

Thomas Königstein

Ratgeber energiesparendes Bauen und Sanieren

Neutrale Fachinformationen für mehr Energieeffizienz

6., aktualisierte und erweiterte 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 978-3-89367-143-4 (Blottner Verlag)

ISBN 978-3-8167-9182-9 (Fraunhofer IRB Verlag)

6., aktualisierte und erweiterte Auflage 2014

Umschlaggestaltung für Blottner Verlag: Britta Blottner

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

Umschlaggestaltung für Fraunhofer IRB Verlag: Martin Kjer

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

Lektorat: Britta Blottner, Thomas Altmann

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

Grafikgestaltung: Martin Kjer

Druck: Konrad Tritsch, Ochsenfurt-Hohstadt

Für den Druck des Buches wurde chlor- und säurefreies Papier verwendet.

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

© Blottner Verlag GmbH, 2014

Aastr. 254, 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, 2014

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 werden oder aus ihnen zitiert werden, so kann der Verlag keine Gewähr für die Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.

Vorwort	7	4.2 Dach	72
1 Behaglichkeit		4.2.1 Ausgangslage	72
– Wohlfühlen mit Komfort	8	4.2.2 Zwischensparren-Dämmung	73
1.1 Raumluftqualität	8	4.2.3 Aufsparren-Dämmung	74
1.2 Raumklima	10	4.2.4 Kombinations-Dämmung	75
		4.2.5 Unbelüftetes Flachdach	75
		4.2.6 Oberste Geschossdecke	76
		4.3 Kellerdecke und Bodenplatte	78
		4.4 Wärmeschutz – wie viel und was?	80
2 Bauphysik zum Anfassen	14	5 „Atmende Wände?“	84
2.1 Leistung und Verbrauch			
(kW und kWh)	14	6 Wärmebrücken	86
2.2 Temperatur (K)	14		
2.3 Wärmeleitfähigkeit λ	15	7 Fenster und Türen	92
2.4 Wärmedurchgangskoeffizient:		7.1 Fenster-U-Wert (U_w)	92
U-Wert	16	7.2 Verglasung	94
2.5 Spezifische Wärmekapazität c	18	7.3 Glas-Abstandhalter	95
2.6 Wasserdampfdiffusion μ	19	7.4 Gesamtenergiedurchlassgrad g	97
3 Bau- und Wärmedämmstoffe	20	7.5 Fensterrahmen	98
3.1 Mauersteine	20	7.6 Fensterarten	100
3.2 Holzwerkstoffe	25	7.7 Rollladen und Co.	101
3.3 Wärmedämmstoffe	30	7.8 Dachfenster	103
3.3.1 Nenn- und Bemessungswert		7.9 Fazit und Empfehlung	105
der Wärmeleitfähigkeit λ	34	7.10 Türen (U_p)	107
3.3.2 Dämmstoffübersicht	36	7.11 Wintergarten	108
3.3.3 Sommerlicher Wärmeschutz	47		
3.3.4 Schallschutz	50	8 Luft- und Winddichtheit	110
3.3.5 Brandschutz	52	8.1 Winddichtung	111
4 Wo dämme ich wie und wie viel?	54	8.2 Luftdichtung (Dampfbremse)	113
4.1 Die Außenwand:		8.3 Der Drucktest (Blower-Door)	116
Das ‚falsche‘ Hauptthema	55	9 Lüftung	119
4.1.1 Innendämmung	56	9.1 Lüften und Energiesparen	119
4.1.2 Kerndämmung	60	9.2 Fenster-Lüftung (Zufallslüftung) ..	126
4.1.3 Wärmedämmputz	61	9.3 Kontrollierte (Bedarfs-)Lüftung ...	126
4.1.4 Außendämmung	61		
4.1.5 Fazit und Empfehlung	69		
4.1.6 Transparente Wärmedämmung	70		

9.3.1	Dezentrale Lüftungsanlagen	127	13	Warmwasserbereitung	214
9.3.2	Zentrale Lüftungsanlagen	130			
9.3.3	Fazit und Empfehlung	136			
10	Gebäude-Dämmstandards	137	14	Thermische Solaranlagen	218
10.1	Energetische Gebäudeplanung	138	14.1	Kollektor	218
10.1.1	Wärmegewinne und -verluste (Standortplanung)	139	14.2	Die Solaranlage – mehr als ein Kollektor	220
10.1.2	Kompaktheit der Gebäude	140	14.3	Solarspeicher	221
10.1.3	Potenziale solarer Gewinne	142			
10.2	EnEV 2014 (2016)	144	15	Rationeller Stromeinsatz	224
10.2.1	Neubauplanung	146	15.1	Stromverbrauch Privathaushalte ..	224
10.2.2	Altbausanierung	151	15.2	Leerlaufverluste (stand by)	225
10.2.3	Energieausweis (EnEV 2014)	154	15.3	Sparsame Haushaltsgeräte	227
10.3	Passivhaus	158	15.4	Beleuchtung	229
11	Heizungsanlagen	170	16	Anhang	230
11.1	Prinzip der Warmwasser-Pumpenheizung	170	16.1	Abkürzungen	230
11.2	Energieträger	171	16.2	Tabellen/Umrechnungen	231
11.3	Heizkessel	173	16.3	Internet-Adressen	235
11.3.1	Kesselleistung (Heizlast)	174	16.4	Quellenverzeichnis	235
11.3.2	Heizöl- und Gasheizung	175	16.5	Stichwortverzeichnis	236
11.3.3	Holzheizung	178			
11.4	Abgasleitung/ Kamin/Schornstein	185			
11.5	Braucht wirklich jedes Haus seinen eigenen Kessel?	186			
11.6	Blockheizkraftwerk (BHKW)	188			
11.7	Wärmepumpe (WP)	192			
12	Heizflächen/Wärmeverteilung	197			
12.1	Rohrnetz (Wärmeverteilung)	198			
12.2	Steuerung/Regelung	200			
12.3	Heizflächen	203			
12.3.1	Niedertemperatursystem	203			
12.3.2	Kompaktheizflächen (Heizkörper)	204			
12.3.3	Flächenheizungen	205			
12.4	Hydraulischer Abgleich	208			
12.5	Umwälzpumpe	212			

Vorwort

Beim Bauen – ob es sich nun um einen Neubau oder die Sanierung eines Gebäudes handelt, sollten auf der einen Seite das Wohlbefinden und die Gesundheit der Bewohner bzw. Nutzer und auf der anderen Seite die Energieeinsparung einen wichtigen Platz einnehmen.

