskriterien eine wichtige Rolle, so ist zuerst die Steinwolle (MW) zu empfehlen, die übrigens nicht wesentlich teurer als z.B. EPS ist.

Ökologisch sinnvoll einsetzbar sind u.a. auch die folgenden Wärmedämmstoffe:

- Holzfaser (WF)
- Hanf
- Mineralschaum
- Kork (ICB).

Lebensdauer

Untersuchungen des Fraunhofer Instituts für Bauphysik und des Instituts für Bautechnik haben für die Dauerhaftigkeit und die Haltbarkeit eines WDVS schon vor fast 30 Jahren den Beweis erbracht. An wenigen der zahlreich untersuchten Objekte wurden allenfalls geringe Schäden im Putzbereich vorgefunden, die vor allem auf eine nicht fachgerechte Verlegung zurückzuführen waren (mangelnde Erfahrung in der Frühzeit des Wärmedämmverbundsystems um 1970).

Nach 15 Jahren wurden 1991 die Feuchtigkeitsverhältnisse von zwei 1976 mit Polystyrol gedämmten Wohnhäusern in Bremen und Frankfurt detailliert untersucht. Die dort gemessene Feuchte der Dämmplatten lag 80 % unter dem Wert, bei dem ein Dämmstoff in der DIN-Norm als trocken eingestuft wird (bauphysikalische Feuchte).

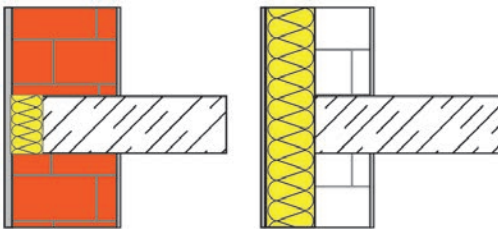
Ergebnis: Das Dämmsystem war nach 15 Jahren „trockener“ als „trocken“.

Die Lebensdauer eines WDVS entspricht etwa der Haltbarkeit des Außenputzes. Zur Pflege gehört praktisch nur der Putzanstrich in den üblichen Zeitabständen. Ausgeführte Dämmsysteme haben oft bereits mehr als 40 Jahre problemlos überdauert. Firmen bieten i.d.R. eine Gewährleistung auf ihr System von 10 Jahren und mehr. Sinnvoll ist ein nach außen diffusionsoffener Aufbau.

Dauerhafte Erhaltung der Bausubstanz

Die Dämmung der Wand von außen bringt die tragende Mauer in den geschützten und warmen Bereich. Die Frostgrenze wird in die Dämmung verbannt, die Mauer bleibt warm und zusätzlich können alle Wärmebrücken vermieden werden.

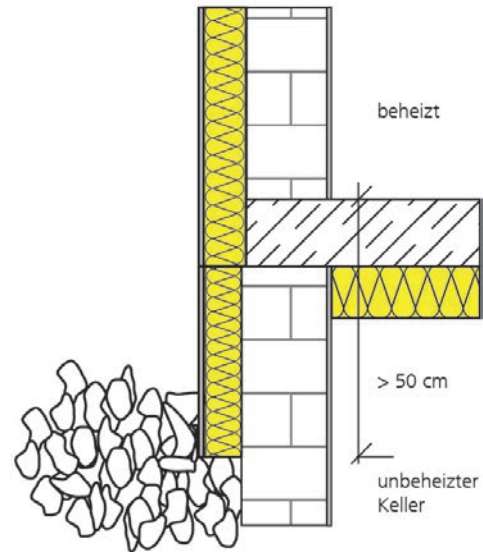
Bei einer fachgerechten Ausführung wird z.B. der Wärmebrückenverlust von in der Außenwand aufliegenden Betondecken (→ S. 26) auf null reduziert.



Bei monolithischen Konstruktionen z.B. mit „Dämmsteinen“ (→ S. 25) oder hoch porosierten Ziegeln dagegen wird die Betondecke außen nur mit einem Dämmstreifen (auch als verlorene Schalung bezeichnet) versehen, der die Wärmeleitung der Decke von innen nach außen als Notlösung nur mäßig verringert und oft auch zu Putzrissen führt.

Als Wärmebrücke wirken auch die Kellerdecken. Ist das bei monolithischen Wänden ohnehin der Fall und deren negativer Einfluss nicht vermeidbar, muss bei einem WDVS darauf geachtet werden, dass es noch ein Stück über die Kellerdecke führt.

Bei Neubauten ist das leicht planbar. Bei Sanierungen kann es erforderlich sein, den Boden rund um das Gebäude aufzugraben, um dort dann eine feuchteunempfindliche Dämmung (z.B. XPS) einbauen zu können. Hier sehen Sie die richtige Ausführung.



Das Dämmmaterial wird noch gut 50 cm über die Kellerdecke heruntergezogen. Endet der untere Abschluss des WDVS bereits auf Höhe der Kellerdecke, bleibt die Decke nicht nur als auskühlende Wärmebrücke erhalten – es können auch Schäden durch Kondenswasser entstehen.

Das Foto zeigt eine gute Sanierungslösung zur Überdämmung der Kellerdecke.



Tauwasserfreiheit

Von innen nach außen durch die Wand diffundierender Wasserdampf (weniger als 1 % der Feuchte wandert durch die Außenwand → S. 95) kann unter ungünstigen Bedingungen zu Wasser kondensieren und dann Bauschäden (wie etwa Schimmelpilz) verursachen. Daher werden z.B. Holzständerwände mit einer innen liegenden Dampfbremse als Luftdichtung versehen.

Die Außendämmung der Außenwand beseitigt diese Gefahr, egal welches Dämmmaterial eingesetzt wird. Der Grund: Die innere Oberflächentemperatur der Wand steigt weit über die Taupunkttemperatur (→ S. 234) und in der Dämmschicht ist der Wasserdampfdruck schon so weit abgebaut, dass es an keiner Stelle zur Kondensation kommt.

Herausforderung „lebende“ Fassaden

Immer wieder sind Algen als unerwünschte „Verzierung“ von Fassaden mit EPS-WDVS zu beobachten. Sie sind aber keine Gefahr für Ihre Gesundheit. Es handelt sich um ein rein „kosmetisches“ Problem und ist nicht mit dem gesundheitsschädlichen Schimmel in Innenräumen gleichzusetzen.



Grundlagen

Bei Gebäuden mit einer guten hochwertigen Wärmedämmung bleibt der Deckputz weitaus länger feucht, als dies bei nicht gedämmtem Mauerwerk der Fall ist.

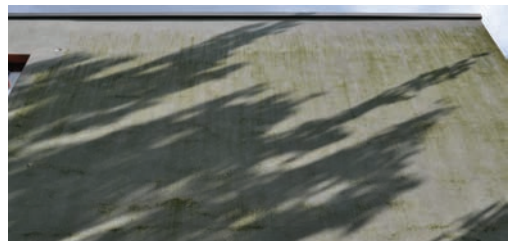
Bei Außenwänden ohne Wärmeschutz wird einerseits die äußere Oberfläche durch die Wärmeverluste quasi ständig trocken geheizt, andererseits führt die hohe Masse der Außenwand dazu, dass auch in kühlen, klaren Morgenstunden die Taupunkttemperatur nur selten unterschritten wird.

Bei WDVS hat die Deckschicht (Putz) dagegen oft eine (zu) geringe Masse mit wenig

Wärmespeichervermögen. Besonders in klaren Nächten kühlt sie durch den Strahlungsaustausch mit dem kalten Weltraum schneller ab. Die merkliche Unterkühlung gegenüber der Umgebungsluft hat zur Folge, dass die Taupunkttemperatur auf der Wand unterschritten wird. Dann bildet sich Kondenswasser analog zum morgendlichen Tau auf Dächern und Scheiben im Freien parkender Autos. An Wintertagen kann die Taupunktunterschreitung (= Feuchtebildung) bis zu 15 Stunden lang anhalten, was sich beim Auto durch gefrorene Scheiben bemerkbar macht.

In der Natur tritt Algenbewuchs häufig auf; sogar Glas oder Metallflächen und Bäume bekommen einen Algenbewuchs, wenn Oberflächen lange feucht bleiben. Feuchtigkeit ist aber eine der Bedingungen für jegliches Leben, weshalb die kalte Jahreszeit inzwischen als die günstigste Wachstumsperiode für Fassadenbewuchs gilt.

Fest steht, dass der Feuchtegehalt der Außenputze auf WDVS höher ist als der auf ungedämmten Mauern und dadurch leichter Algen wachsen können, die zu der grünen Verfärbung der Oberfläche führen.



Bei verdichteter Bebauung tritt der Effekt weitaus weniger auf als in stark durchgrüntem und aufgelockerten Baugebieten. Hier ist die relative Feuchtigkeit der Umgebungsluft aufgrund des höheren Feuchteumsatzes der Botanik höher als in den verdichteten Bereichen z.B. von Innenstädten.

Ursachen

Der störende Bewuchs tritt zuerst an den Nordfassaden auf, weil sie wegen fehlender direkter Sonneneinstrahlung auch nur sehr langsam wieder abtrocknen.

Ein fehlendes Vordach oder ein zu geringer Dachüberstand sowie eine wandnahe Bepflanzung begünstigen dazu noch Regennäs-

se als zusätzliche Feuchtemenge. Und an der Fassade ablaufendes Wasser kann so Algen (aber auch Pilzsporen) ein Stück weiter transportieren und etwas unterhalb wieder anlagern, womit sog. „Nasen“ entstehen, wie die zwei vorherigen Fotos eines Neubaus mit einem WDVS auf Basis EPS veranschaulichen. Dort „passt alles zusammen“: Bäume, kein Dachüberstand und Nordwestausrichtung der Fassade provozieren zusätzlich eine sehr oft feuchte Wandoberfläche.

Im Foto unten ist erkennbar, wie nass die Außenwände beim Haus hinten (Westseite) und beim Haus vorne (Nordseite rechts vom Treppenhaus) sind; Regen, kein Dachüberstand und die Algenbildung hat begonnen (Pfeil) – ein WDVS gibt es hier aber nicht!



Ungünstig wirken sich grundsätzlich auch Gebäudestandorte an Bächen, Flüssen, Seen und in Nebel- oder Hanglagen aus.

Pilze benötigen neben der Feuchtigkeit organische Verbindungen als Nahrung, die in Schmutzpartikeln sowie Pollen enthalten sind und über die Luft auf die Fassaden gelangen. Doch auch die meisten handelsüblichen Putze und Anstriche kommen ohne organische Zusatzstoffe nicht aus. Im Gegensatz dazu decken Algen ihren Nahrungsbedarf mit Kohlendioxid, Stickstoff und bei möglichst wenig Sonnenlicht. (Übrigens wird das zunehmende Algenwachstum auch mit einer heute grundsätzlich verbesserten Luftqualität begründet.) Gemäß dem aktuellen Kenntnisstand verursacht ein derartiger Bewuchs jedenfalls keine Bauschäden!

Abhilfe/Vorbeugung

■ **Konstruktiv:** Bei der meist unumgänglichen Nordfassade die Bepflanzung entfernen bzw.

keine einplanen; Dächer mit ausreichend Überstand planen (auch bei Flachdächern oder diese vermeiden), da so der Strahlungsaustausch mit dem kalten Weltraum und Schlagregeneinträge vermindert werden.

■ **Bauphysikalisch:** Die Fassade statt weiß (reflektierende Wirkung) in einem dunkleren Farbton (kurzwellige absorbierende Wirkung) streichen, weil dadurch tagsüber größere Strahlungsenergiegewinne möglich sind. Eine weitere Möglichkeit ist der Einsatz von infrarot-reflektierenden Fassadenfarben, welche durch eine geringere langwellige Emission den Strahlungsaustausch der Fassade mit dem Nachthimmel reduzieren. Allerdings ist hier ein Alterungseffekt aufgrund der Feinstaub- und Verschmutzungsanreicherung zu erwarten.

■ **Putztechnisch:** Bei einem WDVS ist ein guter Fassadenputz unabdingbar. Er sollte ein geringes Aufnahmevermögen für Feuchtigkeit haben und diese schnell wieder abgeben können („Lotuseffekt“). Dazu sollten sehr raue/grobe Putzstrukturen vermieden werden, in denen sich eher die „Nahrungsgrundlagen“ für Algen (und Pilze) anlagern können. Ganz wichtig: Es sollte ein WDVS mit möglichst hoher Wärmespeicherkapazität beim Dämmstoff gewählt werden; außerdem schwere Deckschichten (Dickputz statt des üblichen Dünnputzes im mm-Bereich). So kann die Gefahr der nächtlichen Abkühlung deutlich vermindert wird. Positiv sind reine Kalkputze, denn sie sind alkalisch und verhindern das Wachstum von Algen. Die Alkalität nimmt aber im Laufe der Jahre auch hier mit zunehmender Feinstaub- und Schmutzbelastung der Oberfläche ab.

■ **Chemisch:** Die Neigung mancher Putzhersteller, den Algenbewuchs durch Biozid- und Fungizidbeimischungen in den Farben zu begegnen, ist kritisch zu bewerten. Denn die Giftstoffe müssen wasserlöslich sein, damit sie von den Mikroorganismen aufgenommen werden. Das bedeutet aber gleichzeitig, dass sie bei Verwitterung der Farbschicht durch den Regen aus der Fassade gewaschen werden und ins Erdreich und damit ins Grundwasser gelangen. Das wurde durch Tests und

Messungen u.a. des Fraunhofer Institutes für Bauphysik nachgewiesen. Und durch die Auswaschung ist kein langfristiger Schutz vor Algenbewuchs gegeben.

■ **Blauer Engel:** Das Umweltbundesamt (UBA) hat schon 2010 Vergabekriterien für ökologisch und gesundheitlich unbedenkliche WDVS für das Umweltzeichen Blauer Engel entwickelt. Ein wichtiges Merkmal, dass Systeme mit dem Blauen Engel vom Rest unterscheidet, ist die Minimierung von Bioziden und anderen umweltschädlichen Stoffen. Zwar sind kunststoffbasierte Dämmstoffe wie EPS, PU oder PF nicht ausgeschlossen; bisher haben sie das Umweltzeichen wegen der strengen Anforderungen aber noch nicht erhalten. Ende 2018 hat die Jury Umweltzeichen überarbeitete Vergabekriterien für WDVS (DE-ZU 140) beschlossen, worin ein System u.a. hundert regnerische Herbsttage ohne sichtbaren Bewuchs durchstehen muss. Bisher sind so 25 verschiedene Systeme mit dem Blauen Engel ausgezeichnet (Mineralwolle, Mineralschaum, Holzfaser, Hanf). Er bietet also eine leichte Orientierung für Ihre Wahl eines hochwertigen WDVS-Systems.

Fazit

Organismen und damit Algenbewuchs auf der Fassade sind in erster Linie ein ästhetisches Problem. Sie sollten deshalb aber auf keinen Fall auf eine Dämmung verzichten, sondern je nach Standort die erwähnten vorbeugenden Maßnahmen (außer Chemieeinsatz!) bei der Planung eines WDVS berücksichtigen.

Schwärzepilze

Ein weiter zunehmendes Problem sind Pilze, die durch ihre Schwarzfärbung auffallen. Beim folgenden Foto handelt es sich nicht um einen Wohnungsbrand, sondern um Schwärzepilze, die sich auf einem WDVS gebildet haben – und zwar durch die dauerhafte Kippstellung des Fensters (bekanntermaßen die schlechteste Lüftungsmöglichkeit). Hier kondensieren die Schadstoffe aus der Wohnungsluft auf der Fassade!

Selbst wenn Pilzsporen über das geöffnete Fenster in den Raum gelangen, haben sie wegen der geringen Konzentration keine ernst-

haften, gesundheitlichen Auswirkungen. Eine Sanierung ist aber geboten.



Wärmespeicherung

Die Außendämmung verbessert grundsätzlich die Nutzung des Wärmespeichervermögens der Wand selbst – vor allem, wenn sie aus schwerem, dichtem Material besteht (hohe Rohdichte von mehr als 1.000 kg/m³).

Kosten eines WDVS

Die Kosten sind je nach Dämmstärke, -stoff und Objektgröße sehr unterschiedlich. Da Polystyrol objektiv am preiswertesten ist, werden an dieser Stelle Orientierungswerte für die Sanierung eines Einfamilienhauses gegeben. Der Systempreis ist als Komplettprice (für Baustelleneinrichtung, Gerüst, Dämmung, Putz, neue Fensterbänke, Versetzen der Fallrohre, Arbeit) zu verstehen.

Dämmstoffstärke	Systempreis in € pro m²
10 cm	115 - 125
14 cm	125 - 145
18 cm	145 - 165

Für ein Einfamilienhaus mit z.B. 150 m² Außenwandfläche (inkl. der Fensterflächen, die i.d.R. übermessen werden!) liegen die Gesamtkosten bei etwa 18.000 bis 24.000 €.

Ist ohnehin eine Fassadensanierung (neuer Anstrich) geplant, betragen die Gesamtkosten für Gerüst, Reinigung, Putzausbesserung, Putzgrundierung und neuem Anstrich etwa 40 bis 50 € pro m².

Dann liegen die Mehrkosten für eine zusätzliche Dämmung mit z.B. 16 cm Steinwolleplatten bei nur noch max. 110 € pro m², für die es über die KfW-Bank (→ S. 158) sogar noch einen Zuschuss oder zinsgünstigen Kredit gibt (www.kfw.de).

Wirtschaftlichkeit

Im Gegensatz zu reinen Instandhaltungsmaßnahmen am Gebäude hat jede Energiesparteknik diesen Vorteil: Die Investition (hier in eine Außenwanddämmung) fließt durch die Heizkosteneinsparung zurück!

Bei der Altbausanierung sind das die Kosten für das gewählte Dämmsystem (eventuell abzüglich der Kosten für die ohnehin geplante Fassadensanierung) – beim Neubau ist eine kostenoptimierte Planung (schwere, schmale und kostengünstige Mauer + gute Wärmedämmung) sinnvoll.

Bei einem Nutzungszeitraum des WDVS von mindestens 30 Jahren, bei Energiepreisen von 5 bis 7 Cent je kWh (je nach Energieträger → S. 175) und der Annahme einer Energiepreissteigerung von 5 % jährlich (in den 56 Jahren von 1963 bis 2019 ist z.B. der Preis des Heizöls im Durchschnitt jährlich um 5 % gestiegen) ist eine Außenwanddämmung wirtschaftlich, beim Neubau und bei der Sanierung (inkl. KfW-Förderung).

Qualität der Ausführung

Legen Sie auf eine hochwertige Ausführung des WDVS Wert. So dürfen die Dämmplatten nicht mit Abstand zur Wand befestigt werden (Klebebatzen oder „Frikadellentechnik“), weil der so entstehende Luftspalt die Luft in Bewegung versetzt. Diese sog. Konvektion verschlechtert die Dämmwirkung.

Gleiches gilt für unbedingt zu vermeidenden Fugen zwischen den Platten, wie bei dieser wenig fachmännischen Ausführung.



Es kommt ja auch niemand, der bei -10°C mit einem dicken Mantel warm eingepackt spazieren geht, auf die Idee, sich mit einer Schere lange Schlitzte in den Mantel zu schneiden, damit er schneller auskühlt.



Das Foto unten links mit (dunklen) EPS-Dämmplatten zeigt, wie ein WDVS im Gegensatz zum Foto oben mit kleinformatischen Steinwolleplatten nicht ausgeführt werden sollte.

Fugenfreies Verlegen gelingt leider nicht allzu oft, wie auch dieses Foto verdeutlicht.



Die hier sichtbare „Lösung“, die entstandenen Fugen mit Bauschaum zu schließen, ist reine Kosmetik fürs Auge, zeugt von wenig Sachverstand der ausführenden Firma und ist keine Lösung. Denn, der Schaum füllt bei Fugenbreiten von 1 bis 5 oder gar 10 mm immer nur die ersten Zentimeter, niemals aber die gesamte Tiefe der Dämmplatte von 14, 18 oder gar 30 cm.

Vorgehängte hinterlüftete Fassade – VHF

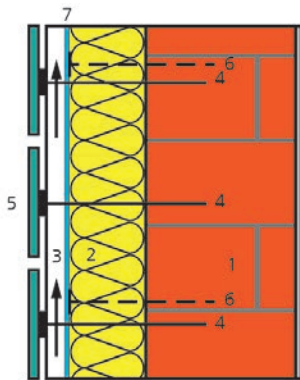
Sie gehört im Wohnungsbau sicher nicht zur traditionellen Bauweise, ist aber eine – wenn auch kostenintensivere – Alternative zum WDVS und wird vor allem im Gewerbebau eingesetzt. Sie lässt einerseits die Wahl einer repräsentativen Fassadengestaltung zu und bietet andererseits einen besonders dauerhaften Witterungsschutz.



Sie hat i.d.R. vier Bestandteile: Eine Wärmedämmung, die Unterkonstruktion mit den Befestigungsmitteln, eine vertikale Luftschicht als Hinterlüftungsebene sowie die vorgehängte Fassade aus den unterschiedlichsten Materialien als dauerhaften Schutz vor dem Wetter.

Funktion der Hinterlüftung

Das Merkmal der VHF ist die Luftschicht, die für eine ständige Hinterlüftung sorgt und in Bezug auf Feuchte und Wärme die Fassade von der gedämmten Tragstruktur trennt.



- | | |
|---------------------------------|-----------------|
| 1 Mauer | 5 Wetterfassade |
| 2 Dämmung | 6 Dämmdübel |
| 3 Luftschicht $\geq 2\text{cm}$ | 7 Winddichtung |
| 4 Unterkonstruktion | |

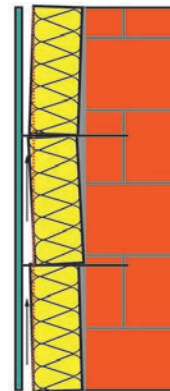
Eine durchgehende Belüftungsebene zwischen Dämmung und Fassadenverkleidung (Wetterschale) von mindestens 2 cm Breite sorgt für die sichere Abführung der Feuchtigkeit, entstanden durch

- von innen nach außen diffundierendem Wasserdampf.
- Kondensat (Tauwasser), welches innen an der Fassadenverkleidung entsteht.
- Feuchte (z.B. Regen, Nebel), die von außen durch die Fassade eindringt.

Damit die Abführung der Feuchte auch wirklich funktioniert, müssen im Sockel- und im Dachbereich ausreichend große Zu- und Abluftöffnungen (mindestens 200 cm² pro Meter Wandlänge \approx ca. 2 cm Spalt) vorhanden sein, die eine sichere thermische Hinterströmung der Fassadenverkleidung ermöglichen!

Als Wärmedämmung geeignet ist Platten- und Mattenware wie u.a. Hanf, Flachs, Kork, Stein- und Glaswolle, Phenolharz oder Holzfaser. Gemäß DIN 4108-10 haben die Dämmstoffe, die für den VHF-Einsatz geeignet sind, das Kurzzeichen WAB und benötigen eine bauaufsichtliche Zulassung.

Die Dämmung wird ein- oder zweilagig an der Außenwand (z.B. aus Holz, Ziegel, Beton) oder beim Altbau auf dem alten Verputz befestigt, meist nachdem die Unterkonstruktion montiert wurde. Es ist darauf zu achten,



dass das Dämmmaterial so angebracht wird, dass die Mindestbreite des Luftspalts von 2 cm auch über die gesamte Höhe der Fassade eingehalten wird und nicht an der einen oder anderen Stelle der Dämmstoff so von der Wand absteht, dass er fast die Verkleidung berührt. Auch „Fremdstoffe“ wie Baumüll haben im Luftspalt nichts zu suchen.

Die Fassade hat die Funktion eines dauerhaften Wetterschutzes und kann von unterschiedlichem(r) Format, Form, Farbe und Material bestehen.

Damit ergeben sich zwar einige gestalterische Möglichkeiten; je nach Material ist es

aber das teuerste Bauteil der VHF. Zur Auswahl stehen u.a.

- Natur- oder Kunstschieferplatten
- Holz (Brett- oder Stülpchalung)
- Holzschindeln
- Steinplatten wie z.B. Marmor
- Kupfer- und Zinktafeln
- Aluminiumplatten
- Keramische Platten.

Bei vergleichsweise offenen Fassadenbekleidungen wie z.B. einer Holzschalung, muss eine diffusionsoffene Winddichtung über die Dämmung montiert werden, damit sie nicht von kalter Luft hinterströmt wird.



Unterkonstruktion

Da sie die Fassadenverkleidung trägt, muss sie auf deren Eigenschaften abgestimmt sein (z.B. Gewicht, Montage). Für Gebäude über acht Meter Höhe ist die Zulassung des jeweiligen Fassaden-Systems erforderlich, wovon es drei verschiedenen Systeme gibt.

- Holzlattung (imprägniert), ein- oder besser zweilagig
- Aluminium- und Holz/Aluminium-Konstruktionen der verschiedenen Hersteller
- Edelstahlanker (u.a. für relativ schwere Natursteinverkleidungen).

Alle Befestigungsmittel (Nägel, Schrauben und Dübel) müssen nicht rostend ausgestattet und aufeinander abgestimmt sein.

Neben einer Gewährleistung von Brandschutz und Standsicherheit sollte die Unterkonstruktion eine möglichst geringe Wärmebrückenwirkung haben. Denn sie durchdringt den Dämmstoff an vielen Stellen und stellt damit eine Wärmebrücke dar. Bereits

bei einer geringen Dämmung von nur 6 cm kann der geplante Wärmeschutz der Wand um 10 bis 15 % verschlechtert werden, wenn die Holztragplatten direkt auf die Wand geschraubt werden. Diese Fläche steht dann für die Wärmedämmung nicht mehr zur Verfügung. Bei einem Einfamilienhaus sind das immerhin 15 bis 20 m².



Gemäß EN ISO 6946 muss die Wärmebrückenwirkung der Befestigung einer VHF bei der U-Wert-Berechnung der Außenwand berücksichtigt werden.

Kosten und Besonderheiten

Die Kosten dieses Fassadensystems liegen abhängig vom Fassadenmaterial zwischen 150 und 200 €/m², davon allerdings nur etwa 15 bis 50 €/m² für den Dämmstoff.

Besonders wichtig ist auch hier eine fugendichte Verlegung der Wärmedämmung, die i.d.R. durch eine Winddichtung zu schützen ist. Ansonsten bestehen prinzipiell die gleichen Vorteile wie beim WDV. Einzig die Dämmstoffstärke kann teilweise konstruktiv je nach System und Hersteller begrenzt sein.

4.1.5 Fazit und Empfehlung

Mehr als 90 % der Altbauten haben leider einen unzureichenden, weit hinter den technischen Möglichkeiten zurückbleibenden Wärmeschutz der Außenwände, wie das Foto dieses Wohnhaus aus den 1960er Jahren erkennen lässt.



Falls Sie das nicht glauben, sind Thermografien eine Möglichkeit, die Wärmeverluste ihrer nicht gedämmten Bauteile auch sichtbar zu machen.

Ungedämmte Außenwände sind bei tiefen Außentemperaturen oft die Ursache für ein unbehagliches Raumklima sowie für Zugserscheinungen und, zusammen mit anderen Faktoren, für die Feuchte- und Schimmelbildung in den Raumecken oder Fensterlaibungen.



Durch eine nachträgliche Außenwanddämmung können im Gebäudebestand die Energieverluste durch die Wände um 75 % reduziert, bei einem Neubau durch einen sehr guten Dämmstandard über die gesetzlichen Mindestanforderungen hinaus halbiert werden.

Exkurs Wärmedämmung führt zu Schimmel?

Zu beobachten ist, dass Schimmelprobleme in Wohnungen im Laufe der letzten Jahrzehnte unverändert einen wesentlichen Teil der Bauschäden ausmachen. Im Bauschadensbericht 1996 wurden 12,7 % und im Bauschadensbericht 2008 14 % der Bauschäden Schimmelpilzproblemen zugeordnet. Das betrifft sowohl Neubauten, die i.d.R. viel zu rasch bezogen werden und daher nicht genügend Zeit zum Austrocknen haben, als auch sanierte Gebäude; aber auch in einem sehr hohen Maße unsanierte Bestandsgebäude.

Schimmel kann immer dann auftreten, wenn sich warme Raumluft an Bauteiloberflächen abkühlt und dadurch die relative Feuchte der Luft stark zunimmt; im Extremfall kann es sogar zu Tauwasseranfall (Kondensatbildung) kommen.

Auch ph-Wert und Kapillarität einer Oberfläche beeinflussen die Neigung zur Schimmelbildung.

Ein zusätzlicher Wärmeschutz führt immer zu einer Anhebung der raumseitigen Oberflächentemperatur von Außenbauteilen (→ S. 12) und senkt somit im Grundsatz das Schimmelrisiko.

Auch bei einem gutem Wärmeschutz kann es aus folgenden Gründen zu Schimmelproblemen kommen: An Stellen der Gebäudehülle, an denen die Wärmedämmung unterbrochen oder geschwächt ist (verbleibende Wärmebrücken), können jetzt die Orte der geringsten Oberflächentemperatur liegen. Besonders bei Fenstererneuerung tritt die Tauwasserbildung nicht mehr, wie früher üblich, zuerst an den Fensterscheiben auf. Kritische Luftfeuchtezustände können dadurch nicht mehr unmittelbar erkannt werden und die erforderliche Lüftung unterbleibt.

Solche Stellen können Außenecken sein, aber auch Anschlüsse der Fassadendämmung an den Keller oder an eine Dachdämmung. Balkonplatten, einbindende Garagendecken oder Briefkastenanlagen sind weitere mögliche Problemstellen.

Eine genaue Planung solcher Details hilft, baulich praktikable und kostengünstige Lösungen zu identifizieren. Hierzu gibt es heute eine Vielzahl geprüfter und bewährter Lösungen.

Besonders an Wärmebrücken in Dämmschichten auf der warmen Bauteilseite (Innendämmung) können geringere Oberflächentemperaturen als vor der Sanierung auftreten, was ein erhöhtes Risiko darstellen würde. Aber auch dafür gibt es sichere und bewährte Konstruktionen. Innendämmungen (→ S. 64) sind besonders detailliert zu planen und fachmännisch auszuführen, da sie weniger fehlertolerant sind als Außendämmungen.

Andererseits führt der Einbau von neuen, dichteren Fenstern zu einem reduzierten Fugenluftwechsel. Dies verursacht – bei gleichbleibenden Heiz- und Lüftungsgewohnheiten – einen deutlich höheren Feuchtegehalt der Raumluft als vor der Sanierung, wenn keine angepasste Lüftung per Fenster oder Lüftungsanlage erfolgt.

Schimmelwachstum wird vermieden, wenn eine dauerhaft hohe relative Luftfeuchte auch an ungünstigen Stellen von Außenbauteilen (Wärmebrücken) durch ausreichende Beheizung und Lüftung verhindert wird. Da der Mensch, im Gegensatz zur Temperatur, die Höhe der Feuchte in seinem Umfeld nicht spüren kann, wird zur Kontrolle der Luftfeuchtigkeit im Winter der Einsatz eines Hygrometers dringend empfohlen.

Tritt Schimmel bei wärmedämmten Neubauten auf, liegt mit großer Sicherheit ein Planungs- und/oder Ausführungsfehler vor.

Nachträglich lässt sich die Stärke der einmal montierten Dämmung nicht mehr (oder nur mit kaum vertretbarem Aufwand) ändern. Deshalb spricht alles für die Wahl der optimalen Dämmstoffstärke von Anfang an.

Altbausanierung: 15 cm, hier können nicht alle vorhandenen Wärmebrücken beseitigt werden, daher wird der Effekt von Stärken über 15 cm allmählich geringer.



Dieser Altbau erhielt ein System auf Basis natürlicher Dämmstoffe. Auf Abstandhalter wurde eine Holzfaserplatte montiert (die später verputzt wurde). Danach wurde eine Einblasdämmung aus Zellulose eingebracht; die Gesamtdämmstärke liegt hier bei 24 cm!



Neubau: mindestens 18 cm Dämmstärke, hier sind alle den Heizenergieverbrauch beeinflussenden Faktoren optimal planbar.

Empfohlen werden Dämmsysteme für die Außenwand in dieser Reihenfolge:

1. WDVS
2. VHF
3. Kerndämmung
4. Wärmedämmputz
5. Innendämmung (in Sonderfällen).

Für deutlich höhere Dämmstoffdicken als die oft noch üblichen 12 bis 14 cm sprechen:

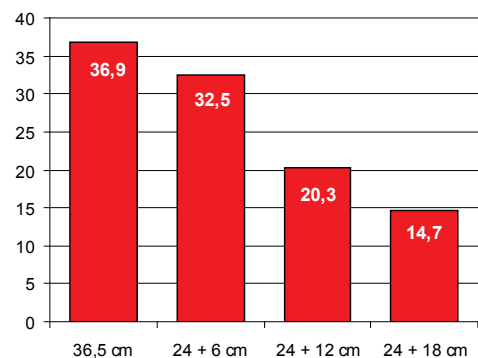
- der lange Nutzungszeitraum von mindestens 30 Jahren;

- der geringe Anstieg der Kosten pro cm Dämmstoffdicke von 3,00 bis 4,00 €/m²;
- eine Amortisation der Mehrkosten innerhalb der Lebensdauer durch weiter steigende Energiepreise;
- die aus langjährigen Erfahrungswerten abgeleitete ökologisch und auch wirtschaftlich sinnvolle Dämmstärke liegt [bezogen auf $\lambda = 0,040 \text{ W/(mK)}$] zwischen mindestens 15 und 20 cm;
- der wichtige Beitrag zum Klimaschutz.

Auch für die nachfolgenden Generationen sollte eine gute Wärmedämmung auf der Außenwand selbstverständlich sein – ganz gleich mit welchem Dämmstoff. Die Vorteile sind klar und überzeugend:

- guter winterlicher Wärmeschutz
- guter sommerlicher Wärmeschutz
- sehr hohe Behaglichkeit durch warme Innenwandoberflächen
- Schutz der Bausubstanz (Vermeidung von Schimmel, Dehnungsrisen und Wärmebrücken, Frostverlagerung nach außen)
- Tauwasserfreiheit der Konstruktion
- Einsparung an Energieverbrauch über die Außenwand von 50 bis 75 %

Heizwärmebedarf in kWh pro m² und Jahr



Die Verringerung des Jahres-Heizwärmebedarfs mit zunehmender Dämmstärke:

36,5 cm Ziegelwand [$\lambda = 0,18 \text{ W/(mK)}$] im Vergleich mit 24 cm Ziegelwand [$\lambda = 0,29 \text{ W/(mK)}$] + 6, 12 und 18 cm Dämmung mit $\lambda = 0,040 \text{ W/(mK)}$ am Standort Frankfurt a.M. mit $G_{t(20/15)} = \text{mit } 3.349 \text{ Kd/a.}$

- Wirtschaftlichkeit durch eine hohe Energiekosteneinsparung.

4.1.6 Transparente Wärmedämmung (TWD)

Sie kann durch die passive Nutzung der Sonnenenergie den Energieverbrauch während der Heizzeit im Neu- und Altbau gegenüber einem konventionell gedämmten Gebäude weiter reduzieren.

Die TWD ist eine hoch lichtdurchlässige (allerdings nicht durchsichtige) Außendämmung, welche, wie auch andere Dämmmaterialien, die Transmissionswärmeverluste von innen nach außen verringert – gleichzeitig aber durch ihre Transparenz auch Wärmegewinne von außen nach innen zulässt. Seit Beginn der 1980er Jahre wird in diesem Bereich an mehr als 120 mit TWD ausgestatteten Gebäuden geforscht. Das Ergebnis: Sie hat sich bewährt, ist auf dem Stand der Technik und vor allem für Außenwandfassaden gut geeignet. Relativ unabhängige und detailliertere Informationen sind noch beim Fachverband Transparente Wärmedämmung e.V. zu finden, wenn auch längst nicht mehr aktuell (www.umwelt-wand.de/twd/).

Eine breite Einführung im Neubau wie im Altbau scheitert seit vielen Jahren am ungünstigen Kosten-Nutzen-Verhältnis. Da die erforderlichen Verschattungssysteme einen hohen Anteil an den Kosten haben, wurden passiv selbstregelnde Systeme mit z.B. thermotropen Materialien entwickelt, die je nach herrschender Temperatur die Lichtstreuung so verändern, dass eine Überhitzung vermieden wird.

Eine TWD eignet sich vor allem

- wenn eine massive, schwere Außenwand vorhanden oder geplant ist;
- auf der Südseite des Gebäudes;
- bei Verschattungsfreiheit dieser Fassade im Winter durch Nachbargebäude oder Bäume;
- bei der Sanierung von Altbauten;
- in kalten und sonnigen Regionen.

TWD erzielt zwar neben den Energieeinsparungen auch einen Behaglichkeitsgewinn wegen der über der Raumlufttemperatur liegenden Wandtemperatur; bei einer Heizkosteneinsparung von ca. 20 €/m²a) kann man sie aber nur als „Luxusinvestition“ ansehen.

Funktionsprinzip

Wegen der während der Heizzeit herrschenden Temperaturdifferenz zwischen Gebäudeinnerem und der Außenluft kommt es zu einem von innen nach außen gerichteten Wärmestrom, d.h. ein Teil der durch die Heizanlage einem Raum zugeführten Wärme geht u.a. durch die Außenwand verloren. Eine gute (opake = nicht lichtdurchlässige) Dämmung wie das WDVS reduziert solche Wärmeverluste zwar deutlich. Die von außen auftreffende Sonneneinstrahlung bleibt jedoch nahezu ungenutzt, da sie fast vollständig wieder nach außen abgegeben bzw. reflektiert wird.

Die TWD lässt dagegen einen Großteil der Strahlung hindurch. Auf der (dunkel gestrichenen) Wand, die wie ein Absorber (→ S. 226) wirkt, wird die Strahlung in Wärme umgewandelt und in die Wand weitergeleitet. Diese wirkt als thermischer Speicher und gibt die aufgenommene Wärme mit einer entsprechenden Verzögerung an den dahinter liegenden Raum ab.

Sobald die Temperatur der Wandinnenoberfläche die Raumlufttemperatur übersteigt, kommt es zu einem von der Wand in den Raum gerichteten Wärmestrom. Und steigt die Temperatur der Wand weiter auf 20 bis 35°C, wirkt sie subjektiv ähnlich wie eine großflächige Wandheizung (→ S. 213), weshalb jetzt die Raumlufttemperatur bei gleichbleibender empfundener Temperatur abgesenkt werden kann. Und das ist dann die Energieeinsparung.

Der bilanzierte Wärmegewinn über einen m² Südfassade beträgt je Heizperiode etwa zwischen 50 und 150 kWh. Die Kosteneinsparung liegt dabei in einem Bereich von „nur“ 10 bis 20 €/m²a).

Materialien

TWD müssen gleichzeitig über gute Wärmedämmeigenschaften, also eine geringe Wärmeleitfähigkeit λ und eine hohe Durchlässigkeit für Licht bzw. Solarstrahlung (g-Wert > 0,4; → S. 107) verfügen. Hier stellen Hohlkammerstrukturen (Kapillaren, Waben) aus

Kunststoff oder Glas die beste Kombination aus Transparenz und Wärmedämmung dar.

■ Glas

Es bietet eine sehr hohe Temperatur- und UV-Beständigkeit, hat gegenüber Kunststoff aber eine höhere Dichte und daher ein viel größeres Gewicht. Hersteller sind Lamberts oder gapsolution. Angeboten werden u.a.

$s = 98 \text{ mm}$, $\lambda = 0,15 \text{ W/(mK)}$ mit 35 kg/m^2

$s = 110 \text{ mm}$, $\lambda = 0,09 \text{ W/(mK)}$ mit 30 kg/m^2

■ Kunststoffe

Bewährte Ausgangsstoffe sind die Kunststoffe Polymethylacrylat (PMMA), auch als Plexiglas bekannt, und Polycarbonat (PC, Macrolon), wobei Temperatur- und UV-Beständigkeit die wichtigsten Kriterien sind. So ist PMMA bis ca. 90°C zu gebrauchen, PC bis zu 140°C bei gleichzeitig höherer mechanischer Stabilität. Es gibt auch Produkte aus Nanogel oder Kieselsäure-Gel. Hersteller sind Bayer, Cabot, Okalux, Sto oder wacotech. Angeboten werden z.B.

$s = 105 \text{ mm}$, $\lambda = 0,12 \text{ W/(mK)}$ mit 5 kg/m^2

$s = 100 \text{ mm}$, $\lambda = 0,10 \text{ W/(mK)}$ mit 12 kg/m^2

Fassadensysteme

Für den Einsatz von TWD sind Fassadensysteme notwendig, die das gewählte Material aufnehmen und neben technischen Anforderungen auch architektonisch ansprechende Lösungen erzielen. Allen Systemen gemeinsam ist, dass sie außen vor der Massivwand (Rohdichte mindestens 1.200 kg/m^3), installiert werden. Die Wahl des Fassadensystems ist dann abhängig von verschiedenen Faktoren wie z.B. von der Funktion der TWD-Fassade, von Material und Gewicht der TWD-Elemente, vom Investitionskostenrahmen oder dem angestrebten Wirkungsgrad.

Zum Schutz aller TWD-Elemente vor mechanischen Beanspruchungen, UV-Licht, Regenwasser und sonstigen Verunreinigungen sind sie i.d.R. außen (teilweise auch innen) mit einer Glasschicht versehen.

■ Pfosten-Riegel-System/Vorhangfassade

Die TWD-Elemente werden zwischen Riegeln und Pfosten aus Aluminium oder Holz-Aluminium eingebaut. Die Elemente selbst haben nach außen und innen eine Glas-

scheibe, als Randverbund wird ein thermisch getrenntes Aluprofil eingesetzt. Die Investitionskosten liegen inklusive Installation zwischen 450 und 750 €/m^2 .

Bei der vorgehängten Fassade werden die TWD-Elemente einzeln direkt an der Wand befestigt. Der Fassadenrahmen besteht meist aus Holz und wird durch Aluprofile, in welche die äußere Verglasung eingesetzt wird, vor Witterungseinflüssen geschützt. Die Investitionskosten inkl. Montage betragen 400 bis 600 €/m^2 .

Beide Systeme benötigen im Sommer einen Überhitzungsschutz durch Rollos oder Jalousien, die je nach Ausführung vor oder in das TWD-Element montiert werden – möglichst als automatisiertes System. Bei Neubauten müssen zusätzliche konstruktive Verschattungsmöglichkeiten u.a. durch Balkone oder großen Dachüberstand eingeplant werden. Auch dieser nicht zu vergessende Sonnenschutz macht einen Teil der oben genannten hohen Investitionskosten aus.

■ Transparentes Wärmedämmverbundsystem (TWDVS)

Die TWD-Elemente werden wie ein klassisches WDVS mit einem schwarzen Kleber (Absorber) direkt auf die Wand montiert. Die Elemente sind bereits werkseitig mit einem Vlies und einem Glasputz versehen, sodass sie direkt in die ausgesparten Felder der opaken Dämmung eingeklebt werden können. Die Investitionskosten inkl. Einbau betragen ca. 200 bis 300 €/m^2 und sind damit das kostengünstigste System. Dafür liegt aber auch der Energiedurchlass des TWDVS ca. 10 bis 20% unter dem verglasten Systeme.



Eine Verschattung ist nicht vorgesehen, weil durch die richtige Dimensionierung der TWD-Belegung an der gesamten Fassadenfläche eine Überhitzung der Innenräume im Sommer vermieden wird.

4.2 Dach

Seit der Mensch zu Bauen gelernt hat, hat er zunächst das schützende Dach errichtet. Es schützt uns und das Gebäude vor Hitze, Kälte, Regen, Schnee und Sturm. Wie kein anderes Bauteil ist das Dach diesen vielfältigen Einflüssen ausgesetzt und damit einer erheblichen Beanspruchung von außen und innen unterworfen. Dächer müssen diesen „Angriffen“ Jahrzehnte widerstehen. Es ist deshalb wichtig, die Beanspruchungen zu kennen, um die richtigen konstruktiven Maßnahmen ergreifen zu können.

Zum Bereich Dach zählen geneigte Dächer, Flach- und Gründächer, Dachgeschossdecken zum unbeheizten Dachraum sowie Abseitenwände. Der Wärmeschutz wird in erster Linie von der Wärmedämmschicht erbracht. Andere Schichten (Betondecke, Ziegeleindeckung oder Dachbegrünung) haben konstruktive oder mikroklimatische Aufgaben und keinerlei Wärmeschutzfunktion.

Wird der Dachspeicher nicht als beheizter Raum genutzt, ist nur die oberste Geschossdecke zu dämmen – und auf keinen Fall die Schrägen! Das ist effizienter, einfacher und kostengünstiger zu realisieren.

Hier werden nicht alle Konstruktionsmöglichkeiten behandelt. Der Schwerpunkt liegt im Folgenden auf dem am häufigsten eingesetzten ‚geneigten Dach‘.

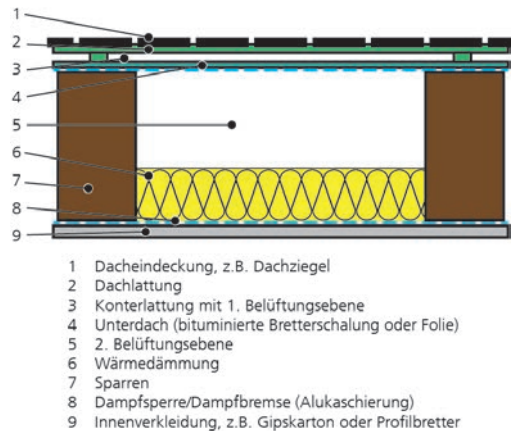
4.2.1 Ausgangslage

Im Gebäudebestand gibt es Flachdächer und geneigte Dächer, letztere meist als Satteldach mit Neigungen von 25 bis 50°.

Das Flachdach ist oft nur mäßig gedämmt und wird wegen der großen wechselnden thermischen Belastungen (Winter-Sommer) regelmäßig undicht. Im Falle einer anstehenden Sanierung, die auch einen verbesserten Wärmeschutz einschließt, ist zu empfehlen, ein schwach geneigtes Satteldach oder ein Pultdach (jeweils mit einer geringen Neigung von z.B. 12°) auf das Flachdach zu setzen. Das bringt einige Vorteile: So kann ein Dachüberstand zum Schutz der Außenwand ge-

plant und eine Dämmstofflage in beliebiger Stärke bis 30 oder 40 cm eingebracht werden. Außerdem ist jetzt ein wärmebrückenfreier Anschluss der Dachdämmung an eine Außenwanddämmung einfacher zu realisieren. Und schließlich sind so undichte Stellen auf Dauer vermeidbar.

Satteldächer sind bei ausgebauten Dachgeschossen ebenfalls schwach bis sehr mäßig gedämmt, fast immer zwischen den Sparren und oft mit Glaswolle von nur 4 bis 8 cm Stärke, die nicht selten innen mit einer Alufolie als Dampfsperre kaschiert ist.



Grundsätzlich sind im Satteldach zwei Belüftungsebenen zu unterscheiden:

Die 1. Ebene zwischen Eindeckung und Unterdach hat mehrere Aufgaben. Sie soll die von außen eindringende Feuchtigkeit, verursacht z.B. durch Flugschnee oder Regen, ebenso abführen wie das von der Dachhaut abtropfende Tauwasser (Frost-Tauwechsel: Die Eindeckung ist oft kälter als die Umgebungsluft). Und sie dient zur „Entwärmung“ der Dacheindeckung im Sommer bzw. bei Schneeeinlagerung. Diese Belüftung ist von der Art der Dämmung unabhängig.

Die 2. Ebene zwischen Unterdach und der Dämmung soll den von innen durch Diffusion in die Konstruktion vielleicht eindringenden Wasserdampf abführen (was im Gegensatz zu den konvektiv eingebrachten Feuchtemengen unproblematisch ist).

Das Unterdach trennt die beiden Ebenen und verhindert als sog. Winddichtung, dass der Wind von außen bis zur Dämmung vordringt, diese hinterspült und damit die Wirkung der Dämmung verringert.

Kalt- und Warmdach

Der beschriebene Dachaufbau mit zwei Belüftungsebenen wird als Kaltdach bezeichnet.

Bei Verzicht auf die zweite Belüftungsebene zwischen Unterdach und Dämmung, d.h. wenn die Zwischensparren-Dämmung genauso stark ist wie der Sparren, wird der Dachaufbau als Warmdach bezeichnet. Die Hinterlüftung der Dachhaut bleibt erhalten.

Damit beim Kaltdach die heute erforderlichen Dämmstärken von 24 cm und mehr auch umgesetzt werden können, sind sehr hohe Sparrenaufbauten nötig, wodurch die Herstellung wesentlich aufwändiger (Statik) und teurer wird.

Im Rahmen der Bauausführung vor Ort kann außerdem eine ausreichende, durchgehende Belüftung der 2. Ebene selten sichergestellt werden (Dachgeometrie, Dachfenster, Gauben, Schornsteine usw.). Bauschäden sind die Folge, wenn man sich dann auf die ganz oder zumindest in Teilen fehlende „Belüftung“ verlässt.

Das Kaltdach sollte daher nur in Ausnahmefällen (Blecheindeckung, bei besonderen Höhenlagen) zur Anwendung kommen!

Dachsanierung

Aus dem Kaltdach ein Warmdach zu machen und die Wärmedämmung deutlich zu verbessern, ist prinzipiell nicht schwierig. So könnte z.B. der Luftraum der 2. Belüftungsebene durch eine Einblasdämmung aus Zellulose gefüllt werden.

Doch Vorsicht! Meist besteht das Unterdach aus einer dampfdichten Folie oder aus einer Bretterschalung mit einer darüber verlegten dampfdichten Bitumenlage.

Fällt die 2. Belüftungsebene weg, wird der aus dem Dachraum diffundierende Wasserdampf (die innere dampfsperrende Alufolie wurde nicht nur hundertfach durch das An-

tackern an die Sparren durchlöchert, auch die Bahnen wurden früher selten miteinander verklebt und die Montage der Innenverkleidung tat ein Übriges, um die Wirkung der Dampfsperre vielfach zu „torpedieren“) nicht mehr abgeführt und kondensiert am dampfdichten Unterdach – mit unabsehbaren Feuchteschäden für den gesamten Dachaufbau.

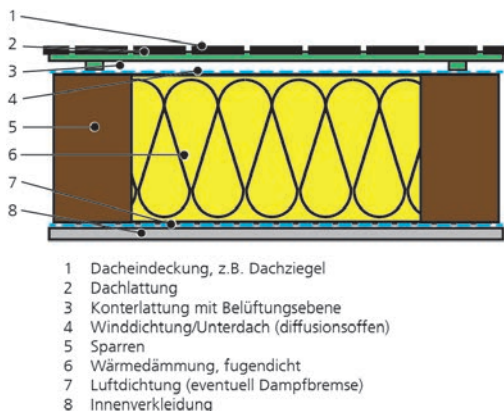
Vor jeder Sanierungsmaßnahme ist daher ein Fachmensch hinzuzuziehen, der eine Bestandsanalyse durchführt und dann eine der möglichen Varianten sorgfältig plant, die entweder eine Sanierung von außen oder von innen notwendig macht.

Beispiel einer Sanierung von außen: Dach abdecken; Unterdach und Dämmstoff entfernen; eventuelles Erhöhen der Sparrenstärke; Luftdichtung, neuen Dämmstoff und eine feuchteabweisende, aber diffusionsoffene Winddichtung einbauen; Dach eindecken.

Bei einem Neubau dagegen lässt sich der gesamte Dachaufbau mit hervorragender Dämmung und dauerhaft schadenfrei sehr gut planen.

4.2.2 Zwischensparren-Dämmung

Sollte diese Art der Dämmung als sog. Vollsparrendämmung gewählt werden ist zu beachten, dass die Dämmung sehr dicht an den Sparren anliegt. Es müssen Fugen vermieden werden, die unnötige Wärmeverluste nach sich ziehen. Vorteilhaft ist hier u.a. der Einsatz von Dämmkeilen. Einen prinzipiellen Aufbau zeigt der folgende Schnitt.



Von innen nach außen betrachtet, sind die folgenden Punkte beachtenswert:

- Es ist sinnvoll, die Innenverkleidung wie z.B. Gipskartonplatten oder Nut- und Federschalen nicht direkt auf die Sparren zu montieren, sondern dazwischen eine Installationsebene (z.B. für Elektrokabel) vorzusehen. Dadurch kann die Luftdichtung nicht beschädigt werden.
- Die Luftdichtung verhindert durch Konvektion eindringenden Wasserdampf. Die Bahnen (Folien, Kraftpapiere, ...) dürfen daher nicht beschädigt und müssen gut miteinander verklebt angebracht werden. Es handelt sich hier nicht um eine Dampfsperre. Wasserdampf, der durch Diffusion eindringt, ist wegen des diffusionsoffenen Unterdachs kein Problem, weil er nach außen wandern kann.
- Die Dämmstärke entspricht der Sparrenstärke (Vollsparrendämmung).
- Das Unterdach besteht z.B. aus einer diffusionsoffenen Folie, die den Wasserdampf durchlässt, aber in seiner Funktion als Winddichtung verhindert, dass Wind oder Feuchtigkeit von außen in die Konstruktion dringt.

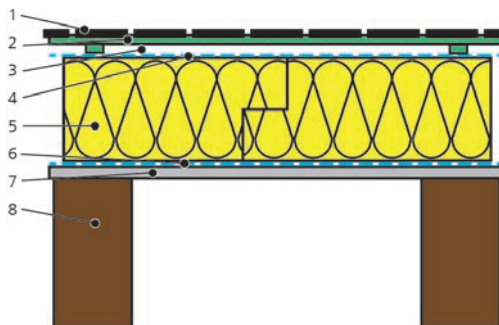
Der große Nachteil einer Zwischensparrendämmung liegt bei den Sparren. Holz hat mit einem λ von $0,13 \text{ W/(mK)}$ eine gut dreibis viermal höhere Wärmeleitfähigkeit als der Dämmstoff. Deshalb wirken die Sparren nicht nur als Wärmebrücke, es wird bei einem Holzanteil von 10 bis 15 % an der gesamten Dachfläche auch schwieriger, einen niedrigen U-Wert zu erzielen.

Zur Verringerung der Wärmebrückenwirkung und statt einer Folie als Unterdach ist deshalb ein zusätzliches, diffusionsoffenes Unterdach in Form einer Wärmedämmung sinnvoll (siehe Kapitel 4.2.4).

Beim Neubau kann eine möglichst große Dämmstoffstärke durch die Wahl von Wellstegträgern, schmalen hohen Sparren, Box- oder I-Trägern mit der geringsten Wärmebrückenwirkung erreicht werden. Für die Dämmung sind Materialien mit hoher Rohdichte und Wärmekapazität (sommerlicher Wärmeschutz!) zu empfehlen.

4.2.3 Aufsparren-Dämmung

Hier wird die Dämmung auf den Sparren befestigt. Dieses System ist beim Neubau oder bei der Dachneueindeckung vor allem bei einfachen Dachgeometrien gut geeignet.



- 1 Dachdeckung, z.B. Dachziegel
- 2 Dachlattung
- 3 Konterlattung mit Belüftungsebene
- 4 Winddichtung/Unterdach (diffusionsoffen)
- 5 Wärmedämmung (auch mehrlagig), fugendicht
- 6 Luftdichtung
- 7 Innenverkleidung, z.B. Holzschalung oder OSB
- 8 Sparren sichtbar (geleimt oder gehobelt und gewachst)

Vorteile

- durchgehende, lückenlose Wärmedämmung (keine Wärmebrücken)
- das Holz bleibt innen sichtbar und wird in die Raumgestaltung einbezogen
- der Dachstuhl als tragende Konstruktion bleibt im „warmen“ Bereich.

Nachteil

- die Dämmstärke ist auf maximal 28 cm begrenzt, da sonst der gesamte Dachaufbau zu hoch wird.

Um diesen Nachteil auszugleichen, kann es sinnvoll sein, Dämmstoffe mit geringerer Wärmeleitfähigkeit einzusetzen:

Eine Holzfaserdämmung mit 28 cm Stärke hätte ein λ von $0,040 \text{ W/(mK)}$, d.h.:

$$0,28 \text{ m} : 0,040 \text{ W/(mK)} = 7,00 \text{ (m}^2\text{K)/W;}$$

$$U = 1 : 7,00 \text{ (m}^2\text{K)/W} = 0,14 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Eine Phenolharzschaumdämmung mit einem λ von $0,021 \text{ W/(mK)}$ kommt mit gerade 15 cm Stärke zum gleichen Ergebnis:

$$0,15 \text{ m} : 0,021 \text{ W/(mK)} = 7,14 \text{ (m}^2\text{K)/W;}$$

$$U = 1 : 7,14 \text{ (m}^2\text{K)/W} = 0,14 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Der Wechsel zu einer niedrigeren Wärmeleitfähigkeit spart also Dämmstoffstärke und damit Bauteilhöhe und Gewicht.

Aber Achtung! Dämmstoffe wie z.B. Polystyrol oder Phenolharzschaum können den sommerlichen Wärmeschutz (→ S. 51) verschlechtern. Dagegen gibt es z.B. für PU typengeprüfte Komplettsysteme (z.B. von Bauder), für welche das nicht immer gilt.

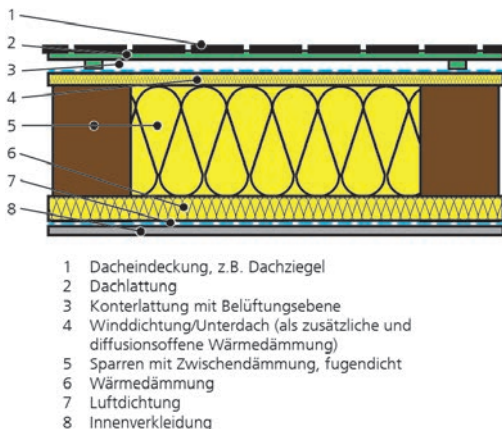
4.2.4 Kombinations-Dämmung

Vorwiegend bei Sanierungen von bestehenden Dächern und dadurch oft unterschiedlichen Sparrenprofilen bieten sich manchmal auch Untersparrendämmungen als Notlösung an. Denn wegen des Verlusts an Innenraum und auch aus konstruktiven Gründen kommen häufig nur geringe Dämmschichtstärken infrage.

Um trotzdem einen guten Wärmeschutz erreichen zu können, bieten sich dagegen Kombinationen an, z.B.:

- Aufdach- + Zwischensparrendämmung
- Zwischensparrendämmung
+ Untersparrendämmung
- Zwischensparrendämmung
+ Aufsparrendämmung
- Aufdach- + Zwischensparren-
+ Untersparrendämmung.

Solche Kombinationen sind gut für den Neubau geeignet. Die Dämmung unter den Sparren vermindert deren Wärmebrückenwirkung und die Platten bilden eine ebene Fläche für die Verlegung der Luftdichtung. Verbundplatten können wiederum in den Stößen verspachtelt oder verputzt werden.



Sie bieten außerdem eine sehr luft- und winddichte Lösung.

Die gesamte Höhe zwischen den Sparren steht für die Dämmung zur Verfügung. Hier sind Holzfaser, Hanf oder Zellulose geeignet, die durch ihr Gewicht (hohe Rohdichte) und ihre hohe Wärmekapazität nicht nur einen guten sommerlichen Wärmeschutz, sondern auch einen verbesserten Schallschutz bieten.

Den Abschluss oberhalb der Sparren kann als Alternative zur üblichen Folie eine spezielle Holzfaserdämmplatte übernehmen, die sowohl diffusionsoffen als auch feuchteabweisend und winddicht ist.

Dem Dach kommt eine wichtige Funktion beim sommerlichen Wärmeschutz zu. Der Temperaturunterschied kann im Sommer höher als im Winter sein. Die Ursachen einer Überhitzung liegen neben ungeeigneten Dämmstoffen in den zu geringen Dämmstärken oder in ungünstig angeordneten Dachfenstern, die von außen nicht zu verschatten sind!

Die Dämmung von geneigten Dächern sollte beim Neubau als Warmdach mit einer Aufsparren- oder einer Kombinationsdämmung ausgeführt werden!

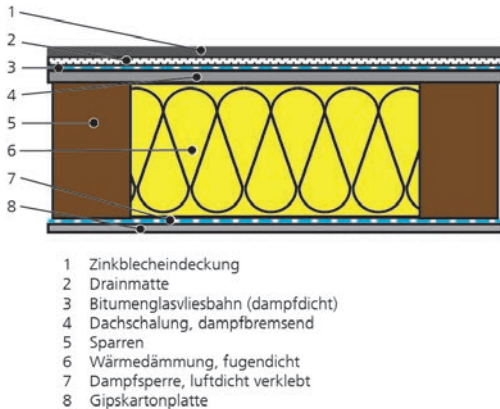
4.2.5 Unbelüftetes Flachdach

Flachdächer sind weniger aus ästhetischen als aus konstruktiven Gründen nicht ideal. Neben dem fehlenden Dachüberstand ist das Hauptproblem die dauerhafte Dichtheit von außen. Durch die jahreszeitlich bedingten Temperaturwechsel und daraus folgenden Dehnungen verschiedener Materialien wird es oft bei den Durchdringungen (u.a. Kamin, Abluftrohr, Wasserablauf) undicht. Und die Entwässerung funktioniert selten dauerhaft.

An dieser Stelle soll aber auf ein besonderes Schadensbild aufmerksam gemacht werden, das vor allem bei flachen oder kaum geneigten Dächern auftritt. [1]

An allen Gaubendachflächen einer Doppelhaussiedlung wurden kurz nach deren Fertigstellung Nässeschäden in Form von Fleckenbildungen an den innenseitigen Gipskartonplatten festgestellt.

Die Gauben wurden im Winter errichtet, die Schäden traten im Frühjahr auf. Die flachen Gaubendachflächen waren unbelüftet und hatten eine Vollsparrendämmung. Sie waren von den umgebenden Schrägdachflächen vollständig entkoppelt. Die Konstruktion hatte innen eine Dampfsperre und außen eine Zinkblecheindeckung.



Durch eine Wasserprobe und eine Untersuchung der Dachhaut wurde festgestellt, dass Undichtheiten nicht vorhanden waren, sodass Eindringen von Regenwasser auszuschließen war. Deshalb wurde die Konstruktion unten geöffnet.

Nach Entfernen der inneren Gipskartonplatte wurde stehendes Wasser in Säcken der Dampfsperre sichtbar. Die Bahnenstöße waren so gut verklebt, dass das Wasser nur an den Schadenstellen abfließen konnte. Die Folie wurde aufgeschnitten und es wurden ca. 10 Liter Wasser aus den Sparrenfeldern eines Gaubendachs (10 m²) aufgefangen. Die Dämmung war bis zu 2 cm durchfeuchtet und die gemessene Sparrenfeuchte lag bei bis zu 20 %.

Als Ursache des Schadens wurde festgestellt, dass während der Dacharbeiten deutlich zu hohe Baufeuchtigkeit in den oben und unten abgedichteten Dachaufbau eingeschlossen wurde, die – wenn überhaupt – nur sehr langsam abgeführt werden kann. Bei starker Sonneneinstrahlung der ersten warmen Frühlingstage erwärmt sich die Zinkeindeckung auf bis zu 70°C und das im Aufbau befindliche Wasser verdunstet. Der

entstehende Wasserdampf diffundiert dem Dampfdruckgefälle folgend in Richtung der zu diesem Zeitpunkt noch relativ kalten Dampfsperre, an deren Oberfläche sich Kondensat bildet. Aus Tröpfchen wurde letztlich stehendes Wasser.

Wegen der erheblichen Wassermengen und der daraus resultierenden und noch zu erwartenden Nässeschäden waren eine aufwändige Sanierung durch Öffnen und Austrocknung sowie der Wiedereinbau von trockenem Dämmstoff und der Dampfsperre erforderlich!

! Dieser Dachaufbau entspricht durchaus dem Stand der Technik und ist i.d.R. eine gut funktionierende und als Warmdach zu empfehlende Dachkonstruktion (→ S. 83).

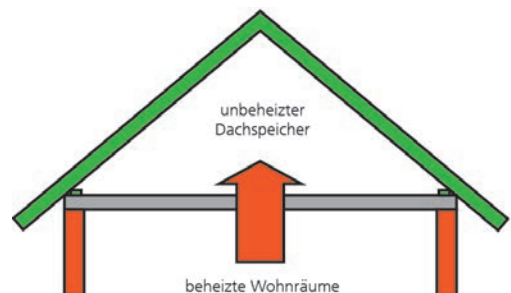
Wie der beschriebene Schadenfall jedoch zeigt, ist bei Warmdächern – noch mehr als sonst – auf den Einbau von wirklich trockenen Materialien zu achten.

Empfehlungen:

- Holz mit niedriger Feuchte einbauen, wobei die vorgeschriebene Einbaufeuchte von 12 % klar unterschritten werden sollte (Nachweis durch Fachbetrieb)
- solange die Dachhaut fehlt, den Dachstuhl (als Holzkonstruktion) immer vor Regen schützen
- keinen feuchten Dämmstoff einbauen.

4.2.6 Oberste Geschossdecke

In Altbauten bildet oft nicht das Schrägdach, sondern die oberste Geschossdecke den Übergang vom beheizten zum unbeheizten Bereich, durch die während der Heizzeit teure Energie verloren geht.



Das Dachgeschoss ist also nicht als Wohnraum ausgebaut, sondern wird als Dachspeicher entweder gar nicht oder als Lagerraum genutzt. Die Decke selbst besteht aus Holzbalken oder Beton.



Falsch wäre es nun, zur Verbesserung des Wärmeschutzes die Dachschrägen zu dämmen! Nicht nur die zu dämmenden Flächen sind größer, aufwändiger und kostenintensiver herzustellen; auch die Logik spricht dagegen, zuerst den unbeheizten Speicher über den Transmissionswärmeverlust der Decke warm werden zu lassen, um dann den Wärmeverlust nach außen über die Schrägen zu bremsen. Gedämmt wird in solchen Fällen stets nur die oberste Geschossdecke.

Die Dämmmöglichkeiten hängen von den Gegebenheiten vor Ort ab.

■ **Holzbalkendecke** begehbar (mit Bretterboden): Verfüllen der Gefache zwischen den Holzbalken mit einer Einblasdämmung.

Häufig sind die Balkenlagen nicht oder nur teilweise gedämmt oder mit anderen Materialien gefüllt. Dann werden einzelne Bretter entfernt und die Hohlräume vollflächig und in voller Höhe der Luftschicht verfüllt. Es ist auch denkbar, die vorhandenen Materialien zuerst zu entfernen und die Gefache komplett neu zu dämmen.

Begehbar heißt ja nicht bewohnbar. Es geht darum, ein paar Mal im Jahr auf den Speicher zu gehen, um dort gelagertes Material zu holen und abzulegen. Insofern geht es hier nur darum, einen ab und an begehbaren Boden aus Brettern oder Spanplatten (oberhalb der Dämmschicht) oder durch eine Dämmung selbst herzustellen.

■ **Holzbalkendecke** nicht begehbar: Offenes Aufblasen einer Dämmung oder kreuzweises Verlegen von Dämmmatten.

Da der Untergrund nicht eben ist (oder schon Dämmung vorhanden ist), sind hier Plattendämmstoffe nicht geeignet, da sich zu viele Fugen bilden. Auch hier ist eine lose Dämmung wie z.B. Zellulose gut geeignet.

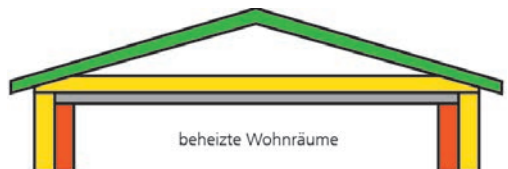
■ **Betondecke** begehbar oder nicht begehbar: Offenes Aufblasen einer Dämmung oder Verlegen von Dämmmatten oder -platten, ebenfalls kreuzweise.

Ist der Boden eben, kann Plattenware fugendicht (und begehbar) verlegt werden. Ansonsten ist bei gewünschter Begehrbarkeit eine Unterkonstruktion z.B. aus Holzbalken zu verlegen, dazwischen zu dämmen und darüber ein Boden herzustellen.

Ohne Begehrbarkeit reicht wiederum offenes Aufblasen (vorher – nachher).



Beim Neubau bietet sich statt eines Flachdachs oder eines ausgebauten Dachgeschosses die Planung einer Obergeschossdecke z.B. aus Beton an – mit einem flach geneigten Pult- oder Satteldach darüber.



Die Betondecke ist der beste sommerliche Wärmeschutz, die Dämmung kann in beliebiger Stärke mit beliebigen Materialien geplant und wärmebrückenfrei an die Außenwanddämmung angeschlossen werden.

4.3 Kellerdecke und Bodenplatte

Nach Untersuchungen des Fraunhofer Institutes für Bauphysik in Stuttgart können bei einem Einfamilienhaus die Wärmeverluste im Kellerbereich bis zu 20 % des Gesamtwärmeverlustes des Gebäudes betragen. Daraus leiten sich folgende Grundregeln ab:

1. Bei einem unbeheizten Keller ist es sinnvoll, die Kellerdecke zu dämmen, um den Wärmeabfluss aus dem beheizten Wohnraum zu verhindern;
2. Bei einem beheizten Keller oder bei nicht unterkellerten beheizten Gebäuden ist es notwendig, gegen unzulässige Wärmeverluste und unzumutbare Fußkälte den Boden gegen das Erdreich zu dämmen;
3. Bei einem beheizten Keller sind außerdem die Kellerwand gegen Erdreich und eventuell die Innenmauern gegen unbeheizte Kellerräume zu dämmen.

Natürlich sind hier ebenfalls mehrere Konstruktionsmöglichkeiten gegeben. So kann z.B. bei einer Kellerdecke die Dämmung auf oder unter der Kellerdecke erfolgen.

! Allerdings hat sich in der Fachwelt durchgesetzt, dass genau wie bei der Außenwand die Dämmung möglichst immer außen (also auf der kälteren Seite) angebracht werden soll.

Dadurch werden Wärmebrücken vermieden und die tragende Konstruktion Mauer oder Decke bleibt im „warmen“ Bereich.

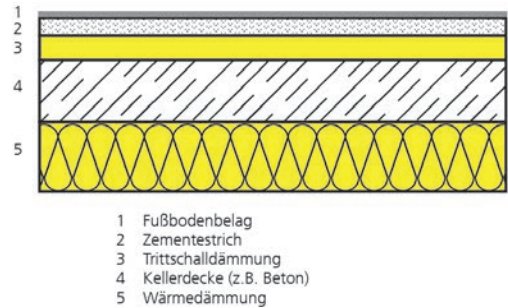
Die wichtigsten Argumente für diese Art der „Außendämmung“ sind allerdings

- die Einfachheit der Anbringung;
- die relativ hohen möglichen Stärken einer Dämmung (ab 8 cm).

Kellerdecke

Bei Neubau wie Sanierung sollte bei nicht beheizten Kellern die Dämmung unterhalb der Kellerdecke angebracht werden.

Je nach Dicke der Trittschalldämmung, der Wärmeleitfähigkeit des Dämmstoffs und des geplanten Dämmstandards, ist eine Stärke von 8 bis 12 cm sinnvoll.



Im Neubau lässt sich diese Dämmung gut im Rahmen eines Gesamtkonzepts (u.a. Anschluss an die Außendämmung, Rohrleitungen und Beleuchtung an der Decke) planen, wobei i.d.R. die Dämmplatten nur an die Kellerdecke geklebt werden – und noch zusätzlich verkleidet werden oder nicht.

Im Altbau ist für das richtige Dämmkonzept jeweils die Bauteilsituation vor Ort zu klären.



So sollten bei einer Ortbetondecke die „Betonnasen“ entfernt oder, wie bei einer unebenen Ziegeldecke (Foto) zu empfehlen, die Kellerdecke zuerst dünn verputzt werden, bevor eine Dämmung aus Plattenware angeklebt wird (Grundierung nicht vergessen). Erst dann ist eine dicht anliegende und fugenfreie Dämmung realisierbar. Die Beleuchtung muss natürlich abgehängt werden.

Alternativ kann eine sog. Sprühdämmung aufgebracht werden. Es handelt sich jedoch um PU-Ortschaum ($\lambda = 0,025 - 0,035 \text{ W/(mK)}$).

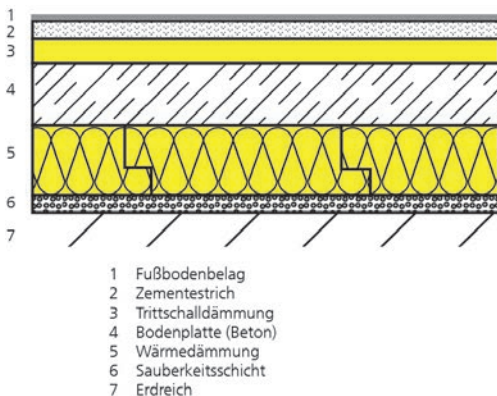
Problematischer stellt sich die Situation dar, wenn Rohrleitungen (horizontale Heizungs- und Warmwasserverteilung) zu nahe und eng an der Decke montiert sind, sodass keine Dämmung mehr dazwischen passt.



In solchen Fällen ist dann Plattenware wie z.B. EPS nicht geeignet. Hier wird eher eine abgehängte Decke mit einer Stopfdämmung aus Mineralwolle sinnvoll sein.

Bodenplatte

Bei Wärmedämmung der Bodenplatte wird auf das planierte Erdreich erst eine Sauberkeitsschicht aufgebracht, darauf PU- oder XPS-Platten mit Stufenfalz im Verbund verlegt und zum Schluss die Bodenplatte betoniert. Eine gute Alternative ist hier Blähglas.



Die Dämmung gegen Erdreich wird – wie auch die der Kelleraußenwand – als Perimeterdämmung bezeichnet.

Durch diese „Außen“-dämmung ist gut ein wärmebrückenfreier Anschluss an die Außendämmung (der Keller- oder Außenwand) herstellbar. Das ist aber nur eine Lösung für den Neubau. Im gleichen Fall und bei der Sanierung ist eine Dämmung auf der Bodenplatte denk- und planbar.

Beim Neubau ist dann allerdings für den wärmebrückenfreien Anschluss an die Au-

ßenwanddämmung eine besondere Lösung vorzusehen, die auf S. 92 näher beschrieben ist.

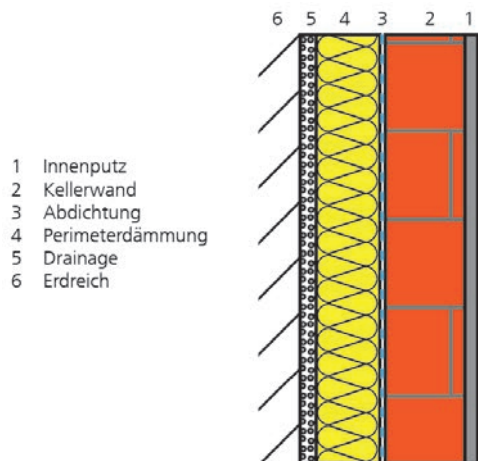
Bei der Sanierung (z.B. soll ein bisher unbeheizter Kellerraum zu einem beheizten Wohnraum werden) ist der Einsatz einer (zugegeben sehr teuren) VIP-Dämmung eine interessante Möglichkeit (→ S. 48).



Der Estrich des Kellerbodens wird herausgebrochen und 1 cm dieser Paneele verlegt (gleiche Dämmwirkung wie 10 cm Standarddämmstoff); d.h. das reicht aus, um wieder einen ausreichend starken Estrich mit Fußbodenbelag einbringen zu können, ohne z.B. die Türen kürzen zu müssen.

Kellerwand

Die Dämmung wird nach deren Errichtung außen an ihr befestigt und – unter Beachtung verschiedener Abdichtungs- und Drainagemaßnahmen – mit Erde beigefüllt.



Geeignet ist ein gegen Feuchte resistentes sowie druckfestes Material wie z.B. XPS; aber Vorsicht bei der U-Wert-Berechnung: Mit zunehmender Stärke nimmt dessen Wärmeleitfähigkeit ab (→ S. 42).

4.4 Wärmeschutz – wie viel und was?

Mit Wärmeschutz werden i.d.R. alle baulichen Maßnahmen an Gebäuden bezeichnet, die das Ziel haben

1. die Wohnbehaglichkeit zu steigern;
2. Bauschäden zu vermeiden;
3. den Heizwärmebedarf zu vermindern;
4. die Energiekosten zu senken;
5. eine Überhitzung im Sommer zu vermeiden.

Es geht also nicht nur um den winterlichen Wärmeschutz, sondern auch um den sommerlichen Wärmeschutz. Beide Ziele lassen sich nur durch eine ausgezeichnete Wärmedämmung aller Bauteile realisieren.

Dazu sollte die Wärmedämmung

- möglichst immer auf der ‚kalten‘ Seite, also außen angebracht werden.
- bezogen auf einen durchschnittlichen Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit von $\lambda = 0,040 \text{ W/(mK)}$
 - im Kellerbereich 8 cm,
 - im Außenwandbereich 15 cm und
 - im Dachbereich 24 cm
 nie unterschreiten.
- bei jedem Neubau wie bei jeder Sanierung sollten diese Wärmedämmstärken möglichst übertroffen werden.

Und der sommerliche Wärmeschutz (vor allem im Dach) ist erst dann tatsächlich gewährleistet.

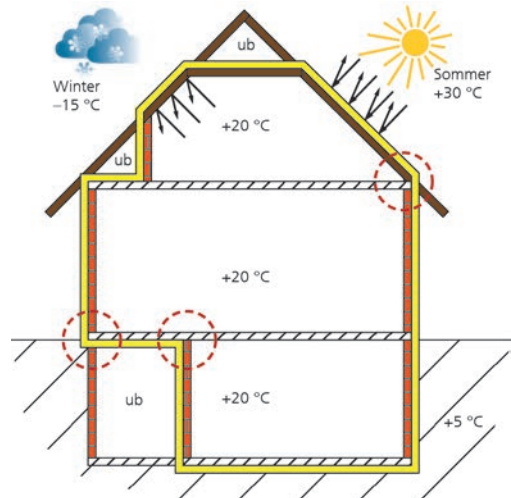


Denn: Das Gebäude wird nicht nur für Jahre, sondern für viele Jahrzehnte geplant und gebaut. Und was nicht von Beginn an kostengünstig realisiert wird (für 18 statt für 8 cm Außenwanddämmung liegen die Mehrkosten im %-Bereich), das wird später (dann vor allem aus Kostengründen) nie mehr umgesetzt.

Was spricht eigentlich gegen die „Rundumverpackung“ des Gebäudes, wo wir doch unseren Körper im Winter als Schutz vor der Kälte (physikalisch richtiger zum Schutz vor der Entwärmung) ganz selbstverständlich rundumverpacken?

Nichts – außer Vorurteilen von Unwissenden, die weder eine ausreichende Kenntnis der wesentlichen bauphysikalischen Grundlagen noch die Bereitschaft zur Weiterbildung haben. Lesen Sie dazu auch das folgende Kapitel 5 über das Märchen von den „atmenden Wänden“.

Wichtig sind allerdings die Details und damit eine gute Planung. Mit Plänen 1:100 kommen Sie nicht sehr weit. Notwendig sind Werkpläne 1:50 und Anschlussdetails auch mal in 1:10. Bezogen auf die gesamte Bausumme entstehen dafür vergleichsweise geringe Mehrkosten, die sich lohnen – beim Neubau wie bei der Altbausanierung!



Der erste Grundsatz besteht darin, dass (wie in der oberen Prinzipskizze gelb dargestellt) immer entlang den wärmeübertragenden Bauteilen gedämmt wird (ub bedeutet unbeheizt).

Die fachgerechte Ausführung der Bauteildämmung sollte heutzutage eigentlich nicht mehr das Problem sein.

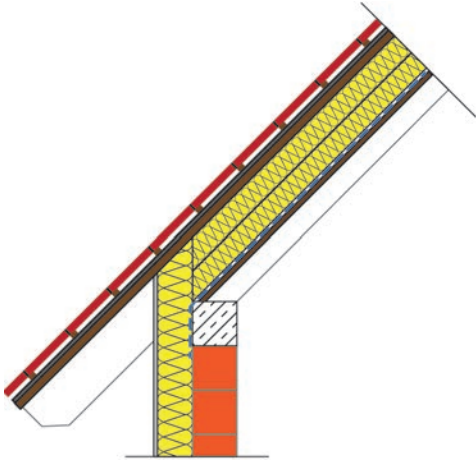
Die tatsächliche Herausforderung ist die Planung der Anschlussdetails: Hier z.B. der Übergang der Dach- zur Außenwanddämmung, der Kellerwand- zur Kellerdeckendämmung oder der Kellerdecken- zur Außenwanddämmung.

Wie sind solche (und andere) Übergänge wärmebrückenfrei, luftdicht (→ S. 122) und von Handwerkern praktikabel herstellbar? Nur durch eine detaillierte Werkplanung entlang aller wärmeübertragenden Bauteile!

Anschlussdetail Dach-Außenwand

Soll beim Übergang Dach an Außenwand z.B. eine Aufdachdämmung mit dem WDVS oder der Dämmung einer VHF wärmebrückenfrei verbunden werden, so empfiehlt sich der Einsatz eines Systemdachs.

Dort enden die von innen sichtbaren Sparren auf der Wand (meist ein Ringanker aus Beton), sie gehen also nicht ‚durch‘.



Um dennoch einen (notwendigen) Dachüberstand realisieren zu können, werden sog. „Aufschieblinge“ auf den Sparren montiert, die je nach geplantem Überstand und Dachneigung bereits 1 bis 2 m oberhalb der Traufe enden.

Innen auf den Sichtsparren werden dann zuerst die innere Verkleidung (z.B. Profilbretter, Gipskartonplatte oder OSB-Platte) und darüber die Luftdichtung befestigt. Letztere wird in diesem Fall nach außen über die Wand geführt und dort relativ großflächig verklebt.

Nun kann die Aufdachdämmung über die Mauer hinausgehend montiert und die Außenwandwanddämmung wärmebrückenfrei an die Dachdämmung angeschlossen und befestigt werden.

Verdeutlichen soll das der folgende Bildausschnitt eines Hausgiebels. Zu sehen ist die zweilagige Wärmedämmung des Dachs aus Holzfaser und darunter die Luftdichtung, die noch beschnitten und an die Mauer geklebt wird.

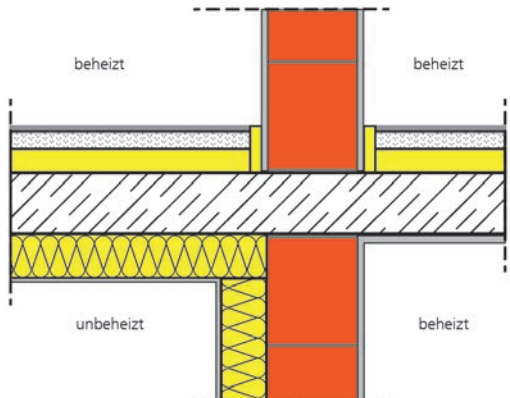
Anschließend kann die Außenwanddämmung dicht bis an den Sparren bzw. an die Dachdämmung anschließen.



Entscheidend ist, dass weder die inneren Sichtsparren noch die innere Verkleidung direkt nach außen durch die Wand geführt werden. Dann kann die Luftdichtung wirksam, dauerhaft und vergleichsweise einfach angebracht werden.

Anschlussdetail Kellerwand-Kellerdecke

Das zweite Anschlussdetail ist einfach. Die Kellerwand wird auf der „Außenseite“, also im unbeheizten Kellerraum gedämmt.

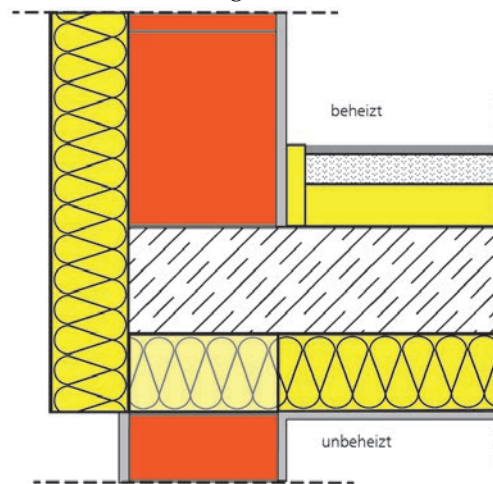


Somit stellt der Anschluss an die Kellerdeckendämmung kein Problem dar, weil sie unterhalb der Kellerdecke vorgesehen ist. Und die Luftdichtheit ist durch den Putz auf Wand und Decke des beheizten Raums ohnehin gewährleistet.

Diese Planung – die Dämmung der Kellerdecke von unten – erfordert nun aber die dritte Detaillösung. Wie ist ein wärmebrückenfreier Anschluss an die Dämmung der Außenwand herstellbar?

Anschlussdetail Kellerdecke-Außenwand

Damit die Kellerdeckendämmung nahezu wärmebrückenfrei an die Dämmung der Außenwand anschließen kann, ist ein Dämmblock als oberer Abschluss „stein“ der Kelleraußenwand einzufügen.



Neben einer geringen Wärmeleitfähigkeit, etwa in der Größenordnung der anderen Dämmstoffe, muss dieser Dämmblock vor allem statisch sehr belastbar sein.



Geeignet ist hier z.B. Schaumglas, das u.a. in statisch tragenden Außenwänden vielseitig einsetzbar ist.

Gute Architekten (die für die Planung aber auch bezahlt werden wollen) planen solche Details auch bei einer Dämmung auf der Bodenplatte unter den aufsteigenden Wänden mit für solche Fälle extra entwickelten Bauelementen z.B. aus Polystyrol und Leichtbeton (siehe Foto unten).

So wird die Wärmebrückenwirkung der Wand nach unten über die Bodenplatte hin zum Erdreich deutlich verringert.



Da kein Keller vorgesehen ist, wird hier auf der Bodenplatte gedämmt. Zuerst wird unter der Außenwand (und natürlich auch unter sämtlichen Innenwänden) ein Dämmblock verlegt, auf den dann gemauert werden kann.

Am Rollladenkasten ist zu erkennen, dass die nur 24 cm dicken Ziegel noch eine Außendämmung erhalten, die durch den weißen Dämmblock wärmebrückenfrei an die noch zu verlegende Dämmung auf der Bodenplatte angeschlossen werden kann.



Eine Alternative ist auch hier Schaumglas, das zwar teuer aber sehr formstabil ist und ohne Leichtbeton auskommt. Solche Dämmungen müssen übrigens keineswegs in der gleichen Dämmstärke wie z.B. die Fußbodendämmung ausgeführt werden. Zur Vermeidung der Wärmebrücke reicht auch weniger, wie die Fotos zeigen.



Die Betonwand einer Terrasse wurde bei diesem Beispiel nicht, wie oft üblich, direkt an die Ziegelmauer betoniert, die noch ein WDVS erhält, das wesentlich stärker ist. Zur Vermeidung dieser Wärmebrücke wurde dazu ein Schaumglasblock dazwischen gesetzt.

Je besser ein Gebäude gedämmt wird, umso wichtiger ist die praxisgerechte Planung aller Details. Denn die Wirkungen von Wärmebrücken verstärken sich.

Eine fehlende bzw. fehlerhafte Luftdichtheit erhöht nicht nur die Wärmeverluste; auch Bauschäden durch konvektive Luftströme, die viel Wasserdampf mit in die Konstruktion führen, sind die Folge.

