

Planungshilfe Energiesparendes Bauen

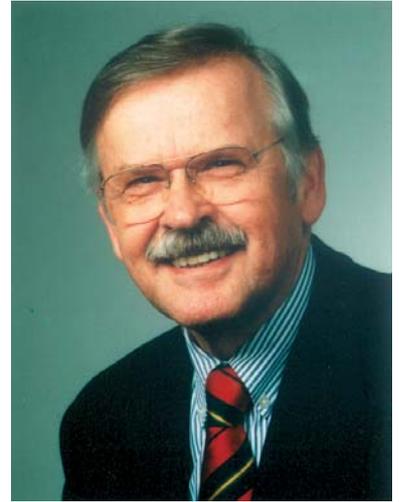


Inhaltsverzeichnis

	Vorwort	4
A	Einleitung	6
B	Planung von Neubauten	9
1.	Einführung	9
2.	Planungs- und Konstruktionshinweise	10
2.1	Gebäudegeometrie	10
2.2	Bauweise	10
2.3	Grundrissplanung, Organisation	11
2.4	Außenwandflächen	13
2.5	Dächer und Decken	15
2.6	Fenster	16
2.7	Neue Entwicklungen	20
2.7.1	Transuzente/transparente Wärmedämmung	20
2.7.2	Passivhaus	22
2.7.3	Doppelfassaden	24
2.8	Sonnenschutz, sommerlicher Wärmeschutz	26
2.9	Energiekonzepte	34
2.10	Wärmeverteilung und Heiztechnik	35
2.11	Raumlufttechnische Anlagen, Wärmelasten	38
2.12	Künstliche Beleuchtung	41
2.13	Kriterien für die technische Gebäudeausrüstung für Wettbewerbe und Vorentwurfsplanung	43
3.	Beispielprojekt für den Neubau	49
C	Maßnahmen im Gebäudebestand	53
1.	Einführung	53
2.	Bestandserfassung und Planung der Maßnahmen	55
2.1	Bestandsaufnahmen	55
2.2	Maßnahmenplanung	56
3.	Planungs- und Konstruktionshinweise, Berechnungsbeispiele	59
3.1	Außenwände	59
3.1.1	Wärmedämmverbundsystem	61
3.1.2	Vorhangfassade/Verkleidung	62
3.1.3	Wärmedämmputz	63
3.1.4	Vormauerung/Verblendung	64
3.1.5	Kerndämmung	65

Planungshilfe Energiesparendes Bauen

3.1.6	Innendämmung	66	2.1	Solarthermie	131
3.1.7	Bemessungsbeispiele	69	2.2	Fotovoltaik	132
3.2	Fenster und Fenstertüren	78	2.3	Wärmepumpe	134
3.2.1	Verbesserung vorhandener Fenster	78	2.4	Wasserkraft	135
3.2.2	Fenstererneuerung	81	2.5	Windkraft	135
3.2.3	Sonstige Maßnahmen im Fensterbereich	82	2.6	Biomasse	135
3.2.4	Bemessungsbeispiele	82	2.7	Geothermie	136
3.3	Dächer	84	3.	Energiemanagement	139
3.3.1	Steildächer	84	4.	Gebäudeautomation	142
3.3.2	Flachdächer	87			
3.3.3	Decken zu unausgebauten Dachräumen	90	E	Bauphysikalische Begriffe und Zusammenhänge	145
3.3.4	Bemessungsbeispiele	91			
3.4	Bauteile gegen unbeheizte Räume	102	1.	Bauphysikalische Begriffe	145
3.4.1	Kellerdecken	102	1.1	Raumklima	145
3.4.2	Wände zu unbeheizten Räumen	103	1.2	Wasserdampfdiffusion	148
3.4.3	Bemessungsbeispiele	103	1.3	Luftdichtigkeit	149
3.5	Bauteile gegen Erdreich	107	1.4	Wärmebrücken	150
3.5.1	Kelleraußenwände	107	1.5	Wärmeschutz	152
3.5.2	Bauwerkssohle	107	1.6	Wärmespeicherung	153
3.5.3	Bemessungsbeispiele	108	1.7	Wärmegewinne	159
4.	Anlagentechnische Maßnahmen	112	2.	Berechnungen in der Praxis	160
4.1	Einführung	112	2.1	Simulations- und Berechnungsprogramme	160
4.2	Einsparpotentiale	112	2.2	Die Berechnungsverfahren der EnEV (Beispiele)	161
4.3	Auswirkungen der Energieeinsparverordnung auf anlagentechnische Maßnahmen im Bestand	112	2.3	Baustofftabellen DIN V 4108 Teil 4: 2002-02	173
4.4	Sanierungs- und Modernisierungsmaßnahmen	114	2.4	Wirtschaftlichkeitsberechnungen	223
4.4.1	Heizung	114	2.4.1.	Einführung	223
4.4.2	Klima (RLT/Kälte)	114	2.4.2.	Mathematische Grundlagen	223
4.4.3	Sanitär (Kalt- und Warmwasser)	115	2.4.3.	Berücksichtigung veränderlicher Kosten- größen wie Preissteigerungen	224
4.4.4	Elektrotechnik/Strom	116	2.4.4.	Sensitivitätsanalysen	224
5.	Beispielprojekt für energetische Sanierungen	117	F	Anhang	236
D	Anlagentechnische Maßnahmen	125	1.	Verordnungstext	
1.	Alternative Anlagentechniken	125	1.1	Energieeinsparverordnung (EnEV)	236
1.1	Kraft-Wärme-Kopplung	125	2.	Rechtsgrundlagen der Energieeinspar- verordnung	270
1.2	Sorptionskälte	127	3.	Literatur und Links	275
1.3	Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung	127	4.	Glossar	276
1.4	Brennwerttechnik	127	5.	Abbildungsverzeichnis	286
1.5	Brennstoffzelle	128			
2.	Regenerative Energien	130			



Vorwort

Die öffentliche Hand ist seit jeher zum sparsamen Umgang mit den Haushaltsmitteln verpflichtet. Diese Maxime gilt auch für die Errichtung und den Betrieb staatlicher Gebäude. Dafür hat sich in den letzten Jahren unter dem Begriff „Facility Management“ eine ganzheitliche Betrachtung durchgesetzt. In der freien Wirtschaft gebräuchliche Instrumente wie Energiecontrolling oder Benchmarking werden zunehmend auch im öffentlichen Sektor verwendet.

Dabei steht das schon eine lange Tradition aufweisende Bemühen um Energiesparen im Vordergrund. Seit 1974 werden in den Bauverwaltungen der Länder „Empfehlungen zum energiesparenden Bauen“ beachtet. Die 1981 erstmals erschienene Planungshilfe „Energiesparendes Bauen“ gab Hinweise zur praktischen Umsetzung der Empfehlungen. Motivation in dieser Zeit war vor allem der Wunsch, die große Importabhängigkeit von flüssigen und gasförmigen Brennstoffen bei stark angestiegenen Energiepreisen zu verringern.

Die Neufassung im Jahre 1998 stellte bereits die drohenden globalen Klimaveränderungen und die daraus resultierende, weltweit erkannte Notwendigkeit zur Reduktion der Emissionen klimarelevanter Gase in das Zentrum der Bemühungen um das energiesparende Bauen.

Gut ein Drittel der CO₂-Emissionen werden dem Energieverbrauch im Gebäudebereich zugerechnet. Die im Februar 2002 in Kraft getretene Energieeinsparverordnung ist auf Grund dieses enormen Einsparpotentials ein Kernstück des nationalen

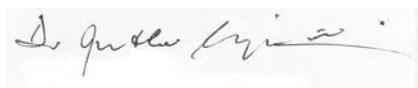
Klimaschutzprogramms der Bundesregierung. Erstmals werden die Energieverbräuche eines Gebäudes auch primärenergetisch bewertet, d. h. der zulässige Energieverbrauch richtet sich nicht mehr nur nach den Kilowattstunden, sondern auch danach, wie effizient und umweltfreundlich sie erzeugt werden.

Die meisten Landesregierungen unterstützen die Bemühungen des Bundes um den Klimaschutz mit eigenen Klimaschutzprogrammen oder -aktionsplänen. Diese setzen häufig einen Schwerpunkt bei Maßnahmen zur Energieeinsparung in Landesliegenschaften.

Nur durch gemeinsame Anstrengungen der Nutzer und der Bauverwaltungen in allen Phasen des Bauens und des Betriebs öffentlicher Gebäude – von der Errichtung über die Nutzungsphase bis hin zu Umbauten – können die gestellten Klimaschutzziele erreicht werden.

Aber auch innerhalb der Bauverwaltungen muss der Diskurs verstärkt werden. Nur durch einen ständigen zielgeleiteten Dialog zwischen den unterschiedlichen fachlichen Disziplinen können in einem abgestimmten Prozess Optimierungsansätze erkannt und realisiert werden.

Die von der Fachkommission Bauplanung erarbeitete Planungshilfe gibt wertvolle Hinweise, wie beim Neubau, beim Bauen im Bestand oder bei der Auswahl und Gestaltung der Anlagentechnik den neuen anspruchsvollen Regelungen – auch durch eine integrale Planung von Architekten und Fachplanern – Rechnung getragen werden kann. Das Spannungsfeld aus den Zielsetzungen zum Klimaschutz und dem Nachhaltigkeitsprinzip einerseits und dem Gebot der Wirtschaftlichkeit andererseits ist eine Herausforderung, die es anzunehmen gilt.



Dr. Gunther Krajewski,
Vorsitzender des Ausschusses für staatlichen
Hochbau der Bauministerkonferenz

A Einleitung

Die Bemühungen um einen verbesserten Klimaschutz sind in den Industrienationen weltweit im Gange. Auch die Bundesregierung hat sich zu umfangreichen Einsparungen verpflichtet: Die CO₂-Emissionen sollen im Vergleich zu den Emissionen im Jahr 1990 bis 2005 um 25 % zurückgehen. Das bedeutet, dass die gesamten von Deutschland ausgehenden CO₂-Emissionen von ca. 1.014 Mio. t im Jahr 1990 auf 760 Mio. t in 2005 reduziert werden sollen.

Um dieses ehrgeizige Ziel noch zu erreichen, wurde im Jahr 2000 ein „Nationales Klimaschutzprogramm“ mit insgesamt 64 Einzelmaßnahmen beschlossen.

Ca. ein Drittel der CO₂-Emissionen entsteht durch den Energieverbrauch im Gebäudebereich. Daher ist die am 01.02.2002 in Kraft getretene [Energieeinsparverordnung \(EnEV\)](#) ein wesentliches Element des Maßnahmenkatalogs des Bundes. Sie stellt an Planer und Bauherren neue Anforderungen mit dem Ziel, durch energiesparendes Bauen die Emissionen klimarelevanter Gase, vor allem des CO₂, das bei der Nutzung fossiler Energieträger für die Raumheizung entsteht, merklich zu reduzieren.

Während die erste Wärmeschutzverordnung von 1977 (Novellierungen 1982 und 1995) noch aus

dem Willen zur Reduzierung der Abhängigkeit der Bundesrepublik von importierten Energieträgern entstand, sind die Ziele der EnEV vielfältiger geworden:

- CO₂-Reduzierung zum Zwecke des Klimaschutzes,
- Senkung des allgemeinen Ressourcenverbrauchs,
- Senkung der Betriebskosten,
- Transparenz für Nutzer und Eigentümer durch Energiepässe.

Der Geltungsbereich erstreckt sich auf alle Gebäude (Neubau und Bestand), die zum Zwecke der Nutzung beheizt werden müssen. Inbegriffen sind alle betriebstechnischen Anlagen für Heizung, Raumluft und Warmwasserbereitung.

Zum ersten Mal wird der Primärenergieverbrauch eines Neubaus – für Heizung, Lüftung und Warmwasserbereitung – in die Anforderungen einbezogen. Damit werden alle Verluste, die von der Energiegewinnung bis zu ihrer Nutzung entstehen, soweit wie möglich berücksichtigt (siehe Abb. 1).

Gegenüber der Wärmeschutzverordnung 1995 ist das Anforderungsniveau für Neubauten um ca. 30 % gestiegen, eine Forderung, die der Bundesrat

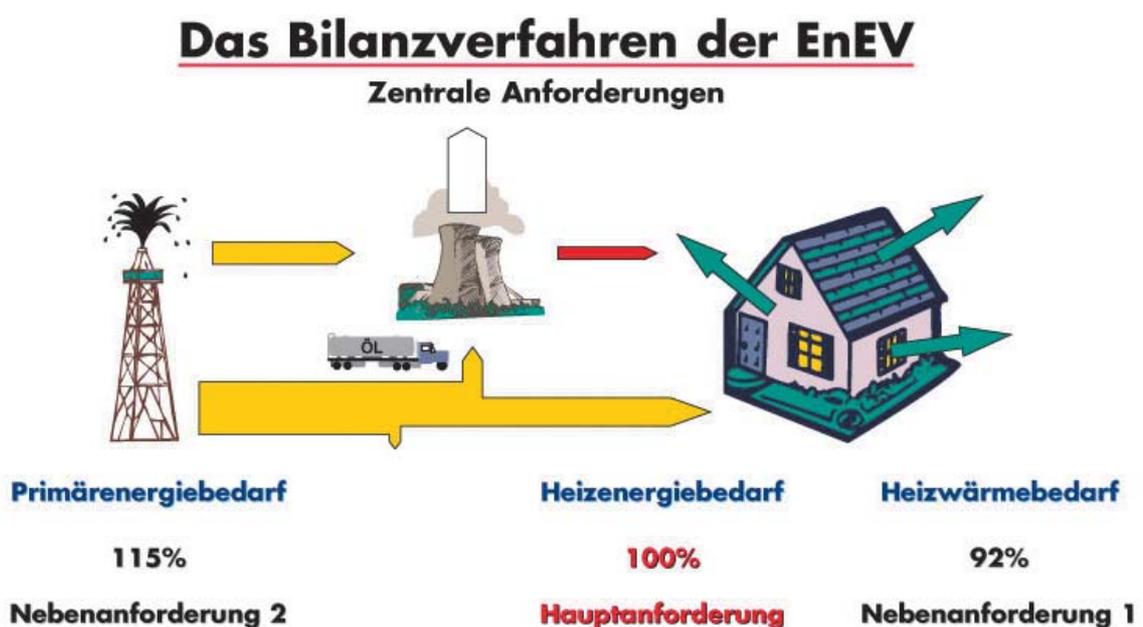


Abb. 1 Stufen des Energiebedarfs, Gesamtenergiebedarf in Deutschland (Quelle: Energieagentur NRW)

bereits bei der Neufassung der Wärmeschutzverordnung 1995 erhoben hatte.

Die größten Energieeinsparpotentiale liegen im Gebäudebestand. Daher hat die EnEV auch hier ihre Anforderungen erhöht. Da der Bestandsschutz und die Möglichkeiten eines Eingriffs in das Eigentum im Grundgesetz verankert sind, greifen die Maßnahmen neben bestimmten Nachrüstpflichten, die sich am Grundsatz der Amortisation orientieren müssen, in erster Linie bei baulichen Veränderungen.

Die Höhe des Energieverbrauchs eines Gebäudes wird wesentlich von dem architektonischen Entwurf beeinflusst. Das betrifft vor allem den **Jahres-Heizwärmebedarf** und den Strombedarf für Beleuchtung und ggf. maschinelle Lüftung. Den Architekten und Stadtplanern kommt somit eine wesentliche Verantwortung für die energetische Qualität des Entwurfs eines Gebäudes zu.

Für die Versorgung der Gebäude mit Wärme, Kälte und Strom sollen unter den Aspekten

- Versorgungssicherheit,
- Wirtschaftlichkeit,
- Minimierung des Verbrauchs von nicht erneuerbarer Energie,
- Umweltentlastung,
- Nutzung regenerativer Energien sowie
- Behaglichkeit

integrierte Konzepte entwickelt werden, die auf die Erfordernisse der Nutzung abzustimmen sind. Hier sind Architekten und Planer der technischen Gebäudeausrüstung gefordert, bauphysikalische und anlagentechnische Maßnahmen gemeinsam zu erarbeiten, um den Primärenergieverbrauch zu begrenzen.

Der Markt bietet eine Fülle von Hilfsmitteln, die eine interaktive Planung und einen Zugriff auf den Planungsstand der beteiligten Planer ermöglichen. So ist eine frühzeitige Kooperation möglich.

Für Bauherren und Eigentümer bedeuten die durch die erhöhten Anforderungen der EnEV entstehenden Mehrkosten nur am Anfang eine Belastung. Mittel- und langfristig gesehen führt die Energieeinsparung nicht nur zur Entlastung der Umwelt, über die Amortisationszeit hinaus kann auf diese Weise auch viel Geld eingespart werden.

Der Einsatz **regenerativer Energien** wird in Zukunft immer intensiver genutzt werden, um den fremd erzeugten Energiebedarf für ein Gebäude zu senken. Nicht zuletzt im Gebäudemanagement wird die eine oder andere Entscheidung durch die langfristigen Betriebskosten entschieden werden. Auch wird die Vermarktung von Immobilien, die ihre Energieeffizienz belegen, in Zukunft immer interessanter werden. Um diese Entwicklung und das damit verbundene Bewusstsein voranzutreiben, kann der öffentliche Bausektor als Vorbild und Multiplikator dienen.

Die vorliegende Planungshilfe dient den Zielen der Bundesregierung, den nachhaltigen Klimaschutz zu unterstützen. Sie gibt Hilfestellungen, in jeder Hinsicht energetisch optimierte Gebäude zu errichten, die Ressourcen so weit wie möglich zu schonen und die Umwelt so geringfügig wie möglich zu belasten.

Die Planungshilfe „Energiesparendes Bauen“ wurde im Auftrag des Ausschusses für staatlichen Hochbau der Bauministerkonferenz durch eine gemeinsame Projektgruppe der Fachkommission Bauplanung und der Fachkommission Haustechnik und Krankenhausbau mit dem Ziel erarbeitet, eine praxisingerechte Arbeitshilfe für das staatliche Baumanagement vor Ort zu schaffen.

Zum Aufbau der Planungshilfe:

Die Planungshilfe ist in fünf Abschnitte (A-E) unterteilt.

Abschnitt

- A: Einführung
- B: Planung von Neubauten
- C: Maßnahmen im Gebäudebestand
- D: Anlagentechnische Maßnahmen
- E: Grundlagen
- F: Anhang

Der **Abschnitt B** befasst sich mit den Anforderungen des energiesparenden Bauens an den Neubau. Neben Planungs- und Konstruktionshinweisen und grundsätzlichen Überlegungen zur Gebäudeform und Grundrissorganisation werden Hinweise gegeben, um einen Neubau ökologisch und ökonomisch im Sinne einer ganzheitlichen Betrachtung zu optimieren. Dem Gedanken der integralen Planung folgend, wird der Abschnitt B durch Überlegungen zur konventionellen Anlagentechnik ergänzt.

Ein Beispielprojekt aus dem öffentlichen Hochbau zeigt, dass energiesparendes Bauen nicht nur theoretisch möglich ist, sondern immer öfter zur täglichen Praxis des Bauens gehört.

Auf Grund der besonderen Anforderungen werden in einem eigenen **Abschnitt C** die Maßnahmen zur Energieeinsparung im Gebäudebestand behandelt. Nach den Erläuterungen zur Bestandserfassung und zur Planung solcher Maßnahmen werden Planungs- und Konstruktionshinweise einschließlich zugehöriger Berechnungsbeispiele gegeben. Auch dieser Abschnitt schließt mit der Vorstellung eines bereits durchgeführten Sanierungsbeispiels ab.

Abschnitt D zeigt Maßnahmen zur Energieeinsparung in der besonderen Anlagentechnik auf. Überlegungen zur Wahl der Energieträger sollen helfen, Konzepte für anstehende Projekte von Anfang an auf den richtigen Weg zu bringen. Als besonderes Thema werden regenerative Energiequellen behandelt, da sie für das energiesparende Bauen von besonderer Bedeutung sind. Zur ganzheitlichen Betrachtung eines Gebäudes vervollständigt schließlich das Energiemanagement (Strommanagement, Betriebsüberwachung etc.) das Thema.

In **Abschnitt E** werden bauphysikalische Grundlagen erläutert, die sich auf alle Abschnitte beziehen und Rechenverfahren sowie Berechnungsbeispiele nach EnEV dargestellt.

In **Abschnitt F** schließlich sind die rechtlichen Grundlagen dargestellt. Literaturhinweise und Links zu Internetadressen geben die Möglichkeit, über die Planungshilfe hinaus in die verschiedenen Themen des energiesparenden Bauens einzusteigen. Mit einem Glossar der wichtigsten Fachbegriffe schließt die Planungshilfe ab.

B Planung von Neubauten

1. Einführung

Mit der neuen [Energieeinsparverordnung](#) sind die bisherige Wärmeschutzverordnung und die Heizungsanlagenverordnung zusammengefasst worden (siehe Abb. 2). Dabei wurden nicht nur Verschärfungen der bisherigen Anforderungen in die neue Verordnung eingestellt, vielmehr ist die Gestaltungsfreiheit größer geworden. Die EnEV ermöglicht, Wärmeschutzmaßnahmen und die Anlagentechnik gemeinsam zu betrachten und Kompensationseffekte zu berücksichtigen. Bei der energetischen Optimierung eines Gebäudes nach EnEV ist zu bedenken, dass die Investitionen in die Gebäudehülle in der Regel für die Lebensdauer des Gebäudes erfolgen, während Investitionen in die betriebstechnischen Anlagen häufig bereits nach 20 Jahren erneut anfallen.

Die erhöhten Anforderungen der Energieeinsparverordnung dürfen aber nicht dazu führen, dass der Planer Bauteile einseitig nach Wärmedämmkriterien dimensioniert. Hierbei besteht die Gefahr, dass

- kostenintensive Konstruktionen gewählt werden, oder dass
- Konstruktionen ohne Langzeiterfahrung ausgewählt werden, die ein erhöhtes Risiko für den Bauherrn bergen (Mitteilungspflicht des Planers!). Bewährte Konstruktionen, die den allgemein anerkannten Regeln der Technik entsprechen, haben nach wie vor ihre Berechtigung.

Bauaufsichtliche Zulassungen bieten keine Gewähr für die Bewährung des Produkts am Bauwerk im Sinne der EnEV, sondern schließen lediglich eine Gefährdung der Öffentlichkeit aus. Zur energetischen Optimierung eines Gebäudes sind eine Vielzahl von weiteren Parametern zu beachten, die in dieser Planungshilfe angesprochen werden.

Wärmetechnisch verstärkte Konstruktionen stehen oft im Widerspruch zu bisher bekannten bauphysikalischen Eigenschaften hinsichtlich Brandschutz, Schallschutz (z. B. bei Wärmedämmverbundsystemen oder leichterem Mauerwerk) oder bezogen auf die Standfestigkeit. Bei neu gewählten Kombinationen sind diese Eigenschaften daher genau zu überprüfen.

Es ist die Pflicht jedes einzelnen am Bau Beteiligten, durch ressourcenschonendes Bauen über Gesetze und Verordnungen hinausgehend die Umwelt so wenig wie möglich zu belasten. So ist

es im Sinne der Energieeinsparverordnung und des nachhaltigen Bauens unerlässlich, die Gebäudetechnik von Anfang an in den Entwurfs- und Planungsprozess zu integrieren.

Der Abschnitt B enthält Planungs- und Konstruktionshinweise, die alle Bereiche des Neubaus berühren, von der Gebäudegeometrie über Hinweise zu einzelnen Bauteilen bis hin zur technischen Gebäudeausrüstung. Der Abschnitt stellt ein Gebäude beispielhaft dar, das – obwohl schon im Jahr 1996 fertiggestellt – einen erhöhten Wärmeschutz aufweist. Im Sinne der integralen Planung wird die konventionelle Anlagentechnik bereits in diesem Abschnitt behandelt. Die darüber hinausgehenden Planungshinweise sind in Abschnitt D „Anlagentechnische Maßnahmen“ dargestellt.

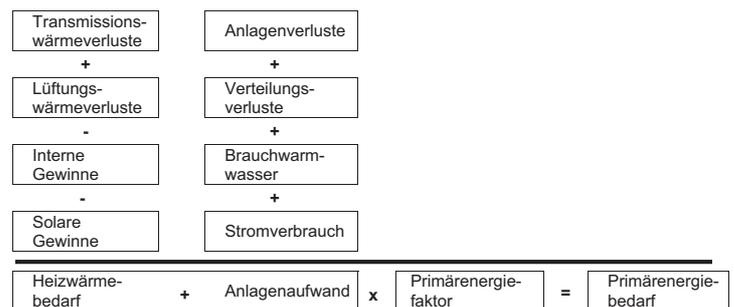


Abb. 2 Die Zusammenfassung von Wärmeschutzverordnung und Heizungsanlagenverordnung

2. Planungs- und Konstruktionshinweise

2.1 Gebäudegeometrie

Bedeutung der Gebäudegeometrie

Die **Kompaktheit** eines Gebäudes wirkt sich direkt auf seinen Energieverbrauch aus. Ein Gebäude mit einer großen Oberfläche im Verhältnis zum Volumen gibt mehr Wärme ab als ein kompaktes Gebäude, ähnlich den Rippen eines Heizkörpers. Des Weiteren erschweren stark gegliederte Baukörper wegen der **Hüllflächenvergrößerung** und der Vielzahl von Anschlusspunkten ein wirksames Wärmeschutzkonzept.

Die Energieeinsparverordnung legt den maximalen **Jahres-Primärenergiebedarf** bzw. **Transmissionswärmeverlust** in Bezug auf das **A/V_e-Verhältnis** eines Gebäudes fest. Dabei fällt auf, dass im Widerspruch zum Energiespardenkmal Gebäude mit einer schlechteren Kompaktheit bezogen auf den Energiebedarf pro m² Nutzfläche mit weniger strengen Werten belegt werden als kompakte Gebäude (siehe **Kapitel F. 1: EnEV, Anhang 1, Tabelle 1**). Um nicht dem Gedanken zu verfallen, dass ein weniger kompaktes Gebäude daher einem kompakten vorzuziehen ist, sei darauf hingewiesen, dass die sog. Q-max-Werte bei kompakten Gebäuden entsprechend leichter zu erreichen sind.

A/V_e-Verhältnis

A/V_e ist das Verhältnis der wärmeübertragenden Umfassungsfläche zum hiervon eingeschlossenen beheizten Bauwerksvolumen.

Die **Nutzfläche** eines Gebäudes verhält sich bei gegebener Raumhöhe in etwa proportional zum Gebäudevolumen V. Die Transmissionswärmeverluste steigen proportional mit der Oberfläche der Gebäudehülle. Folglich ist der Quotient A/V_e ein Maß für das Verhältnis von Aufwand (Hülle, die gebaut und gedämmt werden muss, bzw. die Wärme überträgt) zum Nutzen (Nutzvolumen oder -fläche).

Wärmebrücken werden in die Berechnungen nach EnEV einbezogen und auch äußere Einflussfaktoren wie z. B. aneinandergereihte Bebauung oder freistehende Gebäude werden mit unterschiedlichen Werten belegt.

Bei der Planung eines Gebäudes sollte darauf verzichtet werden, die Oberfläche eines Gebäudes durch unnötige Elemente zu vergrößern. Die kompakteste Form eines Körpers in Bezug auf sein

Volumen ist die Kugel. Bezogen auf Gebäude kommt dieser Form ein Kubus (Quadrat oder Rechteck) am nächsten. Jede weitere Veränderung dieser klaren Form, z. B. durch Erker oder andere Anbauten, verschlechtert das A/V_e-Verhältnis. Daher ist die Oberfläche eines Baukörpers aus energetischer Sicht möglichst gering zu halten. Dabei können Simulationsprogramme Fehler in der Vorplanung auf ein Minimum reduzieren.

Zusätzlich zur heizungstechnischen Komponente wird durch einen kompakten Baukörper bei gleicher Nutzfläche auch der Verbrauch an Ressourcen reduziert.

Checkliste für eine günstige Gebäudeform

- kompakte Gebäudeform ohne Versprünge, wie z. B. Erker etc. (günstiges A/V_e-Verhältnis),
- Vermeidung von Wärmebrücken,
- keine zu geringe Geschossigkeit (aber max. 25 m aus bauordnungsrechtlichen Gründen),
- vernünftige Gebäudetiefe (maximalwerte für einseitige Fensterlüftung beachten),
- Gebäudeausrichtung.

Tangierende Normen:

- EnEV: 2001–11,
- DIN EN 832: 1998–12,
- DIN EN ISO 13789: 1999–10,
- DIN V 4108–6: 2000–11,
- DIN V 4108–6/A1: 2000–08,
- DIN 4701–10: 2001–02,
- DIN 4710: 1982–11.

2.2 Bauweise

Die Bauweise bzw. das Konstruktionsprinzip beeinflusst entscheidend die Materialauswahl für ein Gebäude.

Massivbauweise

Vorteile

- Baumasse kann zur Regulierung der Temperaturschwankungen genutzt werden (Speicherwirkung schwerer Bauteile),
- einfache Konstruktion,
- bei Wänden mit Außendämmung ist die Vermeidung von Wärmebrücken relativ einfach.

Nachteile

- im Vergleich zum Leichtbau längere Bauzeit (außer bei Montage von Fertigteilen),
- hohes Gewicht.

Rückbau

- eine Rückführung in den Stoffkreislauf ist bei Vermeidung von Verbundmaterialien problemlos.

Bauphysik

- auf Grund der Speicherfähigkeit und des guten Schallschutzes bei konstruktiv richtiger Ausbildung keine Probleme.

Oft wird eine äußere massive Hülle mit innerer Leichtbauweise verbunden, um die Variabilität durch schnellere Umbauten zu gewährleisten. Die Erfahrung hat jedoch gezeigt, dass dieser Vorteil nur selten genutzt wird. Unter dem Aspekt des sommerlichen Wärmeschutzes ist daher ein massiver Kern sinnvoller.

Leichtbauweise

Vorteile

- schnelle Montage,
- wenig Baumaterial,
- geringe Wandstärken bei hoher Dämmwirkung (mehr Raumgewinn).

Nachteile

- Schallschutz, Brandschutz und Speicherfähigkeit von Wärme sind problematisch. Es kann eine Kompensation durch massive Decken etc. erforderlich werden,
- die Winddichtigkeit ist von großer Bedeutung,
- unter Umständen komplizierte Schichtenfolgen mit daraus resultierendem Potenzial für Ausführungsfehler.

Rückbau

- ohne Probleme, wenn wie im Massivbau keine untrennbaren oder ökologisch bedenklichen Baustoffe eingesetzt werden.

Bauphysik

- die thermische Speicherfähigkeit reduziert sich im Leichtbau auf eventuell vorhandene massive Decken und Fußböden, sofern diese nicht mit abgehängten Decken, Hohlraumböden oder ähnlichem verdeckt sind,
- Dampf- und Winddichtigkeit sind bei diesen Gebäuden durch eine sorgfältige Ausführung herzustellen.

Aspekte der Nachhaltigkeit

Umweltfreundliche und baubiologisch einwandfreie Baumaterialien minimieren das Risiko des Entstehens von Krankheiten für die Nutzer (Sick-Building-Syndrom – hierzu siehe Planungshilfe „Umweltschutz im Bauwesen“) und fördern das Wohlbefinden. Durch den Verzicht auf Chemikalien in den Baustoffen kann die Umwelt entlastet werden, nicht nur bei der Herstellung und der Nutzung, sondern auch beim später anstehenden Rückbau. Dabei sollte die Beanspruchbarkeit der Materialien in Bezug auf die Nutzungsdauer aber nicht gänzlich außer Betracht bleiben. Einheimisches Baumaterial spart Transportwege.

Bei der Wahl der Baustoffe ist auch die Energie für die Herstellung dieser Materialien von Bedeutung. So ist die Energiebilanz, z. B. für die Herstellung von Aluminiumbauteilen so ungünstig, dass das Material im Gesamtergebnis trotz seiner Beständigkeit insgesamt kritisch zu bewerten ist (Weitere Informationen siehe Planungshilfe „Umweltschutz im Bauwesen“). Auf Verbundkonstruktionen sollte aus Gründen der Entsorgung nur zurückgegriffen werden, wenn sich die einzelnen Baustoffe später wieder problemlos voneinander trennen lassen.

Um Baunutzungskosten zu reduzieren, sollte neben den Energiekosten auch der Reinigungsaufwand für ein Gebäude möglichst gering gehalten werden.

- Hinweis
Planungshilfe „Umweltschutz im Bauwesen“ der Fachkommission Bauplanung des Ausschusses für staatlichen Hochbau der Bauministerkonferenz.

2.3 Grundrissplanung, Organisation

Die Lage eines Gebäudes auf einem Grundstück ist oftmals durch planungsrechtliche Instrumente fixiert und die Einflussmöglichkeiten des Planers sind dadurch stark eingeschränkt. Trotzdem sollen hier kurz einige wichtige Aspekte aufgezeigt werden, die im Rahmen des energiesparenden Bauens von Bedeutung sind und in die Planung mit einbezogen werden sollten, soweit dies möglich ist.

Organisation

Grundsätzlich sollte die Anordnung der Räume eines Raumprogramms oder einzelner Funktions-

einheiten sich am Betriebsablauf des Nutzers orientieren. Aus energetischer Sicht bestehen aber ebenfalls sinnvolle Vorgaben für die Zonierung der einzelnen Einheiten, sie sollten aber immer in Hinblick auf den ordentlichen Ablauf eines Betriebes überprüft und gegeneinander abgewogen werden.

Funktionseinheiten

Räume mit gleichen Funktionen sollten unbedingt nebeneinander oder übereinander angeordnet werden. Durch z. B. übereinander angeordnete WC-Bereiche lassen sich die Leitungsführungen auf das notwendige Maß reduzieren. Laborräume mit gleichen Zweckbestimmungen ermöglichen auf möglichst wenig Fläche konzentrierte haustechnische Anlagen, ohne Leitungen unnötigerweise durch ein Gebäude zu führen.

Räume mit mechanischer Lüftung (gleiche Klimabedingungen) sollten in Gruppen zusammengefasst werden.