Dies haben u.a. Architekten, Bauträger, Baustofflieferanten, aber auch Politiker erkannt und Begriffe geprägt wie z.B. „Ökologisches Bauen, Natürliches Bauen, Ökohaus, Niedrigstenergiehaus und Nullenergiehaus oder Effizienzhaus Plus“.

Leider tragen all diese scheinbaren Qualitätsmerkmale keineswegs 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 Fach-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 in erster Linie ein Beitrag zu einem höheren Komfort, zu einer größeren Wohnbehaglichkeit und außerdem zur Qualitätssteigerung sowie Werterhaltung.

Und immer mehr an Bedeutung gewinnen der Klimaschutz und die Ressourcenschonung.

Nach dem Prinzip der Energieeffizienz einen Neubau zu realisieren oder einen Altbau zu sanieren, trägt zur Vermeidung un-

nötiger Emissionen des Klimakillers CO₂ bei und schon die immer knapper werdenden Vorräte an Erdöl oder Erdgas.

Schon vergessen? Immer neue „Jahrhundert“-Hochwasserkatastrophen und -Orkanshäden (nicht nur) in Deutschland, Italien, Pakistan und Australien oder die tauenden Permafrostböden und steigenden Schneefallgrenzen in den Alpen.

Schon vergessen? Erdgas wird von der Förderung bis zum Verbrauch um die halbe Welt gepumpt. Auch Erdöl wird unter enormem Aufwand über Leitungen oder Schiffe transportiert. Unfälle, Leckagen und Brände führen regelmäßig wie in Alaska, vor Spanien oder im Golf von Mexiko zu Naturkatastrophen. Und die Erdöl- und Erdgasförderländer liegen zudem in politisch kritischen Zonen, was dauernd zu weltweiten Spannungen bis hin zu Kriegen führt.

Ach ja – energieeffizientes Bauen spart auch noch viel Geld. Werden energiesparende Maßnahmen von Anfang an berücksichtigt und geplant, sind heute dafür kaum oder gar keine Mehrkosten zu zahlen. Umso höher aber ist die daraus resultierende Einsparung der Betriebskosten für Wärme und Warmwasser oder 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 in wenigen Jahren „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 Raumluftqualität und
- ein gutes Raumklima.

1.1 Raumluftqualität

Die Luftqualität in den Innenräumen, unsere Raumluftqualität, 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 auch für unsere Gesundheit.

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

Schwerflüchtige Substanzen dagegen dünsten Jahre bis Jahrzehnte aus. Deshalb sind sie – obwohl heute u.a. wegen Krebsgefahr verboten – immer noch vorhanden in alten Holzschutzmitteln (PCP = Pentachlorphenol, Lindan, DDT), in Fugendichtungsmaterialien, in Kondensatoren für Leuchtstofflampen (PCB = polychlorierte Biphenyle) oder in Klebemitteln mit Teer (PAK = Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe).

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

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, häufigere Erkältungskrankheiten bis hin zu Krebs werden oft nicht mit den Innenraumschadstoffen in Verbindung gebracht.

Wie gut ist nun die Qualität unserer Raumluft bzw. Atemluft?

Beim Begriff „Luftverschmutzung“ denken die meisten zuerst an die Verschmutzung der Außenluft durch gefährliche 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 Raumluftqualität 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 Raumluft beimengen. Und die Quellen der Belastung sind sehr 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, Elektromog, Schädlingsbekämpfungsmittel).

Eine gute Raumluftqualität ist machbar. Die Belastungsquellen aus dem Baugrund sind zu umgehen: Beim Grundstückskauf sollte man z.B. Regionen mit hohen Radonkonzentrationen, die auf dem Eindringen von Bodengas durch winzige Risse oder Fugen in das Gebäude beruhen, 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 Flammenschutz- oder Konservierungsmittel in Baustoffen enthalten sein können, oder das Eindringen von Fasern aus Dämmstoffen in den Raum wird durch eine – auf jeden Fall notwendige – luftdichte Ausführung des Gebäudes vermieden.

Bei Möbeln sollten z.B. Span-, Tischler- oder Furnierplatten vermieden werden, deren Leim Formaldehyd enthält (seit 1990 sind in Deutschland für Innenräume nur noch emissionsarme, sog. E1-Werkstoffe zugelassen). Alternativen bestehen in Platten mit Leim ohne Formaldehyd oder in der Nutzung von Massivholz.

Formaldehyd ist u.a. auch in vielen Reinigungsmitteln als Desinfektionsstoff enthalten. Hier, wie im gesamten Bereich der Nutzung, lassen sich die Luftschadstoffe vor-

allem durch ein angepasstes Kaufverhalten vermeiden.

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 möglichen chemischen Luftverunreinigungen der Raum(Atem)luft zu vermeiden.

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

Exkurs Radon

Radon ist ein natürlich vorkommendes radioaktives Edelgas, das bei hoher Konzentration das Lungenkrebsrisiko stark erhöht. Die Empfehlung, kein Grundstück in solchen Gegenden zu kaufen, lässt sich wohl nur selten umsetzen, wenn man sich die regionalen Radonkarten einzelner Länder näher anschaut.

Gemessen wurden die höchsten Konzentrationen in Deutschland in den Bundesländern Bayern, Thüringen und Sachsen; in Österreich in den Bundesländern Nordtirol, Salzburg, Kärnten und Oberösterreich; in der Schweiz in den Kantonen Graubünden, Jura, Neuenburg, Tessin und Uri sowie im italienischen Südtirol im Vinschgau und im Pustertal.

Beim Neubau ist dann 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.

Ob Ihr Ort von einer hohen Radonkonzentration betroffen ist und welche Maßnahmen zu treffen sind, zeigen Ihnen Karten und Hinweise im Internet (Suchmaschine „Radonkarte“).