Und was sind nun die am besten geeigneten Dämmstoffe? Bewährt haben sich für

- das Dach: Holzfaser, Hanf, Zellulose. Neben dem winterlichen Wärmeschutz zählen hier vor allem der sommerliche Wärmeschutz und der Schallschutz (schwere Materialien im „leichtesten“ Bauteil). Während auch bestimmte PU-Systeme geeignet sind, sollten Mineralfaser oder EPS vermieden werden.
- die Außenwand: Mineralfaser. Sie dämmt gut, ist diffusionsoffen, brennt nicht und lässt sich leichter als z.B. EPS fugenfrei und auch auf rauen Untergründen gut verarbeiten. Alternativen bestehen in Holzfaser, Kork und Phenolharz- oder Mineralschaum. EPS ist das preisgünstigste Material und vor allem in nahezu unbegrenzten Dämmstärken zu erhalten. Nicht zu empfehlen sind vergleichsweise dampfdichte Materialien (PU oder XPS).
- erdreichberührte Bauteile: PU, XPS oder Schaumglas. Sie dämmen gut, sind sehr druckfest und feuchteunempfindlich.
- Innenbauteile: EPS. Preisgünstig, leicht und gut zu verarbeiten.
- Hohlraumfüllungen: Zellulose, Hanf und Flachs oder andere zugelassene Einblasdämmstoffe. Sie sind preisgünstig und gut zu verarbeiten.

Lassen Sie sich durch andere nicht beirren, sondern sorgen Sie vor, im Interesse

- Ihres Geldbeutels;
- Ihrer eigenen Behaglichkeit;
- der nicht unerschöpflichen Ressourcen;
- des Klimaschutzes.

Energieeffizienz beginnt bei der Wärmedämmung. Jeder cm mehr ist hervorragend investiertes Geld nicht nur in die Zukunft: Es fließt direkt zurück, weil dann auch noch die Heizungstechnik Stück für Stück kleiner und kostengünstiger dimensioniert werden kann (u.a. Wärmeerzeuger, Heizflächen).

„Manche vergleichen die gute Gebäudewärmedämmung mit einer warmen Daunendecke, andere leider nur mit einer Thermoskanne.“

5 „Atmende Wände?“

Ungedämmte Außenwände aus Mauerstein werden oftmals als „atmende Außenwände“ bezeichnet. Es wird ihnen angedichtet, sie könnten Feuchte- sowie Schimmelschäden vermeiden helfen und ein gutes Raumklima herstellen. Die Folge: Wer an eine Atmung seiner Wände glaubt, ist oft nicht bereit, den Wärmeschutz der Wand zu verbessern und nimmt dafür u.a. einen hohen Heizenergieverbrauch in Kauf.

Wände müssen atmen können?

Die Formulierung „atmende Wände“ und sogar „atmende Häuser“ taucht immer wieder auf; vor allem Baubiologen und Anbieter von „Ökohäusern“ verwenden sie gerne.

Um es vorweg zu sagen: Häuser atmen nicht, und vernünftig gebaute Häuser haben noch nie geatmet – auch nicht vor den Zeiten der zunehmenden Wärmedämmung. Der Begriff beruht auf einem scheinbar plausiblen Grundgedanken: „Ich atme, meine Haut atmet, und mein Haus ist ja im Prinzip meine dritte Haut.“ Und wegen dieser angeblich fehlenden Atmungsfähigkeit einer wärmedämmten Außenwand stößt nun also die Dämmung an sich auf Ablehnung.

M.v.Pettenkofer-Theorie von 1877

„Atmen“ bedeutet den Austausch von verbrauchter Luft durch Frischluft. Im eigentlichen Wortsinn können Wände (und andere Bauteile wie z.B. Dächer) damit nicht atmen. Befürworter dieser „die-Wand-muss-atmen“-Theorie meinen offenbar aber auch nicht, dass die Wand (in sich selbst) atmet. Sie fordern aus Gründen eines guten Raumklimas, dass das Gebäude durch luftdurchlässige Wände beatmet werden soll – dass also die Durchlässigkeit von Baustoffen für den erforderlichen Luftwechsel in den Räumen sorgt. Diese Theorie geht auf einen Messfehler von M. v. Pettenkofer und das Jahr 1877 zurück; er hatte bei seinem Versuch vermutlich vergessen, den Kamin abzudichten.

Bauteile belüften keine Räume!

Bereits 1928 hat E. Raisch in umfangreichen Versuchen nachgewiesen, dass ein relevanter Luftaustausch nur durch Fugen von Fenstern und Türen sowie unverputzte Bauteilfugen erfolgt – nicht aber durch verputzte Wände. Diese sind also luftdicht (wäre das nicht der Fall, läge sogar ein Bauschaden vor!).

Wie viele Vorurteile, hat auch das hier einen wahren Kern. In der Tat ist ein Mindestluftwechsel in jedem Haus erforderlich, um die Bewohner mit ausreichend Frischluft zu versorgen und darüber hinaus die von ihnen verursachte Feuchte und ihre Emissionen an Schadstoffen abzuführen.

Der erforderliche Luftaustausch ist dabei umso höher, je schlechter der Wärmeschutz des Gebäudes ist, da die Raumluft vor nicht gedämmten Wänden stärker auskühlt und daher weniger Feuchte aufnehmen kann. Gebäude können nun aber nachweislich nicht über Wände belüftet (beatmet) werden. Der notwendige Luftaustausch, also die tatsächliche Atmung, kann nur über eine (unkontrollierte) Fensterlüftung oder eine (kontrollierte) Lüftungsanlage (Frischluftsystem) stattfinden!

Diffusionsoffenheit – ja bitte!

Neben der Lüftung sollen Wände auch noch die Feuchteregulation und die Abfuhr von Schadstoffen aus den Wohnräumen als „atmungsaktive Wände“ übernehmen können.

Wichtig ist durchaus, dass die Diffusion von Wasserdampfmolekülen nach außen hin möglich ist. Sie wurde bereits auf Seite 21 beschrieben. So können Nässe aus der Bauphase oder sonstigen Quellen aus dem Mauerwerk abtrocknen. Dieser Vorgang wird jedoch von fachgerecht ausgeführten Dämmmaßnahmen nicht behindert. Worauf es gerade bei Massivbauten ankommt, ist die von innen nach außen zunehmende Diffusionsoffenheit (also schweres, schlankes, meist dampfdichteres Mauerwerk mit möglichst

diffusionsoffenen Außenschichten), damit mögliche Feuchteanteile der Wand, dem Dampfdruckverlauf folgend, nach außen ungehindert ausdiffundieren können. Mit der Atmung hat das aber nichts zu tun!

Der größte Unfug ist, sich die alten, klapprigen, zugigen Fenster zurückzuwünschen, die einem ja tatsächlich einen großen Teil des täglichen Lüftens ersparten. Sie führten aber zu einem unkontrollierten Wärmeverlust, und bei starkem Wind zu unangenehmen Zugerscheinungen. Hier gilt die Grundregel, dass niemals die Fenster vor den Außenwänden erneuert werden sollten, sonst sind die Probleme vorprogrammiert.

Weniger als 1 % der Feuchte gehen durch die Außenwand!

Aus Untersuchungen ist lange bekannt, dass in einem Durchschnittsraum (10 m² Außenwandfläche, Luftwechselrate 0,5 h⁻¹) mit verputzten Ziegelmauern an 60 Extremtagen mit der verbrauchten Außenluft ca. 480 kg Feuchte über die Fenster abgeführt werden. Durch die (sehr diffusionsoffene) Ziegelwand wandern im gleichen Zeitraum aber nur knapp 4 kg – das sind weniger als 1 % der gesamten, mit der Fenster-Lüftung abgeführten, Feuchte!

Außenwandkonstruktionen können deshalb aus lufthygienischer Sicht auch vollständig luft- und winddicht (wie das bei allen Bauteilen, vor allem im ausgebauten Dachgeschoss der Fall sein sollte) ausgeführt werden, ohne dass dies den Wasserdampfgehalt der Raumluft verändert.

Zumal der Wasserdampf immer nur kurzfristig in großen Mengen anfällt (Duschvorgang, ...), die Diffusion aber ein sehr langsamer Vorgang über Monate ist. Wer sich auf die „Atmung“ der Wände verlässt, wird folglich in einem sehr feuchten, ungesunden Raumklima leben müssen.

Die Physik ist glücklicherweise hilfreicher als das „Argument“ der atmenden Wand: Für die Behaglichkeit auch bei kurzfristig hoher Wasserdampfbelastung sorgen u.a. Möbel und die Rauminnenoberflächen. Was nämlich meist mit der ominösen „Atmung“ ver-

wechselt wird, ist das Feuchtigkeits-Aufnahmevermögen der ersten Millimeter Innenoberflächen. Die Luftfeuchte kann sich rasch verändern. Wenn diese Veränderungen von den Innenoberflächen schnell aufgenommen werden können, ist das für das Raumklima von Vorteil.

Die Feuchtigkeit wandert aber nun nicht nach außen ab, sondern verbleibt innen und wird dann wieder an die Raumluft abgegeben, sobald diese z.B. nach dem Lüften wieder relativ trocken ist. Dafür besonders geeignete Putz-Materialien sind vor allem Lehm, aber auch Kalk.

Mythos „Atmende Wand“!

Warum sich bis heute der Mythos der „atmenden Wand“ hält, ist nicht verständlich. Gründe dafür liegen u.a. in einem gewissen Unverständnis von Planern für bauphysikalische Zusammenhänge, in der irreführenden Werbung einiger Anbieter von „Biohäusern“ oder in der Werbung der Ziegelindustrie, die in ihren Werbebroschüren und Veröffentlichungen direkt („massiv = atmungsaktiv“) oder umschreibend auf die Bedeutung der angeblichen „Atmungsaktivität“ von Wänden hinweist.

Wände können aber weder atmen noch sind sie atmungsaktiv!

Bauphysikalisch gute Planungen bevorzugen bei der Auswahl allerdings diffusionsoffene Bau- und Dämmstoffe.

Hier hat z.B. Zellulose gegenüber Polystyrol durchaus Vorteile. Andererseits ist Polystyrol wiederum diffusionsoffener als Massivholz und sogar deutlich diffusionsoffener als der vielfach eingesetzte Standardbaustoff Beton.

Ein Grundsatz der Bauphysik lautet: Von innen nach außen sollten die einzelnen Schichten eines Bauteils immer diffusions-offener werden! Sind gleichzeitig noch die Luftdichtheit innen und die Winddichtheit außen gewährleistet (und kann der Wasserdampf ungehindert nach außen abgeführt werden), dann funktioniert (okay, wenn es denn unbedingt sein muss: „atmet“) jedes Bauteil einwandfrei.

6 Wärmebrücken

Wärmebrücken sind sehr vereinfacht gesagt „Energieschlupflöcher“, die im Vergleich zu der übrigen Gebäudehülle eine hohe Wärmeleitfähigkeit haben. Sie entstehen immer zwischen den beheizten Innenräumen und der Außenluft oder unbeheizten Räumen; d.h. sie verbinden beheizte mit unbeheizten Gebäudebereichen bzw. der Außenluft.

! Zur Erinnerung: Der Begriff „Kältebrücke“ ist falsch, da eben nicht Kälte „eindringt“ sondern Wärme „abfließt“.

Zum Problem wurden Wärmebrücken erst mit dem Massivbau. Gerade die Mischbauweise (Mauerstein und gut wärmeleitende Betondecke) ist davon sichtbar betroffen.



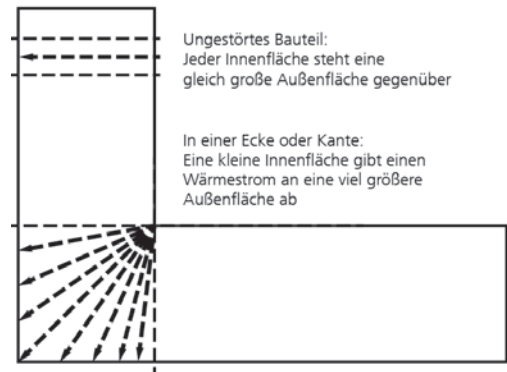
Solche Störstellen im Wärmeschutz erhöhen im Winter den Wärmeverlust, führen zu abgesenkten Temperaturen an den Innenoberflächen und bergen so auch die Gefahr von Feuchte- sowie Schimmelschäden. Zusätzlich verstärken sie die sommerliche Aufheizung von Gebäuden.

Seit 2003 berücksichtigt die DIN 4108-2 Wärmebrücken umfassend. Technisch formuliert sind es örtlich begrenzte Störungen in (Außen)Bauteilen. Sie können bezüglich ihrer Form punktförmig, linienförmig oder flächig auftreten. So wirkt z.B. die Fläche eines Außenbauteils immer dann als Wärmebrücke, wenn durch sie während der Heizperiode mehr Wärme abfließt als durch eine ungestörte, ausgedehnte Fläche.

Wärmebrücken (kurz WB) können drei verschiedene Ursachen haben [2].

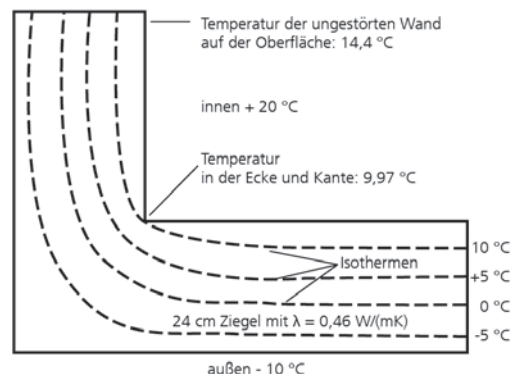
Geometrisch bedingte WB

Sie entstehen dort, wo die wärmeaufnehmende Innenoberfläche kleiner als die wärmeabgebende Außenoberfläche ist – typisch an Gebäudekanten und Gebäudeecken.



Oft handelt es sich um eine flächenförmige Wärmebrücke, wie das z.B. bei den Kanten bzw. Außenecken der Außenwände der Fall ist. Der kleinen wärmeaufnehmenden Fläche der Innenkante steht hier eine wesentlich größere außen liegende Abkühlfläche gegenüber.

In der Kante fließt daher mehr Wärme ab als in einem ungestörten Bereich der Wandfläche. Als weitere Folge ist dadurch die innere Oberflächentemperatur über die ganze Länge der Kante spürbar niedriger als die der übrigen Wandoberfläche, im diesem Beispiel beträgt die Differenz 4,43 K.



Solche Störungen verursachen eine Abweichung der Isothermen (Linien gleicher Temperatur) vom sonst oberflächenparallelen Verlauf. Im ungestörten Bereich beträgt die innere Oberflächentemperatur bei dieser nicht gedämmten Wand 14,4°C. Mit zunehmender Nähe zur Kante kühlt sie stetig weiter bis auf 9,97°C in der Kante selbst ab. Treten nun über einen längeren Zeitraum solch niedrige Temperaturen auf, wird es unweigerlich zu einer Schimmelbildung kommen; denn je nach relativer Luftfeuchte und -temperatur wird dann die Taupunkttemperatur (→ S. 234) erreicht und unterschritten, sodass der in der Luft gebundene Wasserdampf in der Gebäudeecke bzw. -kante dauernd zu Wasser kondensiert.

Konstruktiv bedingte WB

Sie liegen vor, wenn Materialien mit einer hohen Wärmeleitfähigkeit konstruktiv bedingt ein Außenbauteil mit besserem Wärmeschutz durchstoßen. Man spricht in diesem Fall auch von material- oder stoffbedingten Wärmebrücken, die linien- oder punktförmig auftreten. Beispiele dafür sind u.a.:

- ein Betondeckenaufleger
- ein Fensteranschluss mit gedämmter Außenwand
- ein ungedämmter Fenstersturz
- eine Fensterbank
- eine das Außenmauerwerk unterbrechende Betonstütze oder ein Ringanker
- ein auskragendes Vordach
- die Dämmung durchdringende Bauteile wie z.B. metallische Maueranker
- ein Balkon als auskragende Betonplatte.

Die geometrisch und konstruktiv bedingten Wärmebrücken können jeweils isoliert für sich auftreten – häufig wirken sie aber auch an der gleichen Stelle zusammen.

Wärmebrücken durch unsachgemäße Ausführung

Sie können entstehen, wenn z.B. die Dachdämmung nicht das gesamte Gefach füllt, bei Lücken in der Dämmung, bei verrutschten Dämmschichten, bei mangelhaft ausge-

führten Luftdichtungen oder Anschlüssen zwischen Außenwand und Fensterrahmen.

Die Folgen

- Wärmebrücken erhöhen den Heizenergieverbrauch. Der verstärkte Wärmeabfluss führt zu höheren Heizkosten.
- Sie beeinträchtigen die thermische Behaglichkeit, weil durch den verstärkten Wärmeabfluss die innere Oberflächentemperatur abnimmt. Dann wird dem Nutzer bzw. Bewohner wesentlich mehr Wärme entzogen.
- Durch eine niedrige Oberflächentemperatur kann es im Bereich der Wärmebrücke zu Ausfall von Tauwasser (Wasserdampfkondensation) kommen. Eine längerfristige Durchfeuchtung führt zu Bauschäden und zu Schimmelpilzbefall. In extremen Fällen können sogar die tragenden Bauteile zerstört werden.

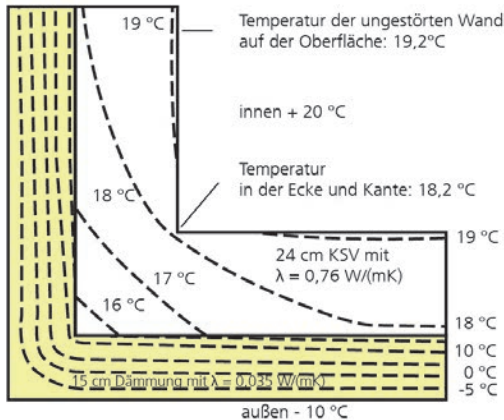
Im nicht gedämmten Altbaubestand wirken sich die Wärmebrücken energetisch (erhöhter Energieverlust) kaum aus – wohl aber in feuchtetechnischer Sicht durch extrem niedrige innere Wandoberflächentemperaturen mit der Folge von Oberflächentauwasser durch Kondensation.

Bei Gebäuden mit hervorragender wärmegeprägter Konstruktion, z.B. beim KfW-Effizienzhaus 55 (Neubau und Sanierung) oder beim Passivhaus, verursachen dagegen alle Wärmebrücken nennenswerte zusätzliche Energieverluste. Gut ein Drittel aller Transmissionswärmeverluste über alle Außenbauteile sind i.e.S. Wärmebrückenverluste (bei den geometrischen Verhältnissen, wie sie im Hochbau üblich sind).

Reduzierung von Wärmebrücken

Geometrisch bedingte Wärmebrücken können theoretisch durch eine Annäherung der Gebäudeform an eine Kugel vermieden werden, wie das die Eskimos mit ihren Iglus sogar geschafft haben. In der Baupraxis wird versucht, Wärmebrücken durch kompakte Baukörper zu vermindern. Eine Rolle spielt hier das sog. A/V-Verhältnis (→ S. 154).

Doch selbst bei zergliederten Baukörpern sind geometrisch bedingte Wärmebrücken bedeutungslos, sobald eine gute Wärmedämmung rund ums Gebäude angebracht wird. Dann erreichen die Oberflächentemperaturen selbst in der Kante einer Gebäudeecke nahezu die Raumtemperatur.



Durch die Wärmedämmung „wandern“ die Isothermen aus der Mauer heraus (die bleibt schön warm!) und die Temperatur in der Ecke und Kante (hier 18,2 °C) wird so fast auf das Niveau der Temperatur (19,2 °C) der Wand angehoben. Ein Erreichen der Taupunkttemperatur und damit die Schimmelbildung sind unmöglich geworden.

Umso mehr wirken allerdings konstruktive und unsachgemäß ausgeführte Wärmebrücken, weil sich dort ein verstärkter Wärmeabfluss einstellt.

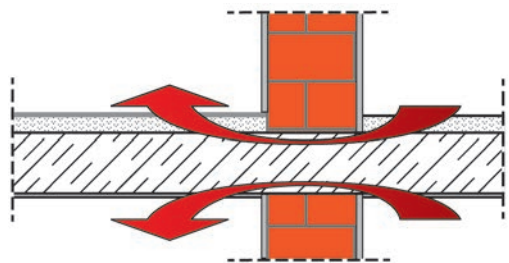
An dieser Stelle können nicht alle in der Praxis auftretenden Wärmebrücken im Einzelnen behandelt und dazu jeweils Lösungsvorschläge dargestellt werden (erste Ansätze wurden bereits bei der Bodenplattendämmung S. 89 ff gezeigt). Dafür ist das Thema zu komplex. Erprobte Lösungen bieten die entsprechende Fachliteratur wie z.B. Wärmebrücken-Atlanten, EDV-Programme oder das Beiblatt 2 der DIN 4108.

Durch gute Planung und Ausführung nach dem Stand der Technik, können jedenfalls fast alle Wärmebrücken vermieden oder stark reduziert werden. Dabei sind die folgenden Punkte zu beachten:

- Ist die Wärmebrücke vielleicht doch vollständig zu vermeiden (z.B. den Balkon getrennt vor das Gebäude stellen statt einer auskragenden Platte)?
- Die Dämmstofflagen verschiedener Bauteile sollten an den Stoßstellen lückenlos ineinander übergehen (so z.B. wie beschrieben die Dämmung der Außenwand in die Dämmung der Dachschräge).
- Falls an den Anschlüssen unterschiedlich starke Dämmungen aneinander grenzen, sollten die Mittellinien der Dämmlagen ineinander übergehen (so wird z.B. ein Fenster optimal im Zentrum der Außenwanddämmung eingebaut).
- Winkel, unter denen Außenbauteile aneinander stoßen, sollten stumpf (größer als ein rechter Winkel von 90°) sein. Winkel kleiner als 90° haben eine hohe Wärmebrückenwirkung.
- Wenn Bauteile, die die dämmende Hülle durchstoßen, nicht zu vermeiden sind, so sollten folgende Regeln zur Wärmebrückenminderung beachtet werden:
 - Thermische Trennung mit hochwertigem Dämmstoff (z.B. durch gedämmte Kraganker).
 - Verwendung von Materialien mit möglichst geringer Wärmeleitfähigkeit für das zu durchstoßende Bauteil.

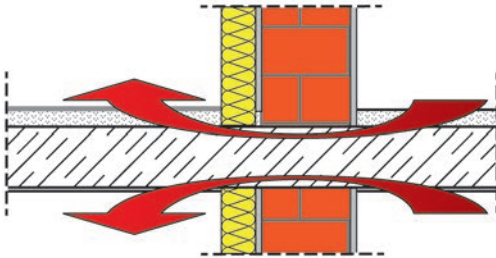
Beispiel Balkon

Die „klassisch“-konstruktive Wärmebrücke ist der Balkon als auskragende Betonplatte. Im Altbau wirkt sie sich nicht besonders gravierend aus.



Bei nachträglich gedämmten Alt- oder schlecht geplanten Neubauten jedoch kann sich diese Wärmebrücke deutlich verstärken.

Die große Oberfläche des Balkons führt die Wärme dann wie eine Kühlrippe nach draußen ab.

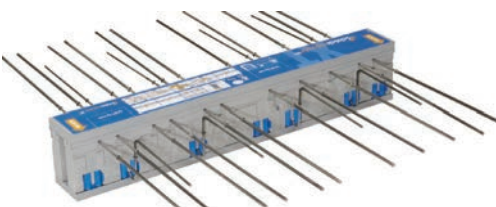
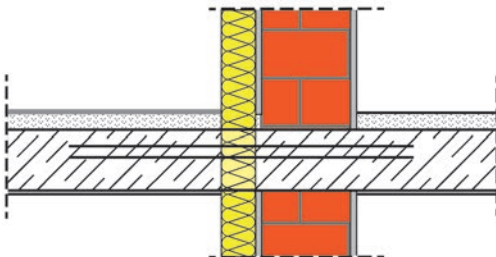


Die Folge: Eine Auskühlung der Decke in den Räumen und die Gefahr von Feuchteschäden (Schimmelbildung in der Deckenkante) durch Taupunktunterschreitung.

Neubau

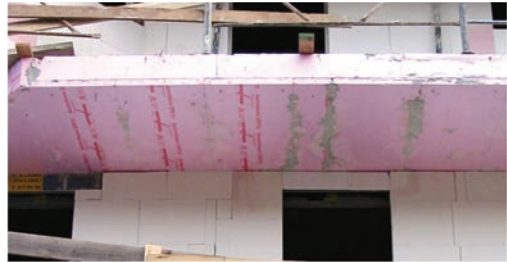
Hier gibt es einige Lösungsmöglichkeiten zur Vermeidung der Wärmebrücke.

■ Abhilfe schafft z.B. eine Unterbrechung der Betonplatte durch ein spezielles Dämmelement, den Isokorb mit einer durchgehenden Stahlbewehrung (z.B. von Schöck).



■ Eine aufwändige Variante besteht im vollständigen Einpacken der Balkonauskragung. Hier ist eine vergleichsweise dünne Dämmung z.B. aus PU-Hartschaumplatten zwar ausreichend; allerdings kann die Betonplatte nicht in Sichtbeton (von unten) ausgeführt werden, sondern muss (wie ein WDVS) verputzt werden. Auch ist das Befestigen eines

Geländers oder einer Regenrinne nicht ganz unkritisch. Dieses Einpacken ist daher auch eher bei einer Sanierung zu überlegen.



■ Eine gute Variante besteht im Einsatz von Stahlträgern. Sie werden in der Decke eingebetoniert und können – je nach Profilgröße – weit auskragen. Der Durchstoßpunkt durch die Außendämmung hat nur eine geringe Fläche und ist ab einer Stärke der Außendämmung von etwa 18 cm nicht mehr als Wärmebrücke wirksam.



Sanierung

Bei Altbauten werden viele Balkone tatsächlich schon lange nicht mehr genutzt.



Hier ist zu überlegen, ob der Balkon nicht überflüssig ist und deshalb ersatzlos vollständig abgebrochen werden kann – natürlich nur, wenn das Gesamtbild der Fassade nicht darunter leidet.

Soll ein Balkon bestehen bleiben, könnte er auch durch einen thermisch von der Außenwand getrennten neuen Balkon, der davor gestellt wird, ersetzt werden.



Bei diesem Altbau wurden die vorhandenen Balkone mit dem Presslufthammer herausgetrennt, dann die Fenster erneuert und die Fassade mit einem WDVS versehen. Zum Schluss wurde der Holzbalkon, thermisch getrennt, vor der Außenwand errichtet.

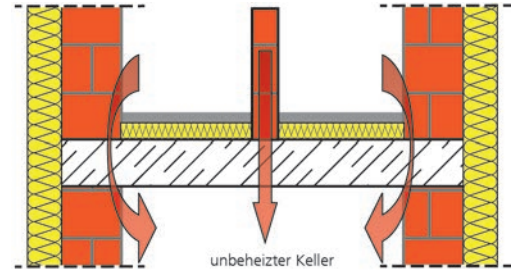


In diesem Beispiel wurde ein 4-geschossiges Mehrfamilienhaus komplett saniert mit neuen Fenstern, WDVS und neuen Balkonen: Hier in der Ausführung aus Stahl, die an vier Punkten auf dem Boden aufsteht und je Geschoss mit zwei Stahlankern befestigt wurde.

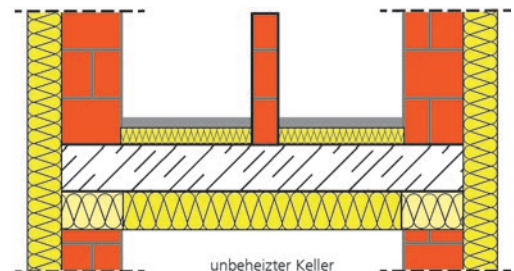
Im Übrigen ist auch beim Neubau der davor gestellte, thermisch vom Gebäude getrennte, Balkon eine gute Alternative.

Beispiel Innen-/Außenwände

Oft vergessen, bilden alle innen liegenden Mauern (Innenwände) ebenso wie die Außenwände eine Wärmebrücke.



Abhilfe schafft eine Dämmung der Kellerdecke von „außen“ (also von unten) sowie der gleichzeitige Einsatz von Dämmblöcken (z.B. aus Schaumglas) als Deckenaufleger.



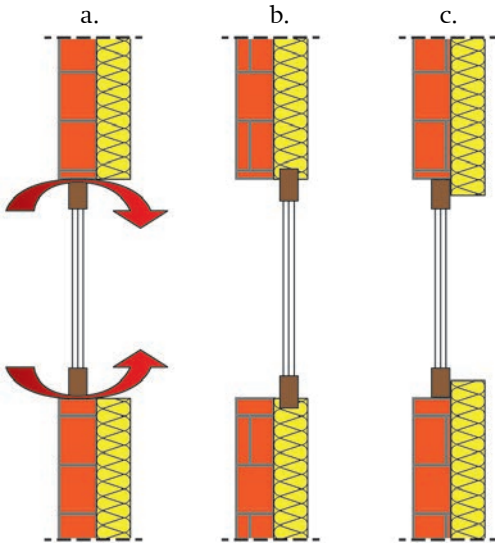
Während die Dämmung der Kellerdecke bei Sanierung und Neubau grundsätzlich immer eine Möglichkeit darstellt, können solche Dämmblöcke bei der Sanierung natürlich nicht nachträglich eingesetzt werden.

In diesem Fall sollte, wie bereits auf S. 71 beschrieben, die Außendämmung mindestens über die Kellerdecke reichen.



Beispiel Fenster

- Ungedämmte Fensterlaibungen sind sehr „leistungsfähige“ Wärmebrücken.
- Idealerweise sollten die Fenster daher wenn möglich in der gleichen Ebene wie die Dämmung montiert werden.
- Geht das nicht, muss die rundum laufende Laibungsfläche bis auf etwa die Mitte des Blendrahmens gedämmt werden.

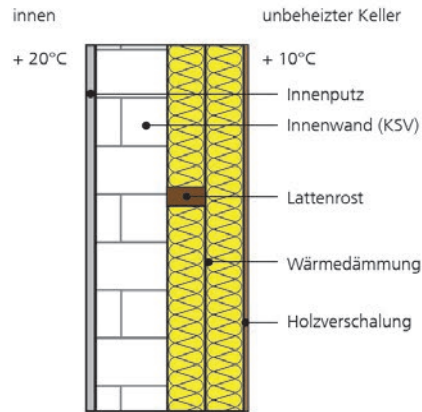


Wärmebrücken bei der Befestigung von Dämmstoffen

Wird ein Gebäude rundum „gut verpackt“, also gut wärmegeklämt, ist das möglichst wärmebrückenfreie Anbringen der Dämmstoffe wichtig. So sollten alle Befestigungselemente, welche die Dämmung durchstoßen, nicht aus Metall bestehen. Denn Metalle wie z.B. Edelstahldübel haben auf ihrer Querschnittsfläche einen mehr als 1.000-mal höheren Transmissionswärmeverlust als der durchstoßene Dämmstoff mit dem gleichen Querschnitt. Besonders betroffen sind hier metallische Konsolen, Halterungen, Anker und Schienen, die entweder zu vermeiden oder durch Kunststoffprodukte zu ersetzen sind. Gleiches gilt für die Dübel: Kunststoffdübel sind den Metallischen vorzuziehen.

Konstruktive Alternativen gibt bei der Außenwanddämmung z.B. mit WDVS, die bis

zu einer Höhe von fünf Geschossen geklebt werden können, ohne jeden Dübel mit 10-Jahres-Garantie der Hersteller. Auch die Planung von zweilagig montierten Dämmungen zwischen wenig wärmeleitendem Nadelholz mit $\lambda = 0,13 \text{ W/(mK)}$ bietet sich als Problemlösung an. Hier spielen nur Nägel und schlanke Schrauben eine eher untergeordnete Rolle als Wärmebrücke.



In der Praxis hat sich die zweilagige Verlegung von Dämmmaterial nicht nur zur Vermeidung von Wärmebrücken durch Befestigungen, sondern auch zur Vermeidung von (nur millimeterbreiten) langen Fugen zwischen den Dämmstoffplatten oder -bahnen bewährt, die durch unsachgemäße Ausführung und/oder langfristiges Verrutschen der Dämmung auftreten.



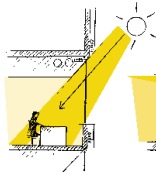
Bei der U-Wert-Berechnung eines Bauteils sind in jedem Fall gemäß der geltenden Norm EN ISO 6946 metallische Befestigungsteile rechnerisch als Wärmebrücken ebenso zu berücksichtigen wie mögliche Fugen durch Luftspalte bei der Dämmungsmontage.

Die häufigste und ärgerlichste Wärmebrücke ist übrigens der Abstandhalter zwischen den Glasscheiben von Isolier- und Wärmeschutzverglasungen (→ S. 105), der sog. Randverbund. Weil er meist aus hoch wärmeleitendem Aluminium besteht, steht das (Tau)Wasser an kalten Tagen zentimeterhoch auf der Innenscheibe: Bei neuen Fenstern nicht akzeptabel, weil sehr leicht vermeidbar!

7 fenster und türen

Fenster sind vom Dämmwert her nicht mit anderen Bauteilen zu vergleichen. Selbst die beste Verglasung bleibt noch hinter einer üblichen Wand zurück. So sind die Fenster auf der einen Seite die größten „Energieverlierer“ eines Gebäudes.

Andererseits sind Fenster für unser Wohlbefinden (Tageslichteinfall – Sichtkontakt zur Außenwelt) sehr wichtig und haben als transparentes Bauteil den Vorteil: Sie lassen die Sonne und damit für uns kostenlose Energie ins Gebäude.



In der Praxis wenig Beachtung findet die Tatsache, dass die Fensteröffnung im Rohbau der Außenwand später nicht nur aus Verglasung, sondern auch mit ca. 25 bis 45 % aus Rahmen besteht. Das Rahmenmaterial entscheidet also über die Höhe der Energie-

einsparung mit. Immer noch viel zu wenig wird auf die Wärmebrücke des Glas-Abstandhalters geachtet. Und nahezu stiefmütterlich wird i.d.R. die Dichtungsproblematik beim Einbau behandelt. Dabei sind (während der Heizzeit) undicht eingebaute Fenster verantwortlich für Unbehaglichkeit durch Zuglufterscheinungen und die schlecht dämmenden Fenster für kalte Oberflächen, die den Menschen einseitig Wärme entziehen. Und natürlich bedeuten solche Fenster einen hohen Energieverlust und in der Folge (zu) hohe Energiekosten.

Bei Neubau wie Sanierung sollte deshalb auf energiesparende Verglasungen, wärmegeämmte Rahmenmaterialien sowie auf gute Abstandhalter Wert gelegt werden. Denn erst dann verringern sich die Energieverluste und -kosten erheblich und die Wohnbehaglichkeit nimmt zu.

7.1 fenster-U-Wert (U_w)

Die für jede Planung sowie Energiebedarfsberechnung entscheidende Größe ist der U_w -Wert des gesamten Fensters. Und dieser entspricht keinesfalls nur dem U-Wert der Verglasung!

Grundlage der Berechnung ist seit 2000 die EN ISO 10077-1. Sie führt zu einer komplexen Betrachtung des energetischen Verhaltens von Fenstern und damit zu einer detaillierten Bewertung des Einflusses von Wärmebrücken und Abwicklungsflächen.

Der U_w -Wert des Fensters ergibt sich aus dem U_f -Wert des Rahmens und dem U_g -Wert der Verglasung, flächenanteilig gewichtet. Zusätzlich wird noch der Einfluss des Abstandhalters der Verglasung berücksichtigt. Durch die europäische Harmonisierung der Norm wurden auch die Bezeichnungen der verschiedenen wärmetechnischen Kenngrößen angepasst.

Durchgangskoeffizienten	Bezeichnung
Wärmedurchgangskoeffizient Fenster	U_w
Wärmedurchgangskoeffizient Verglasung	U_g
Wärmedurchgangskoeffizient Rahmen	U_f
Linearer Wärmedurchgangskoeffizient Glasrandbereich (Glas-Abstandhalter)	ψ_g

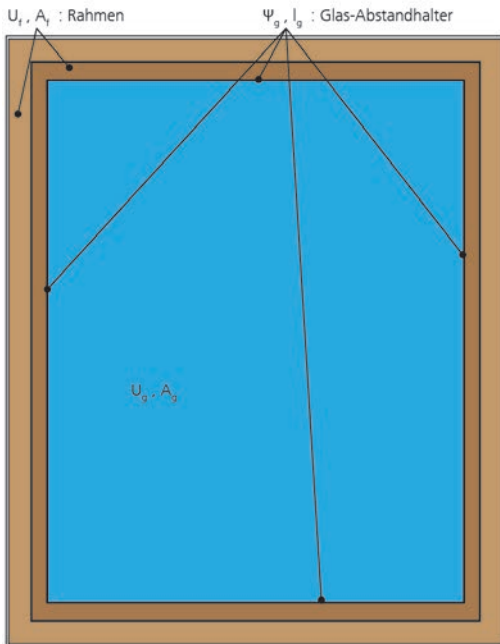
Bedeutung der (engl.) Indizes:
w = window, g = glass, f = frame

Grundlage der Berechnung ist diese einfache Gleichung:

$$U_w = \frac{A_g \times U_g + A_f \times U_f + l_g \times \psi_g}{A_g + A_f}$$

A_g und A_f sind die Ansichtsflächen der Verglasung und des Rahmens. Der Einfluss des Glas-Abstandhalters wird über den line-

aren Faktor ψ_g berücksichtigt, wobei l_g den sichtbaren Umfang der Scheibe darstellt. Da in die Berechnung des U_w -Wertes dieser Wärmebrückeneffekt einfließt, sind seine Auswirkungen ebenfalls von der Länge des Glasrands abhängig.



Damit wird deutlich, dass der U_w -Wert des Fensters nicht allein von seinen Kenngrößen, sondern auch von den unterschiedlichen Geometrien abhängt.

Exkurs U_w -Wert-Berechnung

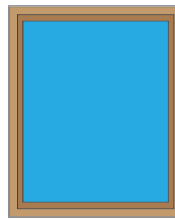
Geplant ist eine Fensteröffnung (Rohbaumaß) von $1,82 \text{ m}^2$ (Höhe: $1,48 \text{ m}$ und Breite: $1,23 \text{ m}$) mit Rahmenbreiten (Blend- und Flügelrahmen) von $11,2 \text{ cm}$ (rechts und links) sowie $12,0 \text{ cm}$ (oben und unten). Daraus ergeben sich folgende geometrischen Werte:

$$\begin{aligned} A_g &= 1,25 \text{ m}^2 (= 69 \% \text{ Flächenanteil}) \\ A_f &= 0,57 \text{ m}^2 (= 31 \% \text{ Flächenanteil}) \\ A &= 1,82 \text{ m}^2 (= 100 \% \text{ Flächenanteil}) \\ l_g &= 4,49 \text{ m} \end{aligned}$$

Eingesetzt werden bei allen Beispielen die folgenden Materialien:

$$\begin{aligned} U_g &= 1,10 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}) && \text{Wärmeschutzverglasung} \\ U_f &= 1,40 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}) && 68 \text{ mm Holzrahmen} \\ \psi &= 0,08 \text{ W}/(\text{mK}) && \text{Aluminiumabstandhalter} \end{aligned}$$

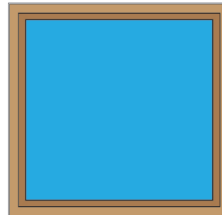
Als U_w -Wert ergibt sich für dieses Fenster:



$$\begin{aligned} &[1,25 \text{ m}^2 \times 1,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}) + 0,57 \\ &\text{m}^2 \times 1,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}) + 4,49 \text{ m} \times \\ &0,08 \text{ W}/(\text{mK})] : 1,82 \text{ m}^2 \\ &= 1,39 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}) \end{aligned}$$

Das Fenster erreicht unter den hier gegebenen Bedingungen einen U_w -Wert von $1,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ – also trotz

einem „guten“ 2-Scheiben-Wärmeschutzglas tatsächlich nur gerade den Rahmen- U -Wert.



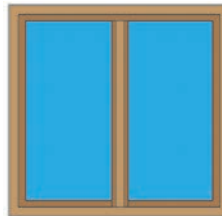
Bei gleicher Höhe und einer Fensterbreite von $1,61 \text{ m}$ ergeben sich:

$$\begin{aligned} A_g &= 1,72 \text{ m}^2 (= 72 \%) \\ A_f &= 0,66 \text{ m}^2 (= 28 \%) \\ A &= 2,38 \text{ m}^2 \\ l_g &= 5,25 \text{ m} \end{aligned}$$

$$[1,72 \text{ m}^2 \times 1,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}) + 0,66 \text{ m}^2 \times 1,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}) + 5,25 \text{ m} \times 0,08 \text{ W}/(\text{mK})] : 2,38 \text{ m}^2 = 1,36 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

Durch den größeren Glasanteil mit kleinem U_g wird der U_w -Wert geringfügig besser.

Allerdings sind solch breite Fenster nicht üblich. Sie erhalten dann einen Teiler und zwei Flügel.

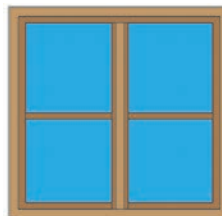


Bei gleicher Höhe und einer Fensterbreite von $1,61 \text{ m}$ ergeben sich:

$$\begin{aligned} A_g &= 1,58 \text{ m}^2 (= 66 \%) \\ A_f &= 0,80 \text{ m}^2 (= 34 \%) \\ A &= 2,38 \text{ m}^2 \\ l_g &= 7,50 \text{ m} \end{aligned}$$

$$[1,58 \text{ m}^2 \times 1,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}) + 0,80 \text{ m}^2 \times 1,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}) + 7,50 \text{ m} \times 0,08 \text{ W}/(\text{mK})] : 2,38 \text{ m}^2 = 1,45 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

Durch den größeren Rahmenanteil und längeren Glas-Abstandhalter steigt der U_w -Wert deutlich.



Bei gleicher Höhe und einer Fensterbreite von $1,61 \text{ m}$ ergeben sich:

$$\begin{aligned} A_g &= 1,54 \text{ m}^2 (= 65 \%) \\ A_f &= 0,84 \text{ m}^2 (= 35 \%) \\ A &= 2,38 \text{ m}^2 \\ l_g &= 10,10 \text{ m} \end{aligned}$$

$$[1,54 \text{ m}^2 \times 1,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}) + 0,84 \text{ m}^2 \times 1,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}) + 10,10 \text{ m} \times 0,08 \text{ W}/(\text{mK})] : 2,38 \text{ m}^2 = 1,55 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

Durch zusätzliche Sprossen nimmt vor allem die Länge des Glas-Abstandhalters stark zu – und damit wiederum der U_w -Wert.

Die mittlere Temperatur der Umgebungsflächen einschließlich der Heizflächen in einem Raum ist – wie schon öfter erwähnt – verantwortlich für die Entwärmung des Menschen und damit seine Behaglichkeit.

Luft- sowie mittlere Umgebungsflächen-temperatur haben auf die Entwärmung einen gleich großen Einfluss. Wenn also eine Lufttemperatur von 20 bis 22°C als allgemein günstig angegeben wird, dann setzt das voraus, dass die mittlere Temperatur der umgebenden Flächen annähernd gleich der jeweiligen Lufttemperatur ist (→ S. 11).

Ist nun die Fenstertemperatur erheblich (4°C und mehr) niedriger als die Lufttempe-

ratur, wie es im Winter vor allem bei nicht dämmenden Fenstern der Fall ist, so wird eine Raumtemperatur von 20°C durchaus als zu kalt empfunden und muss erhöht werden, um die gleiche Behaglichkeit zu erhalten – u.a. mit der Folge eines erhöhten Energieverbrauchs!

Ein U_w -Wert des Fensters von 0,2 W/(m²K) und besser, wie bei den übrigen opaken Bauteilen, ist nicht erreichbar; es wird aber klar, dass isolierverglaste Fenster mit U_w -Werten von 2,6 bis 3,0 W/(m²K) nicht mehr den aktuellen energiesparenden Anforderungen entsprechen. Stand der Technik sind U_w -Werte kleiner 1,40 bis etwa 0,70 W/(m²K).

7.2 Verglasung

Die Dämmwirkung der Verglasung wird einmal durch die Luft- oder Edelgasfüllung im Scheibenzwischenraum (SZR) erzielt, der deshalb 10 mm nicht unterschreiten sollte. Typische Maße sind 4-10-4, 4-12-4, 4-14-4 oder 4-16-4 (Glas-SZR-Glas in mm).

Verglasung	U_g -Wert W/(m²K)	Scheiben-Innen- oberflächen- temperatur bei -10°C außen u. +20°C innen
1-Scheiben-Glas	5,2	- 1,0 °C
2-Scheiben- Isolierglas	2,6 - 3,0	+ 8,4 °C
2-Scheiben- Wärmeschutzglas	0,9 - 1,8	+ 15,5 bis + 12,8 °C
3-Scheiben- Wärmeschutzglas	0,4 - 0,9	+ 17,3 bis + 16,4 °C

2-Scheiben-Isolierglas

Isolierglas gibt es meist als Zweischeibenisolierglas. Die Scheiben sind stets über einen Aluminium-Abstandhalter fest miteinander verbunden. Mit dieser Verglasung wurde der Wärmeverlust eines einfachverglasten Fensters halbiert. Dennoch ist diese Verglasungsart längst durch die Wärmeschutzverglasung

„überholt“ und nicht mehr auf dem Markt. Sie wurde bis etwa 1997 produziert und eingebaut und ist damit noch Bestandteil vieler Altbauten.

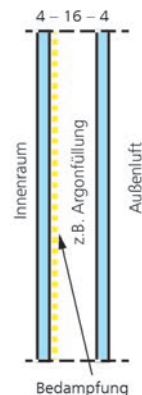
Der Scheibenzwischenraum ist mit (trockener) Luft gefüllt, der Wärmegewinn mit ca. 72 % (g-Wert) hoch.

2-Scheiben-Wärmeschutzglas

Aufbau, Gewicht und Abmessungen sind mit dem 2-Scheiben-Isolierglas vergleichbar, das Glas lässt sich daher problemlos auch in vorhandene Fensterrahmen einbauen. Die Dämmeigenschaften sind gegenüber Isolierglas um 50 bis 60 % verbessert.

Dafür sorgt eine hauchdünne unsichtbare Metallbedampfung, die i.d.R. aus Silber besteht, und auf der raumseitigen Scheibe im SZR aufgebracht ist.

Sie verringert die sog. Emissivität ϵ_n des Glases und damit seine Strahlungsverluste um gut 60 %, sodass sich der U_g -Wert gegenüber Isolierglas nochmals mehr als halbiert.



Eine zusätzliche Verbesserung des Wärmeschutzes der Verglasung um ca. 0,2 bis 0,3 W/(m²K) wird durch Ersatz der Luftfüllung mit dem ungiftigen Edelgas Argon erreicht, weil es die Wärmeleitung des Glases verringert. Es ist ungiftig und wird aus der Erdatmosphäre gewonnen.

Als weiteres Edelgas wird seltener das wesentlich teurere Krypton eingesetzt, das nur eine Verbesserung um nochmals maximal 0,1 W/(m²K) bringt. Es wird deshalb meist bei Verglasungen mit einem kleinen SZR eingesetzt.

Vorteile

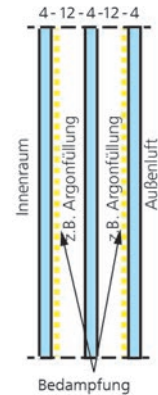
- eine Halbierung der Wärmeverluste gegenüber der Isolierverglasung
- die Dämmwirkung ist Tag und Nacht höher als bei Isolierglas z.B. mit Rollläden
- mehr Behaglichkeit durch eine wärmere Innenoberfläche der Scheibe
- südlich orientierte Fenster werden zum Sonnenkollektor: Die jährlichen Wärmeverluste über die Scheiben sind vergleichbar mit den Wärmegegewinnen durch Sonneneinstrahlung
- die Energieeinsparung pro m² Wärmeschutzglas (gegenüber Isolierglas) beträgt den Gegenwert von z.B. 9 - 14 Liter Heizöl oder m³ Erdgas.

3-Scheiben-Wärmeschutzglas

Dieser Glasaufbau bietet mit U_g-Werten von 0,4 bis 0,9 W/(m²K) den aktuell besten Wärmeschutz. Ihre Dämmwirkung wird durch eine dritte Scheibe, eine weitere Metallbedampfung auf der Außenscheibe sowie eine Edelgasfüllung erreicht.

Die Mehrkosten gegenüber Zweischeiben-Wärmeschutzglas betragen ca. 50 bis 70 €/m².

Bei Wärmeschutzglas ist grundsätzlich zu empfehlen, auf die Wärmebrückenwirkung des (leider immer noch oft üblichen) Aluminium-Abstandhalters zu verzichten und auf einer sog. „warmen Kante“ zu bestehen.



Glaseigenschaften

Da Wärmeschutzverglasung eine sehr niedrige Emissivität ϵ_n von nur ca. 3 % hat, spricht man in diesem Zusammenhang oft auch von Warmglas. Dennoch – selbst dann ist Glas nicht gleich Glas!

Fensterglas wird im Floatglasverfahren hergestellt. Floatglas (= Flachglas) gibt es nun aber in verschiedenen Qualitäten (und Preislagen). So wird z.B. normales von weißem oder extra-weißem Floatglas unterschieden: Je weißer das Glas, desto geringer ist der Eisenoxidanteil, umso besser sind die ebenfalls wichtigen lichttechnischen und strahlungsphysikalischen Glaswerte:

■ Lichtdurchlässigkeit

Sie muss hoch sein, damit es im Raum nicht dunkel wird. Sie sollte mindestens 70 % bei 3-Scheiben- und 80 % bei 2-Scheiben-Wärmeschutzglas betragen.

■ Farbwiedergabe-Index von mind. 95 %

■ geringe Eigenfärbung des Glases

■ farbneutrale An- und Durchsicht.

7.3 Glas-Abstandhalter

In den letzten zwei Jahrzehnten wurden also deutliche Verbesserungen in den wärmedämmenden Eigenschaften von Fenstern bei den Verglasungen (und Rahmen) realisiert.

Je größer die Fortschritte hier waren, umso deutlicher wurde, dass der herkömmliche

Abstandhalter aus Aluminium oder Stahl als Wärmebrücke wirkt und die thermische Schwachstelle des Fensters ist.

An dieser Wärmebrücke wird oft die Taupunkttemperatur unterschritten, sodass sich Kondensat bildet.



Das Kondensat bzw. Tauwasser stellt vor allem Hygieneproblem durch ein erhöhtes Risiko zur Schimmelbildung dar; und die Lebensdauer der (Holz)rahmen sowie der Silikonichtungen verringert sich. Und es entstehen natürlich auch Wärmeverluste.

Dabei lässt sich kaum eine Wärmebrücke so leicht beseitigen wie diese. Denn bereits in 1990er Jahren wurden die ersten wärmetechnisch verbesserten Glas-Abstandhalter-systeme entwickelt, die seitdem als „Warme-Kante“-Systeme bezeichnet werden.



Dass Architekten, Bauherren und andere Beteiligte am Bau die warme Kante trotzdem nicht vehementer einfordern, ist unverständlich. Vermutlich ist manchem Auftraggeber nicht klar, dass das vermeintlich preisgünstigere Fenster auf die warme Kante verzichtet. Später jedoch klagt der Nutzer der neuen Fenster während der Heizzeit über Tauwasser, das er bei entsprechend tiefen Außentemperaturen auch durch intensives Lüften nicht wegbekommt.

Alu-Abstandhalter [$\lambda = 160 \text{ W/(mK)}$] sind nicht mehr akzeptabel. Die klare Verbesserung (geringere Wärmeleitfähigkeit) wird durch energetisch günstigere Profile wie z.B. aus Edelstahl [$\lambda = 17,0 \text{ W/(mK)}$] oder aus Kunststoff [$\lambda = 0,19 \text{ W/(mK)}$] erreicht.

Empfohlen werden nur Abstandhalter als Kunststoff-Edelstahl-Kombination oder aus

Kunststoff (Markennamen u.a. TIS, Thermix, HTS, SWISSPACER), die wie Alu-Abstandhalter eingesetzt werden. Wegen ihrer hohen Formbeständigkeit halten sie allen thermischen Belastungen stand und die absolute Dichtheit der Füllgase wird garantiert.

Ihre neuen (und teuren) Fenster sollten also Verglasungen nur mit „warmer Kante“ haben. Der (in die U_w -Wert-Berechnung einzusetzende) lineare Wärmedurchgangskoeffizient ψ_g für den Glasrandverbund verbessert sich dann merklich (Herstellerangabe beachten!).

Abstandhaltermaterial	$\psi_g \text{ [W/(mK)]}$
Aluminium	0,080
Edelstahl	0,055
Kunststoff/Edelstahl	0,040 - 0,035
Kunststoff GFK, Kautschuk	0,030 - 0,027

Glaseinstand

Empfehlenswert ist zusätzlich für alle Systeme ein tiefer (großer) Einstand des Glaspaketes im Fensterrahmen, weil dies zur weiteren Reduzierung der ψ_g -Werte führt.

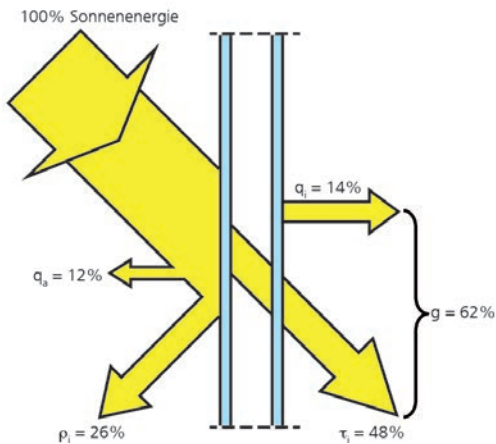


Diesen Effekt berücksichtigen vor allem die vom Passivhaus Institut Darmstadt (PHI) zertifizierten Fenstersysteme, die zusätzlich zur Verwendung von warmer Kante den Randbereich der Verglasung mit einem tiefen Glaseinstand weit einpacken.

Fazit: Glas-Abstandhalter und Glaseinstand sind ebenfalls zu optimieren, um einen guten U_w -Wert des Fensters zu erzielen. Dennoch werden bestimmte Fensterarten mit weiter erhöhtem Rahmenanteil wie z.B. Fenster mit echten Sprossen schlechter abschneiden (→ S. 103) als andere.

7.4 Gesamtenergiedurchlassgrad g

Verglasungen haben nicht nur Wärmeverluste. Je nach dem Grad ihrer Durchlässigkeit erzielen sie auch Wärmegewinne. Der g-Wert als sog. Gesamtenergiedurchlassgrad gibt den Anteil der einfallenden Sonnenstrahlung an, der durch die Verglasung in das Rauminnere gelangt und im Winter als kostenloser passiv-solarer Wärmegewinn zur Raumheizung genutzt werden kann.



In diesem Beispiel beträgt der Gesamtenergiedurchlassgrad $g = 0,62$ bzw. 62 %. Die Ermittlung des g-Wertes erfolgt nach EN 410 und ergibt sich aus dem direkten Transmissionsgrad τ_e und dem sekundären Wärmeabgabegrad q_i (Herstellernachweis).

Je höher der g-Wert ist, umso mehr Energie kommt kostenlos in den Raum. Werte von 50 bis 65 % sollten daher selbst bei den energiesparensten Verglasungen angestrebt werden. Dabei ist auf einen guten sommerlichen Wärmeschutz zu achten, damit sich der dahinter liegende Raum gerade auf der Südseite nicht zu stark erwärmt.

Vor allem bei den 3-fach-Wärmeschutzverglasungen sind der U_g - und der g-Wert immer zusammen zu planen. Ist der g-Wert niedrig, sind auch die passiv-solaren Wärmegewinne während der Heizzeit i.d.R. niedriger als die Wärmeverluste. Hersteller bieten hier „sowohl als auch“ an, wie die folgende Tabelle einer 3-fach-Wärmeschutz-

verglasung (4-12-4-12-4) eines Herstellers beispielhaft zeigt (Ar = Argon; Kr = Krypton).

Glaswerte	Typ A		Typ B		Typ C	
Aufbau	4-12-4-12-4					
Gasfüllung	Ar	Kr	Ar	Kr	Ar	Kr
Lichttransmission	71 %		58 %		74 %	
g-Wert	0,50		0,37		0,60	
U _g -Wert	0,7	0,5	0,7	0,4	0,7	0,5

Der niedrigste U_g -Wert mit 0,4 W/(m²K) bei Typ B ist nur mit einem g-Wert von 0,37 (= 37 % Wärmegewinn) zu haben, bei ebenfalls vergleichsweise niedriger Lichttransmission von 58 %. Letztere sollte aber z.B. für Wohngebäude mindestens 70 % betragen. Je nach Verglasung (Typ A oder C) werden U_g -Werte von 0,5 oder 0,7 mit einem g-Wert von 0,50 oder besserem 0,60 angeboten. Für hohe passiv-solare Wärmegewinne sollte hier das Glas Typ C gewählt werden.

Äquivalenter Glas-U-Wert: $U_{eq,g}$

Für die energetische Bewertung einer Verglasung (und damit auch eines Fensters) ist es interessant, eine Größe heranzuziehen, welche die potenziellen Solargewinne direkt mit den Wärmeverlusten verrechnet.

Dazu dient der äquivalente U-Wert $U_{eq,g}$. Er bewertet das über die Heizzeit anfallende Solarstrahlungsangebot S_F , abhängig von der Himmelsrichtung (HR) und gibt durch das Vorzeichen Auskunft über Netto-Energiegewinne (-) bzw. -verluste. Die Formel lautet:

$$U_{eq,g} = U_g - (g \times S_F) \text{ in [W/(m}^2\text{K)]}$$

Die folgende Tabelle zeigt dazu Beispiele mit Rechenergebnissen für vier verschiedene Verglasungen.

HR	S_F	U_g/g 1,2/0,65	U_g/g 1,1/0,55	U_g/g 0,7/0,50	U_g/g 0,5/0,60
Süd	2,40	-0,360	-0,220	-0,500	-0,940
Ost	1,65	0,128	0,193	-0,125	-0,490
West	1,65	0,128	0,193	-0,125	-0,490
Nord	0,95	0,583	0,578	0,225	-0,070

Die Ergebnisse zeigen: Bei den 3-fach-Wärmeschutzverglasungen mit U_g von 0,7 und 0,5 fallen auf der Süd-, Ost- und Westseite solare Gewinne an. Im Norden gibt es geringe Verluste oder eine fast ausgeglichene Bilanz.

Bei den 2-fach-Wärmeschutzverglasungen entstehen nur auf der Südseite Wärmegewinne. Im Osten und Westen des Gebäudes sind die Verluste gering, im Norden hoch.

Vorausgesetzt, der g-Wert liegt bei der 3-fach-Wärmeschutzverglasung über 50 %, sind die Gewinne dieser Verglasung immer größer und die Wärmeverluste stets kleiner als bei der 2-fach-Wärmeschutzverglasung.

Maximale Fenstergrößen im Süden

Damit es nun im Sommer nicht zu einer Überhitzung der Wohnräume kommt, ist es sinnvoll, die Fenster- bzw. Verglasungsmaße nicht zu groß werden zu lassen – und konstruktive Verschattungen einzuplanen.

Die Ermittlung der maximal zulässigen Fensterfläche im Süden zeigt, je nach Bauweise (Massivbau oder Holzbauweise), Verschattung (Balkon oder kein Balkon) und zusätzlicher Fensterflächen auf der Ost- und Westseite (O und W), die folgende Untersuchung eines Wohnraums mit 8,80 m Breite und 4,10 m Tiefe:

Verschattung/Bauweise	Massiv	Holz
Balkon im Süden	Fenstergrößen	
Kein Fenster in O und W	22,0 m ²	17,6 m ²
2,7 m ² Fenster in O	17,6 m ²	8,8 m ²
2,7 m ² Fenster in O und W	8,8 m ²	1,4 m ²
Kein Balkon im Süden	Fenstergrößen	
Kein Fenster in O und W	8,8 m ²	5,8 m ²
2,7 m ² Fenster in O	5,8 m ²	2,7 m ²
2,7 m ² Fenster in O und W	3,2 m ²	0,0 m ²

Die Ergebnisse für die Fenstergrößen verdeutlichen beispielhaft, wie wichtig im Sommer z.B. ein Balkon zur Verschattung ist und wie negativ sich Fenster auf der Westseite im Sommer auswirken. Zudem helfen wärmespeichernde Massen (Massivbau) bei der Reduzierung der sommerlichen Überhitzung.

Die Glasflächen sind gut überlegt zu dimensionieren und zu positionieren. Im Winter ist ein hoher solarer Energiegewinn wichtig, im Sommer eine Überhitzung der Räume zu vermeiden. Es ist unsinnig, wegen einer falschen Planung der Glasflächen die drei- bis vierfache Energiemenge zum Kühlen im Sommer im Vergleich zum Heizen im Winter zu verbrauchen.

Eine Orientierungshilfe: Die Fensterflächen nach Osten und Westen sollten nur rund 10 % der Fußbodenfläche betragen, damit die erforderliche natürliche Belichtung gewährleistet ist. Bei entsprechender Raumplanung liegen z.B. Treppenhaus und WC auf der Nordseite und benötigen dann nur relativ kleine Fenster zur Belichtung.

Wintergarten

Er wird oft als Energiesparteknik verkauft, obwohl alle Untersuchungen zeigen, dass die Energieeinsparung, selbst bei richtiger Nutzung, nicht mehr als 10 % beträgt – und dann darf der Wintergarten auf keinen Fall beheizbar sein!

Der (sehr teure) Anbau ist also nur ein Puffer zwischen dem warmen Wohnraum und der kalten Außenluft!

Ein weiteres Motiv für den Bau eines Wintergartens beim Neubau wie beim Altbau ist das Gefühl, ganzjährig im Freien zu sein. Damit dies dann auch möglichst behaglich gelingt, ein paar Tipps und Regeln:

- Ausrichtung nach Süden
- Keine Beheizung vorsehen
- Thermische Trennung vom Gebäude, aber dichter Anschluss
- Optimales Verhältnis von Tiefe zu Breite mit 1 zu 3 planen
- 3-fach-Wärmeschutzverglasung
- Hart gedecktes und gut gedämmtes Dach mit Dachüberstand, auf keinen Fall eine Schrägverglasung als Dach vorsehen
- Außenjalousie, keine innenliegende Verschattung wie z.B. Rollos vorsehen
- Belüftungsöffnungen planen mit etwa 15 bis 20 % der Wintergartenglasfläche
- Große Glasschiebetür mit 3-fach-Wärmeschutzglas zum Wohnraum.

Bei knappen Geldmitteln sollten Sie sich den Wintergarten sparen und einen Teil dieser Kosten in wirkliche Energieeffizienztechniken investieren wie z.B. in

■ eine gute, energieeffiziente Planung;

■ in ein Frischluftsystem (kontrollierte Wohnungslüftung);
 ■ stromsparende Elektrogeräte;
 ■ eine Kollektoranlage;
 ■ Wärmedämmung.

7.5 Fensterrahmen

25 bis 45 % der Fensteröffnung im Rohbau entfallen auf den Rahmen. Daher entscheidet das Rahmenmaterial bei der Energieeinsparung mit.

Holz und Kunststoff sind die Marktführer (über 80 % Anteil) unter den Rahmenmaterialien und schneiden in der Dämmwirkung am besten ab. Nur wenige Hersteller bieten bezüglich der Dämmwirkung gleichwertige Aluminium-Rahmen an. Neben der Materialart ist auch die Rahmendicke ein Faktor für die Dämmwirkung.

Holzrahmen

Sie werden z.B. aus Kiefer, Eiche oder exotischen Hölzern gefertigt. Die einheimischen Hölzer haben natürlich Vorrang (Schutz von Klima und Regenwäldern). Holz hat relativ gute Dämmeigenschaften.



Der Wartungsaufwand kann allerdings erheblich sein (wichtig: Schutz durch regelmäßiges Streichen), wobei u.a. diffusionsoffene Dickschichtlasuren angeboten werden, die

weit länger als 10 Jahre ohne jeden Anstrich auskommen.

Das Foto zeigt ein Kiefernholzfenster in einem Badezimmer mit einer blauen Dickschichtlasur, die innen (und außen) noch fast so aussieht wie zum Zeitpunkt des Einbaus Anfang der 1990er Jahre – ohne einen Anstrich bis heute.

Die Schimmelbildung in den Fenster- und Glaseinbaufugen aus weißem Silikon macht die Schwachstellen „sichtbar“ (Alu-Abstandhalter im 2-fach-Wärmeschutzglas Baujahr 1992, Wärmebrücke zwischen Fenster und Wand, keine Lüftungsanlage).

Holz/Alu-Fenster (Holzrahmen mit äußerer Aluminiumverkleidung) bieten einen guten Witterungsschutz, sind aber wesentlich teurer als reine Holzfenster.

Kunststoffrahmen

Sie können die Dämmwirkung von Holzrahmen erreichen. Als Werkstoff wird oft Hart-PVC (Endprodukt der Chlorchemie) aber auch Hart-Polyurethan eingesetzt. Die Rahmendicke ist bei PVC wegen der Mehrkammerprofile (Standard sind heute fünf oder sechs Kammern) etwas größer als bei anderen Werkstoffen. Stabilität erhalten die Rahmen oft durch einen Kern aus Metall. Es sollte nur solchen Herstellern Vorrang gegeben werden, die sowohl alte Kundenrahmen als auch die eigenen Produktionsabfälle (bzw. die ihres Lieferanten) nachweislich einem Recycling zuführen. So lässt sich der negative Umweltaspekt der PVC-Herstellung einigermaßen aufheben. Vorteilhaft ist, dass die Kunststoffrahmen nahezu wartungsfrei sind.

Metallrahmen



Diese aus Aluminium oder Stahl gefertigten Profile werden heute innen durch eingesetzte Abstandhalter aus Kunststoff thermisch getrennt, um die Wärmeleitung durch das Material stark zu reduzieren.

Trotzdem erreichen viele nicht ganz die Dämmwirkung von Holz- oder Kunststoffrahmen. Vor allem die Aluminiumrahmen benötigen zu ihrer Herstellung den mit Abstand größten Energieaufwand und sind vergleichsweise teuer. Wie die Kunststofffenster sind sie jedoch nahezu wartungsfrei [3].

Rahmenmaterial und -bauart	U_F -Wert $W/(m^2K)$	Innenoberflächen-temperatur bei $-10^\circ C$ außen u. $+20^\circ C$ innen
Holz	1,3 - 1,7	+15 bis +13°C
Kunststoff		
- PVC	1,4 - 2,8	+15 bis +9°C
- PU-Schaum	1,7 - 2,1	+14 bis +12°C
Aluminium		
- ohne Dämmung	ca. 5,8	ca. $-2^\circ C$
- mit Dämmung	2,8 - 3,5	+9 bis +6°C
- thermisch optim.	ca. 1,5	ca. +14°C
hoch gedämmte Rahmen	< 0,8	+17°C

Der U_F -Wert als Herstellerangabe wird z.B. vom Institut für Fenstertechnik (ift) in Rosenheim geprüft und zertifiziert. Das ift ermittelt den Wert entweder rechnerisch gemäß EN ISO 10077-2 oder messtechnisch nach EN 12412-2 (Heizkastenverfahren).

Erst mit einem $U_F < 0,8 W/(m^2K)$ erreichen die Rahmen- U_F -Werte die Glas- U_g -Werte von 3-fach-Verglasungen. Sehr gute Dämmeigenschaften haben deshalb seit über 20 Jahren auf dem Markt erhältliche hoch gedämmte Rahmenkonstruktionen, die speziell für die Verwendung von 3-fach-Wärmeschutzglas entwickelt wurden und in Passivhäusern als Standard eingebaut werden. Holzrahmen ha-

ben dann u.a. PU- oder Kork-Dämmkerne – bei Kunststoffrahmen werden die Kammern z.B. mit PU-Schaum gefüllt.

Alternativen dazu sind dickere Holzprofile, die z.B. mit einer zusätzlichen Vorsatzschale aus Hanf oder PU versehen werden oder sie erhalten z.B. zusätzliche Luftspalten (Foto: Kneer-Südfenster).



Beschläge und Fixverglasung

Grundsätzlich gilt: Je weniger Funktionen die Beschläge auszuführen haben, umso höher ist längerfristig ihre Wartungsfreiheit sowie die Fugendichtheit und desto preiswerter sind sie.



Prüfen Sie, ob einzelne Fenster oder -teile nicht auch fixverglast oder nur mit einem Drehbeschlag (ohne Kippfunktion) ausgeführt werden können (z.B. Balkon, Terrasse, im Erdgeschoss). Das spart Kosten.

Und – Fixverglasung (hier mit einem zu öffnenden Fenster in der Mitte) spart Investitionskosten und erhöht den Lichteinfall.



7.6 Fensterarten

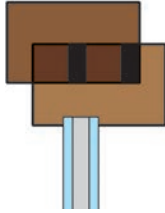
Bei den Fensterarten wird nach der jeweiligen Rahmenbauart unterschieden.

Einfachfenster

Das Einfachfenster ist die am häufigsten genutzte Fensterart. Sie bezeichnet eine Rahmenbauart, die aus einem einteiligen Flügelrahmen besteht.

Energiesparende Verglasungsarten sind

- 2-Scheiben-Wärmeschutzglas oder
- 3-Scheiben-Wärmeschutzglas.

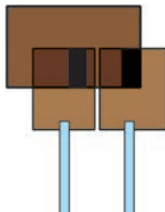


Verbundfenster

Der Flügelrahmen besteht aus je einem miteinander verbundenen Außen- und Innenflügel, meist nur aus Einfachverglasung. Bei einem Abstand der Scheiben von 40 bis 70 mm wird im Vergleich z.B. zu einer 2-Scheiben-Isolierverglasung ein etwas verbesserter Dämmwert erzielt.

Energiesparende Verglasungsarten sind

- ein inneres Fensterglas und ein äußeres 2-Scheiben-Wärmeschutzglas
- oder umgekehrt bei denkmalgeschützten Gebäuden.

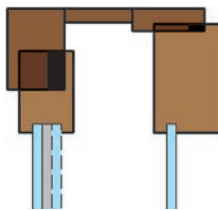


Kastenfenster

Sie haben zwei getrennte Flügel mit ca. 10 bis 15 cm Abstand, die durch das umlaufende Futter verbunden sind und im Bestand ebenfalls noch oft eine Einscheibenverglasung haben. Die Flügel müssen nacheinander geöffnet werden. Mit dieser Art der Konstruktion sind vergleichsweise gute Wärmedämmwerte zu erreichen.

Energiesparende Verglasungsarten sind

- ein inneres Fensterglas und ein äußeres 2-Scheiben-Wärmeschutzglas
- oder umgekehrt bei Denkmalschutz.

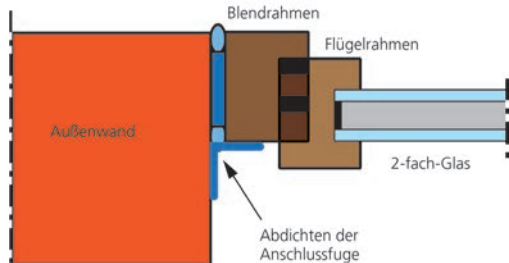


Verbund- und Kastenfenster eignen sich gut für die Erhaltung/Sanierung von historischen Fassaden, weil der Einbau originalmaßstäblicher Sprossen möglich ist.

Ansonsten ist das Einfachfenster die richtige Wahl – aus Gründen des Einbaus, des Platzbedarfs und der Kosten.

(Fugen)dichter Einbau

Neben den Wärmeverlusten durch Transmission (Wärmedurchgang durch das Fenster) haben zusätzlich die Lüftungswärmeverluste durch Fugen und Undichtigkeiten einen erheblichen Einfluss auf die gesamten Wärmeverluste eines Fensters.



Bei der Errichtung von Gebäuden muss die wärmeübertragende Umfassungsfläche einschließlich aller Fugen (insbesondere der Anschlussfugen!) deshalb dauerhaft luftundurchlässig, entsprechend dem Stand der Technik, abgedichtet werden.

Die Fugendurchlässigkeit von außen liegenden Fenstern und Türen muss mind. der EN 12207-1 „Fenster und Türen - Luftdurchlässigkeit - Klassifizierung“ entsprechen.



Nach DIN 4108-7 ist die innere luftdichte Ausführung der Fensteranschlusssfuge nach dem Stand der Technik vorgeschrieben: Schäume sind längst nicht mehr zulässig. Luftdichtheit kann – wie abgebildet – durch ein elastisches, einseitiges Klebeband hergestellt werden.

Fugenfalz – Dichtungen und Beschläge

Der Fugenfalz zwischen Blend- und Flügelrahmen (Träger der Verglasung) bringt eine Minderung der Schall- und Wärmedämmung sowie der Fugendichtheit mit sich.

Infolge von Luftdruckunterschieden zu beiden Seiten des Fugenfalzes kommt es zu einem Luftaustausch. Dabei können die wind- und thermischbedingten Luftdruckunterschiede sehr groß werden. Deshalb sollte der Fugendurchlass durch umlaufende, alterungsbeständige, weich federnde und (später) leicht auswechselbare Dichtungen reduziert werden.

Solche Dichtungen sind bei neuen Fenstern Standard, bei älteren Fenstern aber oft eine Schwachstelle. Hier sollten die Dichtungen zur Vermeidung von Zugluft und von Lüftungswärmeverlusten erneuert oder überhaupt erstmals eingesetzt werden.

Ebenso wichtig ist die richtige Justierung der Beschläge der Flügelrahmen. In regelmäßigen Abständen von ca. fünf Jahren ist – gerade bei den heutigen großen und schweren Flügeln – eine Nachjustierung notwendig, die bei neueren Fenstern durch Nachstellmöglichkeiten an Scheren, Ecklagern und Verriegelungszapfen vorgesehen sind. Aber auch beim Neubau ist die Überprüfung

der Beschläge gleich nach dem Einbau der Fenster Pflicht. Denn Erfahrungen aus Blower-Door-Messungen (→ S. 125) zur Überprüfung der Luftdichtheit zeigen oft als eine besondere Problemstelle den Blendrahmen, der nicht umlaufend dicht auf den Flügelrahmen justiert ist.

„Verboten“:

Heizkörper direkt vor Verglasungen

Leider werden selbst heute noch Heizkörper direkt vor Verglasungen gesetzt. Für diesen (eigentlich unzulässigen) Fall sollte mindestens eine Abdeckung an der Heizkörperrückseite vorgesehen werden, sodass die vom Heizkörper ausgehende Wärmestrahlung nicht direkt durch die Scheibe nach außen abgegeben wird – und so völlig unnütz zur Klimaerwärmung beiträgt.



Besser und billiger als eine Verglasung ist hier an dieser Stelle das Mauern einer Brüstung, die selbstverständlich gut wärmedämmt ist!

Denn für die Belichtung in der Raumtiefe sind Glasflächen unterhalb 0,80 m Höhe unwesentlich (Einfallswinkel!) – zumal, wenn ein Heizkörper vor dem Fenster steht.

7.7 Rollläden und Co.

Bei tiefen nächtlichen Außentemperaturen treten die höchsten Wärmeverluste über Glas und Rahmen auf. Zusätzliche Einsparungen lassen sich deshalb durch Rollläden, Klapp- oder Schiebeläden, aber auch durch Raffstores und Jalousetten erzielen. Sie wirken dabei nicht allein mit ihrem eigenen Dämmwert, sondern auch ein wenig durch die Luftschicht (→ S. 17) zwischen sich und dem Fenster. Ihre Wirkung ist daher umso besser, je dichter sie schließen.

Die erzielbare Energieeinsparung durch diese Maßnahmen ist allerdings bei gut gedämmten Fenstern [$U_w < 1,50 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$] verhältnismäßig klein und liegt bei unter 7 %.

Deshalb ist der nächtliche temporäre Wärmeschutz nur dann sinnvoll, wenn er auch aus anderen Gründen gewünscht wird (z.B. Einbruch- und Sonnenschutz).

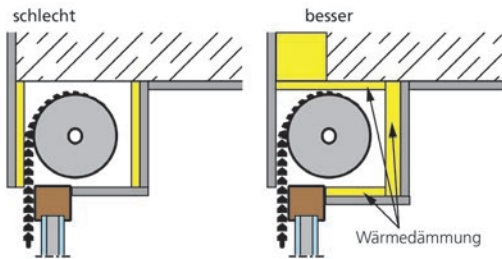
Rollläden ...

Ein wichtiges Kriterium zur energetischen Beurteilung eines Rollladens ist der Rollladenkasten.

Beim Einfamilienhaus kann die Fläche aller Kästen schnell 5 bis 8 m² betragen. Kaum gedämmte und vor allem undichte Kästen verlieren dann mehr Wärme, als durch die nachts heruntergelassenen Rollläden einge-

spart wird. Damit ist der Energieeinspar-effekt zunichte gemacht.

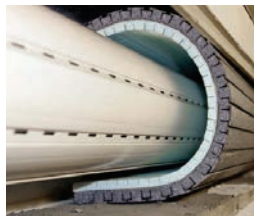
Deshalb sollten die Rollokästen kompakt und gut wärmege-dämmt sein. Da kein be-sonderer U-Wert vorgeschrieben ist, sollte die Dämmstärke mindestens 3 cm betragen. Eine Orientierung bietet die DIN 4108 mit Beiblatt 2, wo die Rollladenkästen als Wär-mebrücken berücksichtigt werden.



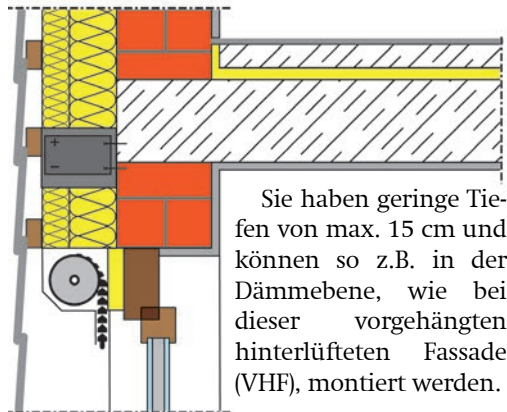
Sind wärmege-dämmte Kästen (+ Rollos!) beim Neubau noch selbstverständlich, so besteht bei Altbauten grundsätzlich Fehlan-zeige. Zum Raum hin sind sie lediglich mit einer ungedämmten Platte aus Holz oder Metall verschlossen – dem Revisionsdeckel. Gleiches gilt für die untere Abdeckung. Hier wird eine Nachbesserung empfohlen.

Nach Öffnen des Revisionsdeckels ist bei völlig aufgewickelterm Rollladen die mög-liche Dicke der Wärmedämmung zu messen. Die Dämmung selbst kann man in Form von Platten im Baumarkt kaufen, zuschneiden und z.B. ankleben.

Eine Alternative zum Eigenbau gibt es längst auf dem Markt wie z.B. diese flexible Dämmung aus einem Neopor-Formteil (Foto Firma Beck&Heun). Durch die gute Anpassbarkeit werden Wärmebrücken verhindert und die Schalldämmung verbessert.



Ist ein Rollladen unbed-ingt notwendig, sind Mini-rollläden, deren Kästen auf der Außenwand oder auf die Fenster montiert wer-den, eine mögliche Alterna-tive.



Natürlich gilt die gleiche Lösung auch für eine Außenwand mit einem WDVS. Die Optik ist unter Umständen noch immer ungewohnt, die Energieeinsparung ist aber spürbar höher. Beim Einbau sollte man wie bei den Fenstern stets auf Fu-gendichtheit achten.



Ein zusätzlicher Problempunkt ist in den Öffnungen (Führungsgurtschlitten) für die Gurte zu sehen – gerade im Bestand. Sie las-sen Zugluft und Kälte ins Innere und Wärme strömt hinaus. Zudem nutzen Insekten oft-mals diese Öffnungen als „Autobahn“.

Bis zu 2 m³ teuer erwärmter Raumluft können je Stunde verloren gehen. Bei einem Wohnhaus mit 12 Kästen und Gurtdurch-führungen entspricht das ca. 25 m³/h. Das ist sinnlose Energieverschwendung, da die „ver-lorene“ Raumluft nachgeheizt werden muss.

Abhilfe gegen eine solche unkontrollierte und ständige Entlüftung schafft eine Sanie-rungsgurtführung (Fotos DIHA GmbH).



alt



saniert

Sie hat innen eine zweifache Bürstendichtung und an der Verbindungsfläche zur Wand eine Kautschukdichtung. Die bestehende Öffnung wird problemlos überdeckt. Die Energieeinsparung beträgt beim Altbau gut 95 %.

Beim Neubau ist mit einer Lüftungsrate $C < 0,12 \text{ m}^3/\text{h}$ (bei 50 Pa) ohnehin eine gewisse Luftdichtheit vorgeschrieben. Hier sind solche Gurtdurchführungen ein Muss. Alternativ kann ein Kurbelantrieb eingebaut werden. Fensterhersteller bieten auch Verbundelemente aus Rahmen und Rollladenkasten an. Komfortabel, aber teuer und wartungsanfälliger, sind elektrische Antriebe.

... und Co.

Werden moderne Fenster mit sehr guter Wärmedämmung eingebaut, ist ein temporärer Wärmeschutz bei tiefen nächtlichen Außentemperaturen nicht mehr so wichtig. Rollläden können ganz entfallen!



In diesem Fall sind alternativ außen angebrachte Raffstores, Klapp- oder Schiebeläden eine gute Alternative. Sie übernehmen so wichtige Aufgaben wie die Verdunklung oder den

sommerlichen Wärmeschutz (die Verschattung) – und können damit sogar zu einem gestalterischen Element jeder Fassade werden.



Sommerlicher Wärmeschutz

Zum temporären Wärmeschutz zählt ebenso der Schutz vor übermäßiger Sonneneinstrahlung im Sommer und an sehr sonnigen Wintertagen während der Heizzeit. Südfenster können und sollen im Sommer nicht nur durch geschlossene Läden, sondern auch mit entsprechenden konstruktiven Verschattungen wie z.B. durch Balkone, größere Dachüberstände oder andere bauliche Maßnahmen vor der direkten Einstrahlung der vergleichsweise steil am Himmel stehenden Sonne geschützt werden (→ S. 117).

7.8 Dachfenster

Das Dachfenster ist ein Fenster im Dach eines Gebäudes zur Belichtung und Belüftung des Dachraumes. Bei zu Wohnzwecken ausgebauten Dachräumen bietet es auch eine Aussicht auf die Umgebung. Anhand der Bauweise lassen sich die Dachfenster prinzipiell in zwei Gruppen einteilen.

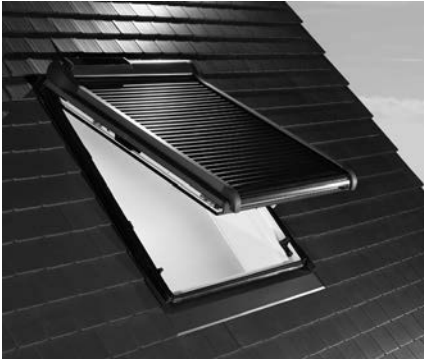
Liegendes Dachfenster

Ein in die Dachfläche eingelassenes Fenster mit dem gleichen Neigungswinkel wie das Dach. Es wird deshalb oft auch als Dachflächenfenster bezeichnet.

Stehendes Dachfenster

Dabei handelt es sich um ein senkrecht stehendes Fenster in einer Gaube.

Dachflächenfenster sind in der Breite auf die üblichen Sparrenabstände abgestimmt und kommen beim Neubau und beim nachträglichen Ausbau des Dachraums zum Einsatz. Zum Öffnen lassen sie sich entweder um ihre waagerechte Mittelachse kippen oder sie schwingen mit dem Drehpunkt am oberen Ende des Rahmens auf (Foto auf der nächsten Seite: Klapp-Schwingfenster Roto).



Marktführer in Deutschland sind die Hersteller Roto und Velux sowie Fakro. In Bezug auf Formen, Farben und Funktionalität lassen sie heute keine Wünsche mehr offen. Beim Wärmeschutz besteht allerdings noch deutliches Entwicklungspotenzial.

Wie bei den „normalen“, senkrecht in Wänden eingebauten Fenstern ist auch für ein Dachflächenfenster die entscheidende Angabe der U_w -Wert. Während bei Ersteren Werte von 0,6 bis 0,8 $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$ kein Problem sind, liegen 95 % aller neuen Dachflächenfenster im Bereich von 1,2 bis 1,6 $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$ – laut Herstellerangabe. Der Grund liegt im Einsatz von nicht besonders gedämmten Rahmen sowie (deshalb vergleichsweise guten) 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasungen, z.B. mit $U_g = 1,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Bestehende Dachfenster sind davon noch „meilenweit“ weg.

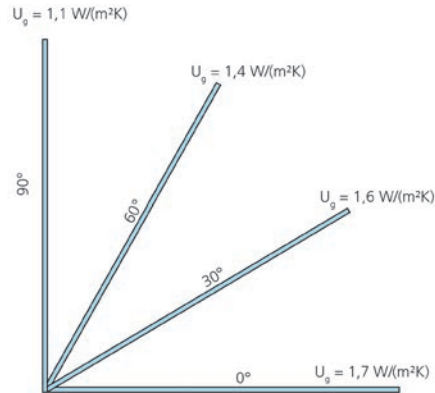
Angesichts der steigenden Anforderungen an das energiesparende Bauen ist damit das Dachflächenfenster beim ausgebauten Dachgeschoss das nach wie vor (neben der Haustür) „schwächste“ Bauteil. Hier sollten Sie auf bessere Werte und Produkte achten – aber nicht nur darauf.

Geneigt ist anders

Der Nachweis des U_g -Wertes erfolgt auf Basis des Rechenverfahrens nach EN 673. Vorausgesetzt wird dabei aber der senkrechte Einbaufall der Verglasung! Gleiches gilt für den Nachweis auf Grundlage des Messverfahrens nach EN 674.

Tatsache ist: Bei geneigten Verglasungen, also vor allem bei Dachflächenfenstern, erhöht sich der U_g -Wert aus physikalischen

Gründen. Die Veränderung ist derart groß, dass sie nicht einfach vernachlässigt werden darf. Ursache für die Zunahme des U_g -Wertes ist die Konvektion im Scheibenzwischenraum, die mit Zunahme der Glasneigung ansteigt und damit den Wärmetransport nach außen erhöht [4].



Die größten Effekte treten bei der 2-fach-Verglasung auf. Die Grafik zeigt die Veränderung bzw. Verschlechterung des U_g -Wertes einer mit Argon gefüllten Wärmeschutzverglasung in Abhängigkeit vom Neigungswinkel: Das Glas erreicht statt dem Normwert 1,1 bei einer Dachneigung von 30° nur einen tatsächlichen Wert von 1,6 $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$.

Was heißt das für die Praxis?

Der U_w -Wert eines üblichen Dachflächenfensters (1,23 m x 1,48 m, Rahmenfläche 0,55 m^2 , Glasfläche 1,27 m^2 , Randverbundlänge 4,54 m) mit $U_g = 1,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, Aluminium-Abstandhalter und $U_f = 1,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ beträgt bei einem Neigungswinkel von 30° nicht 1,4 $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$, sondern gerade einmal 1,8 $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$. Das ist eine Verschlechterung von fast 30 %!