Raumhöhe

Laut § 23 Arbeitsstättenverordnung muss die lichte Raumhöhe in Büroräumen je nach Größe zwischen 2,50 m und 2,75 m liegen. Aus Gründen der verbesserten Tagesbelichtung wird eine lichte Höhe von 2,80 m empfohlen (Baukostenerhöhung, Vorsicht bei starrem Sonnenschutz).

Der Einbau einer RLT-Anlage (Raumlufttechnische Anlage) kann je nach Leitungsführung die notwendige lichte Raumhöhe (Rohbau) entsprechend erhöhen.

Orientierung der Räume

Die Forderung aus dem Wohnungsbau, Wohnräume nach Süden auszurichten, ist auf den Verwaltungsbau nur bedingt anzuwenden. Trotzdem ist die Südseite der Ost- oder Westlage vorzuziehen, wobei Sonnenschutz unbedingt erforderlich ist. Die Ausrichtung nach Norden ist dagegen problemlos zu realisieren.

Ost- und Westlage ist zu vermeiden.

Möglichst sollten Decken und Böden nicht verkleidet werden, damit die Speicherfähigkeit dieser Flächen erhalten bleibt (hierzu siehe auch [Kapitel E.1.6: „Wärmespeicherung“](#)).

Tageslicht/natürliche Belüftung

An der Fassade angeordnet werden sollten alle Räume für den ständigen Aufenthalt (auch in der Arbeitsstättenverordnung gefordert). Die direkte Versorgung mit Tageslicht spart nicht nur Energie für künstliche Beleuchtung, sondern steigert auch

das Wohlbefinden der Nutzer. Darüber hinaus werden dadurch eine freie Belüftung möglich und aufwändige Anlagen entbehrlich.

Nebengebiete wie Kopierräume, WC, Abstellräume, Lager etc. kommen ohne Tageslicht aus. Sie können in den Kernen der Gebäude angeordnet werden.

Lässt die Nutzung es zu, dass ganze Bereiche in dunklen Zonen liegen können, oder ist eine solche Anordnung sogar erwünscht, kann durch eine dreibündige Anordnung eine kompaktere Gebäudeform erreicht werden. Dadurch wird der Außenwandanteil im Vergleich zum Gebäudevolumen reduziert, was neben geringerem Energiebedarf eine Vergrößerung des wärmespeichernden Innenwandanteils bewirkt (siehe auch [Kapitel B. 2.12: „Künstliche Beleuchtung“](#)).

Wenn eine Fensterlüftung (einseitig oder Querlüftung) nicht reicht (z. B. bei sehr tiefen Gebäuden), können unterstützend Lichthöfe ausgebildet werden. Durch Lüftungsöffnungen im Dachbereich kann die so genannte Kaminwirkung allerdings nur dann einsetzen, wenn ein genügend großer Temperaturunterschied zwischen der kälteren Außenluft und der wärmeren Innenluft besteht (Weiteres hierzu siehe [Kapitel B. 2.11: „Raumlufttechnische Anlagen“](#) und [Kapitel B. 2.12: „Künstliche Beleuchtung“](#)). Allgemein sind neben der Anordnung und Größe der Öffnungen die Windverhältnisse ganz entscheidend für den Luftaustausch und somit auch für den Abtransport überschüssiger Wärme.

Raumtiefen für natürliche Belüftung und Beleuchtung

Die Notwendigkeit und Wirtschaftlichkeit von RLT-Anlagen wird maßgeblich von der baulichen Konzeption bestimmt. Daher ist bei allen Planungen durch geeignete hochbauliche Maßnahmen dafür zu sorgen, dass RLT-Anlagen weitgehend vermieden oder – sofern dies aus zwingenden funktionalen Gründen nicht möglich ist – auf ein Mindestmaß beschränkt werden.

Die Errichtung von RLT-Anlagen kann u. a. dann erforderlich sein, wenn entweder

- bei einseitiger freier Lüftungsmöglichkeit und einer geringeren Raumhöhe als 3,4 m die Raumtiefe 8,4 m bzw. bei einer größeren Raumhöhe das 2,5-fache der Raumhöhe übersteigt

- oder bei zweiseitiger freier Lüftungsmöglichkeit und einer Raumhöhe von mehr als 3,0 m die Raumtiefe 12 m übersteigt.

Weitere Kriterien sind der AMEV-Empfehlung „RLT-Anlagen-Bau“ (siehe hierzu [Kapitel F. 2: „Rechtsgrundlagen ...“](#)) zu entnehmen. Neben den dort aufgeführten Grundsätzen sei noch darauf hingewiesen, dass hohe interne Speichermassen durch massive Konstruktionen, offenbare Fenster und Verzicht auf abgehängte Decken die sommerliche Kühllast reduzieren können und somit auch die Notwendigkeit von RLT-Anlagen reduzieren.

Der elektrische Energiebedarf für Beleuchtung wird durch eine gute Tageslichtnutzung entscheidend gesenkt. Form, Orientierung und Ausstattung (Reflexionsgrade) der Räume und der Fassaden sowie Lage und Größe der Fenster haben dabei eine besondere Bedeutung. Eine bessere Nutzung des Tageslichts wird erzielt durch:

- hohe Fenster bis möglichst unter die Decke,
- tageslichtlenkende Maßnahmen,
- Verglasung mit hoher Licht-Transmission,
- gute Tageslichtverteilung bei genügendem Sonnenschutz und Blendungsfreiheit,
- helle Oberflächen in den Räumen,
- glatte und helle Decken im nahen Fensterbereich,
- Mitnutzung der Dachflächen zur Belichtung.

Dabei sollten Raumtiefen ≤ 5 m erreicht werden. In Räumen über 8,4 m Tiefe (z. B. Seminarräume) kann sogar eine dritte Leuchtenreihe erforderlich werden.

Beheizte Räume ohne RLT

Räume gleicher Raumtemperatur sollten möglichst nebeneinander oder übereinander vorgesehen werden. Auf diese Weise werden Transmissionswärmeverluste durch Temperaturunterschiede reduziert.

Hohe Räume und Räume über mehrere Geschosse erfordern eine besondere Beheizung, da sonst als Folge ungünstiger Temperaturschichtungen erhöhter Wärmebedarf auftreten kann.

Kältere Zonen sind von den wärmeren Zonen mit mehr als 5K ständiger Temperaturdifferenz während der Heizperiode durch erhöhte Dämmung zu trennen (Treppenhäuser, Aufzugs- und Installations-schächte, Nebenräume, Archive usw.).

Niedrig beheizte Räume

Sie können sowohl neben beheizten Räumen als auch neben Räumen mit hoher Kühllast als Pufferzone eingesetzt werden. Bei der Planung sollten sie aber grundsätzlich nicht verstreut angeordnet werden.

Hauseingänge

Sinnvoll ist der Einsatz von Windfängen oder Drehtüren zur Vermeidung von unnötigen Lüftungswärmeverlusten.

Windfänge sind nur wirksam, wenn eine Tür geschlossen werden kann, bevor die andere geöffnet wird.

Um auch im Bereich einer Eingangshalle nicht unnötig Raum und damit Ressourcen zu verbauen, kann man für ein Bürogebäude von 0,3-0,4 m²/Arbeitsplatz ausgehen. Allerdings erhöht sich dieser Wert bei repräsentativeren Ansprüchen.

Tangierende Normen:

- DIN 4108–2: 2001–03,
- Arbeitsstätten-Verordnung,
- AMEV-Richtlinien.

2.4 Außenwandflächen

Die Außenwand bildet den vertikalen Abschluss eines Gebäudes. Neben gestalterischen Anforderungen erfüllt sie statische Erfordernisse und Anforderungen aus Brandschutz, Schallschutz, Wärmeschutz und Feuchtigkeitsschutz.

Rechtliche Anforderungen (Neubauten)

Die Anforderungen an den Mindestwärmeschutz werden in der DIN 4108–2: 2001–03 formuliert. Außenwände, Wände von Aufenthaltsräumen gegen Bodenräume, Durchfahrten, offenere Hausflure, Garagen oder Erdreich haben einen [Wärmedurchlasswiderstand R](#) von mindestens 1,2 m²K/W einzuhalten. Für leichte Bauteile (unter 100 kg/m²) gelten erhöhte Anforderungen. Hier ist ein Wärmedurchlasswiderstand R von $\geq 1,75$ m²K/W einzuhalten. Dieser Wert gilt bei Rahmen- und Skelettbauanteilen nur für den Gefachbereich. Das gesamte Bauteil hat zusätzlich im Mittel ein R von 1,0 m²K/W einzuhalten.

Weitergehende Anforderungen an den [Wärmedurchgangskoeffizienten](#) stellt die [Energieeinsparverordnung](#):

- für Altbauten nach Anhang 3; Tabelle 1 $U_{\max} = 0,35 - 0,45$ bzw. $0,75 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$,
- für Neubauten: keine direkt erhöhten Werte gegenüber Mindestwärmeschutz, da ein komplettes Berechnungsverfahren für das gesamte Gebäude durchgeführt werden muss, in dem der Jahresprimärenergiebedarf und der Transmissionswärmeverlust festgelegt werden,
- für Gebäude mit geringem Volumen ($\leq 100 \text{ m}^3$) werden in der EnEV U_{\max} -Werte angegeben.

Sommerlicher Wärmeschutz/ Wärmespeicherung

Die Erwärmung der Räume infolge Sonneneinstrahlung oder interner Wärmequellen ist um so geringer, je speicherfähiger (schwerer) die Bauteile, insbesondere die Innenbauteile sind. Durch Wärmedämmung oder andere Verkleidungen der Innenoberflächen kann dieser Effekt erheblich abgeschwächt werden. Für die Speicherfähigkeit eines Baustoffs sind die äußeren 10 cm der Materialstärke von Bedeutung.

Im Gegensatz zum Massivbau sind beim Leichtbau sowie bei ost- und westorientierten Wänden niedrige Oberflächentemperaturen durch einen möglichst hohen Reflexionsgrad und niedrige **Wärmeleitfähigkeit** (λ) zu erreichen. Der bei hohen Oberflächentemperaturen an der Außenwand aufsteigende konvektive Wärmestrom kann die Fensterlüftung merklich beeinträchtigen, indem höhertemperierte Außenluft in den Raum geleitet wird.

Die Wärmespeicherung eines Bauteils wird für eine praxiserichte und einfache Handhabung über die erforderlichen Flächengewichte und Wärmedurchgangszahlen erfasst, da sie mit diesen in engem Zusammenhang stehen. Eine weitere wichtige Rolle für die Speicherfähigkeit ist die **spezifische Wärmespeicherkapazität** des Baustoffs.

Die folgenden Eigenschaften müssen für eine gute Wärmespeicherung zusammenwirken:

- Flächengewicht $g > 300 \text{ kg}/\text{m}^2$ (schwere Bauart),
- Lage der Speichermasse: grundsätzlich innen-seitig, bei besonnten Südwänden möglichst homogene Wandkonstruktion,
- bei leichten Trennwänden muss die benötigte Speichermasse durch die Decken und Fußböden bereitgestellt werden.

Der Einfluss der opaken Außenwandflächen auf den sommerlichen Wärmeschutz ist im Vergleich zum Einfluss der Fensterflächen eher gering. Daher ist der Anteil der transparenten Außenbauteile, vor allem ohne hinreichenden Sonnenschutz, besonders zu beachten.

Tauwasserbegrenzung

(siehe auch DIN 4108-3: 2001-07; **Abschnitt E. 1: „Bauphysikalische Begriffe“**)

Insbesondere während der kälteren Jahreszeiten liegt der Wasserdampfgehalt der Raumluft erheblich über dem Wasserdampfgehalt der Außenluft. Die aus den Wasserdampfgehalten resultierenden Dampfdrücke sind stets bestrebt, sich auszugleichen. Die Folge hiervon ist, dass der Dampfdruckausgleich durch die Außenbauteile hindurch erfolgt (**Dampfdiffusion**). In den kühleren Jahreszeiten, wenn die Temperaturen in den Räumen höher sind als die der Außenluft, entsteht über dem Querschnitt der Außenbauteile ein Temperaturgefälle. Dort, wo der **Taupunkt** unterschritten wird, fällt Wasser im Außenbauteilquerschnitt an. Dies führt zur Minderung des Wärmeschutzes und kann des Weiteren zu Bauschäden führen.

Als Grundsatz gilt daher: Eventuell im Innern des Bauteils anfallendes Kondenswasser muss wieder an die Umgebung abgeführt werden können. Erforderlichenfalls ist eine Dampfdiffusionsberechnung durchzuführen. Der Feuchtigkeitsgehalt der Bau- und vor allem der Dämmstoffe soll bei Einwirkung von Feuchtigkeit die festgelegten Rechenwerte der Zulassung nicht überschreiten.

Die Dampfdurchlässigkeit der einzelnen Baustoffe wird durch die **Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl** (μ -Wert) gekennzeichnet. Sie drückt aus, um wievielfach größer der Diffusionswiderstand eines Stoffes ist als der einer gleich dicken Luftschicht. Sie wird aus dem Quotienten des Diffusionswiderstandes des Stoffes und der gleich dicken Luftschicht gebildet und ist dimensionslos.

Im Hinblick auf die Anordnung der einzelnen Baustoffe über den Außenbauteilquerschnitt sollte daher folgendes beachtet werden:

- der Diffusionswiderstand soll von innen nach außen abnehmen. Gleichzeitig soll der Wärmedurchlasswiderstand R auf der Wandinnenseite möglichst klein und auf der Wandaußenseite möglichst groß sein,

- außenseitig sind möglichst diffusionsoffene Baustoffe (niedrige Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl) zu wählen, damit Wasserdampf nicht im Querschnitt gehalten wird, sondern an die Außenluft ausdiffundieren kann.

Die Schichtdicke s und die Diffusionswiderstandszahl μ reichen zur Kennzeichnung der Dampfdichtigkeit einer Materialschicht aus, wenn man die beiden Größen miteinander multipliziert: Es entsteht so die **(diffusionsäquivalente Luftschichtdicke $s_d = \mu \cdot d$ (m))**. Diese Kenngröße eines Baustoffes sagt aus, wie dick eine Luftschicht in Metern sein müsste, um den selben Diffusionswiderstand aufzuweisen wie das Bauteil bzw. die betrachtete Baustoffschicht.

Durch die erhöhten Anforderungen der EnEV gewinnen potentielle Schwachpunkte eines Gebäudes, z. B. **geometrische Wärmebrücken**, an Bedeutung. Auch im Bereich von Wärmebrücken gelten die Mindestanforderungen der DIN 4108–2: 2001–3, um die Raumbehaglichkeit zu wahren und der Schimmelpilzbildung vorzubeugen.

Schlagregenschutz

Eine Vorsatzschale oder eine wasserdichte, wasserabweisende oder wasserhemmende, jedoch dampfdiffusionsoffene Außenhaut sichert ein Gebäude vor eindringender Feuchtigkeit. Auf schlagregensichere Fugen ist dabei besonders zu achten. Dampfdiffusionsberechnungen berücksichtigen nicht den Schlagregen. Anforderungen an den Schlagregenschutz werden in der DIN 4108–3: 2001–07 gestellt. Dabei werden je nach Beanspruchungsgruppe gemäß DIN verschiedene Wandbauarten gefordert.

Der Schutz des Sockelbereiches vor Spritzwasser und Erdfeuchte ist in der DIN 18195: 2000–08 geregelt.

Luftdichtheit

(DIN 4108–3: 2001–07)

Gute Fugendichtigkeit bei allen Außenbauteilen ist zu gewährleisten, um unkontrollierte Lüftungswärmeverluste und dadurch entstehende Bauschäden zu vermeiden. Eine ausreichende Lüftung der ständig genutzten Räume muss jedoch gesichert sein.

Die Dichtheit von Fassadenöffnungen (Fenster, Türen etc.) wird in der **EnEV, Anhang 4**, geregelt. Darüber hinaus sind weitere Inhalte in der DIN V 4108–7: 2001–08 festgelegt.

Weitere Normen zur Luftdichtheit:

- DIN EN 12207–1: 2000–06,
- DIN EN 13829: 2001–02,
- DIN 18055: 1981–10.

2.5 Dächer und Decken

Konstruktionsbedingte Regeln

Im Verwaltungsbau ist die Beton- oder Verbunddecke nach wie vor die gängige Lösung zur Erfüllung von Schall- und Brandschutzanforderungen. Diese Konstruktionen sparen außerdem im Vergleich zum Holzbau Geschosshöhe durch geringere Aufbauhöhen. Alternativ sind auch Ziegelhohlkörperdecken einsetzbar.

Flachdecken aus Stahlbeton benötigen zwar mehr Material als Unterzugdecken, aber sie haben bei einer höheren Wärmespeicherfähigkeit insgesamt geringere Aufbauhöhen. Außerdem ist die Leitungsführung von Unterdeckeninstallationen problemloser auszuführen. Eine Ausnahme dabei bilden Stahldecken, da die Leitungen bis zu einem gewissen Maß durch die Träger hindurch geführt werden können.

Der **Wärmedurchgangskoeffizient** wird für Decken zu unbeheizten Dachräumen oder gegen die Außenluft durch folgende Normen begrenzt:

- EnEV **Anhang 1** über den Mindestwärmeschutz in DIN 4108–2: 2001–03 in Verbindung mit § 6,
- **Anhang 3** (für den Gebäudebestand),
- DIN 4108–2: 2001–03; Tabelle 3.

Wärmespeicherung

Die folgenden Anforderungen sollen zusammenwirken:

- Flächengewicht $g > 400 \text{ kg/m}^2$ bei Beton,
- Lage der Speichermasse grundsätzlich innen-seitig.

Mit zunehmender Materialstärke einer Decke steigt auch die **Wärmespeicherfähigkeit**.

Wärmedurchgang/

Sommerlicher Wärmeschutz

Flachdächer sind der Sonneneinstrahlung in erhöhtem Maße ausgesetzt. Vor allem bei einschaligen Konstruktionen sollte daher eine wirksame Dämp-

fung (Phasenverschiebung) durch entsprechende Flächengewichte erreicht werden. Eine Reduzierung der Oberflächentemperaturen erreicht man durch extensive Begrünung, helle Bekiesung oder durch helle Plattenbeläge.

Bekiesung, Plattenbeläge und vor allem extensive Dachbegrünung haben außerdem die Eigenschaft, Niederschlagsfeuchtigkeit lange zu halten, die wiederum bei direkter Sonneneinstrahlung durch Verdunstung Wärme abführt. Vertiefende Aussagen zu vorgenannten Aspekten liefert die Planungshilfe „Umweltschutz im Bauwesen“.

Erhaltung der Dämmeigenschaft

- Verwendung diffusionsoffener Konstruktionen,
- Belüftung unter der Dachhaut,
- Schutz gegen Tauwasser: Dampfbremse unter der Wärmedämmschicht von nicht durchlüfteten Dächern (Warmdächer). Der Dampfdiffusionswiderstand der Dampfbremse muss größer sein als der der Dachhaut. Erforderlichenfalls (bei hoher Raumluftfeuchte) ist eine Dampfdiffusionsberechnung durchzuführen,
- gute Fugendichtigkeit bei allen Außenbauteilen ist zu gewährleisten, um Wärmeverluste und damit Feuchtetransporte zu vermeiden.

Tangierende Normen:

- DIN 4108-2: 2001-03,
- DIN 4108-3: 2001-07,
- DIN 4108-4: 2002-02,
- DIN 4108-7: 2001-08.

2.6 Fenster

Die Funktion des Fensters:

- Belichtung des Raumes mit Tageslicht,
- Erzielung solarer Wärmegewinne,
- Gebäudedichtheit.

Die Nutzung von Sonnenstrahlung zu Beleuchtungs- oder zu Heizzwecken sowie der Schutz vor Sonneneinstrahlung im Sommer führen zu baulichen Konsequenzen, wie z. B. bei der Größe und Anordnung der Fenster oder bei Maßnahmen zur passiven Solarenergienutzung durch den Bau von z. B. Wintergärten. Darüber hinaus beeinflussen Tageslicht und Besonnung in starkem Maß auch

das psychische und physische Wohlbefinden, sind dafür sogar unerlässlich. Bei der Planung von Fensterflächen sollte immer ein gutes Maß zwischen Nutzen durch die Fenster und den damit verbundenen Kosten gefunden werden.

Die Größe und Qualität der Fensterfläche ist abhängig von:

- der **Kompaktheit** des Gebäudes (Verhältnis der Räume von Tiefe zu Breite oder Fassadenfläche zu Geschossfläche),
- der Ausrichtung zur Sonne: den größeren Anteil der Fensterflächen in Südrichtung und den kleineren Anteil in Nordrichtung orientieren; wegen sommerlicher Überhitzung und Blendungsproblemen die Ost- und Westverglasung minimieren,
- den Erfordernissen für Beleuchtung und Belüftung in Abhängigkeit von der Nutzung. Dabei sollten Fenster in Verwaltungsgebäuden ohne Stürze und bis zur Deckenunterseite hochgeführt werden, um die bestmögliche Ausleuchtung der dahinterliegenden Räume mit natürlichem Sonnenlicht zu gewährleisten,
- der Begrenzung des Energiedurchgangs,
- den rechtlichen Vorgaben.

Übersteigt der Fensterflächenanteil eines Gebäudes 30 % (Wohn- und Nicht-Wohngebäude) der Fassadenfläche, werden in der **EnEV** und in der DIN 4108-2: 2001-03 Abschnitt 8 Forderungen bezüglich eines Sonnenschutznachweises formuliert.

In Tabelle 6 der DIN 4108-2 wird vorgegeben, bei welchem Fensterflächenanteil (auf die Ausrichtung bezogen) ein Sonnenschutznachweis erforderlich wird. Ebenfalls wird das Rechenverfahren für den Nachweis selbst dargestellt.

Für den Wärmeschutznachweis dürfen nur die im Bundesanzeiger veröffentlichten und zugelassenen Gläser mit den dort aufgeführten Rechenwerten eingesetzt werden.

U-Wert/g-Wert

U-Wert

Mit dem **Wärmedurchgangskoeffizienten U** (früher k-Wert) wird die Wärmetransmission eines Bauteils in W/m^2K angegeben. Es ist ein möglichst niedriger Wert anzustreben, um die Wärmeverluste zu minimieren (siehe **Abb. 3**).

Bisher wurde der U-Wert eines Fensters in Abhängigkeit vom U-Wert des verwendeten Glases (nach Bundesanzeiger) für unterschiedliche Fensterrahmen (Rahmenmaterialgruppen) unabhängig von der Fenstergröße ermittelt. Durch die EnEV wird der Wärmedurchgang auf die einzelnen Elemente des Fensters bezogen berechnet, d. h. es werden die wärmeschutztechnischen Qualitäten der einzelnen Elemente Rahmen, Glas, Glasrandverbund und die jeweiligen Flächen/Strecken berücksichtigt.

Der U-Wert eines Fensters ermittelt sich aus:

$$U_w = (A_g \cdot U_g + A_f \cdot U_f + l_g \cdot \psi_g) / (A_g + A_f) \text{ in } W/(m^2K)$$

Dabei bedeuten:

U_w = U-Wert Fenster (w = Window)

U_g = U-Wert Verglasung (g = Glas)

U_f = U-Wert Rahmen (f = Frame)

A = Fläche der jeweiligen Bauteile

l_g = Länge des Randverbundes (Länge, mit der das Glas in den Rahmen eingebettet ist)

ψ_g = längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient des Randverbundes

Die U-Werte der Fensterrahmen bestimmen den U-Wert des gesamten Fensters im Verhältnis ihres Flächenanteiles mit 20 bis 30 %.

Die U-Wertermittlung für andere Fensterkonstruktionen wie z. B. Kastenfenster, Verbundfenster divergieren geringfügig von o. a. Formel und werden in der DIN EN ISO 10077-1: 2000-11 erläutert.

g-Wert

Der g-Wert gibt den Anteil des einfallenden Sonnenlichts an, der durch die Verglasung in das Rauminnere gelangt. Dieser Wert soll möglichst hoch sein, da er die Energiebilanz positiv beeinflusst. Dies gilt jedoch nur dort, wo solare Gewinne erwünscht sind (Probleme der Überhitzung im Verwaltungsbau).

Die Ermittlung erfolgt nach DIN EN 410: 1998-12 (früher DIN 67507) und nach DIN 4108-6: 2000-11, Anhang B.

Bei der Wahl von Wärmeschutzgläsern ist zu beachten, dass eine Verbesserung des Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) eine Minderung der Energiedurchlässigkeit (g-Wert) mit sich bringt. Daher sollte bei der Wahl eines Fenstertypen ein guter Kompromiss zwischen niedrigem U-Wert und hohem g-Wert

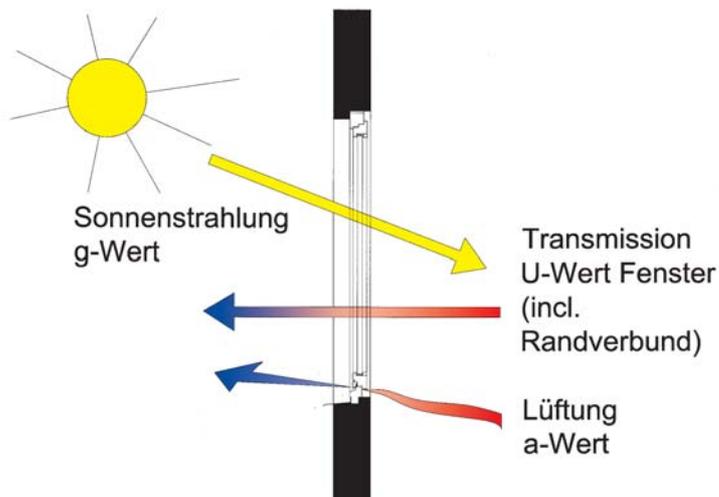


Abb. 3 Darstellung des Energieflusses für die Erstellung einer Energiebilanz am Fenster

gefunden werden. Nur über eine Bilanzierung der Fensterfläche können die Anforderungen an die U- und g-Werte von Fensterflächen qualifiziert werden.

Energiebilanz

Der Wärmedurchgangskoeffizient U_w von Fenstern (Rahmen, Glas und Glasrandverbund) beschreibt nach den technischen Regelwerken nur die Verluste aus Transmission. Im weiteren Berechnungsverfahren wird den tatsächlichen Verhältnissen dadurch Rechnung getragen, dass der solare Energiegewinn in Abhängigkeit von der Himmelsrichtung Berücksichtigung findet.

Verglasungstypen

Bei der Wahl der Verglasung sind überlagernde Eigenschaften des Wärmeschutzes, des Schallschutzes und der Einbruchhemmung zu beachten. Hierfür werden Funktionsgläser angeboten (siehe Abb. 4, nächste Seite).

Einfachverglasung

Hier handelt es sich lediglich um eine einfache Scheibe. Mit einem großen U-Wert ist sie nur da geeignet, wo Wärmeschutz nicht nötig ist, also nicht in der Gebäudehülle, sondern z. B. als transparente Abtrennung in Innenräumen und bei Wintergärten ohne Dauernutzung.

Doppelverglasung

Doppelverglasung besteht aus zwei Scheiben mit einem Luftzwischenraum. Verbundfenster oder Kastenfenster (günstiger Isothermenverlauf) sind ebenfalls in diese Gruppe einzuordnen.

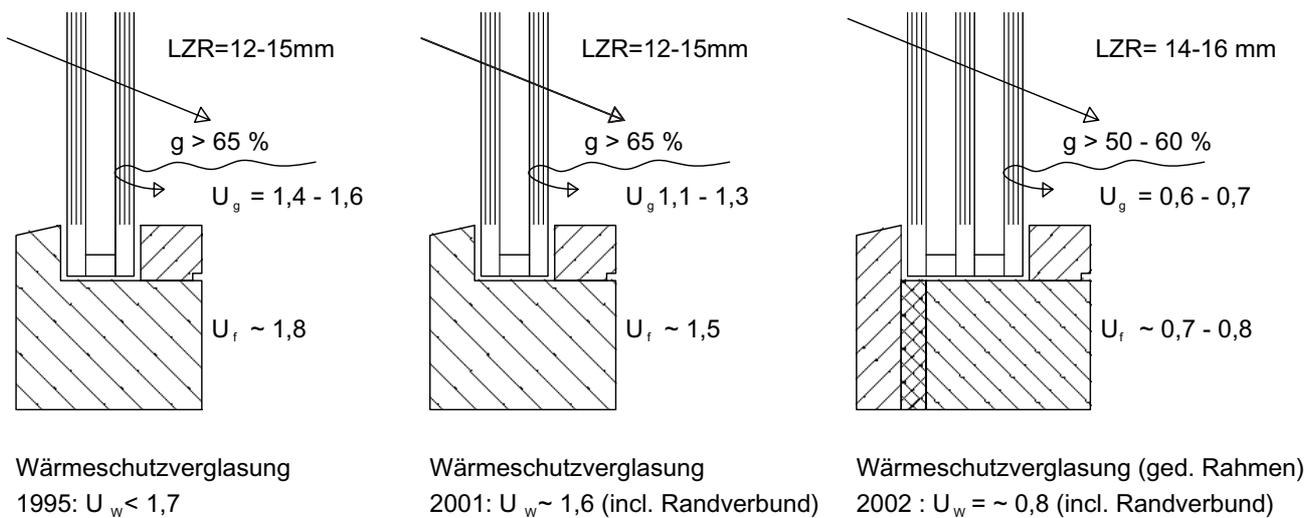


Abb. 4 Vergleich der U-Werte von Wärmeschutzglas im Berechnungsverfahren nach Wärmeschutzverordnung 1995, nach EnEV und von Dreischeiben-Glas mit gedämmten Rahmen für den Passivhausstandard

Bei Zweischeiben-Isolierglas mit einem Zwischenraum sind U-Werte bis $2,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ (mit Luft) erreichbar. Dieser U-Wert beschreibt aber nicht die gesamte Scheibe, sondern bei der Prüfung nach DIN 52619-2: 1985-2 nur den ungestörten Bereich der Scheiben. Dies zeigt sich besonders bei kleinformatigen Scheiben durch einen Anstieg des U-Wertes (Beispiel Sprossenfenster).

Wärmeschutzverglasung

Das System der Wärmeschutzverglasung: Zwei Scheiben, eine oder beide beschichtet (mit Edelmetall zur Reflexion der Infrarotstrahlung), eventuell mit Edelgasbefüllung (Krypton o. a.) im Scheibenzwischenraum, U_g -Wert bis unter $1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$, farbneutral, bei der Beschichtung beider Glasseiten, kann der U_g -Wert auf $1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ verbessert werden.

Zur Verbesserung des Wärmeschutzes werden gegenüber der Standardausführung bei normalem Isolierglas mit Luft die Gase Argon und Krypton angeboten, während zur Erhöhung des Schalldämmmaßes SF_6 = Schwefelhexafluorid (Schwergas) eingesetzt wird.

Die zur Verbesserung des Wärmeschutzes beschichteten oder mit Gasfüllung versehenen Fenster können gegenläufige Auswirkungen auf das Schalldämmmaß R_w haben, z. B. die Gase Argon und SF_6 .

Die Entwicklung von Wärmeschutzgläsern führte zu einer Verglasungstechnik, die immer weniger Wärme nach außen durchlässt und damit den Ener-

gieverlust drastisch reduziert. Spezielle Edelgasfüllungen (Argon/Krypton) zwischen den Scheiben und selektive Beschichtungen ermöglichen Werte bis zu $U = 0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ (kostenintensiv). Der Fensterrahmen hat diese Entwicklung allerdings noch nicht mitvollzogen, so dass die resultierenden U-Werte für Fenster ($U_f + U_g$) heute bei $U_w \geq 0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ liegen. Hochdämmende Fensterrahmenprofile (bis $U_f = 0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$) sind im Bereich der Passivhäuser auf dem Markt.

Die wärmedämmenden Eigenschaften werden dabei bestimmt von:

- der Anzahl der Zwischenräume zwischen den Scheiben,
- der Größe der Zwischenräume,
- der Wärmeleitung des Gases in den Scheibenzwischenräumen,
- der Lichtdurchlässigkeit der Glasoberfläche, die durch Beschichtungen verändert werden kann.

Dreifachverglasung

Weitere Steigerung der Wärmeschutzeigenschaften gegenüber der Doppelverglasung, aber ebenfalls deutlich verringerter g-Wert.

Durch eine Dreischeiben-Wärmeschutzverglasung mit $2 \times 15 \text{ mm}$ Luftzwischenraum mit Edelgasfüllung und zwei metalloxydbedampften reflektierenden Scheibenoberflächen sowie gedämmten Rahmen wird $U_g = 0,6-0,7$ erreicht. ($U_w = 0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$).

Dreischeiben-Wärmeschutzverglasungen haben einen Gesamtenergiedurchlassgrad $g_t \leq 0,5$ und eine Lichtdurchlässigkeit unter 55 % (gegenüber $g_t \leq 0,69$ und 72 % bei Zweischeiben-Wärmeschutzverglasung). Dabei bezieht sich der Gesamtenergiedurchlassgrad auf den gesamten Wellenlängenbereich der auftretenden Energie von 300 nm bis 2500 nm, die Lichtdurchlässigkeit dagegen bezieht sich auf den durchgelassenen sichtbaren Strahlungsanteil der auftretenden Energie (380 nm bis 780 nm).

Einbindung in die Konstruktion

Der Anschluss des Fensters an die Außenwand stellt sowohl im Hinblick auf erhöhte Wärmeverluste als auch in Hinblick auf mögliche Tauwasserschäden eine Schwachstelle dar, die nur durch sorgfältige Planung vermieden werden kann. Hierzu gehört u. a. die Beachtung des Isothermenverlaufs (siehe Abb. 5).

Die Isotherme ist eine Linie, die Punkte gleicher Temperatur verbindet. Ihr Temperaturverlauf in einem Bauteil wird bestimmt durch die material-spezifischen und geometrischen Wärmebrücken. Die bei der Beurteilung eines Anschlusses wichtigste Isotherme ist die 10°C -Isotherme, die sog. Redline. Sie soll innerhalb der Konstruktion verlaufen. Tritt sie an die Oberfläche eines Bauteils oder wird sie sogar unterbrochen, besteht die Gefahr von Durchfeuchtung (siehe hierzu auch [Abschnitt E: „Bauphysikalische Begriffe und Zusammenhänge“](#)).