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
- Umgebungslächentemperatur (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

bewegte Luft eine geringere Temperatur als die Raumluft hat und vorwiegend aus einer bestimmten Richtung ein Körperteil trifft. Schon 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 finden wir es 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 1969 hinwies:

524.9 : 536.2	DEUTSCHE NORMEN	August 1969
Wärmeschutz im Hochbau		<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;"> DIN 4108 </div>

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 Wärmeführung 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. 121).

Bei einer Feuchte unter etwa 35% hat sich gezeigt, dass durch diese Austrocknung die Staubbildung erleichtert wird und durch Verschmelzung von Staub z.B. auf Heizkörpern u.a. Ammoniak und andere Gase entstehen, welche die Atmungsorgane reizen. Auch Kunststoffe werden dann elektrisch aufgeladen und sammeln zusätzlich Staubteilchen. Die Schleimhäute unserer oberen Atemwege trocknen aus. Deshalb wird im Winter eine Befeuchtung der Raumluft auf mindestens 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

2.3 Wärmeleitfähigkeit λ

Sie beschreibt, wie viel Energie durch ein Material (hier: Bau- oder Dämmstoff) hindurchgeht 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. Typische Größen für die Wärmeleitfähigkeit von Baumaterialien:

Material	λ [W/(mK)]
Aluminium	160,00
Stahlbeton	2,00
Zementestrich	1,40
Hochlochklinker	1,05
Kalkzementputz	1,00
Ziegel um 1930	0,80
Gipsputz	0,70
Kalksandstein	0,56
Ziegel um 1960	0,52
Hohlblockstein um 1970	0,50
Ziegel um 1975	0,30
Nadelholz	0,13
Dämmstoff (Durchschnitt)	0,04

Je weniger Wärme durch ein Material strömt, je schlechter also die Wärmeleitfähigkeit ist, desto kleiner ist die Zahl. Unter Fachleuten wird der Wert heute mit „Bemessungswert“ der Wärmeleitfähigkeit bezeichnet. Nur er ist für die Berechnung des U-Wertes (\rightarrow S. 17) einzusetzen.

Das gilt auch für Dämmstoffe: Hier aber ist die Ausgangsgröße der „Nennwert“ der Wärmeleitfähigkeit λ_p – eine Herstellerangabe, aus der sich der Bemessungswert ergibt. Darauf wird unter 3.3.1 (\rightarrow S. 34) noch im Detail eingegangen.

Da Luft prinzipiell ein schlechter Wärmeleiter ist wird klar, dass das λ auch von der

Rohdichte (\rightarrow S. 20) abhängt. Je leichter ein Stoff, desto mehr Luft ist in vielen kleinen Poren (z.B. Porenbeton \rightarrow S. 22) oder Zellen (Wärmedämmstoffe \rightarrow S. 36) 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	λ [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 wirken mit $\lambda = 1,08 \text{ W}/(\text{mK})$ wie ein Hochlochklinker!

Statt der Angabe der Wärmeleitfähigkeit [z.B. $\lambda = 0,035 \text{ W}/(\text{mK})$] wird oft noch von der Wärmeleitfähigkeitsgruppe WLG, in diesem Fall WLG 035, oder von WLS 035 als Wärmeleitfähigkeitsstufe gesprochen. Beides hilft Ihnen nur nicht weiter: Sie interessiert weder die Gruppe noch die Stufe, sondern nur exakt der 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

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 (und keinesfalls von Kältebrücken) gesprochen. Dies ergibt 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 dieser Wert immer noch unter der längst nicht mehr zulässigen Bezeichnung k-Wert.

Seine Einheit ist Watt je Quadratmeter und Kelvin $[W/(m^2K)]$. 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 $[m]$ durch seine Wärmeleitfähigkeit und nehmen anschließend den Kehrwert des Ergebnisses!

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

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

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

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

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

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

Der Vergleich: 12 cm Standarddämmstoff bringen das gleiche Ergebnis wie $36,5\text{ cm}$ eines „guten“ Ziegels (\rightarrow S. 21).

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

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

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

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

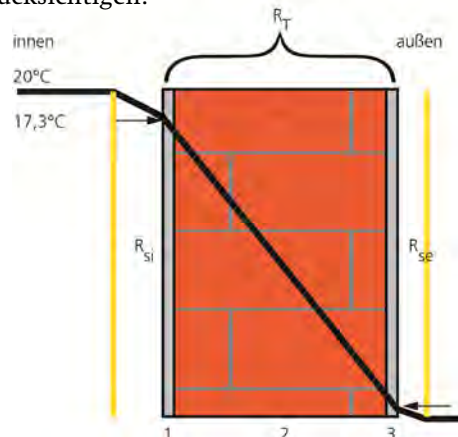
Achtung!

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 Österreich wurden sie bereits 1996 als DIN EN ISO 6946 bzw. ÖNORM EN ISO 6946 und 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:



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 - 2.200 kg/m³ Rohdichte und einer entsprechend hohen Wärmeleitfähigkeit ab $\lambda = 0,50 \text{ W/(mK)}$. Dafür ist es ein preisgünstiger und statisch hervorragend geeigneter Baustoff, der mit geringen Wandstärken von 24 oder 17,5 cm auskommt und in großen Formaten angeboten wird. Bei Außenwänden kombiniert man deshalb diese Vorteile in Verbindung mit einer zusätzlichen Wärmedämmung von außen:



Man spricht dann auch von einem Wärmedämm-Verbundsystem WDVS (→ S. 62).

Betonstein

Vor allem aus Sand und Zement werden in Verbindung mit verschiedenen Zusatzstoffen Bausteine unterschiedlicher Eigenschaften hergestellt. Da Beton wegen seiner hohen Rohdichte von über 2.000 kg/m³ 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/m³).

- Beton-Hohlblocksteine für Garagen und Kellerwände. Sie werden heute in Normalform oder als T-Hohlblock nur noch 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 werden niedrige Rohdichten (500 bis 1.200 kg/m³) erreicht, mit entsprechend relativ geringen Wärmeleitfähigkeiten.

Je nach Zuschlagstoff und Herstellungsverfahren schwankt der Primärenergieverbrauch: Für einen Blähton-Leichtbetonstein liegt er bei etwa 470 kWh/m³, dagegen für einen Bimsbetonstein bei nur 200 kWh/m³.