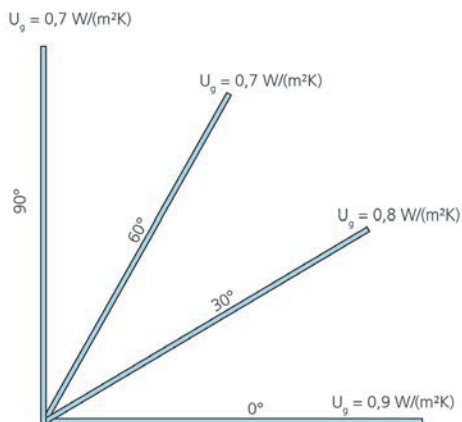


Für die CE-Kennzeichnung und zu Werbezwecken müssen Hersteller wegen der aktuellen Normungslage den U_w -Wert für die senkrechte Einbaulage angeben. Deshalb sollten diese ihre Kunden darauf hinweisen, dass der deklarierte U_w -Wert für den senkrechten Einbaufall gilt und sich in geneigter Einbaulage (deutlich) erhöht.

Diesen Effekt kennen Sie übrigens von den Fensterscheiben Ihres Autos!

Im Winter frieren die nahezu senkrechten Seitenscheiben nicht so schnell zu wie die stark geneigte Frontscheibe. Bei Letzterer sind der Wärmeverlust und dadurch die Abkühlung größer.

Während die Wärmeverluste bei 2-fach-Verglasung mit Zunahme der Neigung stark ansteigen, ist dieser Effekt bei den 3-fach-Wärmeschutzverglasungen viel geringer.



Nicht nur deshalb wird empfohlen, beim Neubau wie bei der Sanierung nur noch Dachflächenfenster mit einer 3-fach-Wärmeschutzverglasung einzubauen. Die Hersteller bieten dazu längst zahlreiche Produkte mit deklarierten U_w -Werten von 0,85 bis 0,90

$\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$ an. Wichtig ist auch hier ein optimierter Glas-Abstandhalter, um Tauwasser auf der Scheibe zu vermeiden.

Ein weiterer wichtiger Aspekt bei den Dachfenstern ist der sommerliche Wärmeschutz. Denn es nützt gar nichts, wenn bei der Dachkonstruktion selbst zwar darauf geachtet wird, aber im Sommer die Sonne („die ist ja nicht blöd“) ungehindert durch das Glas in den Dachraum scheint und diesen auf Saunatemperatur aufheizt.

Im Dachraum angebrachte (und gerne mit verkaufte) Rollos und Jalousetten helfen hier nicht weiter.

Sie dienen allein der Verdunklung. Geeignet sind nur außen liegende Markisen oder Rollläden, welche die Sonne den Tag über tatsächlich „aussperren“ – falls sie auch genutzt werden (Foto: Roto).



7.9 Fazit und Empfehlung

Empfohlen werden Einfachfenster mit 2- oder besser 3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung sowie sehr gut gedämmte Holz- oder Kunststoffrahmen mit warmer Kante. Ein neu eingebautes Fenster lässt sich nachträglich nicht mehr (oder nur mit sehr hohem Aufwand) ändern. Deshalb spricht alles für die Wahl eines optimal gedämmten und fugen- bzw. luftdicht eingebauten Fensters:

- der lange Nutzungszeitraum von mindestens 30 Jahren
- der höhere Beitrag zum Klimaschutz
- die Amortisation der Mehrkosten gegenüber Standard-Fenstern innerhalb der Le-

bensdauer durch die hohen und weiter steigenden Energiepreise.

Nicht nur fürs Klima, sondern vor allem für Sie selbst und nachfolgende Generationen sollten energiesparende Fenster selbstverständlich sein – bei einer Sanierung wie bei einem Neubau. Und die Vorteile sind überzeugend:

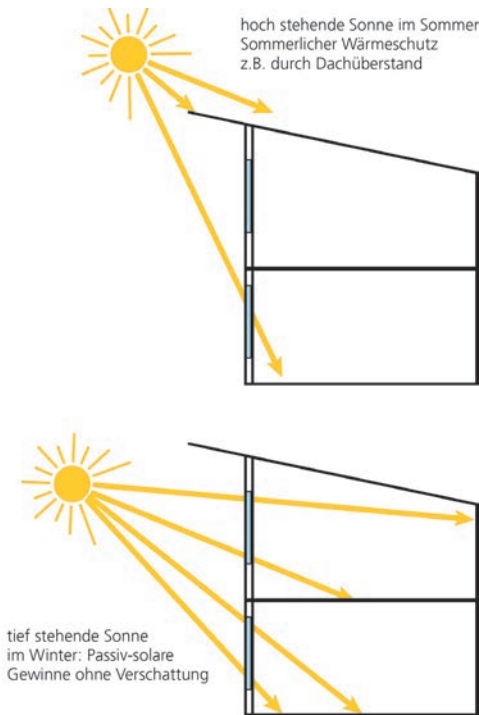
- bester winterlicher Wärmeschutz
- sehr hohe Behaglichkeit durch warme innere Scheibenoberflächen
- Einsparung an Energieverbrauch von 50 % und mehr
- Tauwasserfreiheit der Konstruktion

■ Wirtschaftlichkeit durch Energiekosteneinsparung über den Nutzungszeitraum. Lassen Sie sich bitte kein X für ein U vormachen, wenn es um die Details geht. Der Glas-U-Wert ist nicht der Fenster-U-Wert, ein hoher Energiedurchlassgrad g ist trotz der besten Wärmeschutzverglasung möglich und gut gedämmte Rahmen sind ebenso wichtig wie ein guter Glas-Abstandhalter!

Nicht zu vergessen: Dichte Fenster sowie ein dichter Einbau sind unerlässlich, sonst werden die Einsparungen auf der einen Seite durch Unzulänglichkeiten auf der anderen Seite wieder zunichte gemacht.

Und Rollläden sind heute als temporärer Wärmeschutz überflüssig. Im Gegenteil, ihre Wärmebrückenwirkung ist auch bei sehr gut gedämmten Gebäuden noch nachweisbar.

Wichtiger dagegen sind Funktionen wie Verdunklung oder Verschattung. Herausforderungen, die heute anders gelöst werden können: Die Verschattung z.B. durch konstruktive Maßnahmen wie einen ausreichenden Dachüberstand auf der Südseite.



Übrigens – bei Altbauten muss es nicht in jedem Fall gleich ein neues Fenster sein. Oft hilft schon der bloße und kostengünstigere Austausch der vorhandenen Isolierverglasung (z.B. 4-16-4 mit $U_g = 2,6 \text{ W/(m}^2\text{K)}$) durch eine sehr gute 2-fach-Wärmeschutzverglasung mit $U_g = 1,0 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ beim Energiesparen.

Fensterorientierung beim Neubau

- Die Nordfensterfläche soll lediglich eine ausreichende Helligkeit in den Räumen sicherstellen. 10 % der Nordfassadenfläche sollten nicht überschritten werden.
- 15 bis 30 % der Fassadenflächen für Fenster jeweils auf der Ost- und Westseite sind optimal, wobei die Gefahr der sommerlichen Überhitzung im Westen viel größer ist als im Osten.
 1. Für die Energieeinsparung durch eine passive Sonnenenergienutzung ist die Größe der Südfensterflächen nicht allein entscheidend.
 2. Weit wichtiger als die Fenstergröße ist der Wärmeschutz-Standard des gesamten Gebäudes.
 3. Die Qualität der Verglasung ist wichtiger als die Fenstergröße.
- Der Fensterflächenanteil an der Südfassade sollte bei 40 bis 60 % liegen. Darüber hinaus können die zusätzlichen Solargewinne nicht mehr genutzt werden! Im Gegenteil, mit zunehmender Fensterfläche muss ein immer besserer Sonnenschutz gegen Überhitzung im Sommer gewährleistet werden. Damit kann die Wahl der Fensterfläche auf der Südfassade also auf Grundlage von architektonischen oder ökonomischen Gesichtspunkten getroffen werden – Fenster sind die mit Abstand teuersten Bauteile!
- Dachflächenfenster sollten grundsätzlich bei Neubau wie bei Ersatz mit 3-fach-Wärmeschutzverglasung und einem äußerem Sonnenschutz (z.B. Rollläden, der bei Sonnenschein automatisch angetrieben und z.B. durch eine Fotovoltaikzelle geschlossen wird) eingebaut werden.

7.10 Türen (U_D)

In keiner Neubauplanung und auch in keinem energetischen Sanierungskonzept sollte die Haustür vergessen werden. Sie ist immer noch eines der, wärmedämmtechnisch gesehen, schwächsten Bauteile.

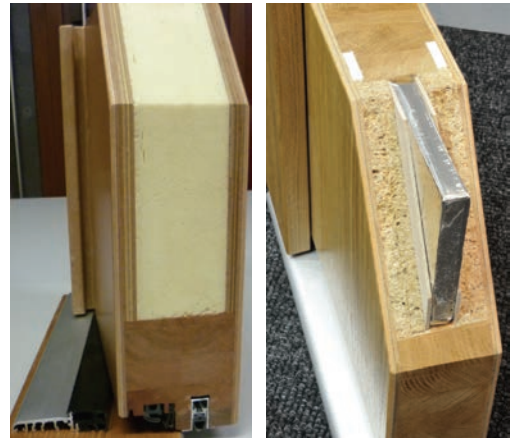


Im Altbau besteht sie oft noch aus unge-dämmten Alurahmen mit einer einfachen Drahtglasfüllung oder im besten Fall aus einem Holz- oder Kunststoffrahmen mit oder ohne Isolierglasfüllung.

Der U_D-Wert, in diesem Fall mit dem Index D für Door (Tür) versehen, liegt in einem Bereich von etwa 3,5 bis 5,5 W/(m²K)!

Für eine neue Haustür sollte ein Zielwert für U_D von 1,0 W/(m²K) unterschritten werden. Denn nur so erreicht auch dieses Außenbauteil einen ähnlich niedrigen U-Wert wie bei den Fenstern.

Auf dem Markt sind heute zahlreiche Anbieter von Holz- oder Kunststofftüren mit und ohne 3-fach-Wärmeschutzverglasung, die je nach Türblattfüllung U_D-Werte für die Gesamttür von 0,39 bis 0,79 W/(m²K) erreichen. Die Füllung des Türblatts besteht dabei oft aus Dämmschaum wie z.B. Purenit oder aus einer Vakuumdämmung (VIP) z.B. mit U_D = 0,57 W/(m²K) bei nur 68 mm Blattstärke (Fotos Variotec).



Kellertür

Im Übrigen ist auch bei der Kellertür auf ein gut gedämmtes Element zu achten, falls sie als Bauteil zwischen beheizten und unbeheizten Räumen montiert ist. Typisch ist hier die Tür im untersten Geschoss zwischen beheiztem Treppenhaus und dem angrenzenden unbeheizten Kellerflur.

Wohnungstür

Grenzt eine Wohnung in einem Mehrfamilienhaus an ein unbeheiztes Treppenhaus, sollte auch die Wohnungstür zur Reduzierung der Transmissionswärmeverluste einen niedrigen U_D-Wert haben.

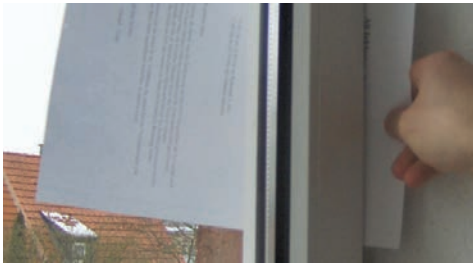


Um zusätzlich die Lüftungswärmeverluste über den unteren Türspalt zu verringern, sind dort besondere Dichtungen oder sog. Besendichtungen zu montieren – und im Bestand nachzurüsten.

8 Luft- und Winddichtheit

Schon unseren Vorfahren war eine undichte Gebäudehülle ein Dorn im Auge. Um Zugluft zu vermeiden, haben sie die zahlreichen Ritzen ihrer Holzhäuser mit Moos und Lehm abgedichtet.

Noch heute empfinden wir es als unangenehm, wenn es durch undichte oder nicht dicht eingebaute Fenster „wie Hechtsuppe zieht“.



Die Gründe für eine gute Wind- und Luftdichtheit von beheizten Gebäuden sind vielfältig: Es geht um Wohnkomfort, Gesundheit durch die Ausgrenzung von Schadstoffen, Wärme- und Feuchteschutz oder den planmäßigen Betrieb von Lüftungsanlagen.

Damit ist die Sicherung der Wind- und Luftdichtheit einer Gebäudehülle ein sehr wichtiger Beitrag zur Steigerung der Energieeffizienz und Behaglichkeit sowie zur Vermeidung von Bauschäden.

Letztere sind im Gegensatz zu den Zugscheinungen kaum spürbar, aber hinterhältiger. Bei Überdruck im Gebäudeinneren, durch Wind oder durch eine höhere Temperatur innen als außen, strömt über Konvektion feuchtwarme Luft durch die Undichten in die Konstruktion. Bei der entsprechenden Menge und Verweildauer kommt es dort zu Tauwasserausfall und zu Bauschäden.

Das ist meist ein „schleichender Vorgang“, der frühestens dann von Bauherren und Architekten bemerkt wird, wenn es bereits zu spät und der Schaden sichtbar geworden ist.

Während massive Bauteile wie z.B. eine Ziegelmauer durch den Außen- und Innenputz automatisch wind- und luftdicht wer-

den, ist der Aufwand bei Holzgebäuden und Dächern wesentlich höher.

! Im Vergleich zur Wasserdampfdiffusion über 1 m² Dachfläche kann durch eine 1 m lange und nur 1 mm breite Fuge die 1.000 bis 2.700-fache Wasserdampfmenge in kürzester Zeit in den Dachaufbau einströmen und dort Feuchteschäden verursachen.

Die Problempunkte und Herausforderungen aber sind die Bauteil-Durchdringungen sowie die Anschlüsse zwischen den Bauteilen.

Jedes Gebäude – erst recht ein sehr gut gedämmtes – braucht also eine funktionierende hohe Wind- und Luftdichtheit.

Die alltägliche Praxis am Bau besteht leider immer noch darin, dass Überlappungen, Stoßfugen, Anschlüsse oder Durchdringungen zu oft nur sehr mangelhaft ausgeführt werden. Von Luft- und Winddichtheit kann dann keine Rede sein!

Die Folgen sind:

- unbehagliche Zugluft (an windreichen Tagen wurde in Dachgeschossen ein Lüftungsverlust gemessen, der dem 17-fachen Austausch der Raumluft pro Stunde entsprach)
- große Lüftungswärmeverluste (Energieverbrauch) durch nach außen strömende warme Raumluft während der Heizzeit
- zu warme Raumluft im Sommer und zu trockene Raumluft im Winter
- Verringerung der Funktion der Wärmedämmung
- Feuchteschäden durch Ausfall von Tauwasser (Konsequenzen: Holzfäule, Schädlingsbefall, Schimmelbildung).

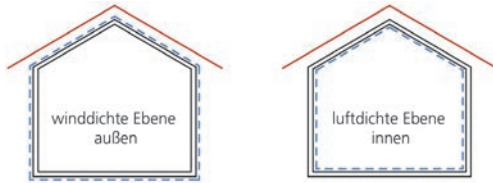
Deshalb sollten Sie bei der Planung und bei der Ausführung durch die Handwerker auf eine luft- und winddichte Gebäudehülle sehr großen Wert legen.

Die Überprüfung ist vergleichsweise einfach. Es wird eine sog. Blower-Door-Messung durchgeführt, die mögliche Lecks aufspürt.

8.1 Winddichtung

Luftzug und Wind schätzt man nur in der freien Natur, nicht aber im eigenen gemütlichen Wohnzimmer.

Einen wichtigen Beitrag dazu leisten dauerhaft verarbeitete „Dichtheitsschichten“. Diese sollten als nicht unterbrochene Ebene das Gebäude vollständig umschließen, um Luftströmungen von innen nach außen und Windströmungen von außen nach innen zu verhindern.



Während in der DIN 4108-7 „Luftdichtheit von Gebäuden – Anforderungen, Planungs- und Ausführungsempfehlungen sowie -beispiele“ die Luftdichtheit geregelt ist und dazu genormte Prüfverfahren existieren, sind bis heute Anforderungen an die Winddichtheit in keiner Norm verankert. Dabei ist eine winddichte Gebäudehülle für das heutige energieeffiziente Bauen unabdingbar.

In der oben genannten DIN werden aber zumindest die Begriffe Winddichtheit und Winddichtheitsschicht definiert:

■ Winddichtheit

Eigenschaft einer Dach-, Wand- oder Fasadenskonstruktion oder einer außenseitigen Wärmedämmung, nicht oder nur in geringem Maße mit Außenluft durchströmt zu werden.

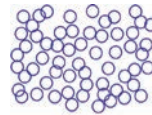
■ Winddichtheitsschicht

Schicht, meist außenseitig der Wärmedämmung verlegt, die das Einströmen kalter Außenluft in die Konstruktion und den Wiederaustritt an anderer Stelle erschwert und so die Abfuhr von Wärme vermindert.

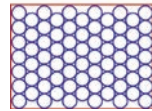
Die Winddichtung liegt also stets im kalten (äußeren) Bereich und wirkt als Dämmschutzschicht. Dazu hat sie verschiedene wichtige Aufgaben über die Funktionserhaltung bis hin zur Vermeidung trockener Raumluft.

Funktion der Wärmedämmung

Die Wirkung aller Wärmedämmungen beruht auf den Lufteinschlüssen im Dämmmaterial. Voraussetzung für die dämmende Wirkung dieser Lufteinschlüsse ist deren Schutz vor Luftbewegung. Deshalb ist bei der idealen Dämmkonstruktion der Dämmstoff allseitig abgeschlossen.



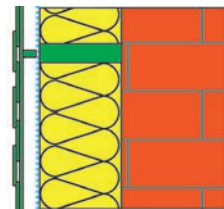
Ungeschützter Dämmstoff: Luftbewegung in einer Porenstruktur verringert die Dämmwirkung.



Geschützter Dämmstoff: Keine Luftbewegung in der Porenstruktur möglich, damit volle Dämmwirkung.

Wie auf S. 34 schon einmal erwähnt, zur Wiederholung das Beispiel aus der Praxis: Auch die wärmedämmende Wirkung eines Wollpullovers beruht auf den unbewegten Lufteinschlüssen in den Fasern: Sobald aber (kalter) Wind weht, lässt die Dämmwirkung nach. Zieht man eine dünne Windjacke darüber, die selbst keinerlei dämmende Funktion hat, ist die Wirkung wieder hergestellt.

Wird die Außenwand mit einem WDVS gedämmt, bildet der Außenputz bereits die winddichte Ebene – wie bei jeder verputzten Mauer.



Dagegen wird bei einer vorgehängten hinterlüfteten Fassade (VHF) der Dämmstoff i.d.R. mit einer Winddichtung versehen, da selbst bei dieser Fassadenschalung aus Holzbrettern nicht davon ausgegangen werden kann, dass sie außen dauerhaft dicht bleibt.

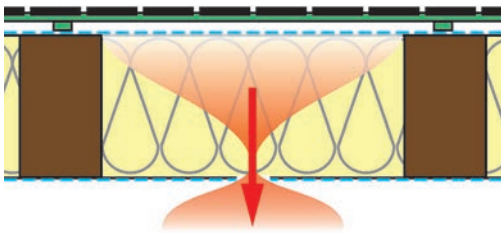
Besonders wichtig ist eine gut ausgeführte Winddichtung im Dachbereich. Hier soll der Wind nicht durch die Dacheindeckung dringen und die darunter liegende Wärmedämmung hinterspülen, wodurch ihre Funktion verringert bzw. ihre Wärmeleitfähigkeit erhöht wird.

Feuchteschutz

Bei der VHF und beim Dach hat die Winddichtung die weitere wichtige Aufgabe, das Eindringen von Feuchte durch Regen, Nebel oder Schnee – vor allem bei Wind – zu verhindern, was zu Schäden in der jeweiligen Konstruktion führen würde.

Für die optimale Winddichtheit sind deshalb zusätzlich auch alle Durchdringungen entsprechend abzudichten, wie z.B. Nägel durch Dachlatten, Dachfenster, Kamine, Abluftrohre und sonstige Durchdringungen.

Sommerlicher Wärmeschutz

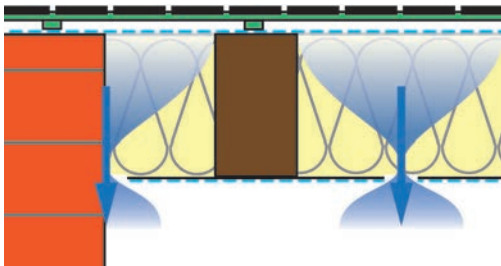


Ohne Winddichtung bzw. durch Fugen im Unterdach kann es geschehen, dass es im Sommer wegen der hohen Temperatur- und damit Druckdifferenz zu einer Luftströmung von außen nach innen kommt.

Die – hoffentlich auch unter den Gesichtspunkten eines sommerlichen Wärmeschutzes – geplante und ausgeführte Dämmung verliert dann ihre Wirkung.

Schutz vor trockener Luft im Winter

Eine häufig zu trockene Raumluft im Winter während der Heizzeit kann u.a. daher kommen, dass kalte Außenluft durch Fugen in das Haus eindringt. Wird die kalte Luft durch Beheizen erwärmt, reduziert sich ihr relativer Feuchtegehalt.



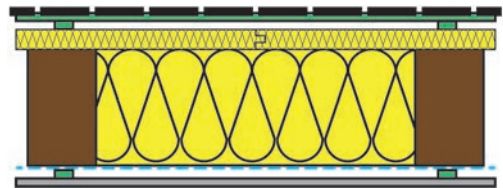
Materialien zur Winddichtung

Zur Herstellung einer Winddichtung geeignete Materialien sind vor allem

- Holz-(Bretter-)Schalungen mit Bitumendachbahn als eine dampfdichte (diffusionsdichte) Variante.
- Unterspannbahnen, überwiegend aus Polypropylen, die sehr diffusionsoffen sind, also mit s_d -Werten von 0,02 bis 0,10.
- Unterdeckplatten aus Holzfaserdämmplatten als diffusionsoffene Variante.

Ob nun eine Aufsparren- oder, wie in der unteren Grafik, eine Vollsparren-Dämmung geplant wird: Für eine Winddichtung ist als oberer Abschluss eine spezielle Holzfaserdämmplatte gut geeignet. Sie ist mit Latex, Paraffin, PU-Harz oder Aluminiumsulfat behandelt, um den Feuchteschutz von außen optimal zu gewährleisten.

Sie wird in Stärken von 18 bis 120 mm mit Nut und Feder hergestellt, um bei der Montage fugendichte Stöße zu erreichen, die noch abgeklebt werden.



Hersteller sind z.B. Gutex, Homatherm, Pavatex oder Steico. Deren Holzfaserplatte trägt einerseits zur Verstärkung der Wärmedämmung des Dachs bei (die Wärmeleitfähigkeiten liegen je nach Hersteller zwischen 0,050 und 0,044 W/(mK)) und ist mit s_d -Werten von 0,054 bis 0,600 m diffusionsoffen. Andererseits liefert sie im Gegensatz zu einer Unterspannbahn einen positiven Beitrag zu einem sommerlichen Wärmeschutz.

Diese durchgehende Dämmung verhindert die bei reinen Zwischensparren-Dämmungen mit Unterspannbahn typischen Wärmebrückenverluste der Sparren.

Bei allen Holzkonstruktionen und damit auch beim Dach ein Thema: Braucht es eine Dampfsperre oder Dampfbremse oder etwa nichts dergleichen?

8.2 Luftdichtung (Dampfbremse)

Sie liegt immer auf der warmen Seite der Konstruktion (innen) und übernimmt beim Dach oft auch die Funktion der (selten notwendigen) Dampfbremse.

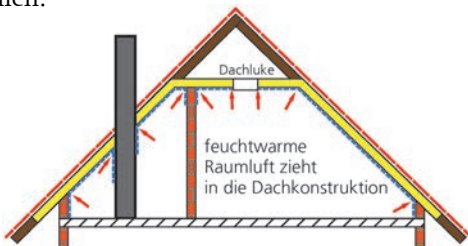
Während eine Winddichtung bei Neubau wie Sanierung vergleichsweise einfach zu planen und herzustellen ist, stellt die Luftdichtung eine besondere Herausforderung dar. Vor allem in der Sanierung sind nicht immer alle Undichtheiten zu beseitigen.

Aufgabe der Luftdichtung

Die luftdichte Schicht verhindert Luftströme in tauwassergefährdete Bereiche im Bauteilinneren.

Bewegt sich die Luft in Form einer Strömung, so spricht man von Konvektion. Zwischen Innenraum- und Außenluft besteht bedingt durch den Temperaturunterschied ein Druckgefälle, das durch diese Luftströmung nach Ausgleich strebt.

Durch Konvektion können an einem Tag mehrere 100 g Feuchtigkeit z.B. in die Wärmedämmung einer Dachkonstruktion eingetragen werden und dort als Tauwasser ausfallen.



Bei der Luftdichtung handelt es sich damit in erster Linie weder um eine Dampfbremse oder -sperr! Sie kann aber je nach Ausführung und Material auch diese Funktionen übernehmen.

Problempunkte/Schnittstellen

Auf dem langen Weg von der Planung über die Ausschreibung bis hin zur Ausführung gehen meist vereinbarte Vorgaben verloren und geraten zwischen die Mühlen der verschiedenen betroffenen Gewerke, die unter-

einander und gegenüber dem Planer meist wenig Verständnis an den Tag legen, um die zahlreichen Problempunkte/Schnittstellen in einem Gebäude zu klären, „bevor das Kind in den Brunnen gefallen ist“. [5]

Typische Problempunkte bei der Herstellung der Luftdichtheitsebene sind

- Anschluss Dach an Außenwand sowie Drempelecken und -türen;
- Anschluss Dach an Giebelwand;
- Durchbrüche Dach an der Giebelwand (Pfetten und Schwellen);
- Anschluss Schrägdach an Dachgaube;
- Anschluss Dach an Kehlbalkendecke;
- Mauerkronen;
- Anschluss Dachflächenfenster und Dachbodenlücke;
- Rollläden;
- Keller- und Haustüren;
- Fenster und Fensterbänke;
- Durchdringungen der Sanitär- und Heizungsinstallation;
- Durchdringungen der Elektro- und Kommunikationsinstallation;
- Zu- und Abluftöffnungen;
- Integrierte Briefkästen;
- Schornsteine und Abgasrohre;
- Sockelanschlüsse.

An der Herstellung einer lückenlosen und dauerhaft luftdichten Ebene sind demzufolge viele Gewerke beteiligt: Maurer und Stahlbetonbauer, Zimmerer und Dachdecker, Stuckateure, Trockenbauer, Schreiner, Elektro- und Informationstechniker, Fensterbauer, Heizungs- und Sanitärinstallateure, Ofenbauer, Fensterbauer sowie Rollladen- und Sonnenschutztechniker. Sie sind gemeinsam dafür verantwortlich, dass an diesen Schnittstellen keine feuchte Raumluft in die Bauteile einströmt.

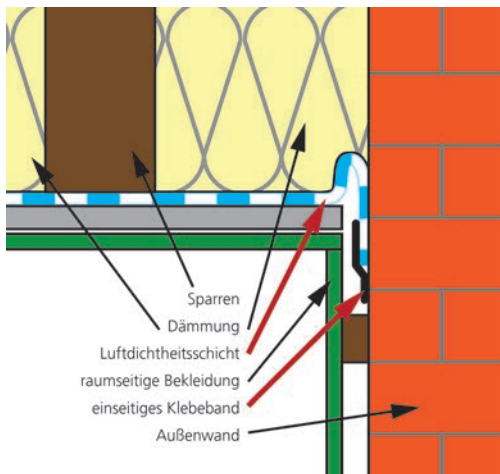
Ausführung

Um ein Gebäude tatsächlich luftdicht zu bekommen, ist zunächst bei der Planung auf Versätze und Abweichungen von der Ebene zu verzichten.

Im Vordergrund muss die handwerkliche Machbarkeit stehen. Deshalb sollten kritische Stellen vorher zeichnerisch untersucht und dargestellt und nicht dem späteren Bauausführungszufall überlassen werden.

Ein Luftdichtheitssystem ist eine Zusammensetzung von Materialien und Verbindungsmitteln, die es jedem Anwender erlaubt, alle am Bau üblichen Anschlussprobleme – einschließlich der Anschlüsse an Durchdringungen – bei der Erstellung einer Luftdichtheitsschicht zu lösen. Dabei sind die Komponenten für die jeweiligen Anwendungszwecke aufeinander abgestimmt und geprüft. Damit besteht ein solches System im Wesentlichen aus Bahnen- und Plattenmaterialien sowie aus Haftklebebandern und Klebemassen.

Typisch ist das einseitige Klebeband für die Verbindung von Bahnen miteinander (Überlappungen in der Fläche) und auch für die Abdichtung von Plattenstößen.



Die Bahnen selbst werden an Massivbauteile (Mauerwerk, Holz, Stahl, Kunststoff) mit Klebemassen angeschlossen. Das einseitige Klebeband hat gegenüber dem beidseitig klebenden den Vorteil, dass sowohl die Verarbeitung als auch die Überprüfung der Stoßstellen einfacher sind. Wichtig ist:

■ Die schälende Belastung jeder Verklebung ist zu vermeiden, sonst führt diese Art der Belastung in kürzester Zeit zum Versagen der Verklebung.

■ Konstruktiv ist eine lastfreie Verklebung zu planen, d.h. die Verklebung darf „nur sich selbst“ halten und auch dann werden die Verklebungen noch einer Reihe von Belastungen standhalten müssen (z.B. Winddruck, Blower-Door-Test).

Anzustreben sind Lebensdauern von 30 und mehr Jahren für solche Verklebungen, die schließlich auch noch möglichst kriechfest sein müssen. Für die Anwendung in der Baupraxis ist ein Klebeband vorteilhaft, das eine relativ große Menge an weicher, gering quervernetzter Klebemasse aufgetragen hat (Anhaltswerte: übliches Paketband 20 g/m²; ein baugeeignetes Band ca. 200 g/m²).

Neben einer guten Anfangshaftung (Tack) kann dadurch eine gewisse Unempfindlichkeit gegenüber Staub sowie eine gute Fließfähigkeit für am Bau meist raue Untergründe erreicht werden.

Empfehlungen

■ Unbedingt die Herstellerrichtlinien beachten und vor allem einhalten.

■ Weder Klebeband noch Klebemasse halten, wenn auf eine Reifschicht geklebt wird; d.h. eine Verarbeitung bei unter 5°C ist unbedingt zu vermeiden.

■ Immer als „praxisfremd“ abgetan, aber unabdingbar ist gerade am Bau das Herstellen von gleichzeitig trockenen, staubfreien und sauberen Untergründen, die verklebt werden sollen.

■ Lastfreie Klebe-Konstruktionen planen.

Im Gegensatz zur Praxis ist ein Umdenken erforderlich, wenn „das Kleben“ in der praktischen Anwendung bei der Luftdichtheitsschicht dauerhaft funktionieren soll.

Materialien

Bei einer gemauerten Außenwand lässt sich die Luftdichtung gemäß DIN 4108-7 bereits mit einem durchgehenden und lückenlosen Innenputz herstellen; d.h. verputzte Flächen sind grundsätzlich luftdicht.

Für Betonbauteile gilt das Gleiche. Aber auch Gipskarton-, Span- oder OSB-Platten sind als Luftdichtung verwendbar, wenn die Stöße entsprechend verspachtelt oder verklebt werden.

Ansonsten werden zur Luftdichtung Bahnen von Herstellern wie Ampack, Dörken, D-Tack, Isocell, Klöber, Moll (pro clima), Siga, Riwega oder Rothoblaas eingesetzt. Sie können aus Baupappe, Kraftpapier, Polyäthylen, Polyamid oder Polypropylen mit s_d -Werten von 0,03 bis max. 12,0 m bestehen.

Die Verklebung untereinander und an das jeweilige Bauteil wird – je nach Hersteller und Dichtungsaufgabe – durch gewebearmiertes, ein- oder doppelseitiges Kleband (z.B. Butylkautschuk) von möglichst 10 cm Breite, durch Einputzbänder, Flüssigklebstoff, vorkomprimierte Bänder aus imprägnierten Schäumen, Dichtungsschnüre z.B. aus PU oder durch Profile aus Gummi oder Kunststoff hergestellt.



An Durchdringungen lassen sich luftdichte Anschlüsse mit vorgefertigten Formteilen wie Manschetten, Installationsdosen oder Einbaueinheiten dauerhaft, einfach und zuverlässig ausbilden. Sie werden sowohl von einigen Bahnen-Herstellern als auch von Spezialfirmen wie Eisedicht, Ipex oder Kaiser angeboten.

Diffusion – Dampfbremse und -sperre

Dabei geht es nicht – wie bei der Luftdichtung – um die Vermeidung von konvektiven Luftströmen, sondern um die Verringerung oder Vermeidung des Wasserdampftransports von innen nach außen über Diffusion.

Die sehr geringen Feuchteinträge durch Diffusion sind allerdings unkritisch (→ S. 94 „Atmende Wände“).

Vor allem aber ist der Feuchtetransport per Diffusion berechenbar und deshalb planbar. Sicher ist eine Konstruktion, wenn die Tauwassermenge in der Winterzeit geringer ist als die Verdunstungsmenge im Sommer. Dazu gibt es Feuchteschutznachweise nach Glaser und Jenisch (grobe Abschätzung) oder über Softwareprogramme wie WUFI und Delphin, wo instationär mit realen Klimadaten und damit genauer gerechnet wird.

s_d -Wert

Allerdings, Feuchteschäden durch Diffusion lassen sich bereits mit Einhaltung der bauphysikalischen Grundregel „von innen nach außen diffusionsoffener werden“ zuverlässig vermeiden. Was als diffusionsbremsend oder -sperrend angesehen wird, lässt sich über den s_d -Wert (die „diffusionsäquivalente Luftschichtdicke“) berechnen. Er bezeichnet den Widerstand, den ein Material und damit letztlich ein Bauteil dem Wasserdampfstrom entgegensetzt. Berechnet wird s_d über den μ -Wert eines Materials und seine Dicke durch Multiplikation: $s_d = \mu \cdot d$ [m].

Zur ersten Einschätzung ein paar s_d -Werte [in m] für verschiedene Baustoffe:

Material	μ	m	s_d
Holzschalung	40	0,024	0,960
Kantholz	40	0,20	8,000
Ziegelstein	5	0,365	1,825
Steinwolle (MF)	1	0,200	0,200
Polystyrol (EPS)	30	0,200	6,000
Gipskarton	8	0,012	0,096
Innenputz	5	0,020	0,100
Holzfaser mit Latex	11	0,038	0,418
OSB-Platte	100	0,021	2,100
Baupappe	10.000	0,0002	2,000
Dampfbremse	30.000	0,0003	9,000
Winddichtung	125	0,0004	0,050

Gemäß DIN 4108-3 werden Baustoffe und Bauteilschichten als diffusionsoffen, -bremsend, -hemmend, -sperrend und -dicht definiert. Der s_d -Wert ist wie folgt eingeordnet:

$s_d \leq 0,50$ m	diffusionsoffen
$0,50 \text{ m} < s_d < 10$ m	diffusionsbremsend
$10 \text{ m} < s_d < 100$ m	diffusionshemmend
$100 \text{ m} < s_d < 1.500$ m	diffusions-sperrend
$s_d \geq 1.500$ m	diffusionsdicht

Die Baupraxis unterscheidet sprachlich allerdings nur zwischen Dampfbremse und Dampfsperre. Als Prinzip gilt: Diffusionsoffen planen und herstellen! Der Schwerpunkt liegt auf einer wind- und luftdichten Ausführung aller Bauteile und Bauteilverbindungen, wobei die Luftdichtung die Aufgabe der Dampfbremse mit übernehmen kann.

Dampfsperren vermeiden

Feuchtebelastungen können nicht immer völlig ausgeschlossen werden. Deshalb kommen Planer noch immer auf die Idee, auch die Feuchtediffusion in die Konstruktion zu vermeiden und deshalb die Luftdichtung als Dampfsperre auszuführen.

Diese sind unbedingt zu vermeiden!

Dampfbremsen sind sicherer als Dampfsperren. Letztere lassen im Sommer keine Rücktrocknung aus dem Bauteil nach innen zu, in das Feuchtigkeit auf anderem Wege (z.B. durch eine unvollständige Winddichtung oder den Einbau nicht trockener Bau-

stoffe) eingedrungen ist und werden deshalb schnell zu Feuchtigkeitsfallen. Für die Bauschadensfreiheit einer Konstruktion ist es zudem wichtig, im Sommer entsprechende Trocknungsreserven zu haben.

Um die Rücktrocknung nicht zu behindern, sind innen auch keine diffusionshemmenden Schichten (z.B. Holzwerkstoffplatten) zu empfehlen. Besser geeignet sind Bekleidungen aus Gipskartonplatten oder Profibrettern.

Möchte man bei der Luftdichtung nicht auf eine gleichzeitige Dampfbremse verzichten, empfiehlt sich in diesem Zusammenhang ein Material mit einem sog. feuchtevariablen Diffusionswiderstand (z.B. s_d von 0,25 bis 10 m). Es ist im Winter diffusionsdichter und schützt die Dämmung optimal vor eindringender Feuchte. Im Sommer kann das Material seinen Diffusionswiderstand sehr weit absenken und gewährleistet so gute Rücktrocknungsbedingungen.

8.3 Der Drucktest (Blower-Door)

Mit dem Drucktest durch eine Blower-Door steht ein standardisiertes Messmittel zur Verfügung, die Luftdichtheit eines Gebäudes quantitativ zu erfassen. Das Verfahren ist in der Norm DIN EN 13829 „Bestimmung der Luftdurchlässigkeit von Gebäuden“ definiert.

Mit der Blower-Door-Messung wird ermittelt, wie oft das Luftvolumen des Gebäudes bei einer bestimmten Druckdifferenz zur Außenluft pro Stunde ausgetauscht wird. Um diesen Differenzdruck aufzubauen, wird in eine Außentür (Eingangs- oder Balkontür) oder ein Fenster ein Rahmen eingesetzt, der mit einer Folie bespannt ist. In einer Öffnung der Folie befindet sich ein Ventilator.

Mit diesem Ventilator wird im Gebäude ein Unter- oder Überdruck erzeugt. Seine Drehzahl wird so gewählt, dass sich der gewünschte Druck (10 bis 100 Pascal) einstellt. Der vom Ventilator geförderte Luftmassenstrom wird gemessen. Er ist genauso groß wie der Luftstrom, der gleichzeitig durch die

Undichtheiten (Leckagen) der Gebäudehülle nachströmt. Somit ist er das Maß für die Luftdurchlässigkeit.



Durch das Öffnen aller Innentüren wird das Gebäude zu einem ‚Ein-Zonen-Modell‘. Es sollte sich zur Messung bereits in dem Zustand befinden, der weitgehend dem späteren bewohnten entspricht.

Gemäß Norm wird die Messung durchgeführt, sobald die Gebäudehülle fertig gestellt ist. Nachbesserungen (also die Abdichtung von Leckagen) sind allerdings nur dann mit relativ geringerem Aufwand möglich, wenn die Luftdichtheit noch zugänglich ist.

Die Messung wird normalerweise bei Unter- und Überdruck mit unterschiedlichen Differenzdrücken durchgeführt – bei keinem oder möglichst wenig Wind. Durch eine Ausgleichsrechnung erhält man dann den Volumenstrom bei 50 Pa (Pascal), der in der Norm Leakagestrom genannt wird.

Wie viel sind 50 Pa?

50 Pascal sind eine sehr geringe Druckdifferenz. Sie entsprechen etwa dem normalen statischen Druckunterschied der Raumluft zwischen zwei Geschossen eines Gebäudes oder einem Staudruck von etwa 5 kg/m², der entsteht, wenn der Wind mit einer Geschwindigkeit von 9 m/s (= 32,4 km/h) bzw. Windstärke 5 auf Außenwand und Fenster trifft.

Der Druck ist so gering, dass am Gebäude keine Schäden zu befürchten sind. Es kann zwar vorkommen, dass Folienverklebungen aufreißen, aber in einem solchen Fall war die Verklebung ohnehin nicht ausreichend und wäre auch ohne diese Luftdichtheitsprüfung früher oder später aufgegangen.

Leckagesuche

Bereits während der Blower-Door-Messung können die noch vorhandenen Leckagen in der Gebäudehülle leicht gefunden werden – es zieht sozusagen durch alle Ritzen.

Schon mit der Hand sind sehr feine Luftströmungen aufspürbar. Fehlstellen an Löchern, Fugen, Anschlüssen und Durchdringungen werden aber i.d.R. mit einem Luftgeschwindigkeitsmesser (Thermoanemometer) abgesucht und dokumentiert.

Bei kalter Witterung lassen sich solche Leckagen in einem beheizten Gebäude auch

mit einer Thermografiekamera lokalisieren. Wesentlich seltener werden Rauchröhrchen eingesetzt.

Luftwechselrate n_{50}

Dividiert man den Leakagestrom z.B. durch das Innenvolumen (Raumluftvolumen = beheizte Wohn- und Nutzfläche mal Raumhöhe) des Gebäudes, so ergibt sich die Luftwechselrate n_{50} .

Dieser Wert gibt an, wie oft – bei einer Druckdifferenz von 50 Pa – das gesamte Gebäudeluftvolumen durch Undichtheiten je Stunde ausgetauscht wird. Ein n_{50} -Wert von 3,0 je Stunde bedeutet, dass das Raumluftvolumen in einer Stunde dreimal durch die Außenluft komplett erneuert wird.

$n_{50} = 0,5 \text{ h}^{-1}$ bedeutet einen halben Austausch pro Stunde bzw. einen ganzen Austausch in zwei Stunden – wie gesagt, nur durch die Undichtheiten!

Beispiel für ein Einfamilienhaus

■ Luftstrom bei 50 Pa Überdruck:

$$Q = 440 \text{ m}^3/\text{h}$$

■ Luftstrom bei 50 Pa Unterdruck:

$$Q = 480 \text{ m}^3/\text{h}$$

■ Mittelwert beider Messungen:

$$Q_m = 460 \text{ m}^3/\text{h}$$

■ berechnetes (Netto)Raumluftvolumen:

$$V_N = 355 \text{ m}^3$$

■ Messergebnis Luftwechselrate bei 50 Pa:

$$Q_m : V_N = n_{50} = 1,30 \text{ h}^{-1}$$

Je kleiner diese Luftwechselrate n_{50} ist, umso weniger Leckagen sind vorhanden und desto luftdichter ist das Gebäude.

Das Messergebnis wird mit den zulässigen Grenzwerten aus dem Gebäudeenergiegesetz (GEG) oder der DIN 4108-7 verglichen. In Abhängigkeit des Vorhandenseins einer Lüftungsanlage gelten aktuell die folgenden Anforderungen an die Luftdichtheit:

$$n_{50} \leq 3,0 \text{ h}^{-1} \text{ (ohne Lüftungsanlage)}$$

$$n_{50} \leq 1,5 \text{ h}^{-1} \text{ (mit Lüftungsanlage)}$$

Darüber hinaus gibt es auch weitergehende, nicht gesetzliche Anforderungen, wenn es um Qualitätsstandards geht:

$$n_{50} \leq 1,0 \text{ h}^{-1} \text{ (RAL-Gütezeichen 965)}$$

$$n_{50} \leq 0,6 \text{ h}^{-1} \text{ (Passivhaus)}$$

Zwei Messarten

Bei der Luftdichtheitsmessung (auch als Luftdurchlässigkeitsmessung bezeichnet) unterscheidet die DIN EN 13829 zwei Arten: Das Verfahren A und das Verfahren B, die sich in der Gebäudepräparation unterscheiden. Beim Verfahren A wird das Gebäude im Nutzungszustand geprüft. „Der Zustand der Gebäudehülle sollte dem Zustand während der Jahreszeit entsprechen, in der Heizungs- oder Klimaanlage benutzt werden.“

Beim Verfahren B wird die Gebäudehülle geprüft. „Alle absichtlich vorhandenen Öffnungen in der Gebäudehülle werden ... (entsprechend den Beschreibungen in der DIN EN 13829) geschlossen oder abgedichtet.“

Beide Verfahren unterscheiden sich nicht im Messzeitpunkt. „Die Messung kann erst stattfinden, nachdem die Hülle des zu untersuchenden Gebäudes oder Gebäudeteils fertiggestellt ist.“ Früh angesetzte, baubegleitende Untersuchungen zur Überprüfung der Luftdichtheitsschicht sind weder dem Verfahren A noch dem Verfahren B zuzuordnen. Zum Nachweis der Anforderungen an die Luftdichtheit gemäß Gebäudeenergiegesetz („Energieeinsparverordnung“), soll nach der Fachkommission „Bautechnik“ der Bauministerkonferenz das Verfahren B gewählt werden. Zum Nachweis der Anforderungen an die Luftdichtheit gemäß DIN 4108-7 aber kommt das Verfahren A zur Anwendung.

Damit erfolgt die Luftdichtheitsmessung zu einem vergleichsweise späten Zeitpunkt im Bauablauf. Sie beschreibt die Dichtheit für das gesamte Objekt. Häufig können dann die für die Luftdichtheit wichtigen Stellen in der Gebäudehülle nicht mehr eingesehen werden (z.B. Luftdichtung/Dampfbremse im Dach). Diese Art der Messung stellt daher keineswegs sicher, dass trotz Einhaltung der Grenzwerte keinerlei Fehlstellen in der Gebäudehülle oder Teilen davon vorliegen. Die DIN 4108-7 enthält dazu entsprechende Hinweise bzw. Anmerkungen. „Selbst bei Einhaltung der ... Grenzwerte sind lokale Fehlstellen in der Luftdichtheitsschicht möglich, die zu Feuchteschäden durch Konvektion führen können. Die Einhaltung der Grenz-

werte ist somit kein hinreichender Nachweis für die sachgemäße Planung und Ausführung eines einzelnen Konstruktionsdetails, beispielsweise eines Anschlusses oder einer Durchdringung“.

Zu empfehlen sind deshalb früher angesetzte, baubegleitende Untersuchungen, bei denen direkt an der Luftdichtheitsschicht der Fokus auf zufällige (z.B. lokale Fehlstellen an einer Verklebung) und systematische Fehler (z.B. unter Lasteinwirkung stehende Klebeverbindungen) gerichtet wird. In diesem Zusammenhang können dann Nachbesserungen rasch und kostengünstig durchgeführt und Kennwerte (z.B. n_{50}) bestimmt werden. Diese haben allerdings nur orientierenden Charakter und sind nicht für den baurechtlichen Nachweis der Anforderungen an die Luftdichtheit nach GEG oder DIN 4108-7 geeignet.



Bei allen formalen Unzulänglichkeiten wird trotzdem empfohlen, dass eine Luftdichtheitsmessung Bestandteil jeder Bauabnahme und im Bauvertrag aufgenommen wird.

Umrechnung der Luftwechselrate n_{50} in die Infiltrations-Luftwechselrate n_{inf} .

Die mithilfe der Blower-Door-Messung ermittelte mittlere Luftwechselrate n_{50} tritt ja nur bei 50 Pa oder Windstärke 5 auf, was während der Nutzung eines Gebäudes nicht permanent der Fall ist.

Benötigt wird deshalb die tatsächliche Luftwechselrate durch Undichtheiten, die als Infiltrations-Luftwechselrate n_{inf} bezeichnet wird. ‚Inf.‘ steht für Infiltration bzw. für den Anteil des Luftwechsels, der bei für den Standort anzunehmenden Windverhältnissen durch die gemessenen Undichtheiten entsteht.

Für die Umrechnung stehen die entsprechenden Abschirmkoeffizienten e und f in der EN 832 „Berechnung des Heizenergiebedarfs“ zur Verfügung, die je nach Anzahl der windangeströmten Fassaden den äußeren Windschutz des Gebäudes berücksichtigen – wobei f für diese grundsätzliche Betrachtung eine zu vernachlässigende Rolle spielt.

Abschirmkoeffizienten gemäß EN 832:

Abschirmungsklasse: Koeffizient e	mehr als eine ex- ponierte Fassade	eine ex- ponierte Fassade
keine Abschirmung: Gebäu- de in offenem Gelände oder Hochhäuser in der Stadt	0,10	0,03
durchschnittliche Abschir- mung: Gebäude im Gelände mit Bäumen oder in be- bauten Gebieten, vor- städtische Bebauung	0,07	0,02
starker Windschutz: durchschnittlich hohe Ge- bäude in Stadtkernen, Gebäude in Wäldern	0,04	0,01
Koeffizient f	15	20

In der Regel gibt es (z.B. bei einem frei stehenden Einfamilienhaus) immer mehr als eine (wind)exponierte Fassade und die Abschirmung (Windschutz) ist durchschnittlich. Daraus ergibt sich als Koeffizient $e = 0,07$, mit dem nun die Luftwechselrate n_{50} multipliziert wird, um die Infiltrations-Luftwechselrate n_{Inf} zu erhalten.

Bezogen auf das Beispiel auf S. 126 ergibt sich für das Einfamilienhaus:

$$n_{\text{Inf}} = 1,30 \text{ h}^{-1} \times 0,07 = 0,091 \text{ h}^{-1}$$

Und für ein Passivhaus mit z.B. $n_{50} = 0,46 \text{ h}^{-1}$:

$$n_{\text{Inf}} = 0,46 \text{ h}^{-1} \times 0,07 = 0,032 \text{ h}^{-1}$$

Bei guter Luftdichtheit ist damit die Infiltrations-Luftwechselrate sehr niedrig und nicht mit der „normalen“ Luftwechselrate n oder n_{Anl} zu verwechseln.



Empfehlung: Bei Fensterlüftung einen n_{50} -Wert $\leq 3,0 \text{ h}^{-1}$ und bei kontrollierter Lüftung einen n_{50} -Wert $\leq 0,6 \text{ h}^{-1}$ einhalten.

Wie nun die tatsächliche Luftwechselrate n ($= n_{\text{Anl}} + n_{\text{Inf}}$) bei Lüftung über die Fenster oder eine Lüftungsanlage ermittelt wird, erfahren Sie in Exkursen auf S. 133 und 146.

Prinzipieller Ablauf des Drucktests

Der Ablauf gestaltet sich i.d.R. wie folgt:

1. Rundgang durch das Gebäude und ggf. Aufnahme der Raumgeometrien;

2. Temporäres Abdichten von Funktionsöffnungen wie z.B. der Dunstabzugshaube, des Kamins, der Lüftungsöffnungen in Bad und WC oder der Abflussrohre (sofern noch kein Wasser im Siphon ist);

3. Aufbau und Start der Messeinrichtung;

4. Aufnahme der Messwerte und Durchführung der Leckageortung;

5. Abbau der Messeinrichtung;

6. Erstellung eines Berichts/Gutachtens mit oder ohne eine fotografische Dokumentation, ggf. Nachbesserungsvorschläge.

Die Dauer und damit auch die Kosten hängen davon ab, in welchem Umfang noch vorbereitende Maßnahmen (vorübergehendes Abdichten der Funktionsöffnungen) getroffen werden müssen und inwieweit die Leckageorte ermittelt und dokumentiert werden sollen.

So kostet laut Fachverband Luftdichtheit im Bauwesen e.V. (FLiP) mit Sitz in Berlin (www.luftdicht.info) eine Messung nach DIN EN 13829 zur Überprüfung der Anforderungen für ein 150 m² großes Einfamilienhauses im Schnitt rund 390 €.

Da die Kosten von zahlreichen Faktoren (Anfahrt, Grundpreis, Stundensatz, Spesen oder Umfang des Ergebnisprotokolls bzw. der Dokumentation) abhängen, empfiehlt sich in jedem Fall das Einholen von mehreren Angeboten auf Grundlage des im Vorfeld (Bauvertrag) genau definierten Zwecks und Umfangs der Luftdichtheitsmessung. Regionale Abweichungen eingerechnet können bis zu 1.000 € anfallen, die sich aber unbedingt lohnen.

Nicht vergessen – der Anbieter sollte einen Nachweis seiner fachlichen Qualifikation vorlegen, z.B. das Zertifikat des FLiP.

„Der große Sinn des Lebens liegt nicht darin, etwas zu wissen – sondern etwas zu tun.“ (Thomas Henry Huxley)

9 Lüftung

Das Wohlbefinden des Menschen, sein körperliches und geistiges Leistungsvermögen sowie seine Gesundheit hängen in hohem Maße von einer guten Raumlufthqualität ab. Da wir uns ca. 90 % unserer Zeit in Räumen aufhalten, kann deren Lüftung heute nicht mehr dem Zufall (oder der Zufallslüftung) überlassen bleiben.

Früher war (vor allem durch undichte Fenster) ein unkontrollierter, meist von den Windverhältnissen abhängiger, aber ausreichender bzw. oft deutlich zu hoher Luftaustausch gewährleistet. Heute jedoch genügt es

nicht mehr, nur bei spürbar „schlechter“ Luft die Fenster zu öffnen oder mit einer dauernden Kippstellung der Fenster in einzelnen Räumen die teure Heizwärme (ungenutzt) in die Atmosphäre hinauszulüften.

Die Wohnraumlüftung hat aus hygienischer und energietechnischer Sicht längst einen Stellenwert erreicht, der ebenso hoch ist wie der der Beheizung, der Wasserversorgung oder auch der Beleuchtung unserer Wohnungen.

Die gezielte und kontrollierte Lüftung ist notwendig!

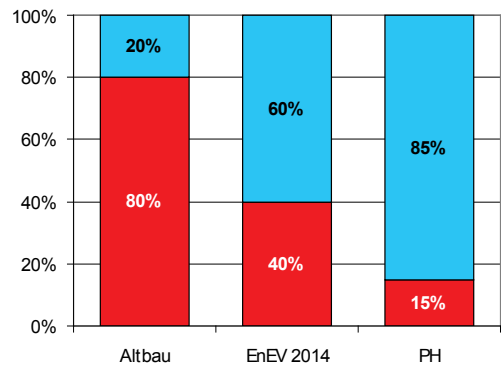
9.1 Lüften und Energiesparen

Die Wohnungslüftung ist im Zusammenhang mit dem Energiesparen ein besonders heikles Thema: Zum einen gehen die Meinungen darüber, wie groß die mengenmäßige Bedeutung der Lüftung für den gesamten Heizenergiebedarf eines Gebäudes wirklich ist, weit auseinander; zum anderen lassen sich die Wärmeverluste durch Wohnungslüftung nicht beliebig verringern, da ein hygienisch und bauphysikalisch notwendiges Minimum an Lüftung nicht unterschritten werden darf.

Lüftungswärmeverlust

Es gibt viele Faktoren, die den Heizenergiebedarf eines Gebäudes bestimmen – angefangen beim Wärmeschutz über die Qualität der Heizanlage bis hin zum individuellen Verbraucherverhalten. Der Heizenergiebedarf für die Lüftung steht in sehr engem Zusammenhang mit dem Verhalten der Nutzer; jedoch:

Der „relative“ Anteil der Lüftung am Gesamtenergiebedarf hängt in erster Linie von dem Gebäudetyp bzw. vom Gebäude-Dämmstandard (→ S. 147) ab:



Energie-kenn-wert	210 kWh/ (m²a)	70 kWh/ (m²a)	15 kWh/ (m²a)
Gesamt-wärme-bedarf	31.500 kWh/a	10.500 kWh/a	2.250 kWh/a
x	x	x	x
Lüftungs-anteil	20 %	60 %	85 %
=	=	=	=
Lüftungs-wärme-bedarf	6.300 kWh/a	6.300 kWh/a	1.913 kWh/a

Wie das Beispiel zum Lüftungswärmeverlust zeigt, gehen im Altbau (hier mit 150 m² Wohnfläche) 80 % der Wärme als Transmissionswärmeverlust (roter Balken) durch alle Außenbauteile verloren. Nur ca. 20 % des gesamten Heizenergiebedarfs (100 %) sind Lüftungswärmeverluste (blauer Balken): Bei der Lüftung (zur Heizzeit) wird die „verbrauchte“ Raumluft durch kalte Außenluft ersetzt und auf eine Raumlufttemperatur von durchschnittlich 20°C erwärmt.

Neuere Wohngebäude, die z.B. auf Grundlage des GEG (der ehemaligen EnEV 2014) errichtet wurden, sind wenigstens so gut gedämmt, dass nur noch 40 % ihrer Wärmeverluste auf die Gebäudehülle entfallen. Deshalb steigt der ‚relative‘ Anteil der Lüftungswärmeverluste auf ca. 60 % an. Das heißt jedoch nicht, dass der Lüftungswärmeverlust deswegen (absolut) höher ist, wie das Zahlenbeispiel für das Gebäude zeigt.

Trotz einer Drittelung des jährlichen Gesamtwärmebedarfs (10.500 kWh/a) gegenüber einem Altbau (31.500 kWh/a) bleibt der jährliche Verlust an Lüftungswärme mit 6.300 kWh/a tatsächlich unverändert: Nur der prozentuale Anteil am Gesamtwärmeverlust steigt. Am deutlichsten zeigt sich die wachsende Bedeutung des Lüftungswärmebedarfs bei einem PH (Passivhaus → S. 160).

Die Lüftungswärmeverluste in Gebäuden haben schon immer eine große Rolle gespielt. Dass bei Altbauten nichts dagegen getan wurde liegt daran, dass Luftdichtheit nicht wichtig war und es so z.B. dichte Fenster oder Rahmen nicht gab; und daran, dass die Wärmeverluste über die Außenbauteile so hoch waren, dass es fast lächerlich gewesen wäre, sich um die Verringerung der Lüftungswärmeverluste zu kümmern.

Das ist bei den heute besser bis sehr gut gedämmten und luftdichten Gebäuden ganz anders – und die Lüftung damit ein Thema!

Wie viel Frischluft ist nötig?

Dem Energiesparen beim Lüften sind natürliche Grenzen gesetzt. Und ein hygienischer Mindestluftwechsel ist notwendig. Die Frage ist: Welches sind die sinnvollen und hygieni-

schen Kriterien für eine gute Qualität der Raumluft?

Sauerstoff O₂

Der Ruf nach dem Fensteröffnen, „weil der Sauerstoff verbraucht ist“, ist so verbreitet wie er falsch ist! Denn bei normaler Betätigung benötigt ein erwachsener Mensch nur zwischen 15 und 50 Liter Sauerstoff (O₂) pro Stunde. Dem steht z.B. in einem 20 m² großen Zimmer in der Raumluft ein Angebot von 10.000 Litern O₂ gegenüber. Also können sich (theoretisch) bei einem Luftwechsel pro Stunde in diesem Raum rund 200 Menschen z.B. „leicht körperlich arbeitend“ betätigen, ohne dass Sauerstoffmangel eintreten wird!

Innenraumschadstoffe

Auch die – auf den ersten Blick einleuchtende – Forderung, die notwendige Mindestlüftung an der Abfuhr von Luftschadstoffen (→ S. 8, 9, 14) zu orientieren, hilft nicht weiter: Unsere Sinnesorgane nehmen diese Verunreinigungen zu spät oder gar nicht wahr, weil sie geruchlos sind; und eine laufende Messung und Überwachung von Luftschadstoffen ist wegen der Vielzahl an „Wohngiften“ praktisch unmöglich.

Der wirksamste Schutz vor Luftschadstoffen sind deshalb neben einer guten Lüftung die Vermeidung, Beseitigung oder Abdichtung der Emissionsquellen. Nur so erhalten wir eine gute Raumluftqualität.

Kohlendioxid CO₂

Doch auch wer sein Haus „biologisch“ baut und seine Wohnung gesundheits- und umweltverträglich reinigt und saniert, d.h. wer dafür sorgt, dass Luftschadstoffe minimiert werden, muss lüften.

Was nämlich den berechtigten Wunsch nach Frischluft auslöst ist nicht Sauerstoffmangel, sondern sind die Gerüche von Körperausdünstungen und das mit der Atmung abgegebene Kohlendioxid (CO₂). Nun ist CO₂ ein „natürliches“ Gas, das zu keinen akuten Vergiftungserscheinungen führt.

Aber alle Untersuchungen belegen, dass ein zu hoher CO₂-Gehalt in den Räumen zu Ermüdungserscheinungen, Konzentrationsproblemen und den bekannten Empfindungen wie „stickige, miefige und verbrauchte Luft“ führen.

Zur Bestimmung der notwendigen Frischluftmenge liefert daher die CO₂-Abgabe eines Menschen einen recht guten Anhaltspunkt, um auch alle anderen, durch normale Benutzung entstehenden, Luftverunreinigungen zu reduzieren.

Maximale CO₂-Konzentration

Den Zielwert definiert hier die DIN 1946 über einen maximalen CO₂-Konzentrationswert von 1.500 ppm (parts per million) bzw. 0,15 Vol % im Raum (zum Vergleich: Unsere Außenluft hat eine CO₂-Konzentration von über 400 ppm bzw. 0,04 Vol %). Damit er nicht überschritten wird, ist eine Frischluftzufuhr (Austausch der Raum- gegen Außenluft) von 20 m³ pro Stunde und Person erforderlich. Empfohlen werden aber max. 1.000 ppm und daraus folgend 30 m³/(hP).

Anders berechnet führt dies bei Erwachsenen – je nach Aktivität – zu Frischluftstraten zwischen 10 und 75 Litern pro Stunde.

Art der Tätigkeit	ausgeatmetes CO ₂ in Liter/h	Frischluftmenge in m ³ /h
Schlafen/Ruhe	10 - 13	17 - 21
Lesen/Fernsehen	12 - 16	20 - 26
Schreibtischarbeit	19 - 26	32 - 42
Hausfrau/-mann	32 - 43	55 - 72
Handwerker/in	55 - 75	90 - 130

Beispiel

In einem 4-Personen-Haushalt wird danach pro Tag eine Frischluftmenge von ca. 2.000 bis 3.000 m³ benötigt. Das bedeutet, dass z.B. in der 75 m² Wohnung im Schnitt alle ein bis 1,5 Stunden ein kompletter Austausch der Raumluft erforderlich wird. Im Einfamilienhaus mit 140 m² reicht bei vier Personen eine Erneuerung alle zwei bis drei Stunden. Bei extremen Voraussetzungen (alle Bewohner zu Hause, 60 % höherer CO₂-Gehalt der Außenluft z.B. Innenstadt bei „aus-

tauscharmer Wetterlage“) muss auch in der kleinen Wohnung etwa einmal pro Stunde die „verbrauchte“ Luft erneuert werden.

Wasserdampf (Luftfeuchte)

Neben CO₂ gilt es, das farb- und geruchlose Gas Wasserdampf „in den Griff zu bekommen“. Für unsere Behaglichkeit ist eine zu trockene oder zu feuchte Luft zu vermeiden (optimal sind 40 bis 60 % relative Feuchte); und zum Schutz der Bausubstanz vor Kondens- oder Tauwasserbildung (die Folge können u.a. Bauschäden wie Schimmelpilz oder Fäulnis von Bauteilen sein) ist zu viel Wasserdampf durch Lüften abzuführen. Immerhin 8 bis 15 kg können pro Tag in einem durchschnittlichen 4-Personen-Haushalt entstehen.

Im Winter ist die Luft draußen immer trockener als in beheizten Räumen!

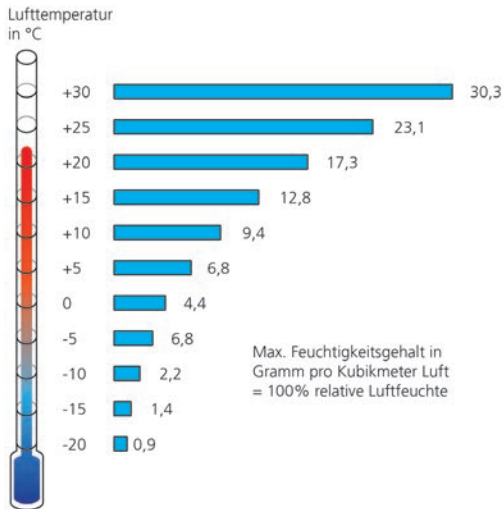
Was bedeuten nun die Begriffe „relative“ und „absolute“ Luftfeuchte?

Die Möglichkeit der Luft zur Wasserdampfaufnahme ist physikalisch begrenzt. Jeder m³ Luft kann nur eine bestimmte Menge als Dampf „verkräften“. Deshalb fällt alles, was darüber hinausgeht, wieder als Wasser in flüssiger oder fester Form, als Niederschlag aus (z.B. Regen, Nebel, Schnee, Eis, Kondenswasser).

Die absoluten Dampfmengen, bei denen eine Sättigung der Luft erreicht wird, hängen nun entscheidend von der Lufttemperatur ab!

Warme Luft kann wesentlich mehr Wasserdampf aufnehmen als kalte Luft. Dies entspricht unserer Alltagserfahrung, dass man z.B. mit Wärme nasse Wäsche trocknet.

Aber mit kalter Winterluft Räume entfeuchten? Nun, die Bezugsgröße für die „relative“ Luftfeuchte ist stets die bei der jeweiligen Temperatur mögliche Luftfeuchte: So kann z.B. Luft von 20°C bis zu 17,3 g Wasserdampf pro m³ aufnehmen. Bei diesem Sättigungswert ist die relative Feuchte von 100 % erreicht. (Zeigt bei 20°C ein Hygrometer 50 % Luftfeuchte an, bedeutet das: Es sind 50 % von 17,3 g, also absolut 8,65 g Wasserdampf in jedem m³ Luft enthalten.)



Wie Ihnen die Grafik zeigt, kann z.B. Luft von 10°C nur maximal 9,4 g Wasserdampf enthalten, ohne dass es zur Kondensation (bzw. Tauwasserbildung) kommt.

Auch bei Regen lüften? Ja!

Wenn z.B. die relative Feuchte im Raum unangenehme 75 % bei +20°C beträgt und es draußen bei +5°C in Strömen regnet (100 % relative Feuchte), denken viele, dass Lüften dann keinen Sinn macht. Doch das Gegenteil ist der Fall! Denn die Außenluft enthält als absolute Luftfeuchte nur 6,8 g/m³ Wasserdampf (6,8 g/m³ x 100 %). Innen ist der Wasserdampfgehalt dagegen mit 13,0 g/m³ deutlich höher (17,3 g/m³ x 75 % = 13,0 g/m³).

Die Bilanz: Mit jedem m³ Luft entweichen aus dem Raum durch das Lüften 13,0 - 6,8 = 6,2 g Wasserdampf. Und das ist genau der Effekt, der durch eine Lüftung erreicht werden soll!

Taupunkttemperatur

Kühlt sich Luft so weit ab, dass die relative Feuchte 100 % beträgt, kondensiert bei der weiteren Abkühlung der Wasserdampf und schlägt sich an kalten Oberflächen als Tauwasser nieder. Die Temperatur, bei der das geschieht, heißt Taupunkttemperatur (→ S. 234). Wird sie dauerhaft unterschritten, ist Schimmelpilz die logische Folge. Dagegen wirken ausreichend „warme“ Innen-Oberflächen (durch eine gute Außendämmung).

Zusätzlich hilft Lüften: Um überschüssigen Wasserdampf aus dem Gebäude zu entfernen, sind je nach Jahreszeit unterschiedliche Luftwechselraten nötig, da immer der aktuell herrschende Unterschied zwischen der absoluten Außen- und Innenluftfeuchte entscheidend ist. Da aber im Winter selbst bei Regen, Schnee oder Nebel die Außenluft trockener ist, reicht es aus, alle zwei Stunden einmal komplett durchzulüften (d.h. Luftwechselrate $n = 0,5 \text{ h}^{-1}$), um die relative Luftfeuchte nicht über 50 % steigen zu lassen.

Bei Außentemperaturen über + 5°C steigt der Lüftungsbedarf jedoch an, da pro Luftwechsel immer weniger Wasserdampf abgeführt werden kann. An milden Tagen mit feuchtem Wetter muss 2- bis 3-mal häufiger als an kalten Wintertagen gelüftet werden.

Hygienischer Mindestluftwechsel

CO₂ und Wasserdampf sind die eigentlich kritischen Gase, weshalb kontrolliert und bewusst aktiv gelüftet werden muss – und die „hausgemachten“ Luftschadstoffe werden dazu parallel weggelüftet.

In Wohngebäuden reicht dafür als hygienischer Mindestluftwechsel eine Luftwechselrate n von 0,5 h⁻¹ sowohl aus hygienischen als auch aus Energieeinspargründen aus – d.h. durchschnittlich alle zwei Stunden ist die Komplettlüftung des gesamten Gebäudedinnenvolumens erforderlich, die eine gute Raumlufthqualität gewährleistet!

Luftwechselrate n

Sie ist für die Höhe der Lüftungswärmeverluste entscheidend und hängt davon ab, wie luftdicht das Gebäude ist und davon, wie lange und wie oft Fenster zur Lüftung geöffnet sind oder ob und wie eine Lüftungsanlage (als Frischluftsystem) betrieben wird. Eine Luftwechselrate $n = 1,0$ bedeutet, dass im Gebäude im Mittel einmal pro Stunde die Raumlufth komplett durch Außenluft ersetzt wird. Bei einer Luftwechselrate von $n = 2,0$ wird die Luft pro Stunde zweimal erneuert, bei $n = 0,5$ alle zwei Stunden.

Die Luftwechselrate $n = 1,0$ bedeutet z.B. am Standort Potsdam für eine 75 m² Wohn-

nung einen Heizölverbrauch von 660 Litern pro Jahr. Ein Einfamilienhaus mit 140 m² benötigt dort bei gleicher Luftwechselrate bereits 1.240 Liter Öl pro Jahr an Lüftungsenergie – entsprechend dem größeren Raumvolumen. Wollte man sogar Luftwechselraten von $n = 2,0$ und mehr pro Stunde erzielen, würde der Heizölverbrauch bei diesem Einfamilienhaus allein für die Lüftung auf über 2.500 Liter jährlich ansteigen!

Zum Vergleich – gemäß Gebäudeenergiegesetz (GEG) sind folgende (rechnerischen) Luftwechselraten n einzuhalten:

$n = 0,70 \text{ h}^{-1}$ (Fensterlüftung)

$n = 0,60 \text{ h}^{-1}$ (Fensterlüftung mit Prüfung der Dichtheit)

$n = 0,55 \text{ h}^{-1}$ (Abluftanlage ohne Wärmerückgewinnung)

$n = 0,50 \text{ h}^{-1}$ (bedarfsgeführte Abluftanlage ohne Wärmerückgewinnung)

$n = 0,60 \text{ h}^{-1}$ (Zu- und Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung).

Exkurs Berechnung Luftwechselrate n (T1)

Real setzt sich nun diese Luftwechselrate n aus zwei Komponenten zusammen: Aus der Luftwechselrate $n_{\text{Anl.}}$ durch aktives (Anlagen)lüften über Fenster oder die Lüftungsanlage und aus der Infiltrations-Luftwechselrate $n_{\text{Inf.}}$ über Undichtheiten (S. 127): $n = n_{\text{Anl.}} + n_{\text{Inf.}}$

Luftwechselrate n durch Fensterlüftung im undichten Altbau (z.B. $n_{50} = 6,5 \text{ h}^{-1}$)

Bei Fensterlüftung muss $n_{\text{Anl.}}$ geschätzt werden. Sie ist sehr gering, da während der Heizzeit nur ein- bis max. dreimal am Tag für kurze Zeit gelüftet wird, wie alle aktuellen Untersuchungen belegen (entweder die Menschen sind gar nicht zum Lüften zu Hause oder sie wollen Energie sparen oder sie meinen, das Lüftungsverhalten reicht für eine gute Raumluftqualität aus).

Wie erwähnt, sollte aus hygienischen Gründen $n = 0,50 \text{ h}^{-1}$ sein. Das wären aber täglich 12 Komplettlüftungen! Werden im Winter pro Tag Schlaf- und Kinderzimmer zweimal für zehn Minuten gelüftet, liegt die Luftwechselrate durch aktives Lüften nur bei max. $0,05 \text{ h}^{-1}$.

Die Luft ist trotzdem gut – wegen der vielen Undichtheiten. Im Altbau werden n_{50} -Werte von 4 bis 20 h^{-1} gemessen. Bei z.B. $n_{50} = 6,5 \text{ h}^{-1}$ ergibt

sich der tatsächliche Infiltrations-Luftwechsel $n_{\text{Inf.}}$ zu $0,46 \text{ h}^{-1}$ ($= 6,5 \times 0,07$); und damit als Luftwechselrate $n = 0,51 \text{ h}^{-1}$ ($0,05 \text{ h}^{-1} + 0,46 \text{ h}^{-1}$)!

Die Erfahrung zeigt, dass sich in Altbauten, die i.d.R. undicht sind, der hygienisch notwendige Mindestluftwechsel und damit eine gute Raumluftqualität nicht durch aktives Lüften, sondern durch die „Automatik-Lüftung“ Undichtheiten einstellt – und oft sogar übertroffen wird.

Luftwechselrate n durch Fensterlüftung im dichten Neubau (z.B. $n_{50} = 1,0 \text{ h}^{-1}$)

Nur weil Menschen aus einem Altbau in einen Neubau ziehen, der z.B. mit $n_{50} = 1,0 \text{ h}^{-1}$ (Blower-Door-Messung) einigermaßen luftdicht errichtet wurde, ändern sie ihr Lüftungsverhalten noch lange nicht! Im Winter werden also nach wie vor das Schlaf- und Kinderzimmer maximal zweimal am Tag für zehn Minuten gelüftet. Die Luftwechselrate durch aktives Lüften liegt also unverändert bei $n_{\text{Anl.}} = 0,05 \text{ h}^{-1}$. Bei Annahme von $n_{50} = 1,0 \text{ h}^{-1}$ beträgt der tatsächliche Infiltrations-Luftwechsel $n_{\text{Inf.}}$ $0,07 \text{ h}^{-1}$ ($= 1,0 \times 0,07$) und damit die Luftwechselrate n nur $0,12 \text{ h}^{-1}$ ($0,05 \text{ h}^{-1} + 0,07 \text{ h}^{-1}$).

Das Ergebnis: „Schlechte Luft“! Da die „Automatik-Lüftung“ nicht mehr funktioniert, wird die hygienisch erforderliche Luftwechselrate n von $0,50 \text{ h}^{-1}$ weit unterschritten (um 76 %!).

Die logische Konsequenz: Da die Fensterlüftung nicht mehr ausreicht, muss jetzt auf eine kontrollierte Lüftung durch eine Lüftungsanlage („Frischluftsystem“) umgestiegen werden.

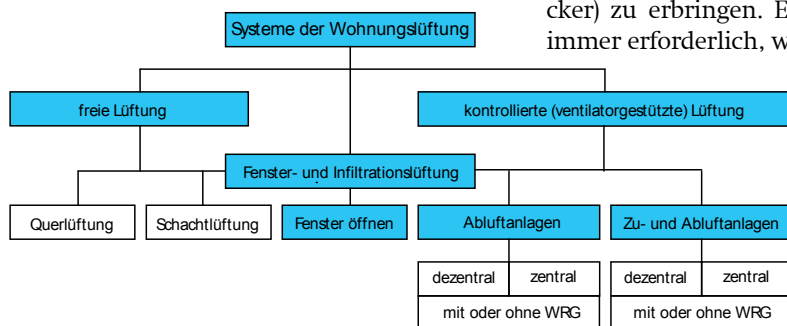
Luftwechselrate n durch Lüftungsanlage

Voraussetzung für das Funktionieren einer Lüftungsanlage ist ein luftdichtes Gebäude z.B. mit $n_{50} = 0,60 \text{ h}^{-1}$. Der Infiltrations-Luftwechsel $n_{\text{Inf.}}$ beträgt dann nur noch $0,042 \text{ h}^{-1}$ ($= 0,60 \times 0,07$). Den aktiven Luftwechsel $n_{\text{Anl.}}$ von mind. $0,458 \text{ h}^{-1}$ muss nun noch die Anlage bringen, was einfach zu planen ist. Bei einem Einfamilienhaus mit 150 m² und einer lichten Raumhöhe von 2,60 m beträgt das Nettoluftvolumen 390 m³. Die Anlagengröße ist so zu planen, dass sie pro Stunde 179 m³ Luft austauschen kann ($= 390 \text{ m}^3 \times 0,458 \text{ h}^{-1}$) und damit die Luftwechselrate $n = 0,50 \text{ h}^{-1}$ erreicht wird ($0,50 \text{ h}^{-1} = 0,458 \text{ h}^{-1} + 0,042 \text{ h}^{-1}$).

In der Praxis wird bei 390 m³ eine Abluftanlage oder eine Zu- und Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung auf mindestens 160 m³/h bzw. ein $n_{\text{Anl.}}$ von ca. $0,40 \text{ h}^{-1}$ dimensioniert.

Lüftungskonzept als Vorschrift

Da heute aus Gründen der Energieeinsparung, der Behaglichkeit, der Hygiene und zum Schutz der Bausubstanz Gebäude luftdicht gebaut und saniert werden, lässt sich ein Mindestluftwechsel, „der zum Zwecke der Gesundheit und der Beheizung notwendig ist“, allein durch die Infiltrationslüftung nicht mehr sicherstellen, wie zuvor in den entsprechenden Berechnungsbeispielen gezeigt wurde!



Grundlage dafür ist Teil 6 der DIN 1946 Raumlufttechnik: „Lüftung von Wohnungen – Allgemeine Anforderungen, Anforderungen an die Auslegung, Ausführung, Inbetriebnahme und Übergabe sowie Instandhaltung“. Darin ist geregelt, dass und wie für verschiedene Nutzungsgrade der jeweils geforderte Mindestluftwechsel im Rahmen eines Lüftungskonzepts sicherzustellen ist:

Lüftung zum Feuchteschutz (nutzerunabhängig, notwendige Lüftung zur Gewährleistung des Bautenschutzes, z.B. zeitweise Abwesenheit des Nutzers im Urlaub).

Reduzierte Lüftung (nutzerunabhängig, notwendige Lüftung zur Gewährleistung der Hygiene und des Bautenschutzes, z.B. zeitweise Abwesenheit des Nutzers durch Berufstätigkeit).

Nennlüftung (nutzerabhängig, notwendige Lüftung bei Anwesenheit des Nutzers).

Intensivlüftung (nutzerabhängig, zeitweise notwendige Lüftung zum Abbau von Lastspitzen, z.B. Partylüftung oder Intensivnutzung durch Kochen/Waschen).

Unterschieden werden die freie und ventilatorgestützte Lüftung und Kombinationen.

Das Lüftungskonzept definiert bei ganzheitlicher Betrachtung des Gebäudes den Außenluftvolumenstrom zum Feuchteschutz und das Lüftungssystem, wobei die DIN 1946 ein Lüftungskonzept sowohl für Neubauten als auch für Altbauten im Falle einer Sanierung vorschreibt.

Bei einer Sanierung ist der Nachweis zur Einhaltung der Norm entweder durch den Planer, Energieberater oder ausführenden Handwerksbetrieb (Fensterbauer, Dachdecker) zu erbringen. Ein Lüftungskonzept ist immer erforderlich, wenn

- im Ein- oder Mehrfamilienhaus mehr als 33 % der vorhandenen Fenster ausgetauscht werden bzw.
- in einem Einfamilienhaus mehr als 33 % der Dachfläche neu abgedichtet werden.

Dabei geht es hier nur um die Einhaltung der Lüftung zum Feuchteschutz bei Abwesenheit. Denn laut Gerichtsurteilen ist es niemandem zuzumuten, der Minimalforderung von Raumhygieneexperten – vier bis sechs Fensterlüftungen am Tag für ca. zehn Minuten – nachzukommen oder gar einen Mindestluftwechsel von $0,5 \text{ h}^{-1}$ (= alle 2 Stunden bzw. 12 mal pro Tag eine Komplettlüftung) ohne die frühere Infiltrationslüftung zu erreichen. Daher birgt die Absicht, den erforderlichen Luftwechsel zum Feuchte- und damit zum Bautenschutz heute allein der Fensterlüftung und damit dem Nutzer zu überlassen, Haftungsrisiken.

Neubau

Bei jedem Neubau ist das Lüftungskonzept heute Standard. Im Ergebnis sollte – bei den aktuellen Anforderungen zur Energieeinsparung wie auch bei den Dämm-Standards, die darüber hinausgehen (KfW-Effizienzhäuser oder Passivhaus) – eine kontrollierte Lüftung als Abluftanlage oder als Zu- und Abluftanlage (mit Wärmerückgewinnung) herauskommen, die auf Nennlüftung ausgelegt wird.

Sanierung am Beispiel Fenster

Werden z.B. nur neue Fenster geplant, ist nicht nur zur Erfüllung der DIN 1946-6, sondern auch als Grundlage für eine KfW-Förderung durch ein Lüftungskonzept nachzuweisen, dass der Feuchteschutz durch einen nutzerunabhängigen Luftwechsel eingehalten werden kann. Die Berechnung ist normiert und für alle Fachmenschen recht einfach durchzuführen.

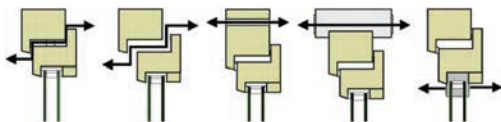
Beispiel

So ist z.B. für eine Wohnung mit 90 m² Fläche in einer windschwachen Gegend aus Tabelle 5 der DIN 1946-6 direkt der notwendige Luftvolumenstrom zum Feuchteschutz von 35 m³/h ablesbar, da als Grundlage die Wohnungsgröße (bei einer vorgegebenen Raumhöhe von 2,50 m) genommen wird.

Die Berechnung über eine einfache Formel der Norm (Gleichung 1.3.2) liefert dann für diese Wohnung z.B. bei einem n_{50} -Wert von 1,5 h⁻¹ einen Luftvolumenstrom durch Infiltration von nur 13 m³/h.

Das Ergebnis: Für einen ausreichenden Feuchteschutz fehlt noch ein rechnerischer Luftwechsel von 22 m³/h (35 m³/h - 13 m³/h). Deshalb ist eine lüftungstechnische Maßnahme zu planen, die aber nicht unbedingt in einer klassischen Lüftungsanlage (ventilatorgestützte Lüftung) bestehen muss.

Eine Lösungsalternative: Steigerung der Infiltration um mindestens 22 m³/h durch den Einbau eines extra eingebauten sog. Außenluftdurchlasses ALD (alle Öffnungen eines Gebäudes werden in der Norm als ALD bezeichnet), z.B. durch Fensterlüfter.



Hersteller bieten hier die verschiedensten Möglichkeiten an Lüftern und Einbauvarianten: Angefangen bei einem Falzlüfter (mit Lüftung zwischen Blend- und Flügelrahmen) über Aufsatzelemente (im Blendrahmen oder im Sturz) und Unterbauelemente (in der Fensterbank) bis zur Integration in der Verglasung oder im Blendrahmen.

Eine Beispiellösung für Holzfenster: Fensterfalzlüfter arimeo classic T (Innoperform).



Es ist ein im Fensterfalz integrierter Lüfter mit einer Leistung von bis zu 11,4 m³/h, dessen selbstregelnde Klappe auf sich verändernde Luftdruckunterschiede feinfühlig reagiert. Bei starkem Wind schließt die Klappe dicht, um Zugscheinungen und Lüftungswärmeverluste zu vermeiden. Mit zwei Lüftern (insgesamt 22,8 m³/h) in zwei Fenstern wäre somit eine Lösung gefunden.

Eine weitere Lösung liefert z.B. der Fensterhersteller Internorm mit dem I-tec Lüfter im Blendrahmen, der sowohl mit Ventilator als auch Wärmeübertrager ausgestattet ist. Die Lüftungsstufen sind innen einstellbar: „1“ für 4 bis 6 m³/h, „2“ für 8 bis 10 m³/h und „3“ oder „4“ für 33 oder 44 m³/h.



Da die Lösungen rahmenintegriert sind und damit auch optisch ansprechend sind, bieten sie viele Fensterhersteller mit an.

9.2 Fenster-Lüftung (Zufallslüftung)

Können wir eine gesunde und behagliche Raumluftqualität mit einer möglichst energiesparenden Fenster-Lüftung hinbekommen? Wohl kaum, da es sich bei dieser Art der Bedarfslüftung um eine „unkontrollierte“ Lüftung handelt – also um eine Zufalls-lüftung. Optimierte Lüften mit der Hand ist zwar möglich, aber nur, wenn die folgenden Regeln beachtet werden:

1. Gekipptes Fenster vermeiden! Diese sehr verbreitete Lüftungsart kann zu mehrfach überhöhten Luftwechselraten führen, weil die einströmenden Luftmengen unterschätzt werden. Außerdem öffnet dann das Thermostatventil am Heizkörper und steigert zusätzlich den Wärmeverlust (und die Energiekosten);
2. Die immer wieder empfohlene sog. „Stoß-lüftung“ durch ein ganz geöffnetes Fenster ist während der Heizzeit nur dann energiesparend, wenn dies sehr „diszipliniert“ und kurzzeitig (max. 3 bis 7 Minuten) geschieht;
3. Nur raumweise lüften, wenn Zimmer benutzt werden;
4. Bei allen Arten der Fenster-Lüftung muss sich die Dauer des Fensteröffnens eigentlich immer am Außenklima orientieren.

Je kälter es draußen wird, desto kürzer werden die Lüftungszeiten. Denn die Wasserdampfabfuhr funktioniert umso besser, je kälter, d.h. je (absolut) trockener, die Außenluft ist;

5. Orientierung am tatsächlichen, momentanen Frischluftbedarf.

Die Praxis zeigt, dass diese Regeln durch die Nutzer kaum eingehalten werden (mangelnde Lüftungsdisziplin); und selbst wenn, gibt es weitere gravierende Nachteile der Fenster-Lüftung:

- Schlafen bei geschlossenen Fenstern verringert die nächtliche Luftqualität im Schlafzimmer erheblich;
- an lärmbelasteten Straßen führen geöffnete Fenster zu Geräuschbelästigungen;
- das Fensteröffnen erneuert die Raumluft nur kurz, um sich danach schnell wieder zu verschlechtern;
- bei (längerer) Abwesenheit (u.a. Berufstätigkeit) wird nicht gelüftet;
- einmal in der Wohnung ausgebreitete Gerüche werden nur langsam beseitigt;
- gewünschter Schutz vor Einbruch kann die Fensterlüftung einschränken;
- gekippte Fenster öffnen Thermostate;
- geringster Komfort.

9.3 Kontrollierte (Bedarfs-)Lüftung

Alle Nachteile der Fenster-Lüftung lassen sich vermeiden, wenn Anlagen zur kontrollierten Lüftung eingesetzt werden. Stand der Technik sind ventilatorgestützte Lüftungen bzw. Frischluftsysteme als Abluftanlagen oder als Zu-/Abluftanlagen mit Wärmerückgewinnung (WRG), in dezentraler oder zentraler Ausführung (→ S. 134).

Sie ziehen verbrauchte Raumluft dort ab, wo sie anfällt: Aus WC, Bad und Küche (Ablufträume) wird die Luft nach außen abgesaugt. In Wohn- und Schlafräumen strömt die frische Außenluft zu, je nach Anlage

direkt über die Nachströmöffnungen in den Außenwänden/Fenstern oder über ein Kanalsystem. Der notwendige Grundluftwechsel (Luftaustausch) wird durch ein regelbares Ventilatorgerät sichergestellt, bei dem die Luftwechselrate einstellbar ist und das zusätzlich mit einem Wärmeübertrager zur WRG ausgestattet werden kann.