Der Isothermenverlauf ist abhängig von der Lage des Fensters im Baukörper. Eine äußere fassadenbündige Lage der Fenster ist in Bezug auf die Tauwassergefahr, Sonnenschutz und Beanspruchung durch Witterung ungünstig. Bei einer einschaligen Außenwand ist eine Einbaulage im mittleren Bereich anzustreben. Bei Wänden mit zusätzlicher Wärmedämmschale ist der Fensteranschluss im Laibungsbereich der Wärmedämmschale anzuordnen.

Bei mehrschaligem Wandaufbau ergibt sich aus der Isothermenberechnung, dass der Festereinbau innerhalb der Dämmzone am günstigsten ist. Im Hinblick auf den Isothermenverlauf sind Kastenfenster besonders günstig einzustufen.

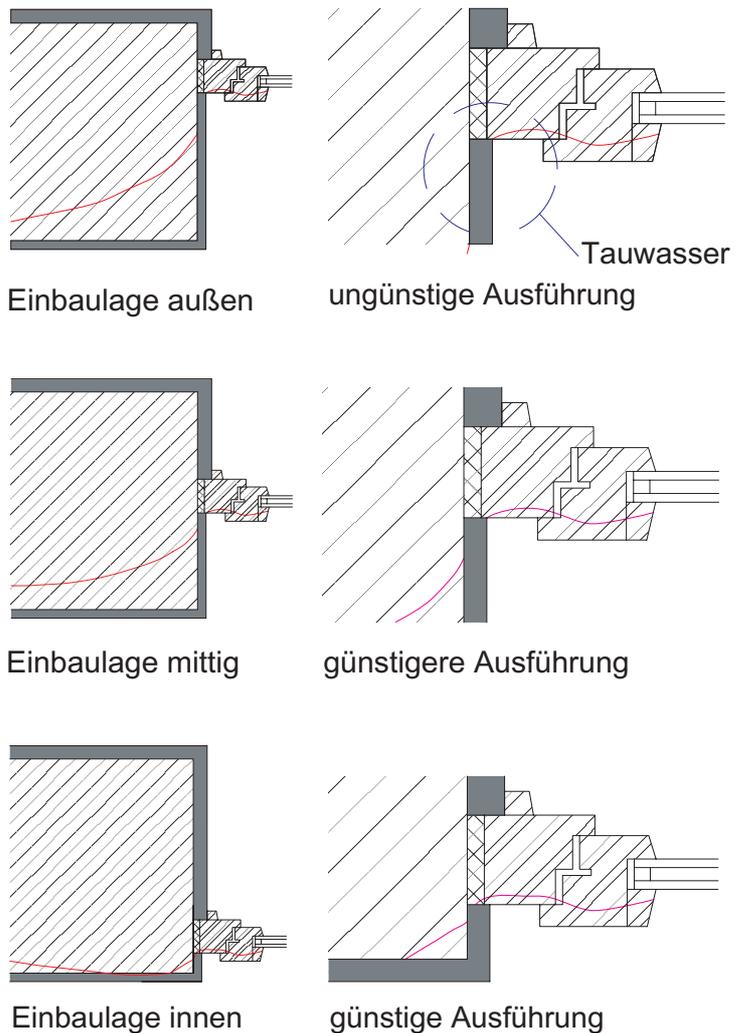


Abb. 5: Isothermenverlauf je nach Einbaulage des Fensters

Normen

- DIN 4108-2: 2001-03,
- DIN V 4108-6: 2000-11,
- DIN 4108-6: 2000-11, Anhang B,
- DIN 5034-1: 1999-10,
- DIN 52619-3: 1985-02,
- DIN EN 410: 1998-12 (alte DIN 67507),
- DIN EN 673: 2001-01,
- DIN EN 832: 1998-12,
- DIN EN 13829: 2001-02,
- DIN EN ISO 10077-1: 2000-11,
- DIN EN ISO 10077-2: 1999-02,
- Beleuchtung 2000 (AMEV),
- ASR (Arbeitsstättenrichtlinien),
- Landesbauordnung (Brandschutz und Abstandsflächen).

2.7 Neue Entwicklungen

2.7.1 Transluzente/transparente Wärmedämmung

Transparente Wärmedämmung (TWD) dient dazu, die Sonneneinstrahlung zur Beheizung (und ggf. zur Belichtung) durch ein Außenbauteil in den dahinterliegenden Innenraum zu führen und zugleich den Wärmeverlust von innen nach außen zu minimieren. Als Materialien werden lichtdurchlässige Kunststoffe oder Glas verwendet. Nicht alle TWD sind im wörtlichen Sinne transparent (durchsichtig), eine Vielzahl der erhältlichen Produkte sind lediglich transluzent (durchscheinend) (siehe Abb. 6 + 7).

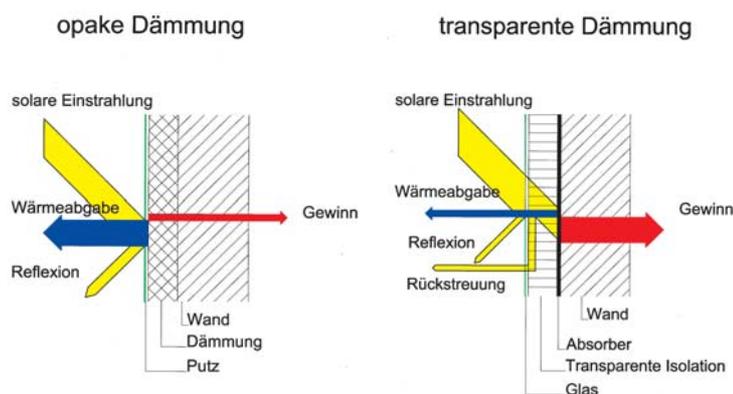


Abb. 6 Vergleich der Wärmeströme bei einer Fassade mit opaker oder transparenter Dämmung

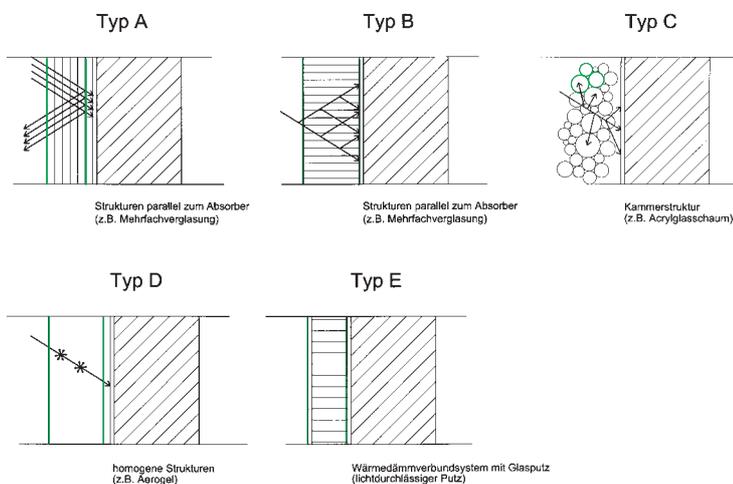


Abb. 7 TWD-Typen – Geometrische Klassifizierung transparenter Dämmmaterialien

Einsatzmöglichkeiten

Die Verwendung einer transparenten Wärmedämmung ist heute bei zahlreichen Gebäudetypen möglich.

Im Verwaltungsbau wird man jedoch häufig mit dem Problem der Überhitzung konfrontiert. Geeignete Verschattung kann da sicherlich Abhilfe leisten, aber wenn auch in den kühleren Jahreszeiten der Wärmegewinn durch eine TWD eher zu einem Überangebot führen könnte, sollte auf ein solches System verzichtet werden. Eine genauere Analyse zum Nutzen einer TWD ist daher schon im Planungsstadium anzustellen, da eine reine TWD i. d. R. als unwirtschaftlich anzusehen ist.

Checkliste zur Prüfung der Eignung einer TWD

- Standort:
 - Südhanglage,
 - geringe Fremdverschattung des Standortes in der Heizperiode,
 - kalte, strahlungsreiche Winter,
 - lange Heizperiode.
- Gebäude:
 - wenig zergliederte Gebäudeoberfläche nach Süden,
 - tragende Fassade speicherfähig und gut wärmeleitend.
- Optimale Orientierung von Südost – Südwest; Nordorientierte TWD verzeichnet kaum Wärmegewinne und ist daher nicht zu empfehlen.
- Hoher Wärmebedarf und geringe interne Wärmequellen.

Nutzung der Sonnenenergie zu Heizzwecken

Bei der TWD trifft die einfallende Solarstrahlung auf eine schwarz gestrichene Absorberwand. Die Wand erwärmt sich und gibt die entstehende Wärme zeitverzögert an die dahinterliegenden Räume ab (siehe Abb. 8).

Durch die Wahl des Wandmaterials und seiner Dicke wird die Wärmeabgabe gesteuert. Um einen hohen Wirkungsgrad zu erreichen, werden Baustoffe mit hoher Rohdichte, z. B. Kalksandstein oder Beton, verwendet.

Durch die Pufferwirkung der Absorberwand sind die solaren Gewinne besonders gut nutzbar. Die resultierenden erhöhten Wandtemperaturen bewirken ein im Vergleich zu konventionell gedämmten Wänden verbessertes Raumklima.

Die Wände wirken als Niedertemperatur-Strahlungsheizkörper, somit können nicht nur Wärmeverluste

vollständig vermieden werden, sondern darüber hinaus Energiegewinne von 100 kWh/m²a und mehr erreicht werden (entspricht 10 l Heizöl pro Jahr und m² TWD-Fläche). Die Anwendung von TWD-Systemen beschränkt sich nicht nur auf Neubauten, sondern ist auch in der Gebäudesanierung denkbar. Für einen optimalen Wirkungsgrad der TWD ist ein großer **Gesamtenergiedurchlassgrad „g“** und ein kleiner **Wärmedurchgangskoeffizient „U-Wert“** wichtig.

Einflussfaktoren

Die Verteilung der Wärmeströme hängt ab von:

- der vorhandenen Temperaturdifferenz zwischen Absorberfläche und den Lufttemperaturen innen und außen,
- der Dicke und Leitfähigkeit der Dämmschicht,
- der Dicke der Tragwand (Wärmespeicherkapazität).

Berechnung des Energiegewinns

Die erzielbaren solaren Gewinne können mit Hilfe der Richtlinie des Fachverbandes Transparente Wärmedämmung e. V. „Bestimmung des solaren Energiegewinns durch Massivwände mit transparenter Wärmedämmung“ ermittelt werden. Die Einbeziehung der Werte in die EN 832: 1998–12 ist nicht klar definiert, so dass eine Abstimmung mit der EnEV im Einzelfall notwendig sein wird. Weitere Informationen unter www.fvtwd.de.

Anwendungsbeispiele

TWD-Elemente können in unterschiedlichster Kombination mit Bauteilen Verwendung finden, wobei die für sinnvolle Phasenverschiebung ausschlaggebende Nutzungsart und die Art der Konstruktion entscheiden:

- TWD-Elemente mit geringem Abstand vor mittedicken Massivwänden der Fassade ergeben Phasenverschiebungen von 5 bis 6 Stunden, d. h. Nachmittagswärme für die Abendnutzung,
- TWD-Elemente mit 10 bis 30 cm Abstand vor Massivwänden und luftschachtbildenden Trombé-Wänden mit Phasenverschiebungen von 12 und mehr Stunden, aber mit sofortiger und langer Warmluftführung und -verteilung,
- TWD-Elemente als Fassadenteil (Raumabschluss) ohne Wandkonstruktion dahinter. Die Wärme wird frei in den Raum abgestrahlt und an massiven Innenwänden (Flurwänden) u. a. absorbiert und verteilt, geringer Wirkungsgrad. Die Lichtstreuwirkung des TWD-Mate-

rials trägt zu einer tiefen Raumausleuchtung ohne Blendung der Nutzer bei, aus energetischer Sicht besonders unwirtschaftlich,

- Kombination von Trombé-Wänden hinter TWD-Elementen mit Hohlbauteilen wie Decken u. ä. zur Ausbildung von kompletten Hybridsystemen, wobei auch innerhalb der erwärmten Schachtwände Warmwasser führende Heizverteilungsleitungen oder -schläuche angeordnet werden können,
- TWD-Putze auf massiver Wand in Anlehnung an das Wärmedämm-Verbund-System (WDVS), fugenlose Integration in das geplante WDVS, partielle Fassadenbelegung möglich, keine mechanische Beschattungsvorrichtung notwendig, geringerer solarer Energiegewinn. Mit ~ 150,- €/m² können diese Putze kostengünstig hergestellt werden.

Erfahrungen mit TWD sind bisher bei Pilot-Anwendungen gemacht worden (Beispiele siehe Planungshilfe „Umweltschutz im Bauwesen“). Es ist darauf hinzuweisen, dass bei Büroräumen in der Regel das Wärmeangebot in den Abendstunden nicht genutzt werden kann.

Weitere Kriterien zur Berücksichtigung von TWD bei der Planung und beim Bau eines Gebäudes

Sonnenschutz

Um einer Überhitzung eines Gebäudes in den wärmeren Jahreszeiten vorzubeugen, sollten entsprechende Sonnenschutzvorkehrungen getroffen werden. Hierzu siehe auch [Kapitel 2.8: „Sonnenschutz“](#).

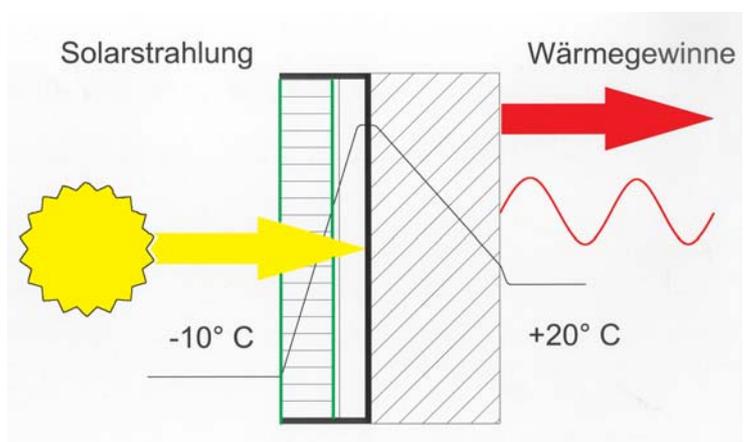


Abb. 8 Eine Fassade mit transparenter Wärmedämmung als Strahlungsheizkörper

Wichtig ist der Schutz vor Überhitzung in den Sommer- und Übergangsmonaten durch selbstregulierende Schichten oder Verschattung. Letztere ist ohnehin notwendig, um eine Erwärmung der Kapillarstruktur der TWD über 80° C zu vermeiden, da ansonsten Schäden am System zu erwarten sind. Der Brandschutz und die Zulassung des ausgewählten Systems sind unbedingt zu beachten. Anstelle der Verschattungseinrichtung ist es denkbar,

- durch eine fest stehende Verschattung der TWD-Fläche bei höher stehender Sonne in den Sommermonaten (z. B. durch Dachüberstände) den übermäßigen Wärmeeintrag in das Gebäude außerhalb der Heizperiode zu reduzieren (nur für Südfassaden),
- durch einen Hinterlüftungsspalt die Wärmeströme, die von der Absorberfläche zur Außenwand hinfließen, zu steuern. Der Hinterlüftungsspalt muss mechanisch geöffnet bzw. geschlossen werden können,
- einen thermooptisch wirksamen Werkstoff zu wählen, dessen Transmission durch eine sich bei hoher Erwärmung eintrübenden Beschichtung reduziert wird.

Raumgrößen und -ausstattung

Bei der Verwendung einer TWD-Fassade sollten die dahinterliegenden Räume nicht zu klein bemessen werden, weil dadurch einer Überhitzung Vorschub geleistet wird.

An der Fläche, an der eine TWD-Fassade eingesetzt wird, müssen große Möbelstücke vermieden werden. Bei der Planung ist daher auf ausreichende alternative Stellfläche zu achten.

Wandbaustoff und -dicke

Das Mauerwerk soll die aufgenommene Wärme möglichst gut speichern und eine optimale Weiterleitung gewährleisten. Dazu sind Rohdichten von mindestens 1200 kg/m³ notwendig. Monolithische Wände aus KS-Stein, Vollziegel und Beton mit einer Dicke von 18-30 cm erfüllen die Kriterien. Außen-, Kern- und Innendämmung eignen sich dagegen auf Grund großer Wärmedurchlasswiderstände nur wenig zum Einsatz hinter TWD.

Temperaturbedingte Dehnung

Häufig empfohlene Teilflächenbelegung mit TWD führt in den Übergangsbereichen zwischen transparenter und opaker Dämmung zu starken Temperaturunterschieden und somit zu Rissen. Durch

schnelleres Austrocknen des Mauerwerks hinter der TWD wird die Rissbildung zusätzlich vorangetrieben. Sollfugen im Bereich von Fenstern oder Türen können die Rissbildungen kontrolliert aufnehmen.

Weiteres

Bei der Ausführung von TWD-Fassaden sollte weiter beachtet werden:

- Luftdichtigkeit: die Funktionstüchtigkeit solcher Elemente setzt einen luftdichten Anschluss an die umgebenden Fassadenzonen voraus. Die Luftdichtigkeit muss auch bei temperaturbedingten Dehnungen sichergestellt sein, die bis zu mehreren Zentimetern betragen können. In der unteren Zone werden Öffnungen vorgesehen, um einen Dampfdruckausgleich und Ableitung von anfallendem Kondenswasser zu gewährleisten. Wärmebrücken und Tauwasserausfall sind unbedingt zu vermeiden,
- Montage: die Montage erfordert breitere Gerüste und größeren Gerüstabstand von der Fassade,
- Standsicherheit, Schallschutz und Brandschutz: da ein Nachweis gegenüber der Genehmigungsbehörde notwendig werden kann, sollte man nur auf Produkte zurückgreifen, die entsprechende Nachweise liefern können. Das gleiche gilt auch für Produktzulassungen gemäß den Bauordnungen der Länder (viele Hersteller geben Hilfestellung zu diesen Themen),
- die Kosteneffizienz einer TWD-Fassade muss kritisch geprüft werden.

2.7.2 Passivhaus

Definition des Passivhauses

Ein Passivhaus ist die konsequente Weiterentwicklung des Niedrigenergiehauses.

Dabei ist der Wärmebedarf soweit verringert, dass die Energiebeiträge aus eingestrahelter Sonnenenergie, Eigenwärme der im Gebäude befindlichen Personen und Wärmeabgabe von technischen Geräten ausreichen, um das Gebäude warm zu halten. Der verbleibende geringfügige **Heizwärmebedarf** kann größtenteils aus **regenerativen Energiequellen** gedeckt werden (siehe **Abb. 9**).

In Verbindung mit einer hochwertigen Gebäudehülle (Wärmedämmung und Luftdichtheit) wird beim Passivhausstandard eine mechanische Lüftung mit einer effizienten Wärmerückgewinnung eingesetzt.

Voraussetzung für den Standard des Passivhauses ist ein **spezifischer Jahresheizwärmebedarf** von weniger als $15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ (für normale Raumhöhen). Dieser Wert sollte nicht auf Kosten hoher zusätzlicher Verbräuche von anderen Energieträgern (z. B. Strom) erreicht werden.

In einem Passivhaus wird insgesamt weniger Energie verbraucht, als in durchschnittlichen europäischen Neubauten allein an Haushaltsstrom und für die Warmwasserbereitung benötigt wird. Der gesamte Endenergieverbrauch eines Passivhauses ist daher um mindestens einen Faktor 4 geringer als der durchschnittliche Verbrauch in Neubauten nach den jeweils geltenden nationalen Vorschriften.

Kosteneffizienz

Ein Passivhaus ist kosteneffizient, wenn die kapitalisierten Gesamtkosten (Investitionen in das Gebäude einschließlich Planung und Haustechnik plus Betriebskosten über 30 Jahre) nicht höher sind als in einem durchschnittlichen Neubau.

Folgende Grundsätze bilden einen Leitfaden zum Bau von Passivhäusern:

- Südorientierung und Verschattungsfreiheit
Passive Solarenergienutzung ist ein wesentlicher Faktor für das Passivhaus,
- guter Wärmeschutz und **Kompaktheit**
Alle opaken Bauteile der Außenhülle des Hauses werden auf einen U-Wert kleiner als $0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ gedämmt,
- hochwertige **Verglasung und Fensterrahmen**
Die Fenster (Verglasung einschließlich der Fensterrahmen) sollen einen U-Wert von 0,8 nicht überschreiten bei g-Werten um 50 %,
- **wärmebrückenfreie Konstruktion**
Wärmebrücken sind auszuschließen, Ästhetische Details sollten aus energetischer Sicht konstruktiv durchdacht (und alternativ, z. B. thermisch getrennt, ausgeführt) werden,
- **Luftdichtigkeit des Gebäudes**
Ein Luftaustausch über Undichtigkeiten

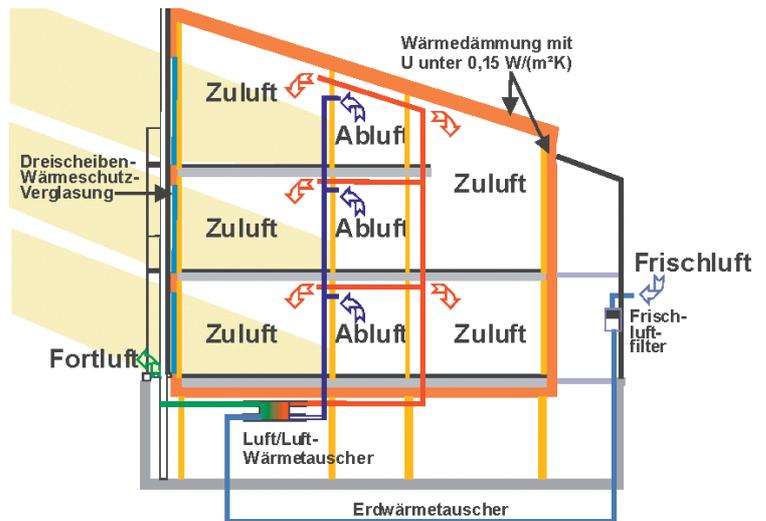


Abb. 9 Prinzip eines Passivhauses

darf nicht größer als das 0,6-fache Luftvolumen des Hauses bei einem Unter-/oder Überdruck von 50 Pascal sein (entspricht Windstärke 6). Die Maßeinheit der Luftdichtigkeit ist der $n_{(50)}$ -Wert. Die Luftdichtigkeit eines Gebäudes wird über einen „Blower-Door-Test“ ermittelt,

- hochwirksame Rückgewinnung der Wärme aus der Abluft mit einem Wärmetauscher
Der Frischluft wird der größte Teil der Wärme aus der Abluft wieder entzogen (Wärmerückgewinnungsgrad über 80 %). Optimierungsmöglichkeiten zur Senkung des Primärenergiebedarfs,
- passive Vorerwärmung der Frischluft
Die Frischluft kann über einen Erdreich-Wärmetauscher in das Haus geführt werden; selbst an kalten Wintertagen wird die Luft so bis auf eine Temperatur von über 5°C vorerwärmt,
- Erwärmung des Brauchwassers mit teilweise regenerativen Energien (Wohnungsbau)
Mit Solarkollektoren oder auch mit Wärmepumpen wird ein Großteil der Energie für die Warmwasserversorgung gewonnen,
- Energiespargeräte für den Haushalt (Wohnungsbau)
Kühlschrank, Herd, Tiefkühltruhe, Lampen, Waschmaschine usw. als hocheffiziente Stromspargeräte oder Erdgas- oder Gasgeräte tragen zur weiteren Senkung des Primärenergiebedarfs bei.

Restwärmebedarf

Trotz vorhandener Wärmegewinne ist auch für das Passivhaus ein Restwärmebedarf vorhanden. Da die Heizungsdauer jedoch recht kurz ist, muss für jedes Gebäude geprüft werden, mit welchem System dieser Bedarf gedeckt werden soll. Wünschenswert ist dabei der Einsatz regenerativer Energien.

Die vorgenannten Erläuterungen sind aus dem Wohnungsbau abgeleitet, aber grundsätzlich gelten für Bürogebäude die gleichen Regeln.

2.7.3 Doppelfassaden

Doppelfassaden (Twin-Face) umhüllen als thermische Pufferzonen das Gebäude. Entweder als vorgehängte zweite Haut oder mit geschossweise umlaufenden Fassadenkorridoren ausgebildet, sollen sie die thermischen Verhältnisse (auch schallschutztechnische Probleme) eines Gebäudes regeln, indem überschüssige Wärme abgeführt und benötigte Wärme gewonnen wird.

Das bedeutet, dass solche Fassaden „passiv“ ausgelegt sind, indem man auf die natürlichen Kräfte der Lüftung vertraut. Da aber diese natürlichen Kräfte nicht ständig vorhanden sind, kommt eine Doppelfassade nicht ohne Technik aus. Im Winter bilanziert eine Doppelfassade durchaus deutliche Energieeinsparungen, aber im Sommer ist die Aufheizung des Gebäudes das weitaus größte Problem.

Die Abführung warmer Luft durch eigene Thermik ist nicht nur abhängig von der Temperaturdifferenz zwischen innen und außen, sondern auch von der Schachthöhe. Oben liegende Öffnungen sind also benachteiligt. Im Sommer ist dann die Temperaturdifferenz oft nicht mehr ausreichend, um die warme und mit CO₂ angereicherte Innenluft passiv abzuführen. Ohne Kühlung kann es sogar passieren, dass die durch die Fassade eingeströmte Frischluft aufgeheizt und dann in die Räume verteilt wird. Dies würde zu einer zusätzlichen Wärmebelastung führen, nachströmende kühle Luft aus dem Gebäudeinneren kann diesem Effekt allerdings entgegenwirken.

Die Kosten für eine Doppelfassade sind entsprechend der aufwändigen Konstruktion oft sehr hoch. Bei rahmenloser Verglasung steigen sie sogar exponential gegenüber einer konventionellen Fassade an. Genaue Kosten-Nutzen-Analysen

(sofern dies überhaupt möglich ist) vor der Realisierung sind daher unabdingbar.

Zusätzliche Kosten werden häufig durch die Wartung und Reinigung der zusätzlich entstandenen Fläche entstehen. Zwar ist der Zwischenraum in der Fassade einfach zu begehen, aber die Außenseite macht darüber hinaus oftmals eine teure Befahranlage oder Hubsteiger notwendig.

Doppelfassaden mögen im Erscheinungsbild einfach aussehen, in ihnen muss aber eine komplizierte Technik integriert werden, damit sie „aktiv“ funktionieren. Mit einer Doppelfassade greift man weit über den U-Wert oder den g-Wert hinaus in das Energieverhalten eines Gebäudes ein. Es ist für einen Planer notwendig, sich frühzeitig mit Fachleuten der Fassadenplanung und Lüftungs- und Haustechnik in Verbindung zu setzen. Dabei gibt es keine allgemeinverbindliche Lösung. Jedes Gebäude hat seine spezifischen thermischen Verhältnisse und muss entsprechend ein eigenes Konzept erhalten.

Trotz der angesprochenen Probleme gibt es allerdings auch Planungsaufgaben, in denen eine Doppelfassade Sinn macht. Durch möglichst genaue Voruntersuchungen muss der Nutzen allerdings für jedes Bauvorhaben einzeln untersucht werden. Eine Notwendigkeit bei der Ausführung einer Doppelfassade ist jedoch die hundertprozentige Funktionstüchtigkeit des Sonnenschutzes und der Lüftung.

Einige grundlegende Überlegungen im Folgenden sollen den Planer für diese Materie sensibilisieren. Sie können allerdings nicht als eine Checkliste angesehen werden, mit deren alleiniger Hilfe eine Doppelfassade energetisch sinnvoll und wirtschaftlich geplant werden kann.

Anforderungen an die Fassade

Die Fassade als äußeres Bauteil eines Gebäudes erfüllt mehrere Funktionen:

- Schutz vor äußeren Wettereinflüssen,
- Gestaltung des Bauwerks,
- Tageslichteinlass und zugleich Aus- und Einblick von innen nach außen und umgekehrt,
- Wärmeschutz und Energiereduzierung im Betriebsablauf eines Gebäudes,
- Schallschutz,
- Haltbarkeit (Nachhaltigkeit),
- freie Lüftungsmöglichkeit.

Bei hohen Gebäuden zusätzlich:

- leichte Reinigung oder selbstreinigende Oberflächen,
- problemlose Erneuerung der Fassade,
- Widerstand gegen Winddruck- und Windsogkräfte,
- Dehnungsaufnahme durch Temperaturänderungen.

Vorteile einer Doppelfassade

- Wetterschutz (Wind und Regen) bei Hochhäusern,
- Schutz der Sonnenschutzeinrichtung,
- Nachtkühlung im Sommer,
- Energie-Einsparung: im Winter werden die Wärmeverluste reduziert und sogar Energie gewonnen,
- individuelle Lüftung über die Fenster,
- bei geöffnetem Fenster bleibt der Schall zum großen Teil außen,
- der Fassadenzwischenraum kann als Wartungsgang ausgebildet werden und so die Pflege der Fassaden ermöglichen. Wichtig ist, dass auch die Außenseite von innen zu erreichen ist,
- neue Möglichkeiten der Gestaltung,
- bei der Sanierung im Gebäudebestand kann die alte Fassade weitgehend unangetastet bleiben.

Nachteile einer Doppelfassade

- die überschüssige Wärme im Sommer muss meist technisch weggeführt werden. Erfahrungen zeigen, dass meistens eine RLT-Anlage oder sogar Kühlsysteme notwendig werden,
- die Lüftung muss bei allen Witterungsverhältnissen gewährleistet sein, notfalls durch technische Hilfsmittel,
- Gefahr der Zufuhr belasteter Außenluft bzw. verbrauchter Luft aus anderen Räumen,
- Gefahr der Kondensatbildung auf der Innenseite der Außenschale,
- erhöhte Schallübertragung von Raum zu Raum (auch vertikal) möglich,
- größeres Bauwerksvolumen und somit verminderte vermietbare Fläche,
- höhere Wartungs- und Reinigungskosten auf Grund der erhöhten Fassadenfläche,
- höhere Investitionskosten,
- der Fassadenraum könnte im Brandfall verrauchen,

- der zweite Fluchtweg über die Fenster kann verbaut sein,
- erhöhter Aufwand zum Nachweis des Brandschutzes.

Einsatzmöglichkeiten für Doppelfassaden

- grundsätzlich sollte in Voruntersuchungen die Wirtschaftlichkeit bezüglich der erhöhten Investitionskosten und der Energiebilanz einer Doppelfassade nachgewiesen werden,
- in lärmbelasteten Gebieten mit eingeschränkter Fensterlüftung,
- bei Gebäuden mit erhöhten Sicherheitsanforderungen (z. B. Museum),
- Hochhäuser.

Die bisherigen Erfahrungen mit Pilotprojekten konnten bisher die Wirtschaftlichkeit von Doppelfassaden nicht bestätigen. Auf Grund der hohen Kosten für Investition und Unterhaltung solcher Systeme ist deren Einsatz als sehr kritisch zu bewerten.

Fassadentypen

Kastenfenstersystem

Jeder Raum oder jede Raumachse besitzt einen horizontal und vertikal geschlossenen vorgehängten Fassadenkasten mit eigenen Zu- und Abluftöffnungen. Die Räume sind unabhängig von einander belüftbar.

Schachtprinzip

Mehrere Geschosse werden durch einen gemeinsamen Abluftschacht miteinander verbunden. Dieser Schacht ist durch Überströmöffnungen an die Fassadenkästen der Fenster angeschlossen, die jeweils durch eigene Zuluftöffnungen belüftet werden. Die Abluft der Räume strömt durch den gemeinsamen Abluftschacht durch eine Abluftöffnung nach außen ab.

Vorgehängte Scheibe

Beim doppelschaligen Fassadensystem ohne Abschottung wird eine Glasfassade vor die Normalfassade gehängt. Die Außenfassade besitzt eine oder mehrere Öffnungen zur Luftzu- und -abfuhr. Es gibt keine vertikalen oder horizontalen Abschottungen zwischen den einzelnen Geschossen und Räumen.

Einteilung nach Lüftungskonzepten

- gezielt undichter Puffer, nur Witterungs- und Lärmschutz durch eine Art Vorhang,
- Zuluftfassade, Zuluft über die Fassade, Abluft über zusätzlichen Klappen auf der gegenüberliegenden Raumseite; bei unzureichend dimensionierter Abluftklappe frisst die Energie für die Kühllast im Sommer schnell die Energieeinsparung im Winter,
- Abluftfassade, umgekehrter Weg wie bei der Zuluftfassade; keine solaren Gewinne, dafür aber geringere Kühllast,
- Kombination Zuluft und Abluftfassade, im Winter Zuluft, im Sommer Abluft,
- Doppelluftfassade,
 - Umluftfassade: nach 2 Geschossen horizontale Unterteilung, umlaufender Fassadenkorridor; im Sommer: relativ kühle Luft der Nordseite wird zur Südseite transportiert; im Winter: weitgehend homogen temperierte Pufferschicht.
 - Korridorfassade: nach jedem Geschoss horizontale Unterscheidung; Zu- und Abluftöffnungen in Boden und Deckenhöhe; Luftzirkulation durch Thermik.
 - Kasten-Kasten-Fassade: geschossweise horizontale und vertikale Segmentierung pro Achsenabschnitt; Kästen mit Zu- und Abluftöffnungen.
 - Schacht-Kasten-Fassade: Fassaden- und Raumlüftung getrennt; Energieeinsparung gegenüber konventioneller Fassade bis ca. 50 %; auch bei geöffneten Innenfenstern guter Schallschutz.
 - Modulare Hybridfassade: ähnlich wie Kasten-Kasten-Fassade; vier Fenster werden zu einem Modul zusammengefasst; Wärmerückgewinnung.

2.8 Sonnenschutz, sommerlicher Wärmeschutz

Die Möglichkeiten des Wohnungsbaus (Ausrichtung und Lage auf dem Grundstück, Hauptorientierung der Fenster nach Süden) lassen sich in Ver-

waltungsgebäuden nur eingeschränkt realisieren. Die Nutzung des Außenklimas für das Innenraumklima eines Gebäudes in Bezug auf solare Wärmeinträge ist nur so lange möglich, wie die internen Wärmequellen (Personen, Geräte, Beleuchtung) in Verbindung mit der solaren Einstrahlung den Innenraum nicht überlasten.