Beispiel für einen Vollblock aus Naturbims (Bisotherm) mit $\lambda = 0,09 \text{ W/(mK)}$:



Mit dieser niedrigen Wärmeleitfähigkeit ist der Stein eine Alternative zum Ziegel.

Porenbetonstein (Gasbeton)

Es handelt sich um eine Sonderform der Betonsteine. Sie werden nach DIN 4165 zu 70% aus feinem Sand und einem porenbildenden Zusatzmittel z.B. auf Aluminiumbasis hergestellt. Die genaue Bezeichnung lautet Porenbeton-Blockstein (G) oder -Planstein (GP). Sie werden für Außen- und Innenmauern eingesetzt.

Bekannter sind diese weißen Mauersteine unter der Bezeichnung ‚Gasbetonstein‘ mit den Markennamen Ytong, Hebel, Greisel, Xella oder Porit.

Sie haben trotz einer vergleichsweise hohen Festigkeit ein geringes Gewicht (Roh-

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 Fünfzehn- bis Zwanzigfache seines ursprünglichen Volumens auf. Wegen seines Ursprungs kann Bläh-Perlit auch schwach radioaktiv sein.

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

Bläh-Perlit wird seit 1955 als Dämmung eingesetzt: Als Schüttung (S) vor allem in Hohlräumen und Fußböden, bei der Verarbeitung ist eine starke Staubentwicklung möglich. Als Platten (P), zu denen gemahlene Perlite mit Zellulosefasern vermischt wird, werden sie vor allem für die Innendämmung genutzt.

physikalische Eigenschaften, Hersteller (Marke)	
λ_0 [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 künstlicher 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 Decken sowie Bodenplatten.



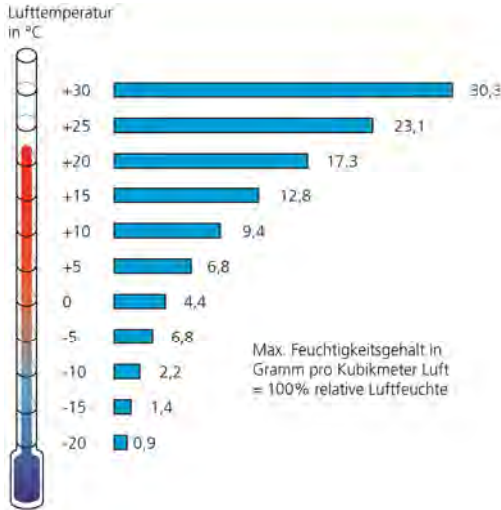
EPS-Platten sind i.d.R. weiß. Es gibt sie aber auch farblich verändert (z.B. weiß-grau gesprenkelt) bis hin zu schwarzen Platten mit dem Markennamen Neopor®. Diese Platten enthalten zusätzlich Graphitpartikel, durch welche die Wärmestrahlung gestreut und so die Wärmeleitfähigkeit auf bis zu 0,031 W/(mK)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

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

physikalische Eigenschaften, Hersteller (Marke)	
λ_0 [W/(mK)]	0,031 bis 0,050
ρ [kg/m ³]	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 Schluss werden allerdings die Styrolperlen noch



Wie die Grafik zeigt, kann z.B. Luft von 10°C nur noch maximal 9,4 g Wasserdampf enthalten, ohne dass es zur Kondensation (Tauwasser) 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 die meisten, dass Lüften keinen Sinn macht. Das Gegenteil ist der Fall. Denn die Außenluft enthält nur $6,8 \text{ g/m}^3 \times 100\% = 6,8 \text{ g/m}^3$ Wasserdampf (als absolute Luftfeuchte). Innen ist der Wasserdampfgehalt ($17,3 \text{ g/m}^3 \times 75\% = 13,0 \text{ g/m}^3$) wesentlich höher.

Die Bilanz: Mit jedem m^3 Luft entweichen durch die Lüftung $13,0 - 6,8 = 6,2 \text{ g}$ Wasserdampf aus dem Raum. Und das ist genau der Effekt, der durch das Lüften 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 „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, höchstens alle 2 Stunden einmal 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 stark an, da pro Luftwechsel immer weniger Dampf abgeführt werden kann. An milden Tagen mit feuchtem Wetter muss 2 bis 3mal häufiger als an kalten Wintertagen gelüftet werden.

Hygienischer Mindestluftwechsel

CO_2 und Wasserdampf sind die eigentlich kritischen Gase, weshalb kontrolliert und bewusst aktiv gelüftet werden muss (die Innenraumschadstoffe verschwinden dann gleichzeitig).

Dazu reicht in Wohngebäuden als sog. hygienischer Mindestluftwechsel eine Luftwechselrate n von $0,5 \text{ h}^{-1}$ sowohl aus hygienischen als auch aus Energieeinspargründen aus – d.h. durchschnittlich alle zwei Stunden ist die Komplettlüftung des gesamten Gebäudevolumens erforderlich, die eine gute Raumluftqualität 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 wie eine Lüftungsanlage betrieben wird. Eine Luftwechselrate $n = 1,0$ bedeutet, dass im Gebäude im Mittel einmal pro Stunde die Luft komplett erneuert wird. Beträgt die Luftwechselrate $n = 2,0$, wird die Luft pro Stunde zweimal erneuert, bei $n = 0,5$ alle zwei Stunden.

Eine Luftwechselrate n von „1“ bedeutet für eine 75 m^2 Wohnung in Potsdam z.B.