Es handelt sich hier nicht um Klimaanlage, die heizen, kühlen und befeuchten können. Diese Vielfalt erfordert den Durchsatz großer Luftmengen mit der Folge von Zugscheinungen, die i.d.R. als unbehaglich emp-


funden werden. Den Räumen wird ja nur (je nach Anlagensystem kalte oder vorgewärmte) Frischluft zugeführt, die Vermischung mit verbrauchter Luft oder gar eine Luftbehandlung (z.B. Befeuchtung, Kühlung) findet nicht statt.

Als Nutzer können Sie im Winter während der Heizzeit trotz Betrieb der jeweiligen Lüftungsanlage weiterhin die Fenster kurz öffnen, im Sommer wird die Anlage i.d.R. (außer zur Nachtkühlung) abgeschaltet.

Vorteile gegenüber der Fenster-Lüftung

- dauerhafte Lüftererneuerung auch nachts und Feuchteschutz bei Abwesenheit,
- geringere Schadstoffkonzentrationen der Raumluft,
- Garantie eines dauerhaften hygienischen Mindestluftwechsels, der von Wettereinflüssen und dem Nutzerverhalten unabhängig ist,
- absaugen von Gerüchen direkt an den Geruchsquellen (WC, Bad),
- Einsatz zur sommerlichen Wohnungskühlung (kältere Nachtluft),

- die Fenster können stets geschlossen bleiben (weniger Lärm, Abgase, Insekten) – bei Bedarf aber auch immer geöffnet werden,
- verbesserte Raumluftfeuchte,
- mit hochwertigen Zuluft-Filtern können Staub, Pollen und andere Allergene aus der Luft gut herausgefiltert werden,
- Verbesserung der Luftvorwärmung und -kühlung durch den Einsatz eines zusätzlichen Erdreichwärmeübertragers,
- gute Verbindung von gewünschter Energieeinsparung und der gewünschten, erforderlichen Raumlufthygiene.

 Voraussetzung für einen sinnvollen und wirtschaftlichen Betrieb jeder Frischluftanlage ist allerdings eine gute Luftdichtheit der Gebäudehülle.

Wie bereits im Kapitel 8 beschrieben, sollte jedes Gebäude eine wind- und luftdichte Hülle haben: Zum Schutz der Bausubstanz, für behagliches Wohnen, zur Sicherung von energiesparenden Maßnahmen – und auch zur Gewährleistung einer voll funktionsfähigen Frischluft-(Lüftungs)anlage.

9.3.1 Dezentrale Lüftungsanlagen

Im Gegensatz zu den zentralen Anlagen für Wohnungen oder Häuser versorgen dezentrale Lüftungsanlagen i.d.R. nur einen oder max. zwei Räume mit Frischluft. Während bei zentralen Anlagen das Lüftungsgerät zentral, z.B. im EFH im Keller oder Speicher, aufgestellt und die Luftverteilung durch ein Kanalsystem realisiert wird, ist die dezentrale Anlage an der Innenseite der Außenwand eines Raums installiert und Kanäle entfallen. Da es gerade bei der Altbauanierung nicht immer einfach ist, ein Zentralgerät sowie die Luftkanäle völlig „unsichtbar“ unterzubringen, sind hier dezentrale Geräte manchmal vorteilhafter.

Auch sind die Kosten für eine dezentrale Anlage günstiger als für eine vergleichbare zentrale Anlage (Material und Installation), da die Luftverteilung entfällt. Nicht nur im Zuge der energetischen Optimierung (Wär-

medämmung, neue Fenster und verbesserte Luftdichtheit) von Altbauten können dezentrale Geräte eine Alternative sein. Sie sind oft auch dann notwendig, wenn es um örtliche (Feuchte)Probleme in einzelnen Räumen wie Schlafzimmer, Bad oder Keller geht. Gerade hier treten hohe Feuchtelasten mit der Folge von Kondensatausfall und entsprechender Schimmelbildung auf, die durch die reine Fensterlüftung i.d.R. nicht zu beseitigen sind.



Abluftanlagen

Die einfachste und nur aus Kostengründen zu bevorzugende Art einer Lüftungsanlage ist die Abluftanlage. Durch sie wird die Luft des (i.d.R. belasteten) Raums kontrolliert ab-

gesaugt. Die Frischluft (Außenluft) strömt auf Grund des durch die Absaugung erzeugten Unterdrucks durch ein Ventil in der Außenwand (ALD) oder aus den angrenzenden Räumen nach.

Solche dezentralen Abluftgeräte haben keine WRG und werden deshalb nur in Räumen eingesetzt, wo ein konkretes Feuchte- oder Geruchsproblem besteht – oder wo wegen der geringen Raumtemperatur (wie z.B. im Keller) eine Wärmerückgewinnung keinen Sinn macht.

Bekannt und üblich sind sie bei innen liegenden Bädern oder WC, wo sie über den Lichtschalter und eine Zeitschaltuhr nur ein- und ausgeschaltet werden und dabei auf einer Stufe für ein paar Minuten laufen.

Kellerlüftung

Im Keller ist darauf zu achten, dass dieser mit 10 bis 15°C häufig kühler ist (gerade bei gut gedämmten Kellerdecken) als die Außenluft. Kellerräume sollten deshalb nur dann gelüftet werden, wenn die Außentemperatur niedriger ist als die Kellertemperatur.

Sonst besteht die Gefahr, dass die warme Außenluft an den (noch kälteren) Kellerwänden abkühlt und die Luftfeuchtigkeit ansteigt oder sogar als Kondensat (Tauwasser) ausfällt. Der Keller wird auch durch Lüften nicht trockener, sondern eher feuchter. Der Grund ist einfach und wurde schon auf S. 131 erklärt: Warme Luft transportiert mehr Feuchtigkeit als kalte Luft, d.h. mit Abkühlen der Luft steigt die relative Luftfeuchte. Eine richtige Kellerlüftung ist also nur mit einer Regelung der Abluftanlage möglich, welche Temperatur und Luftfeuchten von außen und innen erfasst, auswertet und das Lüftungsgerät entsprechend ansteuert.

Je wärmer es draußen ist, umso größer wird das Feuchtigkeitsproblem im Keller, wenn gelüftet wird (mit und ohne Abluftanlage). Empfehlenswert ist ein Hygrometer zur Kontrolle. Im Sommer und in der wärmeren Übergangszeit sollten die Kellerfenster geschlossen bleiben. Erst bei Außentemperaturen deutlich unter 10°C sollte gelüftet werden.

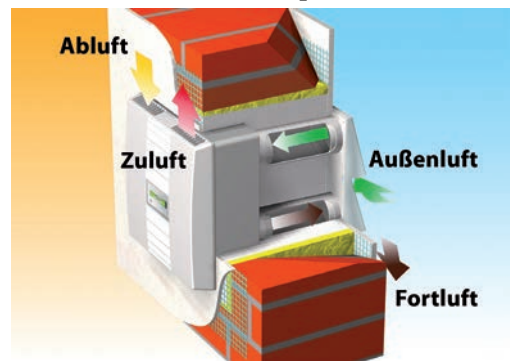


Zu- und Abluftanlagen mit WRG (Wärmerückgewinnung)

Bei diesen Einzelgeräten für die Belüftung einzelner Räume gibt es verschiedene Ausführungen vieler unterschiedlicher Hersteller (bluMartin, Getair, Glen Dimplex, Helios, inVENTer, Maico, Meltem, Mitsubishi, Siegenia, Vallox, Wolf, Zehnder, Zewotherm u.a.).

Geräte mit zwei Ventilatoren und z.B. einem Kreuzstrom-Wärmeübertrager

Über den Abluftventilator wird die warme Raumluft als Fortluft nach draußen befördert, während gleichzeitig über den Zuluftventilator die kalte Außenluft (Frischluft) in den Raum als Zuluft transportiert wird.



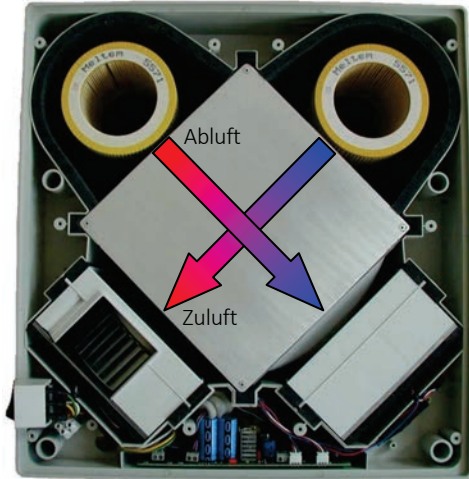
Die beiden Luftströme werden hier kreuzweise über einen Wärmeübertrager geleitet, so dass die kalte Außenluft vorgewärmt in den Raum strömt. Das Gerät enthält alle Komponenten und wird beim Neubau in der Außenwand selbst oder bei der Sanierung auf der Innenseite der Außenwand installiert, wie diese beiden Beispiele des Herstellers Meltem zeigen.



Es sind verschiedene Luftmengenleistungen (z.B. 15, 30 und 60 m³/h) einstellbar, wobei dann die Stromleistung der Ventilatoren

zunimmt (z.B. 4, 5 und 13 W). Zu beachten sind Angaben zum Schallschutz, zu den Filtern und der Höhe der Wärmeübertragung.

Die Leistung der Wärmeübertragung (der sog. Wärmebereitstellungsgrad) sollte über 80 % liegen. Hier sehen Sie das Grundprinzip eines Kreuzstrom-Wärmeübertragers.



Wichtig ist eine Frostschutzsicherung, als nutzerfreundlich hat sich eine Filterwechselanzeige erwiesen.

Geräte mit einem Ventilator und einem Keramik-Wärmeübertrager (Beispiel Inventer)

Die Anlagen funktionieren nach dem Prinzip der Querlüftung. Dabei werden zwei Lüftergeräte parallel betrieben. Während ein Gerät die Außenluft ansaugt und in den Raum transportiert, führt das zweite Gerät die verbrauchte Luft parallel dazu ab.

In diesem Fall hat das Gerät nur einen Ventilator, der wechselweise läuft. Bei Abluftbetrieb wird die warme Raumluft als Fortluft nach draußen befördert. Dabei lädt sie einen im Rohr befindlichen Keramikspeicher. Nach einer vorgegebenen Zeit dreht sich die Ventilatorrichtung um. Nun wird die Außenluft (Frischluft) angesaugt und entzieht dem Speicher die Wärme, bevor sie als erwärmte Zuluft in den Raum gelangt.

Beim Inventer läuft der Ventilator 70 Sekunden in jede Richtung. Für den Neubau haben die Geräte eine quadratische und bei der Sanierung eine runde Wandeinbauhülle.

Der Luftvolumenstrom je Gerät liegt z.B. bei ca. 15 bis 30 m³/h, die Stromleistung für den Ventilator bei 1 bis 3 W. Der Wärmebereitstellungsgrad beträgt über 80 %.



Empfehlungen

Solche Geräte machen z.B. in Räumen wie im Schlaf- oder Kinderzimmer und im Bad Sinn, wo entsprechende Wärmemengen zur Rückgewinnung zur Verfügung stehen. Der Anlagen-Geräuschpegel sollte aber gerade im Schlafzimmer so niedrig wie möglich sein, in den niedrigen Lüftungsstufen muss er unter 20 dB(A) liegen.

Airoptima, ein Planungsbüro aus Kaufbeuren, testet in seiner Bauausstellung „House of Energy“ seit Jahren die Lüftungsgeräte zahlreicher Hersteller im praktischen Betrieb – mit dem Ergebnis, dass fast alle Geräte für ein Schlafzimmer (entgegen den Herstellerversprechen) noch immer zu laut sind.

Neben einem guten Schallschutz ist auf Filter und die vorgeschriebenen Wartungsintervalle zu achten. Letztere sollten zwischen sechs und zwölf Monaten liegen. Zu empfehlen sind immer zwei Filter: Der Zuluftfilter schützt das Gerät vor Verschmutzung von außen und den Raum vor Staub, Schmutz oder Pollen. Auch der Abluftfilter schützt das Gerät z.B. vor Staub, Milben und anderen Verunreinigungen aus dem Raum. Mit beiden Filtern bleibt der Wärmeübertrager von beiden Seiten sauber und erhält sich so über längere Zeit einen relativ hohen Wärmerückgewinnungsgrad.

Filter unterscheidet man in Filterklassen G1 bis G4; G steht für Grobfilter. Je höher die Zahl ist, umso kleinere Partikel werden herausgefiltert. Die nächsthöhere Kategorie sind

sog. Feinstaubfilter und werden ab F5 bezeichnet. Sie erfassen u.a. auch Pollen, sind i.d.R. für Allergiker ausreichend und werden für alle dezentralen Zu- und Abluftanlagen mit WRG empfohlen.

Zu beachten ist, dass im Winter bzw. an sehr kalten Tagen im Ab- bzw. Fortluftbereich des Wärmeübertragers durch die Wärmerückgewinnung Kondensat entsteht, das abgeführt werden muss. Während zentrale Lüftungsanlagen meist mit einer Ableitung an das Abwassernetz angeschlossen werden, ist dies bei dezentralen Anlagen weder gewollt noch wegen des baulichen Aufwands möglich. Deshalb ist gerade hier eine wirksame Kondensatabführung notwendig. Entweder es wird in einer separaten Wanne aufgefangen, die der Nutzer öfter leeren muss, was allerdings auch gerne vergessen wird (dann schaltet die Anlage automatisch ab). Oder das Kondensat wird nach außen geleitet.

tet. Dabei ist wichtig, dass es nicht direkt an der Fassade abläuft. Je höher die Wärmerückgewinnung, desto höher ist der Kondensatanfall!

Zur Kondensatvermeidung gibt es auch Geräte mit einem Enthalpie-Wärmeübertrager. Anders als beim Kreuzstrom-Wärmeübertrager gewinnt er neben der Wärmeenergie aus der Abluft auch die Feuchte zurück. Hierzu strömt die abgeführte Raumluft im Enthalpieübertrager an einer Polymer-Membran entlang, die den Wasserdampf an der Warmluftseite aufnimmt und an der Außenluftseite an den trockenen Kaltluftstrom abgibt. Eine bauseitige Kondensatableitung kann damit entfallen.

Grundsätzlich sind dezentrale Lüftungsanlagen für Räume mit kleineren Luftmengenanforderungen eine akzeptable Variante. Für große Luftvolumenströme sind sie nicht geeignet.

9.3.2 Zentrale Lüftungsanlagen

Geht es Ihnen um die kontrollierte Lüftung von kompletten Wohnungen oder Gebäuden, sind zentrale Anlagen zu empfehlen.

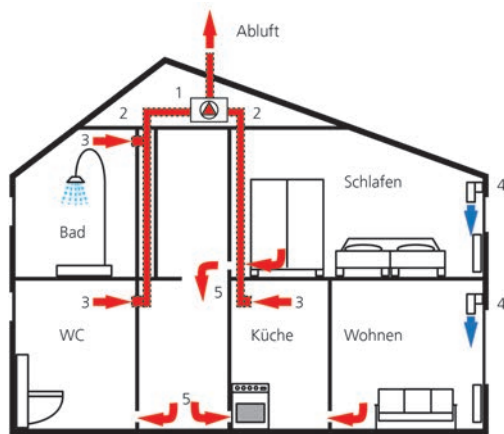
Abluftanlagen ohne WRG

In Abluftanlagen wird die (warme) Raumluft aus Bad, Toilette und der Küche (also den Räumen mit dem größten Feuchteanfall und „Gestank“) über Kanäle mit einem zentralen Ventilator abgesaugt und über das Dach (ungenutzt) abgeführt. Die Kanalsysteme sind i.d.R. kurz, da die Sanitärräume meist (bei guter Planung) nah beieinander liegen.

Die Frischluft strömt über Nachströmöffnungen in der Außenwand in die Wohn- und Schlafräume nach. An ihnen kann die Luftmenge variabel eingestellt werden. Sie haben Grobfilter für Insekten und Schmutzpartikel.

Zur Verfügung stehen nicht oder manuell einstellbare sowie selbsttätig feuchtegeregelte Modelle. Sie sollten oben im Raum angebracht werden, z.B. über einem Heizkörper oder an der Decke.

Wahlweise können die Nachströmöffnungen auch im oberen Fensterblendrahmen oder im Rollladenkasten installiert werden. Die einströmende kalte Luft vermischt sich mit der am Heizkörper nach oben strömenden warmen Raumluft, wodurch Zugerscheinungen vermieden werden.



- 1 - Abluftventilator; 2 - kurze Kanalführung; 3 - Abluftventile in den Abluft Räumen; 4 - Nachströmöffnungen; 5 - Überströmöffnungen

Die Luft strömt dann den Ablufträumen über die Fugen der Innentüren (ein unterer Spalt von etwa 1 cm Höhe ist nötig) oder besondere Überströmeinsätze in den Innentüren oder -wänden zu.

Die Regelung des Luftvolumenstroms über den Ventilator sollte über einen elektronischen Drehzahlsteller möglich sein (Stufenschaltung oder komplett drehzahlregelt nach der Feuchte oder z.B. dem CO₂-Gehalt). Die Ventilatorleistung sollte (ein druckverlustarmes Kanalsystem ist Voraussetzung) für ein Einfamilienhaus 30 W (Gleichstrommotor) nicht übersteigen.

Integrierbar ist zwar auch eine geeignete Dunstabzugshaube, dies wird aber nicht empfohlen. Entweder Sie planen die Abzugshaube als reine Umluftanlage oder Sie koppeln den (viel stärkeren) Ventilator der Abzugshaube mit dem Abluftventilator so, dass nur einer der beiden Ventilatoren laufen kann. Das ist sinnvoll und vertretbar, da die Dunstabzugshaube i.d.R. nur wenige Minuten am Tag betrieben wird.



Bei dem Frischluftsystem einer Abluftanlage handelt es sich um ein sehr einfaches System, dass z.B. im Dachgeschoss, auf der Kehlbalkendecke oder in einem Abseitenbereich neu installiert oder nachgerüstet wird und den hygienisch notwendigen Luftwechsel und so eine dauerhaft hohe Raumluftqualität sicherstellt.

Eine Senkung des Lüftungswärmeverlusts erfolgt nur bei guter Dichtheit der Gebäudehülle und bei Verzicht auf eine Fensterlüftung während der Heizzeit. Dann lassen sich die Wärmeverluste gegenüber der Fensterlüftung um bis zu 10 % senken.



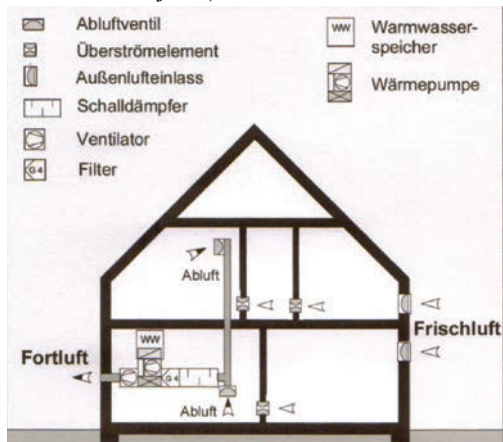
Die zentrale Abluftanlage ist die Grundform der kontrollierten Wohnungslüftung und kann in jeden Neubau als wichtiger Bestandteil für eine dauerhaft gute Raumluftqualität integriert werden. Die Kosten für ein Einfamilienhaus liegen bei ca. 4.000 € – also im ‰-Bereich der Gesamtbaukosten.

Die Anzahl der Hersteller (u.a. Aereco, Glen Dimplex oder multitherm) ist in diesem Bereich recht überschaubar. Wichtig ist auch hier die regelmäßige Wartung und Reinigung der Ventilein- und -auslässe, des Kanalsystems und des Ventilators. Ansonsten regelt der Nutzer die Anlage individuell. Bei kürzerer Abwesenheit ist für die Grundlüftung die Schwachlaststufe zu empfehlen. Im Sommer kann die Anlage ganz abgeschaltet und über die Fenster gelüftet werden.

Nicht in jedem Fall ist eine Abluftanlage geeignet: Bei hohen Gebäuden und besonders in windexponierten Lagen kann der thermische Auftrieb bzw. Winddruck und -sog zu Störungen führen. Dann ist der Einbau einer Zu- und Abluftanlage (mit WRG) die bessere Alternative.

Abluftanlagen mit WRG

Eine von ganz wenigen Herstellern genutzte Variante: Im Abluftstrom wird noch eine Luft-Wärmepumpe zur Wärmerückgewinnung (WRG) der Abwärme eingebaut, die dann einen Trinkwarmwasserspeicher (WW) lädt, wie diese Grafik verdeutlicht (Quelle: Hartmut Grotjahn).



Mängel zentraler Abluftanlagen

Bereits im Jahr 2000 untersuchte das Detmolder NEI (Niedrig Energie Institut) im Auftrag des Forschungsministeriums des Landes Nordrhein-Westfalen in 43 Wohneinheiten, die zwischen 1995 und 1999 gebaut wurden, die von Frischluftanlagen tatsächlich bewirkten raumweisen Zu- und Abluftströme. Das wesentliche Ergebnis dieser Untersuchung: Überwiegend saugten die Abluftanlagen die notwendigen Mengen aus den Küchen und Badezimmern ab – zugleich war aber oft die Frischluftzufuhr in die Wohn-, Kinder- und Schlafzimmer zu gering. [6]



Die Anlagen hatten Auslegungs- und Installationsmängel, wurden falsch bedient und mangelhaft gewartet.

Es gab vier Hauptgründe für diese Mängel:

1. Undichte Gebäude

Die Gebäude waren nicht luftdicht und die Undichtheiten der Gebäudehülle hatten niedrige Strömungswiderstände und größere Querschnitte als die planmäßigen Zuluftöffnungen! Deshalb wurde durch die Undichtheiten mehr Frischluft eingesaugt als durch die geplanten Zuluftventile.

2. Zuluftöffnungen zu klein

Meist waren die Zuluftventile zu klein dimensioniert. Bei dem zu erwartenden Unterdruck der Abluftanlage hätte oft – auch ohne jegliche andere Störeffekte – die Soll-Zuluftmenge gar nicht einströmen können. Viele Ventile schienen eher nach ästhetischen Aspekten als ihrer Lüftungsaufgabe entsprechend dimensioniert zu sein.

3. Auftrieb über offenes Treppenhaus

In Einfamilienhäusern mit offenen oder verbundenen Lufträumen über mehrere Etagen – meist von der Kellertürschwelle bis zur Dachluke – und mit Zuluftöffnungen in die verschiedenen Himmelsrichtungen wirkten sich der äußere Winddruck bzw. -sog und der thermische Auftrieb innerhalb des Hauses sehr störend aus. Die Vorstellung einer gleich großen Frischluftansaugung durch

gleich große Zuluftventile in verschiedenen hoch positionierten und windbeaufschlagten Räumen eines Hauses ist völlig unrealistisch.

Oft wurden z.B. im Obergeschoss Luftfilter vorgefunden, die nur auf der Innenseite verschmutzt waren. Über Jahre hatte hier trotz Anlagenbetrieb nur eine Luftaus- statt Luft-einströmung stattgefunden, weil der thermischer Auftrieb und äußere Windkräfte stärker waren als der Sog des Abluftventilators.

4. Schlecht eingestellte Anlagen

Sie waren nicht sachgerecht einreguliert, die Nutzer waren nicht eingewiesen und die Anlagen waren nicht oder mangelhaft gewartet. Filter waren völlig verschmutzt, die Ventilspalte eher zufällig oder anhand akustischer Empfindung eingestellt und die richtige Leistungseinstellung unbekannt. In vielen Gebäuden waren die Anlagen durch Planungs- und Einbaumängel zu laut, sodass bei angemessener Leistungseinstellung störende Geräusche entstanden.

Schlussfolgerungen

1. Voraussetzung ist ein dichtes Gebäude mit dem Nachweis durch einen Drucktest;
2. Abluftanlagen müssen an die Vor-Ort-Bedingungen angepasst geplant, eingebaut und abgenommen werden (ein Prüfprotokoll verlangen);
3. Lüftungsanlagen müssen richtig einreguliert sein und ihre Bedienung und Wartung den Nutzern erklärt werden.

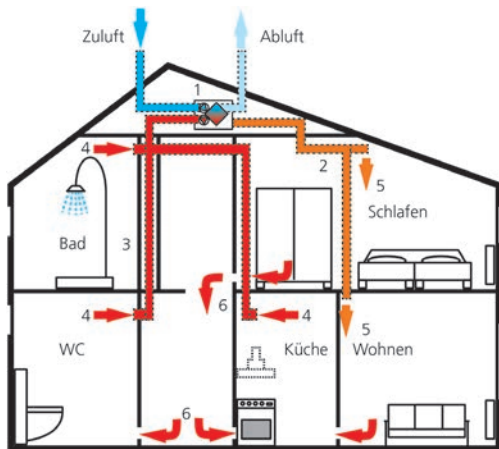
Empfehlung

Die Abluftanlagen funktionieren einwandfrei und sind für die Sicherstellung eines hygienischen Luftwechsels unbedingt empfehlenswert. Kinderkrankheiten sind längst abgestellt, die Anlagen optimiert.

Wichtig ist aber – damals wie heute – bei allen Lüftungsanlagen, dass die für den einwandfreien Betrieb notwendigen Voraussetzungen erfüllt werden: Das Gebäude muss luftdicht sein (Blower-Door-Messung) und es braucht eine fachlich qualifizierte Planung, den fachgerechte Einbau und eine regelmäßige Wartung.

Zu- und Abluftanlagen mit WRG (Wärmerückgewinnung)

Im Unterschied zu Abluftsystemen strömt die Frischluft nicht direkt von außen in die Räume. Sie wird über ein eigenes Kanalsystem allen Wohn- und Schlafräumen zugeführt. Die (kalte) Frischluft und die (warme) Abluft werden dabei durch einen Wärmeübertrager geleitet, in dem 70 bis 90 % des Wärmehalts der Abluft für die Vorerwärmung der Frischluft genutzt werden. Frisch- und Abluftstrom sind getrennt, sodass weder eine Vermischung noch eine Geruchsübertragung stattfindet (keine Umluft).



1 - Ventilatorengerät mit Wärmerückgewinnung; 2 - Zuluftkanalsystem; 3 - Abluftkanalsystem; 4 - Lufteinlässe; 5 - Luftauslässe; 6 - Überströmöffnungen

Frischluftanlagen mit Wärmerückgewinnung benötigen Schalldämpfer im Ventilatorgerät oder im Kanalnetz zwischen den Räumen, um eine Geräuschübertragung zu vermeiden. Da die Zulufttemperatur wegen der WRG auch bei kalten Außentemperaturen selten unter $+10^{\circ}\text{C}$ fällt, ist eine Nacherwärmung meist nicht notwendig – falls doch, geschieht das über die Heizungsanlage oder ein Wärmepumpenkompaktgerät.

Die Anordnung der Luftauslässe (Zuluftventile) ist unabhängig von der Lage der Heizkörper. Sie sind jedoch so einzubauen, dass Betten und Stühle bzw. Sitzgruppen nicht di-



rekt angeströmt werden. Bei diesen Anlagen ist eine zusätzliche Reinigung der Zuluft von Staub, Pollen und anderen Bestandteilen durch spezielle Luftfilter möglich. Im Vergleich mit zentralen Abluftanlagen haben sie dort weitere Vorteile, wo zusätzlich hohe Anforderungen an den Schallschutz (Außenlärm) oder die Luftfilterung bestehen.



Mit diesem System wird neben der hohen Raumluftqualität unter optimalen Bedingungen auch eine Reduzierung der Lüftungswärmeverluste um ca. 80 % erzielt.

Voraussetzung ist eine sehr gute Dichtheit (d.h. n_{50} -Wert kleiner $0,6 \text{ h}^{-1}$) der Gebäudehülle ebenso wie ein niedriger Stromverbrauch der Anlage und der (weitgehende) Verzicht auf die Fensterlüftung während der Heizzeit. Die Investitionskosten (nur Anlage) für ein Einfamilienhaus liegen bei 4.500 bis 5.800 €; inkl. Montage bei bis zu 12.000 €.

Wichtig ist die regelmäßige Wartung und Reinigung aller Anlagenbestandteile: Filter etwa alle sechs Monate (Grobfilter sind nicht geeignet, nur Feinstaubfilter F5 oder F7 für dann rund 250 €/a); Luftein- und -auslässe jedes, das Lüftungsgerät alle zwei und das Kanalsystem etwa alle fünf Jahre.

Stromverbrauch beachten!

Bei einer elektrischen Antriebsleistung von max. 100 Watt (W) für beide Ventilatoren liegt der Stromverbrauch bei 300 - 450 kWh pro Jahr. Moderne Anlagen dagegen haben Gleichstromventilatoren. So lässt sich die Gesamtleistung auf bis zu 40 W reduzieren und der Stromverbrauch wird halbiert!



Das Verhältnis von Stromeinsatz zur zurückgewonnenen Heizwärme aus der Abluft sollte 1:10 betragen; d.h. für jede in die Anlage eingesetzte kWh Strom sollte sie etwa 10 kWh Wärme „zurückübertragen“.

Diese 10 kWh (das entspricht z.B. einem Liter Heizöl) müssen damit nicht mehr zur

Raumluftwärmung im Kessel verbrannt werden. Beim Heizöl geht es dann um eine Einsparung von 70 Cent pro Liter und mehr.

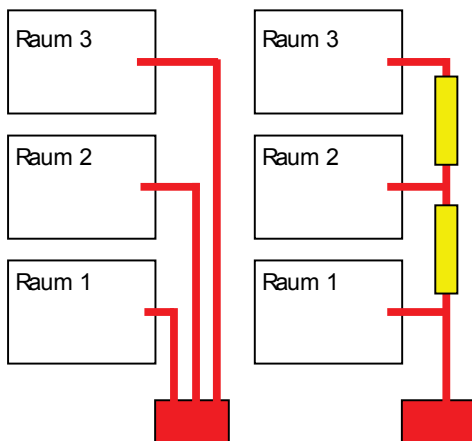
Über eine vollautomatische Regelung der Ventilatoren (zwischen ca. 40 - 100 % Lüfterleistung) sollte die Luftmenge tageszeitlich den unterschiedlichen Bedürfnissen der jeweiligen Nutzer angepasst werden können.

Kanalsystem

Für die Luftführung sind Kanäle sinnvoll, die platzsparend und preisgünstig eingebaut werden können. Gleichzeitig sollten sie einen möglichst geringen Druckverlust haben (hoher Druckverlust bedeutet hohen Stromverbrauch) sowie gut zu reinigen sein. Dazu sind an der einen oder anderen Stelle Revisionsöffnungen einzuplanen.

Bewährt haben sich Systeme aus Wickelfalzrohr (verzinktes Blech) oder Kanäle aus Kunststoff, die auch kombinierbar sind. Je nach Hersteller (u.a. Drexel und Weis, Hoval, Maico, Paul, Pichler, Pluggit, Vallox, Wolf oder Zehnder) werden weitere Kanalsysteme (z.B. Flachkanal aus Polystyrol) angeboten. Wichtig, das Rohr muss innen glatt sein, damit sich keine Schmutzpartikel anlagern können. Nicht eingesetzt werden sollten flexible Schläuche aus Aluminium oder Kunststoff, die innen nicht glatt sind. Sie haben einen hohen Druckverlust und sind kaum zu reinigen!

Ein wichtiges Thema ist der Schallschutz und damit die Art der Rohrinstallation!

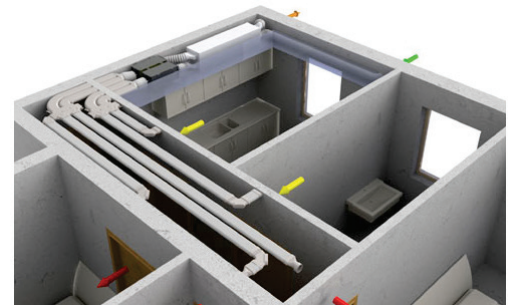


Unterschieden werden die Sternverrohrung und die Verrohrung mit Abzweigern. Der Vorteil bei den Abzweigern (rechte Grafik) liegt darin, dass weniger Rohre verlegt werden müssen, dafür sind unbedingt sog. Telefonieschalldämpfer (gelb) einzubauen.

Die Sternverrohrung (linke Grafik) ist die zu empfehlende Variante, da nicht nur die Schalldämpfer entfallen. Die Rohre sind besser zu reinigen, die Luftzufuhr ist besser einzuregulieren und dadurch ist bei einer Änderung der Raumnutzung eine Anpassung des Volumenstroms jederzeit gut möglich.



Die Sternverrohrung ist im Neubau problemlos z.B. in einer Betondecke unterzubringen. Aber auch für die Sanierung gibt es einfache Lösungen, wie das untere Beispiel (Quelle: Zehnder) zeigt. Die Rohre werden im Flur unter einer anschließend abzuhängenden Decke montiert, das Lüftungsgerät wird in der Küche oberhalb der Wandschränke installiert.






Dunstabzugshaube

Von einem Anschluss der Dunstabzugshaube wird bei diesen Anlagen unbedingt abgeraten, zum Schutz der Kanäle und vor allem des Wärmeübertrages vor großer Verschmutzung (u.a. Fett), aber auch wegen ihrer sehr hohen Absaugleistung (ab ca. 300 m³/h), die ein Mehrfaches der Anlagenleistung beträgt.

Stattdessen sollte – wie schon bei den Abluftanlagen beschrieben – eine Umluftanlage eingebaut werden. Nur als Notlösung kann auch hier die gegenseitige Verriegelung von Dunstabzugshaube und Lüftungsanlage in Betracht gezogen werden.

Wärmeübertrager

Kernstück jeder Zu- und Abluftanlage ist die Wärmerückgewinnung. Dabei kommt es auf einen hohen Wirkungsgrad (η) des Wärmeübertragers (WÜ) an (oft wird auch noch der veraltete Begriff Wärmetauscher benutzt!).

WÜ-Bauart	Wärmeübertragungsprinzip	η
Kreuzstrom-Platten-WÜ		50 - 70 %
Gegenstrom-Platten-WÜ		70 - 80 %
Gegenstrom-Kanal-WÜ		80 - 95 %

Am besten schneiden Gegenstrom-Wärmeübertrager ab. Sie sind den weit verbreiteten Kreuzstrom-WÜ vorzuziehen. Wichtig sind noch eine sehr gute Dämmung des gesamten Wärmerückgewinnungsgerätes und die gute Dichtheit, sodass es bei der Wärmeübertragung keine Luftübertragung gibt.

+ Feuchterückgewinnung

Neben diesen klassischen Wärmeübertragern gibt es auch solche mit einer zusätzlichen Feuchterückgewinnung – die Enthalpiewärmeübertrager. Im Winter bringen sie bei zu trockener Raumluft einen Komfortgewinn. Relative Raumluftfeuchten unter 35 % sollte es dann nicht mehr geben.

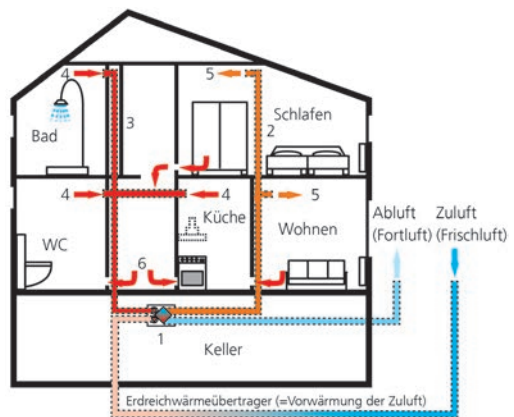
Eine Lüftungsanlage mit WRG sorgt im Winter mit ihrer kontinuierlichen Lüftung für geringe Lüftungswärmeverluste. Da kalte Luft aber sehr trocken ist, kann die relative Feuchte auch unter 35 % sinken. In Verbindung mit der Wärmerückgewinnung können einige Anlagen zusätzlich die Feuchte aus den Ablufträumen Küche, Bad und WC (hoher Feuchteanteil) zurückgewinnen und diese den Zulufräumen (Wohnen) zur Verfügung stellen. Zu empfehlen sind sie allerdings nur in kalten, trockenen Regionen!

Erdreichwärmeübertrager

Zur Optimierung einer Anlage kann der Einbau eines Erdreichwärmeübertragers (Erdregisters) sinnvoll sein. Dabei wird

- im Winter die Erd„wärme“ ($> +7^\circ\text{C}$) zur Frischluftvorwärmung und
- im Sommer die Erd„kühle“ zur Frischluftabkühlung genutzt.

Beim klassischen Erdreich-Luft-Wärmeübertrager wird das Ansaugrohr der Frischluft im Erdreich verlegt. Es handelt sich um ein Kunststoffrohr (\varnothing ca. 200 mm) mit einer Leitungslänge von 25 bis 80 m (je nach erforderlichlichem Luftvolumen).



Der Vorteil liegt in der relativ einfachen technischen Ausführung. Nachteilig ist die Tatsache, dass es bei bestimmten Wetterlagen (z.B. feuchtwarme Tage im Frühjahr) zur Kondensation von Luftfeuchtigkeit im Wärmeübertrager kommt, wodurch sich Verunreinigungen im Rohrsystem bilden.

Es wird deshalb empfohlen, die Rohre mit einem leichten Gefälle von ca. 4 %, einer Reinigungsöffnung sowie einem Kondensatablauf auszustatten.



Und es wird geraten, die Lüftungsanlage (Installation im Keller) ganzjährig zu betreiben, damit die Luft im Wärmeübertrager immer in Bewegung bleibt.

Die bessere Lösung besteht in einem Erdreich-Sole-Luft-Wärmeübertrager. Ein mit Sole als Kühlmittel gefülltes Kunststoffrohr wird (ähnlich wie bei einem Wärmepumpensystem) im Erdreich verlegt (1. Wärmeübertrager) und über eine Umwälzpumpe an ein Heizregister (2. Wärmeübertrager) in der Frischluftansaugung der Lüftungsanlage angeschlossen. Weder muss auf Gefälle oder Zugänglichkeit noch auf den Aufstellort für das Lüftungsgerät geachtet werden.

Exkurs Berechnung Luftwechselrate n (T2) Luftwechselrate n durch Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung (WRG)

Sie setzt sich aus den zwei bekannten Komponenten zusammen: Aus der hier erweiterten Luftwechselrate $n_{\text{Anl.}} \times (1 - \eta)$ durch die Lüftungsanlage mit WRG (und z.B. einen Wirkungsgrad η von 80 %) sowie durch die bereits erläuterte Infil-

trations-Luftwechselrate $n_{\text{Inf.}}$ über Undichtheiten:
$$n = [n_{\text{Anl.}} \times (1 - \eta)] + n_{\text{Inf.}}$$

Wie mehrfach erwähnt, muss hier das Gebäude sehr luftdicht z.B. mit $n_{50} = 0,40 \text{ h}^{-1}$ geplant und ausgeführt werden. Der Infiltrations-Luftwechsel $n_{\text{Inf.}}$ beträgt dann z.B. bei einem Einfamilienhaus mit durchschnittlicher Abschirmung $0,028 \text{ h}^{-1}$ ($= 0,40 \times 0,07$).

Bei 150 m^2 Wohnfläche und $2,60 \text{ m}$ Raumhöhe beträgt das Nettoluftvolumen 390 m^3 . Die Anlagengröße wird mit 160 m^3 Leistung praxisnah auf eine Luftwechselrate $n_{\text{Anl.}} = 0,40 \text{ h}^{-1}$ ausgelegt ($390 \text{ m}^3 \times 0,40 \text{ h}^{-1} = 156 \text{ m}^3$).

Durch die Wärmerückgewinnung werden 80 % ($= 0,80$) der Wärme zurückgewonnen. Damit reduziert sich der rechnerische (und tatsächliche) Lüftungswärmeverlust erheblich, was sich hier in der reduzierten Luftwechselrate n zeigt, mit der alle weiteren Berechnungen durchzuführen sind:

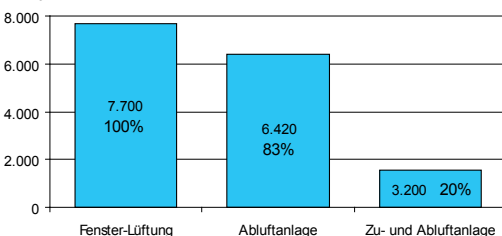
$$n = 0,40 \text{ h}^{-1} \times (1 - 0,80) + 0,028 \text{ h}^{-1} = 0,11 \text{ h}^{-1}.$$

9.3.3 Fazit und Empfehlung

Die kontrollierte Wohnungslüftung als permanentes Frischluftsystem ist Standard in weit über 100.000 gut gedämmten und nach dem Stand der Technik luftdicht gebauten Wohnhäusern, die in den vergangenen 25 Jahren errichtet wurden. Die Vorteile gegenüber der Fensterlüftung sind überzeugend:

- Schutz der Bausubstanz (Vermeidung von Kondenswasser und Feuchteschäden)
- dauerhaft sehr gute Raumluftqualität
- geringer Anteil von Luftschadstoffen
- Energieeinsparung bei der Lüftung.

Lüftungswärmeverluste eines Hauses mit 168 m^2 je Heizperiode
kWh/a

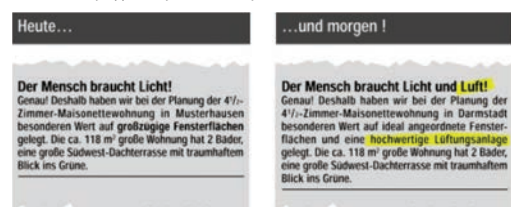


Alle Bewohner betonen die dauerhaft gute Raumluftqualität in ihren Wohnungen, die sie vorher in ihrem Altbau nicht kannten.

Die kontrollierte Wohnungslüftung ist eine Technik für den Neubau und die Sanierung; sie muss heute fester Bestandteil jeder Neubauplanung sein und wird dringend empfohlen – bei sehr guter Dichtheit der Gebäudehülle!

Abluftanlagen (ob dezentral oder zentral) sind der Mindeststandard heutigen Komforts und gehören in jeden Neubau und zu jeder energetischen Sanierung. Bei sehr gut gedämmten Gebäuden sind Frischluftsysteme zwingend erforderlich, wobei ein zusätzlicher Erdreichwärmeübertrager sinnvoll sein kann.

Wird dieses Frischluftsystem „vergessen“, lässt es sich nachträglich nur mit relativ hohem Aufwand nachrüsten!



So sollte es sein: Die Immobilien-Anzeige [7]

10 Gebäude-Dämmstandards

Nicht nur beim Lesen verschiedener Bauzeitschriften, sondern auch in Diskussionen mit Architekten oder Bauträgern stößt man auf unzählige Verkaufstitel für energiesparende Gebäude, wie z.B. „Biosolarhaus, Biovitalhaus, Energieautarkes Haus, Niedrigstenergiehaus, Nullenergie- oder Effizienzhaus, Ökohaus, Plusenergie- oder Sonnenhaus“. Sämtliche Begriffe haben allerdings weder eine sachlich eindeutige Geltung noch stehen sie tatsächlich für ein bestimmtes Qualitätsmerkmal.

Als Grundsatz gilt: Zuerst wird der Wärmebedarf eines Gebäudes durch eine gute Wärmedämmung aller Bauteile so stark wie möglich (und wirtschaftlich sinnvoll) reduziert. Der restliche Wärmebedarf wird dann durch eine kleine, angepasst dimensionierte Wärmeerzeugungsanlage (z.B. Solarthermieanlage, Pellet-, Erdgaskessel, Wärmepumpe oder Nahwärmeanschluss) gedeckt. Wird bei einem Neubau oder bei einer Sanierung die Wärmedämmung sogar auf das Niveau eines Passivhauses (→ S. 160) gebracht, kann auf ein traditionelles aktives Heizsystem völlig verzichtet werden. Kurz gesagt: Die Heizungsplanung ist erst der zweite Schritt und hängt vom geplanten Gebäude-Dämmstandard ab (und dabei mit Attributen wie Bio oder Öko zu werben, ist irreführend → S. 15 und 25).

Zur Beurteilung und energetischen Einstufung eines Gebäudes hat sich die Fachwelt in Europa auf einheitliche Kriterien geeinigt. Das wichtigste Kriterium zur Beurteilung der energetischen Qualität eines Gebäudes ist der Heizwärmebedarf in Kilowattstunden pro Quadratmeter Wohnfläche und Jahr [$\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})$]. Das ist der Bedarf, der für die Energiedienstleistung „warmer Raum“ zur Raumbeheizung benötigt wird. Er wird auch mit Nutz-Energiebedarf bezeichnet.

In Deutschland gilt für entsprechende Berechnungen die DIN V 18599-1 (Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des

Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Teil 1: Allgemeine Bilanzierungsverfahren, Begriffe, Zonierung und Bewertung der Energieträger), die Ende 2018 aktualisiert wurde.

Nutz-, End- und Primärenergiebedarf

Nutzenergiebedarf

(z.B. Heizwärmebedarf)

Das ist die Energiedienstleistung, die uns tatsächlich interessiert (→ S. 62). Der Nutzenergiebedarf ist, wie der Name schon sagt, die Energie, die wir nutzen, z.B. Raumwärme aus dem Heizkörper, Licht aus der Lampe, Warmwasser aus der Dusche oder Kälte im Kühlschrank. Die Nutzenergie ist die Energie nach der letzten technischen Umwandlung! Der Heizwärmebedarf in $\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ ist die Energiekennzahl für den Vergleich von Dämm-Standards und auf keinen Fall mit dem Energieverbrauch zu verwechseln.

Endenergiebedarf

(z.B. Heizenergiebedarf)

Das ist Energie, die wir zur Nutzung bestellen und bezahlen. Sie steht vor Ort zur Verfügung wie z.B. Heizöl im Tank, Erdgas am Zähler, Pellets im Vorratslager oder Strom am Zähler, vor der letzten Umwandlung zur Nutzenergie. Hier handelt es sich um den messbaren, an einen Energielieferanten zu bezahlenden Energieverbrauch, in Litern (l), Kubikmetern (m^3), Kilogramm (kg) oder Kilowattstunden (kWh).

Primärenergiebedarf

(Verbrauch an Ressourcen)

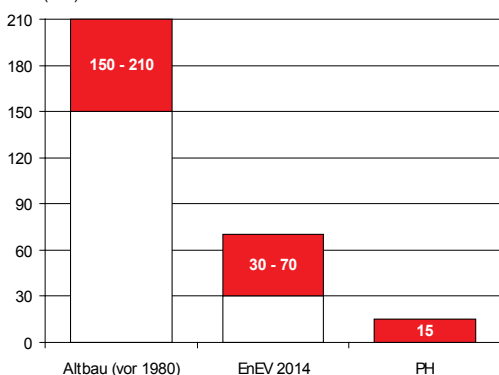
Das ist die Energie, wie sie in ihrer ursprünglichen Form z.B. als Rohöl, Naturgas, Holz, Kohle oder Uran in Lagerstätten vorkommt. Er umfasst damit auch die Energiemenge, die durch vorgelagerte Prozessketten bei der Gewinnung, Umwandlung und dem Transport eines Energieträgers benötigt wird.

Für Vergleiche wird immer der jährliche Energiebedarf berechnet und auf die beheiz-

te Netto-Wohnfläche (ohne Wände) bezogen. Will man die Qualität der Wärmedämmung eines Gebäudes vergleichen, ist der Nutzenergie- und damit in diesem Fall der Heizwärmebedarf in kWh/(m²a) in Bezug auf den Gebäudestandort entscheidend – ohne Berücksichtigung von Warmwasser. Wird das Gesamtsystem Gebäude mit Heizungsanlage inkl. Warmwasser und eingesetztem Energieträger verglichen, wird dazu der Primärenergiebedarf in kWh/(m²a) berechnet.

Gebäude-Dämmstandards (Energiekennzahl)

kWh/(m²a) definiert über den Jahres-Heizwärmebedarf



Die Ermittlung des Heizwärmebedarfs an einem Beispiel

Der gemessene Heizölverbrauch (Endenergiebedarf) eines Hauses (Bj. 1976) mit 165 m² beheizter Wohnfläche beträgt durchschnittlich 4.600 Liter pro Jahr (≈ 46.000 kWh/a).

Das Haus wird über einen Kessel (Anlagennutzungsgrad ca. 81 %) beheizt und z.B. von fünf Personen bewohnt (Warmwasserbedarf ≈ 5.000 kWh/a):

$$46.000 \text{ kWh/a} \times 0,81 = 37.340 \text{ kWh/a} \\ 37.340 \text{ kWh/a} : 165 \text{ m}^2 = 226 \text{ kWh/(m}^2\text{a)}$$

Dieser Heizwärmebedarf von 226 kWh je Quadratmeter Wohnfläche und Jahr ist hoch und entspricht dem typischen Altbau. Wird nun der Heizölverbrauch z.B. durch umfangreiche Dämm-Maßnahmen auf nur noch 1.800 Liter bzw. 18.000 kWh/a reduziert, so ergibt sich mit 58 kWh/(m²a) ein Heizwärmebedarf, welcher dem Bedarf eines gemäß GEG (ehemalige EnEV 2014/2016) errichteten Neubaus entspricht.

Es sollte deutlich geworden sein, dass Gebäude also nur über ihre Bau-(Dämm-)Qualität und nicht über die zu installierende Technik definiert werden.

Gebäude-Dämmstandards wie z.B. KfW-Effizienz- oder Passivhäuser orientieren sich zuerst an ihren jeweiligen Konstruktionsmerkmalen – und nicht daran, ob mit Heizöl, Gas oder Pellets geheizt, das Wasser mit einer Kollektoranlage erwärmt oder gar der Strom aus Solar- oder Brennstoffzellen erzeugt wird. Diese Kriterien spielen erst für die Höhe des Primärenergiebedarfs eine Rolle, mit dem die Einhaltung von Grenzwerten eines (auch geförderten) Neubaus ebenso nachzuweisen ist wie die Förderung bei der energetischen Sanierung eines Altbaus.

Werden (nicht nur) im architektonischen Entwurf weniger als 70 kWh/(m²a) Heizwärmebedarf erreicht, entsteht ein durchschnittlicher Neubau, der noch nichts mit einem wirklich energieeffizienten Gebäude zu tun hat. Liegt die Kennzahl unter 15 kWh/(m²a), wird es ein Passivhaus, berechnet mit den Klimabedingungen am Standort.

10.1 Gesetzgebung und Politik

Gähnende Leere und ungewöhnliche Stille herrschten am 25.11.1973 auf den Straßen und Autobahnen in Deutschland. Erstmals in der Geschichte der Bundesrepublik galt an diesem Sonntag ein bundesweites Fahrverbot; es folgten noch drei weitere Sonntage. Die meisten der damals rund 13 Millionen

Autobesitzer mussten ihre Wagen stehen lassen.

Es war eine Folge der ersten Ölkrise: Im Herbst 1973 drosselten arabische Ölstaaten die Förderung und verhängten ein Embargo. Der Ölpreis stieg um das Vierfache. Deutschland war in seinem Lebensnerv getroffen.

Energieeinsparungsgesetz (1976 bis 2020)

Das „Gesetz zur Einsparung von Energie in Gebäuden“ (EnEG) wurde als Folge der Ölkrisen am 29.07.1976 erlassen – und zwar zur Verbesserung der Handelsbilanz, genauer: zur Reduzierung der Abhängigkeit Deutschlands von importierten Energieträgern. Dabei enthielt es keine unmittelbar für die Bürger wirksamen Regelungen, sondern ermächtigte die Bundesregierung zum Erlass von Verordnungen (immer mit Zustimmung des Bundesrates). Und so wurden auf der Grundlage des EnEG u.a. Verordnungen erlassen, die energetische Anforderungen an Gebäude und ihre Anlagentechnik stellten. Das EnEG wurde 2020 unverändert in das neue Gebäudeenergiegesetz (GEG) integriert.

Warum für den Gebäudebereich die Energieeinsparung gesetzgeberisch geregelt wurde, ist in der über 40 Jahre alten Begründung des Bundestags wie folgt dargelegt:

„Die auf längere Sicht begrenzte Verfügbarkeit der Energie, die hohe Importabhängigkeit der Bundesrepublik Deutschland und die zunehmende Verteuerung der Energie erfordern energiepolitisch einen rationelleren und sparsameren Einsatz. Damit werden zugleich die durch die Energieerzeugung und den -verbrauch bedingten Umweltbelastungen verringert.“

Wärmeschutzverordnung (1977 bis 2002)

Die „Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz bei Gebäuden (Wärmeschutzverordnung – WärmeschutzV)“ wurde am 11.08.1977 als erste Verordnung auf Grundlage des EnEG erlassen. In Deutschland gab es bis dahin keine öffentlich-rechtlichen Vorschriften für den energiesparenden Wärmeschutz von Gebäuden, sondern lediglich das diesbezügliche Regelwerk DIN 4108.

Sie wurde zweimal novelliert (1984 und 1995) und am 1.02.2002 durch die Energieeinsparverordnung (EnEV) abgelöst.

Heizungsanlagen-Verordnung (1978 bis 2002)

Diese „Verordnung über energiesparende Anforderungen an heizungstechnische Anlagen und Brauchwasseranlagen (Heizungsan-

lagen-Verordnung – HeizAnIV)“ wurde ebenfalls auf Grundlage des EnEG erlassen. Sie stellte Anforderungen an die Ausstattung und Auslegung von Zentralheizungen mit Wasser als Wärmeträger sowie an Warmwasseranlagen. Die HeizAnIV trat erstmals am 1.10.1978 in Kraft und wurde insgesamt viermal novelliert. Sie ging am 1.02.2002 in die EnEV über.

Energieeinsparverordnung (2002 bis 2020)

„Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden“, das war der exakte Titel der Energieeinsparverordnung, abgekürzt EnEV, die als Zusammenführung von Wärmeschutz- und Heizungsanlagenverordnung ab dem Jahr 2002 die energetischen Mindeststandards für Wohn- und Nichtwohngebäude vorgab.

Die 1. Fassung EnEV 2002 wurde aus formalen Gründen durch die EnEV 2004 ersetzt und am 1.10.2007 durch die EnEV 2007 abgelöst. Das war wegen der Umsetzung der EU-Gebäuderichtlinie über die „Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden“ (EPBD – Energy Performance of Buildings Directive) vom 16.12.2002 notwendig geworden. Die energetischen Mindeststandards für Wohngebäude oder Zentralheizungen blieben dabei jeweils unverändert. Erst mit Inkrafttreten der EnEV 2009 zum 1.10.2009 wurden die Anforderungen an Neubauten erhöht; gegenüber dem Jahr 2002 bedeutete das eine erste Senkung des Energiebedarfs um rund 30 %.

Die EU-Gebäuderichtlinie wurde im Jahr 2010 an die veränderten Klimaschutzbedingungen angepasst und trat am 8.07.2010 als Richtlinie 1010/31EU in Kraft. Diese Neufassung mit verschärften Anforderungen an die Wohn- und Nichtwohngebäude sollte in den Mitgliedsstaaten bis zum Jahr 2012 umgesetzt werden; in Deutschland geschah das allerdings erst mit der EnEV 2014. Sie war seit dem 1.05.2014 in Kraft und erhöhte die Anforderungen an die Energieeffizienz von Gebäuden im Vergleich zur EnEV 2009 erst mit Wirkung zum 1.01.2016 um 25 % – sie wurde unverändert ins neue GEG integriert.

Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (bis 2020)

Das „Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien (EE) im Wärmebereich – Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG)“ trat am 1.01.2009 in Kraft und wurde im Jahr 2015 novelliert. Es betraf ausschließlich Neubauten (Ø etwa 250.000 pro Jahr).

Zweck des EEWärmeG war es, im Interesse des Klimaschutzes, der Minderung der Abhängigkeit von Energieimporten und der Schonung fossiler Ressourcen den Ausbau erneuerbarer Energien im Wärmebereich voranzutreiben: Es sollte den Anteil der erneuerbaren Energien am Endenergieverbrauch für Wärme (und Kälte) bis zum Jahr 2020 auf 14 % steigern. Laut Umweltbundesamt wurde dieses Ziel gerade so erreicht, durch den Brennstoff Holz – und die fünf wärmsten Jahre (2015 bis 2019) in der Geschichte.

Zur Erfüllung des Gesetzes waren die Auswahlmöglichkeiten vielfältig: Bei Einsatz einer Kollektoranlage mussten 15 % des auf EnEV-Grundlage berechneten Gebäudewärmebedarfs erneuerbar gedeckt werden. Bei der Nutzung von Biomasse (z.B. Pellets oder Stückholz) waren es wie beim Einsatz von Geothermie (z.B. Wärmepumpe) 50 %. Wer keine erneuerbaren Energien nutzen wollte, konnte unter verschiedenen Ersatzmaßnahmen wählen. Sie bestanden z.B. in einer, über die Mindestanforderung der EnEV hinausgehenden, Wärmedämmung einzelner Bauteile. Zitat: „Bei der Ausgestaltung des Gesetzes wurde darauf geachtet, dass es jedem Gebäudeeigentümer möglich ist, individuelle, maßgeschneiderte und auch kostengünstige Lösungen zu finden.“

Auch das EEWärmeG wurde im Jahr 2020 unverändert in das GEG integriert.

Das EEWärmeG traf keine Vorgaben für den Altbaubestand, immerhin betrifft das mit gut 19 Millionen Gebäuden das fast 80-fache der jährlichen Neubauten. Es erlaubte aber den Bundesländern, Nutzungspflichten für erneuerbare Energien festzulegen. 2009 wurde hier Baden-Württemberg aktiv und erlies das EEWärmeG BW, das Erneuerbare-Wärmegesetz Baden-Württemberg. Nur hier sind bisher deutschlandweit alle Gebäudeei-

gentümer (private wie öffentliche) verpflichtet, beim Ersatz einer Wärmeerzeugungsanlage (z.B. eines Heizöl- oder Erdgaskessels) im Altbaubestand 15 % des Wärmebedarfs für Raumwärme und Warmwasser aus erneuerbaren Energien bereitzustellen, wobei ebenfalls Ersatzmaßnahmen zulässig sind.

Gebäudeenergiegesetz (GEG)

Das „Gesetz zur Einsparung von Energie und zur Nutzung erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung in Gebäuden (Gebäudeenergiegesetz – GEG)“ ist das neue Gesetz zur Vereinheitlichung des Energiesparrechts für Gebäude.

Während EnEG, EnEV und EEWärmeG bis 2020 teils seit langem unverändert galten und dabei den Klimaschutzanforderungen nicht mehr gerecht wurden, hatte die EU schon reagiert. Die EU-Gebäuderichtlinie von 2010 wurde erneut novelliert und trat als Richtlinie 2018/844 am 9.07.2018 in Kraft. Sie setzte die Energie-Standards für Gebäude bis zum Jahr 2030: So fordert sie die Festlegung des energetischen Standards eines Niedrigstenergiegebäudes für Neubauten (von allen EU-Ländern spätestens im Jahr 2020 in nationales Recht umzusetzen).

Durch diese europäische Richtlinie wurde die Bundesregierung dazu gezwungen, das deutsche Energiesparrecht für Gebäude strukturell neu zu konzipieren und zu vereinheitlichen. Das Ziel der Zusammenlegung im GEG war es zudem, die bisherigen Diskrepanzen der alten Regelungen zu beheben und dadurch die Anwendung und den Vollzug des Energiesparrechts zu erleichtern.



Im Gebäudeenergiegesetz GEG wurden das EnEG, die EnEV und das EEWärmeG formal zusammengeführt – allerdings ohne Verschärfungen der (überholten) Energiestandards.

Entwicklung und Ergebnis

Das GEG wurde bereits 2014 angekündigt. Der erste Entwurf wurde im Januar 2017 vorgelegt mit dem Ziel, zum 1.01.2018 als Gesetz in Kraft zu treten. Er sah vor, das Niedrigstenergiegebäude für ab 2019 zu errichtende Nichtwohngebäude der öffentlichen

Hand etwa auf das Niveau eines KfW-Effizienzhaus 55 festzuschreiben (→ S. 159). Dieser Standard sollte dann in einer zweiten Stufe „rechtzeitig vor 2021“ auch für private Neubauten vorgeschrieben werden. Wegen großer Bedenken zur Wirtschaftlichkeit wurde der Entwurf wieder zurückgezogen. Erst Ende 2018 lag dann ein neuer Entwurf mit über 110 Paragraphen und zehn Anlagen vor (siehe auch DENEFF-Stellungnahme).

Nach geringfügigen, meist nur formalen Anpassungen ist das GEG seit 2020 die neue (bzw. alte) gesetzliche Grundlage. Für alle am Bau Beteiligten ergibt sich daraus: Die energetischen Anforderungen an Neubauten sind (bis auf Kleinigkeiten, die nur Fachleute interessieren) im GEG gegenüber der EnEV 2014/2016 unverändert geblieben. Die EnEV-Paragraphen wurden – genauso wie die Paragraphen aus EnEG und EEWärmeG – nur in neue GEG-Paragraphen überführt. Aus Sicht des Klimaschutzes ein Trauerspiel.

DENEFF-Stellungnahme

In ihrer Stellungnahme zum GEG hat die Deutsche Unternehmensinitiative Energieeffizienz (DENEFF) e.V. aus Berlin Anfang 2019 festgestellt, dass eine hohe Energieeffizienz in Gebäuden unverzichtbar wäre, um Treibhausgasemissionen und Energieimportabhängigkeiten nachhaltig und wirtschaftlich zu vermindern. Vom im Jahr 2010 formulierten Ziel der Bundesregierung, „... ab dem Jahr 2020 soll die Wärmeversorgung von Neubauten möglichst weitgehend unabhängig von fossilen Energieträgern sein ... und es wird das Niveau ‚klimaneutrales Gebäude‘ ... eingeführt“, wären wir zehn Jahre später allerdings noch weit entfernt.

Die DENEFF wies auch darauf hin, dass sich alle Versuche, die Ziele der Energieeffizienz als unvereinbar mit der Bezahlbarkeit von Bauen und Wohnen darzustellen, als überzogen herausgestellt haben. Viele Studien und Projekte hätten gezeigt, dass Energieeffizienz nicht der zentrale Kostentreiber ist. Bei Betrachtung aller Gestehungskosten läge die Kostensteigerung durch energetische Anforderungen für den Neubau seit dem Jahr 2000 bei gerade einmal 3 %.

Hingegen hätten sich die Kaufwerte für baureifes Land im selben Zeitraum mehr als verdoppelt und seien allein vom Jahr 2015 auf 2016 um 8 % gestiegen; und nachfragebedingt seien die Arbeitskosten für Handwerkerleistungen seit 2008 um 24 % gestiegen! Das immer teurer werdende Bauen hätte seine Ursache also in den massiv steigenden Bauland- und Handwerkerpreisen – und keineswegs, wie von interessierten Lobbykreisen vorgetragen, in erhöhten gesetzlichen Anforderungen an die Energieeffizienz.

Dabei helfe diese umgekehrt, Energiearmut einzudämmen. Sie mache Verbraucher unempfindlicher gegen Energiepreisschocks, reduziere die Kosten des Umbaus der Energieinfrastruktur und sei mit einer Reihe von Zusatznutzen wie Lärmschutz oder Komfortgewinn verbunden, nicht mit Nutzungseinschränkungen. Neubau und Sanierung seien zudem arbeitsintensiv, steigerten die Nachfrage nach heimischen Dienstleistungen und Energiesparprodukten. Somit verbänden sich mit der Erreichung der Energiewendeziele große Chancen für die Sicherung von Wohlstand, Beschäftigung und Stabilität. Daraus hätte die EU mit dem Grundsatz „Efficiency First“ anerkannt, dass die Senkung des Energieverbrauchs der Schlüssel zum wirtschaftlichen Erfolg der Energiewende ist.

Energiewende?

Sie findet seit gut 30 Jahren nur im Elektrizitätsbereich als Stromwende statt. Die so dringend erforderliche Wärmewende dagegen findet – politisch gewollt? – nicht statt. Das belegen Zahlen des Bundesumweltamtes aus dem Jahr 2018: Der Anteil der erneuerbaren Energien am deutschen Bruttostromverbrauch erreichte 37,8 %. Dagegen betrug ihr Anteil am Wärmeverbrauch nur 13,9 % (und im Verkehr lag er bei nur 5,6 %). Insgesamt lag damit der Anteil der erneuerbaren Energien am Endenergiebedarf über alle Sektoren hinweg bei nur 16,6 %, wobei die Erneuerbaren gerade im Jahr 2018 von günstigen klimatischen Bedingungen profitierten: Neben der hohen Sonneneinstrahlung sorgte die milde Witterung besonders im Winter auch für einen sinkenden Energieverbrauch.

Während der Stromanteil durch den weiteren Zubau an Fotovoltaik- und Windkraftanlagen von 2014 bis 2018, gefördert über das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG), um 10 % gestiegen war, sank der Anteil an den erneuerbaren Energien (z.B. Pellets, Biogas, Hackschnitzel, Solarthermie-Anlagen oder Wärmepumpen) am Wärmeverbrauch, trotz EEWärmeG, seit 2012 von 14,2 % auf 13,9 %, vor allem wegen der warmen Jahre.

Das zeigt, die Energiewende ist bisher eine Stromwende, die Wärmewende lässt dagegen weiter auf sich warten. Und es ist nach wie vor kaum politischer Wille zu erkennen, daran etwas Grundlegendes zu ändern. Das manifestiert sich im Ende September 2019

beschlossenen „Klimapaket“, das bei Gebäuden auf Maßnahmen setzt wie die obligatorische Energieberatung bei Eigentümerwechsel, ein Verbot neuer Ölheizungen ab 2026, die steuerliche Förderung von energetischen Sanierungsmaßnahmen oder eine (deutlich zu niedrige) CO₂-Bepreisung ab 2021.

Zwar hat die Politik beim GEG wie beim Klimapaket bisher (noch) versagt, doch das ignorieren Sie bei Ihrem Neubau oder Ihrer Sanierung, indem Sie u.a. einfach über die gesetzlichen Mindestanforderungen hinausgehen. Und setzen Sie für die Wärmewende nicht allein auf die erneuerbaren Energien, sondern auch auf die Energieeffizienz – u.a. durch eine sehr gute Wärmedämmung.

10.2 Energetische Gebäudeplanung

Wie hoch der Wärmebedarf eines Gebäudes auch ist, ob 15, 70, 150 oder deutlich mehr kWh/(m²a), immer ergibt er sich aus einer Bilanzierung der Wärmeverluste mit den Wärmegewinnen.

T = Transmissionswärmeverluste

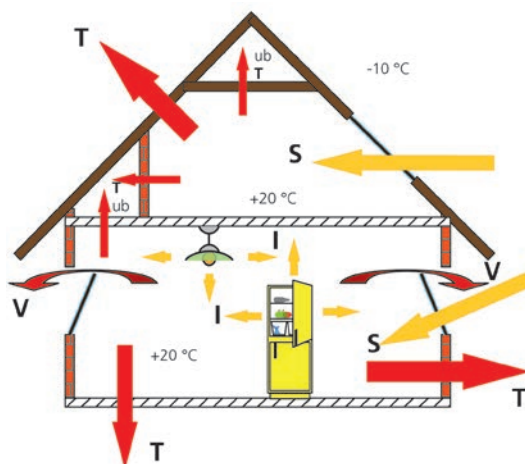
Sie entstehen wegen der Wärmeleitung durch alle Gebäudeteile (Wände, Fenster, Decken, Dächer, Boden) aus dem beheizten Bereich zu allen kälteren Bereichen (wie ub = unbeheizte Nebenräume, Erdreich und Außenluft).

V = Lüftungswärmeverluste (Ventilation)

Sie entstehen beim Luftaustausch durch alle undichten und zu öffnenden Gebäudeteile (Türen, Fenster) sowie Lüftungssysteme vom beheizten zu allen kälteren Bereichen.

I = Interne Wärmegewinne

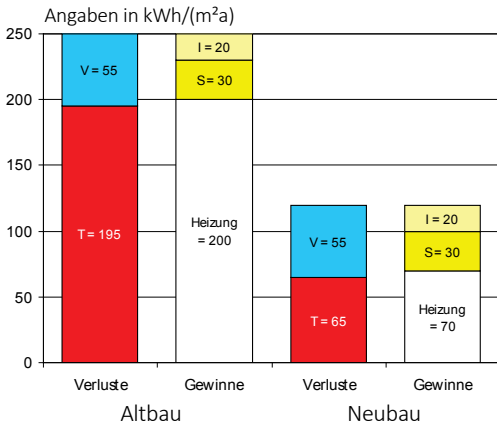
Sie entstehen durch die Nutzung im Gebäude, also durch Kochen und Warmwasserverbrauch, durch die Nutzung von Elektrogeräten wie Kühlschrank, Herd, Beleuchtung, Computer usw., aber auch durch die Bewohner/Nutzer selbst. So gibt z.B. gibt ein erwachsener Mensch stündlich je nach Tätigkeit eine Wärmeleistung von 60 - 100 W ab.



S = Solare Wärmegewinne

Sie entstehen nur bei Sonneneinstrahlung durch alle transparenten Flächen, vor allem also durch die Fensterverglasung.

Die Wärmeverluste werden um die internen und solaren Wärmegevinne reduziert. Der verbleibende Wärme„gewinn“ eines Gebäudes ist der erforderliche Heizwärmebedarf, der durch eine Heizungsanlage „gewonnen“ werden muss. Dazu ein Beispiel.



Die Transmissionswärmeverluste betragen beim Altbau wegen fehlender Wärmedämmung 195 kWh/(m²a) (= 78 %), die Lüftungswärmeverluste liegen wegen der Fensterlüf-

tung bei 55 kWh/(m²a) (= 22 %). Die internen Gewinne liegen mit 8 % bei 20, die solaren Wärmegevinne mit 12 % bei 30 kWh/(m²a). Damit verbleibt ein „Restgewinn“ des Altbaus für die notwendige Heizungsanlage von 200 kWh/(m²a) bzw. 80 % Jahres-Heizwärmebedarf.

Würde nun das Gebäude auf GEG-Niveau (EnEV 2014) saniert oder neu gebaut, verringern sich die Transmissionswärmeverluste spürbar – wegen der Wärmedämmung in diesem Beispiel auf nur noch 65 kWh/(m²a). Das ist ein Anteil von 54 % an den gesamten Wärmeverlusten. Die restlichen 46 % bzw. 55 kWh/(m²a) sind die relativ gesehen klar anwachsenden, absolut aber unveränderten Lüftungswärmeverluste.

Nach Abzug der ebenfalls unveränderten Wärmegevinne (gleicher Gebäudestandort) verbleibt ein jährlicher Heizwärmebedarf von nur noch 70 kWh/(m²a). Das Ergebnis entspricht zwar dem GEG, es ist aber vom Ziel oder dem Niveau eines klimaneutralen Gebäudes noch weit entfernt.

10.2.1 Standortplanung

Bevor ein Gebäude errichtet werden kann, wird es erst einmal in Bezug auf den vorgesehenen Standort geplant. Die Aufgabe besteht hier in der Anpassung und energetischen Optimierung an die örtlichen Verhältnisse. [8]

Noch vor den eigentlichen Baumaßnahmen wirken sich die Festsetzungen im Bebauungsplan auf den künftigen Heizwärme- bzw. Heizenergiebedarf eines Gebäudes aus.

So können Festsetzungen über die Gebäudegeometrie [Bauweise, Geschosszahl, First- und Traufhöhe, Dachform, GFZ (Geschossflächenzahl), GRZ (Grundflächenzahl), Art und Größe der zulässigen Dachaufbauten] den spezifischen Wärmeverlust des Gebäudes beeinflussen – in einer Spannweite von bis zu 60 kWh/(m²a).

Der Wärmegevinne durch aktive und vor allem passive Sonnenenergienutzung wird ebenfalls überwiegend durch Festsetzungen wie Höhenentwicklung und Dachform der

Gebäude, Stellung der Gebäude und ihre, über die überbaubare Grundstücksfläche bestimmte, Lage zueinander sowie die festgesetzten Pflanzgebote beeinflusst.

Ungünstige Orientierung und Verschattung durch Nachbargebäude und Bäume können einen möglichen passiven Solargewinne mehr als halbieren und so den Heizwärmebedarf um mehr als 20 % erhöhen. Für aktive Solarsysteme (Kollektoren und Fotovoltaik) ist außerdem die Dachneigung von großer Bedeutung. Ungünstige Ausrichtung und Verschattung von Dachflächen vermindern die Energieausbeute spürbar.



Zur weiteren Senkung des Jahres-Heizwärmebedarfs sind zwei prinzipiell unterschiedliche Ansätze möglich.

1. Das sog. Prinzip der Verlustminimierung versucht, neben dem sehr guten Wärmeschutz die Wärmeverluste auch durch kompakte Baukörper zu minimieren.

2. Das Prinzip der Gewinnmaximierung dagegen setzt auf möglichst hohe solare Gewinne über eine Maximierung aller nach Süden ausgerichteten Fassadenanteile, also der Fensterflächen.

Welches Prinzip bzw. welche Kombination beider Prinzipien im Einzelfall erfolgreicher ist, wird durch äußere Randbedingungen wie Klima, Grundstückssituation, Bebauungsdichte usw. bestimmt.

Maßnahmen zur Minimierung der Wärmeverluste bzw. zur Maximierung der solaren Gewinne stehen oft in Konkurrenz. So wird z.B. eine Reduzierung der Gebäudehöhe zwar die Verschattungswirkung auf Nachbargebäude vermindern, dort also zu höheren Solargewinnen führen. Die gleiche Maßnahme kann aber auch, durch eine geringe-

re Kompaktheit, den spezifischen Wärmeverlust des Gebäudes erhöhen.

Deshalb ist eine Optimierung sowohl auf die Solargewinne als auch auf die Wärmeverluste erforderlich!

Eine einseitige Auslegung oder Optimierung der Planung allein auf hohe solare Gewinne oder niedrige Wärmeverluste birgt die Gefahr, dass sich die gewünschte Reduzierung des Heizwärmebedarfs nicht einstellt – oder sogar eine Erhöhung eintritt.

Energetisch optimieren heißt immer, beide Faktoren im Hinblick auf die resultierende Heizwärmebilanz so gut wie möglich abzustimmen. Die nun folgenden Empfehlungen sollten es Ihnen ermöglichen, konzeptionelle Entscheidungen in ihrer energetischen Bedeutung richtig einschätzen zu können.

10.2.2 Kompaktheit (A/V-Verhältnis)

Unabhängig vom Dämmstandard verlieren Gebäude durch ihre Hüllfläche Wärme an die Umgebung. Damit ist die Minimierung der Wärme übertragenden Hüllflächen im Verhältnis zu der davon eingeschlossenen Wohn(Nutz)fläche, d.h. die Beeinflussung der Kompaktheit von Gebäuden, erstes Ziel.

Je kleiner die wärmeübertragende Hüllfläche A im Verhältnis zur Nutzfläche, oder vereinfacht zum Gebäudevolumen V wird (A/V), desto weniger Wärme verliert ein Gebäude – eine gleichbleibende Wärmedämmung vorausgesetzt – bezogen auf seine Nutzfläche bzw. sein Volumen. Der Wärmeverlust nimmt also ab.

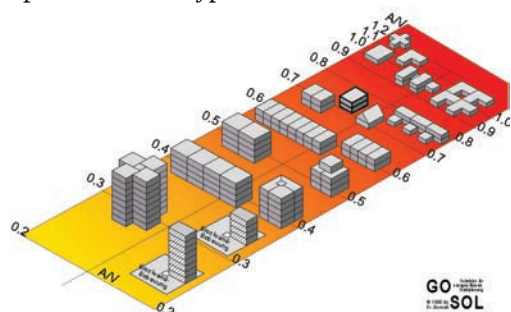
! Planungsziel ist, bei einem gleichbleibenden Volumen die Außenflächen eines Gebäudes zu verkleinern. Je kleiner das A/V -Verhältnis geplant wird, desto geringer ist i.d.R. der Heizwärmebedarf.

Das A/V -Verhältnis gilt vereinfacht als das „Maß für die Kompaktheit“ eines jeden Baukörpers.

Bauform/Gebäudetyp

Für das A/V -Verhältnis ist zuerst die Bauform (Gebäudetypologie) wichtig. Für jede mögli-

che Bauform ergibt sich innerhalb der vom jeweiligen Baukörpervolumen bestimmten Spannweite ein typisches A/V -Verhältnis.



A/V -Werte der verschiedenen Bauformen reichen dabei von 0,20 bei einem mehrgeschossigen Hochhaus bis zu 1,2 bei einem eingeschossigen Winkelbungalow. Verdichtete Bauformen haben grundsätzlich günstigere A/V -Verhältnisse. Die Wahl der Bauform ist somit die wesentlichste Weichenstellung für den Heizwärmebedarf.

Je größer also die wärmeübertragende Außenoberfläche eines Gebäudes bei vorgegebenem Nutzvolumen bzw. geplanter beheizter Nutzfläche ist, umso höher werden die Wärmeverluste. Eine gute Planung vermeidet deshalb nicht wirklich notwendige An-, Auf- oder Vorbauten.

Je kompakter das Gebäude geplant wird, desto geringer ist nicht nur der Energieverbrauch. Auch die Herstellungskosten sinken. Was also bringen z.B. Planung und Bau eines Erkers?



Für manche eine Steigerung der äußeren Ästhetik. Obwohl sich bekanntlich über Geschmack streiten lässt. In den meisten Fällen verursachen solche Konstruktionen aber mit Sicherheit einen deutlich höheren Aufwand sowohl in der Ausführung als auch bei den Kosten – und das ohne jeden zählbaren Gewinn an Wohnfläche! Dafür wächst durch das größere A/V-Verhältnis der zukünftige Energieverbrauch.

Länge der Baukörper

Das A/V-Verhältnis nimmt – bei unverändertem Baukörperquerschnitt – mit zunehmender Länge des Gebäudes oder der Hausgruppe ab. Dabei treten Schwellenwerte auf. Besonders bei mehrgeschossigen Gebäuden ist beim Unterschreiten einer Gebäude-/Zeilenlänge von etwa 20 bis 30 m ein überproportional starker Anstieg des A/V-Verhältnisses zu verzeichnen. Dagegen verliert sich dieser Einfluss zunehmend bei Gebäude-/Zeilenlängen von mehr als 50 m.

Die Gebäude-/Zeilenlänge sollte aus energetischen Gesichtspunkten bei zweigeschossigen Gebäuden ca. 20 m, bei mehrgeschossigen Gebäuden etwa 30 m nicht unterschreiten. Die Erhöhung der Länge des Baukörpers über 50 m hinaus ist dagegen energetisch kaum noch wirksam.

Tiefe der Baukörper

Mit zunehmender Baukörpertiefe verbessert sich die Kompaktheit. Mit einer abnehmenden Baukörpertiefe steigt das A/V-Verhältnis überproportional an.

Die Baukörpertiefe beeinflusst auch die Möglichkeiten zur passiven Sonnenenergienutzung. Bei Gebäuden mit einer geringen Tiefe (< 7 m) können alle Aufenthaltsräume zur Sonne ausgerichtet werden. Die damit potenziell höheren Solargewinne können jedoch die aufgrund der geringen Baukörpertiefe erhöhten Wärmeverluste meist nicht kompensieren, sodass insgesamt der Heizwärmebedarf mit abnehmender Baukörpertiefe ansteigt, da das zu einem ungünstigen A/V-Verhältnis führt. Die Gebäudetiefe sollte deshalb 10 m nicht unterschreiten, wobei jedoch für eine ausreichende natürliche Belichtung gesorgt werden muss.

Anzahl der Geschosse

Das A/V-Verhältnis wird mit steigender Anzahl der Vollgeschosse günstiger.

So ist beim Übergang von einem auf zwei Vollgeschosse ein sehr starker und beim Übergang von zwei auf drei Vollgeschosse ein starker Rückgang des A/V-Verhältnisses zu verzeichnen. Dagegen schwindet der Einfluss der Geschosszahl auf das A/V-Verhältnis bei mehr als sechs Geschossen zunehmend. Ab dem 4. bzw. 5. Geschoss werden zusätzliche technische Einrichtungen (Aufzug) notwendig, die den Energieverbrauch, den Wohnflächenanteil und die Baukosten ungünstig beeinflussen.

Bei weniger als zwei bis drei Vollgeschossen ist ein sehr deutlicher Anstieg des A/V-Verhältnisses und damit des Heizwärmebedarfs feststellbar. Eingeschossige Bauformen sind deshalb zu vermeiden.

Dachform und Neigung

Zwischen A/V-Verhältnis und der „realen Kompaktheit“ sind oft gegenläufige Tendenzen feststellbar, da ein großer Luftraum im Dachgeschoss zwar das Gebäude-Volumen erhöht, nicht aber die nutzbare Wohnfläche.



Bei der Beurteilung der Dachausformung von Gebäuden ist deshalb das A/V-Verhältnis unbrauchbar. Im Gegenteil, es führt hier sogar zu klaren Fehlbewertungen der Kompaktheit und daher zu Fehloptimierungen.

Da der spezifische Heizwärmebedarf auf die Wohnfläche (WF) bezogen werden muss, ist für die Beurteilung der energetischen Wirkung der Dachausformung das Hüllflächen/Wohnflächen-Verhältnis A/WF bzw. der wohnflächenspezifische Wärmeverlust entscheidend. Dieses wird bei Dachräumen wesentlich beeinflusst von der

- Dachform
- Dachneigung (bzw. Firsthöhe)
- Kniestockhöhe (bzw. Traufhöhe)
- Baukörpertiefe.

In Abstimmung mit der Kniestockhöhe ist auch im Dachgeschoss ein günstiges A/V -Verhältnis zu realisieren. Statt z.B. Gauben sind flachere Dachneigungen anzustreben.

10.2.3 Potenziale solarer Gewinne

Die wesentlichen Rahmenbedingungen für (passiv)solare Gewinne sind:

- Orientierung bzw. Stellung der Gebäude
- Verschattung durch Nachbargebäude
- Verschattung durch Vegetation
- Verschattung durch die Topographie (in besonderen Fällen) sowie
- Standortklima und geografische Breite.

Gebäudeausrichtung

Die Ausrichtung eines Fensters bestimmt maßgeblich dessen Solareinstrahlung während der Heizperiode. So empfängt ein Ost- oder Westfenster nur etwa 60 %, ein Nordfenster nur etwa 40 % der Einstrahlung eines nach Süden ausgerichteten Fensters.

Bis zu einer Südabweichung von $\pm 25^\circ$ ist der solare Verlust mit weniger als 5 % als gering einzustufen. Ab 30° Südabweichung entstehen bis zu einer exakten Ost-West-Orientierung progressiv zunehmende solare Verluste.

Da sich bei Gebäuden mit der Drehung die Solareinstrahlung auf einer Fassade zwar verringert, auf der gegenüberliegenden Fassade jedoch erhöht, ist der Einfluss der Südabweichung auf die Solargewinne hier geringer als bei einem einzelnen Fenster. Die solaren Verluste erreichen dann bei 25° Südabweichung max. 3 % und bei 45° etwa 8 %. Bei Ost-West-Ausrichtung sind dann auch hier knapp 30 % in Kauf zu nehmen.

Der Einfluss der Orientierung auf die Solargewinne eines Gebäudes wird von der Stellung und Größe der einzelnen, auf die verschiedenen Fassaden verteilten Fensterflächen bestimmt, ist also vom Gebäudetyp abhängig. Die durch ungünstige Orientie-

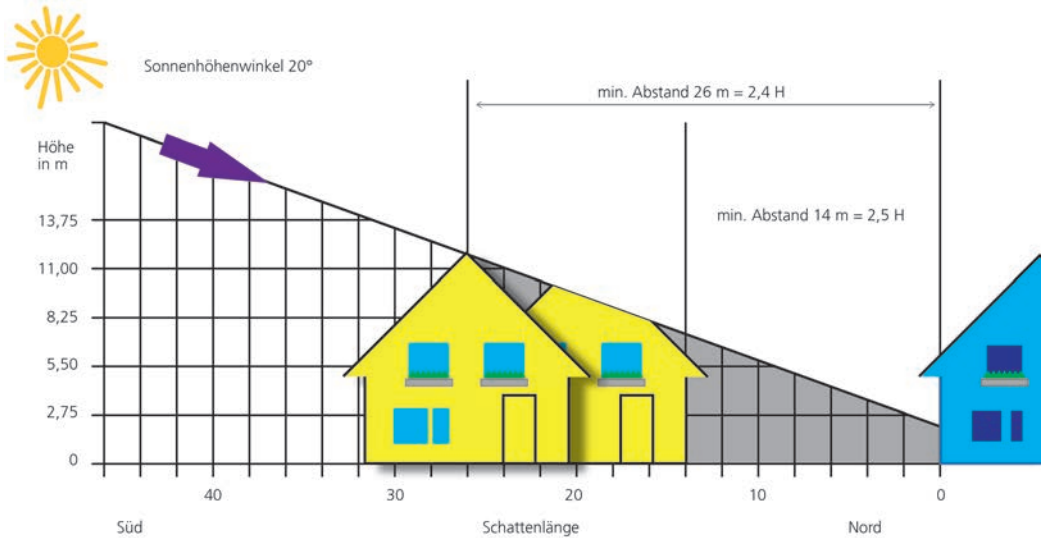
rung verursachten solaren Verluste liegen bei maximal 30 %. Gebäude sollten nicht überwiegend ost-west orientiert sein (nach Westen ausgerichtete Fensterflächen können ohne Sonnenschutz zu einer Überhitzung in der Übergangszeit und im Sommer führen).

Verschattung durch Nachbargebäude

Neben ungünstiger Orientierung wird das verfügbare passiv-solare Potenzial durch die gegenseitige Verschattung der Gebäude reduziert. Je nach Bauweise und Fensteranordnung sollten die Hauptfassaden von Gebäuden zu den schattenwerfenden Kanten einen Abstand von etwa der 2- bis 3-fachen Gebäudehöhe haben (Verschattungswinkel von ca. 18 bis 24°). Beträgt der Abstand zum Nachbargebäude mehr als das Dreifache seiner Höhe, ist nur mit einer geringen Verschattungswirkung zu rechnen.

Unterschreitet der Abstand zum Nachbargebäude das Doppelte dessen Höhe (normal in städtischen Baugebieten), so steigt die Verschattungswirkung progressiv an. Diese ist abhängig vom Verhältnis zwischen dem Abstand A und der Höhendifferenz H (siehe Grafik), jeweils von der schattenwerfenden Kante aus, zum Fußpunkt der Solarfassade bzw. zum jeweiligen Fenster. Dieses Verhältnis lässt sich auch als Verschattungswinkel = $\arctan(H/A)$ ausdrücken.

Auch nordorientierte Fensterflächen bleiben wegen der Verminderung der Diffuseinstrahlung von verschattungsbedingten solaren Verlusten zwar nicht verschont. Sie fallen jedoch absolut gesehen im Vergleich mit südorientierten Fensterflächen deutlich geringer aus.



Bei den südwest- bis südostausgerichteten Fenstern sind höhere Anforderungen an die Verschattungsfreiheit zu stellen als bei den nach Westen, Norden oder Osten orientierten Fenstern.

Gerade bei dichter Bebauung führt die gegenseitige Verschattung von Gebäuden während der Heizperiode zu einer messbaren Reduzierung der Sonneneinstrahlung und somit der passiv-solaren Wärmegewinne. Der verursachte solare Verlust kann 35 % erreichen!

Verschattung durch Vegetation

Während die Verschattungswirkung von Nadelbäumen offensichtlich ist, wird die Verschattungswirkung von laubabwerfenden Bäumen oft unterschätzt. Es wird nicht beachtet, dass die Belaubungszeiträume mit den Zeiten hoher Solargewinne übereinstimmen und damit weit in die Heizperiode hineinreichen. Gerade im Herbst können zu dicht vor Fassaden platzierte Laubbäume Solargewinne fast völlig verhindern und sowohl zu einem früheren Beginn der Heizperiode als auch insgesamt zu einem deutlich erhöhten Heizwärmebedarf führen.