Glasflächen (abhängig von Nutzung und Orientierung) mit Wärmegewinnen im Winter müssen gegen Übertemperaturen im Sommer einen wirksamen, d. h. in der Regel einen beweglichen Sonnenschutz haben.

Da die direkte Sonneneinstrahlung in den Raum durch gute Planung erheblich verringert werden kann, kommt den Sonnenschutzmaßnahmen für den sommerlichen Wärmeschutz eine entscheidende Bedeutung zu. Dabei ist es erforderlich, durch geeignete Maßnahmen die unerwünschte Sonnenenergie gar nicht oder kontrolliert in den Raum eindringen zu lassen. Gleichzeitig soll im Winter aber die Sonnenenergie genutzt werden, um Heizenergie einzusparen.

Übersteigt der Fensterflächenanteil eines Gebäudes 30 % (Wohn- und Nicht-Wohngebäude), werden in der EnEV und in der DIN 4108-2: 2001-03 Forderungen formuliert:

EnEV: § 3 (4) Anforderungen an Sonneneintragskennwerte oder Kühlleistung bei Gebäuden mit einem Fensterflächenanteil über 30 % (Dieser Wert wird in der DIN 4108-02 weiter differenziert).

Anhang 1: 2.9.1: statischer Verweis auf DIN 4108-2: 2001-03
2.9.2: (Öffnungsklausel) Die Begrenzung des Energieeintrags im Sommer ist bei manchen Nicht-Wohngebäuden nicht immer einzuhalten. Es sind dann raumlüfttechnische Maßnahmen notwendig. Die EnEV reduziert deren Einsatz aber auf ein Mindestmaß.

DIN 4108-2: 2001-03: Abschnitt 8 – In Tabelle 6 wird vorgegeben, bei welchem Fensterflächenanteil (auf die Ausrichtung bezogen) ein Sonnenschutznachweis erforderlich wird. Ebenfalls wird das Rechenverfahren für den Nachweis selbst dargestellt.

Die Ausleuchtung eines Raumes mit Tageslicht und das blendfreie Arbeiten sind weitere wichtige

Aspekte, die es zu beachten gilt. Hierzu siehe die Kapitel „Künstliche Beleuchtung“ und „Grundrissplanung/Organisation“.

Im Falle normaler Raumnutzungen und Umweltbedingungen, d. h. freier Fensterlüftung, verhindert auch ein wirksamer Sonnenschutz unbehaglich hohe Raumlufttemperaturen sowie störende Blendung und Helligkeitskontraste im Raum; er trägt damit zur Erzielung des physiologisch behaglichen Raumklimas bei.

Bei nutzungs- oder umweltbedingten raumlufttechnischen Anlagen mit Kühlung kann der Energieverbrauch durch geeignete Sonnenschutzmaßnahmen erheblich reduziert werden, da ein Teil der Kühllast ohne technische Hilfsmittel abgehalten wird. Häufig kann durch einen optimalen Sonnenschutz allein oder im Zusammenwirken mit einer geeigneten wärmespeichernden Bauweise auf die RLT-Anlage überhaupt – oder zumindest auf die Kühlung – verzichtet werden. Im Vermeiden von RLT-Anlagen oder im Senken des Energieverbrauchs solcher Anlagen liegt daher eine besondere Bedeutung des Sonnenschutzes. Sonnenschutzanlagen sollen aber erwünschte Wärmegewinne im Winter nicht verhindern. Ein zweckmäßiger Sonnenschutz kann nur nach Abwägung aller physiologischen, physikalischen, architektonischen, technischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkte ausgewählt und geplant werden.

Ermittlung der Besonnungsverhältnisse

Die Besonnungsverhältnisse, die Beschattung der Baukörper durch die Geländestruktur, andere Baukörper oder Bepflanzungen sind bei der Planung des Sonnenschutzes ebenso zu beachten, wie die internen Wärmegewinne und -verluste. Nur über eine möglichst umfassende Ermittlung aller Variablen kann die benötigte Technik für die Energieversorgung eines Gebäudes dimensioniert werden. Dabei ist es unerlässlich, bereits in der Entwurfsphase in enge Zusammenarbeit mit den Fachingenieuren der Haustechnik zu treten, um mit optimierten Energiekonzepten das Ziel des energiesparenden Bauens zu realisieren.

Die speziellen Besonnungsverhältnisse kann man:

- nach VDI 2078 – Berechnung der Kühllast klimatisierter Räume errechnen,
- gem. DIN 4108–2: 2001–03 ermitteln,
- am Modell nachbilden,
- grafisch darstellen,

- durch Computersimulation veranschaulichen. Entsprechende Programme können heute fast auf den Tag genau die Wärmebilanz einzelner Räume simulieren und die Entscheidungsfindung für geeignete Sonnenschutzmaßnahmen erheblich vereinfachen.

Der notwendige Umfang eines Sonnenschutzes ist insbesondere bei allen Räumen zu prüfen, deren Außenwände bzw. Decken...

- senkrechte oder gegen die Senkrechte geneigte (stehende) Glasflächen in den Himmelsrichtungen von Nordosten über Süden bis Nordwesten (bei verstärkter Strahlung infolge Reflexion durch umgebende Bebauung auch nach Norden) aufweisen,
- wenig wärmespeichernde Bauweisen (vgl. Kapitel Wärmespeicherung) in Verbindung mit großen Fensterflächen (Verhältnis Fensterfläche zu Raumgrundfläche > 1 : 5 oder Fensterfläche zu Fassadenfläche je Raumachse > 1 : 2) haben, oder
- waagerechte oder gegen die Waagerechte geneigte (liegende) Glasflächen aufweisen (Winkel $\alpha < 60^\circ$).

Wärmegewinne/Wärmeverluste

Wärmegewinne werden erzielt durch die Abwärme technischer Geräte, durch menschliche Abwärme und durch die Energie der Sonne.

Wärmeverluste dagegen entstehen durch Transmission und durch Lüftungswärmeverluste durch Fenster und Konstruktionsfugen.

Für ein **behagliches Raumklima** ist es erforderlich, dass die Summe der Wärmeverluste und -gewinne möglichst konstant und exakt auf den für die jeweilige Nutzung erforderlichen Werten abgestimmt ist und gehalten wird.

Die Erwärmung eines Raumes durch technische Geräte ist nur kaum zu verändern, da die benötigten Geräte in ihrer Quantität dem Bedarf angepasst sind. Qualitätsverbesserungen dieser Geräte lassen jedoch eine Reduzierung dieser inneren Wärmelast erwarten.

Die Erwärmung eines Raumes durch Sonneneinstrahlung dagegen kann durch eine zielorientierte Hochbauplanung reduziert werden. Zwar kann die Intensität der Sonne nicht beeinflusst werden, aber durch geeignete Maßnahmen ist es möglich, die

zur Verfügung stehende Energie durch die Sonne kontrolliert in ein Gebäude herein zu lassen oder sie fern zu halten.

In geringem Maß kann auch die Wärmetransmission von außen nach innen durch opake Bauteile zur Erwärmung eines Raumes beitragen. Die Wärmeenergie der Sonne wird vom Mauerwerk mehr oder weniger absorbiert und gelangt so in den noch „kühlere“ Innenraum. Bei einem massiven gut gedämmten Mauerwerk ist dieser Effekt allerdings als gering zu bewerten!

Kriterien für die Qualität eines Sonnenschutzes

Allgemeine Kriterien zur Beurteilung von Sonnenschutzmaßnahmen sind:

- Abschirmungsgrad gegen Wärmeeinstrahlung,
- Lichtdurchlässigkeit
 - Anpassungsmöglichkeit an die Tageslichtverhältnisse (Verstellbarkeit),
 - Selektive Strahlungsdurchlässigkeit, (Lichtdurchlässigkeit/Gesamt-Energiedurchlässigkeit),
 - Abstimmung zwischen Verschattung und Lichteinfall (bei starrem Sonnenschutz),
- Blendschutz (meistens vom Sonnenschutz getrennt)
 - Direktblendung und Helligkeitskontraste im Blickfeld,
 - Blendfreiheit am PC,
- Farbwiedergabe
 - Bei Markisen, Vorhängen, farbigen Jalousetten usw.,
- Durchsichtmöglichkeit
 - Sichtkontakt nach außen,
- Wärmestau
 - Luftzirkulation zur Wärmeabführung vor der Fassade,
- Bedienung individuell
 - Sicherstellung des Einsatzes (bei mit RLT-Anlagen ausgestatteten Räumen im allgemeinen automatische Steuerung),
- Geräuschemission
 - Geräuschenstehung bei Windanfall,
- Betriebssicherheit
 - Sturmsicherheit,
 - Reparaturanfälligkeit,
 - Reinigungsmöglichkeit,
- Wärmeenergiegewinn im Winter
 - Durchlässigkeit für Sonnenstrahlung während der Heizperiode.

Ein idealer Sonnenschutz reflektiert oder absorbiert **außerhalb** eines Raumes möglichst viel der auf das Fenster strahlenden Wärmeenergie. Auf diese Weise wird die Wärmeenergie außen gehalten und muss nicht erst aufwändig wieder aus dem Gebäude abgeleitet werden. Dabei ist jedoch darauf zu achten, dass es nicht vor der Fassade zu einem Wärmestau kommt, sondern die auftriebende Luft an vorgehängten Konstruktionen vorbei abströmen kann.

Prinzipielle Möglichkeiten des Sonnenschutzes

- Gebäudekonzeption und Ausnutzung natürlicher Gegebenheiten
 - Orientierung der Fassadenöffnungen,
 - Begrenzung des Fensterflächenanteils auf das für Energiegewinne, Beleuchtung und Belüftung notwendige Maß,
 - Verschattung durch Baumbestand,
- Verschattung durch außenliegende, bewegliche Sonnenschutzkonstruktionen
 - Jalousetten, Ganzmetall-Stores,
 - Markisen, Markiseletten, Rollos,
- Verschattung durch außenliegende starre Sonnenschutzkonstruktionen
 - Starre, horizontale und vertikale Blenden,
 - Balkone; vorspringende Dächer,
- Reduzierung der Strahlungsdurchlässigkeit des Glases
 - Reflexionsgläser,
 - Absorptionsgläser,
- Erhöhung der Rückstrahlung von Innen
 - Textile Vertikallamellen, Rollos, Vorhänge, Jalousetten,
 - Folienrollos mit selektiven Reflexionseigenschaften.

Bereits im Kapitel „Gebäudegeometrie“ wurde darauf eingegangen, welche planerischen Grundsätze zu beachten sind, um energie- und ressourcensparend zu bauen, d. h. wie der Planer bereits in der Gebäudekonzeption Einfluss auf den späteren Heizwärmebedarf nehmen kann. Da gerade in den wärmeren Monaten aber ein Bürogebäude auch mit dem Problem der Überhitzung zu tun hat, werden an dieser Stelle nun Maßnahmen beschrieben, wie diesem Problem möglichst ohne RLT-Anlagen begegnet werden kann.

Ausrichtung eines Gebäudes auf dem Grundstück

Von den Gebäudeseiten mit überwiegend direkter Sonneneinstrahlung erweist sich die Südseite, sowohl hinsichtlich geringer sommerlicher Wärmebelastung als auch des möglichen winterlichen Wärmegewinns, als vorteilhaft. Die Abbildungen 10 und 11 zeigen, dass im Hochsommer die Wärmeeinstrahlung durch Südfenster niedriger ist als durch ost- oder westorientierte Fenster. Der steilere Sonneneinfallswinkel bewirkt eine geringere Strahlungsbelastung der Fensterfläche (kleinere Flächenprojektion senkrecht zur Einstrahlung) und höhere Strahlungsreflexion an der Glasscheibe. Eckräume mit nach zwei oder mehr Richtungen orientierten Fensterflächen, insbesondere Südost- oder Südwest-Orientierungen, sind im allgemeinen ungünstiger als mit einseitig orientierten Fensterflächen.

Oberlichter (Lichtöffnungen in Decken)

Horizontale und geneigte Glasflächen (verglaste Dächer, Lichtkuppeln u. ä.) führen immer zu Sonnenschutzproblemen und gewähren nicht den arbeitsphysiologisch notwendigen Sichtkontakt nach außen. Sie sind den ganzen Tag über, der in steilem Winkel auftreffenden Sonnenstrahlung ausgesetzt, ohne dass es bisher hierfür befriedigende Sonnenschutzmöglichkeiten gibt. Lichtkuppeln u. ä. sollen daher nur für Räume mit untergeordneter Nutzung oder in besonderen Fällen verwendet werden. Sheddächer mit nach Norden gerichteter, stehender oder schräger Verglasung, stellen für Raumklima und Tageslichtbeleuchtung eine gute Lösung dar.

Vegetation

- die Verschattung durch umgebende Bebauung und Bepflanzung ist auch im Hinblick auf zukünftige Entwicklungen in der Umgebung zu analysieren,
- bei Bepflanzungen laubabwerfendes Gehölz einsetzen, um im Sommer die Schutzwirkung zu erhalten und im Winter die Wärme- und Lichtenergie der Sonne ins Gebäude zu lassen,
- für niedrige Gebäude ergibt ein dichter Baumbestand einen nahezu idealen Sonnenschutz. Beim Stoffwechsel von Bäumen werden durch Verdunstung große Mengen Wasser abgegeben. Durch die der umgebenden Luft entzogene Verdunstungswärme liegen die Temperaturen im Baumschatten durchschnittlich um 3 bis 5 K unter denen im Gebäudeschatten.

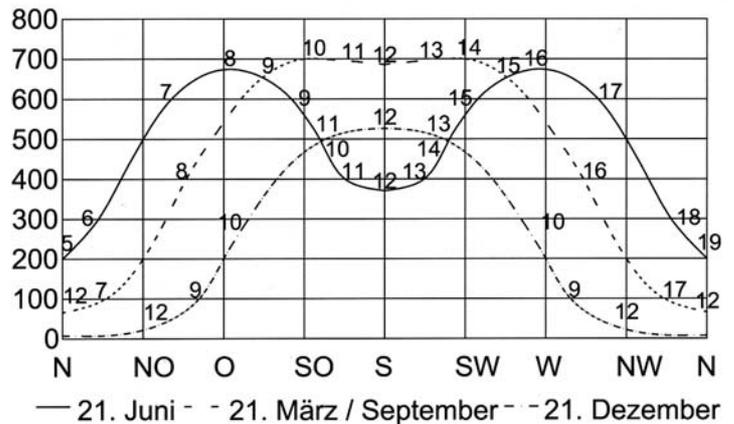


Abb. 10 Maximale stündliche direkte Sonnenwärmeeinstrahlung durch 1 m² senkrechter Fensterfläche in Abhängigkeit von der Himmelsrichtung

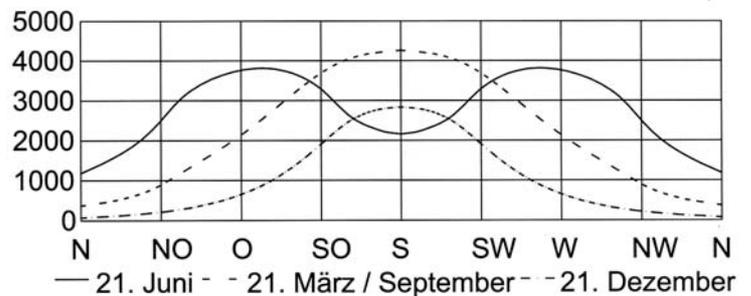


Abb. 11 Tagessumme der direkten Sonnenwärmeeinstrahlung durch 1 m² senkrechter Fensterfläche in Abhängigkeit von der Himmelsrichtung

Dieser Kühleffekt wirkt sich (im Gegensatz zu konstruktiven Sonnenschutzmaßnahmen) ausgesprochen günstig auf die Fensterlüftungsmöglichkeit aus. Im Winter, wenn der Sonnenwärmegewinn erwünscht ist, behindern laubfreie Bäume die Sonneneinstrahlung wenig.

Aktive Sonnenschutzmaßnahmen

In Abhängigkeit von der Himmelsrichtung (siehe Tab. 1, nächste Seite) lassen sich grundsätzliche Aussagen treffen:

Verschattung durch außenliegende, bewegliche Sonnenschutzkonstruktionen

Jalousetten

Ein sehr wirksamer, anpassungsfähiger und für alle Einstrahlungsverhältnisse verwendbarer Sonnenschutz sind hochreflektierende Außenjalousetten. Durch variable Ausfahrlängen und Lamellenkippwinkel sind die Strahlungsdurchlässigkeit sowie der Einfluss auf Helligkeit und Gleichmäßigkeit der Raumausleuchtung mit Tageslicht in einem großen Bereich steuerbar.

Die Wirksamkeit von Jalousetten kann durch ungünstige Anbringung beeinträchtigt werden. Die

von der Sonneneinstrahlung aufgewärmten Lamellen bewirken einen starken Luftauftrieb, der durch die gekippten Lamellen zunächst vor allem nach innen gerichtet ist. Kann diese Luft im oberen Bereich nicht abströmen, entsteht zwischen Jalousette und Fenster ein Warmluftpolster, dessen Temperatur wesentlich über der Außenluft- bzw. Raumlufttemperatur liegt (Wärmestau). Sind in einem solchen Falle Oberlichter geöffnet, strömt diese erwärmte Luft in den Raum ein, wodurch die Wärmeentlastung durch den Sonnenschutz teilweise wieder aufgehoben wird. Die Jalousettenkästen müssen daher von der Fassade abgesetzt bzw. entsprechende Hohlräume hinter vorgehängten Fassadenteilen hinterlüftet werden, damit der Warmluftstrom nach oben abziehen kann. Dadurch wird unter günstigen Strömungsbedingungen die Fensterlüftung dann sogar unterstützt. Jalousetten sollten grundsätzlich über die gesamte Fensterhöhe reichen. Die Anbringung in Kämpferhöhe ist nur dann sinnvoll, wenn die dauernde Verschattung des Oberlichts, z. B. durch tiefe Laibungen o. ä. erhalten bleibt.

Eine Lichtstreuverglasung des Oberlichts ist kein Ersatz für Verschattung. Bei Gebäuden mit umlaufenden Balkonen besteht die Möglichkeit, die Jalousetten an deren Außenkante anzubringen. Es entsteht dadurch praktisch eine anpassungsfähige bewegliche „Balkonschürze“. Durch den großen Abstand vom Fenster ergibt sich die Vollverschattung des Fensters meist schon bei Ausfahrlängen bis über Kopfhöhe, so dass die Ausblickmöglichkeit voll erhalten bleibt. Der Fluchtweg über Fenster und Balkon wird nicht behindert.

Je breiter die verwendeten Lamellen sind, um so besser ist die Sonnenschutzwirkung und um so größer kann ihr Abstand zueinander sein. Ein größerer Lamellenabstand verbessert die Durchsicht nach draußen. Im Allgemeinen sollten daher min. 80 mm breite Lamellen verwendet werden. Zur Verminderung der unvermeidlichen Geräuscent-

stehung bei Windanfall sind vorzugsweise textile Aufzugbänder zu verwenden. Die Lamellen dürfen sich auch bei völlig geschlossener Stellung im Überdeckungsbereich nicht berühren.

Je nach Ausführung verhindern Außenjalousien den Blick ins Freie und müssen zur Verhinderung eines Wärmestaus frei vor der Fassade montiert werden.

Markisen, Rollos

Eine weitere gute Möglichkeit des außenliegenden, beweglichen Sonnenschutzes mit besonderer architektonischer Wirkung sind textile Markisen bzw. Rollos, obwohl ihre Abschirmwirkung – auch bei hochreflektierenden Farben – gegenüber Jalousetten geringer ist.

In Fassadenebene nur vertikal laufend angebracht, können sie Fensterlüftung und Aussicht durch Fenster stark behindern. Es sollten daher bei Fensterbändern stets gruppenweise ausstellbare bzw. schräg nach außen laufende Markiseletten verwendet werden. Durch Anbringen im Außenbereich von Balkonen können diese Nachteile vermieden werden, da auf Grund der Entfernung zum Fenster dessen Verschattung meist schon bei Ausfahrlängen bis über Kopfhöhe erreicht wird. In diesem Falle ergeben vertikal laufende Markisen einen guten Sonnenschutz. Gegenüber schräg geführten Markisen bzw. Rollos haben sie den Vorteil geringerer Verschmutzungsgefahr und längerer Lebensdauer. Die Probleme des möglichen Wärmestaus sind bei fassadennahen Markisen und Rollos schwerwiegender als bei Jalousetten; auf die Möglichkeit der Luftabführung im oberen Bereich muss unbedingt geachtet werden.

Horizontale starre Sonnenschutzkonstruktionen

Horizontale Blenden sollten ggf. nur auf Südseiten (bis zu 15° Abweichung) vorgesehen werden. Bei niedriger Sonnenhöhe am Morgen und am Abend

Himmelsrichtung	Sonnenschutz
Osten/Westen	Außenliegender beweglicher Sonnenschutz
Süden (bis zu 15° Abweichung)	Außenliegender beweglicher Sonnenschutz
Im Süden nur bei geringer innerer Wärmebelastung	Waagrecht, starr an Oberkante Fenster (Abschirmwinkel 30°-35°) mit textilem Innenschutz
Norden (bis zu 20° Abweichung)	Textiler Innenschutz
Sheddächer nur nach Norden	

Tab. 1 Aktive Sonnenschutzmaßnahmen

ergibt sich eine geringe Verschattung des Fensters, am Mittag bewirkt die große Sonnenhöhe eine gute Verschattung. So ist im Hochsommer für 2,10 m hohe Fenster beispielsweise durch eine um 1,20 m horizontal ausladende Blende eine ganztägige, zur Zeit der Tag- und Nachtgleiche (21. März bzw. 21. Sept.) immer noch eine bis zur halben Fensterhöhe herabreichende Verschattung gegeben. Bei niedrigem Sonnenstand im Winter wird die dann erwünschte Einstrahlung kaum mehr behindert. Für einfache Nutzungen mit geringer innerer Wärmebelastung (z. B. Einzelbüros) ist eine solche Konstruktion in Verbindung mit innenliegendem Blendschutz (z. B. Vorhang oder Textillamellen) ausreichend.

Auf Ost- und Westseiten sind horizontale Blenden oder Balkone wegen des niedrigen Sonnenstandes mit hoher Einstrahlungsintensität als alleiniger Sonnenschutz bei ganztägiger Nutzung nicht ausreichend. Sie können aber die hier notwendigen außenliegenden, beweglichen Sonnenschutzrichtungen in ihrer Wirkung unterstützen.

Schrägstehende, starre Sonnensegel im äußeren Bereich von Balkonen haben im Hochsommer an Südseiten den Nachteil, dass die Segel noch zu Zeiten besonnt werden (und einen Teil der Strahlung gestreut an das Rauminnere weitergeben), zu denen die Glasflächen ohne Segel vom Balkon ganz verschattet wären.

Horizontale Blenden sollen unmittelbar über dem Fenster liegen. Balkonplatten, die aus konstruktiven Gründen höher als OK Fenster liegen, sollen bis Fensteroberkante herabreichende „Schürzen“ erhalten. Wärmestau kann die Fensterlüftung beeinträchtigen. Es ist deshalb konstruktiv darauf zu achten, dass die Luftzirkulation vor der Fassade erhalten bleibt. Starre, horizontale Blenden schränken den Lüftungsquerschnitt nicht ein und behindern den Luftauftrieb kaum. Hierin liegt ein Vorteil gerade für einfache Nutzungen auf Südseiten mit Fensterlüftung. Vollflächige Konstruktionen, z. B. durchgehende Balkone, sollten von der Fassade abgesetzt werden. Die Verwendung von Gitterrosten anstelle von geschlossenen Flächen ist eine mögliche Alternative.

Die Wirkung von Sonnenblenden ist abhängig von der Himmelsrichtung, der Größe und dem Abschattungswinkel der Blende. Diese Art des Sonnenschutzes ist bei tiefstehender Sonne auf Grund seiner Wir-

kungslosigkeit in der Regel abhängig von der Verschattung durch Nachbargebäude oder Vegetation.

Balkone, vorspringende Dächer

Fluchtbalkone

Breite zwischen 0,60 und 1,70 m (als Fluchtweg mind. 1,0 m im Lichten).

In kompakten Gebäuden führen sie außerhalb zu den Fluchttreppenhäusern. Die Anzahl der Treppenhäuser kann dadurch reduziert werden und aufwendige Verkehrsflächen bleiben erspart.

Ein Fluchtbalkon vermindert zwar die einfallende Lichtintensität, bewirkt aber einen guten konstruktiven Sonnenschutz. Dadurch kann auf aufwändige, und bei elektrisch gesteuerten Anlagen zusätzlich auf solche Anlagen mit hohen Energieverbräuchen, verzichtet werden. Auch bei Sonnenschein kann man unter einem Balkon hinweg aus dem Fenster sehen.

Die Fensterreinigung wird durch solche Fluchtbalkone ebenfalls vereinfacht. Es kann z. B. auf eine Fassadenbefahranlage verzichtet werden.

Als Alternative könnte auch eine waagerechte Blende ihren Zweck erfüllen.

Vertikaler starrer Sonnenschutz

Die fehlende Anpassungsfähigkeit an die tages- und jahreszeitlich wechselnden Beleuchtungsverhältnisse sowie die fehlende Durchlässigkeit während der Heizperiode wirken sich bei vertikalen, starren Sonnenschutzblenden meist besonders negativ aus. Sie finden daher in unseren Breiten kaum Anwendung.

Auf Ost- und Westseiten kann durch vertikale, starre Blenden seitwärts der Fenster (Sonnensegel, Lamellenblenden) eine nahezu ganztägige Fensterverschattung erreicht werden, wenn diese gegenüber der Fassade um etwa 45° nach Norden abgewinkelt werden und bei genügender Ausladung und Höhe etwa bis Steh-Augenhöhe herabreichen. Fensterlüftung, Beleuchtung und Sicht durchs Fenster werden hierbei nur wenig beeinträchtigt. Auf Grund des meist damit verbundenen konstruktiven Aufwandes und der auffälligen architektonischen Wirkung bleiben solche schrägstehenden Sonnenschutzblenden jedoch allenfalls auf Sonderfälle beschränkt. Ähnliches gilt für drehbare Blenden, die jedoch bei entsprechender Steuerung an alle Einstrahlungsverhältnisse anpassungsfähig sind und höhere Wärmegewinne im Winter zulassen (siehe [Abb. 12](#), nächste Seite).

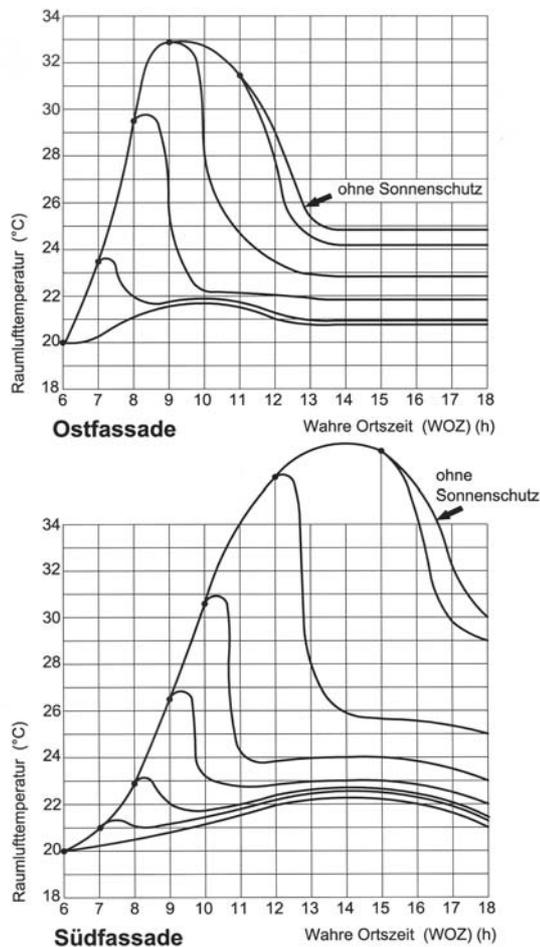


Abb. 12 Raumlufttemperaturverlauf in Abhängigkeit vom Einsatzzeitpunkt des Sonnenschutzes im Hochsommer (Beispiel: Unterrichtsraum 9,60 x 7,20 m) (nach Schäfer)

Innenliegender Sonnenschutz

Die Wirksamkeit von innenliegendem Sonnenschutz ist begrenzt und kann nur auf Nordseiten gegen Diffusstrahlung oder bei einfach genutzten Räumen mit besonders geringem Fensterflächenanteil (< 20 % der raumumschließenden Fassadenfläche) als alleinige Sonnenschutzmaßnahme ausreichen. In der Regel dient er als Ergänzung zu starren Blenden auf Südseiten und Sonnenschutzgläsern, hauptsächlich als Blendschutz. Eine wirksame Ausnahme bilden Folienrollos.

Von der durch das Fenster eingestrahltene Energie kann nur das, was als kurzwellige Wärme- oder Lichtstrahlung im Raum reflektiert wird, teilweise durch das Glas nach außen zurückgestrahlt werden. Entscheidend für die Wirksamkeit von innenliegendem Sonnenschutz ist daher dessen möglichst gutes Lichtreflexionsvermögen sowie eine möglichst geringe Behinderung der Rückstrahlung nach außen.

Für vertikale Textilamellen, Rollos (Gewebe-

Rollstores) u. ä. werden inzwischen Materialien mit besonders hohem Rückstrahlungsvermögen angeboten, die zum Teil auch den begrenzten Durchblick gestatten (z. B. kunststoffbeschichtete Glasfasergewebe). Textilien sind gegenüber innen oder zwischen den Glasscheiben angebrachten Jalousetten wirksamer, da sie sich durch Sonneneinstrahlung weniger aufheizen.

Gut bewährt haben sich einfache helle Nesselvorhänge. Eine geeignete Luftführung durch entsprechende Anordnung von Lüftungsflügeln und -klappen muss dabei die Wärmeabgabe des innenliegenden Sonnenschutzes an den Raum (sekundäre Strahlung und Konvektion) gering halten. Eine hohe Sonnenschutzwirkung erreichen Folienrollos mit selektivem Reflexionsvermögen besonders im nahen (kurzwelligigen) Infrarotbereich. Sie können z. T. auch als temporärer Wärmeschutz nachts eingesetzt werden.

Bedienung

Einzelbedienung ist vorzusehen, wenn die Raumnutzung eine individuelle Einstellung des Sonnenschutzes erfordert. Für einfache Nutzungen mit geringer innerer Wärmebelastung (z. B. Einzelbüros) soll der Handantrieb gewählt werden.

Eine zentral gesteuerte Bedienung ist vorzusehen:

- zur Verhinderung großer Wärmebelastung von außen, wenn morgens ein frühzeitiges Ausfahren bzw. abends ein sehr spätes Einfahren der Sonnenschutzvorrichtungen notwendig ist und dies durch manuelle Betätigung nicht sichergestellt werden kann,
- grundsätzlich in Räumen mit RLT-Anlagen mit Kühlung, da hier die Energiekosten verursachende Belastung dieser Anlagen durch Sonneneinstrahlung für die Mehrzahl der Raumin-sassen nicht fühlbar wird,
- in windstarken Gegenden zum Schutz der Sonnenschutzzeineinrichtung vor Beschädigung,
- in größeren Räumen (z. B. Sitzungssäle, Kaminen), sofern dies nutzungsbedingt bzw. aus rein organisatorischen Gründen erforderlich ist.

Bei zentraler Betätigung ist elektrischer Antrieb erforderlich. Im Allgemeinen bewährt sich eine nach Himmelsrichtungen unterteilte, gruppenweise Steuerung in Verbindung mit der Möglichkeit raumweiser Nachregulierung bei Jalousetten. Die zentralen Steuereinheiten werden mit einer für die verschieden orientierten Gebäudeseiten unterschiedlich eingestellten Zeitschaltuhr gekoppelt

oder an die Gebäude-Leittechnik (GLT) angeschlossen, wodurch der Einsatz vor Nutzungsbeginn und das Einfahren aller Anlagen am Abend sichergestellt werden kann. Ein Anschluss an die Notstromversorgung ist nicht erforderlich.

In jedem Falle ist bei elektrischem Antrieb eine automatische Sturmsicherung vorzusehen, welche bei Überschreiten einer bestimmten Windgeschwindigkeit alle Anlagen einfahren lässt. Damit kann die Reparaturanfälligkeit entscheidend gesenkt werden.

Die durch Sonnenwärmeeinstrahlung bewirkte, erhebliche Belastung von raumlufttechnischen Anlagen (insbes. mit Kühlung) ist für die Raumbenutzer kaum spürbar. Daher sollte in Räumen mit solchen Einrichtungen der Einsatz des beweglichen Sonnenschutzes über eine sensorgesteuerte Mechanik nutzungsunabhängig erfolgen können. Bei gekühlten und klimatisierten Räumen sollte der bewegliche Sonnenschutz zumindest teilautomatisch gesteuert sein.

Sonnenschutzgläser

Sonnenschutzgläser sind Flachglasscheiben mit gegenüber normalem Klarglas verringerter Strahlungsdurchlässigkeit, vor allem außerhalb der sichtbaren Strahlung, um eine große Lichtdurchlässigkeit bei geringer Gesamtenergiedurchlässigkeit zu erreichen (Selektivitätskennzahl). Die dabei nicht zu vermeidende Reduzierung der Strahlungsdurchlässigkeit auch im sichtbaren Bereich soll möglichst genau dem Sonnenspektrum entsprechen, um einseitige Farbwirkungen zu vermeiden. Farbneutrale Gläser weisen in der Regel eine geringere Selektivität auf.

Zwei-Scheiben-Isolierverglasungen mit Reflexionsglas erreichen sehr niedrige Wärmedurchgangszahlen. Speziell zur Einsparung von Heizenergie entwickelte Wärmeschutzgläser haben im Allgemeinen keine nennenswerte Sonnenschutzfunktion (Gesamtenergiedurchlassgrad um 0,7).

Wie bei allen starren Sonnenschutzeinrichtungen kann die Wirkung von Sonnenschutzgläsern den wechselnden Einstrahlungs- bzw. Beleuchtungsverhältnissen nicht angepasst werden. Der im Winter, vor allem an Südseiten, erwünschte Wärmegewinn ist weitgehend verhindert. Für Arbeitsräume bedarf es außerdem grundsätzlich einer Ergänzung durch einen innenliegenden Blendschutz; bei einer Lichtdurchlässigkeit unter 40 % ist die Verwendung sichttransparenter Vorhänge ausreichend.