Die bessere Lösung besteht in einem Erdreich-Sole-Luft-Wärmeübertrager. Ein mit Sole (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 Luftwechselrate n durch Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung (WRG)

Sie setzt sich aus den zwei bekannten Komponenten zusammen: Aus der hier erweiterten Luftwechselrate $n_{Anl.} \times (1 - \eta)$ durch die Lüftungsanlage mit WRG (und z.B. einen Wirkungsgrad η von 80%) sowie durch die bekannte Infiltra-

tions-Luftwechselrate $n_{Inf.}$ über Undichtheiten:

$$n = [n_{Anl.} \times (1 - \eta)] + n_{Inf.}$$

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 $n_{Inf.}$ beträgt dann 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 $n_{Anl.} = 0,40 \text{ h}^{-1}$ 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 Berechnungen durchzuführen sind:

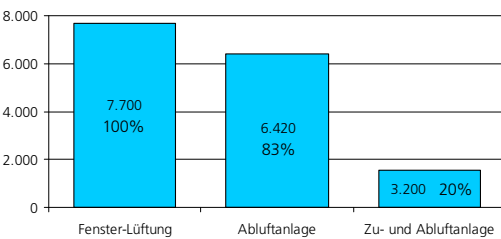
$$n = 0,40 \text{ h}^{-1} \times (1 - 0,80) + 0,028 \text{ h}^{-1} = 0,11 \text{ h}^{-1}.$$

9.3.3 Fazit und Empfehlung

Die kontrollierte Wohnungslüftung als permanentes Frischluftsystem ist der Stand der Technik in etwa 90.000 Niedrigenergie- und mehr als 40.000 Passivhäusern, die in den vergangenen 20 Jahren gebaut wurden. Die Vorteile gegenüber der Fensterlüftung sind überzeugend:

- Schutz der Bausubstanz (Vermeidung von Kondenswasser und Feuchteschäden)
- dauerhaft sehr gute Raumluftqualität
- dadurch höchste Behaglichkeit
- Energieeinsparung bei der Lüftung.

Lüftungswärmeverluste eines Hauses mit 168 m^2 je Heizperiode
kWh/a



Alle Bewohner heben die dauerhaft gute Raumluftqualität in ihren Wohnungen hervor, die sie vorher im 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 gleichzeitig sehr guter Dichtheit der Gebäudehülle!

Abluftanlagen sind der Mindeststandard heutigen Komforts und gehören zu jedem Neubau. Bei guten EnEV 2014-Gebäuden sind Frischluftsysteme mit einer effizienten Wärmerückgewinnung zu empfehlen; bei Passivhäusern (PH) sind sie zwingend erforderlich, wobei ein zusätzlicher Erdreichwärmeübertrager sinnvoll sein kann.

Wird dieses Frischluftsystem „vergessen“, lässt es sich nachträglich nur mit relativ hohem Aufwand nachrüsten!

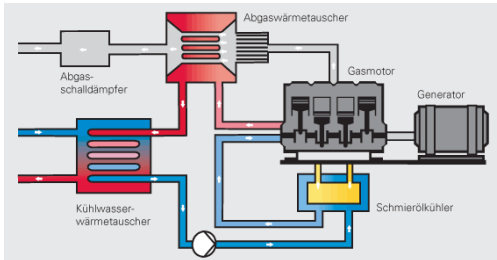
Heute...	...und morgen !
<p>Der Mensch braucht Licht! Genau! Deshalb haben wir bei der Planung der 4 1/2-Zimmer-Maisonettewohnung in Musterhausen besonderen Wert auf großzügige Fensterflächen gelegt. Die ca. 118 m² große Wohnung hat 2 Bäder, eine große Südwest-Dachterrasse mit traumhaftem Blick ins Grüne.</p>	<p>Der Mensch braucht Licht und Luft! Genau! Deshalb haben wir bei der Planung der 4 1/2-Zimmer-Maisonettewohnung in Darmstadt besonderen Wert auf ideal angeordnete Fensterflächen und eine hochwertige Lüftungsanlage gelegt. Die ca. 118 m² große Wohnung hat 2 Bäder, eine große Südwest-Dachterrasse mit traumhaftem Blick ins Grüne.</p>

So sollte es sein: Die Immobilien-Anzeige [7]

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 sehr einfach aufgebaut, können im Teillastbereich zur flexiblen Anpassung an den oft wechselnden Strom- und Heizlastbedarf „gefahren“ werden und stehen vor allem in kleinen Leistungsbereichen 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 - 90 °C wird überwiegend der Begriff Blockheizkraftwerk (BHKW) verwendet. Nicht unüblich sind auch Begriffe wie MHKW (Motorheizkraftwerk) oder HKA (Heizkraftanlage).

Ihr Wirkungsgrad liegt bei ca. 90%. Die Wärme wird für die Raumheizung und die Warmwasserversorgung genutzt, der gleichzeitig erzeugte Strom meist im Gebäude selbst oder über die ohnehin vorhandenen 230- bzw. 400-V-Netze an die Nachbarschaft verteilt.

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 Ab-

fallprodukt 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 30 bis 40% und die Reduktion von CO₂- und Schadstoffemissionen.

Klein-BHKW (Mini- und Mikro-BHKW)

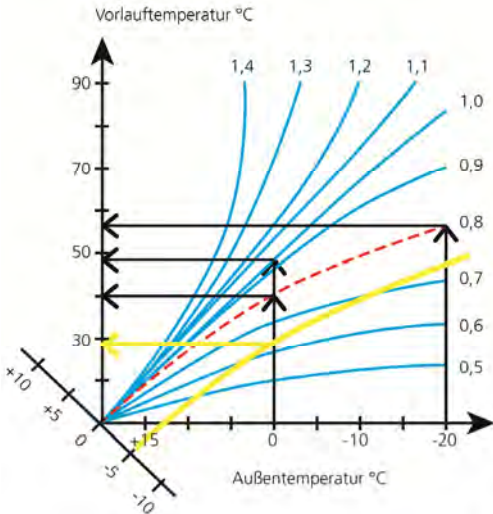
BHKW sind längst praxiserprobte Serienprodukte, seit Jahren im Einsatz und in einem breiten Leistungsspektrum von 1 kW_{elt.} bis über 1.000 kW_{elt.} (elt = elektrische Leistung) auf dem Markt. Das Kernstück des BHKW ist der für den stationären Betrieb ausgerüstete Motor mit Stromgenerator sowie Wärmeübertragern (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_{elt.} bezeichnet (enthalten sind Mikro- von 1 bis 3 kW_{elt.} und Mini-BHKW von 4 bis 10 kW_{elt.}). Modulgrößen sind u.a. (th = thermische Leistung o. Wärmeleistung): 1 kW_{elt.}/2,5 kW_{th.}; 5 kW_{elt.}/12,3 kW_{th.}; 9 kW_{elt.}/20 kW_{th.}; 12 kW_{elt.}/25 kW_{th.}; 20 kW_{elt.}/43 kW_{th.} oder z.B. 30 kW_{elt.}/62 kW_{th.}. Wichtig: Sie erzeugen die Energien in einem festen Verhältnis von ca. einem Teil Strom zu zwei Teilen Wärme.