Die Verschattungswirkung von Bäumen hängt von vielen Faktoren ab, z.B. von

- der Lage (Himmelsrichtung) der Bäume zur Solarfassade;

- dem Abstand des Baums zur Solarfassade im Verhältnis zur Baumhöhe;
- der Höhe der Solarfassade im Verhältnis zur Baumhöhe;
- der Dichte der Bäume innerhalb einer Baumreihe, Allee oder Pflanzung;
- der Anzahl der hintereinander stehenden Bäume;
- der Baumart;
- dem Zeitpunkt des Blattabwurfs;
- der Dichte des Geästes;
- der Dichte des Laubwerks während der Vegetationsperiode;
- dem Zeitpunkt des Blattaustriebs.

Auch Einzelbäume können erhebliche solare Verluste bei direkt verschatteten Fassaden verursachen. Die durch Laubbäume verursachten Verluste erreichen mittelfristig bis zu 40 %. Eine effektive passive Sonnenenergienutzung und ein sommerlicher Sonnenschutz von Fenstern durch laubabwerfende Bäume schließen sich aus, da die Einstrahlung nicht den wechselnden Bedürfnissen und Erfordernissen angepasst „geregelt“ werden kann.

Einzelbäume sind so anzuordnen, dass vom Baum aus in Richtung NW-N-NO ein Mindestabstand mit der 1,5-fachen Kronenhöhe zu dem Gebäude eingehalten wird. Ist die Baumhöhe im Verhältnis zur Fassadenhöhe doppelt so hoch, sollte der Abstand auf

die 2-fache, bei der dreifachen Höhe auf die 2,5-fache Kronenhöhe erweitert werden.

Südlich vor einer Fassade angeordnete Bäume vermindern die absolute Solareinstrahlung gegenüber nördlich einer Fassade im selben Abstand angeordneten Bäumen fast um das Dreifache. Bäume sollten – falls überhaupt im Hinblick auf die Algenbildung (→ S. 72) – deshalb grundsätzlich nördlich, östlich oder westlich von den Fassaden gepflanzt werden.

Stehen mehr als drei Bäume direkt hintereinander, ist das Geäst für die direkte Sonneneinstrahlung nicht mehr nennenswert durchlässig.

Aktive Sonnenenergienutzung

Die Höhe des Solarenergiegewinns durch eine Kollektor- oder eine Fotovoltaikanlage ist stark abhängig von der Neigung und Aus-

richtung sowie der Verschattung der Aufstellfläche (z.B. Dach). Am günstigsten zur optimalen Nutzung von Solaranlagen sind Dächer mit etwa 35° Neigung bei Südwest- bis Südost-Ausrichtung.

Tageslichtnutzung

Mit zunehmender Gebäudetiefe sinkt zwar der Heizwärmebedarf. Durch die im Verhältnis zur Geschossfläche kleiner werdende Fassadenfläche vermindern sich allerdings die mögliche Fensterfläche und damit der mögliche Wärmegewinn durch passive Solarenergie.

Zudem ist eine ausreichende Belichtung durch Tageslicht im Wohnbau nur bis zu einer Raumtiefe von ca. 5 bis 7 m möglich. Deshalb wird eine Planung von Gebäudetiefen in Abhängigkeit von der Tageslichtnutzung und den zur Verfügung stehenden Fensterflächen empfohlen.

10.3 KfW-Effizienzhaus-Standard

Für das KfW-Effizienzhaus gibt es verschiedene Standards, angegeben durch eine Kennzahl. Je kleiner die Kennzahl, desto geringer der Energiebedarf des Gebäudes – und desto höher die KfW-Förderung.

Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW)

Nach dem 2. Weltkrieg lag Deutschland in Trümmern und sollte wieder aufgebaut werden. Die Alliierten wollten zur Koordinierung und Finanzierung dieser riesigen Aufgabe eine zentrale Wiederaufbauinstitution errichten. Zugleich drängten sie auf eine Zerschlagung der deutschen Großbanken und auf die Errichtung eines dezentralen Bankensystems mit Landeszentralbanken. Und so wurde im Sommer 1948 in Frankfurt a.M. die Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) gegründet, um den deutschen Wiederaufbau mit Darlehen zu fördern.

Mitte der 1950er Jahre erhielt sie mit der Export- und Mittelstandsfinanzierung neue Aufgaben, die auch heute noch zum Kerngeschäft gehören. 1961 erhielt sie den gesetzli-

chen Auftrag zur Entwicklungszusammenarbeit sowie zur kommerziellen Projektfinanzierung. Die beiden Ölkrisen in den 1970er Jahren brachten erstmals Kreditprogramme zur Energieeinsparung und Innovationsförderung auf den Weg. Seit den 1980er Jahren entwickelte sich die Umwelt- und Klimaschutzförderung zu einem Schwerpunkt der KfW: So leistete das 1990 begonnene Wohnraummodernisierungsprogramm zugleich einen Beitrag zur Verbesserung der Umwelt, denn die Energieeinsparung durch Wärmedämmung und modernere Heizungstechnik war fast immer der wichtigste Teil der kreditfinanzierten Modernisierungen.

Mit der Jahrtausendwende wurde aus der Kreditanstalt für Wiederaufbau die KfW Bankengruppe. Sie startete 2006 im Auftrag der Bundesregierung die Förderinitiative ‚Wohnen, Umwelt, Wachstum‘, um durch die energetische Sanierung im Wohnungssektor den CO₂-Ausstoß zu verringern. Und so unterstützt die KfW (www.kfw.de) bis heute

u.a. Privatpersonen bei der energetischen Sanierung von Altbauten oder bei der Errichtung von besonders energieeffizienten Neubauten.

Sanierung KfW-Effizienzhaus-Standard

Bei der energetischen Sanierung fördert die Bank die Standards KfW-Effizienzhaus 40, 55, 70, 85, 100 und 115. Für denkmalgeschützte Gebäude oder Häuser mit besonders erhaltenswerter Bausubstanz gilt der Standard KfW-Effizienzhaus Denkmal.

Die Förderung besteht in einem sehr zinsgünstigen Darlehen ($\leq 1,00$ % Effektivzins) mit tilgungsfreien Anlaufjahren, aber auch über (Tilgungs-)Zuschüsse zwischen 12,5 % und 27,5 % der Darlehenssumme. Für die jeweilige Höhe ist der erreichte Standard maßgebend – je höher desto mehr.

Nachweisverfahren

Welchen Standard ein energetisch saniertes Haus oder ein Neubau erreicht, wird mit den beiden Referenzgrößen Jahres-Primärenergiebedarf Q_p und Transmissionswärmeverlust H_T nachgewiesen.

Beim Jahres-Primärenergiebedarf Q_p wird eine Wärmebilanz aufgestellt, in welche die Verluste der Anlagentechnik (u.a. Heizung, Lüftung, Warmwasser) ebenso eingehen wie der eingesetzte Energieträger (über den sog. Primärenergiefaktor f_p).

Beim Transmissionswärmeverlust H_T geht es um den Nachweis der Wärmeverluste der Gebäudehülle, also um die Qualität der Wärmedämmung sämtlicher Bauteile.

Für diese beiden Größen definiert das GEG Höchstwerte $Q_{p, REF}$ und $H_{T, REF}$, die ein vergleichbares Referenzgebäude in der Realität mindestens einhalten muss, besser aber jeweils unterschreitet, da es sich ja nur um Mindestanforderungen handelt. Ein KfW-Effizienzhaus 100 entspricht genau den Vor-

gaben des GEG. Ein KfW-Effizienzhaus 115 benötigt 15 % mehr Primärenergie als das Referenzgebäude, ein KfW-Effizienzhaus 85 nur 85 % der Energie des Referenzgebäudes bzw. 15 % weniger Primärenergie, ein KfW-Effizienzhaus 55 braucht 45 % und das Effizienzhaus 40 etwa 60 % weniger Primärenergie – was in etwa dem Passivhaus-Standard entspricht.

Das Referenzgebäude entspricht stets dem zu sanierenden oder geplanten Gebäude. Es hat die gleiche Geometrie, gleiche Baumaße, Gebäudenutzfläche und Ausrichtung. Die jeweils geltenden Angaben zur Ausführung und zur technischen Ausstattung des Referenzgebäudes sind im GEG festgelegt. Enthalten sind Angaben zu

- den U-Werten der Bauteile, die das beheizte oder gekühlte Bauvolumen umgeben, also zu Außenwand, Dach, Bodenplatte, Fenster oder Außentüren (siehe untere Tabelle mit Anhaltswerten).

- dem Wärmebrückenzuschlag für diese Außenbauteile.

- dem Bemessungswert für die Luftdichtheit der Gebäudehülle.

- den Regeln für die Berücksichtigung des Sonnenschutzes.

- der technischen Ausstattung für die Heizung, Bereitstellung des Warmwassers und die Lüftung.

Ist nun der Jahres-Primärenergiebedarf der geplanten Sanierung oder des Neubaus laut Berechnung gleich groß oder geringer als der Wert des Referenzgebäudes, ist der Nachweis gemäß GEG geführt.

Liegt er darüber, muss die Planung solange verbessert werden, bis der Wert des Referenzgebäudes erreicht ist. An welcher Stelle (Bauteil, Anlagensystem oder Energieträger) die energetischen Optimierungen vorgenommen werden, bleiben Baufrau oder Bauherr und Planer bzw. Architektin überlassen.

U-Werte in $W/(m^2K)$	Dach, Gaupe	Außenwand	Kellerdecke, Bodenplatte	Fenster	Kellertür, Außentür
KfW-Effizienzhaus 100	$U \leq 0,18$	$U \leq 0,24$	$U \leq 0,30$	$U_w \leq 1,30$	$U_D \leq 1,50$
KfW-Effizienzhaus 55	$U \leq 0,16$	$U \leq 0,19$	$U \leq 0,25$	$U_w \leq 0,90$	$U_D \leq 1,00$
Passivhaus-Standard	$U \leq 0,15$	$U \leq 0,15$	$U \leq 0,15$	$U_w \leq 0,80$	$U_D \leq 0,80$

Zur Berechnung des Jahres-Primärenergiebedarfs kann (noch) zwischen zwei Rechenverfahren gewählt werden, falls das Gebäude nicht gekühlt wird: Die Berechnung erfolgt entweder auf Grundlage der DIN V 18599 (Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Teil 1: Allgemeine Bilanzierungsverfahren, Begriffe, Zonierung und Bewertung der Energieträger) oder (noch) gemäß DIN 4108.

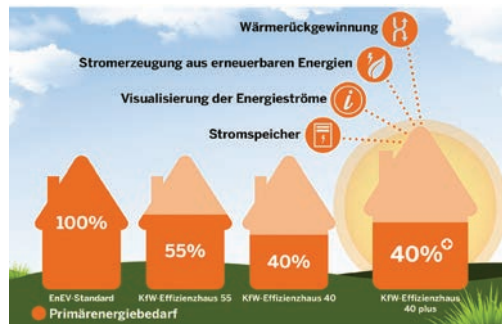
Soll das Wohngebäude klimatisiert (also gekühlt) werden, ist die DIN V 18599 auf jeden Fall anzuwenden, mit der bereits seit dem Jahr 2007 sämtliche Nichtwohngebäude berechnet werden müssen.

Neubau KfW-Effizienzhaus-Standard

Beim Neubau fördert die Bank nur die Standards KfW-Effizienzhaus 55, 40 und 40 Plus.

Auch hier gibt es besonders zinsgünstige Darlehen sowie (Tilgungs-)Zuschüsse.

Beim Standard 40 Plus ist neben den Anforderungen, die an ein KfW-Effizienzhaus 40 gestellt werden, noch ein Plus Paket mit zusätzlichen Anforderungen zu realisieren. Neben der eigentlich ohnehin notwendigen, kontrollierten Lüftung mit Wärmerückgewinnung, ist eine stromerzeugende Anlage auf Basis erneuerbarer Energien (PV- oder Windkraft- oder KWK-Anlage) ebenso zu installieren wie ein Stromspeicher als stationäre Batterie (EnEV-Standard = GEG).



(© EnergieAgentur.NRW)

10.4 Passivhaus-Standard

Begonnen hat alles mit dem Bau des ersten Passivhauses (PH) in Darmstadt (Hessen) im Jahr 1991, das als kleine Reihenhausszeile in vier Wohneinheiten realisiert und seitdem „erfolgreich“ bewohnt wird.

Der „Erfinder“ Wolfgang Feist gründete im Jahr 1996 mit dem Passivhaus Institut (PHI) ein unabhängiges Forschungsinstitut und entwickelte aus dem Passivhaus-Konzept den Passivhaus-Standard (<https://passiv.de>). Dieser steht für gesundes und behagliches Wohnen mit höchster Energieeffizienz.

Das Prinzip hat sich bis heute tausendfach bewährt, die Langzeiterfahrung belegt seine Funktionalität. Passivhäuser können inzwischen weltweit und in sämtlichen Klimazonen realisiert werden.

Längst gibt es dazu mit der Informations-Gemeinschaft Passivhaus (IG Passivhaus) ein Kompetenz-Netzwerk von Passivhaus-Experten, dem neben Entwicklern, Architekten

und Planern auch Bauproduktanbieter, Wissenschaftler und Bauherren angehören.

Zertifizierung durch das PHI

Wer ein Passivhaus gebaut hat, kann es sich (muss aber keineswegs) vom PHI als Passivhaus zertifizieren lassen. Durch die Zertifizierung wird sichergestellt, dass die hohen Qualitätsanforderungen des Passivhaus-Standards erreicht werden. Aber nicht nur die Gebäude können PHI-Zertifizierungen erhalten, sondern auch Produkte und Detaillösungen, sowie Berater, Architekten, Fachingenieure und Handwerker.

Über 20.000 zertifizierte Wohneinheiten im PH-Standard mit einer zertifizierten Fläche von knapp 2.000.000 m² (Stand 05/2019) zeigen die breite Umsetzung dieses Standards. Einen Teil dieser qualitätsgeprüften Beispiele enthält die Passivhaus-Datenbank (<https://passivehouse-database.org/>), die über 4.700 Passivhäuser dokumentiert.

Und auch Nichtwohngebäude, wie z.B. Bürogebäude, Supermärkte, Schulen, Kindergärten, Sporthallen, Pflegeheime oder Hallenbäder gibt es, zum Teil seit vielen Jahren, als Passivhaus – ein Gebäude ohne traditionelles aktives Heizsystem.

Definition

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 eine ausreichende Luftqualität (DIN 1946) erforderlich ist, gewährleistet werden kann – ohne dafür zusätzlich Umluft zu verwenden.“

Diese Definition ist rein funktional, ohne Zahlenwerte und gilt für jedes Klima, also für jeden Gebäudestandort. Der Begriff Passivhaus selbst macht klar, dass die thermische Behaglichkeit der Bewohner bzw. Nutzer während der Heizzeit vor allem durch passive Maßnahmen im Bereich der Wärmedämmung, Wärmerückgewinnung (bei der Lüftung), Sonnenenergie (über Glasflächen) und der inneren Wärmequellen gewährleistet wird.

Und weil man bei luftdichten Gebäuden (Gebäude sollen seit dem Jahr 1969 luftdicht ausgeführt werden → S.10) eine kontrollierte Lüftung braucht, bedeutet das Passivhauskonzept gerade, dass die technische Komponente „Lüftung“ ohne zusätzliche Kanäle, ohne größere Querschnitte, ohne Zusatzventilatoren usw. unmittelbar auch zur Heizung verwendet werden kann.

Dadurch ist es möglich, Gebäude mit einer hocheffizienten Lüftungswärmerückgewinnung wirtschaftlich zu bauen. Das ist sonst schwierig, weil die Lüftungsanlage von der Größenordnung her noch einmal so viel kostet wie eine Heizungsanlage – diese Doppelinvestition wäre nicht zu amortisieren. Bei einem von beidem muss man die Kosten also deutlich senken: Entweder bei der Lüftung (z.B. nur Abluftanlage, dann wird es z.B. ein KfW-Effizienzhaus 70 mit konventioneller Heizung) oder bei der Heizung (indem man die Lüftungsanlage auch zum Heizen verwendet – dann wird es ein Passivhaus).

Die extrem niedrigen Verbrauchswerte ergeben sich zwangsläufig, weil der Wegfall der Heizung und die Raumerwärmung mit der Frischluft nur funktionieren, wenn die Netto-Wärmeverluste sehr gering sind. Dazu muss die Wärmedämmung der Gebäudehülle ausgezeichnet sein – vor allem in kalten Klimaregionen wie z.B. im Alpenraum. Wie gut (bzw. dick) die Dämmung wirklich sein muss, lässt sich mit einer Energiebilanz vorab planen.

Heizlast < 10 W/m²

Kann man die Frischluft also auch zum Heizen verwenden? Ja, wenn die erforderliche Heizleistung sehr gering ist. Gemäß der DIN 1946 liegt der Mindest-Frischluft-Volumenstrom aus hygienischen Gründen bei 30 Kubikmeter pro Stunde und Person [m³/(hP)]. Die Luft hat bei Normaldruck und 21°C eine Wärmekapazität von 0,34 Wh/(m³K). Erwärmen sollte man Luft auf max. knapp über 50°C, weil sonst Staubverschmelzung eintritt. Damit ergibt sich: 30 m³/(hP) x 0,34 Wh/(m³K) x (50 - 20) K = 300 W/P.

Eine Frischluftheizung kann damit also eine Heizleistung (Heizlast) von 300 Watt pro Person bereitstellen. Bei einer durchschnittlichen Wohnfläche von 30 m² pro Person ergibt sich daraus, unabhängig vom Klima bzw. Standort, eine spezifische Heizlast von 10 W/m² Wohnfläche – und damit die erste Bedingung, die ein Passivhaus erfüllen muss, um als ein solches (bei Bedarf) zertifiziert werden zu können: Beim Passivhaus-Standard muss die Heizlast kleiner als 10 W/m² Netto-Wohn- oder Netto-Nutzfläche sein.

Bei diesem Wert handelt es sich um eine Leistungsangabe in Watt (→ S.14); d.h. die Angabe bezieht sich auf die durchschnittlich kältesten Tage, an denen die Lüftungsanlage die höchste Heizlast bringen muss. Je nach Klimazone/Gebäudestandort wird ein Passivhaus also unterschiedlich gut gedämmt: In Innsbruck mehr, in Florenz weniger.

Heizwärmebedarf < 15 kWh/(m²a)

Die Heizlast (W) ist vom Energiebedarf bzw. -verbrauch (kWh/a) zu unterscheiden. Für Deutschland ergibt sich nach langjähriger Erfahrung, Messungen und Berechnung

mit Simulationsprogrammen als Obergrenze für den Jahres-Heizwärmebedarf ein Wert von 15 kWh/(m²a). In Innsbruck können es auch 18, in Florenz eher 9 kWh/(m²a) sein. Beim ersten Passivhaus in Darmstadt wurde im Durchschnitt der Jahre 1991 bis 2016 ein Wert von 8,4 kWh/(m²a) gemessen!

Mehrkosten amortisieren sich

Die Mehrkosten liegen im Vergleich mit dem KfW Effizienzhaus 100, das den Anforderungen des GEG (bzw. der EnEV 2014/2016) entspricht, bei etwa 7 bis 10 %.



Das Passivhaus ist bei der KfW dem Effizienzhaus 40 gleichgestellt. Deshalb erhält das Passivhaus ebenfalls eine Neubauförderung: Neben dem besonders zinsgünstigen Kredit gibt es auch einen Tilgungszuschuss. Und Dank der erheblichen Energieeinsparung rechnet sich das Passivhaus. Bei Energiepreisen für z.B. Erdgas oder Heizöl von mehr als 7 Cent/kWh, die man vollständig einspart, amortisieren sich die Mehrkosten bei einer durchschnittlichen Energiepreissteigerung von 4 % innerhalb von 30 Jahren. Das ist in der Regel der Zeitraum, den jede/r für die Rückzahlung des benötigten Hypothekendarlehens einplanen muss.

Danach verbleibt, völlig unabhängig von Öl- oder Erdgaskrisen und unvorhersehbar hohen Energiepreisen, die gesamte Einsparung an Energie-

kosten dauerhaft „auf dem eigenen Konto“ – die Einführung einer CO₂-Bepreisung ist dabei noch gar nicht berücksichtigt.

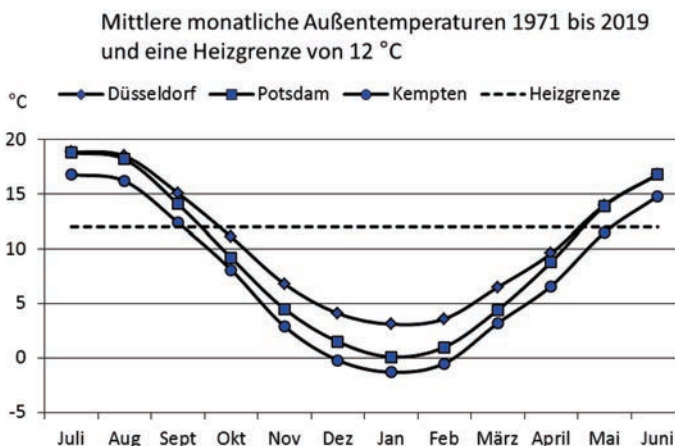
Die Kernidee des Passivhauses

Deutschland hat in klimatisch unterschiedlichen Gebieten immer heißere Sommer, aber auch noch kalte Winter – bei gleichzeitig relativ viel Sonnenschein. Während der Heizzeit von Oktober bis April liegen die monatlichen Durchschnitts-Außentemperaturen klar unter einer Heizgrenze von z.B. +12°C.

Fällt nun die Außentemperatur unter die Heizgrenze (+15°C bei Altbauten, +12°C bei Neubauten und +10°C gemäß GEG), springt der Wärmeerzeuger (z.B. Heizkessel) an.

Im Winter gibt es nicht nur relativ niedrige durchschnittliche Temperaturen von bis zu -1,3°C wie in Kempten (siehe Grafik); an wenigen Tagen im Jahr gibt es auch extrem tiefe Außentemperaturen. Bei der Dimensionierung der Größe des Wärmeerzeugers sind deshalb die Norm-Außentemperaturen zu berücksichtigen (→ S. 178), die z.B. in Wiesbaden bei -8,4 bis -10,5°C, in Dresden bei -12,1 bis -14,0 oder in Oberstorf bei -16,7°C liegen.

Hauptgrund für die Notwendigkeit eines Wärmeerzeugers und damit einer Heizungsanlage ist aber nicht die Tatsache, dass die Außentemperaturen zu tief sind, sondern dass ein Haus zu wenig „eingepackt“ ist: Es fehlt schlicht und ergreifend an einer ausreichenden Wärmedämmung!



Es verhält sich mit Gebäuden genauso wie mit uns Menschen. Im Sommer benötigen wir kaum Kleidung, weil wir im Verhältnis zu der uns umgebenden Außentemperatur kaum Körperwärme verlieren. Je tiefer die Außentemperatur sinkt, je schneller kühlen wir aus und desto „wärmer ziehen wir uns an“ (umso besser machen wir unsere Wärmedämmung), um uns vor dem Auskühlen zu schützen. Je besser wir uns „einpacken“, umso weniger sind selbst dann tiefste Außentemperaturen tatsächlich ein Problem. Denn unser Körperwärmeverlust wird jetzt sehr stark verzögert. Für jeden Wintersportler ist das eine Binsenweisheit.

Und natürlich ist es mit einem Gebäude nicht anders – nur dass sich nicht, wie bei uns, die „Bekleidung“ permanent den äußeren Verhältnissen anpassen lässt. Der einmal errichtete Wärmedämm-Standard bleibt für Jahrzehnte bis zum normalen Erneuerungszyklus (i.d.R. nach 40 bis 60 Jahren) bestehen und bei fehlender oder zu wenig Dämmung muss zur Erhaltung der Raumtemperatur eine Heizungsanlage installiert werden.

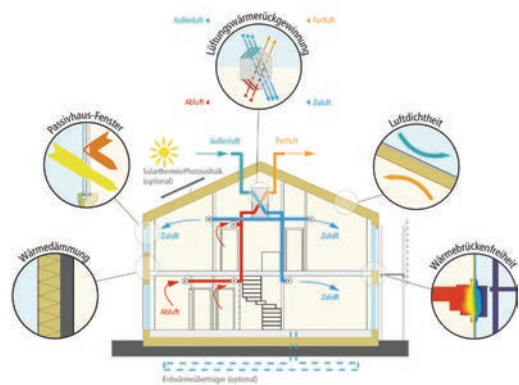
Noch viel zu selten aber planen Architekten und Bauherren für ein Gebäude einen besseren Wärmedämm-Standard als den, der vom Gesetzgeber jeweils aktuell vorgegeben ist. Dann aber ist heute eine Heizungsanlage bzw. ein Wärmeerzeuger unumgänglich.

Das am häufigsten eingesetzte Heizungssystem ist die Warmwasser-Pumpenheizung (→ S. 174 ff) mit Heizöl- oder Erdgaskesseln, den unterschiedlichsten Heizflächen und einer Wärmeverteilung. Dabei sind in Altbauten i.d.R. weit mehr als 100 W/m^2 und in GEG-Gebäuden (EnEV 2014/2016) zwischen 50 und 70 W/m^2 an Kesselleistung (Heizlast) installiert.

Die Kernidee

Alle Wärmeverluste über die Gebäudehülle und die Lüftung werden derart stark verringert, dass die max. Heizlast unter 10 W/m^2 liegt. Ein „aktives“ Heizsystem ist dann nicht mehr erforderlich. Auch deshalb wird ein solches Gebäude als Passivhaus bezeichnet. Die „Restheizung“ geschieht vor allem durch

passive Wärmequellen wie Sonneneinstrahlung, Bewohner (Nutzer) und Elektrogeräte sowie durch die Wärmerückgewinnung aus der Raumluft (Abluft) und eine Erwärmung der Zuluft (Außenluft).



Der Vorteil: Die Investitionskosten für die sonst übliche Heizungsanlage werden eingespart.

Warum Passivhäuser?

Dieser Baustandard setzt ökologische Maßstäbe und ist ökonomisch interessant.

... aus ökologischen Gründen

Das Passivhaus ist Umweltschutz direkt an der Wurzel. Die Reduzierung der Umweltbelastung wird hier z.B. nicht durch eine nachgeschaltete Filtertechnik oder den Ausgleich an anderer Stelle erreicht.

Dieser Baustandard lässt Umweltschäden erst gar nicht entstehen, weil es keine Heizungsanlage gibt, die Schadstoffemissionen wie Schwefeldioxid oder das klimaschädliche CO_2 in die Atmosphäre gelangen lässt. Der extrem geringe Restenergiebedarf eines Passivhauses kann dauerhaft und umweltverträglich durch die vorhandenen Ressourcen gedeckt werden; langfristig vollständig aus erneuerbaren Energien.

Mit dem Bau eines Passivhauses leisten Sie damit den derzeit maximalen Beitrag zum Umwelt- und Klimaschutz.

... aus ökonomischen Gründen


Mit einem Passivhaus werden Werte geschaffen, die dauerhaft besseren Komfort und höhere Wertbeständigkeit garantieren. Und dies geschieht nicht zu Lasten, sondern

zu Gunsten unserer natürlichen Umwelt. Die Wertschöpfung kommt dem jeweiligen Investor unmittelbar zugute (lokale Komponente) – indirekt aber auch der Volkswirtschaft als Ganzes durch die Verringerung von teuren Klimafolgeschäden (globale Komponente). Und alle Wirtschaftszweige sind gefordert, ihren Beitrag zu leisten. Dies gilt für Dienstleister wie Architekten und Bauträger ebenso wie für Baustofflieferanten und ausführende Handwerksbetriebe.

Rechen(Nachweis)verfahren

Ein Passivhaus ist ein Gebäude, in dem eine behagliche Temperatur sowohl im Winter als auch im Sommer ohne ein aktives Heizungs- bzw. Klimatisierungssystem erreicht wird.

Dazu sind durch geeignete Maßnahmen und bauliche Komponenten die Wärmeverluste auf ein Mindestmaß zu reduzieren. Wo liegt nun dieses Minimum?

 Ein Gebäude ist dann ein Passivhaus, wenn am Standort sein jährlicher Heizwärmebedarf (Nutzenergie nur zur Raumerwärmung) unter $15 \text{ kWh/(m}^2\text{a)}$ oder die Heizlast unter 10 W/m^2 liegt.

Damit entspricht das PH längst dem in der EU-Gebäuderichtlinie 2018/844 von Juli 2018 (→ S. 150) geforderten Neubaustandard eines Niedrigstenergiegebäudes.

Es kann Unterschiede zwischen dem Gebäudeentwurf und der zunächst erforderlichen theoretischen Berechnung des künftigen Heizwärmebedarfs sowie dem tatsächlichen späteren Bedarf geben, sobald das Gebäude bewohnt wird.

Sollte es aber nicht – weil sonst nämlich alle am Bau Beteiligten enttäuscht sind, falls der tatsächliche Bedarf über dem theoretischen liegt. Dazu gibt es Rechenverfahren, die auf Grundlage aktueller Europäischer Normen entwickelt wurden und mit den nationalen, gesetzlichen Rechen- und Nachweisverfahren für den Wärmeschutz nicht zu vergleichen sind.

Wie beschrieben, gilt in Deutschland als Nachweis des Wärmeschutzes aktuell das

GEG (Gebäudeenergiegesetz). Alle Fachleute sind sich jedoch einig, dass es mit den normierten GEG-Rechenverfahren nur selten gelingt, den berechneten mit dem tatsächlichen Energiebedarf in Übereinstimmung zu bringen.

Die Voraussetzungen für eine möglichst geringe Abweichung des theoretisch berechneten vom tatsächlichen Heizwärmebedarf sind u.a.

- Verwendung von Berechnungsvorschriften aktueller Europäischer Normen (EN)
- Berücksichtigung der tatsächlichen internen und solaren Wärmegewinne
- Berücksichtigung der am Baustandort bestehenden klimatischen Verhältnisse
- Berücksichtigung der Nutzung.

Die Berechnungen des Wärmedurchgangs durch alle opaken Bauteile und durch die Fenster sind z.B. auf Grundlage der EN ISO 6946 und der EN ISO 10077 durchzuführen. Auch ist es wichtig, alle Berechnungen im Zuge des Baufortschritts (und der ziemlich sicher eintretenden Planänderungen) fortzuschreiben und anzupassen!

EDV-gestützte Gebäudesimulation

Bei einer (thermischen) Gebäudesimulation wird die energetische Situation des geplanten Gebäudes berechnet. Ziel ist es, ein Gebäude zu erhalten, das von der Mehrzahl der Menschen als behaglich empfunden wird – bei gleichzeitiger Reduzierung der Investitions- und Betriebskosten. Dabei sollen später die Planzahlen mit den wirklichen Zahlen (Temperaturen, Verbrauch, Kosten) weitgehend übereinstimmen.

Zur Berechnung gibt es dynamische Verfahren und Programme, die das Temperaturverhalten und die Nutzung des Gebäudes über das Jahr simulieren und eine Wärmebilanz erstellen. Dafür dringend erforderlich sind Wetter(Klima)daten des Gebäudestandorts als Stunden-, Monats- und Jahresmittelwerte. Liegen keine Stundendatensätze vor, führt die dynamische Simulation nicht zu einem aussagekräftigen Ergebnis.

Nachteile dieser Programme sind die aufwändige Einarbeitung und die Höhe ihrer

Anschaffungskosten, weshalb sie i.d.R. nur bei sehr komplexen Gebäuden im Bereich der Nichtwohngebäude eingesetzt werden.

Die Praxis hat gezeigt, dass für die Berechnung von Passivhäusern statische Programme ausreichend sind. Sie liefern rasche, realitätsnahe und damit zuverlässige Ergebnisse. Ein Programm sollte unter anderem die folgenden Rechenroutinen beinhalten:

- Energiebilanzierung auf Grundlage der EN 832: Eine monatliche Bilanzierung der Wärmeverluste aus Transmission und Lüftung sowie der Wärmegewinne aus Solareinstrahlung und internen Gewinnen
- Berücksichtigung von Wärmebrücken
- Berücksichtigung von Verschattung
- Auswertung der Drucktest-Ergebnisse
- Energiebilanzierung der Lüftungsanlage
- Datenbank Klimadaten für möglichst viele Standorte
- Berechnung interner Wärmegewinne.

Von der Projektierung über die Planung bis zur Baubegleitung von Passivhäusern wird oft das sog. PassivHausProjektierungsPaket (PHPP) des PH-Instituts eingesetzt. Es ist vergleichsweise preiswert, validiert und praxiserprobt, und wird dauernd weiterentwickelt.

Es wurden sorgfältige Energiebedarfsmessungen in einer großen Zahl von Passivhaus-Gebäuden nach deren Bezug durchgeführt: Die Messergebnisse stimmten im Durchschnitt sehr genau mit dem rechnerischen Ergebnis des PHPP überein. Das zeigt, dass mit einer statischen Gebäudesimulation bei der Planung eines Passivhauses realitätsnahe Ergebnisse erzielt werden können.

Wie wird ein Gebäude zum PH?

Die Verwirklichung von Passivhäusern stellt an die Planung und Bauleitung, die Bauausführung und die verwendeten Komponenten hohe Ansprüche.

Je nach Nutzung erneuerbarer Energien werden die Passivhaus-Klassen Classic, Plus oder Premium erreicht.

Qualitätsanforderungen

Ein Wohngebäude ist ein Passivhaus, wenn es drei prinzipielle Anforderungen erfüllt:

- 1. Ein behagliches Innenklima wird ohne separates Heizsystem und ohne Klimaanlage erreicht: Dazu muss der Jahres-Heizwärmebedarf, berechnet auf Grundlage des PHPP, unter $15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ liegen.
- 2. Der Bedarf an erneuerbarer Primärenergie darf für alle Anwendungen im Haushalt (Heizung, Warmwasserbereitung und Haushaltsstrom) zusammen nicht höher sein als $60 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$.
- 3. Die Behaglichkeitskriterien müssen in jedem Wohnraum im Winter wie im Sommer erfüllt sein. Daraus ergeben sich die folgenden Anforderungen:
 - U-Werte opaker Außenbauteile müssen unter $0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ liegen.
 - U-Werte von Fenstern und allen anderen lichtdurchlässigen Bauteilen müssen unter $0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ liegen.
 - Lichtdurchlässige Flächen in West- oder Ostorientierung ($\pm 50^\circ$) sowie mit Neigungen unter 75° gegen die Horizontale dürfen 15 % der dahinterliegenden Nutzflächen nicht überschreiten oder sie müssen einen temporären Sonnenschutz mit einem Minderungsfaktor von mind. 75 % aufweisen. Die Grenze für südorientierte Fenster liegt bei 25 % der dahinterliegenden Nutzflächen.
 - Die Zulufttemperaturen am Luftauslass im Raum dürfen 17°C nicht unterschreiten.
 - Eine gleichmäßige Durchströmung aller Räume und in allen Räumen muss gewährleistet sein (Lüftungseffizienz). Die Lüftung muss in erster Linie auf die Lufthygiene ausgelegt sein (DIN 1946). Die Schallbelastung durch die Lüftungsanlage muss sehr gering sein ($< 25 \text{ dBA}$).
 - Jeder Wohnraum muss mindestens eine zu öffnende Außenluftöffnung haben, eine Durchströmung der Wohnung mit Außenluft muss möglich sein (freie Sommerkühlung).

Bauliche Anforderungen

Die baulichen Anforderungen für das Passivhaus wurden schon mehrfach erwähnt: Sehr gute Wärmedämmung, sehr gut gedämmte

Fenster und Türen, Wärmebrückenfreiheit, hohe Wind- und Luftdichtheit sowie eine Komfortlüftung.

Die bloße Zusammenstellung geeigneter Einzel-Komponenten reicht allerdings nicht aus, um ein Gebäude zum Passivhaus zu machen: Das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile!



Entscheidend für eine erfolgreiche Umsetzung des Passivhaus-Konzepts ist eine integrale Planung, welche auf jeden Fall die Wechselwirkungen aller Einzel-Komponenten berücksichtigt und dabei den Zielwert von 15 kWh/(m²a) unterschreitet. Bei Berücksichtigung der folgenden sechs Konstruktionsmerkmale ist das zu erreichen.

1. Wärmedämmung

Unverzichtbar ist die erhebliche Verbesserung der Wärmedämmung der Gebäudehülle – und zwar aller Bauteile vom Boden über die Außenwand bis hin zum Dach.

Zielwert für alle Bauteile:

$$U\text{-Wert} < 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

Noch immer wird bezweifelt, dass ein stark verbesserter Wärmeschutz später wirklich die Energieeinsparung erbringt, die theoretisch von ihm erwartet wird. Doch alle bisherigen, sorgfältig messtechnisch begleiteten Passivhaus-Projekte beweisen: Eine Wärmedämmung entfaltet ihre Wirksamkeit auch bei Stärken von 25 bis 50 cm in vollem Umfang, d.h. Superdämmung funktioniert!

Dämmstärke mit $\lambda = 0,04 \text{ W}/(\text{mK})$ jeweils 30 bis 40 cm

Gerade hier spart der Wechsel zu einer niedrigeren Wärmeleitfähigkeit λ nicht nur Dämmstoff, sondern auch Bauteilstärke. Als Dämmmaterialien sind grundsätzlich Platten, Matten und Schüttungen geeignet wie u.a. Zellulose, Mineralfaser, Holzfaser, Hanf, EPS, Schaumglas, Mineralschaum oder PU.

2. Fenster und Fenstertüren/Haustür

Genauso unverzichtbar für das Gelingen eines Passivhauses sind ganz entscheidend verbesserte Verglasungen und Rahmen.

Zielwert für die Verglasung:

$$U_g - (1,60 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}) \times g\text{-Wert} \times F_w) < 0$$

$$\text{mit } F_w = A_g : (A_g + A_f)$$

Beispiel

Geplant ist eine Fensteröffnung (Rohbaumaß) von 1,82 m² (Höhe: 1,48 m und Breite: 1,23 m) mit Rahmenbreiten (Blend- und Flügelrahmen) von 11,2 cm (rechts und links) sowie 12,0 cm (oben und unten). Daraus ergeben sich folgende geometrischen Werte:

$$A_g = 1,25 \text{ m}^2 \quad (69 \% \text{ Flächenanteil})$$

$$A_f = 0,57 \text{ m}^2 \quad (31 \% \text{ Flächenanteil})$$

$$A = 1,82 \text{ m}^2 \quad (100 \% \text{ Flächenanteil})$$

Für die Verglasung besteht nun die schon auf Seite 107 vorgestellte beispielhafte Auswahl an U_g - und g -Werten.

Glaswerte	Typ A		Typ B		Typ C	
Aufbau	4-12-4-12-4					
Gasfüllung	Ar	Kr	Ar	Kr	Ar	Kr
Lichttransmission	71 %		58 %		74 %	
g-Wert	0,50		0,37		0,60	
U _g -Wert	0,7	0,5	0,7	0,4	0,7	0,5

Bei Wahl von $U_g = 0,7$ und $g = 0,5$ (Typ A) ergibt sich für dieses Fenster mit seinen geplanten Geometrien ein Wert größer 0 und erfüllt damit nicht die Anforderungen:

$$0,7 - (1,6 \times 0,5 \times 0,687) = +0,15!$$

Bei Wahl von $U_g = 0,5$ und $g = 0,6$ (Typ C) ergibt sich ein Wert kleiner 0 und erfüllt die Anforderungen an das Glas:

$$0,5 - (1,6 \times 0,6 \times 0,687) = -0,16!$$

Das gilt auch knapp für Typ A mit $U_g = 0,5$ und $g = 0,5$ und einem Wert von -0,05.



Übrigens – Außenkondensat auf der Scheibe ist ein Zeichen für ein Hochleistungsprodukt und daher kein Grund für eine Reklamation:

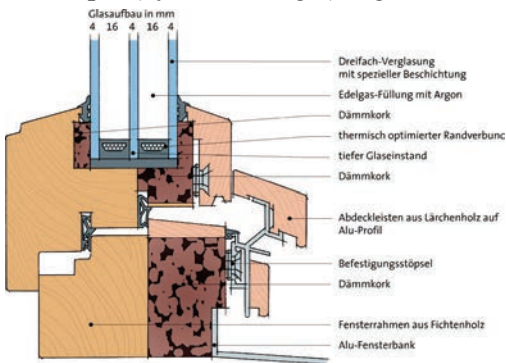
Warme Luft trägt mehr Wasserdampf als Kalte. Kühlt warme Luft an einer kalten Oberfläche ab, entsteht Kondensat. Ein gutes Beispiel dafür ist eine Getränkeflasche, die beschlägt, wenn man sie aus dem Kühlschrank holt. Da bei einer gut

gedämmten Dreifachverglasung die Außenscheibe kalt ist, beschlägt sie leichter – erst Recht im Winter bei niedrigen Außentemperaturen, klarem Nachthimmel und einer hohen Luftfeuchtigkeit.

Zielwert für das komplette Fenster:

$$U_{w\text{-Wert}} < 0,80 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Um diesen Zielwert zu erreichen, werden eine Dreischeiben-Wärmeschutzverglasung mit hohem g-Wert, ein sehr gut gedämmter Rahmen und ein stark reduzierter Wärmeverlust durch den Abstandhalter benötigt – mit möglichst tiefem Glaseinstand, wie dieses Beispiel (Quelle Freisinger) zeigt.



Zielwert für die Haustür:

$$U_{D\text{-Wert}} < 0,80 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Im Bereich der Haus- bzw. Eingangstüren sind inzwischen über 40 zertifizierte Produkte mit $U_{D\text{-Werten}}$ von 0,39 bis 0,78 W/(m²K) auf dem Markt.

Zielwert Einbausituation Fenster/Haustür:

$$U_{w/p\text{-Wert}} < 0,85 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Dieser Wert ist für Fenster und Haustüren bei zusätzlicher Berücksichtigung der Einbausituation im gedämmten Bauteil einzuhalten.

3. Vermeidung von Wärmebrücken

Wärmebrücken müssen in Passivhäusern in ihren Auswirkungen sorgfältig auf ein Mindestmaß reduziert werden. Wärmebrücken beeinträchtigen unsere Behaglichkeit, weil durch ihren verstärkten Wärmeabfluss die innere Oberflächentemperatur der Umgebungsflächen spürbar abnimmt. Als Folge wird dem Nutzer spürbar mehr Strahlungswärme entzogen. Außerdem können gerade

beim Passivhaus niedrigen Oberflächentemperaturen im Bereich der Wärmebrücke zu ständigem Ausfall von Tauwasser (Wasserdampfkondensation) und in Folge wegen der Durchfeuchtung zu Bauschäden oder sogar zu Schimmelpilzbefall führen.

**Zielwert des Gebäudes: $\psi < 0,01 \text{ W/(mK)}$,
wärmebrückenfreie Konstruktion**

Beim GEG-Nachweis wird dagegen mit wesentlich höheren Werten von 0,10 oder 0,05 W/(mK) gerechnet. Durch gute Planung und Bauausführung können die Wärmebrücken jedoch vollständig vermieden werden.

4. Wind-/Luftdichtheit des Gebäudes

Alle Außenbauteile müssen gegen ein- und austretenden Luftzug abgedichtet werden. Empfohlen wird als Zielwert des Gebäudes: $n_{50} \leq 0,60 \text{ h}^{-1}$ (bei 50 Pa) mit dem Nachweis durch einen Drucktest (Blower-Door).

5. Kontrollierte Wohnungslüftung

Der Lüftungswärmeverlust beträgt in normalen Gebäuden etwa 45 kWh/(m²a) – ohne WRG. Das ist das Dreifache des Bedarfs eines kompletten Passivhauses. Deutlich geringere Lüftungswärmeverluste sind nur durch eine kontrollierte Wohnungslüftung mit Wärmerückgewinnung (WRG) erreichbar, und diese muss im PH unbedingt hocheffizient sein.

Zielwert für die WRG: $\eta > 75 \%$ bei
niedrigem Stromverbrauch ($< 0,45 \text{ Wh/m}^3$)

Die Komfort-Lüftung hat im PH neben der Energieeinsparung weitere positive Auswirkungen: Die Luftqualität wird spürbar verbessert und die in die Wohnräume eintretende Frischluft ist auch im Winter bereits angenehm temperiert. Die Zulufterwärmung sollte ausreichen, um auch bei tiefen Außentemperaturen angenehm behagliche Raumtemperaturen zu erzielen.

6. Passiv-solare Gewinne

Passiv-solare Gewinne erhält man über die Verglasungen der Fenster. Im Winter allerdings auch nur dann, wenn die tief stehende Sonne ungehindert in die Räume gelangt. Verschattungen durch Nachbargebäude oder die Topografie (dauerhaft verschattete Tal-

lage) verhindern diese wichtige „Heizquelle“, die optimal zu planen ist.

Nordfenster müssen nur eine ausreichende Helligkeit in den Räumen dahinter sicherstellen. 10 % der Nordfassadenfläche sind dafür ein guter Anhaltswert.

15 bis 30 % der Fassadenflächen für Fenster sind auf der Ost- und Westseite optimal. Die Gefahr einer sommerlichen Überhitzung ist im Westen größer als im Osten.

Zielwert für die Südfassade:

Fensterfläche < 60 %

Der Fensterflächenanteil an der Südfassade sollte bei 40 bis 60 % liegen. Darüber hinaus können zusätzliche Solargewinne nicht mehr genutzt werden. Auch das haben umfangreiche Messungen ergeben.

Im Gegenteil – mit zunehmender Fensterfläche muss ein immer besserer Sonnenschutz gegen die Überhitzung im Sommer installiert werden.

Nicht vergessen: Fenster sind bei jedem Gebäude das mit Abstand teuerste Bauteil!



Der Passivhaus-Standard beruht auf Einhaltung der zuvor beschriebenen sechs Konstruktionsmerkmale. Oft werden energiesparende Gebäude-Standards wie das PH aber fälschlicherweise auch mit anderen Komponenten (Stichworten) in Verbindung gebracht.

Stichwort: Solar-Architektur

Unter der Solar-Architektur verstehen viele Architekten die Planung großer Südglassflächen (bis 100 %) und/oder verglaster Vorbauten (Wintergärten). Beide bewirken jedoch kein Passivhaus! Im Gegenteil: Die Wärmeverluste werden kaum oder gar nicht reduziert, dafür erhöhen sich aber Baukosten und Honorar – und der Aufwand für den sommerlichen Wärmeschutz steigt extrem.

Stichwort: Erneuerbare Energien

Wünschenswert ist eine Orientierung des Gebäudes nach Süden, das im Winter möglichst verschattungsfrei ist. Unter der Solar-Architektur sollte die Planung von geeigneten, südorientierten (Dach)Flächen für die effiziente Nutzung der Sonne zur Warmwasserbereitung durch Solarkollektoren oder zur Stromerzeugung durch Fotovoltaikzellen verstanden werden. Doch auch diese Komponenten haben nicht mit dem Passivhaus-Standard zu tun; sie sind allenfalls willkommene Zusatzelemente.

serbereitung durch Solarkollektoren oder zur Stromerzeugung durch Fotovoltaikzellen verstanden werden. Doch auch diese Komponenten haben nicht mit dem Passivhaus-Standard zu tun; sie sind allenfalls willkommene Zusatzelemente.

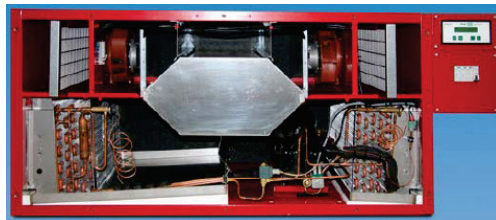
Stichwort: Heizungstechnik

Ein Passivhaus kommt i.d.R. ohne Heizungstechnik aus. Hier liegt ja der eigentliche Vorteil: Keine Installationen, Null Investitionen und Null Emissionen sind das Ziel. Insofern haben selbst die umweltfreundlichen Heizkonzepte (z.B. auf Basis von Biomasse, Holz, Solar) nichts mit dem PH-Standard zu tun. Sie lenken vom eigentlichen Konzept ab.

Warmwasser und Beheizung

Die Lüftungsanlage mit WRG ist im Passivhaus ohnehin notwendig. Möchte nun jemand auf eine Beheizung nicht verzichten, sollte hier ein kleiner Nacherhitzer im Zuluftstrang ausreichen. Die Wärme für die Zuluftnacherwärmung kann z.B. aus dem Warmwasserbereitungssystem (Basis Kollektoranlage mit 100 % Deckungsgrad im Sommer) kommen.

Die Verhältnisse werden gewissermaßen umgedreht: Bisher hat man mit der Heizanlage die Warmwasserbereitung „nebenbei“ mit erledigt; im PH kann man eine „Notheizung“ einfach mit der Warmwasserbereitung „nebenbei“ decken. Eine Möglichkeit: Eine Kleinstwärmepumpe (ca. 600 W Aufnahmeleistung) entnimmt die Wärme aus der Fortluft des Luft/Luft-Wärmeübertragers (Foto Proxon, Zimmermann).



Diese ist wärmer als die Außenluft und enthält die gesamte Latentwärme des im Gebäude freigesetzten Wasserdampfs. Ist ein Erdschichtwärmeübertrager vorgeschaltet, fällt

die Fortlufttemperatur i.d.R. nicht unter 10°C. Wenn diese Fortluft nun auf 0 bis 2°C abgekühlt wird, lässt sich ein Wärmestrom von 500 W am Verdampfer entnehmen. Ein sehr einfaches Kompaktsystem von Gefrierschrankgröße kann damit die gesamte Lüftung, Warmwasserbereitung (in den Übergangszeiten und im Winter, wenn die Kollektoranlage nicht ausreicht) und die Beheizung übernehmen.

Mit einem solchen System ist es möglich, den gesamten Bedarf für Warmwasser und den eventuellen Restbedarf zur Raumerwärmung mit einem Stromeinsatz von 1.000 bis 2.200 kWh/a zu decken. Die Geräte werden von einigen mittelständischen Unternehmen hergestellt.

Das Passivhaus-Gesamtkonzept

Das Passivhaus „lebt“ auf der einen Seite von den äußeren passiv-solaren Gewinnen. Selbst in Deutschland werden im Winter teilweise tiefe Außentemperaturen erreicht. Gerade dann aber ist (bei einigermaßen verschattungsfreien Standorten) die Sonneneinstrahlung gleichzeitig wesentlich stärker und liefert auf diese Weise einen höheren Beitrag zur „Restheizung“!

Andererseits ist ein PH auch sehr von den internen Wärmequellen abhängig. Messergebnisse aus den zwei Wintern 1992/93 und 1993/94 im ersten PH in Darmstadt zeigen, dass die benötigte Heizlast nie über 7 W/m² stieg. Für eine Wohnung mit 156 m² lag die max. Heizlast bei -15°C Außentemperatur unter 1.100 W (= 1,10 kW)! Diese Rest-Heizlast kann nicht nur über die Anwesenheit von Personen (ca. 80 W/P), sondern auch über viele ineffiziente elektrische Geräte gedeckt werden. Z.B. wandelten (die längst verbotenen) 60-W-Glühlampen nur 5 % des eingesetzten Stroms in Licht um. Der Rest war frei werdende Wärme: 19 (damals noch erlaubte) Glühlampen deckten somit die max. Heizlast am kältesten Tag des Jahres!

Es ist deshalb „einfach“, ein Passivhaus im beschriebenen Sinne zu bauen und den Restwärmebedarf durch die Abwärme von Elektrogeräten bereitzustellen. Das ist aber nicht

Projektziel. Und deshalb wurde die PH-Definition über zwei Zielwerte für das Gebäude zunächst wie folgt erweitert:

Ein Gebäude ist ein Passivhaus, wenn der Jahres-Heizwärmebedarf (Nutzenergie zur Raumerwärmung) kleiner 15 kWh/(m²a) und der Primärenergiebedarf kleiner 120 kWh/(m²a) ist.

Strom (Elektrizität) wird aktuell noch zu mehr als 55 % aus fossilen Brennstoffen (aus der Stein- und Braunkohleverstromung kommen 35 %) mit teilweise sehr niedrigem Wirkungsgrad erzeugt. Das bedeutet einen hohen Primärenergieverbrauch, der bei einem Passivhaus so niedrig wie möglich sein sollte. Zur Verringerung des Strombedarfs (aus fossilen Energieträgern) sind somit hocheffiziente Gebäudetechnik (Ventilatoren, Pumpen, Steuerung) sowie elektrische Haushaltsgeräte und Beleuchtung erforderlich, deren Strombedarf möglichst aus erneuerbaren Energien gedeckt werden sollte.

Seit dem Jahr 2015 gilt daher mit zeitgleicher Einführung der Passivhaus-Klassen Plus und Premium folgende Definition:

! *Ein Gebäude ist dann ein Passivhaus, wenn seine Heizlast bei < 10 W/m² oder der Jahres-Heizwärmebedarf bei < 15 kWh/(m²a) liegt, wobei der erneuerbare Primärenergiebedarf < 60 kWh/(m²a) beträgt.*

Gebaute Beispiele

Vor allem in Mitteleuropa gibt es zahlreiche im Detail veröffentlichte Projekte. Die größte Datenbank mit, wie erwähnt, mehr als 4.700 dokumentierten Passivhäusern finden unter <https://passivehouse-database.org>. Daraus an dieser Stelle einen ganz kleinen Ausschnitt.

Einfamilienhaus



Das freistehende Einfamilienhaus wurde 2010 mit 203 m² Wohnfläche in Massivbauweise in Kappelrodeck (in Baden-Württemberg) errichtet, und zwar ohne Keller. Zum Einsatz kamen u.a. eine Porenbetonwand (17,5 cm) mit 26 cm EPS-WDVS ($\lambda = 0,032$), Holz/Alu-Fenster und eine Zwischensparrendämmung (40 cm).

- Bodenplatte: $U = 0,16 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
- Außenwände: $U = 0,10 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
- Dach: $U = 0,09 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
- Fenster: $U_w = 0,84 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
- Luftdichtheit n_{50} : $0,20 \text{ h}^{-1}$ (gemessen)
- Lüftung: Kompaktlüftungsgerät, Nachheizung mit integrierter Wärmepumpe
- Warmwasser: über das gleiche Kompaktlüftungsgerät mit Wärmepumpe
- Heizlast: 11 W/m^2
- Heizung: keine
- Heizwärmebedarf: $15 \text{ kWh/(m}^2\text{a)}$
- Primärenergiebedarf (alt): $102 \text{ kWh/(m}^2\text{a)}$.

Einfamilienhaus



Das Gebäude wurde im Jahr 2006 mit 179 m² Wohnfläche in Neustadt (Niedersachsen) in Massivbauweise errichtet. Zum Einsatz kamen u.a. eine Bodenplatte mit 25 cm Dämmung, eine Kalksteinaußenwand mit 30 cm WDVS, Holzfenster und ein Pultdach mit Zellulosedämmung (49 cm).

- Bodenplatte: $U = 0,14 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
- Außenwände: $U = 0,11 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
- Dach: $U = 0,08 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
- Fenster: $U_w = 0,78 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
- Haustür: $U_D = 0,79 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
- Luftdichtheit n_{50} : $0,37 \text{ h}^{-1}$ (gemessen)
- Warmwasser: Kollektoranlage, unterstützt durch einen Pelletofen
- Heizung: Pelletofen mit solarer Heizungsunterstützung
- Lüftung: Kompaktlüftungsgerät
- Heizwärmebedarf: $15 \text{ kWh/(m}^2\text{a)}$
- Primärenergiebedarf (alt): $66 \text{ kWh/(m}^2\text{a)}$
- Baukosten: 1.340 €/m^2 .

Einfamilienhaus



Das „klassische“ EFH mit 166 m² Wohnfläche wurde in Massivbauweise in Großschönau (Niederösterreich) 2006 gebaut, ohne Keller. Zum Einsatz kamen u.a. eine Betonaußenwand, Holz/Alu-Fenster und eine Aufsparrendämmung.

- Bodenplatte: $U = 0,11 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
- Außenwände: $U = 0,10 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
- Dach: $U = 0,08 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
- Fenster: $U_w = 0,70 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
- Haustür: $U_D = 0,80 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
- Luftdichtheit n_{50} : $0,50 \text{ h}^{-1}$ (gemessen)
- Lüftung: Kompaktlüftungsgerät, Nachheizung mit integrierter Wärmepumpe
- Warmwasser: über die Luftwärmepumpe mit 300 l Speicher
- Heizlast: 11 W/m^2
- Heizung: keine
- Heizwärmebedarf: $13 \text{ kWh/(m}^2\text{a)}$
- Primärenergiebedarf (alt): $80 \text{ kWh/(m}^2\text{a)}$.

Einfamilienhaus



Das Haus wurde in Holzbauweise 2002 in Butzbach (Hessen) mit unbeheiztem Keller gebaut, der nur von außen zugänglich ist. Außenwand und Dach bestehen aus einer Holzrahmenkonstruktion (TJI-Träger).

- Kellerdecke: $U = 0,10 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
- Außenwände: $U = 0,09 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
- Dach: $U = 0,09 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
- Fenster: $U_w = 0,85 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
- Luftdichtheit n_{50} : $0,47 \text{ h}^{-1}$ (gemessen)
- Lüftung: Kompaktlüftungsgerät mit Erdreichwärmeübertrager
- Warmwasser: Kollektor und Pelletofen
- Heizung: Zuluftnachheizung über Pelletofen
- Heizwärmebedarf: $15 \text{ kWh/(m}^2\text{a)}$
- Primärenergiebedarf (alt): $73 \text{ kWh/(m}^2\text{a)}$.

Reihenhaus



In Konstanz (Baden-Württemberg) wurden 2006 vier Einheiten mit 776 m² Wohnfläche in Mischbauweise (massiv und Holz) errichtet, mit teils ungenügenden Einzelwerten und dennoch gutem Gesamtergebnis.

- Bodenplatte: $U = 0,24 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
- Außenwände: $U = 0,13 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
- Dach: $U = 0,10 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
- Fenster: $U_w = 0,88 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
- Luftdichtheit n_{50} : $0,43 \text{ h}^{-1}$ (gemessen)
- Lüftung: Kompaktlüftungsgerät, Nachheizung mit Heizstab
- Warmwasser: jeweils über Kompaktlüftungsgerät mit 300 l Speicher
- Heizlast: 11 W/m^2
- Heizung: keine
- Heizwärmebedarf: $12 \text{ kWh/(m}^2\text{a)}$
- Primärenergiebedarf (alt): $111 \text{ kWh/(m}^2\text{a)}$

Zweifamilienhaus



Das Haus wurde 2013 mit 225 m² Wohnfläche in Holzbauweise in Mühldorf (Bayern) errichtet und hat zwei Wohneinheiten.

- Bodenplatte: $U = 0,14 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
- Außenwände: $U = 0,12 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
- Dach: $U = 0,11 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
- Fenster: $U_w = 0,77 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
- Haustür: $U_D = 0,75 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
- Luftdichtheit n_{50} : $0,13 \text{ h}^{-1}$ (gemessen)
- Lüftung: Kompaktlüftungsgerät
- Warmwasser: über die Sole-Wärmepumpe
- Heizung: Sole-Wärmepumpe für die Fußbodenheizung
- Heizlast: 11 W/m^2
- Heizwärmebedarf: $15 \text{ kWh/(m}^2\text{a)}$
- Primärenergiebedarf (alt): $87 \text{ kWh/(m}^2\text{a)}$

Reihenhaussiedlung



Bereits im Jahr 1997 wurde in Wiesbaden (Hessen) die in Deutschland erste Reihenhaussiedlung mit 22 Passivhäusern fertiggestellt. Die Gebäude wurden aus im Werk vorgefertigten Betonfertigteil-Elementen in nur wenigen Tagen errichtet, zu Bauwerkskosten unter 1.050 €/m².

Alle Häuser hatten im Winter 1998/99 im Mittel nur 12 kWh/(m²a) Jahres-Heizwärmebedarf, wie Messergebnisse gezeigt haben.

Zusammenfassung

Wichtig ist, dass sich Bewohner der Passivhäuser wohlfühlen. Deren Rückmeldungen sind sehr positiv: „Wir haben nie gefroren“, „Wir fühlen uns wohl“ oder „Wenn wir wieder bauen würden, müsste es auf jeden Fall wieder ein Passivhaus sein“. Die Raumtemperaturen waren auch in (wenigen) strengen Wintern stets angenehm.

Die Befürchtung, man dürfe im Passivhaus kein Fenster öffnen und fühle sich dadurch unwohl, erwies sich in der Praxis als gegenstandslos. Selbstverständlich kann man die Fenster öffnen und man darf es auch. Die Fenster wurden im Kernwinter geöffnet, jedoch kurz, wie in herkömmlichen Häusern auch. Dagegen gewöhnten sich die Bewohner schnell an den Komfort, im Winter nicht mehr über die Fenster lüften zu müssen. Die luftdichte Gebäudehülle bringt Zugfreiheit und nebenbei einen auffallend guten Schallschutz gegenüber der Umgebung; ein Vorteil für alle, die nachts ruhig schlafen wollen.

In diesem Zusammenhang ist es eine Überlegung wert, ob Fenster nicht nur mit einer Öffnungsfunktion eingebaut werden: Mit Drehbeschlag für vollständiges Öffnen – und ohne Kippfunktion! Der Kippbeschlag macht ohnehin keinen wirklichen Sinn und verleitet zum Vergessen des Schließens. Ein Fenster nur mit Drehfunktion wird im Winter wenn, dann wirklich nur kurz geöffnet und ermöglicht im Sommer dem Nutzer den wichtigen „Kontakt nach draußen“.

Noch ein Wort zu den Lüftungsanlagen: Sie arbeiten leise, effizient, hygienisch und mit niedrigem Stromverbrauch – wenn die Qualitäten von Planung, Gerät, Installation und Wartung stimmen. Gerade bei der Planung ist Mut zu einfachen Konzepten gefragt, die nicht an Querschnitt, dafür an Leitungslängen sparen und dazu übergehen, die Gebäudedecken als halbseitigen Kanal zu nutzen. Denn das beste Rohr ist kein Rohr.

Im EU-Demonstrationsprojekt CEPHEUS (Cost Efficient Passive Houses as European Standards) wurden bereits vor fast 20 Jahren Passivhäuser an 14 europäischen Standorten errichtet und wissenschaftlich begleitet. Die Auswertungen und Ergebnisse des Projekts sind nach wie vor beeindruckend [9]:

- Passivhäuser können in unterschiedlichen Bauweisen und Gebäudetypen mit vertretbaren Kosten errichtet werden.
- Vorliegende Planungshilfen zur Luftführung, zum wärmebrückenfreien Konstruieren, zur Luftdichtheit und zu den Passivhausfenstern hatten sich bewährt.
- Die Messungen in den insges. 113 WE ergaben einen \varnothing Jahres-Heizwärmebedarf von 16,6 kWh/(m²a) und waren damit nur geringfügig höher als berechnet.
- Damit konnte auch das Rechenverfahren nach EN 832 (Grundlage des PHPP) als im Feldversuch validiert gelten.
- Die max. Heizlast ist mit 10 W/m² so gering, dass eine „Beheizung“ allein durch Erwärmung des Außenluftmassenstroms der Lüftungsanlagen ausreichte – auf ein Heizsystem konnte tatsächlich verzichtet werden. Bei mehr als 10 W/m² kann bei einem freistehenden Einfamilienhaus eine Heizung (z.B. Pelletofen im Wohnzimmer) erforderlich sein, was dagegen bei einem Reihenhaushaus nicht erforderlich ist.
- Sehr geringe Heizlasten ergeben sich bei sehr niedrigen Außentemperaturen, die in Mitteleuropa meist mit klarem Himmel und deshalb hohem Solarstrahlungsangebot einhergehen, und bei Temperaturen über 10°C (Frühjahr und Herbst).
- In extrem gut gedämmten Gebäuden wie PH verändern sich die Raumtemperaturen


auch ohne Wärmezufuhr nur sehr geringfügig (hohe thermische Trägheit als Folge von sehr langen Zeitkonstanten von 170 bis 800 Stunden). Lastspitzen traten daher gar nicht mehr auf.

- Sowohl Eigentümer als auch Mieter waren mit dem PH-Standard sehr gut zurechtgekommen und mit der thermischen Behaglichkeit sehr zufrieden.

Beim Passivhaus wird das Klimaschutz-Ziel „CO₂-Einsparung“ nicht durch Verzicht erreicht – ganz im Gegenteil. Nur so besteht heute überhaupt eine Chance, entscheidende Verbesserungen umzusetzen. Im Passivhaus führt die höhere Effizienz eindeutig zu höherem Komfort. Damit hat „Energiesparen“ das Etikett des Asketischen verloren.

Mit Verordnungen und Gesetzen allein ist dabei nicht viel zu gewinnen; die angebotenen Konzepte müssen vielmehr all die Voraussetzungen erfüllen, die für eine breite Akzeptanz am Markt erforderlich sind.

- Sie müssen einfach und zuverlässig sein!
 - Sie müssen den Komfort verbessern und nicht beschränken!
 - Sie müssen die bisherigen Wohnformen und -ansprüche aufnehmen und dürfen sich kaum vom Althergebrachten unterscheiden!
 - Sie müssen bezahlbar sein!
- Alle Forderungen werden durch den Passivhaus-Standard erfüllt. Probieren Sie es selbst – bauen Sie mit!

 Vor allem ist das Passivhaus für alle, die nun einen Neubau planen und tatsächlich errichten, die einzige Chance, ihren Beitrag zur Klimaneutralität bis zum Jahr 2050 jetzt zu leisten – z.B. mit einem Passivhaus Plus.

„Ich bin ein guter Schwamm, denn ich sauge Ideen auf und mache sie dann nutzbar. Die meisten meiner Ideen gehörten ursprünglich anderen Leuten, die sich nicht die Mühe gemacht haben, sie weiterzuentwickeln.“ (Thomas Edison)

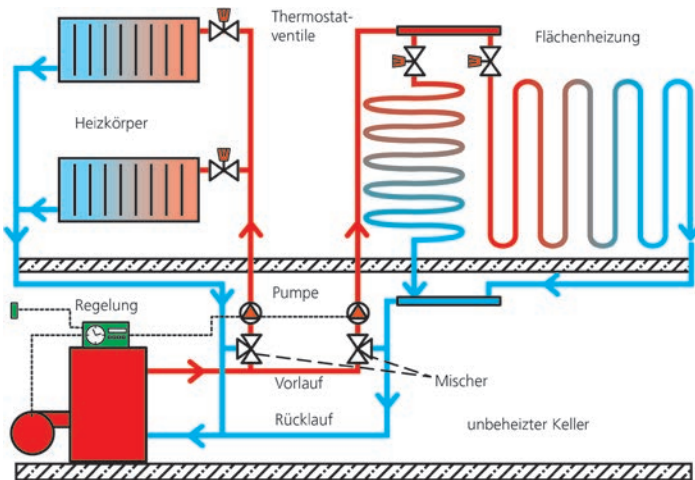
11 Heizungsanlagen

Bis auf Ausnahmen (Öleinzelföfen, Kamin- und Kachelöfen) ist Stand der Technik zur Raumerwärmung die zentrale Warmwasser-Pumpenheizung: Über einen brennstoffbetriebenen Heizkessel (oder eine Elektrowär-

mepumpe) im Gebäude (oder außerhalb als Fern-/Nahwärme) wird warmes Wasser erzeugt, das über ein Rohrleitungssystem zu allen Heizflächen gepumpt wird und über diese die Wärme an die Räume abgibt.

11.1 Warmwasser-Pumpenheizung

Um während der Heizzeit die Räume eines Gebäudes auf Raumtemperaturen von etwa 20°C zu erwärmen, hat sich die Warmwasserpumpenheizung durchgesetzt. Es handelt sich dabei um ein geschlossenes Kreislaufsystem, für das Wasser als Transport- und Speichermedium wegen seiner hohen Wärmekapazität am besten geeignet ist.



Die Schwerkraftheizung war Vorläufer der Pumpenheizung und wurde bis Ende der 1960er Jahre eingebaut. Sie kam ohne Pumpe aus, da die Rohrleitungsdurchmesser sehr dick bemessen waren. Dadurch konnte die große Heizwassermenge ganz von „alleine“ (Schwerkraftprinzip: das warme Wasser ist leichter als Kaltes und steigt deshalb nach oben) zu den Heizflächen bis in die obersten Stockwerke eines Hauses gelangen. Das System war jedoch träge und nicht gut regelbar.

Deshalb, vor allem aber aus wirtschaftlichen Gründen (Platzbedarf und Kosten) wurden die Rohrleitungen so dünn, dass eine Umwälzpumpe den (flinken) Transport der nun viel geringeren Heizwassermenge übernahm.

Alle Warmwasser-Pumpenheizungen arbeiten unabhängig von dem eingesetzten Brennstoff nach folgendem Prinzip: Ein Kessel erzeugt heißes Wasser (Heizwasser), das über die Rohrleitungen (Vorlauf) mit Hilfe einer (Umwälz)Pumpe zu den Verbrauchern (Heizflächen wie Heizkörpern oder Bodenheizung) transportiert und verteilt wird. Die vom Heizwasser durchströmten Heizflächen übertragen die Wärme, geregelt durch Thermostate, an die jeweiligen Räume. Das auf diese Weise abgekühlte Heizwasser wird über Rohrleitungen (Rücklauf) zum Kessel zurückgepumpt, wo es wieder erwärmt wird – der Kreislauf beginnt von vorne.

Im Kreislauf kann die Energie nur dann transportiert werden, wenn das thermische Niveau am Heizkessel erhöht und an der Heizfläche abgesenkt wird. Die dabei auftretende Temperaturspreizung ist ein Maß für die Effizienz des Wärmetransports. Als üblicher Wert für die Spreizung gilt im Bereich der Heizungstechnik 20 K(elvin).

Standard bei Heizkörpern sind 75/55°C (für Vor- und Rücklauf) und im Niedertemperaturbetrieb 55/40°C mit 15 K. Nur bei der Fußboden- oder Wandheizung (35/28°C) als niedrigstem Niedertemperatursystem ist die Spreizung mit 7 K deutlich geringer.

Das gesamte Heizsystem sollte sich den oft wechselnden äußeren und inneren Verhältnissen automatisch anpassen können. Dazu ist neben dem (bei einem Kesslersatz vorgeschriebenen) hydraulischen Abgleich eine Regelung erforderlich, die mindestens aus einer witterungsgeführten Kessel- oder Heizkreisregelung (Mischer) und der raumweisen Anpassung der Wärmeabgabe durch Thermostatventile besteht.

Soweit zur Theorie. Die Erfahrung zeigt, dass in der Praxis nur selten ganzheitliche

Heizungsplanungen vom Heizkessel bis zur Wärmeabgabe im Raum realisiert werden – und dabei die Energieeffizienz und die Behaglichkeit der Bewohner/Nutzer nur zu oft an letzter Stelle stehen.



Wie für die Gebäudehülle gilt selbstverständlich auch für die Heizungsanlage: Eine sehr gute integrierte Planung, genaue Dimensionierung und aufeinander abgestimmte Komponenten sind alles!

Und – je besser das Gebäude wärmege-dämmt wird, desto kleiner wird die Heizlast (Heizleistung). Dann können alle Komponenten vom Wärmeerzeuger über die Verteilung bis hin zur Heizfläche kleiner, effizienter und daher auch kostengünstiger geplant und installiert werden.

11.2 Energieträger

Welcher Wärmeerzeuger tatsächlich eingesetzt werden kann, ist zunächst vom Brennstoff bzw. vom Energieträger abhängig, der jeweils vor Ort verfügbar ist.

Doch welcher Energieträger ist der beste?

Und was kostet die jeweilige Technik?

Diese Fragen können nicht pauschal beantwortet werden. Zu unterschiedlich sind die Ansprüche und Bedürfnisse jedes einzelnen Bewohners bzw. Nutzers, zu verschiedenen auch die (baulichen) Voraussetzungen

und Möglichkeiten vor Ort.

Fest steht: Es gibt nicht den besten Energieträger (optimal wäre es, wie beim Passivhaus, gar keinen zu benötigen!) – und die jeweils zu installierende Technik ist, bezogen auf die Investitionskosten, ebenso unterschiedlich wie die späteren Energieträger-, Wartungs- und Instandhaltungskosten, die in den Planungen zum Einbau oder zur Erneuerung einer Heizung eine wichtige Rolle spielen sollten.

	Heizöl EL	Erdgas	Holz	Flüssiggas
Heizwert (H_i)	10,0 kWh/l	Ø 9,8 kWh/m ³	3,9 bis 4,9 kWh/kg	6,8 kWh/l
Brennwert (H_s)	10,7 kWh/l	Ø 10,9 kWh/m ³	-	7,4 kWh/l
Kesselnutzungsgrad (η), Bezug H_s	bis 107 %	bis 111 %	bis 90 %	bis 111 %
Verbrennung	einfach	problemlos	aufwändig	problemlos
CO ₂ -äquiv. [10]	266 g/kWh	202 g/kWh	17 bis 28 g/kWh	239 g/kWh
u.a. im Abgas	NO _x und SO ₂	NO _x	NO _x und Staub	NO _x
Lagerung	Tank	-	großes Lager	Tank
Bedienung	automatisch	automatisch	manuell / automatisch	automatisch
Rohstoff	fossil begrenzt	fossil begrenzt	nachwachsend	fossil begrenzt
Gewinnung	aufwändig	gering	kaum	aufwändig
Transport	weit	weit	nah bis weiter	weit
Wertschöpfung	Import	Import	heimisch / Import	Import

Überwiegend werden vier Brennstoffarten angeboten: Heizöl, Flüssiggas (u.a. ein Abfallprodukt aus der Raffinierung von Erdöl), Erdgas und Holz (in Form von Stückholz, Pellets oder Hackschnitzeln).

Die Vor- und Nachteile sind in der vorangegangenen Tabelle knapp skizziert. Holz ist als ein nachwachsender und einheimischer Brennstoff ökologisch gesehen sicher eine gute Alternative. Allerdings gibt es Grenzen bei der Beschaffung und Lagerung. Soweit vorhanden (oder geplant), ist der Anschluss an eine Fern- oder Nahwärmeversorgung die optimale Lösung. Das Prinzip der Warmwasser-Pumpenheizung bleibt gleich. Nur die Anzahl der zu versorgenden Haushalte bzw. Nutzer je Wärmeerzeuger steigt an.

Strom zu Heizzwecken oder zur Warmwasserbereitung einzusetzen, verbietet sich! Diese aufwändig hergestellte „Edelenergie“ ist für die hier erforderlichen Niedertemperaturanwendungen im Bereich von etwa 20 bis 70°C der falsche „Brennstoff“: Strom ist mit derzeit 547 g CO₂ pro Kilowattstunde [10] der Klimakiller Nr. 1 und drei- bis sechsmal teurer als die anderen Brennstoffe. Einzige Ausnahme ist der Einsatz in einer Wärmepumpe.

Energiekosten

Wer kann schon in die Zukunft blicken, um festzustellen, welcher Energieträger wann wie viel kosten wird, um danach seine Investitionsentscheidung für ein Heizsystem zu treffen? Niemand. Doch für einen Blick in die Zukunft hilft ein Blick zurück.

Heizöl: 5,0 % jährlich (1963 - 2019)

Ein gutes Beispiel ist die Entwicklung des Heizölpreises. Er war in der Vergangenheit zwar merklichen Schwankungen unterworfen, die Tendenz aber ist durchgehend steigend.

In den 56 Jahren von 1963 bis 2019 ist der Preis des Heizöls im Durchschnitt jährlich um 5,0 % gestiegen! Lag der Preis für 3.000 Liter (l) im Sommer 1963 noch bei 0,09 DM/l bzw. 0,045 €/l, so lag er im Sommer 2019 (www.tecson.de) bei 0,69 €/l (bei einem Maximum von 0,95 €/l im Jahr 2012).

Pellets: 2,2 % jährlich (2003 - 2019)

Die Preise für (die Lieferung von 6 t) Pellets haben sich auch wegen dem Ausbau der Produktionskapazitäten insgesamt sehr moderat entwickelt. Sowohl die Preisentwicklung als auch die jeweils aktuellen Pelletpreise werden laufend beim Deutschen Energieholz- und Pellet-Verband e.V. unter www.depv.de dokumentiert. Auf dieser Grundlage lässt sich die durchschnittliche jährliche Preissteigerung von 2003 (179,- €/t bzw. 3,65 Ct/kWh) bis 2019 (253,- €/t bzw. 5,16 Ct/kWh) berechnen.

In den 16 Jahren von 2003 bis 2019 ist der Pelletpreis im Durchschnitt jährlich nur um 2,2 % gestiegen!

Erdgas: 1,9 % jährlich (2003 - 2019)

Bei diesem fossilen Energieträger sind im Vergleich mit Heizöl und Pellets die regionalen Unterschiede sehr groß, sodass deutsche Durchschnittspreise schwierig zu ermitteln sind. Laut u.a. dem Bundesministerium für Wirtschaft (BMWT) stieg der Preis in den 16 Jahren von 2003 bis 2019 von durchschnittlich 4,8 auf 6,0 Ct/kWh.

Haushaltsstrom: 3,7 % jährlich (2003 - 2019)

Auch hier sind die Preise regional sehr verschieden, auch wegen der unterschiedlichen Netzbetreiber. Bezogen auf einen typischen Verbrauch von 3.600 kWh/a für einen Vier-Personen-Haushalt ist der durchschnittliche deutsche Strompreis von 16,7 Ct/kWh im Jahr 2003 auf 29,8 Ct/kWh im Jahr 2019 gestiegen – jährlich also um 3,7 %!


Beim Strompreis für Wärmeanwendungen (Wärmepumpe und Nachtstromspeicherheizung) war der Anstieg etwas moderater – zu zahlen sind mehr als 22 Ct/kWh.

Fazit

Damit liegt die jährliche Energiepreissteigerung über der Inflationsrate. Vor allem weil die Ressourcen an fossilen Energieträgern immer knapper werden und die weltweite Nachfrage aus „energiehungrigen“ Regionen wie z.B. China kräftig wächst, ist klar und aus der Vergangenheit („Wirtschaftswunder Deutschland“) belegt, dass die Energiepreise stetig weiter steigen. Deshalb investieren Sie in Effizienz statt in Energie.

11.3 Heizkessel

In der Vergangenheit hat sich die Heizkesseltechnik deutlich hin zu energiesparenden Anlagen entwickelt. Wer heute einen Wärmeerzeuger erneuern muss oder erstmals neu einbaut, kann sich auf eine Technik verlassen, die ein relativ hohes Maß an Energieeffizienz bietet. So liegen die Wirkungsgrade von modernen Öl- und Gaskesseln bei deutlich über 90 %. Ihr Schadstoffausstoß (vor allem der Stickoxide) wurde gegenüber den 1980er Jahren um über 80 % reduziert. Nur die Holzheizungsanlagen „hinken hier noch leicht hinterher“.

 Auch der Stromverbrauch der Heizung ist zu beachten. Hier liegt ein meist sehr unterschätztes Einsparpotenzial. Besonders Umwälz- und Zirkulationspumpen sind durch Überdimensionierung und lange Laufzeiten meist Stromgroßverbraucher.

Wichtig: Die Erfahrung zeigt, dass gute Ergebnisse nur erreicht werden können, wenn alle Komponenten des Heizsystems (Heizkessel, Abgasleitung bzw. Kamin, Rohrnetz, Regelung, Heizflächen und Warmwasserbereitung) gut aufeinander abgestimmt sind und regelmäßig gewartet werden.

Exkurs Ökodesign-Richtlinie

Die Ökodesign-Richtlinie der EU gibt für alle Mitgliedsländer Anforderungen an die Energieeffizienz von Produkten vor. Sie ist eines der Instrumente zur Umsetzung des sog. EU Top Runner-Ansatzes, dessen Ziel die Marktdurchdringung effizienter Produkte im EU-Binnenmarkt ist. Hersteller werden mithilfe der Richtlinie dazu gebracht, die Energieeffizienz ihrer Produkte über den gesamten Lebenszyklus (Auswahl und Einsatz von Rohstoffen, Herstellung, Verpackung, Transport, Vertrieb, Installation und Wartung, Nutzung, Ende der Lebensdauer) zu dokumentieren, zu verbessern und die Umweltbelastung zu reduzieren. Außerdem bieten Effizienzstrategien Impulse für Innovationen.

Die Anforderungen beschreiben technische Eigenschaften, sie verbieten keine Produkte als solche. Es soll jedoch der Marktzugang für Produkte

verhindert werden, welche die Effizienzanforderungen nicht erfüllen. Die Richtlinie gilt für alle Produkte, von denen EU-weit jährlich mehr als 200.000 Stück verkauft werden.

EuP (Energy using Products)

Die erste Richtlinien-Fassung von 2005 bildete den europäischen Rechtsrahmen für die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energieverbrauchsrelevanter Produkte. Sie war noch auf den Teilbereich energiebetriebener Produkte EuP beschränkt und sollte zur Reduzierung des CO₂-Ausstoßes den elektrischen Stromverbrauch minimieren.

ErP (Energy related Products)

Mit der Bezeichnung ErP wurde mit der zweiten und noch geltenden Fassung der Ökodesign-Richtlinie 2009 (Richtlinie 2009/125/EG vom 21.10.2009) der Umfang auf energieverbrauchsrelevante Produkte erweitert. Seitdem wird von ErP statt von EuP gesprochen.

Europäische Umsetzung der Richtlinie

Ordnungsrechtlich werden die Anforderungen in Form von EU-Verordnungen umgesetzt. Die Tabelle zeigt einige technische Produktgruppen, für die solche Verordnungen in Kraft sind.

Verordnung	Produktgruppe
1275/2008/EU	Bereitschaftszustand (stand by)
244/2009/EU	Haushaltslampen
640/2009/EU	Elektromotoren
643/2009/EU	Kühl- und Gefriergeräte
1016/2010/EU	Haushaltsgeschirrspülmaschinen
327/2011/EU	Ventilatoren
622/2012/EU	Heizungsumwälzpumpen
811/2013/EU	Wärmeerzeuger
1253/2014/EU	Klimaanlagen
1254/2014/EU	Lüftungsanlagen
1188/2015/EU	Einzelraumheizgeräte

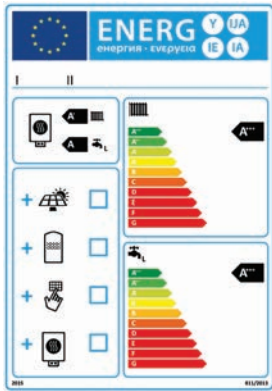
Nationale Umsetzung

Sie erfolgte durch das Bundeswirtschaftsministerium durch das EVPG (Energieverbrauchsrelevante-Produkte-Gesetz), welches am 25.11.2011 in Kraft getreten ist.

Energieverbrauchskennzeichnung

Zudem gilt für die Kennzeichnung dieser Produkte (**EU-Label**) die EU-Richtlinie 2010/30/EU vom 19.05.2010.

Seit 2016 muss für neue Zentralheizungssysteme, die „in den Verkehr gebracht“ werden, auf Grundlage



der Ökodesign-Richtlinie und den zugehörigen Verordnungen die Effizienz jeweils berechnet und durch das EU-Label (hier z.B. mit dem Systemlabel) gekennzeichnet werden, das auf der Anlage anzubringen ist.

11.3.1 Heizlastberechnung (Gebäude)

Die erforderliche Kesselleistung, also die Beantwortung der Frage „Wie groß muss der Kessel sein?“, richtet sich zuerst nach dem jeweiligen Dämmstandard des zu versorgenden Gebäudes. Je besser die Wärmedämmung ist, umso kleiner wird der Kessel, desto geringer sind die Investitionskosten.

Die folgende Tabelle gibt eine sehr übersichtliche Dimensionierungshilfe der benötigten spezifischen Kesselleistung bzw. Heizlast (in W/m^2) für Wohngebäude.

Gebäude(dämm)typ	in W/m^2
Altbau (vor 1980)	160 - 100
GEG (EnEV 2002)	100 - 70
GEG (EnEV 2014/2016)	70 - 50
Passivhaus (PH)	< 10

So liegt, z.B. für ein kleines Mehrfamilienhaus Baujahr 2002 mit etwa 300 m^2 beheizter Wohnfläche, die Heizlast und damit die Kesselgröße im Mittel bei 26 Kilowatt (kW) ($300 \text{ m}^2 \times 85 \text{ W/m}^2 = 25.500 \text{ W}$).

Wäre das gleiche Gebäude 15 Jahre später gebaut worden, sollte die Kesselleistung bei etwa 18 kW liegen. Es wird klar, dass eine verbesserte Wärmedämmung nicht nur (geringe) Mehrkosten bedeutet, sondern auch eine Kostenreduzierung bei der zu installierenden Heiztechnik mit sich bringt. Die Größe bzw. die Heizlast eines Wärmeerzeugers sollte aber nie mit dem berühmten „Pimal-Daumen“-Faktor „berechnet“ werden.

Die Aufgabe einer Heizlast-Berechnung besteht darin, am jeweiligen Standort für die ausreichende Erwärmung von beheizten Gebäuden (und Räumen) die Wärmeerzeuger (und Heizflächen) angepasst zu dimensionieren. Bis 2004 wurden in Deutschland solche Berechnungen auf Grundlage der Norm DIN 4701, T 1 bis 3 „Wärmebedarfsberechnung“ durchgeführt.

Exkurs Heizlastberechnung 1929 bis heute

1929 bis 1983: Vor 90 Jahren wurde der Fachnormenausschuss für Heizung gegründet und die erste Ausgabe der DIN 4701 veröffentlicht, deren prinzipiellen Berechnungsgrundlagen noch heute gelten.

Die Norm enthielt neben den Klimatafeln für deutsche und österreichische Städte auch Tabellen von Wärmeleitzahlen der Baustoffe, Wärmedurchgangszahlen sowie die Berechnung von Kesseln und Heizkörpern. In der 2. Ausgabe 1947 wurden die Kessel und Heizkörper wegen der zahlreichen neuen Modellreihen herausgenommen und in eigenen Normen (DIN 4702 und 4703) veröffentlicht. Die 3. Ausgabe 1959 wurde notwendig, da u.a. die Wärmedurchgangszahlen neuer Baustoffe sowie neuer Wand- und Deckenkonstruktionen angepasst werden mussten. In allen drei Ausgaben war der Berechnungsgang gleich; nur einzelne Randwerte wurden für die Berechnung dem jeweiligen Wissensstand angepasst mit dem Ergebnis, dass die 1959 berechneten Heizlasten etwas geringer als die Werte von 1947 waren.

1983 bis heute: Die 4. Ausgabe der DIN 4701 von 1983 erfolgte in zwei Teilen (Berechnungsverfahren und Tabellenwerte) und enthielt viele Änderungen (u.a. Mindestluftwechsel, Teilbeheizung von Nachbarräumen, Korrekturfaktor Norm-Außentemperatur, Wegfall von Zuschlägen, Gebäudespeicherfähigkeit, gleichzeitig wirksamer Lüftungsanteil). Wegen der Ölkrisen der 1970er Jahre war man nun bestrebt, den Wärmeverlust möglichst genau zu berechnen mit dem Ergebnis, dass es keine Sicherheitsreserven mehr gab: Gegenüber den bisherigen Norm-Ausgaben ergab sich ein spürbar gesenkter „Wärmebedarf“ von ca. 20 bis 25 %. Weil es in der Folge manchmal zu einer Unterversorgung kam, wurde 1989 der Teil 3 der DIN 4701 eingeführt, mit dem bei der Ausle-

gung der Heizflächen ein pauschaler Sicherheitszuschlag von 15 % angesetzt werden konnte.