Die Lichtdurchlässigkeit darf keineswegs so eingegrenzt werden, dass eine Tageslichtergänzungsbeleuchtung erforderlich wird.

- Reflexionsgläser,
Außenbeschattete Elemente in Verbindung mit Isoliergläsern oder Reflexionsgläsern haben eine gute Wirkung. Bei Reflexionsgläsern ist aber mit einem verminderten Lichtdurchgang zu rechnen.
- Absorptionsgläser,
 - Erhöhung der Rückstrahlung von innen,
 - textile Vertikallamellen, Rollos, Vorhänge (innenliegende Jalousetten),
 - Folienrollos mit selektiven Reflexionseigenschaften.
- Elektrochrome Verglasung (z. B. Sächsische Landes- und Universitätsbibliothek in Dresden),
 - Elektrochrome Verglasung besteht aus einem speziellen Glasaufbau, bei dem der Energiedurchlassgrad durch Anlegen einer elektrischen Steuerspannung in Stufen zwischen hell und dunkel schaltbar ist. Dadurch lässt sich der Energieeintrag durch solare Strahlung wirksam vermindern mit uneingeschränkter Sicht von innen nach außen.
 - Die Lichttransmission ist im Bereich von $TL = 50\%$ bis $TL = 15\%$ und der Gesamtenergiedurchlass zwischen $g = 36\%$ bis $g = 12\%$ steuerbar.
 - Es sind unterschiedliche Anforderungen an den Scheibenaufbau realisierbar.
 - Anwendungsbereiche:
vertikale und horizontale Verglasung
Wärmedurchgang:
DIN 52619: 1985–02, U_g (W/m^2K) wahlweise 1,6; 1,3; 1,1.
Glasmaße:
maximal 120 x 200 cm, minimal 40 x 40 cm.
 - Die Ansteuerung ist mittels LAN-Bus-Einbindung über die Gebäudeleittechnik möglich.
 - Die elektrochrome Verglasung stellt z. Zt. noch eine kostenaufwändige Lösung dar.

Sonnenschutzgläser sind im Allgemeinen teurer als die von Sonnenschutz, Beleuchtung und Wärmegewinn im Winter her bessere Kombination von normalem Isolierglas bzw. Wärmeschutzglas mit Außenjalousetten und müssen daher auf Sonderfälle beschränkt bleiben.

Glasbausteine

Glasbausteine sollten nur bei untergeordneter Nutzung oder in besonderen Fällen Anwendung finden. Bei Nebenräumen mit großen Glasbausteinflächen sollten getönte Glasbausteine mit einer dazwischenliegenden Glasvlieseinlage oder Glasbausteine mit reflektierender Beschichtung verwendet werden. Bei Aufenthalts- und Arbeitsräumen erfordern Glasbausteine eine zusätzliche Sonnenschutzeinrichtung.

Rechtliche Grundlagen:

- EnEV Anhang 1; 2.6,
- EnEV Anhang 1; 2.9,
- DIN 4108-2: 2001-03,
- VDI 2078 Kühllastberechnung,
- DIN 4710: 1982-11, Meteorologische Daten.

2.9 Energiekonzepte

Grundlagen für wirtschaftliche Maßnahmen

Bei Neu- und Umbaumaßnahmen sowie großen Sanierungsmaßnahmen in Gebäuden und Liegenschaften mit großem Energieverbrauch sollte als erster Schritt ein Energiekonzept erstellt werden. Unter Berücksichtigung der Gebäudenutzung können Planer und Bauherren die Möglichkeiten aufzeigen, um die derzeitige oder zukünftige Energiesituation energetisch, umweltbewusst und wirtschaftlich zu verbessern. Die vorgeschlagenen Maßnahmen sollen hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf Primärenergieverbrauch, Umweltbelastung, Wirtschaftlichkeit und Sozialverträglichkeit überprüft und mit entsprechender Priorität zur Umsetzung versehen werden.

Die in einem Energiekonzept bereitgestellten Informationen über mögliche Energiesparmaßnahmen ermöglichen eine sachlich fundierte und nachvollziehbare Entscheidungsfindung. Energiekonzepte sind daher ein vorbereitendes Instrument, für die Gesamtbeurteilung der baulich und technisch möglichen und wirtschaftlich vertretbaren Maßnahmen.

Vorgehen bei der Erstellung eines Energiekonzeptes

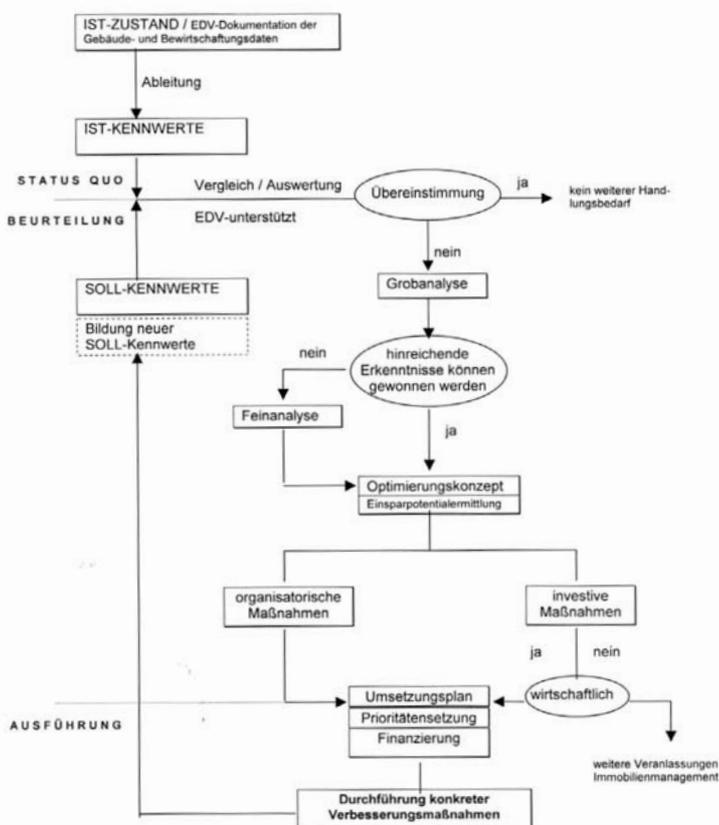
Grundlage ist die Bestandsaufnahme mit dem Erfassen der:

- baulicher Substanz,
- betriebstechnischen Anlagen und Einrichtungen,
- Leistungswerte,
- Verbrauchswerte,
- Organisation der Betriebsführung und der
- Nutzung.

Das systematische Erfassen und das zielorientierte Auswerten von Energiedaten sind Grundvoraussetzungen um den wirtschaftlichen Energieeinsatz in den Liegenschaften zu steuern. Nur so lassen sich die begrenzt zur Verfügung stehenden Haushaltsmittel erfolgsorientiert einsetzen. Diese Datenerhebung führt zu aussagekräftigen Ist-Kennzahlen, die in einem ersten Benchmarking den Kennzahlen vergleichbarer Gebäude gegenübergestellt werden. Daraus lassen sich erste Schritte für Einsparmöglichkeiten ableiten (siehe Abb.13).

In einem zweiten Schritt müssen dann gebäude-spezifische Soll-Kennzahlen gebildet werden. Unter Berücksichtigung der vorhandenen Bausub-

Optimierung des Gebäudebetriebs



12.06.02/FM-BaWü

Abb. 13 Optimierung von Energiesparmaßnahmen

stanz, der Technik und der Nutzung sind sie Ausgangspunkt für alle weiteren Optimierungsüberlegungen.

Einsparpotenziale im Bau-, Wärme-, Kälte- und Strombereich sind zu prüfen und gemäß ihrem Einspareffekt und dem erforderlichen Kostenaufwand darzustellen. Dabei ist der Energiebedarf zu bilanzieren, die technischen Versorgungssysteme zu analysieren und im Rahmen einer Wirtschaftlichkeitsberechnung zu bewerten.

Neben der betriebswirtschaftlichen Prüfung sind die Emissionswerte der vorgeschlagenen Maßnahmen zu quantifizieren. Die erzielten Ergebnisse sind also nicht nur ökonomisch bedeutsam, sondern leisten einen nachhaltigen Beitrag zum Klimaschutz. Sie schonen die natürlichen Ressourcen und verringern die Emissionen, die durch den Betrieb der Landesliegenschaften verursacht werden.

Insofern müssen auch Auswirkungen auf die Umwelt in die Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen mit einfließen und bewertet werden.

Über anlagen- und regelungstechnische Maßnahmen hinaus sind aber auch organisatorische Maßnahmen zu erarbeiten, wie Schulung des Bedienungspersonals, laufende Kontrolle wichtiger Medientemperaturen, Aufzeichnung der Medienverbräuche und Kennzahlbildung.

2.10 Wärmeverteilung und Heiztechnik

Temperaturniveau der Wärmeverteilung

Wirtschafts- und Raumwärmeverbraucher erfordern nicht nur ein unterschiedliches Temperaturniveau, sondern haben auch unterschiedliche Betriebszeiten. Daher sollten auch dann getrennte Leitungen (Verteilerkreise) verlegt werden, wenn eine gesonderte Wärmeerzeugung nicht vorgesehen ist.

Die Art der Warmwasserbereitung kann nicht nur nach technischen Gesichtspunkten betrachtet werden, sondern muss auch hygienische Belange (Legionellen) berücksichtigen. Bei dezentral aufgestellten Warmwasserspeichern ist zu prüfen, ob sie im Sommer und in den Übergangszeiten wirtschaftlicher durch intermittierende Aufheizung über das vorhandene Wärmeverteilungsnetz oder durch eine Zusatzheizung (z. B. Solarthermie) betrieben werden können.

Die Rohrleitungen sollten ohne Reserven ausgelegt werden. Lediglich in Fällen, in denen ein Zuwachs an Energiebedarf durch Zubauten o. ä. kurzfristig und gesichert eintreten wird, darf dieser Mehrbedarf unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten berücksichtigt werden.

Heizkreise und Regelung

Die **Energieeinsparverordnung (EnEV)** verlangt, dass Zentralheizungen mit zentralen selbsttätig wirkenden Einrichtungen zur Verringerung und Abschaltung der Wärmezufuhr sowie zur Ein- und Ausschaltung der elektrischen Antriebe in Abhängigkeit von:

- der Außentemperatur oder einer anderen geeigneten Führungsgröße und
- der Zeit

ausgestattet werden.

Daher sollten Gebäude entsprechend ihrer Nutzung und Fassadenorientierung mit getrennt zu betreibenden Heizkreisen ausgerüstet werden, soweit nicht andere technische Lösungen gewählt werden (z. B. Verzicht auf alle Sekundärpumpen).

Regelaufgaben wurden in der Vergangenheit durch einzelne analoge Regelkreise erfüllt. Dabei war für jede Regelstrecke ein Regler erforderlich. Eine Verknüpfung dieser Einzelregler war kaum oder nur mit größerem technischen Aufwand möglich. Die digitale Regelungstechnik hat den Vorteil, dass:

- die Verknüpfung von komplexen Regelaufgaben wirtschaftlich wird,
- die einfache Anpassung von Regelstrategien an geänderte Betriebsweisen über eine Softwareanpassung möglich wird,
- durch ihren Einsatz eine komfortable zentrale Überwachung, ein Energiemanagement, übergeordnete Programme, wie z. B. Spitzenabsenkung (E-Max) und Wartungsprogramme durchgeführt werden können.

Bevor man daran geht, für eine vorliegende Aufgabe eine bestimmte Regelungsart auszuwählen, sollte man sich mit der Wirkungsweise der verschiedenen gängigen Regelsysteme befassen. Ein falsch ausgewähltes Regelsystem wird neben der unzulässigen Arbeitsweise auch wirtschaftliche Nachteile mit sich bringen.

Witterungsgeführte Vorlauftemperaturregelung

Die Vorlauftemperatur wird nach der herrschenden Witterung ermittelt und eingestellt. Die Raumtemperatur kann über einen Temperaturwähler zusätzlich beeinflusst werden. Ein an der Außenwand des Hauses angebrachter Außenfühler erfasst die maßgeblichen Witterungseinflüsse Lufttemperatur, Wind- und Sonneneinwirkung. In Abhängigkeit von der Außenmessung bestimmt ein Zentralgerät die Temperatur des zu den Heizkörpern strömenden Wassers (Vorlauftemperatur).

Die Außentemperaturfühler sollen immer den gleichen Temperatur-, Wind- und Sonneneinflüssen ausgesetzt sein wie die entsprechenden Räume des zugehörigen Heizkreises. In den Fällen mit nur einem Heizkreis ist der Außentemperaturfühler an der kältesten Stelle des Gebäudes (Nord- oder Nordostseite) zu installieren, so dass er nicht von direkter Sonneneinstrahlung getroffen werden kann. Nur so ist gewährleistet, dass es in jedem Raum des Hauses warm genug wird.

Die Außentemperaturfühler sollen nicht in geschützter Lage montiert werden, also nicht in Mauernischen oder unter Balkonen. Sie sollen frei an der Fassade des Gebäudes angebracht sein so dass sämtliche Witterungseinflüsse erfasst werden können. Bei Gebäuden bis zu drei Geschossen sollen die Außentemperaturfühler ungefähr auf 2/3 der Fassadenhöhe, bei höheren Gebäuden zwischen dem 2. und 3. Geschoss, aber nicht über Fenstern, montiert werden.

Raumtemperaturgeführte Vorlauftemperaturregelung

Die Vorlauftemperatur wird nach der Raumtemperatur in einem Testraum je Regelkreis geführt. In den Testräumen müssen die Raumtemperaturfühler so angeordnet sein, dass sie die repräsentative Raumtemperatur erfassen. Der Montageort ist so zu wählen, dass der Fühler in der Luftzirkulation liegt. Er soll nicht in einer toten Ecke des Raumes und nicht direkt neben einer Tür angebracht werden. Auf alle Fälle sind solche Temperatureinflüsse auf den Fühler zu vermeiden, die nicht repräsentativ für die angeschlossenen Räume sind, wie z. B. direkte Sonneneinstrahlung, Wärmestrahlung einer Kaminwand oder Wärmeabgabe eines elektrischen Gerätes. Als günstiger Montageort gilt die dem Heizkörper gegenüberliegende Innenwand in etwa 1,30 bis 1,60 m Höhe.

In dem gewählten Testraum darf kein Thermostatventil am Heizkörper montiert sein.

Die Raumtemperaturen aller an einen Heizkreis angeschlossenen Räume sind von der Temperatur des Testraumes abhängig. Dabei wird im Testraum auch die so genannte Sekundärwärme, die durch den Aufenthalt von Personen im Raum, durch Maschinen, Beleuchtungskörper oder durch Sonneneinstrahlung erzeugt wird, berücksichtigt. Die Temperaturen der übrigen Räume der Heizungsgruppe können dadurch beeinflusst werden. Das hat folgende Auswirkungen:

Wird allein dem Testraum Sekundärwärme zugeführt, senkt sich automatisch die Vorlauftemperatur der Heizungsanlage, und die anderen Räume werden kälter. Wird allein der Testraum abgekühlt, z. B. durch langes Lüften, erhöht sich automatisch die Vorlauftemperatur der Heizungsanlage, und die anderen Räume werden wärmer. Diese Regelung eignet sich deshalb nur für Räume gleicher Art und Nutzung einer Himmelsrichtung. Sie wird deshalb häufig bei Verwaltungsgebäuden eingesetzt.

Vorlauftemperaturregelung als Festwertregelung

Die Vorlauftemperaturregelung eignet sich besonders für Festwertregelungen, z. B. bei Fußbodenheizungen (mit Maximalbegrenzung der Vorlauftemperatur), wenn diese als Grundlastheizung gefahren werden, bei Wärmebänken in Schwimmbädern, bei Behälterheizungen und zur Warmwasserbereitung.

Zur Vorlauftemperaturregelung benötigt man ein Zentralgerät und den Vorlauffühler. Eine Einregulierung im eigentlichen Sinn des Wortes ist bei diesem Gerät nicht erforderlich. Es sind lediglich die beiden Führungsgrößen für Tag und Nacht einzustellen. Der Vorlauftemperaturbegrenzer, der auf eine eigene Absperrrichtung wirkt, dient im Falle von Störungen im System als Sicherheitseinrichtung.

Nachtabsenkung, Wochenendprogramm

Durch den Einbau von Zentralgeräten mit einer vorprogrammierten bzw. einstellbaren Vorlauftemperaturabsenkung außerhalb der Nutzungszeiten des Gebäudes – z. B. nachts, an Wochenenden und an Feiertagen – lässt sich zusätzlich Energie einsparen. Für Gebäudeteile, die außerhalb dieser allgemeinen Nutzungszeiten beheizt werden müssen

(z. B. Hausmeisterwohnung), ist ein eigener Heizkreis oder sogar eine eigene Heizungsanlage erforderlich.

Heizkörperthermostatventile

Die Notwendigkeit der Ausstattung der Raumheizkörper mit Thermostatventilen ergibt sich aus der Energieeinsparverordnung (EnEV). Allerdings ist in Raumgruppen gleicher Art und Nutzung in Nichtwohnbauten die Gruppenregelung zulässig. Die Ventile müssen so gewählt werden, dass sie auch im Teillastbereich eine Beaufschlagung des Heizkörpers mit einer ausreichenden Menge Heizwasser (Massenstrom) zulassen. Aus dieser Erkenntnis muss gefordert werden:

- zur Erfüllung der Behaglichkeitsforderungen müssen starke Schwankungen der Heizkörperoberflächentemperatur in kurzen Zeitintervallen vermieden werden. Darum ist es notwendig, dass der umlaufende Heizwassermassenstrom im Heizkörper relativ konstant bleibt und durch entsprechende Regelung der Vorlauftemperatur stetig dem Bedarf angepasst werden kann,
- schon für einen ersten angenäherten Abgleich des Rohrleitungsnetzes ist eine exakte Rohr- und Ventildimensionierung notwendig,
- die Begrenzung des maximalen Heizwassermassenstromes durch die Auswahl richtig dimensionierter Thermostatventile und ggf. durch eine nachträglich durchzuführende Voreinstellung muss gegeben sein. Es ist darauf zu achten, dass sich dadurch das proportionale Verhalten im Regelbereich nicht verändert. Die Grenzen der Voreinstellwerte müssen vom Hersteller angegeben werden,
- es ist sicherzustellen, dass für den Betriebszustand „Heizkörperventil geschlossen“ kein größerer Differenzdruck als zulässig am Thermostatventil ansteht, um den Druckeinfluss auf die Regelgüte des Thermostatventils klein zu halten. Zur Einhaltung dieses Differenzdruckbereiches ist eine geeignete Pumpendimensionierung (flache Kennlinie) vorzunehmen und/oder es sind Differenzdruckregler oder druckgesteuerte Pumpendrehzahlregler einzubauen. Thermostatventile mit separatem Temperaturfühler sind zu verwenden, wenn keine ungestörte Raumlufttemperaturmessung am Thermostatkopf gewährleistet ist, z. B. bei Wärmestau hinter Heizkörperverkleidungen oder Vorhängen,

- nachteilig wirkt sich das Öffnen der Ventile bei Kaltlufteinfall aus, z. B. können elektrische Fensterkontakte, die den Heizkreis schließen, den erhöhten Wärmeverbrauch wirkungsvoll verhindern. Die Wirtschaftlichkeit ist zu prüfen.

Heizungsoptimierungssysteme

Für die Heizenergieeinsparung wäre es wünschenswert, wenn die Innentemperatur unmittelbar der nutzungsbedingten Temperatur folgen würde. Das ist jedoch im Allgemeinen auf Grund des Wärmespeichervermögens eines Gebäudes nicht möglich. Vielmehr ändert sich die Innentemperatur exponentiell während der Auskühlungszeit bzw. der Wiederaufheizzeit. Das Anheizverhalten wird außer vom Speichervermögen des Gebäudes vor allem von der installierten Heizleistung bestimmt.

Bei Wohnungsbauten mit mittelschwerer bis schwerer Bauweise betragen die Einsparungen durch intermittierendes Heizen zwischen 3 und 15 %. Bei Nichtwohnbauten mit geringer täglicher Nutzung und langen Betriebspausen an Wochenenden, wie Verwaltungsbauten und Schulen, kann die Einsparung gegenüber dem stationären Betrieb 15 % und mehr betragen (bei leichter Bauweise bis 30 %).

Die größten Energieeinsparungen werden erzielt, wenn die Heizungsanlage so früh wie möglich abgesenkt wird und zum spätest notwendigen, den Außen-, Raum- und Wandtemperaturen entsprechenden Zeitpunkt – unter Berücksichtigung des thermischen Verhaltens des Gebäudes sowie der Leistungsreserven der Heizungsanlage wieder hochgefahren wird (Frostschutz beachten!).

Elektronische Heizungsoptimierungssysteme durchfahren und berechnen die Ein- und Abschaltzeitpunkte vollautomatisch. An solche Geräte sind folgende Mindestanforderungen zu stellen:

- variables Abschalten der Heizungsanlage am Ende der Gebäudenutzungszeit in Abhängigkeit von den Außen- und Innentemperaturen,
- überwachen der Gebäudeinnentemperatur auf einen vorbestimmten Mindestwert während der Abschaltzeiten, um Einfrieren oder Kondensation zu verhindern,
- bestimmen des Einschaltzeitpunktes und Einsetzen der verfügbaren Maximalleistung für schnellstmögliches Aufheizen des Gebäudes bis zum Beginn der Gebäudenutzungszeit,

- nach Erreichen der Tages-Solltemperatur Umschalten auf die normale Tagesregelung,
- einschalten von zugehörigen RLT-Anlagen zu Beginn der Gebäudenutzungszeit,
- bestimmen des frühestmöglichen Abschaltzeitpunktes, bei dem die Raumtemperatur unter Berücksichtigung des thermischen Verhaltens des Gebäudes noch bis zum Ende der Gebäudenutzungszeit innerhalb zulässiger Toleranzen bleibt.

Wärmedämmung der Rohrleitungen

Rohrleitungen und Armaturen sind gegen Wärmeverluste zu dämmen. Die Mindestdicke der Dämmschicht ist für verschiedene Nennweiten in der Energieeinsparverordnung angegeben.

Raumheizkörper

Ältere Heizungsanlagen sind für eine Temperaturspreizung 90/70° C (Vor- und Rücklauf) ausgelegt worden. Auf Grund verbesserter Wärmedämmung sind heute niedrigere Heizmittel-Temperaturen möglich, z. B. 70/50° C. Niedrigere Heizmittel-Temperaturen bedingen jedoch größere Heizkörper, z. B. um den Faktor 1,7 als bei Temperaturspreizung 90/70° C.

Flächenheizung

Unter Flächenheizung versteht man Systeme mit gegenüber Raumheizkörpern großen wärmeabgebenden Flächen, die sich in oder auf Decken, Fußböden oder Teilen der Wände von Räumen befinden.

Die am häufigsten eingesetzte Form der Flächenheizung ist die Fußbodenheizung. Sie bietet gegenüber heutigen Niedertemperaturheizsystemen mit Heizkörpern kaum energetische Vorteile. Wegen der höheren Investitions- und Instandhaltungskosten und der Trägheit der Regelung sollte sie nur in Sonderfällen eingesetzt werden.

Fernbetriebene Einzelraumregelung

Die Wärmeenergieeinsparung bei elektrisch fernbetriebener Einzelraumregelung kann beträchtlich sein. Die Vorgabe der Raumtemperatur (Sollwerte) und deren Kontrolle wird dabei z. B. durch ein Gebäudeleitsystem ermöglicht.

Dieses System bietet sich für große Gebäude mit stark unterschiedlicher Belegung und unterschiedlichen Nutzungszeiten der Räume an (z. B. Schulen, Hotels).

2.11 Raumluftechnische Anlagen, Wärmelasten

Einsatz von Raumluftechnischen Anlagen

Bei den in der Bundesrepublik Deutschland vorherrschenden klimatischen Verhältnissen und geeigneter Bauweise reicht eine freie Lüftung erforderlichenfalls mit einem wirksamen Sonnenschutz grundsätzlich aus, um die hygienischen und thermischen Behaglichkeitsanforderungen zu erfüllen. An wenigen Tagen im Jahr auftretende höhere Raumtemperaturen sind zumutbar. Diese Festlegungen sind grundsätzlich mit den Anforderungen des Arbeitsstättenrechts zu vereinbaren. Die hierzu erforderlichen Nachweise des sommerlichen Wärmeschutzes nach EnEV sind in der DIN 4108: 2001–03 dargestellt.

Unabhängig davon kann die Errichtung von RLT-Anlagen in folgenden Fällen erforderlich sein:

- Räume ohne ausreichende natürliche Lüftung, z. B. fensterlos, besondere Raumtiefe, Hochhaus,
- Räume mit hohen sensiblen, thermischen oder hygienischen Lasten,
- Räume mit zwingend vorgegebenen Raumlufzuständen (Temperatur, Feuchte).

Weitere Fälle hat der AMEV beispielhaft in seiner Veröffentlichung RLT-Anlagen-Bau genannt.

RLT-Anlagen – vor allem Klimaanlage – erfordern nicht nur hohe Investitionen, sondern verursachen auch erheblich höhere Betriebskosten als z. B. Heizungsanlagen, insbesondere durch den höheren Energieverbrauch und einen größeren Personaleinsatz für Bedienung, Wartung, Inspektion und Instandsetzung. Bei nicht sachgerechter Wartung können hygienische Probleme auftreten.

Darüber hinaus haben RLT-Anlagen auch erhebliche Auswirkungen auf die bauliche Gestaltung und die Kosten des Rohbaus. Es müssen Schächte und Kanäle für die Luftansaugung, Räume für die technischen Zentralen der Luftaufbereitung und größere Geschosshöhen für das Kanalnetz im Gebäude vorgesehen werden. Insbesondere bedeutet dies auch, dass entsprechende Vorkehrungen beim Durchdringen der Brandabschnitte getroffen werden müssen. Selbst einfache RLT-Anlagen für innenliegende Abstellräume und WC-Anlagen führen daher schon zu einem spürbaren Kostensprung.

Raumluftechnische Anlagen (RLT-Anlagen) sind deshalb nur dann vorzusehen, wenn besondere nut-

zerspezifische Anforderungen erfüllt werden müssen, oder wenn sich dies aus dem Baurecht (z. B. Versammlungsstätten VO) oder dem Arbeitsschutzrecht (z. B. UVV) zwingend ergibt.

Voraussetzung für einen Verzicht auf RLT-Anlagen ist jedoch, dass die Auswirkungen der Extremwerte von Außentemperatur und Sonneneinstrahlung auf das Raumklima vor allem im Sommer durch geeignete bauliche Maßnahmen wie z. B. Ausrichtung des Gebäudes, Lage der Räume, Wärmespeicherung, außenliegende Sonnenschutzrichtungen usw. begrenzt werden.

Durch die Berücksichtigung aller relevanten Parameter (meteorologische Daten, Wärmedämmung, Wärmespeicherung usw.) sind die Anlagen bezüglich Luftmenge sowie Wärme und Kälteleistung zu optimieren. Die erforderliche dynamische Berechnung ist wegen ihrer Komplexität nur über entsprechende Software möglich.

Die Struktur der Programme erlaubt die energetische Gesamtbetrachtung einschließlich aller inneren und äußeren Wärmelasten, natürliche Belüftung sowie der Tageslicht- und Kunstlichteinflüsse im Sinne einer Optimierung.

Erfahrungen mit Simulationsrechnungen haben gezeigt, dass in vielen Fällen durch geringfügige bauliche Änderungen entweder auf RLT-Anlagen verzichtet werden konnte, oder diese spürbar kleiner dimensioniert werden konnten. Wegen der hohen Kosten von RLT-Anlagen ist deshalb die Notwendigkeit des Einbaus bei kritischen Anwendungsfällen durch eine Simulationsrechnung zu überprüfen.

Einteilung der Raumluftechnischen Anlagen

RLT-Anlagen werden klassifiziert nach dem Umfang der thermodynamischen Behandlung in:

- Lüftungsanlagen,
- Teilklimaanlagen,
- Klimaanlagen.

Nur für Räume, in welchen definierte Raumlufzustände (Temperatur, Feuchte, Luftgeschwindigkeit, Partikelkonzentration) in vorgegebenen Grenzen gehalten werden müssen (Archive, Museen, Rechenzentren mit dazugehörigem Papierlager, Operationsräume, Klimakonstanträume im Bereich der Forschung usw.) werden alle 4 thermodynami-

schen Behandlungsstufen wie Heizen, Kühlen, Entfeuchten und Befeuchten erforderlich. In kleinen Konferenzsälen reichen beispielsweise einfache Abluftanlagen aus.

Wegen der sehr unterschiedlichen Kosten, aber auch wegen des sehr stark unterschiedlichen Energieverbrauchs kommt der richtigen Klassifizierung der RLT-Anlagen eine hohe Bedeutung zu. Auch hier sind die vielfältigen Möglichkeiten der Simulationsrechnung zu nutzen.

Bauart der RLT-Anlagen

Gebäude können mit zentralen RLT-Anlagen oder mit Einzelanlagen ausgerüstet werden. Der Entscheidung für ein zentrales oder dezentrales System sollte eine Wirtschaftlichkeitsberechnung zugrunde gelegt werden.

Im Allgemeinen sind für Gebäude mit unterschiedlichen Anforderungen oder mit relativ einfachem technischen Standard dezentrale Anlagen anzuwenden. Ein Vorteil liegt darin, dass die gesonderte Schaltbarkeit der Einzelanlagen gestattet, den Betrieb den Nutzungsanforderungen mit geringstem Aufwand anzupassen. Ferner führt das dezentrale System zu kurzen Kanälen und hat geringere Auswirkungen auf das Bauwerk als ausgedehnte Kanalnetze zentraler Anlagen (Geschosshöhen, Brandschutz usw.). Darüber hinaus wird weniger Transportenergie benötigt; die elektrischen Antriebe können kleiner dimensioniert werden.

Für Gebäude mit überwiegend gleichen Nutzungsanforderungen bietet sich eine zentrale Anlage an. Sie setzt in der Regel voraus, dass ein oder mehrere Technikgeschosse vorhanden sind. Durch zweckmäßige Anordnung sind auch hier kurze Kanalwege anzustreben. Zentralanlagen mit großen Volumenströmen sollten zur Leistungsanpassung mehrere parallelgeschaltete Ventilatoren erhalten. Weiterhin kann es vorteilhaft sein, die Antriebe der Ventilatoren drehzahleregelt mit hohem Wirkungsgrad auszuführen. Zentralanlagen sind für die Wärmerückgewinnung meist besser geeignet.

Zweikanalanlagen werden heute durch variable Volumenstromanlagen ggf. mit örtlichen dezentralen Luftbehandlungseinrichtungen ersetzt.

Induktionsgeräte (Vierleiter) zählen zu den Komfortanlagen und sind in öffentlichen Gebäuden grundsätzlich nicht erforderlich.

Auf die richtige bauliche Zuordnung von raumluft-technisch zu behandelnden Räumen wird hingewiesen (stapeln oder zusammenlegen).

Begrenzung der Temperatur

RLT-Anlagen mit Kühlung sind erst vorzusehen, wenn alle baulichen Möglichkeiten ausgeschöpft sind. Dabei ist zu berücksichtigen, dass für die Speicherung wirksame Flächengewichte von 400 bis 500 kg/m² (Wandfläche) etwa 30 W/m² (NF) bei der Spitzenauslegung der Kühlleistung sparen. Die gespeicherte Wärme kann bei niedrigen Außentemperaturen z. B. nachts, durch freie Kühlung durch Außenluft wieder abgeführt werden. Bezogen auf die Leistung und die mittlere jährliche Benutzungszeit der Kälteaggregate kann dies eine erhebliche Einsparung an Investitionskosten, aber auch an Kosten für die Kälte- und Antriebsenergie bedeuten.

Erfahrungsgemäß treten hohe Außentemperaturen an mehreren aufeinanderfolgenden Tagen nur selten auf. Für die dabei anfallenden Spitzenbelastungen sind RLT-Anlagen nur in Sonderfällen auszuliegen.

In der Regel genügt die Auslegung der maximalen Kühlleistung auf eine Außentemperatur von 26° C. Bei höheren Außentemperaturen steigt dann die Innentemperatur entsprechend an (abgebrochene Kühlung).

Räume, in denen üblicherweise hohe innere Wärmelasten entstehen, wie Küchen, Wäschereien usw., sollten große lichte Raumhöhe erhalten (z. B. Großwäschereien mindestens 6 m).

Notwendigkeit der Be- und Entfeuchtung

Eine Regelung der Raumlufftfeuchte beschränkt sich nur auf Ausnahmefälle wie z. B. Museen mit hohen Anforderungen oder OP-Räume.

Wegen des doppelten Energieverbrauchs bei der Entfeuchtung – Abkühlung mit Entfeuchtung und anschließende Wiederaufheizung – ist die Entfeuchtung nur auf das betrieblich unbedingt notwendige Maß zu beschränken und nur bei definierten Raumlufftzuständen vorzusehen.

Bevor eine Luftbefeuchtung zur Verhinderung von elektrostatischer Aufladung vorgesehen wird, ist zu prüfen, ob eine elektrostatische Wirkung nicht durch geeignete Materialwahl von vornherein vermieden werden kann. Ausnahmen hiervon bilden explosionsgefährdete Räume oder Zonen.

In Räumen mit größeren Menschenansammlungen (z. B. in Hörsälen) geben die Personen soviel Feuchtigkeit an die Luft ab, dass eine künstliche Befeuchtung entfallen kann.

Regelung und Steuerung

Wegen des höheren Energieverbrauchs von RLT-Anlagen gegenüber Heizungsanlagen ist die genau angepasste Regelung hier von besonderer Bedeutung. Der Energieverbrauch der RLT-Anlagen wird vor allem durch die Eigenschaften der Regelstrecke bestimmt. Diese besteht aus dem Raum und dem umgebenden Baukörper. Durch regelungs- und steuerungstechnische Maßnahmen lässt sich der Energieverbrauch unter den gegebenen Randbedingungen minimieren.