Ihr Platzbedarf ist sehr gering (energiewerkstatt 20 kW_{elt.}, rechts Vaillant 1 kW_{elt.}).

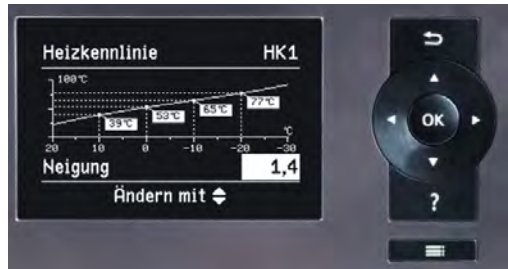
Dieser Zusammenhang wird für jedes Gebäude individuell über die sog. Heizkurve oder Heizkennlinie (SOLL-Werte) eingestellt:



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 Kesselinstallation 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 Heizflächen 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 ist einfach eine andere, in diesem Fall steilere Heizkurve, hier z.B. die Kurve 1,0 zu wählen. 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. Nachtabsenkung des Systems eingestellt (dargestellt durch die gelbe Kurve). Dadurch sinkt die Vorlauftemperatur auf ca. 29°C während der üblichen (und oft vom Werk voreingestellten) Absenkezeit in Wohngebäuden von 22.00 bis 6.00 Uhr. Die flachen Heizkurven (hier von 0,7 - 0,5) sind üblich für Fußbodenheizungen, die niedrigere Vorlauftemperaturen brauchen. Steilere 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 der 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 die Krümmung erhöht oder der Fußpunkt angehoben werden, z.B. für etwas höhere Vorlauftemperaturen in den Übergangszeiten Frühjahr und Herbst bei Außentemperaturen deutlich über +5°C.

Mischerregelung

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 1. für die Heizkörper, die mit bis zu 75°C Vorlauf „gefahren“ werden und der 2. für die Fußbodenheizung, die mit max. 35°C Vorlauftemperatur auskommt (sonst besteht „Stappentanzgefahr“).

Da es nur einen Kessel gibt, der eine Vorlauftemperatur in Bezug auf die höchste Anforderung bereitstellt, würde eine 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 (kühlenden) Rücklaufwassers direkt in den Vorlauf

12.5 Umwälzpumpe

Den Transport des vom Heizkessel erwärmten Wassers zu den Heizflächen übernimmt die Umwälzpumpe. Meist ist sie alt und immer zu groß dimensioniert, d.h. ihre elektrische Anschlussleistung ist i.d.R. um den Faktor 10 zu groß.

Diese ist, falls überhaupt, auf dem Gehäuse mit P1 angegeben (P2 ist die wesentlich geringere mechanische Pumpenleistung). Maßgebend für den Stromverbrauch



ist P1. Vor allem die für Ein- und Zweifamilienhäuser typisch kleinen Pumpen < 100 W sind unreguliert, haben aber eine meist dreistufige Einstellung der Leistung (z.B. 40/65/95 W). I.d.R.

stehen sie auf mittlerer oder höchster Stufe. Ihr Wirkungsgrad ist mit max. 20% gering.

Die Folge: Ein (zu) hoher Stromverbrauch! Bei einer Einstellung auf 65 W betragen die Pumpenstromkosten im günstigsten Fall rund 100 € pro Heizzeit. 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 Gebäudeheizlast (nicht der Kesselleistung auf dem Typenschild!).

Für einen Neubau (EnEV 2014) mit einer beheizten Fläche von z.B. 140 m² beträgt die Heizlast 7 kW. Daraus folgt eine Pumpe mit einer Stromleistung von 7 Watt, bei guter Planung und hydraulischem Abgleich.

Energie-Effizienz-Index (EEI)

Auf Grundlage der Ökodesign-Richtlinie gilt die EG-Verordnung 622/2012 über die Energieeffizienz von externen (Nassläufer-)Umwälzpumpen mit einer Leistung von 1 bis 2.500 W, die u.a. in Heizungsanlagen neu eingebaut oder ersetzt werden.

Maßgebend ist der sog. Energie-Effizienz-Index (EEI). Dabei wird die über ein Lastprofil ermittelte elektrische Pumpenleistung in Relation zu einer Referenzpumpe (durchschnittliche Pumpe mit gleicher hydraulischer Leistung) betrachtet.

Als Grenzwert gilt seit dem 01.01.2013 ein $EEI \leq 0,27$, mit dem die jeweilige Pumpe zu kennzeichnen ist. Zum 01.08.2015 wird der EEI-Grenzwert weiter auf 0,23 gesenkt. Dann wird für die Pumpen auch endgültig das derzeit noch gültige EU-Label abgelöst,



das die Energieeffizienz nach Klassen unterscheidet (siehe Haushaltsgeräte), und nur noch der EEI angegeben.

Bisher galt eine Pumpe mit Klasse A als energieeffizient, was allerdings nur einem $EEI \leq 0,40$ entspricht. Da aber alle Hersteller auch im Hinblick auf solche Verordnungen seit Jahren an energieeffizienten Pumpen arbeiten, sind sie längst in der Lage, Pumpen mit einem $EEI \leq 0,18$ anzubieten. Ein gutes Beispiel dafür, dass die Politik der Industrie nachläuft – und nicht umgekehrt.

Ausnahmen

Wie immer gibt es für bestimmte Produkte innerhalb einer Produktgruppe Ausnahmen, die auch diese Verordnung vorsieht, teilweise mit entsprechenden Übergangsfristen.