1995 wurde wegen der deutschen Wiedervereinigung noch ein Normentwurf der DIN 4701 als Gelbdruck veröffentlicht, in dem die Norm-Außentemperaturen um die der neuen Bundesländer ergänzt, der Berechnungsgang für Erdreich berührte Bauteile überarbeitet und die Korrektur der Norm-Außentemperatur (wegen der fehlenden Sicherheitsreserve) wieder gestrichen wurde.

2003 wurden die drei Teile der DIN 4701 komplett durch die DIN EN 12831 „Energetische Bewertung von Gebäuden - Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast“ mit Inkrafttreten zum Oktober 2004 ersetzt. Sie enthält einen für alle EU-Länder verbindlichen Rechenanteil, wobei die in die Formeln einzusetzenden Kenngrößen je nach Land in separaten nationalen Anhängen herausgegeben wurden.

Seit Einführung dieser Norm ergeben sich nun Leistungen von Heizflächen und Wärmeerzeugern, die im Vergleich mit der Ausgabe 1983 um bis zu 25 % höher ausfallen – und damit wieder das Niveau von 1929 bis 1953 erreichen.

DIN EN 12831 – Heizlastberechnung

Ende 2017 wurden die aktuelle deutsche Ausgabe der DIN EN 12831-1:2017-09 veröffentlicht und dazu Ende 2018 auch in Form der DIN SPEC 12831-1:2018-10 die nationalen Ergänzungen. Dieser Teil 1 deckt die Inhalte der bisherigen Beiblätter 1 - 3 ab (Bbl. 1 Nationaler Anhang mit den Norm-Außentemperaturen, Bbl. 2 vereinfachte Gebäude-Heizlast, Bbl. 3 vereinfachte Raum-Heizlast).

Gemäß DIN 4701 war bis 2004 der „Wärmebedarf“ zu ermitteln, der als Begriff jedoch längst besetzt ist (→ S. 147): Prinzipiell beschreibt der Wärmebedarf eine Energiemenge in kWh, während es bei der Dimensionierung von Wärmeerzeugern oder Heizflächen um die Ermittlung der Leistung in W bzw. kW geht – also um die Berechnung der Heizlast. Über 15 Jahre nach Einführung dieses Begriffs mit der DIN EN 12831 kommt es trotzdem noch häufig zur Vermischung der Begriffe und sogar zu Missverständnissen.

Die DIN beschreibt ein ausführliches Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast

■ zur Dimensionierung eines Wärmeerzeugers (z.B. Heizkessel, Wärmepumpe).

■ zur Dimensionierung der Heizflächen (z.B. Heizkörper, Fußboden- oder Wandheizung). Dazu wird die Wärmezufuhr ermittelt, die unter Norm-Auslegungsbedingungen am jeweiligen Standort benötigt wird, um sicherzustellen, dass die erforderliche Norm-Innentemperatur in den Wohn- und Nutzräumen der Gebäude erreicht wird.

„Worst-case“-Ansatz

Mit dem Ergebnis der Heizlastberechnung nach DIN EN 12831 liegt man mehr als „auf der sicheren Seite“, da äußere Einflüsse u.a. aus der Nutzung nicht einbezogen werden!

Wärmegewinne bleiben außen vor

Die Norm-Heizlast wird aus den Anteilen für Transmission (einschließlich Wärmebrückeneffekte) und Lüftung berechnet. Anders als bei der Berechnung des Jahres-Heizwärmebedarfs bleiben hier die (i.d.R. immer vorhandenen) solaren und internen Wärmegewinne völlig unberücksichtigt.

Ansatz Norm-Innentemperatur

Für die Räume werden Norm-Innentemperaturen eingesetzt, die i.d.R. 15°C (z.B. Flur), 20°C (z.B. alle Wohnräume) oder 24°C (z.B. Bad) betragen. Unberücksichtigt bleibt, dass in der Praxis fast nie alle Räume gleichzeitig und einige Räume (z.B. Schlafzimmer) nicht auf Norm-Innentemperatur beheizt werden.

Ansatz Norm-Außentemperatur

Für den jeweiligen Standort ist die Norm-Außentemperatur gemäß nationaler Ergänzung einzusetzen. Bei diesem Wert handelt es sich um den langjährigen Mittelwert der tiefsten Zweitagesmitteltemperatur, die dort zehnmal in 20 Jahren gemessen wurde.

Tatsächlich wird diese Norm-Außentemperatur aber fast nie erreicht, wie sich am Beispiel von München mit dem (bis Ende 2018) anzusetzenden Wert von -16°C zeigt. Die eigene Auswertung der täglichen Messdaten der Außentemperatur des DWD (Deutscher Wetterdienst) für München ergab: In den 27 Winterperioden vom 15.10.1992 bis zum 31.03.2019 wurde während den insgesamt 4.558 Tagen an nur 55 Tagen (= 1,2 %) eine

Außentemperatur von unter -10°C gemessen. An nur zwei Tagen (am 29.12.1996 mit $-16,0^{\circ}\text{C}$ und am 25.01.2000 mit $-17,1^{\circ}\text{C}$) wurde die für München anzusetzende Norm-Außentemperatur zur Heizlast-Berechnung erreicht bzw. unterschritten. Und nur einmal in diesen vergangenen 27 Wintern gab es eine längere Kälteperiode über elf Tage (vom 03.02. bis 13.02.2012) mit einer Außentemperatur von durchschnittlich $-12,5^{\circ}\text{C}$.

Ergebnisinterpretation

Der jahrzehntelange Ansatz einer einzigen Norm-Außentemperatur für München von -16°C ist längst nicht mehr gerechtfertigt. Die Temperaturen steigen kontinuierlich an, der Klimawandel ist in vollem Gange – das ist an allen deutschen Messstationen nachweisbar. Deshalb liefert die Berechnung der Norm-Heizlast nach DIN EN 12831 eine Größe des Wärmeerzeugers, die in 99 % der Fälle nicht benötigt wird, da sie weder der Beheizungspraxis noch den tatsächlichen Klimabedingungen gerecht wird.

Mit der DIN SPEC 12831-1 wurden immerhin die Norm-Außentemperaturen für die Heizlastberechnung endlich korrigiert – und für eine Großstadt wie z.B. München detailliert: So gibt es allein für München 74 Werte der Norm-Außentemperatur zwischen $-11,1$ und $-13,9^{\circ}\text{C}$, je nach Postleitzahlgebiet.

Praxisbeispiel Neubau 2012

Insofern ist es völlig unverständlich, wenn das Ergebnis der Norm-Berechnung nicht als Grundlage für die tatsächliche max. Größe des einzubauenden Wärmeerzeugers herangezogen wird, sondern weiterhin mit unbegründeten Sicherheitszuschlägen um 50, 100, 200 oder noch mehr % überdimensioniert wird – falls überhaupt auf Grundlage der Heizlast-Norm gerechnet wird.

Im Wohnungsbau ist das bei Ein- und Zweifamilienhäusern sicher nicht die Praxis, da selten ein Planer eingeschaltet wird. Die Dimensionierung wird dann dem Heizungsbauer (und/oder Lieferanten) überlassen, mit teilweise unglaublichen Ergebnissen.

Für den Neubau eines KfW-Effizienzhaus 55 in München im Jahr 2011 mit 276 m^2 beheizter Fläche (Einfamilienhaus für vier Per-

sonen) wurde die Heizlast auf $5,5\text{ kW}$ (spez. Heizlast von 20 W/m^2) berechnet – noch auf Grundlage der (alten) Norm-Außentemperatur von -16°C , statt aktuell von $-12,1^{\circ}\text{C}$.

Diese Berechnung wurde durch den Installateur ignoriert: Er verkaufte und montierte einen „modulierenden“ Gas-Brennwertkessel mit 4 bis 35 kW (spez. Heizlast 127 W/m^2). Die Folgen der enormen Überdimensionierung von 636 % für den Bauherrn: Höhere Investition, höherer monatlicher Grundpreis und schlechtes Betriebsverhalten – trotz Modulation, die ja erst bei 4 kW beginnt!

Heizlast im Gebäudebestand

Muss im Gebäudebestand ein Wärmeerzeuger ersetzt werden, wird selten bis gar nicht eine Berechnung der Norm-Heizlast gemäß DIN EN 12831 beauftragt, obwohl dann zusätzlich (wie bei jeder Neuanlage) ein hydraulischer Abgleich durchzuführen ist, für den auch die Raum-Heizlasten erforderlich sind und deshalb zu berechnen sind.

Nun – eine aufwändige Norm-Berechnung ist in diesem Fall auch nicht unbedingt notwendig; es reicht bereits ein vereinfachtes Näherungsverfahren (Hüllflächenverfahren) zur Heizlastberechnung aus, mit dem auf Grundlage der DIN EN 12831 die Transmissions- und Lüftungswärmeverluste errechnet werden. Benötigt werden nur die U-Werte und Flächen aller wärmeübertragenden Bauteile, die Norm-Innen- und -Außentemperaturen sowie das Nettoluftvolumen und ein praxisnaher Luftwechsel. Eigene Erfahrungen aus hunderten von Berechnungen mit diesem Näherungsverfahren zeigen, dass das Ergebnis für eine angepasste Dimensionierung eines Wärmeerzeugers völlig ausreicht.

Praxisbeispiel Altbau 1967

2012 wurde eine unabhängige Energieberatung für ein ***Hotel in Bozen (Südtirol) mit 997 m^2 beheizter Nutzfläche durchgeführt. Installiert war ein 20 Jahre alter Gaskessel mit 345 kW (spez. Heizlast 351 W/m^2), der ersetzt werden sollte.

Das Näherungsverfahren ergab bei der anzusetzenden Norm-Außentemperatur von -15°C eine Heizlast von 97 kW . Da noch die

Dämmung von 280 m² OG-Decke realisiert wurde, ergab sich als Wert für die Kesselgröße eine Heizlast von 88 kW – als praxisgerecht vorgeschlagen wurden 80 kW!



Heizraum mit 345 kW-Standkessel vorne (vorher)

Der Versuch des Hoteliers, auf Grundlage dieses Ergebnisses einen Installateur zu finden, scheiterte kläglich. Er fragte drei Handwerker an und erhielt nur Angebote mit 150, 180 und 210 kW. Erst mit Hilfe des Energieberaters konnte ein Heizungsbauer gefunden werden, der das Konzept mit der berechneten Kesselleistung auch umsetzte.

Installiert wurde schließlich im gleichen Heizraum ein Brennwertkessel mit 14,8 bis 85,3 kW (spez. Heizlast 86 W/m²!!) mit Pufferspeicher und Frischwasserstation als Doppelkaskade. Die Kesselelektronik zeigte, dass im ersten Winter am bis dahin kältesten Tag (10.02.2013 mit -11°C) kurzzeitig nur eine Leistung von 63 kW benötigt wurde.



Heizraum mit 85 kW-Wandkessel hinten (nachher)

Schätzen der Gebäude-Heizlast?

Im Gebäudebestand wird die Heizlast i.d.R. weder über die DIN EN 12831 noch über ein zugelassenes Näherungsverfahren berechnet,

um eine an das Gebäude angepasste Größe des Wärmeerzeugers zu ermitteln. Der Heizungsbauer (Praxisbeispiel Altbau 1967) wird direkt beauftragt. Da er – wie manch anderer auch – die U-Wert-Berechnung entweder gar nicht beherrscht oder dafür kein Honorar erhält, wird gerne über Baualters- oder Wärmeschutzklassen mit entsprechenden spezifischen Heizlasten geschätzt und das Ergebnis dann als „Berechnung“ verkauft.

Baualtersklassen Baujahr	spez. Heizlast in W/m ²
bis 1958	180 - 130
1959 bis 1968	170 - 110
1969 bis 1977	150 - 100
1978 bis 1983	130 - 100
1984 bis 1995	110 - 90

So kommt er bei einem (ungedämmten) Einfamilienhaus, Baujahr 1972, bei 135 m² Wohnfläche auf bis zu 20,3 kW. Und da es den Öl-Brennwertkessel natürlich nicht genau mit dieser Leistung gibt, wird einer mit 24,6 kW bestellt und eingebaut. Das Näherungsverfahren kam in diesem Fall zu einer Heizlast bzw. maximalen Kesselleistung bei Norm-Außentemperatur von nur 11,8 kW.

! Investieren Sie unbedingt ein paar Hundert Euro für eine Heizlast-Berechnung auf Grundlage der DIN EN 12831 und lassen Sie sich die Berechnung sowie den danach ausgewählten Wärmeerzeuger zeigen. Es lohnt sich!

Pelletkessel und Wärmepumpen

Dass die Dimensionierung einen erheblichen Einfluss auf die Effizienz von Pelletheizungen hat, wurde im Beitrag „Pelletkessel nicht zu groß bemessen“ (Fachzeitschrift GEB Ausgabe 11/12 2014) von Wissenschaftlern des ZAE Bayern beschrieben. Schon Felduntersuchungen hätten gezeigt, dass moderne Pelletheizkessel im Mittel einen Jahresnutzungsgrad von nur 73 % erreichen und nennenswert zur Feinstaubbelastung beitragen.

Das ZAE (Zentrum für Angewandte Energieforschung e.V.) hat deshalb bereits von 2009 bis 2012 den Einfluss verschiedener Parameter auf den Jahresnutzungsgrad und das

Emissionsverhalten moderner Pelletkleinfeuerungen untersucht. Ein Ergebnis von mehreren: Bei einer normgerechten Kesseldimensionierung (gemäß DIN EN 12831) werden Jahresnutzungsgrade von ca. 80 bis 85 % erreicht. Ist der Kessel um 50 % zu groß ausgelegt, verringert sich sein Nutzungsgrad um mehr als 5 %, bei 100 % Überdimensionierung sogar um 10 %.

Und – bei zu großer Auslegung laufen die Kessel in emissionsintensiven Schwachlastbetriebszuständen, die erhebliche Russablagerungen und einen erhöhten Wartungsaufwand nach sich ziehen.

In der gleichen Fachzeitschrift war ein Interview mit dem Schweizer ‚Wärmepumpendoktor‘ Peter Hubacher unter der Überschrift „Anlagen knapper auslegen“ zu lesen.

Nicht nur sein Credo lautet: „Bei den Wärmepumpengeräten muss bei der Dimensionierung und Geräteauswahl noch genauer vorgegangen werden. Dies beginnt bereits bei der Bestimmung des Wärmeleistungsbedarfs (gemeint ist die Heizlast). Besonders im Sanierungsbereich wird nach unseren Erfahrungen zu wenig genau recherchiert und gerechnet. ...“. Dem ist nichts hinzuzufügen.



Eine Schätzung der Heizlast verbietet sich für jede Heizungsneuplanung, vor allem für die Größe einer Wärmepumpenanlage! Trotzdem werden auch diese Anlagen in jedem Einfamilienhaus vom Heizungshandwerk ohne je de Berechnung installiert!

11.3.2 Öl- und Gasheizung

In der Heizungstechnik wird von Wärmeerzeugern gesprochen. Darunter fallen neben den Kesseln auch Wärmepumpen oder Solar Kollektoren. Heizöl- und Gaskessel mit Baujahr vor 1985 dürfen seit 2015 nicht mehr betrieben werden. Der Einbau neuer Heizölkessel sollen ab 2026 verboten sein.

Niedertemperaturkessel

Er wird vereinfacht auch als NT-Kessel bezeichnet. Der Einsatz von korrosionsbeständigen Werkstoffen erlaubt den Betrieb mit niedrigen Heizwassertemperaturen.

NT-Kessel sind Wärmeerzeuger mit mehrstufiger oder stufenlos verstellbarer Feuerungsleistung, die bestimmte Wirkungsgrade erreichen müssen. I.d.R. wird die Vorlauftemperatur in Abhängigkeit von der Außentemperatur von max. 75 bis auf etwa 30°C gleitend abgesenkt. Eine Regelung sorgt dafür, dass das Kesselwasser jeweils nur so weit erwärmt wird, wie es notwendig ist, um das Gebäude bei der jeweils vorherrschenden Außentemperatur zu beheizen. Sie erzielen Nutzungsgrade von 88 bis 95 % und es gibt sie in verschiedenen Bauarten.

Gas-/Ölkessel mit Gebläsebrenner

Der eigentliche Kessel ist bei Gas wie Öl der gleiche, nur der davor angeflanschte Brenner ist auf den jeweiligen Brennstoff abgestimmt. Die Verbrennungsluft wird mittels eines Gebläses, der Brennstoff über eine Düse eingebracht. Im Bild



sind Kessel und Raketenbrenner über einem liegenden Warmwasserspeicher montiert. Bei Heizöl muss das Öl im Brenner aufbereitet werden, d.h. es müssen sich brennbare Dämpfe bilden. Dies geschieht durch Zerstäubung oder Verdampfung. Über Mischeinrichtungen, bestehend aus Brennerkopf mit Luftleit- und Stauteilen, Düsen und Flammrohr, wird der Brennstoff mit der Verbrennungsluft bei minimalstem Luftüberschuss vermischt. Alle Einrichtungen sind in einem Monoblock untergebracht. Es bildet sich nur eine Flamme aus. Daher ist eine wichtige Voraussetzung für die optimale Verbrennung eine gute Geometrie des Kesselfeuer-raums. Dort entstehen nach der Flamme heiße Abgase, deren Wärme über die Kesselwand als Wärmeübertrager an das dahinter fließende Heizwasser abgegeben wird.

Gaskessel mit Gebläsebrenner sind ökonomisch erst ab Heizlasten bzw. Leistungsgrößen von 100 kW interessant. Bei weniger als

100 kW werden preisgünstigere Kessel mit atmosphärischem Brenner eingesetzt.

Die Ölkessel haben immer einen Gebläsebrenner, der manchmal auch als Gelbbrenner bezeichnet wird. Bei Verbrennungsvorgängen charakterisiert die gelbe Flamme eine unvollständige Verbrennung und damit eine Rußbildung auf dem Wärmeübertrager, weshalb der Nutzungsgrad im Laufe eines Jahres (bis zur nächsten Reinigung im Rahmen der Regelwartung) abnimmt.



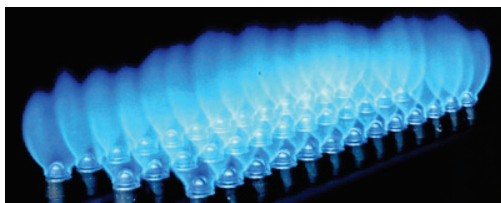
Erfolgt die Vormischung in einem Mischrohr (Raketendbrenner), entsteht dagegen eine blaue Flamme, die eine na-

hezu vollständige Verbrennung signalisiert (Foto Intercal – Brenner mit Ölvorwärmung). Es wird dann von einem sog. Blaubrenner gesprochen, der u.a. kaum noch Ruß auf der Kesselwand bzw. dem Wärmeübertrager hinterläßt.

Folge: Der Nutzungsgrad verschlechtert sich nicht, sondern bleibt fast konstant, der Heizölverbrauch steigt nicht an.

Gaskessel mit atmosphärischem Brenner

Diesen Kesseltyp gibt es nur für den Einsatz von Erd- oder Flüssiggas. Er eignet sich besonders für kleinere Leistungen von 4 bis etwa 100 kW. (Foto: © Dreizler)



Bei atmosphärischen Brennern überwiegt der sog. Injektorbrenner. Das Gas strömt unter Druck in ein Injektorrohr und saugt dabei Verbrennungsluft (Primärluft) an. Dadurch entsteht eine Vormischung von Luft und Brenngas. Dieses Gemisch wird gezündet. Die noch benötigte Restluft (Sekundärluft) diffundiert von außen in die Flamme. Im Gegensatz zum Gebläsebrenner wird ein anderes Flammenbild erreicht. I.d.R. erfolgt die Verbrennung über mehrere Brennstäbe,

über die viele kurze Brennerflammen entstehen, die eine Art Flammenteppich bilden.

Gastherme (Kesseltherme)

Hierbei handelt es sich um kompakte und platzsparende, wandhängende Gaskessel, die sich auch gut in der Wohnung selbst (bekannt als Gas-Etagenheizung) z.B. im Bad, in der Küche oder in einer Flurnische unterbringen lassen. Ihr Betrieb funktioniert dann raumluftunabhängig (→ S. 192).

Das gilt auch für die Installation im beheizten Dachgeschoss als sog. Dachheizzentrale. So kann der kostspielige Neubau oder die Sanierung eines Schornsteins umgangen werden. Voraussetzung ist auch hier ein gebläseunterstütztes Gerät, das raumluftunabhängig betrieben wird.



Aus Platzgründen werden Gasthermen aber auch im Heizungskeller an der Wand installiert, wie das Foto einer Therme mit nur 9 kW Kesselleistung zeigt.

Für Kesselthermen typisch sind Leistungsgrößen ab 4 bis max. 100 kW. Für das warme Wasser in Küche oder Dusche wird noch ein nebenstehender oder untergebauter Speicher benötigt. In der Bauform der sog. Kombi-Therme ist zusätzlich die Warmwasserbereitung im Gerät z.B. in Form eines Plattenwärmeübertragers integriert, der wie ein Durchlauferhitzer funktioniert. Das Wasser wird zum direkten Verbrauch erwärmt. Daher hängt die Kombi-Therme oft dort, wo am meisten warmes Wasser gebraucht wird – in Wohngebäuden meist im Badezimmer oder in der Küche.

Brennwertkessel

Der Brennwertkessel ist nach wie vor das Optimum der Kesseltechnik und alternativloser Standard bei Gaskesseln. Es handelt sich um einen NT-Kessel mit zusätzlichem Abgas-Wärmeübertrager. Diese Weiterentwicklung des NT-Kessels erzielt geringere Schadstoffemissionen und eine um theoretisch bis zu 11 % bessere Ausnutzung des Brennstoffs. Das Prinzip: Der noch im Abgas enthaltene Wasserdampf wird kondensiert und die dabei frei werdende Wärme genutzt. Dazu wird das Abgas über den Heizungsrücklauf geführt, dessen Temperatur bei Gaseinsatz unter 56°C und bei Heizöleinsatz unter 44°C liegen muss, damit die Kondensation überhaupt beginnt!

Fühlbar wird der Effekt dieser Zusatzwärmenutzung an der Abgastemperatur. Während bei NT-Kesseln das Abgas mit 100 bis 140°C den Kessel verlässt, beträgt die Abgastemperatur eines Brennwertkessels nur noch 40 bis 70°C. Wegen der anfallenden Kondensatflüssigkeit dürfen Abgasrohr und Kessel nicht feuchteempfindlich sein.

Das Gaskondensat ist übrigens nur leicht sauer mit einem pH-Wert zwischen 3,5 und 4,5 (entspricht Zitronensaft) und unbedenklich in die Kanalisation abzuführen. Die Abgasabführung geschieht wegen des fehlenden Auftriebs über einen Ventilator.

Bei Erd- und Flüssiggaseinsatz hat sich der Brennwertkessel längst durchgesetzt. Bei der Ölfeuerung dagegen ist wegen des geringeren Wasserstoffgehalts im Heizöl nur eine Wirkungsgradverbesserung um theoretisch max. 7 % gegenüber NT-Kesseln möglich. Zudem ist eine Neutralisation des Kondensats erforderlich. Ölbrennwertkessel sind in Bezug auf den geringen tatsächlich erreichbaren „Mehrnutzen“ relativ teuer und deshalb nicht uneingeschränkt zu empfehlen.

Nutzungs- und Wirkungsgrad η

Die Begriffe Nutzungsgrad und Wirkungsgrad beschreiben beide ein Verhältnis von Aufwand (Energie-Input) zu Nutzen (Energie-Output): Als Nutzungsgrad wird das Verhältnis von jährlichen Energiemengen (kWh/a),

als Wirkungsgrad dagegen das Verhältnis von Leistungen (kW) bezeichnet (→ S. 16).

Der Nutzungsgrad gibt damit an, wie viel Prozent des eingesetzten und zu bezahlen- den Brennstoffs (Endenergie) während eines Jahres vom Heizkessel tatsächlich in nutzbare Wärme (Nutzenergie in Form von Raumwärme oder Warmwasser) umgesetzt werden können.

Beispiel

Werden 4.000 l (oder 40.000 kWh) Heizöl pro Jahr als Aufwand verbraucht (gemessen vor dem Kessel) und kommen im gleichen Jahr an Raumwärme z.B. 30.000 kWh (gemessen nach dem Kessel über einen Wärmemengenzähler) als Nutzen an, ergibt sich ein Nutzungsgrad von gerade einmal 75 % ($0,75 = 30.000 \text{ kWh/a} : 40.000 \text{ kWh/a}$). Dieser Nutzungsgrad ist für die Beurteilung der Energieeffizienz viel wichtiger als der Wirkungsgrad. Letzteren benötigt man ausschließlich für den Vergleich von Wärmeerzeugern des gleichen Typs untereinander.

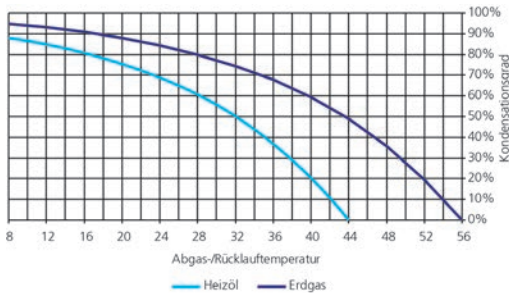
Heizwert H_i und Brennwert H_s

Brennwertkessel erreichen also wegen der Abgaswärmerückgewinnung über den Wärmeübertrager des Rücklaufs höhere Wirkungsgrade als NT-Kessel („Heizwertkessel“). Theoretisch kann dabei übrigens ein Wert von bis zu 111 % erreicht werden, weil als Basis der Brennwert H_s (früher: Oberer Heizwert H_o) und nicht der Heizwert H_i (früher: Unterer Heizwert H_u) des Brennstoffs herangezogen wird.

Und je nach Kesseltechnik kann dann aus einem Brennstoff eben mehr als nur der Heizwert „herausgeholt“ werden. Für den Ölverbrauch des Beispiels von 4.000 l/a bedeutet das bei der Heizwertnutzung eine Energieausbeute von 40.000 kWh/a ($= 4.000 \text{ l/a} \times 10,0 \text{ kWh/l}$) und bei Brennwertnutzung eine Ausbeute von 42.800 kWh/a ($= 4.000 \text{ l/a} \times 10,7 \text{ kWh/l}$, aus Tabelle → S. 174).

Oder umgekehrt: Bei Einsatz eines Brennwertkessels würden für den gleichen Nutzen von z.B. 30.000 kWh/a statt 3.000 l/a nur gut 2.800 l/a ($= 30.000 \text{ kWh/a} : 10,7 \text{ kWh/l}$) getankt und bezahlt. Soweit zur Theorie!

Die Brennwertnutzung durch Kondensation des Abgases setzt je nach Brennstoff erst bei niedrigen oder sehr niedrigen Rücklauf-temperaturen ein, wie die Grafik zeigt.



Eine 100%ige Kondensation und damit eine Wirkungsgraderhöhung um 7 % bei Heizöl oder 11 % bei Erdgas gibt es nicht. Geht man z.B. von einer Rücklauf-temperatur von 32°C aus, beträgt der Kondensationsgrad bei Heizöl 50 % und damit die tatsächliche Wirkungsgraderhöhung 3,5 % – also von 100 % Heiz- auf 103,5 % Brennwert. Bei Erdgas werden dann 75 % Kondensation und eine Wirkungsgradsteigerung von 100 % Heiz- auf ca. 108 % Brennwert erreicht.

! Entscheidend für die Brennwertnutzung ist also eine dauerhaft sehr niedrige Rücklauf-temperatur. Dazu ist unbedingt ein hydraulischer Abgleich der Heizflächen (Heizkörper, Fußbodenheizung) durchzuführen, der übrigens bei jeder Installation eines neuen Kessels vorgeschrieben ist.

Hinzu kommt, dass zur Trinkwarmwasserbereitung der Kessel stets mit der höchsten Vor- und damit Rücklauf-temperatur arbeitet (die Raumwärmeversorgung soll möglichst kurz unterbrochen werden) und daher beim klassischen System der Warmwasserbereitung über einen Trinkwarmwasserspeicher der Kessel niemals „im Brennwertbereich fährt“.

Ob Ihr Brennwertkessel tatsächlich als solcher arbeitet, lässt sich durch einen Blick in die Kondensatbox feststellen. Ist sie die überwiegende Zeit trocken, haben Sie zwar einen Brennwertkessel – der jedoch arbeitet ohne Abgaswärmerückgewinnung nur als Heiz- bzw. NT-Kessel.

Kesselwartung

Gute Betriebsergebnisse können auf Dauer nur erzielt werden, wenn Kessel und Brenner regelmäßig gewartet werden. Daher sollten Sie auf folgende Punkte achten:

- Kesselwartung durch den Fachmann.
- Wichtig ist der richtige Abgas-CO₂-Gehalt.
- Die Schaltdifferenz zwischen dem automatischen Ein- und Ausschalten des Brenners sollte möglichst hoch sein, um lange Brennerlaufzeiten zu erreichen.
- Bei Öl-NT-Kesseln müssen die Heizflächen des Kessels regelmäßig gereinigt werden. Eine Rußschicht von nur 1 Millimeter vermindert den Nutzungsgrad um 6 %!
- Auch die Brenner müssen regelmäßig geprüft, Filter und Düse gereinigt und eventuell neu eingestellt werden.
- Der Wasserdruck im Heizsystem ist regelmäßig zu kontrollieren und falls erforderlich, ist Wasser nachzufüllen – allerdings nur gemäß VDI 2035 bzw. gemäß Herstellerangabe besonders aufbereitetes Füllwasser, um Korrosion und Steinbildung (Kalkablagerung) zu vermeiden!

11.3.3 Holzheizung

Warum eigentlich nicht auch mal über eine moderne Holzheizung nachdenken? Um den anthropogenen (vom Menschen verursachten) Treibhauseffekt zu reduzieren, sind Alternativen auch im Bereich der Heiztechnik gefragt. Die Nutzung von Holz als Brennstoff leistet einen Beitrag zur Umsetzung dieses Ziels. Denn im Vergleich mit Öl- oder Gasheizungen sind bei der Holzheizung die CO₂-Emissionen (das hauptverantwortliche Gas für den Treibhauseffekt und damit der zu starken Erwärmung unseres Klimas) viel geringer (→ S. 174).

Sicher – die meisten der auf dem Markt erhältlichen modernen Öl- und Gaskessel sind heute, wie beschrieben, zweifellos auf einem Stand der Technik, der sich wohl kaum noch verbessern lässt. So gehören die Brennwertkessel zu den effizientesten Anlagen. Aber – sie brauchen fossile, nicht nachwachsende Rohstoffe, die ständig knapper und teurer werden.

Und: Erdgas wird von seiner Förderung bis zum Verbrauch fast um die halbe Welt gepumpt. Rohöl wird unter riesigem Aufwand gewonnen (z.B. Ölschiefer in Kanada oder in den USA) und über Leitungen oder Schiffe transportiert. Schiffsunfälle, Leckagen und Brände führen regelmäßig zu Naturkatastrophen. Die Erdöl- und Erdgasförderländer liegen auch in politisch kritischen Zonen, was zu weltweiten Spannungen bis hin zu Kriegen führt. Auch deshalb ist der weitere ungebremste Verbrauch von Heizöl und Erdgas als äußerst problematisch zu sehen.

Eine Alternative: Holz – i.d.R. heimische Energie, die sogar nachwächst.

Holzbrennstoffe

Je nach Verbrennungstechnik stehen unterschiedliche Holzbrennstoffe zur Verfügung. Dabei hängt der Energieinhalt (Heizwert H_i) u.a. vom Wassergehalt und der Holzart (Nadel- oder Laubholz) ab. Die Tabelle berücksichtigt Nadelholz mit einem Wassergehalt von 20 % (lufttrocken nach einer Lagerzeit von mindestens 2 Jahren).

	Stückholz	Pellets	Hackgut
Heizwert	3,9 kWh/kg	4,9 kWh/kg	4,1 kWh/kg
CO ₂ äquiv.	17 g/kWh	24 g/kWh	28 g/kWh

Stück-/Scheitholz



Es kommt aus der Wald- oder der Obsthirtschaft und ist für die unmittelbare Verwendung zerkleinertes „ofenfertiges“ Brennholz, das in Scheitform i.d.R. in

Längen von 25, 33, 50 und 100 cm geliefert wird. Bei einer nicht sachgemäßen Lagerung ist z.B. Pilz- und Fäulnisbefall möglich, was zum Abbau von Holzsubstanz und Heizwertverlust führt.

Pellets

Zu diesem industriell gefertigten Brennstoff werden vor allem Späne und Sägemehl aus Holzverarbeitenden Betrieben gepresst. Die gleichbleibende Qualität und die Anforderungen an den genormten Brennstoff sind in der ISO 17225-2 festgelegt.

Pelletanforderungen	ISO 17225-2
Durchmesser (in mm)	6 oder 8 (± 1)
Länge (in mm)	3,15 - 40
Schüttgewicht	1 m ³ = 650 kg
max. Wassergehalt	≤ 10 %
max. Aschegehalt	≤ 0,7 %
chemische Zusatzstoffe	keine

Bereits seit 2010 wird diese internationale Norm mit „ENplus“ vom Deutschen Pelletinstitut (Berlin) umgesetzt. Das Qualitätssiegel bindet neben strengen Produktionsvorgaben auch die gesamte Lieferkette in das Zertifizierungssystem ein. Mit ENplus (in den Klassen A1, A2 und B) konnte damit die Lücke zwischen der Produktion und Anlieferung beim Endkunden durch Integration des Handels geschlossen werden. Mit Identifikationsnummern wird die Rückverfolgbarkeit der Pellets sichergestellt.

Daneben geben auch die DINplus von DIN Certco oder die österreichische ÖNORM Aufschluss über die Qualität von Pellets. Bei der DINplus handelt es sich um ein Zertifizierungsprogramm und keine DIN-Norm.



Neben einer Werkserstbesichtigung sieht es regelmäßige und unangemeldete Überprüfungen der Hersteller und der Pelletproduktion vor. Empfohlen werden Pellets der Klasse ENplus A1. Die ohne Zugabe von chemischen Bindemitteln hergestellten zylindrischen Presslinge sind homogen und wegen ihrer normierten Größe sind Handhabung und Transport einfach. Sie werden lose sackweise oder per Tankwagen geliefert.

Hackgut bzw. Hackschnitzel

(Holz)Hackschnitzel fallen als Nebenprodukte in der Forstwirtschaft und in der Holzverarbeitenden Industrie an. Sie bestehen aus naturbelassenem Holz ohne chemische Zusätze. Je nach Rohstoff und Art der Aufbe-

reitung – sieben und trocknen – können die Hackschnitzel unterschiedliche Eigenschaften besitzen.

Seit Ende 2016 gibt es mit ENplus-Hackschnitzel (ebenfalls für die Qualitätsklassen A1, A2 und B) erstmals ein Zertifizierungsprogramm für Hackschnitzel. Wesentliche Anforderungen an die Brennstoffeigenschaften sind in der Produktnorm ISO 17225-4 definiert, auf der die ENplus-Hackschnitzel aufbaut.

Neben der Schüttdichte (das Gewicht eines Schüttraummeters S_{rm}) ist der Wassergehalt w das wichtigste Merkmal. Bei A1-Qualität muss er zwischen 25 und 8 % liegen, bei A2 kleiner 35 %, was aber für Kleinanlagen im Kilowattbereich nicht zu empfehlen ist! Zudem muss bei der A1-Qualität der Feinanteil (< 3,15 mm) unter 5 % und der Grobanteil (> 63 mm) unter 10 % liegen, bezogen auf eine Lieferung von 100 %. Die max. Länge der Hackschnitzel beträgt dann 150 mm; sie werden lose mittels LKW geliefert.

Holzfeuerungen

Beliebt sind gerade bei Holznutzung neben Zentralheizungen auch verschiedene Varianten von Einzel-Heizungen. Vom offenen Kamin über Holzherde und Kaminöfen bis hin zum Kachelofen haben sie – außer als einzige Heizquelle im Passivhaus – jedoch mehr traditionellen und raumgestalterischen Charakter. Denn ihre Nutzungsgrade liegen nur zwischen etwa 10 und maximal 70 %.

Mit Ausnahme der Kachelöfen ist die Verbrennung nicht optimal, Beschickung und Entaschung sind nicht automatisch möglich, es werden viele Schadstoffe frei, das System ist schlecht regelbar



– und noch oft werden sie leider illegal als private „Müllverbrennungsanlage“ genutzt und missbraucht.

Diese Einzel-Anlagen müssen die Umweltanforderungen (Emissionen von gesundheitsgefährdenden Luftschadstoffen) der Ersten Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes vom 26.01.2010 (Verordnung über kleine und mittlere Feuer-

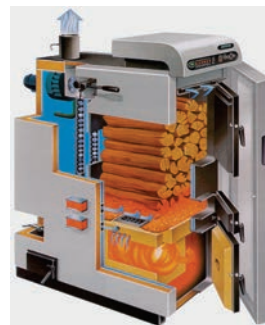
ungsanlagen – 1. BImSchV) einhalten. Zudem wurden durch die letzte Feinstaubverordnung die Grenzwerte für Staub- und CO-Immissionen weiter eingeschränkt und die Anforderungen verschärft. Öfen, die nach dem 22.03.2010 gekauft und errichtet wurden, dürfen nur noch 75 mg/m³ Staub und 200 mg/m³ CO auswerfen. Das ist durch eine Bescheinigung des Herstellers oder eine Messung des Schornsteinfegers nachzuweisen.

Da diese Anlagen auch nicht für die moderne Beheizung von Ein- oder Mehrfamilienhäusern geeignet sind, werden hier nur die Möglichkeiten und Anforderungen von Zentralheizungssystemen behandelt. In Bezug auf den jeweiligen Holzbrennstoff gibt es klare Unterschiede.

Stückholz-Kessel (Scheitholzvergaserkessel)

Sie sind von den ehemaligen „Allesfresern“ längst zu technisch modernen Anlagen gereift. Diese Art der Feuerungstechnik eignet sich für den Einsatz im Altbau wie auch in größeren Objekten und ist als vollwertige Heizung anzusehen.

Die Entwicklung vom Naturzugkessel zum gebläseunterstützten Kessel, die klare Trennung zwischen Primär- und Sekundärverbrennung, die deutlich verbesserte Regelbarkeit durch Klappen, die von Sauerstoffsonden gesteuert werden, die vergrößerten Füllräume und die verringerten Abstrahlverluste sind nur einige Merkmale. Das Stückholz wird in den Füllraum auf das Glutbett gelegt.



Die sich entwickelnden Holzgase werden mittels Gebläse durch eine Öffnung in den heißen Brennraum befördert und verbrannt. Das heiße Abgas wird dann über einen Wärmeübertrager geführt

(gibt dabei die Wärme an das Heizsystem ab) und über den Kamin abgeleitet.

Auch wenn die Regelung eine Leistungs-drosselung ermöglicht, ist der Einsatz eines

zusätzlichen Pufferspeichers unumgänglich. Die Heizlast eines Gebäudes schwankt während der Heizperiode stark. Für eine optimale Verbrennung auch bei geringer Heizlast im Herbst und Frühjahr, muss der verringerte Holzvorrat im Füllraum ständig ohne Drosselung ausgebrannt werden. Liegt die Heizlast unter der bei der Verbrennung freigesetzten Leistung, wird die Wärme im Puffer (ein Speicher mit Heizungswasser) gespeichert und kann kontinuierlich entnommen werden. Stückholzkessel gibt es erst ab einer Kesselleistung von 20 kW (mit wenigen Ausnahmen auch zwischen 15 und 20 kW).

Vorteile

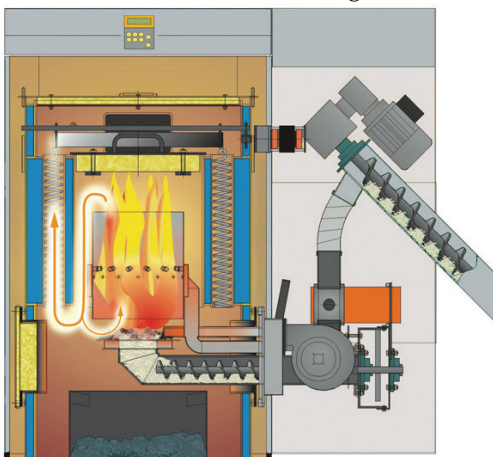
- sehr günstige Brennstoffpreise
- sehr geringe CO₂-Emissionen

Nachteile

- sehr hohe Feinstaubemissionen
- geringster Nutzungsgrad aller Holzfeuerungsanlagen mit ca. 85 %
- Nachfüllung manuell, nicht automatisch
- geringere Regelbarkeit
- Pufferspeicher notwendig (Zusatzkosten)
- geringer Bedienungskomfort (u.a. manuelle Entaschung).

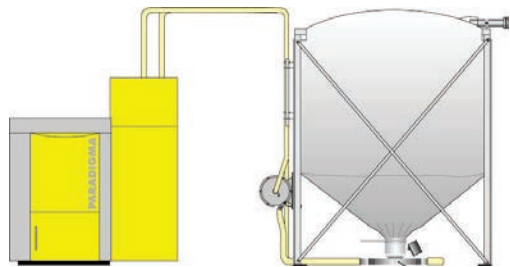
Pellet-Anlagen

Das Anlagenprinzip unterscheidet sich nur unwesentlich von dem der Hackschnitzelanlagen. Hier kommt neben der Unterschubfeuerung mit Brennteller (Grafik Ökofen) die Feuerung mit Beschickung über einen Fallschacht zur Anwendung.

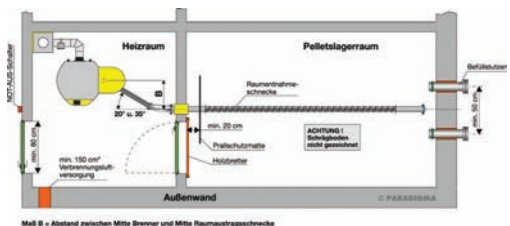


Es gibt halb- und vollautomatische Anlagen. Sie unterscheiden sich lediglich bei der Brennstoffbefüllung. Halbautomatische Anlagen haben einen größeren Vorratsbehälter (Tagesbehälter), der manuell mit Pellets gefüllt wird. Empfohlen wird ein Volumen von etwa 400 l. Vollautomatische Anlagen können z.B. über eine Förderschnecke oder eine Saug-Austragung mit dem Lagerraum oder -tank verbunden werden, aus dem die Pellets zum Kessel gelangen und dort der Verbrennung dosiert zugeführt werden.

Die Saugförderung über Vakuum ist wegen der leichten Pellets möglich und hat den Vorteil, dass der Lagerraum nicht direkt an den Heizraum angrenzen muss (Grafik Paradigma mit Sacksilo).



Bei der klassischen Austragung über eine Förderschnecke aus einem Pelletlager mit Schrägboden, muss der Heizraum dagegen direkt anschließen (Grafik Paradigma).



Der Lagerraum sollte in diesem Fall länglich-rechteckig sein, wobei die Raumbreite 2,20 m nicht übersteigen sollte, z.B.: 2,2 m x 3,5 m oder 2 m x 4 m usw.. Je schmaler der Raum, umso geringer fällt der „Leerraum“ unter dem notwendigen, fast 45° geneigten Schrägboden aus! Die Lagergröße hängt von der Gebäude-Heizlast ab; sie sollte allerdings so groß gewählt werden, dass möglichst die Jahresbrennstoffmenge eingelagert werden kann.

Pufferspeicher sind nicht unbedingt notwendig: Durch sie ist es aber möglich, die Brennerstarts zu reduzieren und den Kessel stets im Volllastbetrieb laufen zu lassen. Das erhöht den Nutzungsgrad und reduziert die Emissionen. Gerade für Einfamilienhäuser mit niedriger Heizlast ist der Pufferspeichereinbau zu empfehlen.

Pelletanlagen gibt es ab einer Leistungsgröße von etwa 3 kW und sind bis zu ca. 100 kW sinnvoll.

Neben den Standkesseln gibt es mittlerweile auch wandhängende Alternativen (Grafik Guntamatic) auf dem Markt.



Vorteile

- gleichbleibende Brennstoffqualität
- sehr gute Regelbarkeit
- sehr guter Nutzungsgrad von bis zu 92 %
- sehr geringe CO₂-Emissionen
- hoher Automatisierungsgrad
- sehr guter Bedienungskomfort
- gut geeignet für kleine Wohngebäude

Nachteile

- höchster Holzbrennstoffpreis
- höhere Feinstaubemissionen
- Wartungsaufwand
- vergleichsweise teures Feuerungssystem.

Holz hackschnitzel-Anlagen

Voraussetzung für einen komfortablen, automatischen Heizanlagenbetrieb ist der kontinuierliche und dosierbare Brennstoffzufluss. Diese Anlagen (Fotoquelle Fröling) haben einen mit Heizöl- oder Gaskesseln vergleichbaren Automatisierungsgrad.

Das reicht von der vollautomatischen Beschickung und Zündung über die Wärmeübertragereinigung und Entaschung bis hin zur mikroprozessorgesteuerten Sauerstoffregelung.



Die Unterschiede liegen in der Feuerungstechnik: Die Unterschubfeuerung ist bei Kesselleistungen ab 20 kW bis 2 MW üblich, die Rostfeuerung zwischen 100 kW und 10 MW. Auf dem Markt durchgesetzt und wirtschaftlich sinnvoll sind kleine Hackschnitzelkessel erst ab einer Leistung von etwa 25 kW.

Für Ein- und Mehrfamilienhäuser geeignete kleine Kessel zwischen 10 und 20 kW gibt es kaum; aber hinsichtlich des Bedienungskomforts sind sie mit deutlich weniger Aufwand zu betreiben als die Stückholzkessel.

Für den weitgehend störungsfreien Betrieb sollten nur Hackschnitzel mit ENplus A1-Qualität und einer Feuchte von weniger als 20 % eingesetzt werden.

Vorteile

- günstige Brennstoffpreise
- sehr geringe CO₂-Emissionen
- guter Nutzungsgrad von 85 bis 90 %
- gute Regelbarkeit
- hoher Automatisierungsgrad
- guter Bedienungskomfort

Nachteile

- große erforderliche Lagerflächen
- wechselnde Hackgutqualität, somit u. a. Probleme bei der (Schnecken-)Austragung aus dem Vorratssilo
- sehr hohe Feinstaubemissionen
- hoher Wartungsaufwand
- vergleichsweise teures Feuerungssystem.



Marktübersichten zu allen Holzfeuerungen von der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (www.fnr.de) sind in der Mediathek als PDF-Download kostenfrei downloadbar.

Kesselgrößen

Allen Systemen gemeinsam ist, dass der Kessel für die optimale Verbrennung möglichst immer im Volllastbetrieb laufen soll, der von der Regelbarkeit und der richtigen Kesselleistung abhängt. Hier gibt es Unterschiede.

Kesseltyp	für Wohngebäude typische Kesselleistungen in kW
Stückholz	20, 30, 40, 50, 60, 80
Hackschnitzel	25, 30, 35, 40, 45, 50, 60, 70
Pellets	3, 4, 7, 10, 15, 20, 25, 30, 40

Eine Anpassung der Kesselleistung an die jeweiligen Bedingungen (die sich ändernde Außentemperatur oder Wärmeabnahme im Gebäude) ist im Vergleich mit Öl- oder Gaskesseln nur bei modernen und voll automatisierten Anlagen möglich. Prinzipiell sollte sich die erforderliche Kesselleistung an der Heizlast des Gebäudes orientieren. Die Tabelle auf S. 188 zeigt, dass vor allem für kleine und gedämmte (oder energetisch sanierte) Gebäude wie Einfamilienhäuser die Pellet-Anlagen am besten geeignet sind.

Stückholz- und Hackschnitzelkessel entwickeln ihre Vorteile erst bei größeren Neubauobjekten oder im ungedämmten Altbau. Bei Stückholzkesseln muss die „Leistungsanpassung“ in jedem Fall durch einen zusätzlichen Pufferspeicher sichergestellt werden. Hackschnitzel- und Pellet-Anlagen benötigen ihn nicht zwingend; er wird aber sehr empfohlen, da

- Volllastbetrieb gewährleistet wird
- der Kesselnutzungsgrad steigt
- Brennerstarts verringert werden
- die Emissionen zurückgehen.

Emissionen

Angesichts der wachsenden Umweltbelastungen u.a. durch Feinstaub sowie des fortschreitenden Klimawandels durch zu hohe CO₂-Emissionen lohnt ein Blick auf die einsetzbaren Energieträger.

Äquivalente CO₂-Emissionen

Holz wird bei der Verbrennung in Bezug auf das klimaschädliche Kohlendioxid eine sog. CO₂-Neutralität zugesprochen. D.h., bei der Holznutzung entsteht keine zusätzliche CO₂-Produktion, weil das bei der Verbrennung freigesetzte CO₂ genau der Menge entspricht, die von einem Baum im Laufe seines Wachstums der Atmosphäre entnommen wurde. Das stimmt soweit für die „direkten“ CO₂-Emissionen.

Insgesamt „hinkt“ der Vergleich jedoch. Denn für den Treibhauseffekt sind noch einige weitere Gase wie u.a. Methan oder Lachgas verantwortlich. Sie entstehen während der Herstellungsprozesse (so sind Materialien, Transporte und Energien z.B. zur Herstel-

lung von Pellets aus Holz erforderlich). Die dabei freiwerdenden Gase werden in, dem CO₂ gleichwertige (äquivalente) Mengen umgerechnet, zu den direkten CO₂-Emissionen addiert und dann in Summe „äquivalente“ CO₂-Emissionen genannt. Fachlich gesehen ist ein realitätsnaher Vergleich nur bei Gegenüberstellung der jeweiligen äquivalenten CO₂-Emissionen richtig.

Und dann zeigt sich, dass Holz real nicht CO₂-neutral ist, sondern je nach „Behandlungsgrad“ durchaus einen (wenn auch im Vergleich mit allen anderen Brennstoffen spürbar geringeren) Beitrag zum Treibhauseffekt leistet. [10]

	Stückholz	Pellets	Hackgut
CO ₂ äquiv.	17 g/kWh	24 g/kWh	28 g/kWh

Luftschadstoffe

Bei den Stickoxiden (NO_x) und dem Staub fällt der Vergleich zugunsten von Heizöl und vor allem Erdgas aus. [10]

	NO _x	Staub
Stückholz	0,19 g/kWh	0,19 g/kWh
Pellets	0,29 g/kWh	0,06 g/kWh
Hackgut	0,37 g/kWh	0,14 g/kWh
Heizöl	0,19 g/kWh	0,02 g/kWh
Erdgas	0,18 g/kWh	0,01 g/kWh

Gerade deshalb sollte auf die richtige Dimensionierung der Kesselleistung – angepasst an die vorhandene oder geplante Gebäude-Heizlast – und die Installation eines Pufferspeichers geachtet werden, damit ein Volllastbetrieb zur weiteren Reduzierung der Emissionen gewährleistet ist.

Gesamtkostenvergleich

Die Vorteile der Holzheizung liegen zweifellos im ökologischen Bereich (kaum CO₂-Ausstoß, kein Transportrisiko, nachwachsender Rohstoff). Dazu ist der Energieträger dauerhaft preiswert und oft aus der Region.

Allerdings gehören Holzheizungen bezüglich ihrer Investitionskosten, wegen der umfangreichen Technik von der Bevorratung über die Brennstoffbeschickung sowie die Verbrennung bis hin zur Entaschung, zu den teuersten Anlagen.

Hinzu kommen noch die vergleichsweise hohen Wartungs- und Instandhaltungskosten, dafür sind die Brennstoffkosten (neben den CO₂-Emissionen) deutlich geringer als z.B. für Heizöl oder Erdgas.

Der folgende Vergleich zeigt als Vollkostenrechnung, dass die Pelletanlage beim gut

gedämmten Neubau mit geringem Wärmebedarf die höchsten Jahresgesamtkosten hat – die (unkomfortable) Stückholzkessel- und Gaskesselanlage dagegen am günstigsten abschneiden. Holzheizungen werden als klimafreundliche Systeme jedenfalls nach wie vor über Programme des Bundes gefördert.

Vergleich am Beispiel eines Einfamilienhauses (140 m²) ohne Warmwasser (WW) und Heizungsverteilung, was für alle gleich ist; Neubau mit Heizlast 7 kW und 9.800 kWh/a Wärmebedarf; Altbau mit Heizlast 20 kW und 21.000 kWh/a Wärmebedarf; Pellets 253,- €/to, Stückholz 65,- €/rm, GP (Grundpreis) 14,- €/Monat bei Erdgas; Kostenangaben sind Richtpreise (Ø 2019) inkl. Mehrwertsteuer.

Vergleich als Vollkostenrechnung		* Pellets	* Stückholz	Heizöl	Erdgas
Investitionskosten (* Förderung berücksichtigt)					
- Wärmeerzeuger	€	12.000	9.000	6.800	5.500
- Pufferspeicher	€	1.500	2.500	-	-
- Lagerraum/Tank/Hausanschluss	€	3.500	700	3.500	3.000
- Kamin/Abgasleitung	€	2.000	2.000	2.000	1.500
- Gas-/Elektroinstallationen	€	700	700	400	500
Kosten pro Investition	€	19.700	14.900	12.700	10.500
Kapitalgebundene Kosten					
- Zinssatz	%	2,0	2,0	2,0	2,0
- Nutzungsdauer	a	20	20	20	15
Kapital-Kosten pro Jahr (Annuität)	€/a	1.205	911	777	817
Verbrauchsgebundene Kosten					
- Jahreswärmebedarf ohne WW	kWh/a	9.800	9.800	9.800	9.800
- Anlagen-Nutzungsgrad	%	87	80	90	95
- Jahresbrennstoffbedarf	kWh/a	11.264	12.250	10.889	10.316
- Brennstoff H _i (inkl. GP Erdgas)	€/kWh	0,052	0,039	0,069	0,067
Brennstoff-Kosten pro Jahr	€/a	586	478	751	691
Betriebsgebundene Kosten					
- Wartung und Instandhaltung	€/a	300	250	200	150
- Kaminkehrer	€/a	130	130	70	70
- Versicherung	€/a	0	0	80	0
- Hilfsenergie Strom	€/a	35	35	25	25
Betriebs-Kosten pro Jahr	€/a	465	415	375	245
Gesamt-Kosten pro Jahr	€/a	2.256	1.804	1.903	1.815
in 20 Jahren: CO ₂ -Emissionen	kg	5.406	4.165	57.929	41.677
in 20 Jahren: Staubemissionen	kg	14	47	4	2
in 20 Jahren: NO _x -Emissionen	kg	65	47	41	37
Variante als Altbau					
Gesamt-Kosten pro Jahr	€/a	2.925	2.350	2.743	2.368
in 20 Jahren: CO ₂ -Emissionen	kg	12.300	7.000	149.000	116.700
in 20 Jahren: Staubemissionen	kg	32	100	9	4
in 20 Jahren: NO _x -Emissionen	kg	140	100	87	80

Je höher der Wärmebedarf (Altbau), umso vorteilhafter werden die Holzfeuerungen durch die niedrigeren Energiepreise. In Bezug auf den Klimaschutz sind sie unschlagbar.

11.4 Abgasleitung/Kamin/Schornstein

Heizkessel und Abgasleitung sind ein System. Ältere Gebäude haben meist gemauerte Schornsteine mit großem Querschnitt. Die Abgase von Öfen oder Heizkesseln werden darin nur dann sicher abgeführt, wenn hohe Abgastemperaturen für den erforderlichen thermischen Auftrieb sorgen.

Insofern passen veraltete Heizkessel mit temperaturbedingt hohen Abgaswärmeverlusten (und dadurch schlechtem Nutzungsgrad) und alte Schornsteine gut zusammen. Wird jetzt aber die Heizungsanlage auf den Stand der Technik modernisiert, bilden diese beiden zusammengehörenden Komponenten kein funktionierendes System mehr. Der neue, moderne Kessel produziert kleinere Abgasmengen mit niedriger Temperatur und der Schornstein hat nun in dieser Kombination meist nicht genügend Zug.

Bei NT-Kesseln z.B. sinken die Abgastemperaturen vorwiegend im oberen Drittel des Schornsteins leicht auf Werte unter 60°C. Konsequenz: Das Abgas kondensiert aus und schlägt sich auf der Schornsteininnenwand nieder. Es kommt dauerhaft zu Durchfeuchtungsschäden oder sogar zur Versottung (bei selbst schwefelarmem Heizöl wird aus SO₂ schwefelige Säure), die durch die Wand bis in die Wohnräume dringt und die ehemals weißen zu schwarzen Tapeten werden lässt.

Bei Austausch eines alten Kessels muss daher zuerst die Eignung des Schornsteins vom Kaminkehrer überprüft werden, damit es danach nicht zu solchen Schäden kommt. Mögliche Anpassungsmaßnahmen sind:

- Einbau einer Nebenluftvorrichtung (als Zugbegrenzung ohnehin zu empfehlen);
- Belegung eines anderen, vielleicht noch freien Schornsteinzugs mit einem kleineren Querschnitt;
- Dämmung des gesamten oberen Schornsteinbereichs;
- Einbau eines Edelstahlrohres in den bestehenden Schornstein.

Das Edelstahlrohr wird vom Dach her eingeführt. Es ist korrosionsfest und hat einen an den neuen Heizkessel angepassten Quer-

schnitt, der für einen ausreichenden thermischen Auftrieb der Abgase über Dach bis ins Freie sorgt.

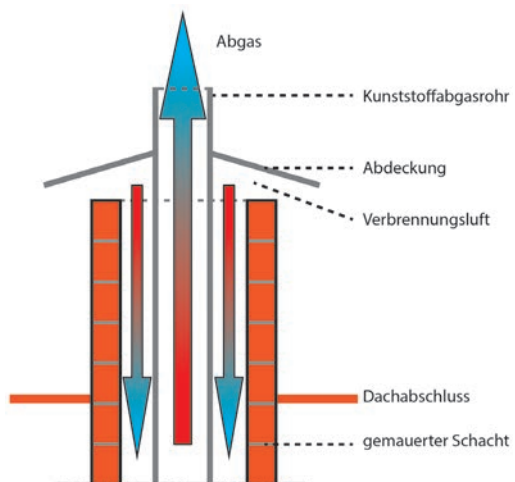
Bei Einsatz von Gas ist der Brennwertkessel Standard, zu dessen Ausstattung ohnehin ein spezielles Abgasrohr gehört.

Muss auf jeden Fall ein neuer Schornstein her, wählt man ein modernes System, das speziell für die Betriebsbedingungen in Kombination mit NT- oder Brennwertkesseln hergestellt wurde. Dies kann z.B. ein Schornstein aus Mantelsteinen sein, in die Schamotterohre eingesetzt sind, welche außen mit einer Wärmedämmung versehen sind. Zusätzliche Belüftungszüge im Mantelstein sorgen dafür, dass eventuell durch das Innenrohr diffundierendes Kondensat wieder verdunstet kann.

LAS-System

Bei Neubauten kann heute sogar teilweise vollständig auf den klassischen Schornstein verzichtet werden, gerade wenn Brennwertkessel geplant sind.

Diese werden jeweils nur mit einem speziellen Abgassystem zugelassen, das z.B. aus Edelstahl, Aluminium, Glas oder Kunststoff besteht. Diese Rohre können entweder außen am Gebäude oder in einem gemauerten Schacht untergebracht werden.



Vorteilhaft sind sog. Luft-Abgas-Systeme (LAS), bei denen die Verbrennungsluft parallel zum Abgasrohr angesaugt und damit bereits vorgewärmt dem Kessel zugeführt wird. Mit dieser Technik lässt sich ein Teil der noch im Abgas enthaltenen Wärme zurückgewinnen und zusätzlich ein raumluft-unabhängiger Kesselbetrieb ermöglichen.

Damit überhaupt eine Verbrennung stattfinden kann, muss ausreichend Sauerstoff durch Frischluft von außen zugeführt werden. Normalerweise werden deshalb Heiz-

räume im Gebäude möglichst nach außen platziert, um so direkt z.B. über das Kellerfenster oder eine extra Wandöffnung einen „Außenluftanschluss“ zu erhalten.

Bei Verwendung eines LAS-Systems kann der Heizraum unabhängig von der Verbrennungsluftzuführung geplant bzw. sogar ganz eingespart werden. Raumluftunabhängiger Betrieb bedeutet, dass Kessel (i.d.R. Gasthermen) in Wohnräumen platzsparend an fast jeder Stelle problemlos untergebracht werden können.

11.5 Braucht wirklich jedes Haus seinen eigenen Kessel?

Denken Sie mal kurz an Elektrizität (z.B. Beleuchtung, Kühlschrank oder PC), an ihre Kommunikation (über Telefon, Fax und Internet) oder Fernsehen. All diese heute für uns unverzichtbaren Versorgungsdienstleistungen werden zentral installiert, betrieben, organisiert, gewartet und abgerechnet. Kaum jemand denkt auch nur im Traum daran, sein Gebäude dezentral mit einem eigenen Kraftwerk, einem eigenen Satelliten oder einer eigenen Filmproduktion auszustatten. [11]

Mit Stolz blicken wir auf eine seit Jahrzehnten bewährte, hygienisch einwandfreie und sichere zentrale Wasserversorgung zurück, die für den Hauseigentümer denkbar einfach ist. Ein daumendickes Rohr („Vorlauf“) mit Wasserzähler führt ins Gebäude hinein. Aufwändiger sieht das bereits mit dem verbrauchten Schmutzwasser aus. Es muss über eine stets mit Gefälle verlegte Abwasserleitung („Rücklauf“) und eine Kläranlage entsorgt werden. Weil sich diese Art der zentralen Wasserversorgung jedoch bewährt hat, käme niemand auf die Idee, sich mit eigenem Brunnen, Wasserwerk und Kläranlage selbst zu versorgen.

Wir akzeptieren diese zentralen Ver- und Entsorgungseinrichtungen, weil sie zuverlässig, komfortabel, einfach und sehr sicher sind. Warum lassen wir uns nicht alle auch so selbstverständlich auf die gleiche Art zen-

tral mit Wärme versorgen? Genau genommen ist die Wärmeversorgung einfacher als die Wasserversorgung:

Wir benötigen auch nur ein daumendickes Rohr (Vorlauf) mit Wärmezähler für den Heizungsvorlauf und einen nur schuhkartongroßen Wärmeübertrager fürs Warmwasser. Eine ebenfalls nur daumendicke, einfacher als die Abwasserleitung zu verlegende, Rücklaufleitung führt fachmännisch gedämmt und gebaut in die Rücklaufhauptleitung zu der Energiezentrale (Nahwärmeheizzentrale). Von dort wird die Wärme mittels Erdgas oder Biomasse (z.B. Pellets, Holzhackschnitzel) flexibel und bedarfsgerecht zur Verfügung gestellt. So kann vor allem die Abwärme der Stromerzeugung und/oder die Biomasse ökologisch sinnvoll und wirtschaftlich genutzt werden.

Dagegen gleicht unsere übliche Wärmeversorgung eines Gebäudes eher einem Gemischtwarenladen aus eigener, dezentraler und zentraler Eigen- oder Fremdversorgung mit Gas, Heizöl oder sogar Strom. Die dabei installierten Systeme (Brennwertkessel mit DDC-Regelung usw.) sind teilweise technisch so aufwändig, dass man längst Betriebsingenieurkenntnisse benötigt, um sie vorschriftsmäßig zu betreiben. Schon für die Anpassung der Heizkurve ist ein Grundkurs in Heizungstechnik notwendig. Und fällt der Wärmeerzeuger ganz aus (was einem ohnehin

immer nur an Sonn- und Feiertagen passiert), sitzt man solange kalt, bis endlich am Werktag der Wartungsdienst wieder seiner Arbeit nachgeht.

Es gibt keinen plausiblen Grund, uns nicht alle so selbstverständlich mit Wärme wie z.B. mit Wasser zu versorgen, nämlich mit zentraler Nahwärme, sicher, einfach, flexibel und kostengünstig [11]!

Bekommt man als Wärmekunde überhaupt das geliefert, was man braucht? Beim Autoerwerb kauft man üblicherweise nicht die Fabrik hinzu. Bestellt man beim Versorgungsunternehmen Wasser, bekommt man Wasser geliefert; bestellt man Strom, wird Strom geliefert. Möchte man als Kunde hingegen Wärme, muss man – mit Ausnahme der Nahwärme – ein komplettes Heizwerk installieren. So werben z.B. die Gasversorger mit dem Slogan: „Erdgas, Wärme die einfach da ist!“.

An dieser Werbung wird deutlich, dass inhaltlich etwas nicht stimmt. Hier wird dem Verbraucher suggeriert, dass er direkt Wärme kauft. Dabei setzt man sich elegant aber täuschend über die notwendige Gasleitung, den Gaszähler, den Heizkessel und den Kamin hinweg.

Bei einem Neubau muss dafür eine gesonderte Beantragung vorgenommen und dazu eventuell noch ein eigener Heizraum (Minimum ab 4.000 €) gebaut werden. Darüber hinaus muss die Anlage kostenintensiv gewartet und instandgehalten werden. Der Kaminkehrer prüft jährlich die Abgasverluste und der Heizungsbauer die Funktion des Kessels und die Dichtheit der Gasleitung.

Noch kosten- und zeitaufwändiger sind die Ausgaben für eine Ölheizung mit Lager. Ständig muss man sich „am Heizölmarkt orientieren“: Wo bekomme ich wann wie viel am preisgünstigsten? Muss ich wegen der Heizöllieferung Urlaub nehmen? Wann ist die nächste Tankreinigung fällig?

Und nicht zu vergessen – irgendwann gehen auch der beste Heizkessel und Warmwasserspeicher kaputt. Dann hat man sich auch noch um diese Neuinvestition zu kümmern!

Deshalb – was möchte ein Verbraucher eigentlich? Er will ja keinen Brennstoff, er will Wärme, keine Lecks im Heizöltank, keine undichten Gasleitungen und keine defekten Kessel! Der Verbraucher möchte sich weder mit den Abgasverlusten von Heizanlagen beschäftigen noch mit Regelungen abplagen. Er will weder Heizanlagen noch Brennstoffe, noch will er den Umgang mit der Brennwerttechnik lernen, das sollen Experten tun.

Nahwärme ist hier die einzig richtige Produktalternative, nämlich Wärme in Form von warmem Wasser zum Heizen und Baden. Warum soll der Verbraucher ein Heizwerk kaufen, bedienen, betreiben und unterhalten? Dies ist vor allem volkswirtschaftlich sowie ökologisch und meist auch betriebswirtschaftlich nicht vertretbar!

Das Heizwasser gehört zentral in einer Nah- oder Fernwärmezentrale aufbereitet und sollte dem Abnehmer so selbstverständlich wie das Kaltwasser zur Verfügung gestellt werden [11].

In der Wärmeversorgung von Neubaugebieten werden heute fast ausschließlich Gebäude-Einzelheizungen eingesetzt, gleich ob es sich um freistehende EFH oder um Doppelhäuser handelt. Was in einem MFH (bis auf den Extremfall der Dezentralisierung Gas-Etagenheizung) durchaus üblich ist, nämlich die Wärmeversorgung aus einer Anlage für z.B. zehn Wohnungen, ist bei einer Reihenhauseinheit mit zehn Gebäuden noch immer kaum denkbar.

Dabei könnten massiv Kosten bei den Investitionen, der Unterhaltung und der Wiederbeschaffung gespart (und in die Wärmedämmung gesteckt) werden, wenn in dieser Reihenhauseinheit anstatt 10 Heizkellern, 10 Kesselanlagen und 10 Schornsteinen alles nur 1 x für alle 10 Gebäude installiert wird.

Dieses unverständliche Denken ausgerechnet bei der Heizung („Ich will meinen eigenen Kessel und unabhängig sein“) fängt bereits beim Doppelhaus an und endet beim Neubaugebiet ohne Nahwärmeversorgung.

Zur Eingangsfrage: Braucht tatsächlich jeder Neubau seine eigene Heizungsanlage?

Die Antwort lautet eindeutig: NEIN!

11.6 Blockheizkraftwerk (BHKW)

Die klassische Art der Stromerzeugung ist die über den Dampfkraftprozess. Er beginnt mit der Verbrennung fossiler Brennstoffe (Jahr 2018 in Deutschland: 37,2 % Stein- und Braunkohle; 9,0 % Erdgas und Andere) und der Übertragung der freigesetzten Energie an ein Wasserdampfsystem (Dampfkessel). Der Dampf wird dann über Turbinen entspannt, die daran angekuppelte Stromgeneratoren antreiben und so Strom liefern. Dabei werden heute Wirkungsgrade (Quotient aus der vom Kraftwerk gelieferten Strommenge zum eingesetzten Brennstoff) von maximal 40 % erreicht. Die restlichen 60 % müssen als Abwärme (ungenutzt) an die Umgebung (Flüsse, Atmosphäre) abgeführt werden.

Angesichts derart hoher Energieverluste haben Ingenieure schon immer daran gearbeitet, den Wirkungsgrad zu verbessern. Ein erster Schritt wurde in der Auskopplung der Wärme aus diesem Dampfkraftprozess für Heizzwecke getan. Zur Nutzung der Brennstoffenergie in Form der elektrischen Kraft trat nun die externe Nutzung von Wärme hinzu. Es wird in solchen Fällen von Kraft-Wärme-Kopplung bzw. von der KWK gesprochen.

Fernwärme

Der Schritt vom reinen Kraftwerk (Stromerzeugung) zum HKW (Heizkraftwerk für eine gleichzeitige Strom- und Wärmeerzeugung) ist zwar technisch einfach, in der Praxis aber nur selten wirtschaftlich umsetzbar. Denn ein Merkmal des Dampfkraftprozesses ist, dass er sowohl aus technischen als auch aus ökonomischen Gründen meist weit außerhalb von Siedlungen in Großanlagen durchgeführt wird. Daher fällt auch die Abwärme in riesiger Menge konzentriert am jeweiligen Kraftwerksstandort an. Für die Wärme gibt es dort aber i.d.R. kaum Verbraucher bzw. Abnehmer.

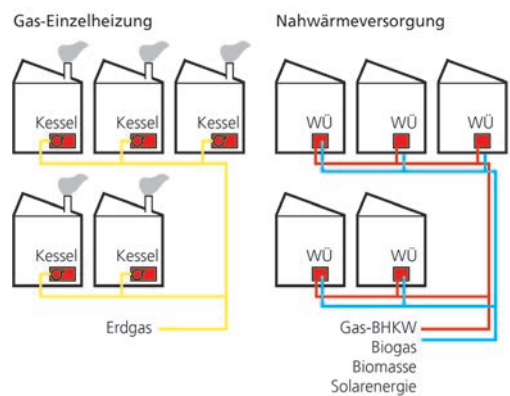
Während Strom über Hochspannungsleitungen auch über weite Strecken relativ einfach und mit vergleichsweise hohem Wir-

kungsgrad zum Endabnehmer transportiert werden kann, gelingt das bei der Abwärme nur sehr begrenzt. Ein Transport über längere Wege kommt aus vielen Gründen (u.a. Temperatur- und Druckhaltung, Wärmeverluste) nicht in Frage. Deshalb beschränkt sich die Abwärmenutzung auf einige Quadratkilometer in unmittelbarer Nachbarschaft der Kraftwerke. Man spricht in diesem Zusammenhang auch von Fernwärme.

Nahwärme

Wird die Größe der Wärmequelle an den Bedarf der Wärmeabnehmer angepasst, kann die Abwärme gut genutzt werden. Damit ergibt sich die entscheidende Bedingung für KWK: Um einen möglichst hohen Anteil der Abwärme des Kraftwerks nutzen zu können, muss ein großer Teil des Strombedarfs nicht mehr zentral aus Großanlagen von wenigen Standorten geliefert werden. Stattdessen sind kleinere Kraftwerke dezentral zu errichten – also sehr nahe bei den potenziellen Wärmeverbrauchern.

Werden also Strom und Wärme in unmittelbarer Nähe der Abnehmer (Einzelgebäude, Gebäudekomplexe, Neubaugebiete) produziert, wird bezogen auf die Wärmeversorgung auch von Nahwärme gesprochen.

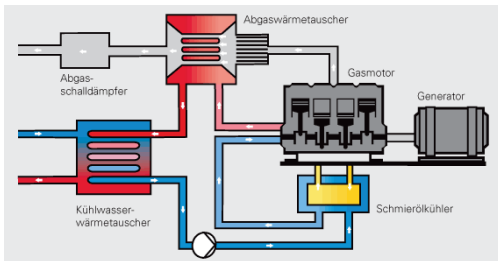


Braucht also z.B. jedes Einfamilienhaus seine eigene Heizungsanlage? Eine gute Alternative besteht in einer Nahwärmezentrale. Sie ist auch flexibel und zukunfts offen!

Motor-Anlagen

Wird Heiz- oder Pflanzenöl, Bio- oder Erdgas zur Stromerzeugung eingesetzt, ist man nicht mehr auf den Dampfkraftprozess angewiesen. Hier ist den Ingenieuren ein weiterer Schritt zur Wirkungsgradoptimierung gelungen. Öle und Gase werden über Verbrennungsmotoren mit direkt angetriebenen Generatoren verstromt.

Die Motor-Anlagen sind technisch einfach aufgebaut, können im Teillastbereich zur flexiblen Anpassung an den oft wechselnden Strom- und Heizlastbedarf „gefahren“ werden und stehen auch in kleinen Leistungsreichen zur Verfügung.



Durch Auskopplung der Wärme von Abgas, Motorkühlwasser und Schmieröl kann der Wärmeträger Wasser auf 90 und mehr °C aufgeheizt werden (Grafik Viessmann).

BHKW-Anlagen

Für Motorenanlagen mit Auskopplung der Abwärme auf ein für die Gebäudeheizung geeignetes Temperaturniveau von 50 - 80°C wird der Begriff Blockheizkraftwerk (BHKW) verwendet. Nicht unüblich sind auch Begriffe wie MHKW (Motorheizkraftwerk) oder z.B. HKA (Heizkraftanlage).

Ihr Wirkungsgrad liegt bei ca. 90 %. Die Wärme wird für die Raumheizung und die Warmwasserversorgung genutzt, der gleichzeitig erzeugte Strom möglichst im Gebäude selbst oder in der nahen Umgebung oder er wird in das ohnehin vorhandenen Stromnetz der allgemeinen Versorgung eingespeist.

Manchmal wird behauptet, BHKW seien nicht besser als Heizkessel, die auch 90 % Wirkungsgrad und mehr erzielen. Das ist falsch, denn die BHKW-Wärme ist als Abfallprodukt des zeitgleich erzeugten Stroms

zu sehen. Der in Kesseln verfeuerte Brennstoff ist dagegen endgültig für die Stromerzeugung verloren (in ihnen wird das Potenzial des Brennstoffs, mechanische Arbeit zu leisten, ohne Nutzung vernichtet).

Der BHKW-Strom wiederum muss nicht mehr an anderer Stelle (im Großkraftwerk mit dem geringen Wirkungsgrad von 40 %) erzeugt werden. Aus diesem Sachverhalt leitet sich der Vorteil der BHKW-Technik ab: Eine Primärenergieeinsparung von gut 30 bis 40 % und die Reduktion von Schadstoff- und CO₂-Emissionen.

Klein-BHKW (Mini- und Mikro-BHKW)

BHKW sind längst praxiserprobte Serienprodukte, seit Jahrzehnten erfolgreich im Einsatz und in einem Leistungsspektrum von 1 kW_{el} bis über 1.000 kW_{el} (el = elektrische Leistung) auf dem Markt. Das Kernstück des BHKW ist der für den stationären Betrieb ausgerüstete Motor mit Stromgenerator sowie Wärmeübertragern (WÜ) und wird auch als Modul bezeichnet. Ein BHKW kann aus einem oder mehreren Modulen bestehen.

Als Klein-BHKW werden Module von 1 bis 50 kW_{el} bezeichnet (enthalten sind Mikro- von 1 bis 3 kW_{el} und Mini-BHKW von 4 bis 10 kW_{el}). Modulgrößen sind u.a. (th = thermische Leistung o. Wärmeleistung): 1 kW_{el}/2,5 kW_{th}; 5 kW_{el}/12,3 kW_{th}; 9 kW_{el}/20 kW_{th}; 12 kW_{el}/25 kW_{th}; 20 kW_{el}/43 kW_{th} oder z.B. 30 kW_{el}/62 kW_{th}. Wichtig: Sie erzeugen die Energien in einem festen Verhältnis von ca. einem Teil Strom zu zwei Teilen Wärme.




Ihr Platzbedarf ist relativ gering (linkes Bild: energiewerkstatt-Modul 20 kW_{el}; rechtes Bild Vaillant-Modul 1 kW_{el}).

Das Besondere: Während ein (Auto)Motor nach gut 10.000 Betriebsstunden (10 Jahre je den Tag 3 Stunden Fahrbetrieb!) den Geist aufgibt, hält der gleiche BHKW(Motor) i.d.R. mindestens 80.000, meist aber über 120.000 Betriebsstunden!

Das liegt an der „Fahrweise“: Automotoren sind drehzahlregelt und deshalb wesentlich verschleißanfälliger als Motoren, die im BHKW mit konstant niedriger Drehzahl von etwa 1.500 U/min laufen. Bei regelmäßiger Wartung/Instandhaltung sind solch hohe Lebensdauern zu erreichen.

Das bedeutet aber auch, dass die Wärme und der gleichzeitig produzierte Strom entweder in der angegebenen Leistung bereitgestellt und genutzt werden müssen – oder gar nicht!

Als Betreiber von Klein-BHKW kommen sowohl Privatleute als auch Betriebe, Kommunen und ihre Einrichtungen sowie Energieversorgungsunternehmen (EVU) in Frage. Sieht man von den EVU und Netzbetreibern ab, die den BHKW-Strom über eigene Netze verteilen, rechnet sich ein Klein-BHKW vor allem in den Objekten, in denen möglichst gleichmäßig über das Jahr verteilt Wärme und Strom gleichzeitig benötigt wird.

 *Denn ökonomisch lebt ein Klein-BHKW vor allem davon, dass der bei Deckung des Wärmebedarfs gleichzeitig erzeugte Strom den teuren Bezug aus dem Netz der allgemeinen Versorgung verdrängt (kein Fremdstrombezug vom EVU)!*

Klein-BHKW-Dimensionierung

Da ein BHKW also mit konstanter Drehzahl läuft, kann es sich nicht an die außertemperaturabhängigen, wechselnden Heizlasten anpassen. Deshalb kann es auch nie den Heizkessel ersetzen, der auf die max. Heizlast ausgelegt ist. Dann würde das BHKW nur an den wenigen sehr kalten Tagen im Jahr laufen.

Die hohe Investition in ein Klein-BHKW muss sich lohnen: Je kleiner es dimensioniert wird, umso geringer sind die Anschaffungskosten, umso länger läuft es und pro-

duziert Wärme und Strom. Deshalb wird ein BHKW immer als sog. Grundlastmodul geplant.

Die thermische Leistung sollte max. 10 bis 15 % der benötigten Heizlast des zu versorgenden Objektes betragen. So kann eine lange Laufzeit von mehr als 5.000 Stunden im Jahr (bei 8.760 Jahresstunden) erreicht werden. Die restliche Heizleistung muss immer durch einen preiswerten, konventionellen Kessel (sog. Spitzenlast- und Reservekessel) gedeckt werden. Wird die thermische Leistung als Grundlast dimensioniert, ist auch die Stromleistung entsprechend niedriger. So ist gewährleistet, dass der produzierte Strom zu möglichst 100 % in dem Objekt selbst verbraucht werden kann. Denn hier setzt die Wirtschaftlichkeitsrechnung an: Wird der Strom im eigenen Objekt verbraucht, können die Kosten für den EVU-Strombezug von 26 bis 30 Ct/kWh eingespart werden! Müsste der erzeugte Strom in das allgemeine Netz eingespeist werden, wären die Erlöse zumindest bei Heizöl- oder Erdgas-Klein-BHKW viel zu niedrig (< 5 Ct/kWh).

Als grobe Richtwerte für den Mindestverbrauch im eigenen Gebäude, bei dem sich der Einsatz eines kleinen Erdgas-BHKW z.B. mit 5,0 kW_{el} und 12,3 kW_{th} lohnt, kann ein jährlicher Stromverbrauch von mindestens 30.000 kWh und eine Jahreswärmemenge von mindestens 90.000 kWh dienen.

Als Objekte für den Einsatz von Klein-BHKW kommen daher z.B. in Betracht:

- Hotels oder Gaststätten
 - Alteneinrichtungen
 - kleine Krankenhäuser
 - Schulen mit Sporteinrichtungen
 - Gewerbebetriebe
 - Mehrfamilienhäuser und Wohnanlagen
 - Reihenhäuser mit Nahwärmeversorgung.
- Mehrfamilienhäuser und Wohnanlagen eignen sich dann, wenn der Warmwasserbedarf über ein Zentralheizungssystem gedeckt und – wie erwähnt – der Strom im Objekt selbst verbraucht werden kann; somit den teuren Strombezug aus dem Netz ersetzt.

Im einfachsten Fall wird das Klein-BHKW neben dem Heizkessel installiert. Die Einbin-

dung in die Heizung wird so ausgeführt, dass bei Bedarf ein Betrieb wie bisher, also ohne das BHKW, möglich ist. Ein Klein-BHKW kann nicht nur in Neubauten, sondern auch leicht in das vorhandene Heizungssystem bestehender Gebäude eingebunden werden.

Der Ersatz des Heizkessels durch ein Klein-BHKW ist technisch möglich, aber auf keinen Fall zu empfehlen. Durch häufiges Ein- und Ausschalten des BHKW ist mit einem schnelleren Verschleiß von Teilen zu rechnen. Durch den Einbau eines Pufferspeichers (Heizwasserspeicher wie z.B. bei den Holzfeuerungsanlagen) werden die Schalthäufigkeit zwar verringert und die Zeitabstände zwischen den Schaltvorgängen verlängert. In jedem Fall müssen aber höhere Wartungskosten durch defekte Teile und die Kosten des zusätzlichen Pufferspeichers bei einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung berücksichtigt werden.

Entgegen den Werbeversprechen von einigen Herstellern von Klein-BHKW ist der Einsatz im Ein- oder Zweifamilienhaus oft wirtschaftlich nicht darstellbar. Hier ist eine konstante Abnahme der gleichzeitig produzierten Wärme- und Strommengen über mehr als 2.500 Stunden pro Jahr selten möglich.

Für die Wärmeversorgung kleiner Verbraucher wie (erst recht gut gedämmter) Ein- und Zweifamilienhäuser ist deshalb für den sinnvollen Klein-BHKW-Einsatz eine gemeinsame Nahwärmeversorgung aller Gebäude eine erforderliche Voraussetzung.

Als Anhaltspunkt einer EFH-(Nah)wärmeversorgung mit BHKW-Einsatz (gleichzeitige Wärme- und Stromversorgung!) gilt:

BHKW-Leistung		Gebäudetyp	
elektrisch	thermisch	Altbau	Neubau
2,6	6,5	3 EFH	5 EFH
5	12,3	7 EFH	11 EFH
9	28	10 EFH	15 EFH
30	62	40 EFH	70 EFH

Durch Förderprogramme auf Bundesebene, meist angesiedelt beim Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA), werden i.d.R. Zuschüsse für neue Anlagen gewährt; zusätzlich gibt es auch eine zeitlich

begrenzte Einspeisevergütung auf Grundlage des KWK-Gesetzes und eine Energiesteuererstattung. Bei Bedarf geben die Hersteller Auskunft, ob und wer aktuell wo und wie viel fördert. Viele Infos und eine Marktübersicht finden Sie unter www.bhkw-infozentrum.de.

Es sind Mikro-BHKW speziell für EFH auf dem Markt. Sie sind aber trotz Förderung unwirtschaftlich. Bei 1 kW_e und 2.500 Betriebsstunden werden 2.500 kWh/a Strom erzeugt und bei einem vermiedenen Strompreis von 30 Ct/kWh max. 750 €/a Bezugskosten gespart. Geht man davon aus, dass die Förderung gerade die Wartungskosten trägt, lässt sich mit diesem Betrag die hohe Investition kaum amortisieren.

Neueste KWK-Technologien

Werden serienreife Klein-BHKW trotz Förderung noch immer relativ selten installiert, gibt es neue KWK-Produkte auf dem Markt.

Stirlingmotor

Der Stirlingmotor wurde bereits 1816 vom schottischen Pfarrer Robert Stirling erfunden. Häufig wurde diesem Anlagentyp der Durchbruch prognostiziert – bisher zumindest im Bereich der stationären KWK vergeblich. Trotzdem hat er wegen seiner Unabhängigkeit von der Art der Wärmezufuhr gerade im Bereich der Nutzung erneuerbarer Energiequellen große technologische Potenziale.

Der Stirling wandelt thermische Energie sehr schadstoffarm in mechanische Energie (Strom) um. Er besteht aus einem Zylinder, in welchem sich „Arbeitsgas“ befindet. Das kann z.B. Luft oder Wasserstoff sein. Deshalb wird er auch „Heißgasmotor“ genannt.

Durch eine externe Quelle wird dieses Gas erwärmt, wodurch ein Kolben verdrängt wird. Auf diese Weise wird thermische in mechanische Energie umgewandelt, die einen weiteren Kolben antreibt, der schließlich den Strom erzeugt. Sobald sich der Verdrängungskolben von der Wärmequelle entfernt, kühlt das Gas wieder ab. Es verliert an Volumen und strömt zur Wärmequelle zurück. Auf diese Weise entsteht ein Kreislauf, der den Kolbenmotor konstant antreibt.

Der Unterschied zum Verbrennungsmotor besteht darin, dass der Stirlingmotor eine externe Wärmequelle benötigt und die Wärmeenergie nicht selbst produziert. Deshalb kann er mit einer beliebigen Wärmequelle kombiniert werden, z.B. mit einem BHKW oder mit Solarthermie. Zu kaufen sind aber erst drei erdgasbetriebene Anlagen von drei Herstellern mit 1 kW_{el} und 5,0 bis 5,8 kW_{th}.

Brennstoffzelle

Sie wurde 1838 vom deutschen Chemiker Christian Friedrich Schönbein erfunden. Er umspülte zwei in Salzsäure eingelegte Platindrähte mit Wasser- und Sauerstoff und bemerkte zwischen den Drähten eine elektrische Spannung sowie Wärmefreisetzung.

Es gibt sie als Kombi-Anlage mit integriertem Brennwertkessel oder als Beistellgerät in ein vorhandenes Heizsystem. Auch hier wird Erdgas benötigt, um z.B. im sog. Reformier (Bestandteil der PEMFC-Niedertemperaturbrennstoffzelle) Wasserstoff (H₂) zu gewinnen. Es kommt zu einer chemischen Reaktion. Im Brennstoffzellenstapel (Stack) reagieren Wasserstoff und Sauerstoff in einer umgekehrten Elektrolyse zu Wasser (H₂O). Dabei entstehen Gleichstrom und Wärme.

Eine einzelne Brennstoffzelle besteht aus einer Membran, die zwei Elektroden voneinander trennt. Auf der einen Seite befindet sich Wasserstoff, auf der anderen Sauerstoff. Dieser durchdringt die Membran, um sich mit dem Wasserstoff zu verbinden. Bei der chemischen Reaktion („kalte Verbrennung“) entsteht Gleichstrom, der über einen Wechselrichter (Inverter) in Wechselstrom für den Haushalt umgewandelt wird. Zusätzlich entsteht Wärme, die dem Heizkreislauf zugeführt wird (Gesamtwirkungsgrad 90 %).