Dazu ist die Betriebszeit der Anlagen genau den Bedürfnissen der Nutzung anzupassen. Am einfachsten kann dies durch Schaltuhren bzw. Steuerprogramme erreicht werden. Bei relativ kurzzeitig genutzten Räumen empfehlen sich auch Zeitsteuerungen, die vom Raum aus schaltbar sind. Diese Vorrichtungen sollten zusätzlich zur selbsttätigen Abschaltung auch einen handbetätigten Ausschalter erhalten.

Die Anfahrzeiten der Anlagen können unter Berücksichtigung der Betriebsunterbrechungen, der Außentemperatur und der Restwärme/Restkühle im Gebäude von Optimierungsanlagen ermittelt werden. Diese schalten automatisch zum spätest möglichen Zeitpunkt die Anlage ein.

Zusätzlich sollten außerhalb der Betriebszeit die nicht benötigten Anlagenteile und Motoren abgeschaltet werden. Dies gilt z. B. für:

- Wärme- und Kälteversorgung,
- Umwälzpumpen von Wärmeaustauschern und Luftwäschern,
- Heizungsumwälzpumpen usw.

Die Außenluftzufuhr von RLT-Anlagen sollte nur bei Bedarf durch entsprechende Gebäudebelegung in Betrieb sein, da in der übrigen Zeit die vorgeschriebene Gebäudetemperatur im Umluftbetrieb bei ausgeschalteter Befeuchtung und Kühlung eingehalten werden kann.

Im Betriebsbereich zwischen 20° und 26° C sollte der Anlage keine Wärmeenergie zugeführt werden. Die Temperatur stellt sich entsprechend dem Lastzustand ein.

Die Regelung ist so zu konzipieren, dass eine Anpassung der Außenluftfrate an unterschiedliche Personenbelegungen möglich ist.

Wird ein Gebäude mit hohen inneren Wärmelasten mit Außenluft gekühlt, muss die Außenluftfrate in die Regelung einbezogen werden (variable Volumenstromregelung).

Durch gezieltes Auskühlen der Gebäudespeichermasse außerhalb der Belegungszeit mit kühler Nachtluft kann im Sommer Energie bei der Gebäudedekühlung während des Tages eingespart und regelungstechnisch berücksichtigt werden.

Da umfangreiche RLT-Anlagen in der Regel relativ hohe Energieverbräuche zur Folge haben, ist der Einsatz einer Gebäudeleittechnik zu prüfen. Falls ohnehin vorhanden, sind RLT-Anlagen aufzuschalten.

Wärmerückgewinnung

Bei RLT-Anlagen mit hohen Einschaltzeiten ist die Ausstattung mit Wärmerückgewinnungsanlagen zu prüfen. Die Art der Wärmerückgewinnungsanlage, z. B. regenerativ oder rekuperativ, hängt neben der Bauart der RLT-Anlage (zentral/dezentral) auch vom Schadstoffgehalt der Abluft ab.

Durch den Einbau einer Wärmerückgewinnungsanlage reduzieren sich die Anschlussleistungen für die Wärme der RLT-Anlage.

2.12 Künstliche Beleuchtung

Die Beleuchtungsanlagen sind nach den für öffentliche Gebäude geltenden Richtlinien wirtschaftlich, ergonomisch und umweltbewusst auszulegen. Hilfen hierzu geben die AMEV-Broschüren „Beleuchtung“ und „BelBildschirm“. Der Anteil des Stromverbrauchs für Beleuchtung liegt in Deutschland bei ca. 11 % des Gesamtstromverbrauchs (1993, Alte Bundesländer). In öffentlichen Gebäuden kann er, je nach Nutzung, aber 30 % und mehr betragen (z. B. in Schulen).

Die natürliche Belichtung von Arbeitsplätzen sollte daher genutzt werden und nicht z. B. durch Fensterstürze behindert werden. Tageslichtkonzepte für Nutzflächen/Verkehrsflächen wie Lichtlenksysteme oder lichtdurchlässige Wärmedämmung soll-

ten schon im Rahmen der Entwurfsplanung entwickelt werden.

Beleuchtungsarten

Bei der Innenbeleuchtung unterscheidet man drei Beleuchtungsarten:

- Allgemeinbeleuchtung, um einen Raum in seiner ganzen Ausdehnung gleichmäßig auszu-leuchten. Die erforderliche Anzahl von Leuchten wird gleichmäßig über den Raum verteilt und vorteilhaft parallel zur Fensterfront in Reihen angeordnet,
- arbeitsplatzorientierte Allgemeinbeleuchtung, wenn die Allgemeinbeleuchtung auf die Arbeitsplätze im Raum ausgerichtet ist (in öffentlichen Bürogebäuden üblich). Die Leuchten werden für fensternahe Arbeitsplätze zur Fensterseite hin versetzt angeordnet und haben die gleiche Lichtrichtung wie das Tageslicht,
- Einzelplatzbeleuchtung bewirkt als Ergänzungsbeleuchtung zur Allgemeinbeleuchtung eine sehr hohe Beleuchtungsstärke am Arbeitsplatz.

Direkt-/Indirekt-Beleuchtung

Der Eindruck eines Raumes kann durch die Aufhellung des Deckenbereiches verbessert werden. Im Allgemeinen ist ein Verhältnis von direktem zu indirektem Anteil von 70 zu 30 ausreichend und wirtschaftlich vertretbar.

Höhere Indirektanteile erhöhen den Energieverbrauch der Beleuchtungsanlage beträchtlich. Reine Indirektbeleuchtung beeinträchtigt das räumliche Sehen wegen fehlender Kontraste und ist wegen des höheren Energieeinsatzes nur in Ausnahmefällen vorzusehen.

Leuchtmittel (Lampen)

Aus energetischen und wirtschaftlichen Gründen sind Leuchten mit hohem Wirkungsgrad einzusetzen. Moderne Spiegelrasterleuchten können auf Grund ihres höheren Wirkungsgrades eine Reduzierung des Stromverbrauches von ca. 40 % gegenüber Wannenleuchten mit opalen Kunststoffabdeckungen bewirken (siehe [Abb. 14](#), nächste Seite).

Gegenüber den z. Zt. noch gebräuchlichen Leuchtstoffröhren mit 38 mm Durchmesser, die bei einer 65-W-Röhre eine Lichtausbeute von 4.100 Lumen erreichen, sind die 26-mm-Röhren mit einer Lichtausbeute von 5.200 Lumen bei 58 Watt wirt-

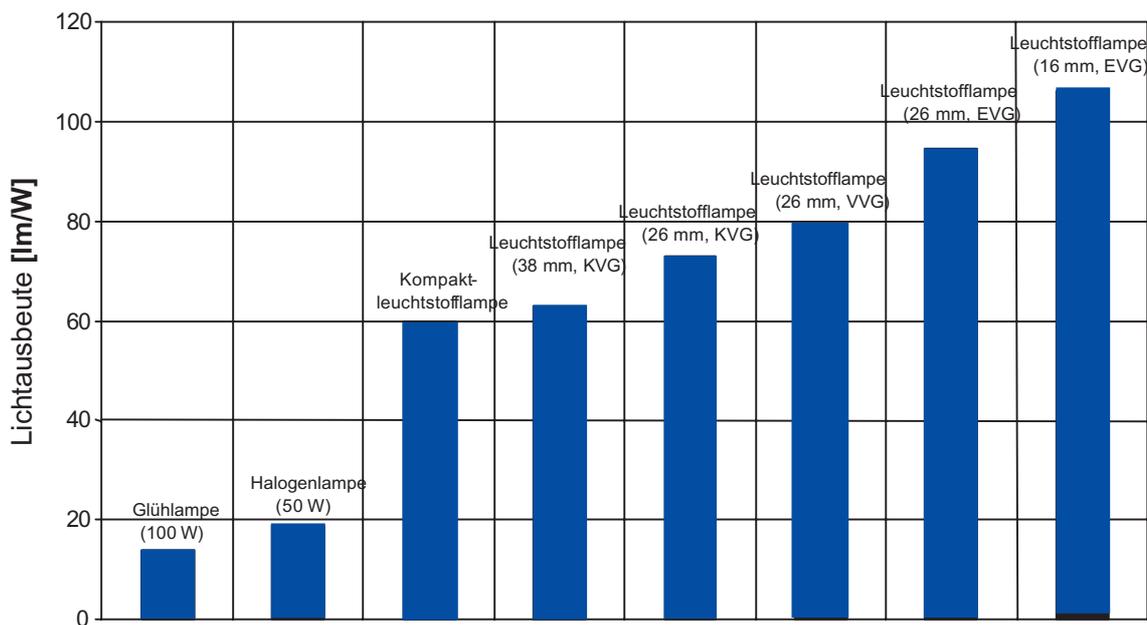


Abb. 14 Lichtausbeute verschiedener Lampensysteme

schaftlicher. Außerdem sind bereits Lampensysteme mit 16 mm Durchmesser erhältlich, die in der 35-W-Ausführung eine Lichtausbeute von 3.700 Lumen erreichen. Diese Leuchtstofflampen lassen sich nur noch mit elektronischen Vorschaltgeräten (EVG) betreiben.

Aufbauleuchten als Rasterleuchten sind, wo möglich und sinnvoll, Einbauleuchten vorzuziehen. Es sind bevorzugt Lampen mit hoher Lichtausbeute zu verwenden. Bei der Verwendung von Leuchtstofflampen sind EVG auf Grund ihrer niedrigen Verluste den konventionellen (KVG) bzw. auch den so genannten verlustarmen Vorschaltgeräten (VVG) grundsätzlich vorzuziehen, sofern sich nach der in der AMEV-Empfehlung „Beleuchtung“ dargestellten Betrachtung eine Wirtschaftlichkeit ergibt. Lampen mit EVG erbringen gegenüber solchen mit KVG eine um 12 % höhere Lichtausbeute sowie eine Verringerung der Verlustleistung im Vorschaltgerät (siehe Tab. 2). Letzteres führt zu geringerer Wärmeabgabe. Bei einer 58 W Lampe wird die benötigte Leistung von 71 W bei konventioneller

Technik auf 55 W (mit EVG) reduziert (außerdem entfällt die Kompensation).

Als Nebeneffekt ergibt sich eine um 50 % längere Lebensdauer der Lampe. Dadurch sinken die Instandhaltungskosten. Des Weiteren ist kein sichtbares Flackern der Lampen mehr vorhanden und der Geräuschpegel sinkt ebenfalls. Die Lampen können auch mit Gleichstrom betrieben werden, so dass eine einfache Integration in ein Notbeleuchtungssystem möglich wird.

Kompaktleuchtstofflampen haben gegenüber Glühlampen eine hohe Lichtausbeute bei guter Farbwiedergabe und eine erheblich längere Lebensdauer. Sie eignen sich wegen der kleinen Bauart bevorzugt für Bereiche mit hohem gestalterischen Anforderungen.

Halogenleuchtstofflampen sind auf Grund der geringen Lichtausbeute und kurzen Lebensdauer erheblich unwirtschaftlicher als Leuchtstofflampen. Allgebrauchsglühlampen werden wegen der überaus schlechten lichttechnischen Eigenschaften nur in selten genutzten Nebenräumen eingesetzt.

Merkmal – Lampentyp	Konventionelle Vorschaltgeräte KVG	Verlustarme Vorschaltgeräte VVG	Elektronische Vorschaltgeräte EVG
Gesamtleistung Lampe	58 W	58 W	50 W
Verlust im Vorschaltgerät	13 W	8 W	5 W
Summe	71 W	66 W	55 W

Tab. 2 Vergleich verschiedener Vorschaltgeräte

Die Anzahl von Quecksilberdampf-Hochdrucklampen kann auf Grund der erreichbaren hohen Lichtströme niedrig gehalten werden. Sie eignen sich mehr für Lager- und Werkhallen oder als Trainingsbeleuchtung für Sportanlagen. Da die Lampen nach einer Spannungsunterbrechung ca. 5 Minuten abkühlen, bis sie erneut zünden, ist eine zusätzliche Orientierungsleuchte erforderlich.

Halogen-Metaldampflampen eignen sich für Hallenbeleuchtung mit erhöhten Anforderungen an die Farbwiedergabe und Beleuchtungsstärke.

Natrium-Dampflampen haben die höchste Lichtausbeute aller Metaldampflampen aber eine schlechte Farbwiedergabe. Sie eignen sich für Anstrahlungszwecke im Freien und Verkehrsbeleuchtung.

Ohne Elektroden kommen Induktionslampen aus. In diesen Lampen erzeugt ein magnetisches Feld den Elektronenfluss. Weil sie keine verschleißbaren Komponenten enthalten, erreichen sie eine mittlere Lebensdauer von 60.000 Betriebsstunden. Die Lampen sind in warmweißer und neutralweißer Lichtfarbe mit einer Lichtausbeute von 65 bis 80 Lumen pro Watt (lm/W) verfügbar.

Wo keine großen Lichtstärken erforderlich sind, bieten sich die neuen LED-Lampen an. Sie wurden bisher hauptsächlich als Signallämpchen verwendet. Durch die stark erhöhte Lichtleistung und ein verbessertes Farbspektrum werden sie zukünftig auch für die Allgemeinbeleuchtung einsetzbar sein.

LED's werden heute mit einer Lichtausbeute von 20 lm/W in der Farbe weiß hergestellt. Mit nur 3 Watt Leistungsaufnahme und geringer Wärmeentwicklung können sie nahezu die Lichtleistung einer 75-Watt-Glühlampe abgeben. Der hohe Preis amortisiert sich durch den eingesparten Strom und eine Lebensdauer von bis zu 100.000 Stunden.

Schalten, Steuern und Regeln

Bei bestimmten Nutzungen wie Kantinen, Großraumbüros, Treppenhäusern usw. ist es zweckmäßig, entweder Stufenschaltungen oder Helligkeitsregelungs- bzw. -steuerungsanlagen (z. B. tageslichtabhängig) einzusetzen.

Bei Hörsälen, Seminarräumen und anderen größeren Räumen ab ca. 1 kW installierter Leistung für Beleuchtung ist die selbsttätige Schaltung der Beleuchtung in Abhängigkeit von der Personenanzahl (Bewegungsmelder in Verbindung mit Zeitschaltung) anzustreben.

Die getrennte Schaltbarkeit von Leuchten empfiehlt sich bereits in Arbeitsräumen ab zwei Leuchtenreihen. Außerdem sollte die arbeitsplatzorientierte Beleuchtung vermehrt vorgesehen werden.

Trotz besonders hochwertiger Beleuchtungstechni-

ken kann durch ein verändertes Nutzerverhalten (die Beleuchtung wirkt auch bei Tageslicht nicht mehr störend) die Energieeinsparung geringer ausfallen als erwartet. In solchen Fällen ist eine tageslichtabhängige Steuerung zu empfehlen, wobei eine überlagerte Zeitsteuerung oder eine Auslösung durch Bewegungsmelder die Abschaltung zu den Zeiten ermöglicht, in denen keine Nutzung stattfindet.

Reflexionsgrade

Eine besonders kostengünstige Möglichkeit, den Beleuchtungswirkungsgrad zu steigern, besteht darin, durch Auswahl heller Farben für die Gestaltung von Wänden, Decken und Fußböden hohe Reflexionsgrade zu erreichen.

Grundsätzlich sind aus lichttechnischen und wirtschaftlichen Gründen nur helle Räume mit Reflexionsgraden:

- Decke ≥ 0,8,
- Wand (im Mitte) ≥ 0,5,
- Nutzebene bzw. Fußböden ≥ 0,3,
- Oberflächen der Möblierung 0,3 bis 0,8

einzurichten.

2.13 Kriterien für die technische Gebäudeausrüstung für Wettbewerbe und Vorentwurfsplanung

Neubaumaßnahmen müssen heutzutage in besonderem Maße auch energiesparend und umweltbewusst errichtet werden. Grundlage dafür ist die frühzeitige Zusammenarbeit der unterschiedlichen Fachleute von Beginn an, um interdiskursive Lösungsansätze zu entwickeln. Zu Recht werden ganzheitliche Lösungen insbesondere für öffentliche Bauten verlangt. Unter „ganzheitlich“ sind städtebauliche, gestalterische, funktionale, ökologische und energiewirtschaftliche Gesichtspunkte zu verstehen. Dabei ist ein hohes Maß an Umweltschutz bei vertretbaren Kosten anzustreben.

Konkrete Hinweise hierzu geben die AMEV-Broschüren „Umweltcheck“, der „Leitfaden Nachhaltiges Bauen“ des BMV/BW und die ARGEBAU-Dokumentation „Kriterien für die Technische Gebäudeausrüstung bei Wettbewerben und Vorentwurfsplanungen“ von März 1999, die hier in Auszügen wiedergegeben wird.

Installationsgrad	Betriebskosten pro Jahr	Summe über eine Gebäudelebensdauer von 60 Jahren
Niedrig	3,5 %	210 %
Mittel (Aufzüge, einige Lüftungsanlagen in Sitzungssälen)	5,0 %	300 %
Hoch (Naturwissenschaftliche Institute und Krankenhäuser)	6,5 - 7,0 %	390 - 420 %

Tab. 3 Abhängigkeit der Betriebskosten (bezogen auf die Gesamtbaukosten) vom Installationsgrad (aus FKHK-Erhebung).

Betriebskosten

Der Kostenanteil von technischen Anlagen bewegt sich nicht selten in Größenordnungen von 50 % und mehr der Gesamtbaukosten. Die Betriebskosten erreichen innerhalb der Lebensdauer eines Gebäudes ein Vielfaches der Baukosten. Wettbewerbsarbeiten sind deshalb nach den Investitions- und Baunutzungskosten zu beurteilen.

Tabelle 3 zeigt, dass bereits bei niedrig installierten Gebäuden allein die Betriebskosten während der Lebensdauer eines Gebäudes den doppelten Wert der Gesamtbaukosten erreichen können.

Je höher der Technisierungsgrad ist, der ein Maß für den Anteil von technischen Anlagen in Gebäuden darstellt, desto höher sind Investitions- und Folgekosten. Der Technisierungsgrad eines Gebäudes wird bestimmt durch die

- Art der Nutzung und
- die Morphologie des Gebäudes.

Bei der Diskussion über Vorentwürfe oder bei Architekten-Wettbewerben sollten daher die Teilnehmer, Vorprüfer und das Preisgericht Lösungen finden, deren Technisierungsgrad nicht höher ist als für die jeweilige Gebäudekategorie nötig.

Beispiel 1: RLT-Anlage

Am Beispiel einer raumlufttechnischen Anlage soll demonstriert werden, welche Aspekte bereits in der Wettbewerbsphase zu berücksichtigen sind.

Wird ein Gebäude so geplant, dass eine RLT-Anlage notwendig wird, so bedeutet dies, dass entsprechende Technikräume für die Unterbringung von Lüftungsaggregaten, Schaltschränken für Regelungs- und Steuersysteme etc. vorzusehen sind. Für Lüftungskanäle müssen größere Geschosshöhen eingeplant werden. Außerdem erfolgt

zwangsläufig ein Durchstoßen der Brandabschnitte mit der Folge eines erhöhten Sicherheitsaufwandes. Zusätzliche prüfpflichtige Anlagen (Brandschutzklappen) müssen eingebaut werden.

Die im Vergleich zum Gebäude relativ kurze Lebensdauer der meisten betriebstechnischen Anlagen (ca. 15 Jahre bei RLT-Anlagen) erfordert häufig Folgeinvestitionen. RLT-Anlagen bedingen zudem einen ständigen Aufwand an Wartung, Inspektion und Instandsetzung.

Der Einbau einer RLT-Anlage erhöht den Energieverbrauch. Der Einbau von Wärmerückgewinnungssystemen kann diese Erhöhung nur zum Teil ausgleichen.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass der Einbau einer RLT-Anlage zu erhöhten Investitionskosten sowohl im baulichen Bereich (durch erhöhtes Bauvolumen) als auch im technischen Bereich führt und erhöhte Nutzungskosten mit sich bringt. Daraus ergibt sich unmittelbar die Empfehlung, den Einbau von RLT-Anlagen durch konstruktive Maßnahmen möglichst zu vermeiden bzw. auf solche Fälle zu beschränken, wo er aus funktionalen Gründen (z. B. Schadstoffabfuhr) erforderlich ist.

Die in [Tabelle 4](#) dargestellten Zusammenhänge sind auch heute noch aktuell. Das grobe Verhältnis 1 : 2 : 4 für die Summe der Betriebskosten der o. g. Anlagentypen ist weiterhin gültig.

Beispiel 2: Energetische Bewertung von Gebäudeentwürfen

Der frühzeitige Beginn der interdisziplinäre Zusammenarbeit kann nur dann zum Erfolg führen, wenn geeignete Rechenverfahren mit vertretbarem Aufwand eine zumindest grobe Einschätzung der eingereichten Entwürfe ermöglichen. Neue Regelwerke und leistungsfähige DV-Programme bieten inzwischen die Möglichkeit, in einem frühen Entwurfsstadium erste energetische Prognosen zu erstellen.

Kosten für	Zentralheizungs- anlage [Euro/m ²]	Lüftungsanlage [Euro/m ²]	Klimaanlage [Euro/m ²]
Bedienung, Wartung	1,00 – 1,40	2,00 – 2,90	3,90 – 5,70
Betriebsstoffe, Energiekosten (Wärme, Strom, Wasser)	6,70 – 8,70	13,30 – 17,40	26,60 – 34,80
Summe	7,60 – 10,10	15,20 – 20,30	30,50 – 40,50

Tab. 4 Jahresbetriebskosten für Heizungs-, Lüftungs- und Klimaanlage im Vergleich bezogen auf die Hauptnutzfläche (Quelle: VDI-Erhebung 1975, aktualisiert unter der Berücksichtigung der Energieverbrauchs- und Preisentwicklung staatlicher Gebäude in Baden-Württemberg, Stand 1995).

Bei einem Architekten-Wettbewerb wurde im Jahr 2002 eine vergleichende energetische Betrachtung des Heiz- und Kühlaufwandes für einen Behördenneubau mit einem voraussichtlichen Investitionsvolumen von ca. 16,36 Mio. Euro (32 Mio. DM) für die 3 Preisträger durchgeführt.

Um eine aussagekräftige Vergleichsberechnung durchführen zu können, wurde der bauliche Wärmeschutz für gleiche Bauteile mit gleichen Wärmedurchgangskoeffizienten angenommen.

Berücksichtigt wurden alle wärmeübertragenden Außenbauteile mit den zugehörigen Abmessungen und den gewählten **Wärmedurchgangskoeffizienten**. Unterschiede in den Ergebnissen begründen sich daher in der Geometrie der Gebäude und in den Bauteilen. Weitere Grundlage der Berechnung bilden neben den baulichen Vorgaben die außerklimatischen Bedingungen am Gebäude-Standort. Gewählt wurden die jährlichen Stundenwerte aus dem Testreferenzjahr (TRY) des Deutschen Wetterdienstes der entsprechenden Klimazone.

Der Rechengang nach VDI 2067 Blatt 10 und 11 ergibt den Kühl- und **Heizenergiebedarf** aller 8760 Stunden des TRY-Jahres unter Berücksichtigung der Wärmespeicherung des Bauwerks (siehe **Abb. 15a**, nächste Seite).

In der abschließenden Betrachtung nach der Barwert-Methode wurde eine Nutzungsdauer der Immobilie von 50 Jahren und ein Zinssatz von 8 % zu Grunde gelegt. Dabei ist zu berücksichtigen, dass wichtige andere Betriebskosten wie Anlagenwartung, Elektrobetrieb, Reinigung etc. im Rechengang nicht enthalten sind. Bei einer Einbeziehung dieser Betriebskosten würde sich die ermittelte Relation innerhalb der Entwürfe weiter verstärken.

Die Betrachtung über 50 Jahre zeigt, dass der Aufwand für „Heizen und Kühlen“ der preisgekrönten

Entwürfe sich im Verhältnis von 3:1 zur Investition verhält (siehe **Abb. 15b**, nächste Seite). Die Berücksichtigung der übrigen Betriebskosten für Strom, Reinigung etc. macht deutlich, welchen nachhaltigen Aufwand der Betrieb eines Gebäudes während der Nutzungszeit verursacht. Die energetischen Unterschiede zwischen den preisgekrönten Entwürfen sind bemerkenswert und wurden bei der Entscheidungsfindung für die weitere Realisierung vom Bauherrn berücksichtigt.

	Jahresenergiebedarf Wärme	Energieverbrauch Heizöl	Kosten Heizung	Jahresenergiebedarf Kühlung	Elektr. Energiebedarf Kühlung	Kosten Kühlung DM/a
	kWh/a	10 kWh/ L Liter/a	0,41 Euro/L Euro/a H	kWh/a	kWh/a	0,15 Euro/kWhel. Euro/a H
1. Preis	874.368	86.743	35.480	505.209	328.386	50.370
2. Preis	404.771	40.156	16.425	197.374	128.293	19.679
3. Preis	655.268	65.007	26.590	491.089	319.208	48.962

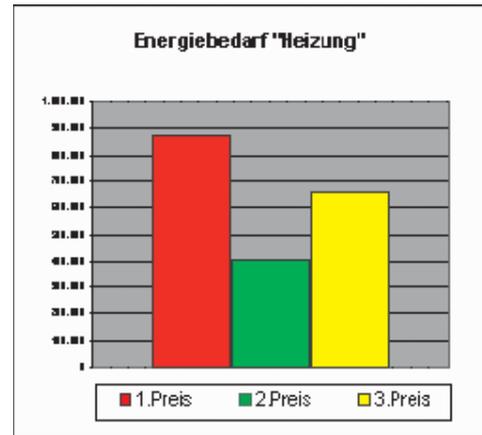
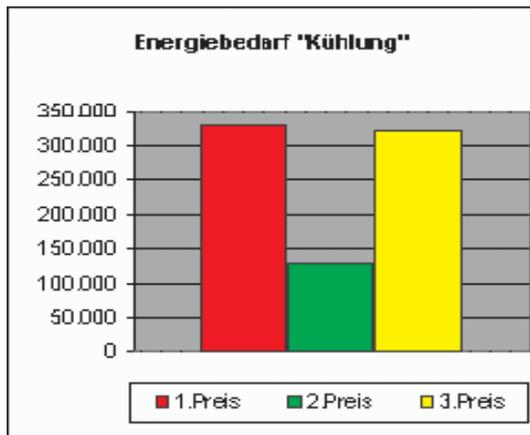


Abb.15a Jahresenergiebedarf für Wärme und Kühlung nach VDI 2067, Blatt 10 und 11 von 3 Wettbewerbsentwürfen

Behördenneubau: Heiz- und Kühlenergie - Kosten

Barwert K eines nach n Jahren aufsummierten Betrages (einschl. Verzinsung), wenn am Ende eines jeden Jahres ein Kapital R eingezahlt wird.

Heizung	Kosten/a	Zinssatz	Nutzdauer	Barwert
	0,41 Euro/L Euro/aH	%	Jahre	Euro
1. Preis	35.480	8	50	20.357.786
2. Preis	16.425	8	50	9.424.226
3. Preis	26.590	8	50	15.256.512

Kühlung	Kosten/a	Zinssatz	Nutzdauer	Barwert
	0,15 Euro/kWhel. Euro/aK	%	Jahre	Euro
1. Preis	50.370	8	50	28.900.978
2. Preis	19.679	8	50	11.290.974
3. Preis	48.962	8	50	28.093.229

Heizung u. Kühlung	Kosten/50a	Kostendifferenz/50a
	Euro	Euro
1. Preis	49.258.764	28.543.565
2. Preis	20.715.200	0
3. Preis	43.349.742	22.634.541

Abb. 15b Wärme- und Kältekosten über einen Nutzungszeitraum von 50 Jahren für 3 unterschiedliche Wettbewerbs-Entwürfe

Kriterien für Wettbewerbe

Checkliste

Gegenstand, Bauelement bzw. Bauteil	Kriterium / Merkmal	Erläuterungen
Abwasserleitungen, Abwassereinlässe (z. B. Bodeneinläufe, WC, Duschen, Waschbecken)	nicht unterhalb der Rückstauenebene	andernfalls Hebeanlage erforderlich
Brandabschnitte	statisch (gemauert), Einhaltung baurechtlich zugelassener Größe	sonst Brandschutztüren (T-90) u. Brandschutzklappen erforderlich; zusätzlich notwendige Brandschutzeinrichtungen bewirken erhöhte Betriebskosten
Chemiegebäude, -institute	möglichst niedrige Geschosshöhe	andernfalls hohe Brandschutzanforderungen, Fluchtwege und Treppen
Decken	in Fluren und Räumen nicht abhängen	sonst Nachinstallationen problematisch, Zugänglichkeit von Ventilen o. ä. erschwert
Digestorien	in obere Geschosse legen	sonst lange Abluftwege und erhöhte Brandschutzanforderungen
Energiezentralen	ebenerdige Anordnung, ggf. in abgesetztem Gebäude ausreichend dimensionierte Einbringöffnungen geeignete Zuwegung (Raum, Gewichtsbelastung)	dadurch bessere Zugänglichkeit für Instandhaltungsarbeiten und leichter Austausch nach Ablauf der Anlagenlebensdauer sonst erschwerter Austausch der Aggregate sonst erschwerter Austausch der Aggregate
Fluchtwege	Standardlösung entsprechend Landesbauordnung	sonst zusätzliche Auflagen
Flur	Beleuchtung: Tageslicht natürliche Belüftung keine Energietrassen	sonst ca. 2.500 - 3.000 h/a Lampenbrenndauer sonst RLT-Anlage erforderlich sonst hohe Brandschutzanforderungen (mindestens abgehängte Decke F-30 und Rauchmelder in der abgehängten Decke)
Gebäudeausrichtung	nach nutzungsbedingt bevorzugter Sonneneinstrahlung	Wärmegewinn ausnutzen bzw. vermeiden
Gebäudemorphologie	günstiges Verhältnis Hüllfläche zu Volumen zu hohe Kompaktheit	Anzahl innenliegender Räume beachten erfordert zusätzliche Gebäudetechnik wegen innenliegender Bereiche (Lüftung, Brandschutz)
Glasflächen	große Glasflächen gute Zugänglichkeit	evtl. zu hoher Wärmegewinn bzw. -verlust evtl. zu hoher Lichteinfall (Blendung) Differenzierte Betrachtung notwendig, ggf. durch Simulationsrechnung sonst erschwerte Reinigung
Grundriss	zweibündig dreibündig	dadurch keine innenliegenden Flächen bedingt innenliegende Flächen, daher als Dauerarbeitsräume nicht geeignet, RLT erforderlich
Höhe der Gebäude	begrenzen	sonst Kostensprung einkalkulieren; Hochhausrichtlinien verlangen (z. B. Sicherheitsaufzüge, Sicherheitsbeleuchtung, Druckerhöhung, Ersatzstromaggregate)

Gegenstand, Bauelement bzw. Bauteil	Kriterium / Merkmal	Erläuterungen
Installationsschächte	nach Installationsgrad	Abwägen zwischen dem Vorteil der leichteren Nachinstallation und dem Nachteil der Brandschutzanforderungen
Laborräume	Fluchtweg	zweiten Fluchtweg vorsehen
Lagerräume für Putzmittel und Abfall	außenliegend	keine besonderen Anforderungen
	innenliegend	häufig Forderung nach Rauchmeldern, feuerhemmenden Türen und Abluftanlagen
Netzersatzanlagen	außerhalb des Hauptgebäudes	andernfalls Immissionen (Abgase, Schall) und Brandschutz problematischer
Räume	stapelbar angeordnet	dadurch Statik unproblematisch
	Zusammenfassen von Räumen mit hohem Installationsaufwand	sonst größere Leitungslängen
	außenliegend	im Normalfall keine Anforderungen
	Tiefe unter 8,40 m	Belichtung und Belüftung über Fenster
	Tiefe über 8,40 m	RLT und Tageslichtergänzungsbeleuchtung erforderlich
Räume, die aus funktionalen Gründen mit RLT auszustatten sind	zur lärmbelasteten Straßenseite hin anordnen	dadurch mögliche Verringerung der erforderlichen RLT-Anlagen bzw. deren Leistung (Ausstattung von Räumen mit RLT-Anlagen nur aufgrund von Lärmbelastigung entfällt)
RLT-Anlage	vermeiden	dadurch geringere Geschosshöhe (Kanäle entfallen), Feuerschutzklappen (prüfungspflichtig) und Technikräume entfallen
Sanitärräume	stapelbar	dadurch Leitungsführung einfach
	nicht unterhalb der Rückstauenebene	sonst Hebeanlage erforderlich
Speisesaal	in oberste Etage legen	dadurch kurze Abluftwege, geringere Geruchsbelastigungen, keine Brandschutzprobleme, aber erhöhtes Personentransportaufkommen bei externen Benutzern
Teeküchen	stapelbar	dadurch Leitungsführung einfach
	nicht unterhalb der Rückstauenebene	sonst Hebeanlage erforderlich
Tiefgarage	vermeiden	sonst erhöhte Sicherheitsanforderungen (RLT, Brandschutz etc.)
Trassen für Energie- und Medienversorgung	außerhalb von Rettungswegen anordnen	sonst Brandschutzprobleme
Transformatoren	nicht unterhalb der Erdgeschossenebene oder neben Räumen, in denen elektromagnetisch empfindliche Geräte im Einsatz sind	sonst bei Öltransformatoren erhöhte Brandschutzaufgaben beachten (Trockentransformatoren unproblematisch, jedoch höhere Investitionskosten) Hinweis zur EMV
Treppenhäuser	außenliegend	keine Auflagen
	innenliegend	Entrauchung (prüfungspflichtig) und Sicherheitsbeleuchtung (prüfungspflichtig) erforderlich
Versammlungsstätten	ebenerdig, nicht innenliegend	geringer Aufwand für Fluchtwege und Sicherheitsbeleuchtung erforderlich
Werkstätten	zentral zusammenfassen	sonst hohe Auflagen für Einzelräume (z. B. Arbeitsschutz)

3. Beispielprojekt Neubau

**Staatsanwaltschaft Limburg
Walderdorffstraße 12
65549 Limburg**

Eigentümer/in:
Land Hessen, Justizbehörden Limburg
Walderdorffstraße 12
65549 Limburg
Tel: 06431/29 08-0
Fax: 06431/29 08-200

Bearbeitung:
Staatsbauamt Wetzlar
Turmstraße 20
35578 Wetzlar
Telefon: (06441) 40 01-0
Telefax: (06441) 40 01 74

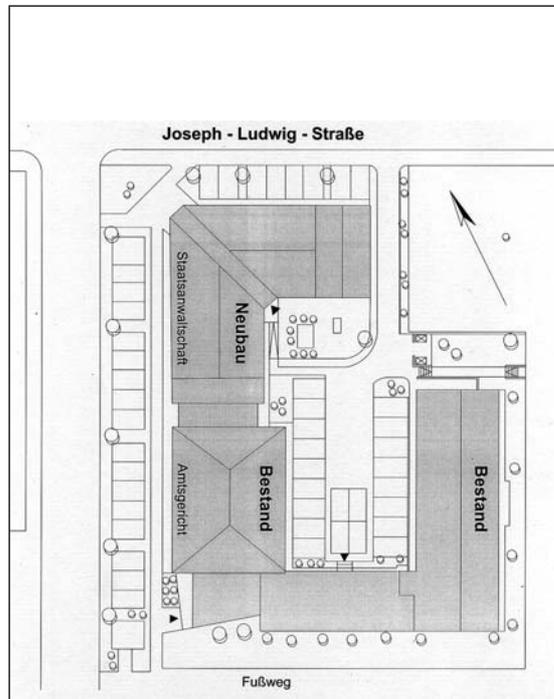


Abb. 16b Ansicht von Norden (Haupteingang)

Abb. 16a Lageplan



Baubeschreibung

Die Planungsaufgabe bestand in der Ideenfindung eines wirtschaftlichen Konzepts, das den Erfordernissen an einer zukunftsorientierten Verwaltung in Verbindung mit den beengten Grundstücksverhältnissen und der gestalterischen Anbindung an den vorhandenen Baukörper gerecht wird.