16.3 Internet-Adressen

Autor: www.energie-bildung.de • AGÖF (Arbeitsgemeinschaft Ökologischer Forschungsinstitute e.V.): www.agoef.de • AKÖH (Arbeitskreis Ökologischer Holzbau e.V.): www.akoeh.de • ASUE (Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch): www.asue.de • BAFA (Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle): www.bafa.de • Boxer-Infodienst Regenerative Energie: www.boxer99.de • Bund der Energieverbraucher: www.energieverbraucher.de • Bundesverband Kraft-Wärme-Kopplung e.V.: www.bkww.de • BSW (Bundesverband Solarwirtschaft): www.solarwirtschaft.de • Deutsche Energie-Agentur: www.dena.de • EA NRW: www.ea-nrw.de • hessenENERGIE: www.hessenenergie.de • ENEV-online: www.enev-online.de • Fachverband Luftdichtheit im Bauwesen e.V. (FLiB): www.flib.de • Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.: www.fnr.de • Fachverband Transparente Wärmedämmung: <http://umwelt-wand.de> • www.licht.de • Hessische Energiespar-Aktion: www.impulsprogramm.de • Institut Wohnen und Umwelt: www.iwu.de • KfW: www.kfw.de • Niedrig-Energie-Institut (NEI): www.spargeräte.de • Internationales Institut für Nachhaltigkeitsanalysen (GEMIS): www.iinas.org • EA Österreichische Energie-agentur: www.energyagency.at • DBU-Projekt Optimus zum hydraulischen Abgleich: www.delta-q.de • Passivhaus Dienstleistung GmbH: www.passivhaus-info.de • Passivhaus Institut: www.passiv.de • Online-Berechnung U-Wert: www.u-wert.net • Umweltbundesamt: www.umweltbundesamt.de

16.4 Quellenverzeichnis

[1] Michael Bonk, Newen Arndt: ‚Unbelüftete Flachdächer mit Vollsparrendämmung – Nässeschäden infolge eingeschlossener Baufeuchtigkeit‘ in Bauphysik 24 (2002), Heft 3, Verlag Ernst&Sohn

[2] IWU: Energiesparinformation Nr. 04, Wärmebrücken, Darmstadt (2010)

[3] IWU: Energiesparinformation Nr. 01, Energieeinsparung an Fenstern und Außentüren, Darmstadt (2011)

[4] Michael Rossa: ‚Geneigt ist anders‘ in tür-tor-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 4.81, IINAS, Darmstadt (2013)

[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)

[16] Hessisches Umweltministerium: Strom effizient nutzen, Wiesbaden (2011)

[17] Klaus Michael (NEI): Besonders sparsame Haushaltsgeräte, Detmold (2013)

16.5 Stichwortverzeichnis

Abluftanlage	127, 130, 131	Dämmstoffvergleich	46
Abstandhalter Glas	96	Dampfbremse, -sperre	19, 113, 115, 116
Absolute Luftfeuchte	121	Dezentrale Abluftanlagen	127
Aerogel (Nanogel)	41	Diffusion	84, 115
Äquivalente CO ₂ -Emissionen	184, 231	Dunstabzughäube	134
Algen auf Fassaden	64	Durchlauf, -flussprinzip	215
Anlagenaufwandszahl e _p	147	EDV-gestützte Gebäudesimulation	161
Anschlussdetails	81 ff	EEWärmeG	150, 155, 191
Anzahl Geschosse	141	Elektrische Warmwasserbereitung	228
Arbeit	14, 231	Endenergiebedarf	137
Arbeitszahl (SPF)	195	Energieausweis Neu- und Altbau	155
Atmosphärischer Brenner	176	Energiedienstleistung	54, 137
Ausstellungsberechtigung Ausweis	156	Energie-Effizienz-Index (EEI)	21
Außenwand-Dämmsysteme	55	Energiekennzahl	137
Außerbetriebnahme Heizkessel	152	Energiekosten	172
A/V-Verhältnis	140	Energielabel	226
Bagatellgrenze 10%	151	Energiesparlampe	229
Balkon	88 ff	Energy Star	226
Bauform	140	EnEV 2002 bis 2009	144
Bedarfsausweis	156	Erdreichwärmeübertrager	135
Bemessungswert Wärmeleitfähigkeit	34	Erdreich-Wasser-Wärmepumpe	193
Berechnung Luftwechselrate	123, 136	EU-Gebäuderichtlinie 2010	146, 154
Berechnung Pumpengröße	213	EU-Label	155, 173, 225
Berechnung Rohrleitungsverluste	199	Expandiertes Polystyrol (EPS)	37
Berechnung U-Wert	17	Extrudiertes Polystyrol (XPS)	37
Berechnung U _w -Wert	93	Fensterfugenfalz und Beschläge	101
Berechnung Volumenstrom (Abgleich)	211	Fensterlüfter	125
Betonstein	22	Fensterorientierung Neubau	106
BHKW-Anlagen	189	Fernsehgerät	226
Bivalent	221	Fernwärme	188
Bläh-Perlite (EPB)	37	Fixverglasung	99
Blähglas	36	Flachkollektor	219
Blaubrenner	175	Flachs	38
Brandschutz Wärmedämmung	52	Förderung BHKW	191
Brauchwarmwasser	214	Fremdstromanode	216, 222
Brennerstarts	216	Frischluftsystem	126
Brennstoffzelle	192	Frischwassersystem	216
Brennwert	171, 177, 231	Funktionsweise Wärmepumpe	193
Brennwertkessel	176	Fußbodenheizung	205
Brettlagenbauweise	26	Gasbeton	22
Bußgeldkatalog Energieausweis	157	Gastherme	176
CE-Kennzeichnung	34, 35, 104	Gebäudeausrichtung	142
Computer	226	Gebaute Beispiele Passivhaus	166
COP (Leistungszahl)	194	Gelbbrenner	175
Dachform und Neigung	141	Geneigte Verglasung	104
Dachsanieierung	73	Geometrische Wärmebrücke	86
Dämmstein	23	Geschirrspülmaschine	228