Zu erwerben sind bisher sechs Anlagen von sechs Herstellern mit 0,25 bis 1,50 kW_{el} und 0,74 bis 1,1 kW_{th}, wobei vier die PEMFC einsetzen und zwei die SOFC (Hochtemperaturbrennstoffzelle).

Weder Stirlingmotor noch Brennstoffzelle bieten damit bisher eine sinnvolle Alternative zu den „normalen“ Wärmeversorgungsanlagen (Kessel, Wärmepumpe oder BHKW), kombiniert mit einer Fotovoltaikanlage. Weder haben sie eine nachweisbare Serienreife, noch sind sie bezahlbar, trotz extrem hoher Förderung. Übrigens, die beste Heizung ist noch immer? Keine!

Im Passivhaus der Normalfall.

11.7 Wärmepumpe (WP)

Nicht nur Besitzer von Altbauten sind über die steigenden Heizkosten zunehmend frustriert und suchen nach Auswegen. Während sie Überlegungen in Energieeffizienz – also in die Verringerung des Heizwärmebedarfs – seltener anstellen, wird eher über eine neue Heizungsanlage nachgedacht. Hier kommt dann auch die Wärmepumpe ins Gespräch, steht sie doch in dem Ruf, erneuerbare Energie in Form von Erdwärme zu nutzen und geringe Betriebskosten zu verursachen.

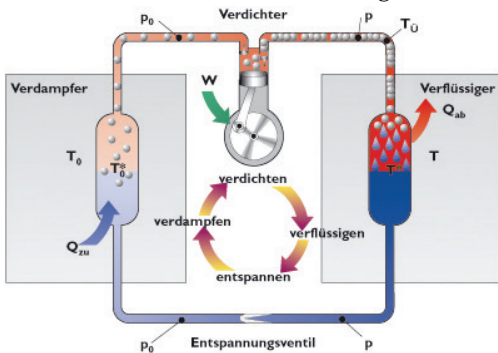
Das erweist sich für (ungedämmte) Altbauten i.d.R. als teurer Trugschluss: Viele Wärmepumpensysteme sind teurer als Erdgas- oder Ölheizungen. Nur für optimal geplante und gut gedämmte Neubauten oder nach-

träglich sehr gut gedämmte Altbauten ergeben sich tatsächlich Kostenersparnisse.

Es klingt verführerisch: Öl oder Gas raus, Wärmepumpe rein, und nach der (üppigen) Investition werden bei gutem Komfort die Haushaltskasse und die Umwelt ordentlich geschont. Was die Werbebotschaften Handwerkern und Bauherren suggerieren sollen, sieht in der Praxis oft ganz anders aus. Gerechnete Einsparprognosen und Betriebserfahrungen führen nämlich selten zur gewünschten Kosteneinsparung: Die Effizienz einer Wärmepumpenanlage ist wie kein zweites System von der exakten Heizlast-Berechnung sowie vom Wärmeabgabesystem und dessen Temperaturniveau abhängig.

Funktionsweise

WP bringen Wärme unter Einsatz elektrischer Energie (Strom) von einem tiefen auf ein höheres Temperaturniveau. Sie arbeiten nach dem gleichen physikalischen Prinzip wie ein Kühlschrank (Kompressionswärmepumpe). In ihnen zirkuliert ein Kältemittel, das der Umwelt (Erdreich, Außenluft oder Grundwasser) Wärme (Q_{zu}) entzieht und verdampft. Das dampfförmige Mittel wird in einem (strombetriebenen) Verdichter (Kompressor) komprimiert. Dadurch erhöht sich die Temperatur so weit, dass die Wärme im Heizsystem genutzt werden kann. Mit der Wärmeabgabe (Q_{ab}) im Verflüssiger wird das Kältemittel wieder flüssig. Im Expansionsventil entspannt es sich auf einen niedrigeren Druck und eine niedrigere Temperatur – der Kreislauf kann von vorne beginnen.



Die Wärme wird der Umwelt mit Hilfe eines Wärmeübertragers entzogen. Je nach Erdreich, Platzangebot oder Grundwassersituation sind Flach- oder Grabenkollektoren, Tiefenbohrungen oder Brunnen notwendig – oder die Wärme wird direkt der Außenluft oder der Raumluft im Keller entzogen.

Wärmepumpen werden eingesetzt

- für die Bereitstellung von Raumwärme
- für die (Brauch)Warmwasserbereitung
- in Kombination mit Lüftungsgeräten zur Warmwasserbereitung und zur Nacherwärmung der Zuluft (→ S. 168).

Die WP arbeitet umso effizienter, je geringer die Temperaturdifferenz zwischen dem Erdreich, dem Wasser oder der Luft und der Vorlauftemperatur für das Heizsystem und die Warmwassererwärmung ist. Daher sind

u.a. ein Niedertemperatursystem (→ S. 210) ebenso erforderlich wie möglichst niedrige Warmwassertemperaturen (oder besondere Speicherladesysteme).

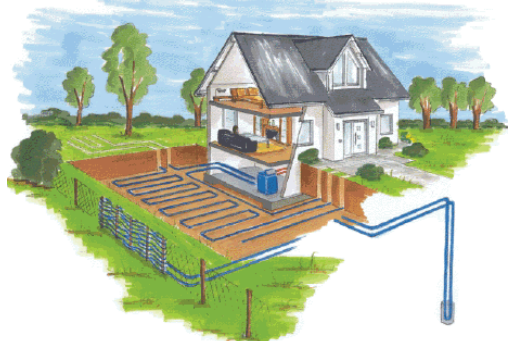
Wärmepumpen-Typen

Bei Wärmepumpen unterscheidet man verschiedene Betriebsweisen: Bei der monovalenten Betriebsweise versorgt die WP das Gebäude allein mit Raumwärme und Warmwasser. Wenn sie in Verbindung mit einem zweiten Wärmeerzeuger (z.B. Ölkessel) z.B. zur Warmwasserbereitung eingesetzt wird, spricht man (wie bei Solarkollektoranlagen) von bivalentem Betrieb. Je nach verwendeter Umweltwärme in Kombination mit dem Wärme übertragenden Medium unterscheidet man dann drei WP-Typen [12].

Erdreich(Sole)-Wasser-WP

Wenn dem Erdreich Wärme entzogen werden soll, müssen entsprechende Kunststoffleitungen als Absorber im Erdreich verlegt werden, durch die Sole zur Wärmeaufnahme gepumpt wird. Die Leitungen werden in etwa 1,0 bis 1,5 m Tiefe flächig verlegt.

Je nach Erdreichbeschaffenheit können sie eine Wärmeentzugsleistung von 10 bis ca. 25 W/m² Absorberfläche erreichen. Die Fläche des gesamten Erdkollektors beträgt i.d.R. das Ein- bis Zweifache der zu beheizenden Wohnfläche – feuchte Böden sind günstig, trocken-sandige Böden weniger.



Fehlt die Fläche, kann auch eine Erdsonde über eine Tiefenbohrung eingebracht werden (Grafik Lumitronic). Die Sonde wird mit einem Bentonit-Zusatzgemisch fix ins Gestein/Erdreich eingegossen und ist i.d.R. als

Solesystem ausgeführt. Vor der dazu notwendigen Bohrung sollten Sie Erkundigungen zu den Bodenverhältnissen einholen. Je härter das Erdreich, desto teurer die Bohrung, für die eine wasserrechtliche Genehmigung vorliegen muss. Die Entzugsleistung beträgt 30 bis 50 W/m. Für 5.000 W (5 kW) ist bei 50 W/m eine Tiefe von 100 m für eine Sonde erforderlich – oder für zwei je 50 m.

Weitere, aber weniger verbreitete Absorbervarianten sind der Energiekorb, der Spiral- oder der Grabenkollektor, die weniger Platz benötigen als der Flachkollektor, das Lanzenfeld als Alternative zur Tiefenbohrung oder ein Energiezaun.

Wasser-Wasser-WP

Es handelt sich i.d.R. um eine Grundwasser-WP. Das Grundwasser hat ab einer Tiefe von 10 m ganzjährig eine Temperatur von etwa 10°C und ist damit, wie das Erdreich, eine ideale Wärmequelle; es wird über einen Wärmeübertrager in die WP gepumpt und gibt hier seine Wärme ab.

Vor der Entscheidung für diesen Wärmepumpentyp ist die Wasserbeschaffenheit und -ergiebigkeit zu klären. Wenn Eisen- und Magnesiumgehalt zu hoch sind, kann es zu einer Durchrostung des Wärmeübertragers oder zu Problemen bei der Wasserentnahme (Verockerung) kommen. In jedem Fall ist vor Baubeginn eine behördliche Genehmigung einzuholen.

Benötigt werden ein Förder- sowie ein Schluckbrunnen mit einem Abstand von mindestens 10 m, wobei die Fließrichtung des Grundwassers zu beachten ist. Für eine Entzugsleistung von 5 kW sind pro Stunde ca. 1.000 Liter (1 m³) Wasser erforderlich.



Luft-Wasser-WP

Zur Nutzung der Außenluft als Wärmequelle gibt es drei Möglichkeiten. Beim Monoblock zur Innenaufstellung sind alle WP-Komponenten in nur einem Gerät untergebracht, das im Haus (nicht im Wohnraum) aufgestellt wird. Diese Lösung ist unabhän-

gig von Witterungseinflüssen wie z.B. Frost. Nachteilig sind die großen Durchbrüche der Luft führenden Kanäle durch die Außenwand, der größere Platzbedarf im Keller und die Lärmprobleme im Gebäude.

Oder der Monoblock wird außen aufgestellt, mit dem Nachteil, dass die WP dauernd der Witterung ausgesetzt ist.



Bei der dritten Variante, dem Splitgerät, werden eine Außen- und eine Inneneinheit getrennt voneinander aufgestellt und über Kältemittelleitungen miteinander verbunden. Und wo steht dann die Außeneinheit?

Exkurs Lärm von Luft-Wasser-WP

Viele Geräte sind für enge Bebauungssituationen zu laut, weshalb es immer öfter zu Beschwerden (vor allem von Nachbarn) wegen störender Geräusche kommt. Die Hauptquellen für den Lärm sind der Ventilator, der die Außenluft ansaugt und der Kompressor (Verdichter).

Dabei müssen WP so betrieben werden, dass von ihnen wenig Lärm ausgeht, worauf schon beim Kauf zu achten ist! Angaben zur Geräuschentwicklung enthalten die technischen Datenblätter unter dem Punkt „Schallleistungspegel“: Bei einem leisen Gerät ist er nicht höher als 50 Dezibel, ablesbar als „L_{WA} = 50 dB(A)“.

Innengeräte werden eher leiser wahrgenommen als Außengeräte, bei denen der abgestrahlte Luftschall von Bedeutung und das Problem ist. Deshalb gibt es für Außengeräte Mindestabstände zu sog. schutzbedürftiger Bebauung wie z.B. zu Schlaf- und Kinderzimmern von Nachbarn. In reinen Wohngebieten sind das bei 50 dB(A) immerhin 13 m, bei 45 dB(A) noch 7 m, im allgemeinen Wohngebiet 7 bzw. 4 m.

Tatsächlich liegt der Schallleistungspegel bei der Mehrzahl der installierten Anlagen bei 60 bis 70 dB(A), wodurch, je nach Wohngebiet, Abstände von 23 m bis zu 80 m einzuhalten wären. Deshalb ist sehr zu empfehlen, die Luft-Wasser-WP nicht einfach irgendwo an der Hauswand zu installieren, sondern die (leise) WP an der richtigen Stelle lärmoptimiert für die Nachbarn zu planen.

Da die Wärmekapazität der Luft viel geringer ist als die von Erdreich oder Wasser, müssen große Luftmengen durch den Ventilator bewegt werden: Für eine Entzugsleistung von 10 kW sind das etwa 4.000 m³/h.

Luft-Luft-WP

In Lüftungs-Kompaktgeräten, die vor allem in Passivhäusern eingesetzt werden, ist eine WP eingebaut, die dem Abluftstrom nach Passieren des Luft-Wärmeübertragers noch weiter Wärme entzieht. So wird die Zuluft nacherwärmt und (oder) auch das Wasser erwärmt. Ein Warmwasserspeicher ist meist integriert, die WP als Luft-Wasser- oder Luft-Luft-WP ausgeführt.

Leistungszahl (COP)

Wenn zur Beschreibung der Effizienz einer Wärmepumpe die Antriebs- und Wärmeleistung (in kW) miteinander verglichen werden, ergibt sich die sog. Leistungszahl (COP = Coefficient of Performance).

Sie ist in den Informationen der WP-Hersteller enthalten und bezieht sich immer auf klar definierte Rand- bzw. Laborbedingungen zum Zeitpunkt der Messung. Die Leistungszahl ist also ein Momentanwert.

Damit können WP-Systeme und Fabrikate aber nur untereinander verglichen werden! Die Leistungszahl ist ein Prüfstandwert ohne Hilfsantriebe. Zum Betrieb der WP braucht man Strom. Das Verhältnis zwischen der elektrischen Leistung und der von der Wärmepumpe abgegebenen Wärmeleistung ist die Leistungszahl; eine von z.B. 4,5 bedeutet, dass das Viereinhalbfache der eingesetzten Stromleistung als Wärmeleistung genutzt werden kann. Je höher der COP, umso höher die Wirtschaftlichkeit der typgleichen WP. Hersteller geben den COP mit englischen Abkürzungen an, und zwar A = air (Luft), B = brine (Sole) und W = water (Wasser); A2/W35 oder B0/W35 oder W10/W35.

So beschreibt z.B. der COP 3,5 für A2/W35 eine Luft-Wasser-WP, die bei einer Lufttemperatur von 2°C arbeitet (A2) und die gewonnene Wärme mit 35°C an das Heizwasser (W35) abgibt. Je nach Eintritts- und Abgabetemperatur kann damit der COP Werte von

2,5 bis 6 erreichen. Er sinkt bei niedrigeren Eintrittstemperaturen (z.B. bei Minusgraden im Winter) und/oder höheren Abgabetemperaturen (z.B. bei Heizkörpern, die über 35°C Vorlauftemperatur benötigen).

Beim Vergleich der Leistungszahlen ist also unbedingt darauf zu achten, WP mit den gleichen Eingangsdaten zugrunde zu legen, denn die gleiche WP des gleichen Herstellers hat dann unterschiedliche COP, z.B. 4,6 bei A7/W35, 3,5 bei A2/W35 und nur noch 2,6 bei A2/W35.

Auf diese (theoretische und nur für Vergleiche von Wärmepumpen untereinander geeignete) Leistungszahl zielen aber die Werbeslogans pro Wärmepumpe ab. Immer wieder pauschal genannte „75 % Energie aus der Umwelt“ (also aus 1 macht 4 kWh bzw. Leistungszahl 4,0) sind schlicht falsch!

Arbeitszahl (SPF)


Viel entscheidender als die Leistungszahl ist die Arbeitszahl (SPF = Seasonal Performance Factor), die das Verhältnis zwischen bereitgestellter Wärmemenge (Nutzenergie) und eingesetzter Strommenge (zu bezahlende Endenergie) in kWh darstellt. Wird die Arbeitszahl über den Zeitraum eines Jahres betrachtet, was die Regel ist, spricht man auch von der Jahresarbeitszahl (abgekürzt JAZ).

Nur sie drückt aus, wie effizient eine WP wirklich ist. In der Praxis sinkt die Leistung (und damit der COP) der Wärmepumpe ab, sobald es draußen kälter wird, im Gebäude höhere Raumtemperaturen benötigt werden oder die Temperatur der Wärmequelle absinkt. Der Stromverbrauch für Heizstab, zum Abtauen, für Ventilatoren, Kompressor und Pumpen steigt entsprechend an. Für einen echten Vergleich mit anderen Heizungssystemen kann deshalb nur der SPF (bzw. die JAZ) herangezogen werden, der alle sich ändernden Bedingungen berücksichtigt.


Bei ungünstigen Randbedingungen (im ungedämmten Altbau, wenn hohe Vorlauftemperaturen zur Heizlastabdeckung notwendig sind) fällt der SPF der Luft-WP leicht unter 3,0 z.B. auf 2,6 (aus 1 kWh Strom werden nur 2,6 kWh Wärme produziert).

WP ersetzen dann Heizöl-, Erdgas- und Pelletkessel weder unter wirtschaftlichen noch unter ökologischen Gesichtspunkten!

Anbieter versprechen nicht selten Jahresarbeitszahlen von 4 und mehr. Wichtig für die Bewertung einer Anlage ist, dass der gesamte Stromverbrauch inkl. der Warmwasserbereitung, der Pumpen und des evtl. vorhandenen Heizstabs bei der Arbeitszahlbestimmung berücksichtigt werden.

 Für Förderprogramme oder einen Nachweis nach GEG gilt: Der SPF muss rechnerisch nach der VDI-Richtlinie 4650 für Raumwärme und Warmwasser durch eine Fachunternehmererklärung bzw. die Bescheinigung eines Sachkundigen nachgewiesen werden. Diese Rechenwerte liegen teils deutlich über den Werten, die in der Praxis erreicht werden.

Wichtig ist deshalb der Einbau eines Wärmemengenzählers direkt hinter der WP. Nur so lässt sich die tatsächliche Arbeitszahl und Effizienz ermitteln: Nach einem Jahr lesen Sie den Stromzähler der WP und den Wärmemengenzähler ab. Sind bei 6.000 kWh Stromverbrauch 15.000 kWh an Wärme verbraucht worden, liegt die Jahresarbeitszahl gerade mal bei 2,5 (= 15.000 : 6.000). Betrug dagegen der Wärmeverbrauch 22.800 kWh, hat Ihre WP eine sehr gute Jahresarbeitszahl von 3,8 erzielt.

 Nicht zu vergessen: Die Warmwasserbereitung während der Heizzeit und im Sommer! Hier braucht es zur Aufheizung eines Speichers auf 60°C mindestens 70°C Vorlauftemperatur. Da geht die Arbeitszahl weiter in die Knie, wenn die Erdreich- oder Grundwassertemperatur von 10°C um 60 K oder gar die Außenlufttemperatur von -5°C um 75 K angehoben werden muss.

Es wird klar, dass (im ungedämmten Altbau) die Luft-Wasser-WP-Systeme nicht besser sind, sondern höhere jährliche Betriebskosten verursachen als Heizöl-, Erdgas- oder Pelletkessel. Bezogen auf die erforderlichen Investitionen wird jedem schnell auch ohne Wirtschaftlichkeitsrechnung bewusst, dass sich eine WP kaum lohnt – doch nicht selten

erkennen die Bauherren diese Tatsache viel zu spät und der gerade modernisierte Heizungskeller wird dann zum „Tummelplatz“ für verzweifelt herbeigerufene Gutachter. Man kann oft nur raten: Finger weg von der Wärmepumpe bei der Heizungssanierung: Das Geld sollten Sie besser in Wärmedämmmaßnahmen investieren.

Guter gedämmter Alt- und Neubau

Falsch wäre es aber auch, die Wärmepumpe grundsätzlich in eine „stromverbrauchende Schmutzdecke“ zu verbannen. Bei optimalen Randbedingungen ist sie zu den Kesselalternativen konkurrenzfähig – aber keineswegs viel besser oder umweltfreundlicher.

In einem vom Bundeswirtschaftsministerium geförderten Feldtest „WP-Effizienz“ wurden durch das Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme (ISE) von 2007 bis 2010 insgesamt 110 elektrisch angetriebene WP von sieben Herstellern mit 5 bis 10 kW Wärmeleistung, die in neu errichteten Einfamilienhäusern mit Fußbodenheizungen installiert worden waren, im realen Betrieb vermessen. In einem weiteren Projekt, allein finanziert durch den Energieversorger E.ON, wurden ca. 70 WP in unsanierten Bestandsgebäuden untersucht, in denen vorher Heizölkessel installiert waren [13].

Im Neubau erreichten danach Erdreich (Sole)-Wasser-WP über eine Messperiode von Juli 2007 bis Juni 2010 in 56 Anlagen (27 % mit Flächenabsorber, 73 % mit Tiefbohrung) eine mittlere Jahresarbeitszahl von 3,9.

Der Anteil der erzeugten Wärme für die Warmwassererwärmung lag bei 18 % mit einer Speicherladetemperatur von Ø 52°C.

Im Altbau erreichte der gleiche WP-Typ über eine Messperiode von Januar 2008 bis Dezember 2009 in 29 Anlagen eine mittlere Jahresarbeitszahl von 3,3. Hier lagen die Vorlauftemperaturen im Wärmeverteilsystem deutlich höher. Der Anteil der Warmwasserbereitung lag bei nur 13 %.

Diese Ergebnisse zeigen, dass der SPF von 4,0 bei der Sole-Wasser-WP nicht erreicht, ein COP von 4 bis 6 aber gerne verkauft wurde und wird: Viele Angebote sind unseriös

schön gerechnet und gehen oft von falschen Voraussetzungen aus. Bei der falschen Auslegung kann die WP aber wie ein gigantischer Kühlschrank wirken und z.B. das gesamte Grundstück vereisen. Dem Erdreich lässt sich nicht beliebig viel Wärme entziehen.

Anders stellen sich die Ergebnisse für die Luft-Wasser-WP dar. Im Neubau wurde ein mittlerer SPF von 2,9 gemessen, im Bestand lag er im Mittel bei 2,6. Gerade in Altbauten lag er im Winter während der Heizzeit nur zwischen 2,1 und 2,5. Das zeigt, dass bei den (Sonder)Preisen für WP-Strom (Heizstrom) von über 21 Cent/kWh eine Luft-Wasser-WP im Altbau eine bessere Stromheizung ist – mit Erdgas- oder Pelletkesseln also nicht konkurrieren kann. Teilen Sie den Strompreis für die WP durch den SPF, und Sie wissen, was eine kWh eines vergleichbaren Brennstoffs kosten darf: Hier also z.B. 21 Ct/kWh : 2,6 = 8,1 Ct/kWh oder : 2,9 = 7,2 Ct/kWh; wie beim Erdgas kommt noch eine monatliche Zählergebühr von 14 € und mehr hinzu, bei Pellets fällt diese komplett weg.

Bis heute, mehr als zehn Jahre nach den Feldtests, wurde bei den Wärmepumpen keine wesentliche Effizienzsteigerung mehr erzielt. Vor allem die Luft-Wasser-WP wird die notwendige JAZ (bzw. SPF) von 4,0 niemals erreichen, um dann wie die Wasser-Wasser- oder Sole-Wasser-WP tatsächlich einen wirksamen Beitrag zum Klimaschutz zu leisten. Gesamtwirtschaftlich betrachtet ist ohnehin zu fragen, woher denn der ganze (erneuerbare) Strom zum Betrieb der WP kommen soll, wenn bis 2030 mindestens acht und bis 2050 an die 16 Millionen WP installiert werden sollen. Aktuell soll schon der Verkehrssektor (Stichwort E-Mobilität) weitgehend elektrifiziert werden – und zwar erneuerbar.

Doch nicht nur an der Effizienzfront gibt es Probleme: Immerhin sind Elektro-Wärmepumpen seit über 40 Jahren auf dem Markt. Umso mehr muss es verwundern, wenn es bei Planung und Einbau immer noch zu gravierenden Fehlern kommt, welche die erwartete Energieeinsparung weiter schmälern oder sogar ins Gegenteil verkehren. Eine Umfrage unter Sachverständigen zur Fehler-

häufigkeit bei Planung und Ausführung kam zum Ergebnis, dass sich fast ein Drittel der geprüften Anlagen als irreparabel erwiesen, die Hälfte der Probleme bereits in den ersten beiden Jahren auftauchten und die Kosten der Mängelbeseitigung durchschnittlich 13.000 € betrugen.

Wärmepumpe für den Neubau

Dennoch: WP sind technisch grundsätzlich ausgereift. Um aber auch optimal und konkurrenzfähig eingesetzt werden zu können, beachten Sie folgende Empfehlungen:

- sehr guter Wärmeschutz des Gebäudes: Heizwärmebedarf < 30 kWh/(m²a)
- exakte Dimensionierung der Heizlast
- Vorlauftemperaturen bis max. 45°C
- sorgfältige und lückenlose Dämmung der Rohrleitungen und Komponenten
- an den realen Bedarf angepasste Einstellung der Spreizung und Heizkurve
- hydraulischer Abgleich
- Auslegung und Sicherstellung der optimalen Volumenströme
- sorgfältige Auslegung und Planung von einfachen Anlagen; komplexe Systeme haben selten die angestrebte Effizienz.

Während die Investitionskosten für die effiziente Sole-Wasser-WP mit ca. 25.000 € noch höher als für neue Pelletanlagen sind und deshalb viele Eigentümer trotz Förderung von einer Installation abhalten, erfährt die Luft-Wasser-WP eine Renaissance. Und tatsächlich ist der Aufwand beim Neubau gering: Sie ist mit weniger als 16.000 € deutlich kostengünstiger, ein Stromanschluss ist ohnehin vorhanden und der Schornstein lässt sich auch einsparen.

Unter der Bedingung, dass die Luft-Wasser-WP exakt geplant und handwerklich perfekt umgesetzt wird, zeigen eigene Vollkostenvergleiche, dass für sehr gut gedämmte Neubauten (und energetisch hochwertig sanierte Altbauten) bezogen auf Investitions-, Unterhaltungs- und Betriebskosten diese Wärmepumpe eine Alternative ist!

In allen anderen Fällen lassen Sie aber besser die Finger von der Luft-Wasser-WP. Die richtige Lösung kann dann nur eine Sole-Wasser-WP sein – oder gar keine.

12 Heizflächen/Wärmeverteilung

Im Mittelpunkt des Interesses von Bauherren und Architekten steht bei der Heizungstechnik meist nur die Wärmeerzeugung; also die Frage, ob ein Heizkessel für Heizöl, Gas oder Holz gekauft oder eine Wärmepumpe installiert werden soll.

Dagegen wird all das, was nach dem Heizkessel (oder der Wärmepumpe) kommt, als absolutes Stiefkind behandelt, was aber ein großer Fehler ist! Denn gerade hier schlummern Energie-Einsparpotenziale.

In 97 % aller Fälle wird eine Warmwasserpumpenheizung eingebaut, die neben einem Wärmeerzeuger ein Rohrleitungsnetz, Umwälzpumpen, eine Steuerung bzw. Regelung

und natürlich Heizflächen braucht, die nicht nur effizient und somit sparsam mit der zu verteilenden Wärme(Energie) umgehen, sondern natürlich auch komfortable Wohnverhältnisse schaffen soll.

Die Praxis zeigt, dass hier immer wieder an der falschen Stelle gespart wird – beim Neubau wie beim Altbau. Was nützt Ihnen der beste und effizienteste Wärmeerzeuger, wenn dahinter die teure Energie durch ungedämmte Wärmeverteilungen, zu große Umwälzpumpen, nicht eingestellte Regelungen oder falsch geplante Heizflächen „verschleudert“ wird – und Sie sich als Bewohner auch noch unbehaglich fühlen?

12.1 Rohrnetz (Wärmeverteilung)

Es ist manchmal schon erschreckend, wie sorg- und vor allem planlos direkt nach dem Heizkessel die Rohrleitungen „munter drauflos“ verlegt wurden und werden. Rohre verlaufen „kreuz und quer“ und liegen zu nahe beieinander, die Dämmung fehlt. Dabei gibt es an dieser Stelle große Kosten- und Energie-Einsparpotenziale.



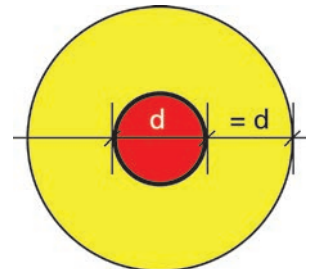
Kurze Leitungswege

Gerade beim Neubau sind möglichst kurze Leitungswege vom richtigen Aufstellort des

Wärmeerzeugers bis hin zu allen Verbrauchern (Heizflächen, Zapfstellen für Warmwasser) zu planen. Die positiven Folgen: Weniger Materialeinsatz, weniger Energieverluste pro laufenden Meter, weniger Investitions- und selbstverständlich Energiekosten.

Gute Wärmedämmung

Das Rohrnetz muss dort, wo es durch unbeheizte (kühle) Bereiche wie z.B. Keller oder Schächte geführt wird, sehr gut und unbedingt lückenlos wärmedämmt sein. Sonst werden die guten Nutzungsgrade eines neuen Wärmeerzeugers leichtfertig an anderer Stelle wieder verschenkt! Die Dämmung d muss laut Anforderungen des GEG mit einer Wärmeleitfähigkeit von $0,035 \text{ W/(mK)}$ mind. so stark wie der Durchmesser d des Rohres sein.



Exkurs Dämmung der Rohrleitung

Die Höhe der Wärmeverluste der Heizungs- und Zirkulationsrohre sowie der Armaturen werden meist unterschätzt. Bei einer völlig ungedämmten Rohrleitung betragen die jährlichen \emptyset Wärmeverluste bis zu 250 kWh pro Meter. Die Wärmedämmung der Rohrleitungen verringert die Wärmeverluste je nach Material und Dicke um etwa 80 %. Bei Investitionskosten von 10,- € je Meter und einem Ölpreis von mehr als 0,60 €/l bzw. 0,06 €/kWh ist das eine höchst wirtschaftliche Energiesparmaßnahme.

Die Wärmeverluste lassen sich auf Grundlage der Länge, des Querschnitts und der Dämmdicke eines Rohres (i.d.R. Kupfer) näherungsweise gut berechnen und optimieren [14].

$$Q = (L + L_A) \times \psi \times \Delta T \times HT \times UF$$

mit

$$Q = \text{Wärmemenge [kWh/a]}$$

$$L = \text{Länge Rohrleitung: Vor- plus Rücklauf [m]}$$

$$L_A = \text{Zuschlag auf Länge Rohrleitung für Armaturen (+ 30 \% von L bei Armaturen, Pumpen usw. mit Dämmhauben und + 100 \% von L bei ungedämmten Armaturen) [m]}$$

$$\psi = \text{Wärmedurchgangskoeffizient Kupferrohr aus der folgenden Tabelle [W/(mK)] in ungedämmtem und gedämmtem Zustand (mit zwei üblichen Wärmeleitfähigkeiten).}$$

Dämmstärke (mm)	Kupfer (DN) Zoll (")	10	15	20	25	32	40
		3/8	1/2	3/4	1	5/8	1,5
	λ in W/(mK)	ψ -Werte					
0	ohne Dämmung	0,48	0,62	0,77	0,91	1,11	1,34
20	0,040	0,18	0,20	0,23	0,27	0,31	0,34
	0,035	0,16	0,18	0,21	0,24	0,28	0,31
30	0,040	0,15	0,17	0,19	0,22	0,25	0,28
	0,035	0,13	0,15	0,17	0,20	0,22	0,24
40	0,040	0,13	0,15	0,17	0,19	0,22	0,24
	0,035	0,12	0,13	0,15	0,17	0,19	0,21
50	0,040	0,12	0,14	0,15	0,17	0,19	0,21
	0,035	0,11	0,12	0,13	0,15	0,17	0,19

ΔT = mittlere Temperaturdifferenz zwischen Heizwasser und Raumluft [K]

HT = Heiztage für den Gebäudestandort, hier aus Tabelle S. 233 [d/a]

UF = Umrechnungsfaktor 0,024 (S. 234)

Anzustreben sind Werte von $< 0,20 \text{ W/(mK)}$. Das heißt, die Dämmung wird gut ein- bis maximal zweimal so stark wie der Rohrdurchmesser. Im Neubau kann das leicht durch die Planung eines ausreichenden Abstands der Rohre untereinander und bis zur Decke berücksichtigt werden. Im Bestand gelingt das nicht immer.

Beispiel

Wohnhaus in Potsdam, Systemtemperaturen Vor- und Rücklauf 70/50°C, 15 m ungedämmte Vor- und Rücklaufleitung (DN 15) und Armaturen durch den unbeheizten Keller (üblich sind 12°C).

Fall 1: ungedämmt (ungeregelter Heizkreis)

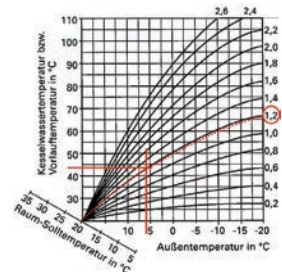
$$Q = (15 \text{ m} + 15 \text{ m}) \times 0,62 \text{ W/(mK)} \times (60^\circ\text{C} - 12^\circ\text{C}) \times 218 \text{ d/a} \times 0,024 \text{ kh/d} = 4.671 \text{ kWh/a}$$

Das ist ein sehr hoher Wärmeverlust von 311 kWh pro Meter, der nur bei einem alten Standardkessel ohne Regelung des Heizkreises auftritt, da von einer konstant hohen Mitteltemperatur von 60°C aus Vor- und Rücklauf ausgegangen wurde.

Fall 2: ungedämmt (geregelter Heizkreis)

$$Q = (15 \text{ m} + 15 \text{ m}) \times 0,62 \text{ W/(mK)} \times (42^\circ\text{C} - 12^\circ\text{C}) \times 218 \text{ d/a} \times 0,024 \text{ kh/d} = 2.919 \text{ kWh/a}$$

Dieser typische Wärmeverlust von 195 kWh/m berücksichtigt eine mittlere Temperatur von 42°C, die sich über die eingestellte Heizkurve (z.B. 1,2) der Regelung und der mittleren Außentemperatur zur Heizzeit (6°C) ergibt.



Fall 3: gedämmt (geregelter Heizkreis)

$$Q = (15 \text{ m} + 4,5 \text{ m}) \times 0,17 \text{ W/(mK)} \times (42^\circ\text{C} - 12^\circ\text{C}) \times 218 \text{ d/a} \times 0,024 \text{ kh/d} = 520 \text{ kWh/a}$$

Es wurde eine Wärmedämmung von 30 mm Stärke mit $\lambda = 0,040 \text{ W/(mK)}$ gewählt und auch alle Armaturen wurden gedämmt.

Gegenüber Fall 2 (ungedämmter Zustand) beträgt die Einsparung an Heizwärmebedarf fast 2.400 kWh/a oder 82,2 %! Bei Ansatz eines Kesselnutzungsgrades von 86 % bzw. 0,86 liegt die Heizenergieeinsparung (also die zu bezahlende Endenergie) bei 2.790 kWh/a (= 2.400 : 0,86).

Bei einem Heizölpreis von nur 6,0 Ct/kWh ist das eine Kosteneinsparung von 167 € pro Jahr oder 11 €/m. Bei Investitionskosten von 10 € pro Meter eine äußerst wirtschaftliche Maßnahme!

Bei der GEG-Anforderung handelt es sich nicht nur um eine Mindestanforderung (es darf also durchaus stärker und besser gedämmt werden); zu beachten ist auch die Vorgabe der Wärmeleitfähigkeit λ . Bei Materialien mit anderer Wärmeleitfähigkeit ist die Mindestdicke der Dämmung entsprechend umzurechnen und anzupassen.

Die Datenblätter von Rohrdämmmaterialien zeigen, dass in der Praxis der geforderte Wert nicht erreicht wird. Die Rohre sind im Betrieb ja ständig warm. Deshalb wird die Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{40^\circ\text{C}}$ als Ausgangswert angegeben; d.h. es wird von einer Temperatur der Rohroberfläche von 40°C ausgegangen. Und für $\lambda_{40^\circ\text{C}}$ liegen die Herstellerwerte für flexible Schläuche (Elastomerschaum) oder für Dämmschalen (Polyethylen, Mineralfaser) zwischen 0,036 und 0,043 W/(mK). Also ein Grund mehr, die Mindestanforderung des GEG bezüglich der Dämmstärke zu übertreffen. Das ist nur bei einer optimalen Planung mit guter Leitungsführung möglich, die auch bei nebeneinander liegenden Rohren und den Armaturen (die werden grundsätzlich gerne vergessen) eine starke und unbedingt lückenlose Dämmung vorsehen.

Gute Hydraulik

Um Stromkosten für die Pumpe zu sparen, sollte das Rohrnetz bei jedem Neubau sehr druckverlustarm realisiert werden. Voraussetzungen sind sowohl die Planung kurzer Leitungswege als auch eine geradlinige Leitungsführung mit wenig Rohrwiderständen: Denn jeder unnötige Knick, jede Krümmung erhöhen den Druckverlust und erschweren eine durchgehende Wärmedämmung.

Neben druckverlustarmen Einzelwiderständen (z.B. Ventile) sind ausreichend große Rohrdurchmesser zu planen. Wird z.B. der Druckverlust im Rohrnetz eines Einfamilienhauses durch etwas größere Durchmesser von 150 Pa/m Rohrnetz auf 50 oder 90 Pa/m reduziert, erhöhen sich die einmaligen Investitionskosten nur um etwa 80 bis 100 € – die Stromkosten für die Umwälzpumpe sinken aber Jahr für Jahr um ca. 20 bis 30 €. Bei üblichen Lebensdauern der Rohrnetze von mehr als 40 Jahren ist auch dies eine sehr wirtschaftliche Maßnahme.

„Heute kennt man von allem den Preis, von nichts den Wert.“ (Oscar Wilde)

12.2 Steuerung/Regelung

Heizungsanlagen sollen verlustarm betrieben werden. Sowohl bei der Neuanlage als auch bei der Optimierung einer bestehenden Anlage ist darauf zu achten, dass die Abstrahlungs-, Bereitschafts- und Verteilverluste jederzeit möglichst niedrig liegen.

Diese Ziele dient eine niedrige Systemtemperatur, die gerade der jeweiligen Bedarfssituation angemessen sein sollte. Darüber hinaus soll die Systemtemperatur z.B. im Nachtbetrieb abgesenkt werden oder ein Abschalten des Wärmeerzeugers erfolgen.

Steuerung

Sie sorgt dafür, dass abhängig von bestimmten Kriterien wie Außentemperatur, Uhrzeit oder Nutzeranwesenheit eine Anlage über-

haupt ein- oder ausschaltet. Dabei wird keine Rückmeldung verarbeitet. Steht das Anforderungskriterium nicht mehr an (z.B. im Sommer, wenn es warm ist), so schaltet die Anlage einfach ab.

Wird also „nur“ EIN und AUS geschaltet, wird von einer Steuerung gesprochen; wie z.B. bei der Warmwasser-Zirkulationspumpe in Abhängigkeit von einer Zeitschaltuhr oder beim Kessel in Abhängigkeit von der eingestellten Heizgrenze (z.B. unterhalb einer Außentemperatur von 15°C bei Altbauten).

Regelung

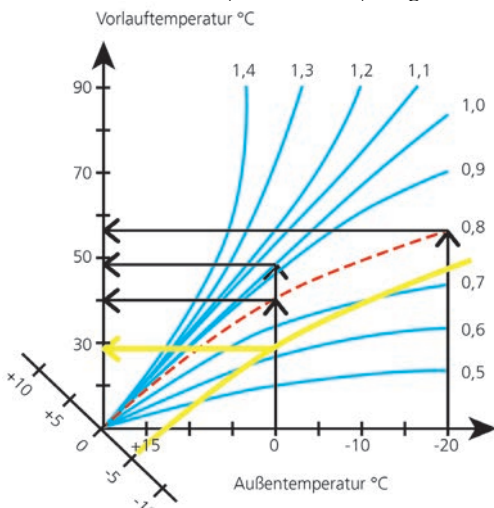
Hier werden die zu regelnden Größen ständig erfasst. Die gemessenen Daten sind die IST-Werte. Die Regelung vergleicht sie mit

den eingestellten SOLL-Werten (die Wunsch-, Führungsgrößen) und versucht, durch geeignete Maßnahmen (die Stellvorgänge) den jeweiligen IST-Wert mit dem passenden SOLL-Wert zur Deckung zu bringen.

Vorlauftemperaturregelung

Bei einer Heizungsanlage hat sich in der Praxis die von der (sich laufend ändernden) Außentemperatur abhängige Vorlauftemperaturregelung bewährt, die entweder direkt auf den Wärmeerzeuger (man spricht dann auch von einer gleitenden oder modulierenden Betriebsweise des Kessels) oder auf den Mischer und damit auf den Heizkreis wirkt. Die Außentemperatur wird ständig gemessen (der Fühler muss verschattet und unbeeinflusst von Störeinflüssen an der Nordseite des Gebäudes montiert und richtig einjustiert sein!) und die Vorlauftemperatur durch den Regler entsprechend variiert.

Dieser Zusammenhang wird für jedes Gebäude individuell über die sog. Heizkurve oder Heizkennlinie (SOLL-Werte) eingestellt.

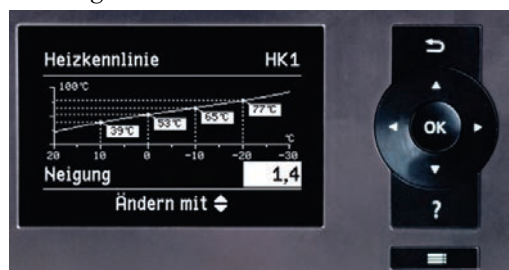
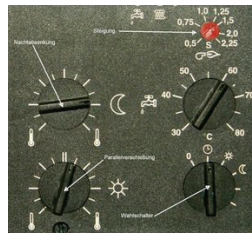


Eine solche Regelung gewährleistet, dass das Heizwasser immer nur so weit vom Kessel erwärmt wird, wie es zur Beheizung des Gebäudes erforderlich ist. Bei der Regelungsinstallation ist die Heizkurve immer vom Werk voreingestellt, hier z.B. die Kurve 0,8:

Das bedeutet, bei 0°C Außentemperatur erhitzt der Kessel das Heizwasser auf 40°C, mit dem es dann im Vorlauf zu den Heizflä-

chen gepumpt wird. Bei -20°C ist die max. Vorlauftemperatur 56°C. Wird es nun im Raum nicht ausreichend warm (z.B. nur 18 statt 20°C), so sollte eine andere, in diesem Fall steilere Heizkurve, hier z.B. die Kurve 1,0 eingestellt werden. Bei 0°C werden nun statt 40 ca. 48°C erreicht. Durch Parallelverschiebung der Kurve 0,8 entlang der schrägen Geraden z.B. um -5°C nach unten wird die sog. Nachtabenkung des Systems eingestellt (dargestellt durch die gelbe Kurve). Dadurch sinkt die Vorlauftemperatur auf 29°C während der typischen Absenkezeit in Wohngebäuden von 22.00 bis 6.00 Uhr (klassische Werkseinstellung, die sie anpassen sollten!). Die flacheren Heizkurven (hier von 0,8 bis 0,5) sind üblich für Fußbodenheizungen, die niedrigere Vorlauftemperaturen brauchen. Die steileren Heizkurven (hier > 0,8) werden zur Regelung von Heizkörpern benötigt.

In Betrieb sind alte analoge wie auch moderne digitale Regler, die extern neben dem Wärmeerzeuger, auf ihm oder integriert sind. Je nach Regler gibt es neben der Änderung der gewählten Heizkennlinie (andere Begriffe sind die Änderung der Steigung, Steilheit oder Neigung) und der Parallelverschiebung oder des Niveaus (nach oben oder unten) weitere Einstellmöglichkeiten.



Da jede Kennlinie über zwei Punkte (den Fuß- und den Endpunkt) definiert ist, kann z.B. auch der Fußpunkt angehoben werden, z.B. für etwas höhere Vorlauftemperaturen in den Übergangszeiten Frühjahr und Herbst bei Außentemperaturen deutlich über +5°C.

Mischerregelung (Heizkreisregelung)

Muss nun eine Heizungsanlage – bezogen auf die Vorlauftemperatur – unterschiedliche Heizflächen versorgen, so ist mehr als ein Heizkreis installiert. Im EFH z.B. sind oft zwei Heizkreise vorhanden: Der erste für die Heizkörper, die mit bis zu 75°C Vorlauf „gefahren“ werden und der zweite für die Fußbodenheizung, für die ca. 40°C Vorlauf ausreichen (sonst besteht „Steptanzgefahr“).

Da es nur einen Kessel gibt, der die Vorlauftemperatur in Bezug auf die höchste Anforderung bereitstellt, würde die Fußbodenheizung zu heiß. Deshalb ist in jedem Heizkreis ein Mischer installiert. Dieser verbindet Vor- und Rücklauf und kann je nach Stellung zwischen 0 und 100 % des (kühleren) Rücklaufwassers direkt in den Vorlauf schicken und so den Heizkreis auf eine niedrigere Temperatur regeln, ohne andere Heizkreise (z.B. für die Heizkörper) zu tangieren.

Jeder Mischer ist mit einem Regler (und dessen Heizkurve) verbunden und funktioniert über den Stellmotor vollautomatisch; in größeren Objekten mit vielen Heizkreisen ist die Mischerregelung der Standard.



Sechs Heizkreise mit Pumpe, Thermometer sowie Absperrventilen, fünf davon mit Mischer (gelber Kreis)

Die zuvor beschriebene Regelung der Vorlauftemperatur in Abhängigkeit von der Außentemperatur über die Heizkurve funktioniert hier exakt gleich. Statt des gesamten Kesselkreises wird nun der jeweilige Heizkreis „witterungsgeführt gefahren“.

Raumregelung mit Thermostatventil

Das Ventilunterteil mit Thermostatkopf ist eine ideale Einrichtung zur Raumtempera-

turregelung. Sowohl durch die gesetzliche Vorschrift zur Regelung der Raumtemperatur als auch aus Gründen der Energieeinsparung sind Thermostatventile notwendig. Als Einzelraumtemperaturregler haben sie eine Besonderheit: Antrieb, Regler und Fühler bilden im Thermostatkopf eine konstruktive Einheit, Thermostat genannt. Dieser erfasst die Energie fremder Wärmequellen (z.B. Sonneneinstrahlung, Wärme von Personen oder Elektrogeräten), regelt sie aus und hält die Raumlufthtemperatur konstant.

Regeltechnisch betrachtet ist der Thermostatkopf ein stetiger Proportionalregler (P-Regler) ohne Hilfsenergie. Er benötigt weder einen elektrischen Anschluss noch sonstige Fremdenergie. Die Änderung des Ventilhubes (Stellgröße) ist proportional zur Änderung der Raumlufthtemperatur (Regelgröße). Die Gas- oder Flüssigkeitsfüllung zieht sich bei Temperaturveränderung zusammen oder sie dehnt sich aus. Steigt die Raumlufthtemperatur z.B. durch Sonneneinstrahlung an, dehnt sich das Medium aus. Das Wellrohr drückt sich dann zusammen und drosselt über die Ventilschnecke die Wasserzufuhr zum Heizkörper (HK). Sinkt die Raumlufthtemperatur, verläuft der Vorgang umgekehrt. Das Öffnen und Schließen des Ventils geschieht kurzfristig und nur solange, bis die „eingestellte Temperatur“ (Ventilspiel: z.B. Stufen 1 bis 5) erreicht ist.



Thermostatkopf mit HK-Ventil (Heimeier)

- Sobald gelüftet wird, sollte der Kopf vollständig zugedreht werden (auf Null oder Stern), weil sich durch den Austausch der warmen Raum- gegen kalte Außenluft das Ventil schnell öffnet und der Heizkörper (unter dem Fenster angebracht) „das Geld direkt zum Fenster hinausheizt“.

- Wird die Regelung (Heizkurve, Tag- und Absenktemperatur, Absenkezeiten) richtig eingestellt, ist es nicht nötig, den Thermostatkopf z.B. nachts herunterzudrehen. Im Gegenteil, das Aufheizen am Morgen wird dann sogar behindert.
- Um die Temperatur im Raum gut regeln zu können, muss der Thermostatkopf frei

zugänglich sein, d.h. er soll nicht von Verkleidungen, Möbeln oder durch Vorhänge verdeckt sein.

Sonst gibt es, noch bevor der Raum wirklich erwärmt ist, einen Hitzestau und das Ventil schließt zu früh. Ist dies nicht zu verhindern, sollten unbedingt Ventile mit Fernfühler installiert werden.

12.3 Heizflächen

Wie bei der Dimensionierung des Wärmeerzeugers, richtet sich natürlich auch hier die jeweils erforderliche Größe einer Heizfläche nach dem Dämmstandard des Gebäudes. Je besser dieser ist, umso kleiner können die Heizflächen ausfallen, desto geringer sind die Investitionskosten. Dafür ist aber vorher eine Heizlastberechnung für jeden Raum unumgänglich.

! Die Heizflächen sind das letzte Glied jedes Heizungssystems – aber besonders wichtig für die Behaglichkeit der Bewohner!

12.3.1 Heizlastberechnung (Raum)

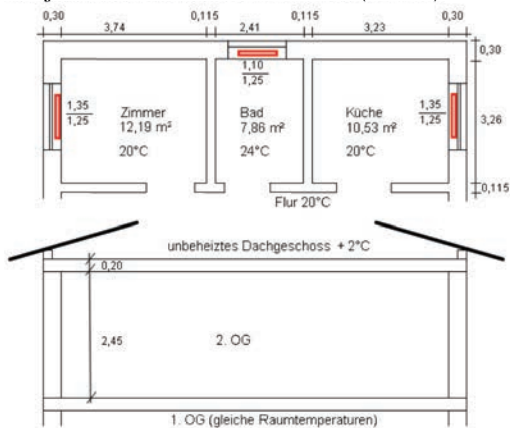
Schätzen der Raum-Heizlast für die Heizflächenauslegung? Über den spezifischen Wert der Gebäude-Heizlast? Also z.B. für ein Mehrfamilienhaus (MFH) in Heilbronn die Gebäude-Heizlast auf 27 kW (27.076 W) berechnen, durch dessen 420 m² Wohnfläche teilen und nun den spezifischen Wert von 64 W/m² für jeden Raum ansetzen? Ein großer Fehler!

Denn jeder Raum ist anders zu betrachten (verschiedene Innentemperaturen, Raumgeometrien, Luftwechsel und wärmeübertragende Umschließungsflächen). Die Nutzung des (nach DIN EN 12831 berechneten → S. 178) Durchschnittswertes führt in 99 % aller Fälle zu einem völlig falschen Ergebnis.

Beispiel

Für drei Räume im Obergeschoss (2. OG) des MFH, Bj. 1964, wurden die Raum-Heizlasten berechnet – für den IST-Zustand 2001 (mit gedämmter OG-Decke + neuen Fenstern mit 2-fach-Wärmeschutzverglasung) und für

den Zustand nach einer weiteren Sanierung im Jahr 2015 mit einem WDVS (16 cm).



MFH in Heilbronn: Grundriss 2. OG und Schnitt

Neben einer Norm-Außentemperatur von -12°C wurden die verschiedenen Innentemperaturen ebenso berücksichtigt wie unterschiedliche Luftwechselraten (0,5 und 1,0 h⁻¹) für Zimmer, Bad und Küche.

Die Berechnung der Raum-Heizlasten auf Grundlage der DIN EN 12831 zeigt, dass der Ansatz eines spezifischen Wertes aus der Gebäude-Heizlast-Berechnung (hier 64 W/m²) oder aus einer Schätzung nirgends passt.

Raum	IST-Zustand		2015 WDVS	
	W	W/m ²	W	W/m ²
Zimmer	1.039	85	384	32
Bad	809	103	600	76
Küche	1.090	104	473	45

In allen sechs Fällen ergeben sich große Über- oder Unterdimensionierungen. Gerade aber die Kenntnis der tatsächlichen Raum-

Heizlasten ist (neben der Leistung der hier vorhandenen Heizkörper mit 2×1.725 und 1×1.350 Watt) eine unabdingbare Voraussetzung für die fachgerechte Durchführung des hydraulischen Abgleichs – und die Planung von Heizflächen bei Neubauten.

12.3.2 Niedertemperatursystem

Neben der üblichen Auslegung der Wärmeverteilung (z.B. 75°C Vorlauf- und 55°C Rücklauf-temperatur) bei z.B. $-9,8^\circ\text{C}$ Norm-Außen-temperatur, reichen in gut gedämmten Gebäuden auch niedrigere (und energiesparende) Temperaturen zur Raumerwärmung aus. Ob Neubau oder nach energetischer Sanierung; bei Heizkörpern kann das System auf $70/50^\circ\text{C}$, $55/40^\circ\text{C}$ oder nur $45/35^\circ\text{C}$ (Vor-/Rücklauf-temperatur) ausgelegt werden – mit einer Temperaturspreizung von 20, 15 oder nur 10 K. Bei Flächenheizungen wie der Fußboden- oder Wandheizung sind $35/28^\circ\text{C}$ mit 7 K Spreizung Planungsstandard.

Dies wird dann als Niedertemperatursystem bezeichnet; ideal für Brennwertkessel und Wärmepumpen, die niedrige Rücklauf- bzw. Vorlauf-temperaturen benötigen.

Zweck der Heizflächen ist es, Raumtemperaturen zu schaffen, die unseren Körper weder frieren noch schwitzen lassen. An jedes moderne Heizungssystem werden damit diese Anforderungen gestellt:

- Je nach der Raumnutzung sollen unterschiedliche Temperaturen möglich sein.
- Die Temperaturverteilung im Raum soll gleichmäßig sein.
- Die Heizflächen sollen eine große Oberfläche haben, um möglichst viel Strahlungswärme abgeben zu können.

Stichwort Strahlungswärme

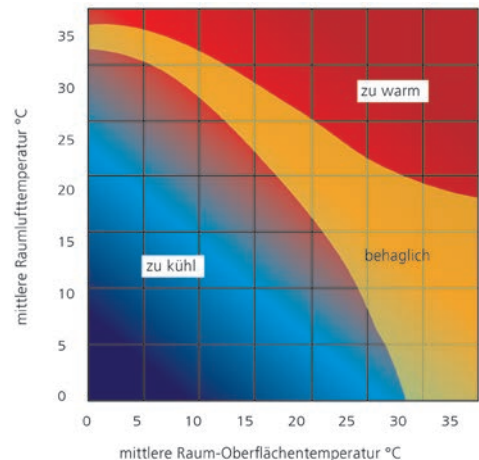
Wohnräume werden prinzipiell auf zwei Arten erwärmt.

1. Durch Konvektion: Warme Luft steigt (über einer Heizfläche) senkrecht an die Decke auf, hat dort (wo sie am wenigsten gebraucht wird) die höchste Temperatur, kühlt langsam ab und strömt vom Boden her wieder der warmen Heizfläche zu.

2. Durch Strahlung: Zwischen Körpern mit unterschiedlichen Oberflächentemperaturen

findet eine permanente Wärmeübertragung statt. In der Praxis begegnet uns die Strahlungswärme als Sonnenstrahlung. Trifft sie auf den Körper, so wird er erwärmt. Ähnlich empfinden wir z.B. die Wärmeabgabe des Kachelofens. Strahlung ist sehr behaglich.

Eine hinsichtlich der Behaglichkeit sehr vorteilhafte Raumerwärmung ist dann gegeben, wenn alle den Raum umschließenden Flächen auf gleicher Temperatur von über 18°C gehalten werden. Mediziner fordern dazu maximale Temperaturunterschiede von 2 bis 3°C zwischen der Raumlufttemperatur und der Temperatur der einzelnen Raum-Oberflächen.



Neben einer sehr guten Wärmedämmung der Bauteile, welche „automatisch“ für hohe Oberflächentemperaturen sorgen (→ S. 11), spielen die Heizflächen hier eine wichtige Rolle. Sie lassen sich in zwei Gruppen unterteilen: In Kompaktheizflächen (Heizkörper) und in Flächenheizungen.

12.3.3 Kompaktheizflächen (Heizkörper)

Zu dieser Gruppe gehören die sog. Heizkörper wie u.a. Gliederheizkörper (z.B. Radiatoren), Konvektoren oder die seit Jahren meist eingesetzten Plattenheizkörper (Paneele).

Es handelt sich um kompakte und relativ kleine Heizflächen. Die Raumluft erwärmung geschieht deshalb zu 43 bis 82 % über Konvektion, also vor allem über Luftumwälzung vom Heizkörper nach oben in den Raum.

Heizkörper(HK)typ	Strahlungsanteil in %
Stahlglieder-HK	38
Gussglieder-HK	36
Schmalsäuler-HK	37
Radiator (3-säulig)	27
Platten-HK *	
1/0	57
1/1	36
2/0	33
2/1	28
2/2	23
3/3	18

- * 1. Ziffer = Anzahl der Platten
2. Ziffer = Anzahl der Konvektionsbleche

Bezüglich hohen Strahlungswärmeanteils ist nur ein Platten-Heizkörper mit einer Platte ohne Konvektionsblech (Typ 1/0 bzw. 10) vorteilhaft. Dessen Leistung reicht beim ungedämmten Altbau aber nicht aus. Deshalb sind dort mehrlagige Platten- oder mehrsäulige Gliederheizkörper (meist in tiefen Heizkörpernischen) installiert.

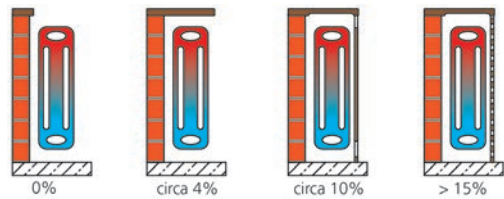
Bei gut gedämmten Alt- und Neubauten ist die Planung mit einlagigen Platten problemlos möglich – und der „Raumverlust“ durch weit in den Raum ragende Heizkörper wird vermieden (Foto Kermi).



Die Heizkörper werden i.d.R. an den Außenwänden unter den Fenstern installiert, um zur Steigerung unserer Behaglichkeit die Oberflächentemperatur der vergleichsweise kalten Glasscheiben zu erhöhen.

Sie sollten dabei weder

- in Außenwand-Nischen installiert noch
 - „eingebaut“ oder verkleidet werden.
- Eingebaute Heizkörper verlieren je nach Einbausituation vier bis mehr als 15 % ihrer Leistungsfähigkeit und auch Thermostatventile arbeiten dann, wie beschrieben, nur mit einem Fernfühler einwandfrei.



Nicht nutzbare Wärme „eingebauter“ Heizkörper

Vorteile

- kostengünstig
- einfache Montage, Wartung, Austausch
- sehr gute und flinke Regelbarkeit

Nachteile

- hoher Konvektionsanteil
- Platzbedarf im Raum; schlecht zu reinigen
- Staubaufwirbelung und -verschmelzung.

Werden Heizkörper heißer als 55°C, tritt eine unangenehme Staubverschmelzung auf; und Bewohner haben oft das Gefühl von zu trockener Luft. Daher sollte auch bei Einsatz von Heizkörpern ein Niedertemperatursystem mit niedrigen Heizwassertemperaturen geplant werden: Nach DIN beziehen sich die Leistungsangaben von HK auf 90/70°C (also eine mittlere Heizkreistemperatur von 80°C) und eine Raumtemperatur von 20°C. Bei geringeren Heizwassertemperaturen sind die Heizkörperflächen entsprechend zu vergrößern.

Mittlere Heizwassertemp.	Leistung eines auf 90/70°C ausgelegten Heizkörpers	Vergrößerung der Heizfläche bei gleicher Heizleistung
40°C	24 %	4,0 fach
50°C	40 %	2,5 fach
60°C	59 %	1,7 fach
70°C	79 %	1,3 fach
80°C	100 %	1,0 fach

Was auf den ersten Blick als viel zu groß erscheint, relativiert sich schnell, wenn man die zu deckende Heizlast eines Raums in einem gut gedämmten Gebäude betrachtet. Sie liegt bei einem 30 m² großen Wohnzimmer z.B. bei gerade noch 1.200 W (ein ähnlicher Raum im ungedämmten Altbau benötigt dagegen 3.000 W und mehr).

Diese geringe Leistung lässt sich dann bei 45/35°C Systemtemperatur mit je 600 W, auf

zwei schöne Design-Heizkörper verteilt, problemlos unterbringen (Fotos Arbonia).



Die Raumerwärmung durch Heizkörper funktioniert also auch bei einem Niedertemperatursystem bei garantiertem Brennwertnutzen. Die großen Vorteile: Sie sind preiswerter als die Fußbodenheizung und Thermostatventile reagieren bei „Fremdwärme“ (z.B. einfallende Sonne an kühlen Wintertagen oder Verwandtenbesuch) sofort.

Im Übrigen ist es sinnvoll, die Rohrleitungen zu den Heizkörpern auf kürzestem Wege über den Boden zu verlegen (z.B. Rohr-in-Rohr-Kunststoffleitung) statt wie früher die Leitungen in den Außenwänden zu montieren. Derartige sinnlose Verteilungsverluste lassen sich nur durch die Dämmung der Außenwand verringern.

12.3.4 Flächenheizungen

Dazu gehören Decken-, Wand- und Fußbodenheizungen. Wie der Name bereits sagt, geht es hier um große Heizflächen. Die Erwärmung der Raumluft vollzieht sich deshalb zu mehr als 80 % über Strahlung.

Flächenheizungen benötigen im Mittel geringe Heizwassertemperaturen und sind deshalb die idealen Niedertemperatursysteme. Deckenheizungen werden im Wohnbereich allerdings kaum eingesetzt, umso mehr im Bereich großer Nutzgebäude (Büros, Schulen), wo sie u.a. in Betondecken als reaktionsschnelle Bauteiltemperiersysteme heizen (und sogar kühlen). Wandheizungen sind selten installiert, Fußbodenheizungen

haben dagegen im Neubau etwa seit Mitte der 1980er Jahre im Wohnbereich die Heizkörper mehr und mehr verdrängt.

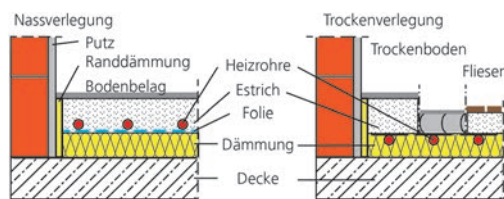
Fußbodenheizung

Hier werden Heizrohre im Fußboden verlegt (Systemlösungen). Die Heizmittelltemperatur beträgt je nach dem System der Auslegung 30 bis 35°C, in den Übergangszeiten Frühjahr und Herbst etwa 25 bis 30°C, falls sie hydraulisch abgeglichen mit Regeleinrichtungen (z.B. Einzelraumregler) ausgestattet sind. Sie verfügt über einen gewissen Selbstregeleffekt: Je höher die Raumtemperatur ist, desto weniger Wärme gibt sie wegen der geringeren Temperaturdifferenz ab.

Die Wärme wird nach oben an den Raum überwiegend durch Strahlung abgegeben. Die Temperaturschichtung im Raum ist sehr gleichmäßig. Zwar reicht die Kaltluftzone im Fensterbereich weiter in den Raum als bei Heizkörpern (dies ist aber i.d.R. nicht der bevorzugte Aufenthaltsort), dafür befindet sich die Zone mit der höchsten Temperatur an der gegenüberliegenden Wand und im Fußbodenbereich.

Das wird physiologisch günstig bewertet nach dem Prinzip der optimalen Behaglichkeit „Warme Füße und kühler Kopf“.

Nass- und Trockenverlegung (Neubau)



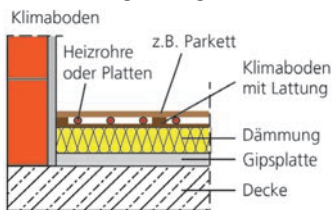
Die Heizrohre werden dazu schlangenförmig direkt im Estrich (40 - 70 mm) verlegt, der „nass“ auf der Wärmedämmschicht aufgebracht wird. Sie wird durch eine Dampfsperre (Folie) vor Feuchtigkeit geschützt.

Bei der Trockenverlegung werden die Heizrohre auf vorgefertigten Wärmedämmplatten verlegt. Zur besseren Wärmeabgabe an die Fußbodenoberfläche können Leitbleche auf den Rohren aufgeklemmt werden. Da die Heizrohre „trocken“ verlegt und ein-

gebaut werden, spricht man von Trockenverlegung. Darüber wird ein Trockenboden installiert; es kann auch ein „nasser“ Estrich aufgebracht werden.

Prinzip des Klimabodens (Altbau)

Dieser völlig trockene Aufbau hat eine geringe Höhe von ca. 50 mm und ist daher besonders für die Altbausanierung geeignet. Statt Heizrohren werden auch Kunststoffplatten von nur ca. 5 mm Dicke mit einer Vielzahl von Wasserwegen direkt unter dem Bodenbelag verlegt.



Zu den Heizrohren selbst: Im Gegensatz zu früher (z.B. Kupfer) werden heute hauptsächlich Kunststoffrohre eingesetzt. Bei ihrer Verwendung ist es in der Vergangenheit unter ungünstigen Bedingungen zur Sauerstoffkorrosion an Eisenwerkstoffen in der übrigen Anlage gekommen. Daher sind einerseits nur korrosionsbeständige Werkstoffe wie Kupfer, Rotguss oder Kunststoffe für das übrige Wärmeverteilsystem zu verwenden und andererseits sauerstoffdichte Kunststoffrohre als Heizrohre zu nutzen – sonst müssen evtl. Rostschutzmittel zugesetzt werden.

Vorteile

- sehr gutes Niedertemperatursystem
- hoher Strahlungsanteil
- keine störenden Heizflächen im Raum

Nachteile

- kostenintensiv
- kein einfacher Ersatz möglich
- träges Regelverhalten (außer beim Klimaboden).

Wichtig ist die vollflächige Verlegung (Abstand der Rohre 10, 15 oder max. 20 cm) auch z.B. unter (Küchen)Möbeln, damit keine Kaltzonen entstehen. Bei Einhaltung des Wärmeleitwiderstands $< 0,15 \text{ (m}^2/\text{W)}$ und der Freigabe durch den Hersteller können im Prinzip sämtliche Bodenbeläge (Teppich, Parkett, Laminat, Fliesen) eingesetzt werden.

Exkurs Flinke Heizungsregelung

Die gesamte Heizungsanlage muss auf den sich rasch ändernden Wärmebedarf schnell reagieren können: Durch einfallende Sonnenstrahlung oder höhere Raumbelastung (mehr Personen) geht der Wärmebedarf oft stark zurück, manchmal sogar bis auf Null. Dann muss die Heizungsanlage in der Lage sein, ihre Wärmeabgabe sofort zu drosseln. Sonst kommt es zur Überhitzung der Räume und zusätzlich zu unnötigem Energiemehrverbrauch.

Dies setzt eine Heiztechnik auf dem Stand der Technik voraus: Vor allem richtig eingestellte, frei zugängliche Thermostatventile an Heizkörpern (und Einzelraumreglern bei Flächenheizung) sowie eine zentrale witterungsgeführte Regelung der Anlage selbst, die automatisch vollständig außer Betrieb gehen muss, sobald es keinen Wärmebedarf mehr gibt.

Für die wirklich flinke Anpassung an den jeweiligen Wärmebedarf spielt die Art der Heizfläche eine wichtige Rolle. Die Praxis zeigt, dass (nassverlegte) Fußbodenheizungen wegen ihrer großen Masse sehr träge und deshalb ungeeignet für eine schnelle Wärmebedarfsregelung im Raum sind; der erwähnte Selbstregeleffekt wirkt zu langsam.

Empfehlung: Vermeiden Sie Fußbodenheizungen. Wegen ihrer Trägheit eignen sie sich nicht für eine schnelle Reaktion auf Wärmegewinne durch Sonneneinstrahlung. Und sie sind teuer. Besser sollten preisgünstigere (möglichst flache) Plattenheizkörper Typ 10 mit Thermostatventil installiert werden. Wünschenswert ist eine Fußbodenheizung im Bad. Diese ist z.B. durch eine „Bodenschlange“ aus dem Rücklauf des obligatorischen Handtuchhalter-Heizkörpers realisierbar.

Wandheizung



Fußbodenheizungen sind auch „senkrecht“ installierbar: Die Heizrohre werden an den Wänden verlegt, eingeputzt und als Wandheizung bezeichnet.

Es werden überwiegend Wandheizregister aus Kunststoffrohren (als Einzelkomponenten oder vorgefertigt) angeboten. Vorteilhaft sind Kapillarrohrmatten oder besonders dünne Rohre (6 bis 8 mm): Die Putzstärke beträgt nur ca. 15 bis 20 mm. Die Überdeckung der Rohre sollte mindestens 5, höchstens 10 mm betragen. In das obere Drittel des Putzes wird meist ein Glasseidengewebe eingearbeitet.

Der dünne Putz garantiert eine flinke Regelung und spart Kosten für den Putz dort, wo keine Wandheizung verlegt wird.

Die Wandheizung ist die perfekte Strahlungsheizung. Dem Menschen wird nicht, wie sonst, Wärme von der zu kalten Wand entzogen, sondern sie „strahlt ihn an“. Im Bereich der Wandheizung liegen die Oberflächentemperaturen mit knapp 30°C deutlich über der übrigen Wand mit unter 20°C.

In der Praxis ist sie trotzdem nur selten einsetzbar. Da bei sehr niedrigen Systemtemperaturen vergleichsweise wenig Wand- und damit Heizfläche zur Verfügung steht, können nur geringe Heizlasten gedeckt werden. Soll ein Raum nur mit einer Wandheizung erwärmt werden, rechnet man mit ca. 50 bis 60 % der Raumfläche als erforderliche Fläche für die Wandheizung; d.h. für einen 30 m² großen Raum benötigt man 15 bis 18 m² Wandheizungsfläche. Und diese müssen frei und unverstellt bleiben.

Diesem Problem kann nur durch eine sehr gute Wärmedämmung und in der Folge kleinere Wandflächenbelegung ebenso begegnet werden wie durch die frühzeitige Planung der Inneneinrichtung.

Vorteile

- optimales Niedertemperatursystem
- sehr hoher Strahlungsanteil
- höchste Behaglichkeit
- flinke Regelbarkeit (mit Dämmplatte)

Nachteile

- kostenintensiv
- nur kleine Heizleistungen
- kein einfacher Ersatz
- wenig Wandflächen sind nutzbar.

Ist kein WDVS für die Außenwand geplant (über die Wand soll ja nun nicht die Außenluft sondern der Raum beheizt werden), sind

Wandheizregister mit Wärmedämmplatte zu empfehlen – zur Verminderung der Wärmeverluste nach außen und für ein flinkes Regelverhalten der Heizung.

Empfohlen wird die Wandheizung

- für gut gedämmte Gebäude mit einem Heizwärmebedarf kleiner 30 kWh/(m²a)
- für denkmalgeschützte Gebäude oder für Fachwerkhäuser
- zur Trocknung feuchter Außenwände.

Wand- und Fußbodenheizungen werden auch gerne mit dem Argument verkauft, dass man im Sommer die Räume kühlen kann, wenn sie dann mit Kaltwasser durchströmt werden. Das ist nur selten zu empfehlen. Die Gefahr einer Taupunktunterschreitung und Schimmelbildung (bei im Sommer allgemein höheren Luftfeuchten) ist groß. Hier bedarf es, falls erforderlich, einer genauen Planung!

Zusammenfassung

Sparen Sie nicht an der falschen Stelle! Legen Sie Wert auf ein echtes Niedertemperatursystem, das gut geplant ist. Neben der Kesselanlage gilt das für das Rohrnetz mit Umwälzpumpe, für die Regelung sowie die richtige Auswahl aller Heizflächen, denn das

- spart Investitionskosten
- verringert den Energieverbrauch bei Wärme und Strom nachhaltig
- spart dauerhaft Energiekosten und
- garantiert störungsfreie Behaglichkeit.

Ein optimales Ergebnis erzielen Sie, falls Sie bereit sind, ein wenig Geld in eine fachkundige Planung zu investieren.

Voraussetzung für jedes gute Niedertemperatursystem ist eine gute Gebäudewärmedämmung – denn je kleiner die Heizlast, desto „kleiner“ kann die Technik dimensioniert werden, umso eher sind die für uns behaglichen Strahlungsheizflächen (auch als Designheizkörper) unterzubringen.

Und – jedes echte Niedertemperatursystem mit niedrigen Vor- und Rücklauftemperaturen ist vor allem im Frühjahr und Herbst gut zur Nutzung erneuerbarer Energien geeignet, z.B. für die kostenlose Wärme aus Solar Kollektor-Anlagen.

12.4 Hydraulischer Abgleich

Der hydraulische Abgleich ist nicht nur ein wichtiges Element der Heizungstechnik, er spielt auch bei den KfW- und BAFA-Förderungen von energieeffizienten Neu- und Altbauten eine Rolle. Der Abgleich ist Pflicht, und seit dem Jahr 2017 auch die richtige Dokumentation über das VdZ-Formular.

Der hydraulische Abgleich beschreibt ein Verfahren, mit dem in einer Heizungsanlage jede Heizfläche exakt mit der Wärmemenge versorgt wird, die nötig ist, um die für die einzelnen Räume gewünschte Raumtemperatur bei unterschiedlichen Außentemperaturen sicherzustellen. Der Ingenieur Bernd Scheithauer hat es kurz so beschrieben: „Die richtige Wassermenge zur richtigen Zeit am richtigen Ort.“ Hydraulisch abgeglichen (es geht um die Einregulierung von Volumenströmen), werden u.a. Lüftungs-, Warmwasserzirkulations- und Heizungsanlagen.

Vorschrift beim Neubau

Gemäß GEG und DIN 4701 „Energetische Bewertung heiz- und raumlufttechnischer Anlagen – Teil 10: Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung“ ist für alle neuen Heizungsanlagen der hydraulische Abgleich vorgeschrieben! Bei der Berechnung hilft u.a. die VDI-Richtlinie 2073 Blatt 2.

Auf Grundlage der DIN EN 12831 ist deshalb für jeden Neubau eine fachgerechte Planung mit Heizlast-, Rohrnetz- und Heizflächenberechnung durchzuführen: Neben der Kesselgröße werden auch die Heizflächenengrößen über die einzelnen Raumheizlasten ermittelt, woraus sich die für den Abgleich notwendigen Volumenströme ergeben. Diese werden dann z.B. bei 2-Rohr-Anlagen (Heizkörper) an den eingebauten voreinstellbaren Thermostatventilen oder bei der Fußbodenheizung am Verteiler der Heizregister eingestellt.

Neben dem Planer ist auch der Handwerker nach VOB Teil C (Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen) bzw. DIN 18380 verpflichtet, die Heizungsanlage hydraulisch

abzugleichen. Die für den Abgleich notwendigen Berechnungen sind dem Handwerker vom Planer zur Verfügung zu stellen – oder der Handwerker muss die erforderlichen Berechnungen selbst machen.



Der Heizungsinstallateur muss auf seiner Schlussrechnung immer bestätigen, dass er den hydraulischen Abgleich durchgeführt hat.

Wird ein Neubau z.B. als gefördertes KfW Effizienzhaus 55 errichtet, ist der hydraulische Abgleich nach dem VdZ-Verfahren B durchzuführen und nachzuweisen. Zu berechnen und einzustellen sind dann: Raumheizlasten, Vor- und Rücklauftemperatur je Heizkreis, Volumenströme, Einstellwerte der Thermostatventile, Pumpengröße und zum Abschluss die Heizkurve.

Bestätigung des Hydraulischen Abgleichs für die KfW-/BAFA-Förderung (Einzelmaßnahme) - Formular Einzelmaßnahme -

Das vorliegende Verfahren zum Nachweis des Hydraulischen Abgleichs durch Fachbetriebe wurde mit KfW und BAFA abgestimmt. Diese Bestätigung – ausgefüllt durch den Fachbetrieb – bitte dem Kunden aushändigen. Sie ist im KfW-Förderprogramm Energieeffizient Sanieren – Zuschuss (430) und Kredit (152) mindestens 10 Jahre durch den Kunden aufzubewahren und nur auf Aufforderung der KfW zuzusenden.



KfW/BAFA-Antrag vom _____
KfW-Geschäftspartnernummer – falls bekannt _____

Name / Antragsteller _____
PLZ / Ort / Straße _____
Objektschrift _____

Zutreffendes ankreuzen und Werte eintragen:

Hydraulischer Abgleich durchgeführt ☐ nach Verfahren A ☐ nach Verfahren B ☐
Informationen zu den Verfahren siehe nächste Seite

Ausdehnungsgefäß geprüft ☐ Fülldruck: _____ bar

Berechnung/Einstellung

Einstellung	Heizkreis 1	Heizkreis 2	Heizkreis 3
	<input type="checkbox"/> Zweirohrheizung	<input type="checkbox"/> Zweirohrheizung	<input type="checkbox"/> Zweirohrheizung
	<input type="checkbox"/> Fußbodenheizung	<input type="checkbox"/> Fußbodenheizung	<input type="checkbox"/> Fußbodenheizung
	<input type="checkbox"/> Einrohrheizung	<input type="checkbox"/> Einrohrheizung	<input type="checkbox"/> Einrohrheizung
Auslegungsvorlauftemperatur	_____ °C	_____ °C	_____ °C
Heizkreisrücklauftemperatur	_____ °C	_____ °C	_____ °C
Ermittelter Gesamtdurchfluss	_____ l/h	_____ l/h	_____ l/h
Ermittelte Pumpenförderrate (bei Gesamtdurchfluss)®	_____ m	_____ m	_____ m

Ausschnitt VdZ-Formular Hydraulischer Abgleich

Vorschrift beim Altbau

Im Bestandsgebäude ist der hydraulische Abgleich heute zwingend erforderlich, sobald die Heizungsanlage erneuert wird und dafür Fördermittel des BAFA (z.B. für die Einzelmaßnahme Pelletkessel – Verfahren A) oder der KfW (z.B. Einzelmaßnahme Heizungspaket im Programm 430 – Verfahren B) in Anspruch genommen werden.

Gegenüber Verfahren B ist das Verfahren A ein vereinfachtes Verfahren ohne exakte Raum-Heizlastberechnung. In beiden Fällen ist Ihnen das ausgefüllte VdZ-Formular unterschrieben und inkl. ausführlicher Dokumentation zu überreichen; diese Unterlagen müssen Sie zehn Jahre aufbewahren.

Empfehlung beim Altbau

Auch in jeder bestehenden Heizungsanlage ist ein hydraulischer Abgleich dringend zu empfehlen. Ist das Heizungssystem nicht abgeglichen, können die negativ wirkenden Beeinträchtigungen auf Funktion, Komfort und Energiekosten vielfältig sein:

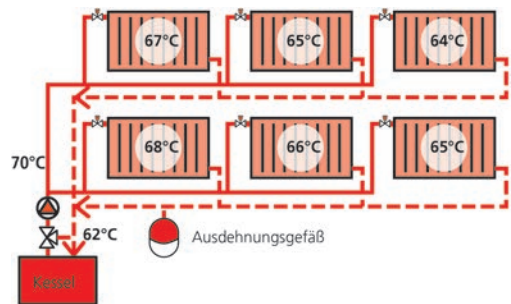
- Heizflächen werden nicht warm, da andere Anlagenteile übertversorgt sind („hydraulischer Kurzschluss“).
- Nach dem Prinzip des geringsten Widerstands fließt das Heizungswasser auf dem kürzesten Weg zurück zum Kessel. Dieser Weg führt i.d.R. durch die der Umwälzpumpe nächstgelegenen Heizflächen. Dadurch werden entfernt und hydraulisch ungünstig gelegene Heizflächen oft ungenügend mit Heizwasser durchströmt, mit der Konsequenz: Überheizte Räume nahe am Kessel bzw. der Pumpe und zu kühle Räume am Ende des Heizkreises.
- Heizkörperventile machen Geräusche, da der Differenzdruck im Ventil zu groß ist.
- Heizkörperventile öffnen und schließen wegen zu hoher Differenzdrücke nicht zur gewünschten Raumtemperatur.
- Die Heizungsanlage wird mit zu hohen Temperaturen betrieben, um so die Unterversorgung auszugleichen.
- Es sind viel zu große Pumpen installiert (hohe Anschaffung- und Betriebskosten).
- Die Vor- und Rücklauftemperaturen sind zu hoch. Gerade bei Einsatz z.B. von Wärmepumpen oder Brennwertkesseln verschlechtert sich ihr Nutzungsgrad teilweise erheblich.

Anzeichen für den fehlenden Abgleich

Es gibt einige Auffälligkeiten, an denen Sie leicht selbst feststellen können, ob die Hydraulik funktioniert oder nicht.

Sie funktioniert sicher nicht, wenn

1. es bei Heizkörpern zwischen der Vor- und Rücklauftemperatur (z.B. an den Thermometern im Heizraum abzulesen) statt den geplanten 20 K Temperaturdifferenz kaum einen Unterschied gibt (< 10 K), die Pumpe aber trotzdem läuft und
2. die Heizkörper von oben bis unten mehr oder weniger gleichmäßig warm sind,



Heizungsanlage ohne hydraulischen Abgleich

3. die Pumpe auf höchster Stufe läuft,
4. der Kesselthermostat auf $> 75^\circ\text{C}$ steht,
5. eine Heizkurve > 1.4 eingestellt ist.

Dies sind alles (energieverschwendende) Folgen, wenn „Fachleute“ bei dem Problem „die Heizflächen oder ganze Heizkreise werden nicht richtig warm!“ als Ursache für diese mangelhafte Wärmeverteilung oft zu kleine bzw. zu niedrig eingestellte Pumpen, zu geringe Vorlauftemperaturen oder gar einen zu kleinen Kessel feststellen. Schnell werden dann die „Lösungsvorschläge“ höhere Pumpenleistung oder Vorlauftemperatur umgesetzt, mit den oben beschriebenen Folgen.

Solche Zustände sind (nicht nur) in Bestandsanlagen leider die Alltagserfahrung und deshalb so bald als möglich abzustellen. Denken Sie daran – für den Installateur gilt die Maxime „Hauptsache warm!“.

Was spart und kostet der Abgleich?

Zuallererst gewährleistet der Abgleich die einwandfreie Funktion jeder Heizungsanlage. Denn dadurch werden gleichmäßige Aufheizzeiten und ein gutes Regelverhalten der Thermostatventile erreicht. Heizkörper werden gleichmäßig warm, Ventile machen keine Geräusche mehr und die geplanten Vor- und Rücklauftemperaturen werden erreicht.

Eine Energieverschwendung wegen falschen Nutzerverhaltens wird durch die Begrenzung der verfügbaren Wärmemenge minimiert – bei einem nicht einstellbaren oder voreingestellten Heizkörperventil werden bis zu 280 l Heizungswasser pro Stunde durch den Heizkörper gepumpt, bei einem einstellbaren richtig eingestellten Ventil je nach Situation nur zwischen 15 und 100 l pro Stunde.

Deshalb bringt der hydraulische Abgleich eine beachtliche Stromeinsparung: Es werden, durch um den Faktor 10 kleinere Pumpen, bis zu 90 % Strom eingespart.

Und gemäß empirischen Studien werden zwischen ein und 10 % Heizenergie gespart, vor allem durch die dann erst funktionierende Brennwerttechnik. Das Internetportal co2-online gibt eine jährliche Einsparung von im Schnitt 110 € Heizkosten in einem Einfamilienhaus mit 125 m² Wohnfläche an.

Bei den Kosten kommt es – wie immer – auf den Einzelfall und damit auf den Berechnungs- und Investitionsaufwand an. Bei der Kesselerneuerung in einem Einfamilienhaus mit 12 Heizkörpern liegen die Kosten für die Raumheizlastberechnung, die Berechnung der Volumenströme und den Einbau von neuen Thermostatventilen bei 1.000 €.

Durchführung des hydraulische Abgleichs

Es muss dafür gesorgt werden, dass für alle Heizflächen die gleichen Widerstände erzeugt und diese gleichmäßig durchflossen werden, ganz egal wie groß und wo die Heizfläche im Gebäude untergebracht ist. Dies geschieht mithilfe der beiden Regelorgane

- voreinstellbares Thermostatventil
- Hocheffizienzpumpe
- sowie alternativ oder zusätzlich
- automatischer Strangregler als Differenzdruck- oder Durchflussregler.

Prinzipielle Vorgehensweise

Am Anfang steht immer die Heizlastberechnung! Und hier liegt der Teufel im Detail. Bei der Heizlastberechnung im Gebäudebestand tun sich Planer wie Installateure oft schwer, wenn es z.B. um die Bestimmung der U-Werte geht. Sind die Heizlasten berechnet, müssen diese ins Verhältnis zu den

Heizleistungen der vorhandenen Heizkörper (Aufnahme vor Ort) gesetzt werden, um vorhandene Überdimensionierungen (Unterdimensionierungen gibt es selten) für die spätere Einstellung der passenden Vorlauftemperatur über die Heizkurve zu berücksichtigen. Denn bei der anschließenden Berechnung der Ventilgrößen und -einstellungen, wie auch bei der Festlegung der Heizkreistemperaturen ist stets der ungünstigste HK (kleinste Überdimensionierung) maßgebend.

Das MFH-Zahlenbeispiel von S. 209 zeigt, dass durch das WDVS die Heizlasten (HL) nun sehr gering und damit die Heizkörper viel zu groß sind. Während der Zimmer-HK über viermal zu groß ist, liegt die Überdimensionierung im Bad nur bei Faktor 2,2.

Raum	HK	HL	Faktor Überdimensionierung
	W	W	
Zimmer	1.725	384	4,5
Bad	1.350	600	2,2
Küche	1.725	473	3,6

Das ist aber kein Nachteil – im Gegenteil! Je größer die Überdimensionierung, umso niedriger kann die Vorlauftemperatur eingestellt werden. Die orientiert sich hier jedoch am Badheizkörper, der z.B. vergrößert oder so belassen und um einen Zusatzheizkörper ergänzt wird. Zum Schluss wird die Pumpenförderhöhe (der Druckverlust) berechnet und danach z.B. eine neue Hocheffizienzpumpe (zur Druckhaltung) installiert.

Selbst bei einem Einfamilienhaus lassen sich die Berechnungen nicht ‚zu Fuß‘ durchführen, weshalb man um den Einsatz einer Software nicht herumkommt.

Der Abgleich bringt nur Vorteile: Die Anlage wird mit dem optimalen Druck und der optimal niedrigen Volumenmenge betrieben. Daraus resultieren niedrige Investitionskosten für die Umwälzpumpe und niedrige Stromkosten während des Betriebs sowie Energiekosteneinsparungen wegen der hohen Brennwertnutzung durch dauerhaft niedrige Rücklauftemperaturen.

Membran-Ausdehnungsgefäß (MAG)

Zwar völlig untypisch, aber dennoch eigentlich der erste Schritt, ist die Prüfung des

MAG. Es handelt sich um die große rote Stahlkugel, die im Heizungskeller am Rücklauf eingebunden ist. Oft wurde sie zehn oder 20 Jahre lang nicht mehr gewartet. Dabei sorgt das MAG für die Druckhaltung im (geschlossenen) System. Das Heizungswasser dehnt sich bei Erwärmung aus und wird in das MAG gedrückt, bei Abkühlung drückt die Membran das Wasser zurück. Ist es nach jahrelangem Betrieb auch im abgekühlten Zustand voll Wasser (Klopftest), kann die Druckhaltung nicht einwandfrei funktionieren: Das System „taktet“. Deshalb muss das MAG entleert, der notwendige Anlagendruck ausgerechnet und das System bis zu diesem Druck wieder gefüllt werden.

Voreinstellbares Ventil

Bei jeder Heizfläche muss auf Grundlage der berechneten Raum-Heizlast (auf keinen Fall der vorhandenen Heizkörpergröße!) der berechnete Volumenstrom, also die Durchflussmenge eingestellt werden.