Geplant wurde ein 5-geschossiger Winkelbau mit Sattelgeschoss, der über ein Glaselement an den Altbau angeschlossen ist. Der Haupteingang und eine Kindertagesstätte sind im Untergeschoss an der Ecke Walderdorfstraße – Josef-Ludwig-Straße untergebracht.

Erschlossen wird das Gebäude durch ein zentrales Treppenhaus.

Zum Nachbargrundstück ergibt sich durch die erforderlichen Abstandsflächen eine Abstufung des Baukörpers. Die Flachdachbereiche erhalten eine Abdichtung mit extensiver Begrünung und umlaufenden Pflanzbehältern.

Der Erweiterungsbau basiert auf einer Achsanordnung, die in Längs- und Querrichtung aufeinander abgestimmt sind (Achismaß 3,44 m / 4,63 m). Dies ermöglicht, die Raumgrößen entsprechend den Anforderungen wirtschaftlich zuzuordnen. Zur Vereinfachung der Konstruktion sind die Stützweiten so gewählt, dass die Unterzüge und Stürze überwiegend deckengleich ausgeführt werden konnten. Die Innentüren erhielten einen Sturz zur Abdeckung der erforderlichen Deckenabhängung.

Die Dachkonstruktion besteht aus freitragenden Holz-Leim-Trägern, und einem umlaufenden Ringanker. Die nicht tragenden Zwischenwände sind als Montagewände mit Gipskartonoberfläche vorgesehen worden.

Durch einen stufenlosen Eingang und einem behindertengerechten Aufzug in Verbindung mit Behinderten-WC und Behindertenparkplätzen wurden die Belange behinderter Personen eingeplant.

Ein Bebauungsplan für das Gebiet lag nicht vor. Die Stadt hat im Rahmen einer Voranfrage dem Planungskonzept zugestimmt.

Die energetischen Zielvorgaben für das Gebäude waren durch den Leitfaden „Energie im Hochbau – Energiebewußte Gebäudeplanung“ gegeben.

Dieser Leitfaden ist durch das Institut für Wohnen und Umwelt (IWU) erarbeitet und vom Hessischen Ministerium für Umwelt, Energie und Bundesangelegenheiten per Erlass als Teil der „Bautechnischen Richtlinien zur Einsparung von Energie bei Bauten des Landes“ bereits 1992 verpflichtend eingeführt worden.

Das Gebäude der Staatsanwaltschaft Limburg erfüllt die Anforderungen der Energieeinsparverordnung.

Haustechnik

Im Bereich der Haustechnik wurde ein Gas-NT Kessel Baujahr 1995 eingebaut. Mit einer Heiztemperatur von 70 / 55° C versorgt er sowohl den Neubau (136kW) als auch den Altbau (104kW).

Bauzeit	11-1994 bis 12-1996		
Genehmigte Baukosten inkl. Grunderwerb	~ 3.433.500,- + ~ 66.500,- = ~ 3.500.000,- €		
Wärmeübertragende Umfassungsfläche A	2.687 m ²		
Beheiztes Bauwerksvolumen V	8.312 m ³		
A/V-Verhältnis	0,32		
BGF/NGF	2.689 / 2284 m ²		
Max. zul. Jahres-Heizwärmebedarf kW/m ² a (NGF)	75,0 (nach Leitfaden des Landes Hessen)		
Verbrauchsdaten (Durchschnittswerte über mehrere Jahre, gradtagszahlbereinigt kW/m ² a (NGF):	Planung	Ausführung	€/m ² (NGF) Jahr
1999	55	65,2	2,27
2000		59,9	2,66
2001		59,1	3,05

Tab. 5 Haustechnische Kennwerte

		U-Wert
Wand	Porosierter Tonziegel mit Dämmung	0,28 – 0,37
Fenster	Holz mit Isoverglasung	1,6 (k-Wert)
Dach		0,18
Steildach	Holzbinder, Zwischensparrendämmung, Metalldeckung	
Flachdach	Nichtbelüftetes, gedämmtes, extensiv begrüntes Betondach	0,23
Sohle / Kellerdecke	Schwimmender Estrich auf Beton	0,69

Hüllflächenbeispiele:

Außenwand (Schichtaufbau von innen nach außen)

	λ (W/(mK))	d (mm)	s/ λ (m ² K/W)
Putz	0,35	15	0,04
Leichtlochziegel	0,21	365	1,74
Mineralfaserdämmung	0,035	55	1,57
Kalk-Zementputz	0,87	10	0,01
$R_{si} = 0,13$ m ² K/W	$R_{se} = 0,04$ m ² K/W	Summe = 3,36	
$U = 1 / (0,13 + 0,04 + 3,36) = 0,283$ W/(m ² K)			

Außenwand (Schichtaufbau von innen nach außen)

	λ (W/(mK))	d (mm)	s/ λ (m ² K/W)
Putz	0,35	15	0,04
Leichtlochziegel	0,21	240	1,14
Mineralfaserdämmung	0,035	60	1,71
$R_{si} = 0,13$ m ² K/W	$R_{se} = 0,04$ m ² K/W	Summe = 2,90	
$U = 1 / (0,13 + 0,04 + 2,90) = 0,326$ W/(m ² K)			

Kelleraußenwand (Schichtaufbau von innen nach außen)

	λ (W/(mK))	d (mm)	s/ λ (m ² K/W)
Stahlbetonwand	2,1	300	0,14
Dämmung	0,04	80	2,00
$R_{si} = 0,13$ m ² K/W	$R_{se} = 0,04$ m ² K/W	Summe = 2,14	
$U = 1 / (0,13 + 0,04 + 2,14) = 0,432$ W/(m ² K)			

Flachdachbereiche (Schichtaufbau von innen nach außen)

	λ (W/(mK))	d (mm)	s/ λ (m ² K/W)
Putz	0,35	15	0,04
Stahlbetondecke	2,1	160	0,08
Dämmung-Extr.-Schaum	0,035	140	4,00
Ext. Begrünung	1,4	100	0,07
$R_{si} = 0,13$ m ² K/W	$R_{se} = 0,04$ m ² K/W	Summe = 4,19	
$U = 1 / (0,13 + 0,04 + 4,19) = 0,229$ W/(m ² K)			

Bogendach (Schichtaufbau von innen nach außen)

	λ (W/(mK))	d (mm)	s/ λ (m ² K/W)
Holzschalung	0,13	22	0,17
Dämmung	0,035	180	5,14
Leichtfaserplatten	0,17	20	0,12
$R_{si} = 0,13$ m ² K/W	$R_{se} = 0,04$ m ² K/W	Summe = 5,43	
$U = 1 / (0,13 + 0,04 + 5,43) = 0,179$ W/(m ² K)			

Decke zum Keller (Schichtaufbau von innen nach außen)

	λ (W/(mK))	d (mm)	s/ λ (m ² K/W)
Linoleum	0,06	4	0,07
Zementestrich	2,00	50	0,03
Dämmung	0,04	90	2,25
Stahlbetondecke	2,1	160	0,08
Putz	0,35	20	0,06
$R_{si} = 0,17$ m ² K/W	$R_{se} = 0$ m ² K/W	Summe = 2,47	
$U = 1 / (0,17 + 0 + 2,47) = 0,378$ W/(m ² K)			

Tab. 6 Bauteil/Hüllflächenaufbau



Abb. 16c Grundriss 2. OG



Abb. 16e Ansicht von Norden



Abb. 16f Hofansicht



Abb. 16d Ansicht von Westen

Abb. 16g Ansicht von Osten



Quelle:

Oberfinanzdirektion Frankfurt am Main
 -Landesbauabteilung-
 Energiewirtschaftliche Beratungsstelle
 Fachbereich Bau, Herr Kurt Kretschmer
 Adickesallee 32
 60322 Frankfurt am Main
 Tel.: 0 69/15 60-4 11

C Maßnahmen im Gebäudebestand

1. Einführung

Problematisierung

Ein hohes Maß an Wärmeschutz – wie es heute bei Neubauten vorgegeben ist – spielte in früheren Bauepochen keine oder nur eine untergeordnete Rolle. Erst ab Mitte der 70er Jahre des vorigen Jahrhunderts entstehen auf Grund stark steigender Energiepreise und Versorgungsängsten als Folge der ersten Ölkrise sowie wachsender Erkenntnisse über die mit CO₂-Emissionen verbundenen Umweltprobleme die Anforderungen an energiesparendes Bauen – die 1. Wärmeschutz-Verordnung tritt 1977 in Kraft. Dies bedeutet, dass fast alle Gebäude, die vor 1980 fertiggestellt wurden, nicht über einen heutigen Anforderungen auch nur annähernd genügenden Wärmeschutz verfügen.

Einsparpotentiale

Eine Vielzahl von Untersuchungen zeigen, dass vor 1980 errichtete Gebäude ohne nachträglich durchgeführte Verbesserungsmaßnahmen Jahresheizwärmebedarfe von 200 – 300 kWh/m² Nutzfläche aufweisen.

Bezogen auf nach heutigen Vorgaben errichtete vergleichbare Neubauten sind dies 3-4fach höhere Werte – im Umkehrschluss bedeutet dies, dass eine Reduzierung um bis zu 75 % mit heute üblichen Baumaßnahmen möglich ist. Wenn man weiterhin bedenkt, dass ca. 80 % aller heute genutzten Gebäude vor 1980 errichtet wurden, zeigt dies das enorme Einsparpotential im Bereich der Altbauten.

Baurechtsslage

Die „Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden – **Energieeinsparverordnung (EnEV)**“ in Kraft getreten am 01.02.2002, betrifft im dritten Abschnitt „Bestehende Gebäude und Anlagen“ . In drei Paragraphen (§ 8 – § 10) sowie in Anhang 3 werden Anforderungen vorgegeben für die „Änderung von Gebäuden“, die „Nachrüstung bei Anlagen und Gebäuden“ sowie die „Aufrechterhaltung der energetischen Qualität“; im Einzelnen:

- bei Durchführung bestimmter, in Anhang 3 genannter, baulicher Maßnahmen an wärmeabgebenden Bauteilen sind Anforderungen in Form höchstzulässiger Wärmedurchgangskoeffizienten einzuhalten,
- § 9 formuliert Nachrüstungsverpflichtungen für bestimmte Heizkessel, Heiz- und Warmwasserleitungen sowie bestimmte oberste Geschossdecken,
- bauliche Maßnahmen dürfen die energetische

Qualität eines Gebäudes nicht verschlechtern; vorhandene technische Anlagen sind entsprechend zu warten und instandzuhalten.

Für Baudenkmäler oder sonstige besonders erhaltenswerte Bausubstanzen können unter bestimmten Voraussetzungen die nach Landesrecht zuständigen Stellen (Denkmalbehörden) Ausnahmen zulassen (§ 16 (1) EnEV).

Der Verordnungstext ist im Anhang F dieser Planungshilfe aufgeführt.

Ergänzend zur von der Bundesregierung erlassenen Energieeinsparverordnung existieren in den Bundesländern Verwaltungsvorschriften und Richtlinien, u. a. bezüglich der Gebäude der Länder, bezüglich Fördermöglichkeiten bestimmter Maßnahmen usw.

Energieeinsparende Maßnahmen

Die Planung effektiver und kostenoptimierter energieeinsparender Maßnahmen erfordert eine für diesen Bereich detaillierte Bestandsaufnahme der vorhandenen Bausubstanz, sowohl was die vorhandenen Konstruktionen als auch was die vorhandenen Schäden und Mängel anbelangt. Auf der Grundlage der Bestandsanalyse ist ein Gesamtkonzept für die energetische Verbesserung zu erarbeiten, welches sowohl alle erforderlichen baulichen Maßnahmen (Wärmedämmung) als auch alle anlagentechnischen Maßnahmen (Heizung, Warmwasser, Lüftung usw.) beinhaltet. Diese beiden Problemkreise sind nur im unmittelbaren Zusammenhang zu beurteilen; demzufolge müssen Architekten und Fachplaner der technischen Gebäudeausrüstung frühzeitig, am besten bereits bei der Bestandsaufnahme, zusammenarbeiten.

Ausgelöst werden Überlegungen zur energetischen Verbesserung von Gebäuden häufig durch Instandsetzungsnotwendigkeiten an Bauteilen der äußeren Hülle (Fassaden, Dacheindeckungen, Fenster usw.). Zum Einen sind diese notwendigen Instandsetzungen bei der Erarbeitung des Gesamtkonzeptes zur energetischen Verbesserung zu berücksichtigen, insbesondere auch bei der Beurteilung von Kosten und Wirtschaftlichkeit. Zum Anderen lösen bestimmte Instandsetzungsmaßnahmen auf Grund der Vorgaben in der Energieeinsparverordnung zwingend Wärmeschutzmaßnahmen aus, z. B. ist bei der Erneuerung der Dachhaut eines wärmeabgebenden Daches die Gesamtstruktur derart zu ertüchtigen, dass der in der Energieeinsparver-

ordnung vorgegebene **Wärmedurchgangskoeffizient** erreicht wird.

Bei der Beurteilung eines Gesamtkonzeptes spielen trotz aller ökologischen Vorteile energetischer Verbesserungen von Bestandsgebäuden, Kosten und Wirtschaftlichkeit eine entscheidende Rolle. Demzufolge sind alle Maßnahmen kostenorientiert zu planen und die entstehenden Kosten in einem frühen Planungsstadium möglichst detailliert zu ermitteln. Bei der Beurteilung der Wirtschaftlichkeit ist auf Grund der z. Zt. relativ niedrigen Energiepreise die angemessene Berücksichtigung der Kosten der notwendigen Instandsetzungen von Bedeutung.

2. Bestandserfassung und Planung der Maßnahmen

2.1 Bestandsaufnahmen

Grundvoraussetzung jeglicher Planungen zur Instandsetzung und Modernisierung von Altbauten ist die Durchführung detaillierter Bestandsaufnahmen der vorhandenen Bausubstanz; dieser Grundsatz gilt auch dann, wenn es sich bei den angedachten Maßnahmen „nur“ um energieeinsparende Maßnahmen handelt.

Bevor mit den Bestandsaufnahmen vor Ort begonnen wird, empfiehlt es sich, Altunterlagen des Gebäudes zu beschaffen. Hilfreich sind sowohl Planunterlagen aus der Bauzeit (Baugenehmigungspläne, Ausführungspläne) als auch Planunterlagen von evtl. durchgeführten Umbaumaßnahmen. Wichtig in diesem Zusammenhang ist, dass Bestandsunterlagen die Bestandsaufnahmen vereinfachen, sie jedoch keinesfalls ersetzen können. So gehen in aller Regel der bauliche Zustand sowie für die Planung wichtige Einzelkonstruktionen aus Altunterlagen nicht hervor. Hinzu kommt, dass insbesondere Baugenehmigungspläne häufig nicht mit der gebauten Realität übereinstimmen (auch früher hat man hin und wieder anders gebaut als geplant war).

Demzufolge sind sowohl maßliche als auch technische Bestandsaufnahmen vor Planungsbeginn durchzuführen; im Einzelnen:

- maßliche Aufnahme bzw. Kontrolle vorhandener Planunterlagen der wärmeabgebenden Bauteile, z. B. Wandstärken, Fenstergrößen, Fassadenabmessungen, obere und untere wärmeabgebende Flächen usw.; die Erfassung dieser Maße ist zum Einen Grundvoraussetzung für energetische Berechnungen (Ermittlung von [Wärmedurchgangskoeffizienten](#), Erstellung von Energiebilanzen) und zum Anderen die Grundlage für Massenermittlungen, Kostenberechnungen usw.,
- technische Bestandsaufnahme vorhandener Konstruktionen sowie Erfassung aller Schäden und Mängel; die Erkenntnisse sind zum Einen für die energetische Analyse (Wärmedurchgangskoeffizienten bzw. Energiebilanz des Ist-Zustandes) erforderlich, zum Anderen erfordern Planungslösungen detaillierte Kenntnisse der Ausgangssituation der betreffenden Bauteile,
- Bestandsaufnahme vorhandener Anlagentechnik wie Heizungsanlagen, Lüftungsanlagen usw.; diese Aufnahmen sind vom Fachplaner durchzuführen.

Die Aufnahme von Schäden und Mängeln ist deshalb von besonderer Bedeutung, weil evtl. erforderliche Instandsetzungsmaßnahmen, z. B. die Erneuerung einer Dachhaut, nach Energieeinsparverordnung energieeinsparende Maßnahmen auslösen.

Zudem ist es für die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit einer Maßnahme wichtig, in welcher Form und Größenordnung Instandsetzungsmaßnahmen sowieso durchgeführt werden müssten.

Im Rahmen der Bestandsaufnahme sollten zu den einzelnen wärmeabgebenden Bauteilen die folgenden Daten und Fakten erhoben werden:

- Außenwände,
 - Abmessungen zur Flächenermittlung,
 - Konstruktionsaufbau inkl. Materialbestimmung zur Ermittlung bestehender Wärmedurchgangskoeffizienten,
 - Schäden und Mängel, z. B. an den äußeren Oberflächen oder auch statische Mängel bezüglich eventuell erforderlicher Instandsetzungsmaßnahmen.
- Fenster und Außentüren,
 - Anzahl und Größe der Fenster,
 - Fensterart (Einfachfenster, Verbundfenster, Kastenfenster), Verglasung (Einfachverglasung, Isolierverglasung),
 - Rahmenmaterial, Türkonstruktionen,
 - Schäden und Mängel bezüglich evtl. notwendiger Instandsetzungen.
- Dächer,
 - Abmessungen der wärmeabgebenden Dachflächen (geneigte Dachflächen, Flachdachflächen),
 - Konstruktionsaufbau bezüglich energetischer aber auch bauphysikalischer Beurteilung,
 - Schäden und Mängel bezüglich eventuell erforderlicher Instandsetzungsmaßnahmen.
- Bauteile zu unbeheizten Räumen,
 - Abmessungen,
 - Konstruktionsaufbau zur energetischen Beurteilung des Bestandes,
 - Schäden und Mängel bezüglich eventuell erforderlicher Instandsetzungsmaßnahmen.
- Bauteile gegen Erdreich,
 - Abmessungen,
 - Konstruktionsaufbau zur energetischen Beurteilung des Bestandes,

- Schäden und Mängel bezüglich eventuell erforderlicher Instandsetzungsmaßnahmen.

Insbesondere die Erfassung von Konstruktionsaufbauten erfordert zum Teil spezialisierte Methoden. Neben handwerklichen Untersuchungen wie das Öffnen von Konstruktionen, das Abschlagen von Putz usw., die nicht zerstörungsarm sind und somit bei genutzten Gebäuden oder auch bei denkmalgeschützten Bauteilen nicht durchführbar sind, gibt es eine Vielzahl von Untersuchungsmethoden, bei denen mit Hilfe bestimmter technischer Geräte zerstörungsarm vorgegangen werden kann. Exemplarisch genannt seien hier die endoskopischen Untersuchungen, bei denen mittels einer relativ kleinen Bohrung Schichtaufbauten oder auch Hohlräume in Konstruktionen betrachtet werden können oder auch die Untersuchung mittels einer Kernbohrung, wobei der entnommene Bohrkern neben Erkenntnissen zum Schichtaufbau zur Bestimmung von Rohdichten herangezogen werden kann.

Während ältere Gebäude, z. B. aus der Gründerzeit häufig gleichartige Konstruktionen aufweisen, wurde in den 60er und 70er Jahren des 20. Jahrhunderts häufig experimentiert, d. h. diese Gebäude weisen sehr unterschiedliche Konstruktionslösungen auf. So sind z. B. die Außenwände in diesen Gebäuden häufig mehrschichtig, bestehend aus Tragkonstruktion, Wärmedämmung und/oder Luftschicht und einer Vorhangfassade, z. B. aus Waschbetonplatten oder ähnlichem. Sowohl zur energetischen Beurteilung des Bestandes als auch zur richtigen Planung energieeinsparender Maßnahmen sind detaillierte Kenntnisse über den Schichtenaufbau erforderlich. Hinzu kommt, dass eventuelle Schäden und Mängel, z. B. an den Befestigungsmitteln der Vorhangfassaden erkannt werden müssen, da dies zum Einen Instandsetzungen erforderlich macht, die zum Anderen wiederum energieeinsparende Maßnahmen nach EnEV auslösen.

Im Rahmen der bautechnischen Bestandsaufnahmen ist die vorhandene Anlagentechnik zu erfassen, da es sich in vielen Fällen anbietet, Schäden und Mängel in diesem Bereich in Zusammenhang mit energieeinsparenden Maßnahmen zu beheben. Zudem führen energieeinsparende Maßnahmen in aller Regel zu einer Überdimensionierung vorhandener Heizungsanlagen, was zumindest im Bereich der Regelungen Anpassungen erfordert.

Zusammengefasst kann festgestellt werden, dass für die Erarbeitung eines Planungskonzeptes zur energetischen Verbesserung bestehender Gebäude detaillierte Bestandsaufnahmen Grundvoraussetzung sind. Im Sinne eines integrierten Planungsansatzes ist schon bei den Bestandsaufnahmen eine Zusammenarbeit von Architekt, Fachingenieur für technische Ausrüstung und ggf. Tragwerksplaner sehr sinnvoll.

2.2 Maßnahmenplanung

Auf der Grundlage der Bestandsaufnahmen sind Instandsetzungs- und Modernisierungsmaßnahmen zu erarbeiten; wichtige Entscheidungskriterien hierbei sind:

- Instandsetzungsnotwendigkeit auf Grund von Mängeln und Schäden an den betreffenden Bauteilen, ggf. differenziert nach deren Dringlichkeit,
- Wärmedurchgangskoeffizienten der bestehenden Bauteile und deren Flächenanteile,
- anlagentechnische Notwendigkeiten,
- zur Verfügung stehende Finanzmittel (falls vorgegeben).

Im Rahmen eines Gesamtkonzeptes sind ggf. unterschiedliche Maßnahmenvorschläge zu erarbeiten und mit den verbundenen Auswirkungen bezüglich Kosten, Energieeinsparung, Wirtschaftlichkeit, Nutzung des Gebäudes während der Baumaßnahmen usw. zu bewerten. Ebenfalls müssen die unterschiedlichen Maßnahmenvorschläge baurechtlichen Anforderungen sowie ggf. denkmalpflegerischen Auflagen genügen.

Ein wesentlicher Grundgedanke bei der Maßnahmenplanung sollte darin bestehen, ein möglichst umfassendes Konzept zur energetischen Verbesserung zu erarbeiten; gute Gründe hierfür sind:

- größtmögliche Energieeinsparung mit entsprechender Senkung der Energiekosten,
- größtmögliche CO₂-Reduzierung sowie sonstiger Schadstoffe,
- Vermeidung eventueller Bauschäden, die bei Durchführung von Einzelmaßnahmen auftreten können; allseits bekanntes Beispiel: alleinige Fenstererneuerung ohne Wärmedäm-

mung der Fassaden kann zu Oberflächenkondensat und Schimmelpilzbildung in bestimmten Bereichen führen,

- einmalige Belastung der Nutzer durch Baumaßnahmen,
- Zusammenhänge zwischen Wärmedämmmaßnahmen und anlagen-technischen Maßnahmen; Beispiel: bei umfassender Wärmedämmung ist die vorhandene Heizungsanlage ggf. weit überdimensioniert.

Trotz dieser Vielzahl von guten Gründen für eine umfassende energetische Verbesserung ist dies des öfteren auf Grund fehlender Finanzmittel nicht umsetzbar. In diesen Fällen sind Prioritäten unter Berücksichtigung aller Rahmenbedingungen zu bilden; z. B.:

- die auf Grund von Schäden erforderliche Erneuerung der Dachziegeleindeckung eines geeigneten Daches löst auf Grund der Anforderungen der Energieeinsparverordnung Wärmedämmmaßnahmen in den Bereichen aus, in denen die Dachfläche wärmeabgebend ist,
- zur Erneuerung dieser Dacheindeckung, insbesondere zur Erneuerung der Dachentwässerung ist das Einrüsten des gesamten Gebäudes erforderlich,
- der auf Grund der Einrüstung angedachte neue Fassadenanstrich verursacht in etwa die Hälfte der Kosten eines Wärmedämmverbundsystems; bei einer späteren Durchführung einer derartigen Maßnahme ist ein nochmaliges Einrüsten erforderlich,
- das Wärmedämmverbundsystem ist an die Fenster anzuarbeiten, die Fensterlaibungen sind außen zu dämmen; eine Verschiebung einer notwendigen Fenstererneuerung führt hierbei zu Problemen bzw. zu erneuten Maßnahmen bei einem späteren Fensteraustausch.

Diese beispielhafte Ableitung von Maßnahmen zeigt, dass zumindest die Bauteile Außenwände, Fenster und Dächer häufig im Zusammenhang betrachtet werden müssen. Unberücksichtigt können hierbei ggf. Kellerdecken bzw. Kellersohlen und Decken gegen unausgebaute Dachräume bleiben; diese Maßnahmen können jederzeit nachgerüstet werden.

Neben den bereits erwähnten Kriterien (Instandsetzungsnotwendigkeiten, Energieeinsparung,

Bauphysik, Kosten, Bauabläufe usw.) sind bei der Maßnahmenplanung alle sonstigen baurechtlichen Anforderungen zu berücksichtigen. Exemplarisch seien genannt:

- Wärmeschutzmaßnahmen an Außenwänden sollten in lärmbelasteten Zonen nicht zu einer Verschlechterung des Schallschutzes der Außenwände führen,
- ab bestimmten Gebäudehöhen werden an die Oberflächen von Außenwänden, Außenwandbekleidungen und Dämmstoffe in Außenwänden Brandschutzanforderungen gestellt.

Bei denkmalgeschützten Gebäuden sind „äußere“ Wärmedämmmaßnahmen mit den zuständigen Behörden abzustimmen; gemäß § 16 EnEV sind Ausnahmen möglich.

Zusammengefasst kann festgestellt werden, dass bei der Erarbeitung eines Maßnahmenkonzeptes für die Instandsetzung und energetische Verbesserung eines Gebäudes eine Vielzahl von Kriterien bzw. Rahmenbedingungen zu beachten sind; dies erfordert vom Planer eine ganzheitliche Betrachtungsweise sowie in Bezug auf die Anlagentechnik eine integrierte Planung, ggf. unter Hinzuziehung weiterer Sonderfachleute (Tragwerksplanung, Denkmalpflege, Brandschutz-Sachverständiger, Bauphysiker, usw.).

Auf der Grundlage eines derartig erarbeiteten Maßnahmenkatalogs können die Kosten für die einzelnen Maßnahmen ermittelt werden. Dies kann mit einer gewissen Genauigkeit nur mittels eines so genannten Bauteil- oder Bauelementeverfahrens erfolgen, d. h. es werden die Kosten für jedes Bauteil auf der Grundlage einer entsprechenden Massenermittlung errechnet. Hilfsmittel hierbei können auf dem Markt befindliche Bauteilkataloge sein, in denen Durchschnittswerte für Einzelmaßnahmen angegeben sind.

Die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit energieeinsparender Maßnahmen ist recht kompliziert. Zum Einen können verschiedene Verfahren bzw. Berechnungsmethoden angewandt werden (statisch oder dynamisch), zum Anderen sind bestimmte Variablen wie Energiepreisentwicklung, Lebensdauer von Bauteilen usw. von Bedeutung. In Anhang E dieser Planungshilfe sind Grundlagen sowie Beispielrechnungen für Wirtschaftlichkeitsberechnungen dargestellt.

Wichtig in diesem Zusammenhang ist, dass es für derartige Berechnungen erforderlich ist, die für die geplanten Maßnahmen ermittelten Kosten in so genannte Sowiesokosten, d. h. die Kosten der sowieso erforderlichen Instandsetzungsmaßnahmen und die Kosten für die energieeinsparenden Maßnahmen getrennt zu ermitteln, da lediglich die Kosten für die energieeinsparenden Maßnahmen den hierdurch eingesparten Energiekosten gegenübergestellt werden dürfen. Zum Anderen erfordert die Ermittlung der eingesparten Energiekosten die Erstellung von Energiebilanzen für das betreffende Gebäude vor und nach energetischer Verbesserung – ein Arbeitsaufwand, der auf Grund der bauteilbezogenen Anforderungen in Form maximaler Wärmedurchgangskoeffizienten im Rahmen des Wärmeschutznachweises nach Energieeinsparverordnung nicht erforderlich ist.

Abschließend noch eine Anmerkung:
Wärmedämmende Maßnahmen sind ausschließlich für wärmeabgebende Bauteile zu planen und werden von der Energieeinsparverordnung auch nur hierfür gefordert. Dies ist eigentlich selbstverständlich, trotzdem werden des öfteren Dachschrägen oberhalb unausgebauter Dachräume oder Keller-sohlen und -wände unbeheizter Kellerräume gedämmt.

3. Planungs- und Konstruktionshinweise, Berechnungsbeispiele

Vorbemerkungen

Nachfolgend sind für alle wärmeabgebenden Bauteile eines Gebäudes Planungs- und Konstruktionshinweise aufgeführt. Hierbei ist zu beachten:

- die Planungs- und Konstruktionshinweise je Bauteil erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit; dies kann auf Grund der großen Zahl unterschiedlicher Altbaubestände nicht erreicht werden,
- bei den zeichnerischen Darstellungen handelt es sich um Schemazeichnungen, nicht um „Details“ für die Baustelle,
- die Gliederung der Bauteile entspricht weitestgehend Anhang 3 der Energieeinsparverordnung.

Im Anschluss an die Planungs- und Konstruktionshinweise je Bauteil sind Bemessungsbeispiele beigefügt, wobei die dargestellten Konstruktionsbeispiele die Anforderungen der [Energieeinsparverordnung, Anhang 3, Tabelle 1](#), erfüllen.

Die Konstruktionslösungen und die Bemessungsbeispiele beschränken sich auf vorhandene Konstruktionen, wie sie beginnend bei der Gründerzeit bis ca. 1980 üblicherweise errichtet wurden. Bei öffentlichen Gebäuden selten anzutreffende Konstruktionen wie z. B. Fachwerkaußenwände bleiben unberücksichtigt; bei derartigen Projekten sollte ein Bauphysiker hinzugezogen werden.

Ebenfalls werden seltene Konstruktionslösungen wie z. B. transparente Wärmedämmsysteme oder sich noch im Experimentierstadium befindende Materialien wie z. B. Vakuum-Dämmplatten nicht behandelt.

3.1 Außenwände

Um den [Transmissionswärmeverlust](#) der Außenwände zu verringern, gibt es eine Reihe verschiedener baulicher Möglichkeiten. Welche Maßnahme im Einzelfall zu bevorzugen ist, richtet sich nach der vorhandenen Wandkonstruktion, der Nutzung, nach bauaufsichtlichen Auflagen, gestalterischen bzw. denkmalpflegerischen Anforderungen sowie nach der Wirtschaftlichkeit.

Die in der Praxis am häufigsten angewandten Maßnahmen sind:

- Wärmedämmung auf der Außenseite als Wärmedämmverbundsystem (WDVS),
- Wärmedämmung auf der Außenseite mit einer hinterlüfteten Vorhangfassade/Verkleidung,
- Wärmedämmung auf der Außenseite mit einem Wärmedämmputz,
- Wärmedämmung auf der Außenseite mit einer Vormauerung/Verblendschale,
- Wärmedämmung als Kerndämmung durch Ausfüllen einer vorhandenen Luftschicht bei zweischaligem Mauerwerk,
- Wärmedämmung auf der Innenseite mit einer Bekleidung.

Durch zusätzliche Wärmedämmschichten werden die Temperaturverhältnisse in einer Wandkonstruktion und damit auch die Bedingungen hinsichtlich der Dampfdiffusion verändert.

Bei einer homogenen, einschichtigen Wand nimmt der mögliche Bereich der Temperaturschwankungen von außen nach innen kontinuierlich ab.

Bei einer Wandkonstruktion mit außenliegender Wärmedämmschicht sind die Temperaturschwankungen der tragenden Innenschicht gering, dafür treten umso größere Temperaturschwankungen in der vor der Dämmschicht liegenden Außenhaut auf.

Bei einer Wandkonstruktion mit innenliegender Wärmeschicht treten hingegen große Temperaturschwankungen in der tragenden Schicht auf, außerdem können Tauwasserprobleme entstehen. Ein Vorteil der Innendämmung besteht darin, dass bei intermittierendem Heizbetrieb die Räume schnell erwärmt werden.