Glaseigenschaften	95	Klein-BHKW-Dimensionierung	190
Glaseinstand	96	Klimaboden	206
Glaswolle (MW)	39, 41	Kohlendioxid CO ₂	120
Globalstrahlung	218, 232	Kompaktheit der Gebäude	140
Gradtagzahl G _t	32, 233	Kondensationsgrad	177
Green IT	227	Konstruktive Wärmebrücke	87
Gurtdurchführung	102	Konvektion	15, 66, 104, 113
g-Wert	97	Kork (ICB)	40
Hanf	39	Kosten WDVS	66
Heizenergiebedarf	137	Kostenvergleich Heizungsanlagen	183
Heizgradtag HGT	233	Kühl- und Gefriergeräte	228
Heizkennlinie	201	KWK (Kraft-Wärme-Kopplung)	188, 191
Heizkörper	101, 204	LAS-System	185
Heizkörperventil	208	Legionellen	215, 217
Heizkurve	201	Leistung	14, 231
Heizlast	174	Leistungszahl (COP)	194
Heiztage	199, 233	Leuchtdiode (LED)	229
Heizungsregelung	146, 153, 200	Lichtstrom/Lichtfarbe	229
Heizungsunterstützung	223	Lüftungskonzept	124
Heizwärmebedarf	137	Lüftungswärmeverlust	119, 138
Heizwert	171, 177, 231	Luftbewegung (Zugluft)	10
Hocheffizienzpumpe	213	Luftfeuchte	10, 121
Holzbrennstoffe	178	Luftschadstoffe	8, 184
Holzfaser (WF)	39	Lufttemperatur	11
Holzfertighäuser	28	Luft-Wasser-Wärmepumpe	194
Holzfeuerungen	179	Luftwechselrate n ₅₀	117, 123
Holz hackschnitzel-Anlage	180	Luftwechselrate n	122 ff, 136
Holzrahmenbau	26	MAG (Membranausdehnungsgefäß)	210
Holz skelettbau	26	Magnesiumanode	216, 222
Holzwerkstoffe	28	Massivholzbau	25
Hygienischer Mindestluftwechsel	122	Materialien Luftdichtung	114
Infiltrations-Luftwechsel	117, 123	Materialien Winddichtung	112
Innendämmsysteme (IDS)	57	Max von Pettenkofer	84
Innen-Oberflächentemperatur	11	Mindest-Dämmstandard	147
Innenraumschadstoffe	8, 120, 126	Mineralschaum	40
Interne Wärmegewinne	138	Mineralwolle (MW)	41
Isokorb	89	Mini-BHKW	189
Isolieren	16	Mischer	201
Jahresarbeitszahl	195	Monolithische Bauweise	12, 20, 24
Jahres-Primärenergiebedarf	146, 152	Nachhaltigkeit bei Dämmstoffen	32
Kältebrücke	16	Nachhaltiges Bauen	32
Kalksandstein	21	Nachtstromspeicherheizung	153
Kaltdach	73	Nahwärme	188
Kalziumsilikatschaum	40	Nanogel (Aerogel)	41
Kanalsystem Lüftungsanlage	134	Niedrigenergiehaus (NEH)	145
Kellerlüftung	128	Nennleistung Umwälzpumpe	212
Kelvin	14	Nennwert Wärmeleitfähigkeit	34
Kesselgröße	174, 182	Niedertemperaturkessel	175
Kesselwartung	178	Niedertemperatursystem	203

Notheizung im Passivhaus	165	Stromverbrauch Lüftung	133, 164
Nutzenergiebedarf	137	Stückholz-Kessel	180
Nutzungsgrad	18, 32, 176, 177	Tank-in-Tank-Speicher	222
Oberste Geschossdecke	76, 152	Taupunkttemperatur	122, 234
Ökodesign-Richtlinie	173, 212	Thermische Trennung	88
Opak	16, 70	Thermohaut	62
Passiver Sonnenkollektor	97, 164	Thermostatventil	202
Passivhaus-Gesamtkonzept	165	Transmissionswärmeverlust	138, 234
Pellet-Anlagen	181	Trockner	228
Perimeterdämmung	36, 38, 43, 79	Ü-Zeichen	35
PH (Passivhaus)	158	Vakuum-Dämmung (VIP)	44
Phasenverschiebung	48	Vakuum-Röhrenkollektor	219
Phenolharzschaum (PF)	41	Verbrauchsausweis	156
Platten-Wärmeübertrager	216	Verschattung durch Nachbargebäude	142
Polyurethan- Hartschaum (PU)	42	Verschattung durch Vegetation	143
Porenbetonstein (Gasbeton)	22	Verwendung Energieausweis	156
Power-Safer	226	Voreinstellbares Ventil	210
Primärenergiebedarf	137	Vorgehängte hinterlüftete Fassade (VHF)	67
Primärenergiefaktor	147	Vorlauftemperaturregelung	200
Pufferspeicher	180, 216, 222	Vorrangschaltung Warmwasser	216
Radon	9	Vorschaltgerät Warmwasser	228
Raumlufttemperatur	12	Vor- und Rücklauf	171, 203
Raumluftunabhängiger Betrieb	186	Warme Kante, warm edge	96
Referenzgebäude	149	Wärmekapazität c	18, 49, 211
Regelung	200	Wärmeleitrohr (Solarspeicher)	223
Relative Luftfeuchte	121	Wärmerückgewinnung (WRG)	128, 133
Rohdichte	20	Wärmeschutzverglasung	94
Rohrleitungsdämmung	153, 198	Wärmespeicherzahl S	48
Sauerstoff (O ₂)	120	Wärmeübertrager Lüftungsanlage	135
Schafwolle	42	Wärmeübergangswiderstand	17
Schallschutz und Dämmstoffe	50	Wandheizung	206
Schalungsstein	23	Warmdach	73
Schaumglas (CG)	43	Warmwasserspeicher	216, 222
Schichtenlanzen (Solarspeicher)	223	Waschmaschine	228
s _d -Wert	19, 115	Wasserarmaturen	217
Sommerlicher Wärmeschutz	47, 74, 103	Wasserdampf	19, 121
Solardaten	232	Wasserdampfdiffusionswiderstand	19
Solare Wärmegewinne	97, 138, 164	Wasser-Wasser-Wärmepumpe	194
Sole	193	WDVS (Wärmedämmverbundsystem)	62
Speichermaterial	222	Wintergartenbau Mindestregeln	109
Standardheizkessel	175	Wirkungsgrad	18, 177
Stand by	225, 227	Zeitschaltuhr	200, 226
Standortplanung	139 ff	Zellulose	44
Steinwolle (MW)	41, 43	Ziegelstein	21
Steuerung	200	Zirkulationsleitung	200, 217
Stirlingmotor	192	Zufallslüftung	126
Stoßlüftung	126	Zu- und Abluftanlagen mit WRG	128, 133
Strahlungswärme	203		
Stromerzeugung	188		