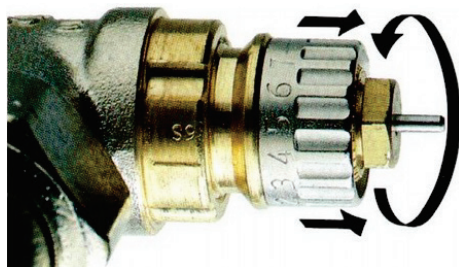


Dies geschieht beim Heizkörper über das Vorlaufventil. Der Heizkörper hat immer zwei Anschlüsse. I.d.R. oben den Vorlauf mit dem Thermostatkopf und unten den Rücklauf. Unter dem Kopf liegt das Vorlaufventil.

Sind – wie hier im folgenden Foto bei Altanlagen üblich – keine voreinstellbaren, sondern nur nicht einstellbare Vorlaufventile installiert, müssen diese durch sog. Retro-Sets (bestehend aus Nachrüst-Oberteil und Thermostatkopf), die auf alte Ventilunterteile ab etwa Baujahr 1980 passen, umgerüstet werden. Oder es werden neue voreinstellbare Ventile eingebaut – was die Regel ist.



Etwa seit dem Jahr 2000 werden voreinstellbare Ventile montiert. An ihnen kann man den notwendigen Volumenstrom über Stufen von 1 bis 7 (z.B. Danfoss) einstellen. Bis zum Einbau ist immer Werkeinstellung „N“ (= nicht eingestellt!) aktiv!



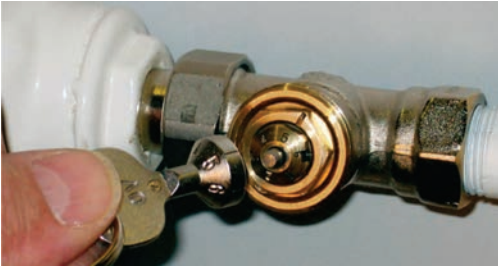
Voreinstellbares Ventil (Danfoss)

Nicht voreinstellbare, aber auch neue, auf N stehende voreinstellbare Ventile sind also „zu 100 %“ offen und lassen einen viel zu großen Volumenstrom von bis zu 280 l pro Stunde durch den Heizkörper.

Die Voreinstellung ist entsprechend der Heizlast des Raums und der Unterlagen des Ventilherstellers vorzunehmen. Dazu ist die bekannte Grundformel ($Q = m \times c \times \Delta T$) von S. 20 durch Umstellung nach m (bzw. in diesem Fall V) zu nutzen $V = Q : (c \times \Delta T)$, wobei für Q nun die Heizlast in kW statt die Wärmemenge in kWh eingesetzt wird.

Beispiel von S. 209 und 217

Die Heizlast des Zimmers ($12,19 \text{ m}^2$) beträgt im IST-Zustand 1.039 W. Installiert ist (Herstellerunterlagen) ein Heizkörper mit einer Leistung von 1.725 W. Der max. Volumenstrom liegt bei einer Temperaturdifferenz von 20 K (Vor- und Rücklauf) für diesen Heizkörper bei 45 Litern pro Stunde [$1.039 \text{ W} : (1,163 \text{ Wh/lK} \times 20 \text{ K}) = 45 \text{ l/h}$].

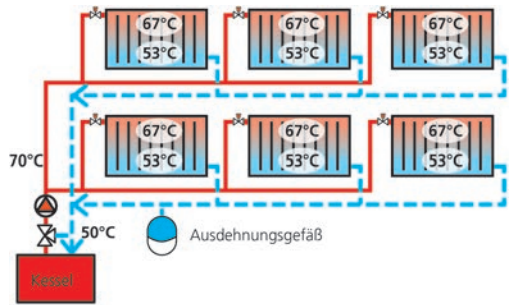


Bei Danfoss wäre dann ein Ventil für kleine Volumenströme (1-K-Ventil) zu wählen und auf Stufe 6 einzustellen.

Wird fälschlicherweise die völlig überdimensionierte Heizkörpergröße als Grundlage genommen (was viele Installateure machen), wäre der Volumenstrom mit 74 l/h um 64 % zu hoch eingestellt! Wird der Durchfluss gar nicht reduziert (N), fließen stattdessen – wie erwähnt – 280 l/h durch den Heizkörper.

Nach der Dämmung im Jahr 2015 hat sich die Raum-Heizlast auf 384 W verringert und damit das einzustellende Volumen auf nur noch 17 l/h mit der Einstellung des Feinststellventils (1-K-Ventil) auf Stufe 2.

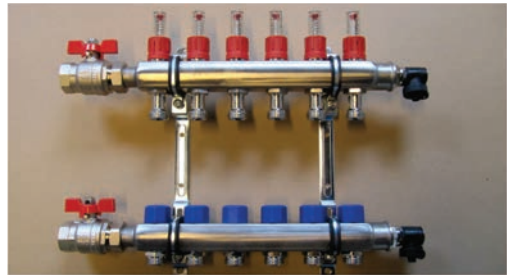
Sind nun an allen Heizflächen die jeweils notwendigen Volumenströme richtig eingestellt (bei 1-Rohr-Anlagen ist das nur über den Einbau von Strangreglern möglich), wird noch eine neue angepasste Hocheffizienzpumpe eingebaut, die den jeweils erforderlichen Differenzdruck hält. Das war er dann schon, der hydraulische Abgleich!



Heizungsanlage mit hydraulischem Abgleich

Der letzte Schritt besteht darin, an der Regelung die, zur berechneten Vorlauftemperatur, passende Heizkurve einzustellen (bei Norm-Außentemperatur).

Die gleichen Schritte sind selbstverständlich auch für alle Fußbodenheizkreise zu vollziehen. Hier sind im Verteiler, je nach Heizlast, an den Ventilen (hier im Foto oben) der Heizregister die erforderlichen (errechneten) Volumenströme einzustellen.



Fußbodenheizungs-Verteiler mit sechs Heizregistern

12.5 Umwälzpumpe

Den Transport des vom Heizkessel erwärmten Wassers zu den Heizflächen übernimmt die Umwälzpumpe. Meist ist sie „uralt“ und zu groß dimensioniert, d.h. ihre elektrische Anschlussleistung ist i.d.R. um den Faktor zehn zu hoch.

Die Leistung auf dem Gehäuse ist in Watt (W) mit P1 angegeben (P2 ist die deutlich geringere mechanische Pumpenleistung). Maßgebend für den Stromverbrauch ist P1. Vor allem die für Ein- und Zweifamilienhäuser typisch kleinen Pumpen kleiner 100 W sind



ungeregelt, haben aber eine meist dreistufige Einstellung der Leistung (z.B. 40/65/95 W). I.d.R. stehen sie auf der mittleren oder höchsten Stufe. Ihr Wirkungsgrad ist mit maximal 20 % gering.

Die Folge: Ein (zu) hoher Stromverbrauch! Bei einer Einstellung auf 65 W betragen die Pumpenstromkosten im günstigsten Fall gut 100 € pro Heizperiode.

Für die komfortable Versorgung von Heizflächen in EFH reichen aber tatsächlich um bis zu 90 % kleinere Leistungen aus.

Pumpenlaufzeit in der Heizzeit	früher 140-W- Pumpe [kWh]	heute im Bestand 65-W- Pumpe [kWh]	Stand der Technik 7-W- Pumpe [kWh]
durchgehend in Betrieb (ca. 6.500 Stunden/a)	920	425	46
nachts zeitweise abgeschaltet (ca. 5.300 Stunden/a)	740	345	37

Zielwert für die Nennleistung

Die (Nenn-)Leistungsaufnahme der Umwälzpumpe sollte nicht höher liegen als 0,10 % der berechneten Gebäude-Heizlast (nicht der Kesselleistung auf dem Typenschild!).

Für einen Neubau mit einer beheizten Fläche von z.B. 140 m² wäre die Heizlast 7 kW bzw. 7.000 W. Daraus folgt eine Pumpe mit einer Stromleistung von 7 Watt, bei guter Planung und hydraulischem Abgleich [14].

Energie-Effizienz-Index (EEI)

Die Ökodesign-Richtlinie (→ S. 176) stuft die Energieeffizienz von (Nassläufer-)Umwälzpumpen über den Energie-Effizienz-Index (EEI) ein: Die über ein Lastprofil ermittelte elektrische Pumpenleistung wird in Relation zu einer Referenzpumpe (durchschnittliche Pumpe mit gleicher hydraulischer Leistung) betrachtet. Als Grenzwert gilt bereits seit dem Jahr 2015 ein $EEI \leq 0,23$, mit dem jede Pumpe zu kennzeichnen ist (das bekannte Energielabel mit der Klasseneinteilung A, B, C usw. wurde hier abgelöst).

Hocheffizienzpumpe

Statt der bisherigen unregelmäßig und geregelten Pumpen mit Asynchronmotor ist der Stand der Technik der Einsatz von Pumpen mit Synchronmotor (mit Dauermagnetrotor), die auch als Hocheffizienzpumpen bezeichnet werden. Selbst bei sehr kleinen Leistun-

gen von nur 4 bis 9 W erreichen sie einen für Kleinpumpen sehr guten Wirkungsgrad von über 30 % – und trotzdem werden alle Heizflächen warm!

Synchronmotoren haben eine aufwändige (teure) Elektronik. Im Gegensatz zu den Standardpumpen wird nicht ein voreingestelltes Volumen gefördert, sondern es wird in der Rohrleitung ein konstanter Druck aufgebaut (Differenzdruckregelung). Wird z.B. ein Heizkörper abgedreht, sinkt der Widerstand im Rohrnetz. Die Pumpe registriert über den durch die Spulen fließenden Strom die Veränderung und regelt vollautomatisch gleitend die Leistung herunter. So wird eine stufenlose Anpassung der Pumpenleistung an



die tatsächliche Heizlast erreicht. Erfahrungen und Messungen zeigen, dass in einem EFH mit 140 m² Wohnfläche und kombinierter Fußboden-/Heizkörperheizung eine Leistung von 7 W ausreicht (Foto Biral).

Pumpendimensionierung

Die Umwälzpumpe muss einen bestimmten Förderdruck aufbauen, um alle Widerstände in einem Heizungssystem zu überwinden und die Heizflächen mit warmem Wasser zu versorgen. Dazu ist die Förderhöhe H [m] zu berechnen. Da es sich bei einer Heizungsanlage um ein geschlossenes System handelt, geht es weder um den geodätischen Höhenunterschied noch um den statischen Druck, die bei offenen Systemen (z.B. zur Wasserförderung aus einem Tiefbrunnen) wirken.

Ausschlaggebend sind nur die Druckverluste der Anlage selbst. Sie bestehen aus dem Reibungsverlust der Rohrleitungen ab Pumpe bis zur letzten Heizfläche und zurück, den Widerständen (Armaturen, Formstücke, Mischer, Schwerkraftbremse) und den (Thermostat)Ventilen vor der Heizfläche. Für den Laien ist deshalb die Pumpenauslegung über die Angabe der Förderhöhe H in Meter nicht immer verständlich.

Als zweiten Wert benötigt man noch den Förderstrom Q [m³/h], der pro Stunde durch die Anlage gepumpt werden soll. Dazu muss man – wieder einmal – die Gebäude-Heizlast berechnen und in die bekannte Formel $Q = m \times c \times \Delta T$ von S. 20 einsetzen, wobei hier m dem Förderstrom Q entspricht und das Q aus der Formel die Heizlast in kW ist.

Beispiel

Ein Mehrfamilienhaus Baujahr 1982 mit 560 m² beheizter Fläche und Heizkörpern hat eine Heizlast von 45 kW. Die Spreizung zwischen Vor- und Rücklauf beträgt nach dem hydraulischen Abgleich 20 K. Daraus errechnet sich ein Gesamtvolumenstrom Q von 1,93 m³/h [45 : (1,163 x 20)].

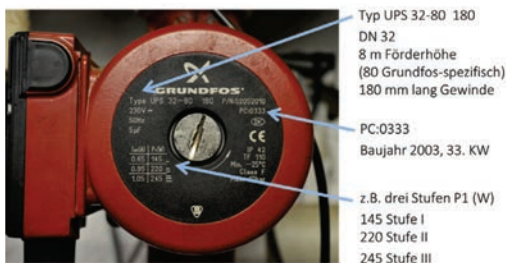
Bei einer Rohrleitungslänge von 90 m (Annahme \emptyset Druckverlust von 100 Pa/m) ergibt sich inklusive aller Widerstände als Förderhöhe H ein Druckverlust von 2,34 m (genauer: mWS für Meter Wassersäule).

Mit diesen zwei Werten lässt sich sehr schnell mittels Online-Auslegungsprogrammen, z.B. der großen Hersteller Wilo, Biral oder Grundfos, die Pumpe dimensionieren:

Wilo schlägt hier eine Stratos PICO plus 25/1-6 mit 3 - 45 W und EEI = 0,20 vor oder Grundfos die ALPHA2 25-60 mit 3 - 34 W und EEI = 0,17. Hätten Sie das gedacht?

Damit wird der Zielwert für die Nennleistung von ca. 0,10 % der Heizlast sogar unterschritten. 0,10 % von 45 kW sind 45 W.

Auf jeden Fall ist die Leistung sehr viel geringer als die Pumpengröße, die selbst heute noch eingebaut wird. Schauen Sie einfach mal selbst nach Ihrer Pumpe. Ein Ersatz ist immer vor Baujahr 2003 zu empfehlen.



Bei Wilo dagegen steht das Baujahr am Ende der Nummer, z.B. in Nr. 1540989/9808 ist das Herstelljahr 1998, in der 8. KW.

Natürlich bieten auch noch andere Hersteller wie z.B. Biral (AX 12 mit 5 bis 22 W) schon seit Jahren Hocheffizienzpumpen an, die bis zu 450 € kosten. Bei einem Strompreis von 30 Ct/kWh ergeben sich damit im Vergleich zu einer Stufenpumpe auf Stufe 2 oder 3 jährliche Stromkosteneinsparungen von bis zu 90 €. Der Ersatz rechnet sich!

Pumpenregelung

Welche Regelungsart sinnvoll ist, richtet sich nach dem Rohrnetz. Konstanter Differenzdruck ist sinnvoll, wenn der Widerstand der Rohrleitung kleiner ist als der Widerstand der Thermostatventile, z.B. bei großzügig dimensionierten 2-Rohr-Anlagen oder 1-Rohr-Anlagen. Variabler Differenzdruck ist immer bei knapper ausgelegten 2-Rohr-Systemen und Fußbodenheizungen sinnvoll.

Interne Pumpen in Kesselthermen

Sie sind in wandhängenden Brennwertkesseln installiert und haben z.B. bei nur 11 kW Kesselleistung eine Förderhöhe von 6 oder 8 mWS; damit sind sie viel zu groß (siehe Beispiel). Die Folgen sind ein zu hoher Stromverbrauch, Strömungsgeräusche im Rohrnetz oder schlecht zu regelnde Thermostatventile. Diese Pumpe ist aber nicht ersetzbar: Wegen der Gewährleistung im Schadensfall, des großen hydraulischen Widerstands im Kessel und dem erforderlichen Zwangsumlauf. Hier ist die hydraulische Trennung des Kesselkreises vom Heizkreis über eine sog. hydraulische Weiche (und eine zweite Pumpe) zu empfehlen.

Fazit

Alte Pumpen sind Stromfresser und gehören durch Hocheffizienzpumpen ersetzt. Die Voraussetzung dafür sind durch eine

fachgerechte Berechnung deutlich reduzierte Förderhöhen sowie der hydraulische Abgleich der Heizflächen zur Begrenzung des Volumen- bzw. Förderstroms auf das erforderliche Maß.
(Foto Grundfos).

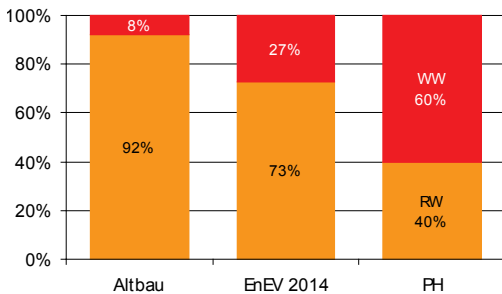


13 Warmwasser

Trinkwasser dient unterschiedlichen Zwecken. Wenn es um den temperierten Anteil geht, wird von Warmwasser oder Brauchwarmwasser gesprochen. Es hat stets Trinkwasserqualität und darf deshalb nicht mit dem sauerstofflosen „toten“ Heizwasser im Heizungssystem verwechselt werden.

Im Privathaushalt ist die Trinkwassererwärmung nach der Raumheizung und dem PKW der drittgrößte Energieverbraucher.

Im Durchschnitt liegt der Verbrauch bei 20 bis 60 Liter pro Tag und Person. Das ist entspricht einem Nutzenergiebedarf von 1,2 bis 3,5 kWh/Tag bzw. von 440 bis 1.280 kWh pro Person und Jahr. Bei Ansatz eines durchschnittlichen Kesselnutzungsgrades von 65 % zur Trinkwassererwärmung ergibt sich ein Endenergiebedarf von 677 bis 1.969 kWh bzw. beispielhaft ein Heizölverbrauch von 68 bis 197 Liter pro Person und Jahr.



An der absoluten Größe des Warmwasserverbrauchs hat sich in Bezug auf den Gesamtenergieverbrauch eines Gebäudes in den letzten 40 Jahren kaum etwas geändert. Dagegen ist im Vergleich zum gesunkenen Energieverbrauch für Raumwärme (RW) der relative Anteil des Energieverbrauchs für die Wassererwärmung (WW) spürbar gestiegen. Von 8 % bei Altbauten über 27 % (und mehr) bei GEG-Gebäuden (EnEV 2014) bis zu 60 % im Passivhaus (PH); hier spielt das Warmwasser sogar die entscheidende Rolle.

Es wird damit klar, dass bei immer besser wärmegedämmten Wohngebäuden eine effiziente Warmwasserversorgung immer not-

wendiger wird – möglichst unter Nutzung erneuerbarer Energien.

Arten der Trinkwassererwärmung

Es gibt zwei verschiedene Arten der Trinkwassererwärmung, entweder das Durchlauf- oder das Speicherprinzip.

Beim Durchlaufprinzip wird das einströmende Kaltwasser im Moment der Entnahme auf Gebrauchstemperatur erwärmt. Das ist ökonomisch, weil keine Bereitschaftsver-



luste auftreten, erfordert aber zur Einhaltung von Komfortansprüchen sehr hohe Leistungen. Soll z.B. ein Wannenbad mit 160 l innerhalb von nur 10 Minuten gefüllt sein, ist eine Heizleistung von 32 kW erforderlich – also das Mehrfache der Kesselleistung, die ein Neubau heute zur

Raumheizung benötigt. Kessel, die neben der Heizung auch die Warmwasserbereitung als Durchlauferhitzer übernehmen, sind die bereits erwähnten Gas-Kombi-Thermen (→ S. 182).

Neben dieser nicht sinnvollen Kesselüberdimensionierung wegen der Warmwasserbereitung, sind die üblichen Durchlaufsysteme (z.B. Gas- oder Stromdurchlauferhitzer) auch nicht so komfortabel, da beim Wasserzapfen unangenehme Druckschwankungen auftreten können (z.B. wenn beim Duschen noch weitere Zapfstellen geöffnet werden).

Jeden gewünschten Warmwasserkomfort dagegen bieten Speichersysteme. Sie stellen eine zeitgemäße, gleichzeitige und -mäßige Versorgung aller Zapfstellen sicher, da u.a. mit dem normalen Trinkwasserdruck gearbeitet wird. Allerdings stellen die hygienischen Bedingungen (Ausbildung von Biofilmen, Legionellen) ein Problem dar.

Legionellen

1976 trafen sich in den USA 4.000 Legionäre. 180 wurden krank, 34 starben. Als Auslöser wurde die Bakterie ‚Legionella pneumophila‘ entdeckt. Seitdem wird die Krankheit als Legionärskrankheit bezeichnet. Die Legionelle ist ein natürlicher Bestandteil von Süßwasser (1 Zelle/l), sie vermehrt sich aber bei 35 bis 42°C schnell und stirbt i.d.R. bei über 55°C ab. In zu hohen Konzentrationen (> 1.000/l) kann es zu einer Infektion kommen, d.h. zu einer speziellen Art von Lungenentzündung. In Deutschland sollen jährlich etwa 6.000 bis 12.000 Menschen daran erkranken und ca. 1.000 sterben. Beim Wasserschlucken völlig harmlos, erfolgt die Infektion durch Einatmung von Wassertropfen, z.B. durch Wassernebel (Aerosol) beim Duschen.

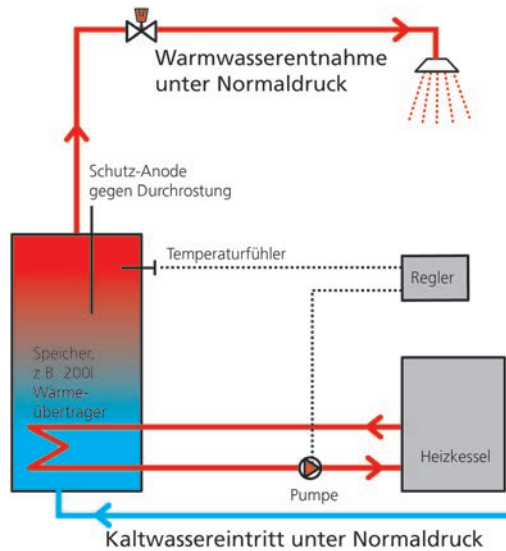
Vor allem in Großanlagen (Speichervolumen > 400 l und Anlagen mit Warmwasserabgabe an die Öffentlichkeit) muss das warme Wasser deshalb u.a. durch eine sog. „thermische Desinfektion“ auf über 60°C erhitzt werden, was auch die Trinkwasserverordnung vorschreibt ist. Diese gilt nicht für Kleinanlagen mit Speichervolumen ≤ 400 l und weniger als 3 Liter Rohrinhalt zwischen dem Speicher und der am weitest entfernten Zapfstelle sowie für Ein- und Zweifamilienhäuser; aber die Empfehlung, Temperaturen unter 50°C möglichst zu vermeiden.

Dezentral oder zentral

Die dezentrale Wassererwärmung (direkt an der Zapfstelle) ist dann sinnvoll, wenn kleine Mengen an sehr weit auseinander liegenden Standorten eines Gebäudes benötigt werden.

Standard sind zentrale Versorgungen. Bewährt haben sich die Systeme, bei denen der Wärmeerzeuger einen Speicher erwärmt, der ständig eine gewisse Menge Warmwasser bereithält, die von der Anzahl der Personen abhängt. Typisch in EFH (2 bis 5 Personen) sind Speichergößen von 80 bis 200 l. Zur Reduzierung der Auskühlverluste sollte die Speicherdämmung möglichst dick sein (> 10 cm), eng anliegen und – besonders bei den Rohrdurchführungen und Flanschen – lückenlos sein. Andererseits ist eine eher niedrige Spei-

chertemperatur (50 bis 55°C) wünschenswert. Mehr als 60°C sind unbedingt zu vermeiden: Nicht nur die Abstrahlverluste steigen, es fällt vor allem Kalk aus, der den Wärmeübertrager zusetzt und allmählich auch den Speicherboden füllt. Darin fühlen sich die Legionellen besonders wohl.



Die Raumwärme- und Warmwasserversorgung erfolgt niemals zeitgleich. Dafür sorgt die Vorrangschaltung. Während der Heizzeit läuft der Kessel zur Raumerwärmung. Sobald jedoch Warmwasser gebraucht wird, schaltet er auf Wassererwärmung um. Solange bleibt die Raumwärmeversorgung unterbrochen. Ist der Speicher „geladen“, werden wieder die Heizflächen erwärmt. Je besser das Gebäude gedämmt ist, desto länger ist während der Heizzeit eine Unterbrechung von bis zu ein paar (vielen) Stunden möglich.

NT- und Brennwertkessel erwärmen auch außerhalb der Heizzeit, wenn keine Raumwärme benötigt wird, das Warmwasser mit einem einigermaßen hohen Nutzungsgrad, wobei zu beachten ist:



Bei der Trinkwassererwärmung auf die erforderliche Speichertemperatur liegt die Rücklauftemperatur bei Brennwertkesseln nie unter 55°C! Das ist aber Voraussetzung für die Kondensation der Abgase und den Beginn der Wärmerückgewinnung – der Brennwertnutzung.

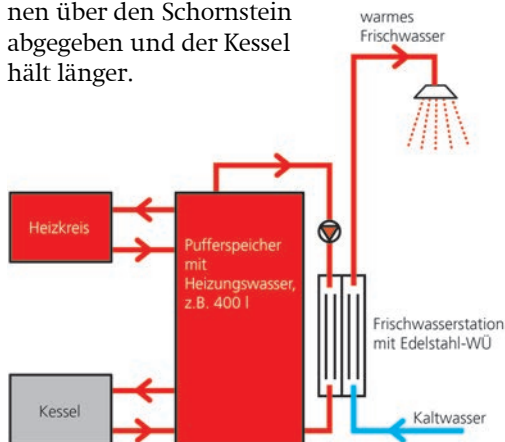
Und bei Wärmepumpen sinkt die Jahresarbeitszahl drastisch, weil eine sehr große Temperaturdifferenz (z.B. von -5°C bis $+10^{\circ}\text{C}$ Umweltwärme auf $> 65^{\circ}\text{C}$ Aufheiztemperatur) überwunden werden muss. Trotzdem sind zentrale Warmwasserbereitungssysteme i.d.R. energetisch und auch wirtschaftlich gesehen günstiger als dezentrale Geräte (wie z.B. elektrische Durchlauferhitzer).

Frischwassersysteme mit Pufferspeicher

In der Heizungstechnik setzen sich – auch wegen den hygienischen Herausforderungen – mehr und mehr die Frischwassersysteme durch. Entwickelt wurden sie in der Solartechnik, mit deren Nutzung das Trinkwasser über Sonnenkollektoren erwärmt wird.

Beim Frischwassersystem wird der Warmwasserspeicher durch einen Pufferspeicher ersetzt. Die Warmwasser-Bevorratung wird hier überflüssig, da die Erwärmung des Wassers nur bei Bedarf im Durchflussprinzip über einen externen Plattenwärmeübertrager (WÜ) aus Edelstahl geschieht.

Heizungsanlagen mit Pufferspeicher sind bei Holznutzung notwendig und bei Öl- oder Gaskesseln sinnvoll, weil dadurch die Brennerstarts erheblich reduziert werden (von über 20.000 auf deutlich unter 10.000 pro Jahr). Damit steigt der Nutzungsgrad der Anlage, es werden weniger Schadstoffemissionen über den Schornstein abgegeben und der Kessel hält länger.



Und in dieses Konzept kann die Frischwasserstation gut eingebunden werden: Besteht Bedarf an Warmwasser, wird das Kaltwasser



beim Durchpumpen durch den Platten-WÜ (Foto 2er-Kaskade) sofort auf die eingestellte Temperatur erwärmt. Und dem

Pufferspeicher wird nur so viel Energie entnommen, wie gerade benötigt wird; die Bereitschaftsverluste (wie bei den Warmwasserspeichern) entfallen. Und da stets Frischwasser bedarfsgerecht erwärmt wird, gibt es kein Legionellenproblem.

Die Vorteile sind:

- jederzeit frisches und sauberes Warmwasser, u.a. keine Legionellen
- lange Brennerlaufzeiten, optimaler Anlagennutzungsgrad, geringe Emissionen
- keine Druck- und Auslaufschwankungen an der Zapfstelle wie bei üblichen Durchflusssystemen
- Platten-WÜ haben dauerhaft sehr niedrige Rücklauftemperaturen und sind daher für die Brennwertnutzung ideal
- es wird die verbesserte Einbindung von erneuerbarer Energie wie z.B. der Solarenergie möglich.

Verteilssystem

Für möglichst kurze Leitungen vom Speicher zu den Zapfstellen ist eine gute Gebäude-raumplanung wichtig. Bis 15 m Länge kann erfahrungsgemäß auf eine sog. Zirkulationsleitung verzichtet werden. Darüber hinaus sind Zirkulationsleitungen üblich, durch die sich allerdings der Energieverbrauch mehr als verdoppelt. Durch sie wird ein Abkühlen des Wassers in den Leitungen verhindert, indem ständig Warmwasser von der Zirkulationspumpe durch die Warmwasservor- und Rücklaufleitung gefördert wird.

Vorteile: Da immer heißes Wasser an der Zapfstelle verfügbar ist, sind Wartezeit und Wasserverbrauch gering.

Nachteile: Es entstehen zusätzliche Investitionskosten für Pumpe und Rücklaufleitung, ein zusätzlicher Stromverbrauch der Zirkulationspumpe und (hohe) Wärmeverluste durch die (doppelte) Rohrleitung.

- Vorgeschrieben/zu empfehlen sind neben gut gedämmten Leitungen in unbeheizten Bereichen
- regelmäßiger Speicher-Innenreinigung
- regelmäßiger Schutz-Anodenprüfung
- vor allem die Pumpe mit einer Zeitschaltuhr zur Zirkulationsunterbrechung auszustatten
- und die Pumpe über Schalter an den Zapfstellen bedarfsgerecht zu steuern.

Rationelle Armaturen und Geräte

Die Nutzung von modernen Wasserarmaturen und Geräten verringert den Warmwas-

serverbrauch ohne Komfortverlust. Und es wird Energie und Geld gespart. Beispiele:

- Durchflussmengenbegrenzer (Spardüsen) an Waschtischarmaturen
- Spar-Duschbrausen: Trotz Reduktion des Wasserverbrauchs um die Hälfte (von 20 auf 10 l/min) gibt es ein angenehmes komfortables Duscherlebnis
- Einhebelmischer erlauben eine schnelle Regulierung der Warmwassertemperatur
- wassersparende Wasch- und Geschirrspülmaschinen benötigen insgesamt bis zu 60 % weniger Trinkwasser. Tipp: Anschluss statt an das Kalt- an das Warmwasser.

14 Thermische Solaranlagen

Bereits heute wird Solarenergie in jedem Gebäude genutzt, auch wenn dies dem Bewohner/Nutzer im Alltag nicht bewusst ist: Das durch die Fenster fallende Tageslicht trägt zur Raumerwärmung bei, reduziert also im Winter den Heizenergiebedarf. Es bietet zudem eine kostenlose Beleuchtung.

Unter dem Begriff Solarenergienutzung wird die Verwendung aktiver Systeme verstanden. Hier sind zwei grundsätzlich verschiedene Techniken zu unterscheiden:

- Fotovoltaik-Anlage: Die Stromerzeugung mithilfe von Solarzellen.
- Kollektor-Anlage: Die Warmwassererwärmung mit thermischen Solaranlagen.

Letztere werden auch – obwohl nicht rentabel – für die Unterstützung der Heizungsanlage zur Raumerwärmung eingesetzt.

! Durch marktgängige thermische Solaranlagen können bis zu 70 % des jährlichen Energiebedarfs für Warmwasser (für Baden, Kochen, Duschen, Wasch- und Geschirrspülmaschine) eingespart werden.

Globalstrahlung und ihre Nutzung

Das Angebot der Sonne schwankt naturgemäß je nach Jahreszeit und Wetterlage und

wird Globalstrahlung genannt. Sie setzt sich aus zwei Komponenten zusammen.

- direkte Strahlung: Bei klarem, wolkenlosem Himmel erreicht der größte Teil der Globalstrahlung unsere Erde ohne Richtungsänderung.
- diffuse Strahlung: Sie entsteht durch die Streuung der direkten Strahlung an Wolken und Partikeln in der Atmosphäre, die dann aus allen Himmelsrichtungen auf die Erde trifft.

Während die diffuse Strahlung im Sommer bis zu 50 % der Globalstrahlung (im Monatsmittel) beträgt, liegt der Anteil im Winter deutlich höher [15].

	Einstrahlung W/m ²	Diffus- anteil %
blauer Himmel	800 bis 1.000	10
dunstiger Himmel	600 bis 900	bis 50
nebliger Herbsttag	100 bis 300	100
trüber Wintertag	50	100
Jahresdurchschnitt	600	50 bis 60

Strahlungsleistung und Diffusstrahlung

Deshalb machen in Mitteleuropa bei der Nutzung der Sonnenenergie nur Technologien Sinn, die auch die diffuse Strahlung gut nutzen.

14.1 Kollektor

Kernstück jeder thermischen Solaranlage ist der Kollektor. Er hat die Aufgabe, das Sonnenlicht einzufangen und die gewonnene Energie in nutzbarer Form abzugeben. Der Kollektor besteht im Wesentlichen aus dem Absorber (ein Wärmeleitblech mit selektiver, schwarzer Beschichtung) und dem Gehäuse, das diesen umschließt.

Es gibt verschiedene Bauarten von Kollektoren. Sie unterscheiden sich in erster Linie durch die jeweils eingesetzte Technik zur Begrenzung ihrer Wärmeverluste, was sich äußerlich in verschiedenartigen Gehäuseformen ausdrückt. Die wichtigsten (neben Speicherkollektoren, Schwimmbadabsorbern sowie konzentrierenden Systemen) sind der

- Flachkollektor,
- Vakuum-Flachkollektor,
- Vakuum-Röhrenkollektor.



Vakuum-Röhrenkollektor (frei im Garten aufgestellt)

Optimal geplant (die richtige Dimensionierung, auf den tatsächlichen Warmwasserbedarf abgestimmt, im Sommer eine verschattungsfreie Ausrichtung möglichst nach Süden, fehlerfrei installiert) erfüllen alle drei Kollektortypen ihre Aufgabe hervorragend.

Jeder Kollektor hat eine eigene Kennlinie, die seinen Wirkungsgrad bei Variation der Klima- und Betriebsbedingungen darstellt. Der Wirkungsgrad ist definiert als Verhältnis der vom Kollektor abgegebenen nutzbaren Wärme zur solaren Einstrahlung. Vakuumkollektoren haben danach höhere Wirkungsgrade als Flachkollektoren.

Das entscheidende Kriterium bei der Kollektorauswahl aber ist, zu welchen Investitionskosten die notwendige Wärmeleistung erzielt wird. Dieses Preis-Leistungs-Verhältnis kann aus dem vorliegenden Angebot eines Installateurs bestimmt werden.

Zunächst wird für die Betriebsbedingungen, bei denen der Kollektor optimal arbeiten soll, der Wirkungsgrad aus der Kennlinie ermittelt und mit der Einstrahlung multipliziert. Daraus ergibt sich die Wärmeleistung pro m² Kollektorfläche. Werden dann die Kosten pro m² durch diesen Wert geteilt, so ergibt sich der Preis pro Kilowatt (kW) installierte Kollektorleistung.

Dieses ermittelte Preis-Leistungs-Verhältnis unterschiedlicher Kollektoren (K) ist aber nur bei Zugrundelegung identischer Klima- und Betriebsbedingungen vergleichbar.

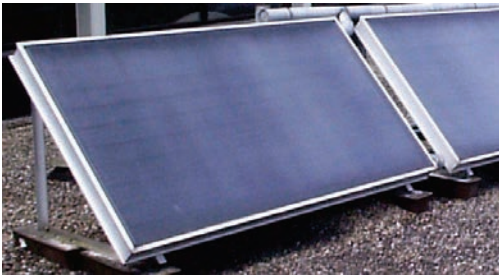
Z.B. Einstrahlung 800 W/m², Außentemperatur 10°C, Absorbertemperatur 60°C:

Ermittlung der Kosten pro kW K-Leistung	Wirkungsgrad aus d. Kennlinie %	Leistung pro m ² K-Fläche W/m ²	Kosten pro m ² K-Fläche €/m ²	Preis pro kW K-Leistung €/kW
Kollektor 1	59	472	450	953
Kollektor 2	50	400	220	550
Kollektor 3	36	288	180	625

Kollektor 1: Vakuum-Röhre; Kollektor 2: Flachkollektor, eine Scheibe, selektiver Absorber; Kollektor 3: Flachkollektor, zwei Scheiben, Matt-Absorber

Kollektor 2 ist in diesem Beispiel die kostengünstigste Variante. Tatsächlich zeigt die Erfahrung, dass Flachkollektoren vor allem für die Warmwasserbereitung im Sommer geeignet sind, von denen es über 80 verschiedene Typen am Markt gibt.

- Vorteil: Die Preise sind etwas gesunken und liegen zwischen ca. 180 und 350 €/m² Kollektorfläche.
- Nachteil: Die schwierigere Auswahl. Hier helfen aber Marktübersichten weiter.



Flachkollektor (auf Flachdach aufgeständert)

Durch die Orientierung des Kollektors zur Sonne lässt sich der Ertrag optimieren. Nicht so sehr ins Gewicht fällt eine Abweichung von der Südausrichtung: Akzeptabel sind bis zu 30° nach Osten oder Westen, mit einer Einbuße an Strahlungsenergie im Jahresmittel von maximal 10 %.

Weitaus wichtiger ist die richtige Kollektorneigung – weg von der Horizontalen. Bei einer Neigung von 20 bis 30° ergibt sich im Hochsommer, wenn die Sonne sehr steil am Himmel steht, der höchste Energiegewinn.

Im Frühjahr und im Herbst sind Neigungen von 45° bis 60° wegen des flacher verlaufenden Sonnenstands günstiger (weniger Reflexionsverluste). Empfohlen wird eine Neigung des Kollektors zwischen 30° und 45° . Diese garantiert über das gesamte Jahr gesehen den höchsten Einstrahlungsgewinn.

Kleine Defizite in der Neigung oder Südabweichung können durch eine Erhöhung der Kollektorfläche ausgeglichen werden.

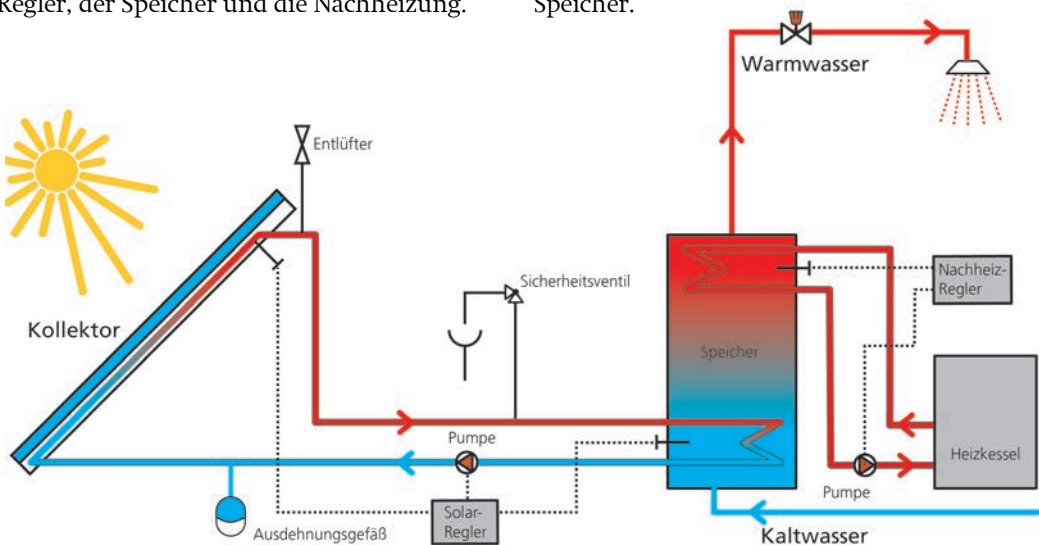


Auch eine Lösung – wenn das Dach um mehr als 45° von Süden abweicht


14.2 Die Solaranlage – mehr als ein Kollektor

Ebenso wichtig wie der Kollektor sind die anderen Komponenten der Solaranlage: Das Kollektorfeld, der Solarkreislauf, der Solarregler, der Speicher und die Nachheizung.

Die Voraussetzung für die wirtschaftliche Arbeitsweise der Solaranlage ist eine angepasste Dimensionierung von Kollektor und Speicher.



Dazu ist der genaue Warmwasserverbrauch zu ermitteln. Bei Neubauten ist das schwierig und Erfahrungswerte sind gefragt. Im Bestand aber kann z.B. durch Einbau eines Kaltwasserzählers in den Zulauf des vorhandenen Speichers der tatsächliche Verbrauch sehr gut ermittelt werden [15].

 Lassen Sie in jedem Fall einen Kaltwasserzähler in den Kaltwasserzulauf des vorhandenen Warmwasserspeichers einbauen. Nur so ist der tatsächliche tägliche Warmwasserverbrauch genau und bedarfsgerecht zu bestimmen.

Pauschalwerte helfen leider kaum weiter (Durchschnittswerte werden in Liter pro Person und Tag im Bereich von 20 bis 70 l bei 40 aber auch 60°C angegeben). Je nach Nut-

zung, Gewohnheit und Ausstattung mit Geräten wird der Verbrauch irgendwo dazwischen liegen – am besten also messen.

„Daumenzahlen“ zur Vorplanung

- Etwa 1,5 m² Absorberfläche bei Flach-Kollektoren oder 1 m² bei Vakuum-Röhrenkollektoren pro Person.
- Der Speicher sollte das 1,5- bis 2-fache des täglichen Warmwasserbedarfs bevorraten können, also 400 Liter und mehr.
- Im Sommer sind solare Deckungsraten von 100 %, im Winter jedoch kaum mehr als 10 % erreichbar. Ziel ist im Jahresmittel eine Deckungsrate von mehr als 60 %, sodass der durchschnittliche 4-Personen-Haushalt im Jahr 170 bis 500 l Heizöl einspart (Verbrauchszahlen → S. 222).

14.3 Solarspeicher

Der beste Kollektor kommt nicht zur vollen Nutzung, wenn in Größe und Leistungsfähigkeit nicht angepasste Speicher und Wärmeübertrager eingesetzt werden.

Um das schwankende Energieangebot der Sonne auszugleichen, sollte solar erwärmtes Wasser über einen bestimmten Zeitraum gespeichert werden, um in den Sommermonaten bis zu 100 % des Warmwasserbedarfs (WW) solar decken zu können.

Üblich sind neben dem Heizkessel stehende Speicher ab 400 Liter Fassungsvermögen mit Anschlüssen für mindestens zwei Wärmeübertrager (WÜ): Einem unteren WÜ 1 für den Anschluss an den Kollektorkreislauf zur solaren Beladung (Erwärmung) des Trinkwassers und einem oberen (WÜ 2) für den Anschluss an die Nacherwärmung durch den Kessel vor allem im Winter.

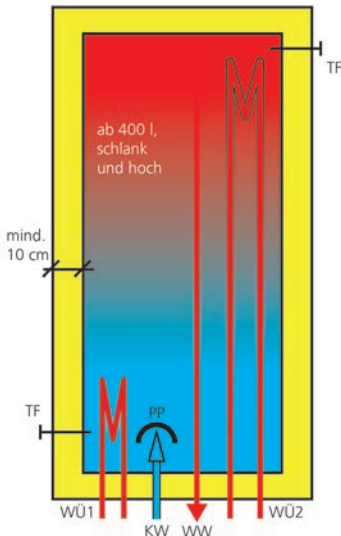
Aufgrund der unterschiedlichen Dichte von warmem und kaltem Wasser bildet sich im Speicher immer eine natürliche Temperaturschichtung. Das „etwas leichtere“ warme Wasser sammelt sich im oberen, dagegen das kältere und „schwerere“ im unteren Bereich des Speichers.

Ein solcher Speicher wird als bivalent (= zwei Wärmequellen) bezeichnet. Er ist i.d.R. als Druckspeicher konzipiert und auf den normalen Druck des öffentlichen Trinkwassernetzes ausgelegt.

Neben den auf „Solarspeicher“ spezialisierten Herstellern gibt es auch noch den gesamten Bereich der klassischen Heizungshersteller, die ebenfalls bivalente Speicher in ihrem Standardprogramm haben. Um die besseren von den schlechteren unterscheiden zu können, gibt es eine Reihe von Merkmalen, die Sie bei der Beurteilung heranziehen sollten [15]:

1. Je schlanker und höher der Speicher ist, desto besser wird die Wärmeschichtung. Die Kaltwasserzuführung erfolgt immer von unten. Sobald Warmwasser entnommen wird, strömt kaltes Wasser nach, das sich nicht mit dem erwärmten mischen soll. Speicher mit guter Schichtung haben Temperaturunterschiede zwischen oben und unten von bis zu 80°C. Eine kalte untere Zone gewährleistet, dass die Solaranlage auch noch bei geringerer Sonneneinstrahlung mit höherem Wirkungsgrad ar-

beiten kann. Deshalb muss der WÜ 1 im Speicher weit unten eingebaut sein. Übrigens: Je schmaler der Speicher, desto leichter geht er durch die Kellertür (bei nachträglichem Einbau)!



- Standard ist eine Prallplatte (PP) am Eintritt des Kaltwassers, die verhindert, dass sich das einfließende Wasser durch Verwirbelungen mit dem wärmeren Wasser in den oberen Schichten vermischt und so die Speicherschichtung zerstört.
- Der für die Regelung wichtige Speichertemperaturfühler (TF) für den Kollektorkreislauf sollte im unteren Sechstel des Speichers angebracht sein, um bei einer geringen Sonneneinstrahlung trotzdem einen Energieeintrag in den kalten Speicherbereich zu ermöglichen. Wichtig ist im oberen Speicherbereich ein weiterer Temperaturfühler zur Begrenzung der erforderlichen Nachheiztemperatur.
- Bei den konventionellen Speichern wird das WW oben seitlich oder nach oben entnommen. Bei Stopp der Wasserentnahme z.B. aus der Dusche, kühlt das in der Leitung stehende warme Wasser wieder ab. Es entsteht ein Kaltwasserfall (Konvektion) nach unten bis in die oberen Speicherschichten, was eine Zerstörung der Schichtung und Wärmeverluste in einer Größenordnung von bis zu 15 % der Gesamtspei-

cherverluste verursacht. Zu empfehlen ist daher eine Warmwasserentnahme innerhalb des Speichers von oben nach unten durch einen Bodenflansch (siehe Grafik). Dadurch entfallen auch Wärmeleitungsverluste über den Flansch, der sonst in der heißesten Zone liegt. Alternativ ist in der Rohrleitung gleich nach dem Speicherausgang eine Konvektionsbremse (z.B. Thermosiphon) einzubauen, um die Wärmeverluste zu verringern.

- Gleiches gilt für die Flansche der beiden WÜ-Einsätze. Optimal werden sie durch den Boden (Kaltwasserzone) geführt, sodass Wärmeverluste über die Anschlüsse entfallen. Beide WÜ sollten auch weit auseinander liegen. Das garantiert, dass im Winter die Kesselnachheizung nur das obere Speichervolumen auf Temperatur bringt, ohne dem Kollektorkreislauf die Möglichkeit zu nehmen, auch geringe Solarenergiemengen effizient in den kalten Teil des Speichers einlagern zu können. Umgekehrt hat im Sommer der Kollektorkreislauf Priorität und es wird vermieden, dass die Nachheizung zu früh aktiviert wird. Auch diese Aspekte bedingen eine möglichst schlanke, hohe Bauform.
- Speicher sollten dick und lückenlos gedämmt sein. Merkmal ist die Wärmeverlustrate UA [W/K], in der die Speicheroberfläche berücksichtigt ist. Deshalb sind nur Speicher mit gleichem Volumen zu vergleichen. Sie sollten einen UA-Wert kleiner 2,5 W/K haben. Gute Dämmwerte werden durch eine eng anliegende Rundumdämmung von mind. 10 cm Stärke ohne Flanschwärmeverluste erreicht. Ein guter Speicher mit z.B. 2,5 W/K spart im Vergleich zu einem mit 4 W/K bei einer Temperaturdifferenz von 20 K jährlich ca. 280 kWh Energie, was eine Mehr-Kollektorfläche von 1,0 m² (= Mehrkosten) nach sich zieht. Es lohnt sich also, Geld in einen gut gedämmten Speicher zu investieren.

Speichermaterial

Neben Kunststoffspeichern werden emaillierte Speicher oder Edelstahlspeicher (V2A oder

V4A) angeboten. Letztere sind leichter und wartungsfrei, dafür teurer und es besteht die Gefahr von Lochfraß (Korrosion) bei stark chlorhaltigem Wasser. Bei V2A-Stahl kann eine Konzentration von 50 mg/l, bei V4A-Stahl eine von 125 mg/l ausreichen. Sind sie emailliert, ist, wie sonst auch, entweder eine Magnesiumanode (Wartung!) oder eine sog. Fremdstrom-Anode eingebaut.

Weitere Speicherkonzepte

Diese gründen auf dem in Kapitel 13 angesprochenen Einsatz von Pufferspeichern, die es oft als Stahlspeicher (Druckspeicher) oder als drucklose Kunststoffspeicher gibt.

Neben der (legionellenfreien) Warmwasserbereitung sind heute zunehmend auch Anlagen zur Heizungsunterstützung in den Übergangszeiten gefragt [15].

Beispiel Tank-in-Tank-Speicher (Jenni)

Er ist eine Kombination aus Puffer- und Warmwasserspeicher. Im Puffer ist im oberen, warmen Bereich ein kleinerer Warmwasserspeicher eingebaut, dessen Oberfläche als Wärmeübertrager fungiert. Bei einigen Fabrikaten ist er bis nach unten gezogen. Er ist für den Einsatz in Anlagen zur Warmwasserbereitung ohne und mit Heizungsunterstützung geeignet. Durch das Einspeichersystem sind Verrohrung und Regelung übersichtlich und unkompliziert.

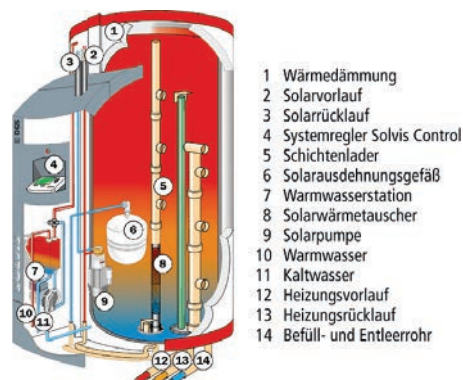


Die Wärmeerzeuger (Heizkessel, Kollektoren) und -verbraucher (Heizkreis, Warmwasser) arbeiten auf denselben Puffer. Das Heizungssystem ist im oberen Bereich an den Pufferspeicher angeschlossen und heizt dort

das Warmwasser bei Bedarf nach. Der mittlere Bereich kann für die Rücklaufftemperaturanhebung des Heizungswassers genutzt werden. Unten befindet sich der Wärmeübertrager für die Solarenergieeinspeisung. Der Inhalt des inneren Trinkwasserspeichers wird über seine Behälterwand erwärmt.

Beispiel Speicher mit Schichtenlader

Die Solarwärme wird über einen internen Wärmeübertrager an das Pufferspeicherwasser übertragen (z.B. SOLVIS Energiesysteme).



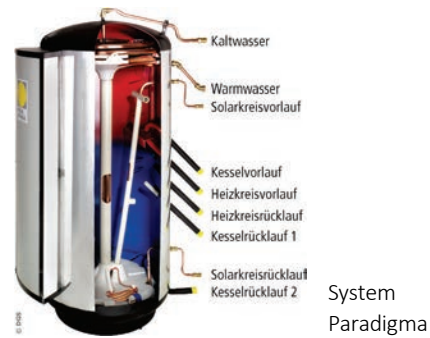
Die Schichtenbeladung erfolgt über ein nach oben offenes Rohr mit zusätzlich über die Höhe verteilten Membranklappen, in dem das erwärmte Wasser aufsteigt. Es tritt dort aus der Klappe aus, wo die umgebende Schicht die gleiche Dichte bzw. die gleiche Wassertemperatur hat. Über die Nachheizung erwärmtes Wasser wird durch ein 2. Rohr direkt dem Bereitschaftsbereich zugeführt. Für den unteren Teil des Pufferspeichers ist ein weiterer Schichtenlader eingebaut. Er ermöglicht die Einleitung des Heizungsrücklaufs in der entsprechenden Temperaturschicht. Die Warmwasserbereitung geschieht über einen externen Platten-WÜ.

Beispiel Speicher mit Wärmeleitrohr

Solche Schichtenspeicher werden über einen integrierten Solarkreis-WÜ, der entweder spiralförmig auf dem Boden des Speichers angebracht oder im unteren Bereich senkrecht in ein Wärmeleitrohr eingebaut ist, geladen.

Das so erwärmte Wasser steigt nach dem Thermosiphonprinzip durch ein Aufströmrrohr in den oberen Bereitschaftsbereich auf.

Hier befindet sich ein weiterer horizontal angebrachter WÜ, in dem das Trinkwasser im Direktdurchlauf (Frischwassersystem) erwärmt wird. Das abgekühlte Speicherwasser sinkt wegen der Schwerkraft durch ein im Zentrum des WÜ angebrachtes Abströmröhr nach unten und kann durch den Solarkreis-WÜ wieder erwärmt werden. Zur Nachheizung und zur Heizungsunterstützung ist im oberen Drittel des Pufferspeichers ein dritter Wärmeübertrager eingebaut.



14.4 Heizungsunterstützung

Klimaschutz bedeutet, den CO₂-Ausstoß u.a. auch durch erneuerbare Energien zu reduzieren. Dazu ist eine Energiewende notwendig, die in Deutschland aber größtenteils als Stromwende praktiziert wird. Während Bau und Förderung von Fotovoltaik- und Windkraftanlagen (finanziert über die EEG-Umlage) seit Jahrzehnten forciert wurde, werden Anlagen im Wärmebereich unzureichend gefördert. Dabei ist auch eine Wärmewende wichtiger denn je. Einen Beitrag dazu leistet die „teilsolare Raumheizung“.

Mit zunehmender Wärmedämmung der Gebäude liegt der Warmwasserenergiebedarf in Höhe des Jahres-Heizwärmebedarfs (→ S. 222) und darüber. Hier kann die Kollektoranlage einen deutlichen Anteil am Wärmebedarf für Heizung und Warmwasser liefern, vor allem im Frühjahr und Herbst. Je nach Höhe des Jahres-Heizwärmebedarfs können folgende solare Deckungsanteile am Gesamt-Gebäudewärmebedarf erreicht werden:

- Altbau 10 bis 20 %
- Neubau 20 bis 50 %.

In jedem Fall erreichen kombinierte Systeme (Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung) eine höhere Primärenergiesubstitution als die reinen Trinkwassersysteme. Durch die größere Kollektorfläche ergibt sich aber eine Überdimensionierung in der heizfreien Zeit! Die Kollektorfläche sollte deshalb nicht wesentlich über die doppelte Größe, die für die solare Warmwasserbereitung notwendig wäre, hinausgehen.

Zur Abführung von überschüssiger Wärme vor allem im Sommer ist dann u.U. ein Überhitzungsschutz einzuplanen.

Voraussetzungen für eine funktionierende solare Heizungsunterstützung sind

- Jahres-Heizwärmebedarf $\leq 50 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$
- Vor- und Rücklauftemperaturen $\leq 50/35^\circ\text{C}$
- Kollektororientierung nach Süden $\pm 10^\circ$
- Kollektoraufstellwinkel $> 50^\circ$.

Während für die solare Warmwasserbereitung die Ausrichtung und Neigung des Kollektors in weiten Bereichen günstig ist, muss für die solare Heizungsunterstützung wegen des niedrigeren Sonnenstands und der „kürzeren“ Tage während der Heizungsmonate ein Aufstellwinkel für den Kollektor von mindestens 50° und eine weitgehend nach Süden ausgerichtete Fläche vorhanden sein. Alternativ möglich – und in Bezug auf die sommerliche Überhitzung besser – ist eine senkrechte, verschattungsfreie Montage an der Südfassade (bei mehr Kollektorfläche).

Sind die Voraussetzungen gegeben, lassen sich für eine erste grobe Anlagendimensionierung aufgrund von Erfahrungswerten diese Faustformeln angeben [15]:

Absorberfläche

- 0,8 bis 1,1 m² Flachkollektoren pro 10 m² beheizte Wohnfläche
- 0,5 bis 0,8 m² Vakuumröhrenkollektoren pro 10 m² beheizte Wohnfläche.

Puffer-Speichervolumen

- mindestens 50 Liter pro m² Absorberfläche oder 100 bis 200 Liter pro kW Heizlast.

15 Anhang

15.1 Tabellen/Umrechnungen

Leistung

	W	kW	kcal/h	PS
1 W	1	0,001	0,860	0,00136
1 kW	1000	1	860	1,35778
1 kcal/h	1,163	0,001163	1	0,00158
1 PS	736,498	0,736498	632	1

Arbeit

	kWh	kcal	J (Joule)	kJ
1 kWh	1	860	$3,6 \times 10^6$	3600
1 kcal	$1,163 \times 10^{-3}$	1	4186,8	4,1868
1 J (Joule)	$2,78 \times 10^{-7}$	$2,39 \times 10^{-4}$	1	0,001
1 kJ	$2,78 \times 10^{-4}$	0,239	1000	1

Mit 1 kWh können Sie u.a.

- eine 100 m²-Wohnung 15 Minuten lang auf 20°C Raumtemperatur halten
- 30 Liter Wasser auf 37°C erwärmen
- eine 7-W-LED-Lampe 143 Stunden lang brennen lassen
- mit einem Benzinauto ca. 1 km weiter fahren

Vorsätze zur Bezeichnung von Vielfachen der SI-Einheiten (System International)

	10 ⁹	10 ⁶	10 ³	10	10 ⁻³	10 ⁻⁶	10 ⁻⁹
Symbol	G	M	k	da	m	μ	n
Vorsilbe	Giga	Mega	Kilo	Deka	Milli	Mikro	Nano

Griechische Buchstaben (Auswahl)

groß/klein	deutsch	spricht	groß/klein	deutsch	spricht	groß/klein	deutsch	spricht
E / ε	e (zu)	epsilon	Μ / μ	m	mü	Σ / σ	s	sigma
Z / ζ	z	zeta	Ξ / ξ	x	xi	Τ / τ	t	tau
H / η	e (offen)	eta	Π / π	p	pi	Φ / φ	ph (f)	phi
Λ / λ	l	lambda	Ρ / ρ	r	rho	Ψ / ψ	ps	psi

Heiz- und Brennwerte sowie äquiv. CO₂-Emissionen von Energieträgern [10]

Energieträger	Heizwert (H ₁)	Brennwert (H ₂)	äquiv. CO ₂ -Emissionen
Heizöl EL (extraleicht)	10,0 kWh/Liter	10,7 kWh/Liter	266 g/kWh
Erdgas L und H	8,8 - 10,4 kWh/m ³	9,8 - 11,5 kWh/m ³	202 g/kWh
Flüssiggas (Propan, Butan)	12,9 kWh/kg 6,8 kWh/Liter	14,0 kWh/kg 7,4 kWh/Liter	239 g/kWh
Elektrizität (Strommix 2015)	1,0 kWh/kWh	-	547 g/kWh
(Nadel) Scheitholz (lufttrocken)	3,9 kWh/kg	-	17 g/kWh
Hackschnitzel (lufttrocken)	4,1 kWh/kg	-	28 g/kWh
Pellets	4,9 kWh/kg	-	24 g/kWh

Heiztage, Gradtagszahl G_t und Heizgradtage G

Um den jährlichen Wärmebedarf zu ermitteln, zu kontrollieren und zu vergleichen, wurde der Begriff der Gradtagszahl G_t eingeführt. Maßgebend sind alle Tage, an denen die Außentemperatur unter einer gewissen Heizgrenze liegt. Daraus definieren sich die Heiztage. Heiztage sind die Tage, an denen das Tagesmittel der Außentemperatur unter der im jeweiligen Fall gewählten Heizgrenze von 15°C (für Altbauten) und von 12°C (für Neubauten) liegt (im GEG ist die Heizgrenze übrigens auf nur 10°C festgelegt!).

Die Gradtagszahl G_t ist das Produkt aus der Zahl der Heiztage und dem Unterschied zwischen der mittleren Raumtemperatur 20°C (GEG übrigens 19°C) und der mittleren Außentemperatur aller mittleren Tagestemperaturen aller Heiztage:

$$G_t = \sum_{1}^Z (t_i - t_{am}) \quad \text{mit} \quad \begin{array}{l} G_t = \text{Gradtagzahl in Kd/a} \\ Z = \text{Zahl der Heiztage (je nach Heizgrenze mehr oder weniger)} \\ t_i = \text{mittlere Raumtemperatur} = 20^\circ\text{C} \\ t_{am} = \text{mittlere Außentemperatur aller Heiztage (unter Heizgrenze)} \end{array}$$

Gradtagszahlen (und Heizgradtage) werden z.B. kostenfrei (zweimal jährlich aktualisiert) vom Institut Wohnen und Umwelt, IWU Darmstadt, für 40 deutsche Stationen als excel-Datei bereitgestellt: www.iwu.de/veroeffentlichungen/; eine hervorragende Datenbasis für Berechnungen unterschiedlicher Beheizungsvarianten bezüglich Raumtemperatur und Heizgrenze.

Die folgende Tabelle enthält daraus Daten (langjähriges Mittel von 1971 bis 2018) für ein paar deutsche Standorte (zum Vergleich: Der KfW-Nachweis wird mit < 3.000 Kd/a geführt); Hg = Heizgrenze, G_t = Gradtagszahl (in Kd/a)

Bei Raumlufttemperatur 20°C und Heizgrenze 12°C (geeignet für Neubauten):

Hamburg-Fuhlsbüttel		Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Hg 12°C	Heiztage	31	28	31	25	14	4	0	0	7	23	29	31	223
G_t	20°/12°C	578	512	477	330	142	33	2	3	71	269	430	536	3.383
Düsseldorf		Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Hg 12°C	Heiztage	31	28	29	22	9	2	0	0	5	18	28	30	201
G_t	20°/12°C	523	462	405	264	96	17	0	1	43	205	378	488	2.882
Potsdam		Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Hg 12°C	Heiztage	31	28	30	23	10	3	0	0	8	23	30	31	218
G_t	20°/12°C	618	537	477	298	107	26	3	3	76	287	462	574	3.468
Frankfurt a.M.-Flugh.		Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Hg 12°C	Heiztage	31	28	29	21	8	1	0	0	5	21	29	31	203
G_t	20°/12°C	569	492	411	247	80	10	0	1	43	246	426	534	3.058
Meiningen		Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Hg 12°C	Heiztage	31	28	31	25	15	8	2	2	13	27	30	31	243
G_t	20°/12°C	654	578	514	348	168	75	21	22	133	345	507	617	3.982
Augsburg		Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Hg 12°C	Heiztage	31	28	30	25	12	4	1	1	10	25	30	31	229
G_t	20°/12°C	638	555	484	328	130	41	8	11	105	314	490	600	3.704
München/Flughafen		Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Hg 12°C	Heiztage	31	28	31	22	9	2	0	1	9	23	29	31	217
G_t	20°/12°C	634	543	473	280	95	21	3	6	92	292	477	599	3.516

Bei den Heizgradtagen (G oder HGT) wird statt t_i (für G_i) als Bezug die Heizgrenze H_g eingesetzt. Liegt die Außentemperatur oberhalb der Heizgrenze, werden die Verluste des Gebäudes allein durch die Wärmegewinne gedeckt. Liegt sie darunter, wird zusätzlich aktiv geheizt. Die G bzw. HGT sind daher proportional zu der Energiemenge, die dem Gebäude als Nutzenergie (von der Heizung z.B. über Heizkörper) zuzuführen ist. Formal korrekt erfolgt deshalb die Witterungsbereinigung über die Heizgradtage!

Transmissionswärmeverlust Φ_T [W] zur Heizlast-Berechnung

Das ist der Wärmeverlust, der durch ein Bauteil von innen nach außen geht. Zur Berechnung benötigt man die Fläche des Bauteils A mit Außenmaßen, den Wärmedurchgangskoeffizienten U des Bauteils sowie die Temperaturdifferenz (innen-außen) am Standort des Bauteils:

$$\Phi_T = U \times A \times (t_i - t_a) \quad [\text{W}/(\text{m}^2\text{K}) \times \text{m}^2 \times \text{K}]$$

Auf diese Weise lässt sich allerdings nur der augenblickliche maximale Wärmedurchgang durch das Bauteil als Grundlage für die Heizlast-Berechnung ermitteln. Die – viel wichtigere und aussagekräftigere – Wärmemenge lässt sich so nicht berechnen.

Transmissionswärmebedarf Q_T [kWh/a] zur Wärmemengenberechnung

Das ist die jährliche Wärmemenge, die durch ein Bauteil von innen nach außen geht. Zur Berechnung benötigt man die wärmeübertragende Fläche des Bauteils A als Außenmaß, den Wärmedurchgangskoeffizienten U des Bauteils sowie die Gradtagszahl am Standort des Bauteils:

$$Q_T = U \times A \times G_t \quad [\text{W}/(\text{m}^2\text{K}) \times \text{m}^2 \times \text{Kd/a} = \text{Wd/a}]$$

Die Einheit Wd/a ist für eine Wärmemenge nicht üblich. Als Ergebnis sollen sich kWh/a ergeben. Deshalb wird Wd/a mit 1 d = 24 h und 1.000 W = 1 kW umgerechnet zum einheitlichen Faktor 0,024 kh/d $\Rightarrow (\text{Wd})/\text{a} \times 0,024 (\text{kh})/\text{d} = 0,024 \text{ kWh/a}$;

Beispiel:

Standort Frankfurt/Main: Heizgrenze 15°C (für energetisch nicht sanierte Altbauten), Raumtemperatur 20°C $\Rightarrow G_t = 3.349 \text{ Kd/a}$, eine beidseitig verputzte Außenwand (Hohlblockstein) mit $U = 0,86 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, Gesamtfläche dieses Bauteils Außenwand (AW): 126 m²

$$Q_{AW} = 0,86 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}) \times 126 \text{ m}^2 \times 3.349 \text{ Kd/a} \times 0,024 \text{ kh/d} = 8.710 \text{ kWh/a}$$

Damit gehen nur über diese Außenwand Jahr für Jahr 8.710 kWh an Nutzenergie verloren. Hier bietet sich eine gute Wärmedämmung (U-Wert-Verbesserung < 0,15) an.

Taupunkttemperaturen der Luft

(Raum)Lufttemperatur °C	Taupunkttemperatur in °C bei einer relativen Luftfeuchte von						
	30 %	40 %	50 %	60 %	70 %	80 %	90 %
24	5,4	9,6	12,9	15,8	18,2	20,3	22,3
22	3,6	7,8	11,1	13,9	16,3	18,4	20,3
20	1,9	6,0	9,3	12,0	14,4	16,4	18,3
19	1,0	5,1	8,3	11,1	13,4	15,5	17,3
18	0,2	4,2	7,4	10,1	12,5	14,5	16,3
17	- 0,6	3,3	6,5	9,2	11,5	13,5	15,3
16	- 1,4	2,4	5,6	8,2	10,5	12,6	14,4
15	- 2,2	1,5	4,7	7,3	9,6	11,6	13,4
14	- 2,9	0,6	3,7	6,4	8,6	10,6	12,4
13	- 3,7	- 0,1	2,8	5,5	7,7	9,6	11,4
12	- 4,5	- 1,0	1,9	4,5	6,7	8,7	10,4
11	- 5,2	- 1,8	1,0	3,5	5,8	7,7	9,4
10	- 6,0	- 2,6	0,1	2,6	4,8	6,7	8,4

15.2 Quellenverzeichnis

- [1] Michael Bonk, Newen Arndt: ‚Unbelüftete Flachdächer mit Vollsparrendämmung – Nässe-schäden infolge eingeschlossener Baufeuchtigkeit‘ in Bauphysik 24 (2002), Heft 3, Verlag Ernst&Sohn
- [2] IWU: Energiesparinformation Nr. 04, Wärmebrücken, Darmstadt (2012)
- [3] IWU: Energiesparinformation Nr. 01, Energieeinsparung an Fenster und Türen, Darmstadt (2012)
- [4] Michael Rossa: ‚Geneigt ist anders‘ in tür-fenster report 4/2010 (S. 22 bis 24)
- [5] Markus A. Weißert: ‚Lücken im System‘ in GEB 10-2012 (S. 26 bis 28)
- [6] Klaus Michael: ‚Katastrophale Lüftungsmängel‘ in Energiedepesche 4 (12/2001)
- [7] IMPULS-Programm Hessen: Foliensatz Lüftung im Niedrigenergiehaus – Die Immobilien-Seite, Darmstadt (1999)
- [8] Solarbüro für energieeffiziente Stadtplanung Dr.-Ing. Peter Goretzki: ‚Städtebauliche Grundlagen der Sonnenenergienutzung und Baukörperkompaktheit‘, Stuttgart (2003)
- [9] Wolfgang Feist, Jürgen Schnieders, Rainer Pfluger: ‚Energie effizientes Bauen in Europa‘ in Bauphysik 24 (2002), Heft 1, Verlag Ernst & Sohn
- [10] Globales Emissions-Modell integrierter Systeme GEMIS 4.95, IINAS, Darmstadt (2017)
- [11] Dieter Plahsa, Baudezernent beim Landeswohlfahrtsverband Hessen, Kassel (1998)
- [12] Land Niederösterreich, Geschäftsstelle für Energiewirtschaft: Ratgeber 18 Wärmepumpen (2006)
- [13] Marek Miara, Fraunhofer ISE: ‚Wie effizient sind Wärmepumpen?‘ in GEB 12/2010
- [14] IWU: Energiebilanz-Toolbox, Arbeitshilfe zum Energiepass (2001)
- [15] DGS, Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie, LV Berlin-Brandenburg e.V.: ‚Leitfaden Solarthermische Anlagen‘, Berlin, 9. Auflage (2012)

15.3 Stichwortverzeichnis

Abluftanlage	137, 140, 141	Berechnung Luftwechselrate	146
Abschirmkoeffizienten	128	Berechnung Rohrleitungs-dämmung	205
Abstandhalter Glas	106	Berechnung U-Wert	19
Absolute Luftfeuchte	131	Berechnung U _w -Wert	103
Aerogel (Nanogel)	45	Betonstein	24
Äquivalenter Glas-U-Wert	107	BHKW-Anlagen	195
Äquivalente CO ₂ -Emissionen	189, 232	Biozide	15,73
Algen auf Fassaden	72	Bivalent	199, 228
Alte Bau- und Wärmedämmstoffe	58,61	Blähglas	40
Anorganische Dämmstoffe	33	Bläh-Perlite (EPB)	41
Anzahl Geschosse	155	Blaubrenner	182
Arbeit	16, 232	Blauer Engel	74
Arbeitszahl (JAZ)	201	Brandschutz und Wärmedämmung	54
Argon	105, 107	Brauchwarmwasser	222
Atmosphärischer Brenner	182	Brennerstarts	188, 189, 224
Außenwand-Dämmsysteme	63	Brennstoffzelle	198
A/V-Verhältnis	154	Brennwert	174, 183, 232
Balkon als Wärmebrücke	98 ff	Brennwertkessel	183, 223
Bauform	154	Brettlagenbauweise	28
Bemessungswert Wärmeleitfähigkeit	36	Brettstapelbauweise	29

CE-Kennzeichnung	36, 37, 115	Gasbeton	24
Chemikalienverordnung REACH	15	Gastherme	182
COP (Leistungszahl)	201	Gebäudeausrichtung	156
Dachform und Neigung	155	Gebäudeenergiegesetz (GEG)	150
Dachsanierung	83	Gebaute Beispiele Passivhaus	169
Dämmstein	25	Gelbbrenner	182
Dämmstoffvergleich	50	Geneigte Verglasung	115
Dampfbremse, -sperre	21, 122, 124	Geometrische Wärmebrücke	96
DENEFF	151	Gesamtenergiedurchlassgrad	107
Dezentrale Lüftungsanlagen	137	Glaseigenschaften	105
Diffusion	21, 41, 64, 94, 119, 124	Glaseinstand	106
Dunstabzugshaube	141, 144	Glaswolle (MW)	43, 45
Durchlauf, -flussprinzip	224	Globales Erwärmungspotenzial GWP	39
Dynamische Steifigkeit s'	54	Globalstrahlung	225
EDV-gestützte Gebäudesimulation	164	Gradtagszahl G_T	39, 233, 234
Einblasdämmstoffe	49	Gurtdurchführung	113
Endenergiebedarf	147	g-Wert	51, 80, 107, 166
Energiedienstleistung	62, 147	Hanf	43
Energie-Effizienz-Index (EEI)	220	Heizenergiebedarf	127, 129, 153
Energieeinsparungsgesetz (EnEG)	149	Heizgradtag HGT	233
Energieeinsparverordnung (EnEV)	149	Heizkennlinie	207, 210
Energiekennzahl	147	Heizkörper	112, 173, 177, 210, 218
Energiekosten	175	Heizkörperventil	208, 216
Energiewende	151	Heizkurve	205, 207, 216, 219
Enthalpie-Wärmeübertrager	140, 145	Heizlast	171, 177, 179
Erdreichwärmeübertrager	145	Heizlastberechnung Gebäude	177
Erdreich-Wasser-Wärmepumpe	199	Heizlastberechnung Raum	209
Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz	150	Heiztage	233
EU-Gebäuderichtlinie	159, 164	Heizungsanlagen-Verordnung	149
EU-Label	176	Heizungsregelung	206, 213
Euroklasse Brandschutz	56	Heizungsunterstützung	170, 231
Expandiertes Polystyrol (EPS)	41	Heizwärmebedarf	79, 90, 147, 154
Extrudiertes Polystyrol (XPS)	42	Heizwert	20, 174, 183, 232
Fensterfugenfalz und Beschläge	112	Hocheffizienzpumpe	217, 220
Fensterlüfter	135	Hohlraumdämmung	49
Fensterorientierung Neubau	117	Holzbausteine	29
Fernwärme	194	Holzbrennstoffe	185
Feuchterückgewinnung	145	Holzfaser (WF)	44
Fixverglasung	110	Holzfertighäuser	30
Flachkollektor	226	Holzfeuerungen	186
Flachs	42	Holzhackschnitzel-Anlage	188
Flammschutzmittel	15	Holzrahmenbau	28
Floatglas	105	Holzskelettbau	28
Formaldehyd	9, 15	Holzwerkstoffe	30
Fremdstromanode	225, 230	Hydraulischer Abgleich Durchführung	217
Frischlufsystem	14, 94, 136, 146	Hydraulischer Abgleich Neubau	215
Frischwassersystem	224	Hygienischer Mindestluftwechsel	132
Funktionsweise Wärmepumpe	199	Infiltrations-Luftwechsel	127, 133, 146
Fußbodenheizung	212	Innendämmsysteme (IDS)	65

Innen-Oberflächentemperatur	11	Massivholzbau	27
Innenraumschadstoffe	8, 15, 130	Materialien Luftdichtung	123
Interne Wärmegewinne	132	Materialien Winddichtung	121
Isokorb	99	Max von Pettenkofer-Theorie	94
Isolieren	18	Mineralschaum	45
Isolierglas	104	Mineralwolle (MW)	45
Jahresarbeitszahl	201	Mini-BHKW	195
Jahres-Primärenergiebedarf	159	Mischer	208
Kältebrücke	18	Monolithische Bauweise	12, 22, 26, 71
Kalksandstein	23	Motor-Anlagen	195
Kaltdach	83	Nachhaltiges Bauen (Dämmstoffe)	39
Kalziumsilikatschaum	44	Nahwärme	194
Kanalsystem Lüftungsanlage	144	Nanogel (Aerogel)	45
Kellerlüftung	138	Nennleistung Umwälzpumpe	220
Kelvin	16	Nennwert Wärmeleitfähigkeit	36
Kerndämmung	68	Niedertemperaturkessel	181
Kesselgröße	177, 180, 188	Niedertemperatursystem	210
Kesselwartung	184	Norm-Außentemperatur	178
Klein-BHKW-Dimensionierung	196	Notheizung im Passivhaus	168, 201
Klimaboden	213	Nutzenergiebedarf	147
Kohlendioxid CO ₂	130	Nutzungsgrad	20, 37, 148, 180, 183
Kompaktheit der Gebäude	154	Oberste Geschossdecke	86
Kondensationsgrad	184	ÖKOBAUDAT	38
Konstruktive Wärmebrücke	97	Ökodesign-Richtlinie	176
Konvektion	17, 66, 75, 115, 122, 210	Opak	18, 80, 164
Kork (ICB)	44	Organische Dämmstoffe	33
Kosten WDVS	74	Passiv-solare Gewinne	167
Kostenvergleich Heizungsanlagen	189	Passivhaus-Gesamtkonzept	169
Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW)	158	Pellet-Anlagen	187
Kreuzstrom-Wärmeübertrager	138	Perimeterdämmung	40, 89
Krypton	105, 107	PH (Passivhaus)	160 ff
KWK (Kraft-Wärme-Kopplung)	160, 194, 197	Phasenverschiebung	52
Lärm Luft-Wasser-Wärmepumpe	200	Phenolharzschäum (PF)	46
LAS-System	191	Platten-Wärmeübertrager	224
Legionellen	223	Polyurethan- Hartschaum (PU)	46
Leistung	16, 232	Porenbetonstein (Gasbeton)	24
Leistungszahl (COP)	201	Poroton	23, 60
Lotuseffekt	73	Primärenergiebedarf	147, 159
Lüftungskonzept	134	Pufferspeicher	180, 187, 197, 230
Lüftungswärmeverlust	129, 152	Pumpendimensionierung	220
Luftbewegung (Zugluft)	10	Radon	9
Luftfeuchte	10, 131	Raumlufttemperatur	12
Luftschadstoffe	8, 15, 189	Raumluftunabhängiger Betrieb	192
Lufttemperatur	11	Referenzgebäude	159
Luft-Wasser-Wärmepumpe	200	Regelung	206
Luftwechselrate n ₅₀	123, 126	Relative Luftfeuchte	1361
Luftwechselrate n	132 ff, 146	Rohdichte	22
MAG (Membranausdehnungsgefäß)	217	Rohrleitungsdämmung	204
Magnesiumanode	230	Sauerstoff (O ₂)	130

Schadstoffarme Planung	14	Vorgehängte hinterlüftete Fassade (VHF)	76
Schafwolle	47	Vorlauftemperaturregelung	207
Schallschutz und Dämmstoffe	54	Vorrangschaltung Warmwasser	223
Schaumglas (CG)	47	Vor- und Rücklauf	174, 205, 208, 216
Schichtenlanzen (Solarspeicher)	230	Warme Kante (warm edge)	106
Schimmel	78	Wärmedämmputz	69
Schüttdämmstoffe	50	Wärmedämmverbundsystem	57, 70
s _d -Wert	21, 124	Wärmedurchgangskoeffizient	18
Seasonal Performance Faktor (SPF)	201	Wärmekapazität c	20, 53, 84, 161
Sommerlicher Wärmeschutz	51, 114, 121	Wärmeleitfähigkeit	17, 61
Solare Warmegewinne	107, 152	Wärmeleitrohr (Solarspeicher)	230
Sole	199	Wärmeleitzahlen	58
Speichermaterial	229	Wärmerückgewinnung (WRG)	136, 141, 167
Standortplanung	153 ff	Wärmeschutz	34
Steinwolle (MW)	45, 47	Wärmeschutzverglasung	104
Steuerung	206	Wärmeschutzverordnung	59, 149
Stirlingmotor	197	Wärmespeicherzahl S	52
Stoßlüftung	136	Wärmeübergangswiderstand	19
Strahlungswärme	210	Wärmeübertrager Lüftungsanlage	145
Stromerzeugung	194	Wandheizung	213
Stromverbrauch Lüftung	143, 167, 172	Warmdach	83
Stückholz-Kessel	186	Warmwasserspeicher	141, 201, 228
Tank-in-Tank-Speicher	230	Wasserarmaturen	225
Taupunkttemperatur	132, 234	Wasserdampf	21, 131
Temperaturamplitudenverhältnis	52	Wasserdampfdiffusionswiderstand	21
Thermohaut	70	Wasser-Wasser-Wärmepumpe	200
Thermostatventil	208	WDVS	57, 70
Transmissionswärmeverlust	152, 234	WECOBIS-Datenbank	14
Ü-Zeichen	37	Wintergarten	108
Umweltzeichen	14	Wirkungsgrad	183
U-Wert	18, 19	Witterungsbereinigung	234
Vakuum-Dämmung (VIP)	48	Zeitschaltuhr	138, 206, 225
Vakuum-Röhrenkollektor	226	Zellulose	48
VdZ-Formular	215	Ziegelstein	23
Verschattung durch Nachbargebäude	156	Zirkulationsleitung	224
Verschattung durch Vegetation	157	Zufallslüftung	136
Voreinstellbares Ventil	218	Zu- und Abluftanlagen mit WRG	138, 143



Welche Lüftung braucht das Haus? Gebäudelüftungssysteme und -konzepte

Anton Höß
3., überarb. u. aktual. Aufl.
2020, 192 S., 81 Abb. u. 26 Tab., Softcover
Fraunhofer IRB Verlag
ISBN 978-3-7388-0236-8

Alles Wichtige zu neuen Lüftungssystemen, ihren Vor- und Nachteilen sowie Investitions- und Betriebskosten. Zahlreiche Praxisbeispiele veranschaulichen die Thematik und helfen das richtige System für Neubauten und Bestandsgebäude zu finden.



Richtiges Lüften in Wohnungen

Helmut Künzel
6., überarb. Aufl.
2019, 24 S., zahlr. Abb., Geheftet
Fraunhofer IRB Verlag
ISBN 978-3-7388-0248-1

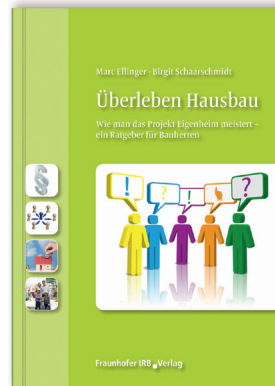
Neue Standards in der Wärmedämmung und Luftdichtheit können bei falschem Lüften schnell zu unliebsamen Feuchte- und Schimmelproblemen führen. Diese Broschüre, jetzt vollständig überarbeitet, zeigt, wie solche »Wohnschäden« und daraus resultierende Konflikte vermieden werden können.



Raumakustik im Alltag Hören – Planen – Verstehen

Christian Nocke
2., überarb. u. erw. Aufl.
2019, 348 S., 118 Abb., 47 Tab., Hörbsp. als MP3-Dateien, Hardcover
Fraunhofer IRB Verlag
ISBN 978-3-8167-9896-5

Der Autor vermittelt das Verständnis für die Zusammenhänge der Raumakustik, erläutert die raumakustischen Grundlagen und Gestaltungsmöglichkeiten. Ein Leitfaden mit vielen Beispielen und Empfehlungen aus der Praxis.



Überleben Hausbau Wie man das Projekt Eigenheim meistert – ein Ratgeber für Bauherren

Marc Ellinger, Birgit Schaarschmidt
2018, 244 S., 20 Abb., Softcover
Fraunhofer IRB Verlag
ISBN 978-3-8167-9788-3

Mit diesem Buch wird es jedem Bauherrn einfach gemacht, sein Projekt Eigenheim zu meistern. Die optisch separat ausgewiesenen Expertentipps machen dem Leser auf einen Blick deutlich, an welchen Stellen besonders kritische Fragestellungen behandelt werden.



Privater Betrieb von Photovoltaikanlagen Anlagentechnik, Risikominimierung, Wirtschaftlichkeit

Wolfgang Schröder

2017, 220 S., 140 Abb. und 5 Tab., Hardcover

Fraunhofer IRB Verlag

ISBN 978-3-8167-9855-2

Bringt die Photovoltaikanlage wirklich den erwarteten Ertrag? Gelten die Garantien, wenn der Installateur oder der Hersteller nicht mehr greifbar ist? Welche Verantwortung trägt der Eigentümer? Was ist in den laufenden Betriebsjahren noch zu beachten und zu erwarten? Das Buch gibt Antworten auf all diese Fragen.



Ökologie und Ökonomie des Dämmens Analyse und Bewertung von Dämmmaßnahmen in der Altbautsanierung

Hrsg.: Tobias Steiner

2018, 306 S., 106 Abb. u. 37 Tab., Hardcover

Fraunhofer IRB Verlag

ISBN 978-3-8167-9909-2

Dieses Buch betrachtet das komplexe Thema der nachträglichen Gebäudedämmung umfassend aus ökologischer und ökonomischer Sicht und gibt einen europaweiten Überblick über die gesetzlichen und normativen Rahmenbedingungen.



Bauen+

Energie, Brandschutz, Bauakustik und Gebäudetechnik

So geht Bauen heute: komplex, kompetent, hoch spezialisiert und doch interdisziplinär – genau wie die Bauen+.

Architektur und Bauphysik funktionieren nur durch die Teamarbeit von Generalisten und Spezialisten. Bei der Zusammenarbeit und Koordination der einzelnen Fachgebiete stoßen Architekten und Fachplaner häufig auf völlig gegensätzliche Anforderungen. Gleichzeitig lassen sich aber auch Synergien nutzen. Luftdichtheit und Schallschutz sind oft die besten Freunde des Rauch- oder Brandschutzes. Kreative und wirtschaftliche Lösungen, die Schutzziele nicht vernachlässigen, dem Bauherrn jedoch unnötigen Kosten- und Zeitaufwand ersparen, erfordern daher vielseitige Kompetenzen und die Bereitschaft zu komplexen Lösungsfindungen.

Die Bauen+ liefert Ihnen dazu die notwendigen Informationen und Best-Practice-Beispiele.

www.bauenplus.de

Thomas Königstein

Ratgeber **energiesparendes** Bauen und Sanieren

Neutrale Informationen für mehr Energieeffizienz

7., ergänzte und aktualisierte Auflage

Der Autor zeigt verständlich und anwendungsorientiert, dass Energieeinsparung weder beim Neubau noch bei der Sanierung Einschränkung und Verzicht, sondern Behaglichkeit, Qualitätssteigerung, Werterhaltung und Klimaschutz bedeutet.

Mehr denn je geht es um den Klimaschutz. Bis 2030 sollen die Emissionen von Treibhausgasen gegenüber 1990 um mindestens 55 Prozent sinken, bis 2050 soll Deutschland weitgehend treibhausgasneutral werden. Ziel ist es, die Erderwärmung auf deutlich unter 2°C zu begrenzen. Dabei spielt der Gebäudesektor eine entscheidende Rolle, denn etwa 35 Prozent des Energieverbrauchs entfällt in Deutschland auf Gebäude. Mit dem Bau eines energieeffizienten Gebäudes oder einer entsprechenden Sanierung werden Emissionen des Klimakillers CO₂ reduziert bzw. vermieden.

Dieses Buch ist ein kompetenter Ratgeber, der dem Leser produktneutrale, unabhängige Informationen an die Hand gibt, um bei seinem Bauvorhaben in jeder Phase und für jedes Bauteil die richtige Entscheidung im Sinne eines energieeffizienten Gebäudes treffen zu können.

Dazu werden nach den Grundlagen der Bauphysik alle wichtigen Themen praxisnah erläutert, von den Bau- und Wärmedämmstoffen über Bauteilkonstruktionen, Wärmebrücken, Fenster, Luft- und Winddichtheit, Lüftungs- und Heizungsanlagen bis zur Nutzung regenerativer Energien – ergänzt durch fachliche Exkurse und zahlreiche Abbildungen.

Der Autor:

Dipl.-Ing. Thomas Königstein, geboren 1957, Zimmermann, Bauingenieur, 1987 bis 1992 und 2000 bis 2019 selbstständig als unabhängiger Energieberater mit dem Schwerpunkt KMU- und Privathaus-Beratung und der Weiterbildung von Fachleuten, 1992 bis 2000 Bereichsleiter »Consulting/Kommunalangebote« bei der Energieagentur hessenENERGIE in Wiesbaden, seit 2015 Klimaschutzmanager der Stadt Brackenheim mit dem Schwerpunkt Kommunales Energiemanagement.



ISBN 978-3-7388-0370-9



9 783738 803709