Wegen der geringen thermischen Beanspruchung der Tragkonstruktion ist also die Außendämmung zu bevorzugen, die auch hinsichtlich der Dampfdiffusion die unproblematischste Lösung darstellt und zudem auf Grund höherer innerer Oberflächentemperaturen die Behaglichkeit in den Räumen verbessert.

Das Aufbringen einer Wärmedämmung auf die Außenseite kann zudem ohne wesentliche Belästigung der Nutzer vom Gerüst aus durchgeführt werden. Wärmebrücken können bei entsprechenden Detaillösungen weitgehend vermieden werden. Dies erfordert ggf. zusätzliche Maßnahmen, z. B. das Abschlagen von Putz in Fensterlaibungen, das Verlängern von Traufen und Orggängen, die Erneuerung von Balkonbelägen usw.

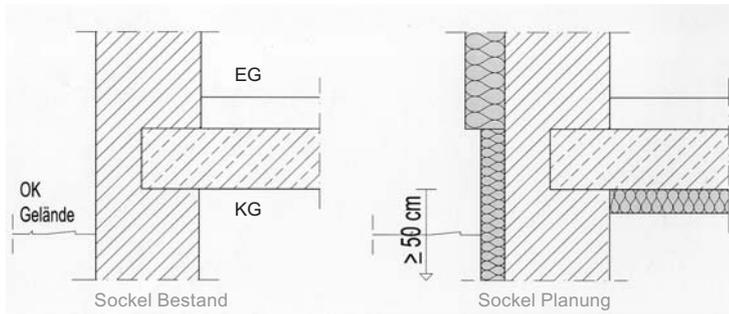


Abb. 17 Einbindende Kellerdecke im Sockelbereich

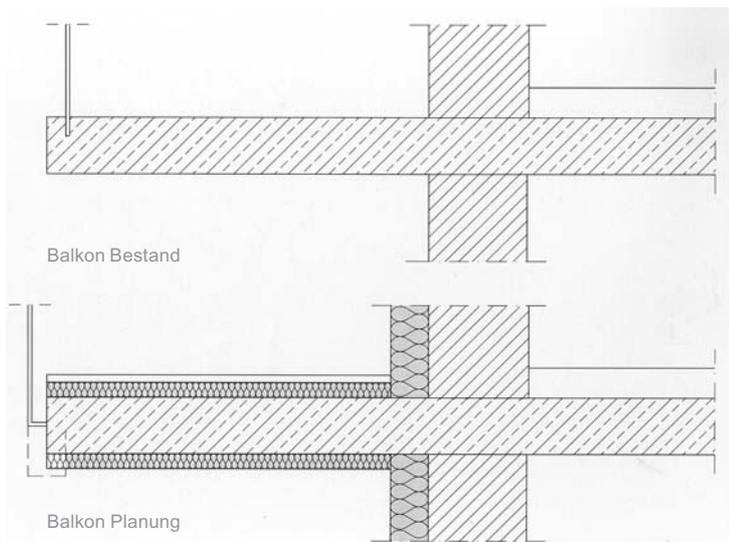


Abb. 18 Durchlaufende Balkonkragplatte

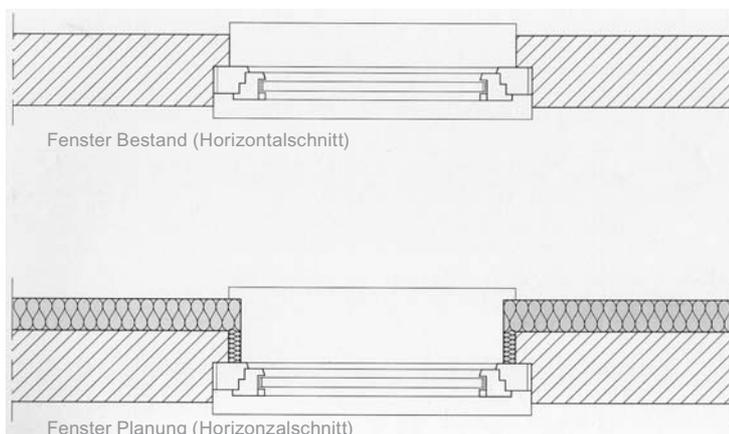


Abb. 19 Dämmung von Fensterlaibungen

Nachfolgend werden häufig vorkommende Problemereiche und mögliche Konstruktionslösungen schematisch dargestellt.

Das ausreichende Überdecken der einbindenden Kellerdecke, ggf. mit Führung der Wärmedämmung ins Erdreich, verhindert ansonsten mögliche Kondensatprobleme im inneren Sockelbereich und reduziert die Wärmebrücke (siehe Abb. 17).

Es ist im Einzelfall zu prüfen, ob das kostenaufwendige „Einpacken“ der Balkonkragplatte zur Vermeidung von Kondensatschäden unbedingt erforderlich ist. Bei unfunktional kleinen Balkonen oder Balkonen mit erheblichen Instandsetzungserfordernissen ist das Abschneiden der vorhandenen Konstruktion und die Errichtung einer thermisch getrennten, funktionaleren, neuen Balkonanlage ggf. zu empfehlen (siehe Abb. 18).

Die Wärmedämmung von Fenstersturz und Fensterlaibungen ($\geq 3\text{-}4\text{ cm}$) ist zur Vermeidung von Kondensatproblemen in den inneren Sturz- und Laibungsbereichen unverzichtbar (siehe Abb. 19-21). Die Wärmedämmung unter der Fensterbank muss „trittfest“ ausgeführt werden; bei Anordnung der Heizkörper unterhalb der Fenster besteht auch bei Verzicht auf diese Wärmedämmung (z. B. auf Grund vorhandener Gegebenheiten) kein Kondensatproblem.

Die notwendige Wärmedämmung des Traufgesimses erfordert ggf. ergänzende Maßnahmen an der Dachtraufe (Verlängerung, Aufschiebling o. ä.) (siehe Abb. 22)

Der wesentlich höhere Flachdachaufbau erfordert ggf. ergänzende Maßnahmen an Attiken, aufgehenden Bauteilen, usw. (siehe Abb. 23).

Neben bauphysikalischen Aspekten sind bei der Planung von Wärmedämmmaßnahmen an Außenwänden weitere Anforderungen zu beachten:

- Schallschutz
Die Wärmedämmmaßnahme darf in lärmbe- lasteten Bereichen die Schalldämmung der Außenwände nicht verschlechtern, was z. B. bei der Verwendung biegesteifer Dämmplatten (z. B. Polystyrol) in Wärmedämmverbundsys- temen auftreten kann.
- Brandschutz
In den Landesbauordnungen und Sonderbau- verordnungen werden Brandschutzanforderun- gen an Oberflächen und Materialien für Außenwandbekleidungen gestellt – diese sind einzuhalten.
- Denkmalschutz
Insbesondere bei geplanter äußerer Wärme- dämmung von Außenwänden von Baudenkmä- lern ist im Vorfeld der Planung eine Abstim- mung mit den zuständigen Behörden sinnvoll und notwendig.

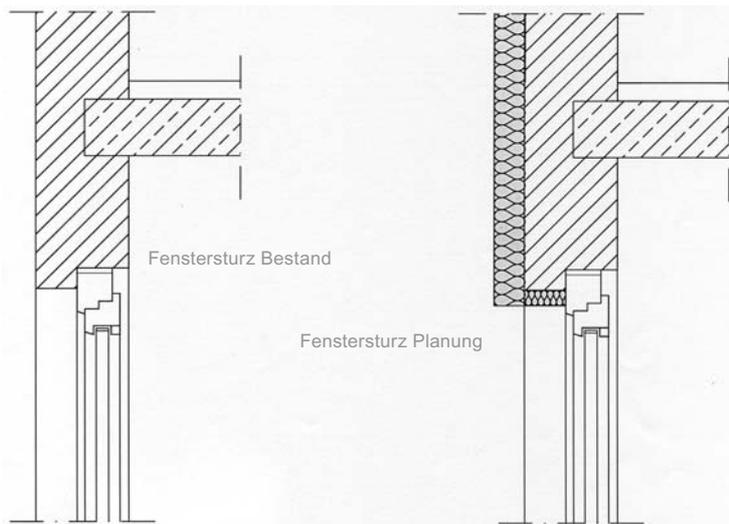


Abb. 20 Dämmung eines Fenstersturzes

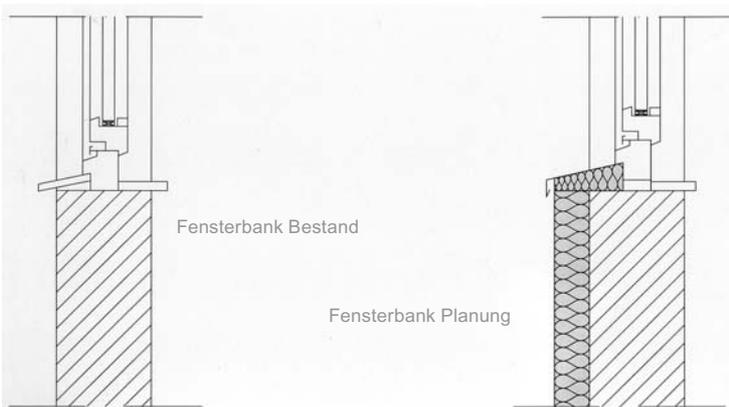


Abb. 21 Dämmung einer Fensterbank

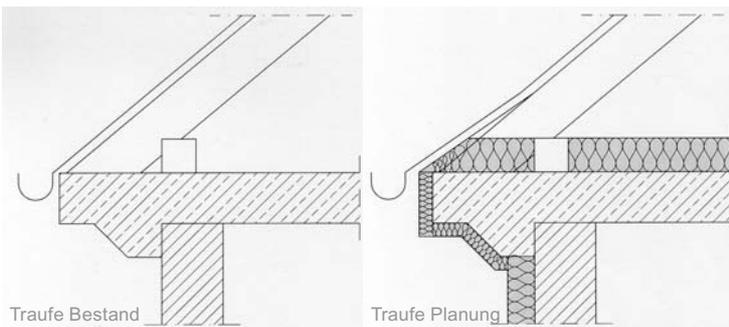


Abb. 22 Dämmung des Traufbereiches

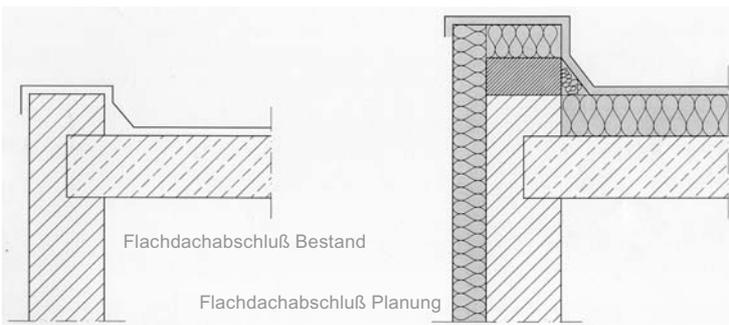


Abb. 23 Dämmung eines Flachdachabschlusses

3.1.1 Wärmedämmverbundsystem (WDVS)

Das Wärmedämmverbundsystem ist eine Ausführungsart, die seit über 20 Jahren in größerem Umfang angewendet wird. Das System besteht aus Wärmedämmplatten, die auf die vorhandene Außenwandoberfläche aufgebracht (geklebt und ggf. gedübelt) werden und die mit einem mehrlagigen Putzsystem inkl. Armierung verputzt werden (siehe Abb. 24, nächste Seite).

Solange keine einheitlichen Beurteilungskriterien für Dämmstoffe und Beschichtungen bestehen, sind nur bewährte Systeme mit Zulassungsbescheid einzusetzen. Die Tauglichkeit des Dämmsystems sollte nach Möglichkeit an älteren Referenzobjekten geprüft werden.

Bei gut erhaltenem Außenputz können die Dämmplatten, nachdem der Putz mit einem Tiefengrundhärter behandelt worden ist, direkt mit einem Spezialkleber aufgebracht werden. Bei Verwendung von zusätzlichen mechanischen Befestigungssystemen ist es möglich, die Platten auch auf sprödem und rissigem Putzgrund oder auf alten Farbanstrichen aufzubringen.

Die Außenwand muss trocken sein. Die Beschichtung erfolgt entweder mit Kunstharzputz oder mit mineralischem Putz, armiert mit einem Glasfasergittergewebe.

Beim Aufbringen mineralischer Putze werden profilierte Platten verwendet, um einen besseren Haftgrund zu verschaffen. Mineralische Putze gewährleisten ein günstiges Dampfdiffusionsverhalten; sie haben ein höheres Flächengewicht. Das System wird im Wesentlichen von der Art des Wärmedämmstoffes geprägt.

Bei der Auswahl des Dämmstoffes sind Vor- und Nachteile gegeneinander abzuwägen, insbesondere sind zu beachten:

- Dämmeigenschaft,
- ökologische Aspekte,
- Rohdichte und Flächengewicht (Befestigung),
- Formbeständigkeit (Schrumpfen, thermische Längenänderungen),
- Konsistenz (Druckfestigkeit, Steifheit, Scherfestigkeit),
- Brandverhalten,
- Diffusionsverhalten und Feuchtigkeitsaufnahme,
- Auswirkungen auf den Schallschutz.

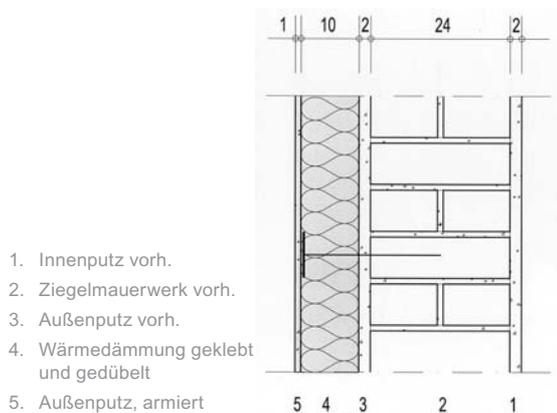


Abb. 24 Wärmedämmverbundsystem

Übliche Dämmstoffe sind Polystyrol-Hartschaumplatten oder Mineralfaserplatten; verwendet werden können auch Mineralschaumplatten und ggf. auch Kork- und Holzfaserplatten; es sind die jeweiligen Verarbeitungsrichtlinien sowie die Wärmeleitgruppen zu beachten.

Die Aufbringung eines Wärmedämmverbundsystems erfordert der jeweiligen Situation angepasste Detaillösungen an den verschiedenen Anschlusspunkten sowie zur Vermeidung von Wärmebrücken. Auch bei Baudenkmälern ist die Anwendung von Wärmedämmverbundsystemen denkbar (Absprache mit der zuständigen Behörde). Einige Systemhersteller bieten hierfür vorgefertigte Profile für Fenstergewände, Gesimse usw. an.

Vorteile

- bauphysikalisch günstige Außenlage der Wärmedämmschicht: Spannungen in bzw. zwischen tragenden Bauteilen werden durch thermische Abschirmung der Konstruktion vermieden,
- Feuchtigkeits- und Frostschäden werden durch die zusätzliche Wetterhaut mit großer Sicherheit ausgeschaltet,
- Wärmespeicherfähigkeit des Mauerwerks bleibt raumwirksam; gute Temperaturamplitudendämpfung, Verbesserung der Behaglichkeit
- in der Regel dampfdiffusionstechnisch problemlose Schichtenfolge,
- alle wärmeschutztechnischen Schwachstellen der Außenwand (wie Deckenaufleger, Fensterstürze, Heizkörpernischen und Übergänge zum Dach) werden durch die Dämmschicht überdeckt,

- geringe Störung der Gebäudenutzung während der Ausführungsphase,
- preiswerte Konstruktionslösung einer außenliegenden Wärmedämmung.

Nachteile

- extreme thermische Belastung der dünnen Außenhaut; bei fehlerhafter Herstellung Gefahr von Spannungsschäden; die Lebensdauer wird außerdem beeinflusst durch das chemische Verhalten der verwendeten Materialien, durch Schwindprozesse des Dämmstoffes sowie durch ungenügend ausgetrocknete Bauteile,
- Verschlechterung des Schallschutzes der Außenwände bei Verwendung biegesteifer Dämmstoffe (Polystyrol u. ä.),
- erhöhtes Auftreten von Algenbildung auf den Putzoberflächen,
- erhöhtes Auftreten von Kondensatbildung auf der Putzoberfläche bei extremen Witterungsbedingungen,
- geringer Schutz der Fassade gegen mechanische Beanspruchung wegen dünner Putzschicht auf weichem Dämmmaterial; entstandene Schäden sind häufig optisch nur unzufriedenstellend instanzzusetzen,
- bei Veränderung des äußeren Erscheinungsbildes evtl. gestalterische, urheberrechtliche oder denkmalpflegerische Probleme,
- bei Verwendung brennbarer Dämmstoffe ist ein geschossweiser Brandüberschlag durch das Wärmedämmverbundsystem möglich. Nach dem Bauordnungsrecht Nordrhein-Westfalens sind deshalb z. B. bei Gebäuden mittlerer Höhe und Dämmstärken über 10 cm oberhalb von Öffnungen (Fenster, Türen) Streifen nicht brennbarer Dämmstoffe (z. B. Mineralfaserplatten) einzubauen,
- Reduzierung des Lichteinfalls durch „Verkleinerung“ der Fensteröffnung, insbesondere auch durch 10-12 cm tiefere Fensterlaibungen.

3.1.2 Vorhangfassade/Verkleidung

Die hinterlüftete Vorhangfassade kann als bewährte, bauphysikalisch einwandfreie Baukonstruktion bewertet werden. Da diese Maßnahme häufig eine wesentliche Veränderung der Gebäudeansicht zur Folge hat, ist sie nur dann zu empfehlen, wenn ohnehin die architektonische Gestaltung

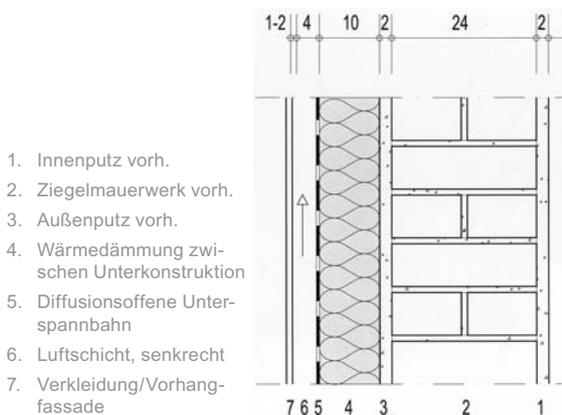


Abb. 25 Hinterlüftete Vorhangfassade

der Außenwand des Gebäudes verändert werden soll oder wenn diese Veränderung ohne gestalterische Bedenken möglich ist (siehe Abb. 25).

Als Dämmstoffe werden Mineralfaserplatten, Polystyrol-Hartschaumplatten, Korkplatten, Zellulosefasern oder -platten und Holzfaserplatten verwendet. Zur Vermeidung von Durchfeuchtungen der Dämmstoffe ist die Dämmschicht mit einer diffusionsoffenen Unterspannbahn zu schützen – auch bei weitgehend schlagregendichten Verkleidungen.

Für die Unterkonstruktion der Vorhangfassade/Verkleidung werden Holz, Aluminium und Stahl verwendet. Vor Beginn der Arbeiten ist das Mauerwerk auf seine statische Belastbarkeit zu prüfen. Darüber hinaus müssen die technischen Baubestimmungen für Fassadenbekleidungen und die entsprechenden Zulassungen für Dübel und Verankerungssysteme berücksichtigt werden. Gebräuchliche Verkleidungsmaterialien sind Faserzementplatten, Metallpaneele, Kunststoffplatten, Holz, keramische Platten, Natursteinplatten, zementgebundene Holzspanplatten u. a.

Bei der Auswahl der Konstruktion ist insbesondere folgendes zu beachten:

- Hinterlüftung,
- Fugenausbildung/Schlagregendichtheit,
- Befestigung,
- Brandschutz.

Zur Vermeidung von Wärmebrücken sind häufig ergänzende Mischkonstruktionen erforderlich, da bestimmte Bauteile mit bestimmten Verkleidungen

nicht zu versehen sind. So ist z. B. die Untersicht eines Balkons oder eines auskragenden Traufgesimses nicht verkleidbar, so dass in diesen Bereichen ergänzend Wärmedämmverbundsysteme verwendet werden sollten.

Vorteile

- bauphysikalisch günstige Außenlage der Wärmedämmschicht,
- keine Spannungen in bzw. zwischen tragenden Bauteilen durch thermische Abschirmung der Konstruktion; Spannungsausgleich zwischen alter Bausubstanz und Vorsatzschale,
- Verhinderung von Feuchtigkeits- und Frostschäden durch die zusätzliche Wetterhaut,
- Erhaltung der Wärmespeicherfähigkeit des Mauerwerks; gute Temperaturamplitudendämpfung; Verbesserung der Behaglichkeit,
- dampfdiffusionstechnisch problemlose Schichtenfolge,
- geringe Störung der Gebäudenutzung während der Ausführungsphase.

Nachteile

- zusätzliche bauliche Maßnahmen an Anschlusspunkten (Fenster, Dach usw.) erforderlich,
- evtl. nachteilige Veränderung der Gebäudeansicht,
- in der Regel teurer als Wärmedämmverbundsysteme,
- Reduzierung des Lichteinfalls durch „Verkleinerung“ der Fensteröffnungen, insbesondere auch durch 14-18 cm tiefere Laibungen.

3.1.3 Wärmedämmputz

Wärmedämmputze sind Putze aus Werkmörteln mit mineralischen Bindemitteln (Zement, Kalk), die zur Verbesserung des Wärmedurchlasswiderstandes mit Zuschlagstoffen aus expandiertem Polystyrol, Perlite oder Blähton usw., vermischt werden. Wärmedämmputze werden in Stärken bis max. 100 mm aufgetragen und erhalten zur Verbesserung der Oberflächenfestigkeit und zur Abdichtung gegen Schlagregen einen mind. 10 mm starken Oberputz (siehe Abb. 26, nächste Seite).

Wärmedämmputze müssen mind. der Baustoffklasse B 1 (schwerentflammbar) entsprechen. Sie haben eine Wärmeleitfähigkeit $\lambda_R = 0,07-0,08$ W/mK (Mittelwerte) und sind in ihrer Wärmedämmwir-

1. Innenputz vorh.
2. Ziegelmauerwerk vorh.
3. Außenputz vorh.
4. Wärmedämmputz
5. Oberputz

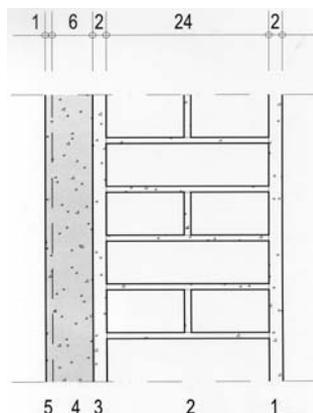


Abb. 26 Wärmedämmputz

kung somit wesentlich schlechter als übliche Wärmedämmmaterialien. Hierdurch können in aller Regel die Anforderungen der Energieeinsparverordnung mit einem äußeren Wärmedämmputz alleine nicht erfüllt werden. Dies bedeutet, dass entweder zusätzliche Innendämmungen (z. B. Wärmedämmputz oder Verbundelemente) erforderlich sind, um die EnEV einzuhalten oder durch aufwendigere Dämmmaßnahmen an anderen Bauteilen und der Nachweisführung im Bilanzverfahren (+ 40 % gegenüber Neubauten) die geringere Wärmedämmung der Außenwände kompensiert wird. Häufig angewandt werden Wärmedämmputze bei Baudenkmalern; hier wird die geringere Wärmedämmung durch eine Ausnahme nach § 16 EnEV ermöglicht.

Die bauphysikalischen Eigenschaften der Wärmedämmputze entsprechen bei verbessertem Wärmedurchlasswiderstand denen herkömmlicher Werkputze und sind als problemlos zu bezeichnen. Die Verarbeitung erfolgt nach den allgemein bekannten Regeln für Putzarbeiten und gestattet neben dem Ausgleichen unebener Untergründe die Ausbildung von Profilierungen im Oberputz. Der Einsatz von Wärmedämmputzen erfolgt daher bevorzugt im Bereich alter Putzfassaden. Um eine Durchfeuchtung der feuchtigkeitsempfindlichen Wärmedämmschicht durch Schlagregen zu vermeiden, ist der Oberputz besonders sorgfältig wasserabweisend auszuführen.

Vorteile

- bauphysikalisch günstige Außenanlage der Wärmedämmschicht,

- dampfdiffusionstechnisch problemlose Schichtenfolge,
- fugenlose Verarbeitung ohne Wärmebrücken mit Ausgleich unebener Stellen,
- gute Oberflächenfestigkeit,
- keine Verschlechterung des Luftschalldämmmaßes,
- günstiges brandtechnisches Verhalten,
- Möglichkeit der Rekonstruktion vorhandener Putzprofilierungen.

Nachteile

- geringerer Wärmedurchlasswiderstand gegenüber reinen Dämmstoffen, wie Polystyrol- oder Mineralfaserplatten,
- begrenzte Putzdicke (max. 100 mm),
- besondere Sorgfalt bei der Ausführung von Maßnahmen gegen Durchfeuchtung durch Schlagregen erforderlich.

3.1.4 Vormauerung/Verblendung

Bei einschaligen Wänden kann durch Hinzufügen einer zweiten massiven Schale in Form von Mauersteinen oder Betonfertigteilen eine äußere Wärmedämmung in einer Art nachträglicher Kerndämmung geschaffen werden (siehe Abb. 27).

Ausführungsformen:

- vorhängen von massiven, vorgefertigten Fassadenelementen vor die auf die Außenwand aufgebrachte Wärmedämmschicht,
- vorhängen von bereits gedämmten und belüfteten Sandwich-Schalen (Leichtbauweise),
- vormauern einer Mauerschale (oder mit Hinterlüftung) vor die nachträglich aufgebrachte Dämmschicht (Auflagerung und Abfangungen erforderlich).

Ähnlich wie bei Vorhangfassaden und Verkleidungen sind in bestimmten Bereichen (Sockel, Fensterlaibungen, auskragende Balkone und Dachgesimse usw.) zur Vermeidung von Wärmebrücken zusätzliche Maßnahmen unter Verwendung anderer Wärmedämmkonstruktionen erforderlich.

Es ist darauf zu achten, dass die verwandte Konstruktionslösung über bauaufsichtliche Zulassungen verfügt (z. Zt. max. 15 cm Abstand der Vormauerschale zur vorh. Außenwand).

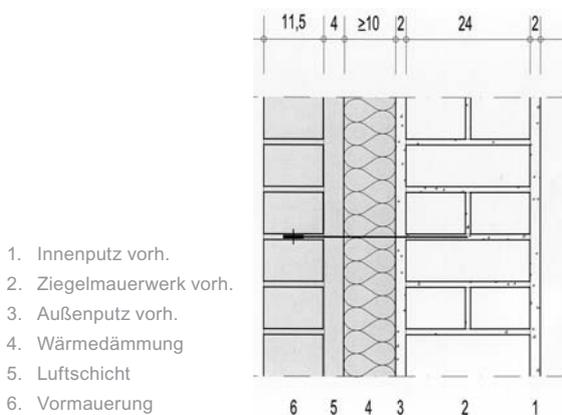


Abb. 27 Vormauerung/Verblendung

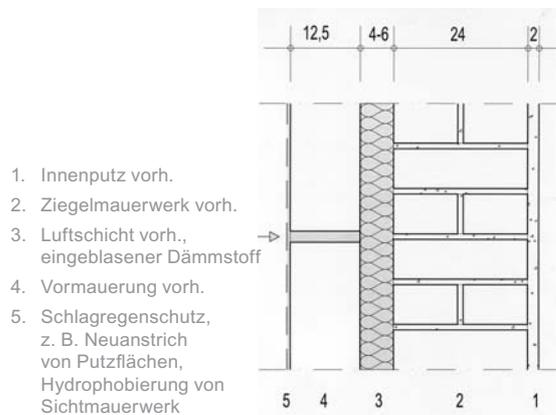


Abb. 28 Kerndämmung

Vorteile

- bauphysikalisch günstige Lage der Wärmedämmschicht,
- keine Gefahr der Dämmstoffdurchfeuchtung bei Verwendung hinterlüfteter Systeme,
- Schutz des Dämmmaterials gegen mechanische Beschädigung,
- geringer Wartungsaufwand bei hoher Lebensdauer,
- evtl. vorteilhafte Veränderung der Gebäudeansicht.

Nachteile

- teure Maßnahme wegen großem Aufwand an Anpassungs- und Verankerungsarbeiten, Auflagerherstellung usw.,
- baukonstruktiv schwierig bzgl. Verankerung/Auflagerung, Anschlüssen an Fenster, Traufen, usw.,
- Reduzierung des Lichteinfalls, insbesondere durch ca. 25 cm tiefere Fensterlaibungen.

3.1.5 Kerndämmung

Als Maßnahme zur nachträglichen Verbesserung bestehender Außenwände bleibt die Kerndämmung auf bestimmte, vergleichsweise wenige Anwendungsfälle beschränkt. In der Regel wird Kerndämmung als nachträgliche Füllung eines vorhandenen Luftzwischenraumes bei zweischaligen Außenwänden (Hohlmauerwerk) ausgeführt (siehe Abb. 28).

Hierbei werden Dämmstoffpartikel mineralischen oder organischen Ursprungs verwendet. Die Schüttfüllung kann durch relativ kleine Öffnungen in Hohlräume eingebracht werden (Einblasen unter Überdruck).

Bei einer angedachten Kerndämmung ist es wichtig, die Gründe für die Errichtung der zweischaligen Wand mit Luftschicht zu beachten. Entweder wurde diese Konstruktion wegen des besseren Wärmeschutzes bei unbelüfteter, stehender Luftschicht oder zur Verbesserung des Schlagregenschutzes (Ableitung und Ablüftung durch die Außenschalen eingedrungenen Regenwassers) gewählt. Eine Füllung der Luftschicht mit Dämmmaterial ergibt daher zwingend, dass die Außenschale weitestgehend schlagregendicht sein oder hergestellt werden muss, da zum Einen eine Ableitung und Ablüftung eingedrungenen Wassers nicht mehr möglich ist und zum Anderen das Dämmmaterial nicht durchfeuchten darf.

Dem Problem, dass eine Kerndämmung nur in den üblichen Stärken vorhandener Luftschichten von 4 bis max. 6 cm eingebracht werden kann und damit häufig nicht den für alle sonstigen Dämmmaßnahmen an Außenwänden vorgegebenen Wärmedurchgangskoeffizienten erreicht, trägt die EnEV mit einer entsprechenden Ausnahmeregelung Rechnung ([Anhang 3](#)).

Kerndämmungen benötigen eine bauaufsichtliche Zulassung vom Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt, Berlin).

Kerndämmungen erfordern wegen ihrer besonderen Problematik eine sorgfältige Prüfung der folgenden Voraussetzungen:

- Eignung des Mauerwerks, insbesondere der Vormauerschale (Schlagregendichtheit, keine Frostschäden),
- Eignung des Luftzwischenraumes (genügende Breite, keine Wärmebrücken durch Mörtel, herabgefallenen Bauschutt o. ä.),
- bauphysikalische Eignung (Dampfdiffusionsverhalten),
- chemische Eignung (Korrosionsgefährdung von Mauerankern, mögliche chemische Reaktionen in Verbindung mit Mörtel, Geruchsbelästigung, allergische Reaktionen).

Vorteile

- geeignete Form einer Verbesserung der Wärmedämmung bei bestehenden, zweischaligen Außenwänden (Außenwände mit Luftzwischenraum),
- Schutz des Dämmmaterials gegen mechanische Beschädigung,
- keine Störung des äußeren Erscheinungsbildes,
- keine Störung der Nutzung während der Ausführung,
- keine Raumverkleinerung oder Gebäudevergrößerung,
- kaum Anpassungsarbeiten an Anschlusspunkten.

Nachteile

- Unterbrechung der Dämmschicht durch Wärmebrücken an Fensterlaibungen u. ä., wie auch innerhalb der Wände (Mörtelbrücken),
- keine Einflussmöglichkeit auf die Dicke der Dämmschicht,
- keine Kontrollmöglichkeit über die gleichmäßige Verteilung des Dämmstoffes,
- Gefahr der Dämmstoffdurchfeuchtung durch von außen eindringendes Regenwasser bei zu geringer Schlagregendichtheit der Außenschale,
- Gefährdung von Metallteilen durch Ortschaum (Prüfvermerke beachten!),
- schwere Zugänglichkeit der auszufüllenden Hohlräume, evtl. Beschädigung der äußeren Schale,
- durch die nachträgliche Kerndämmung wird das bauphysikalische Verhalten einer 2-schaligen Außenwand wesentlich verändert. So führt die zusätzliche Dämmschicht zu einer Erhöhung der Temperaturspannungen der Außenschale.

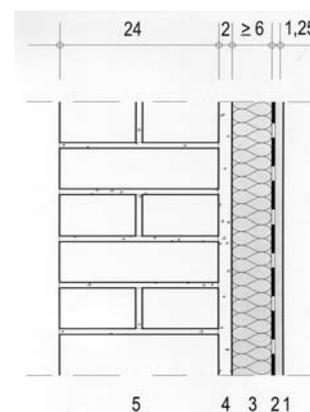
3.1.6 Innendämmung

Wärmedämmmaßnahmen auf der Innenseite von Außenwänden werden vor allem dann durchgeführt, wenn das äußere Erscheinungsbild des Gebäudes nicht verändert werden soll oder darf (erhaltenswerte Fassade, historische Bausubstanz, Denkmalschutz) (siehe Abb. 29).

Nachteilig ist die Belästigung der Benutzer während der Bauarbeiten, die bis zum vorübergehenden Nutzungsausfall einzelner Räume bzw. Raumgruppen führen kann, zu beurteilen. Hinzu kommt, dass die Nutzfläche verkleinert wird. Von innen angesetzte Dämmschichten lassen sich preisgünstig und von der Witterung unabhängig anbringen.

Gebäuchliche Konstruktionen sind:

- Gipskarton-Verbundplatten mit Hartschaum- oder Mineralfaserdämmung, ohne oder mit integrierter Dampfsperre, auf Innenputz geklebt,
- Fertigputz-Dämmplatten aus mineralischen oder organischen Dämmstoffen auf den Innenputz geklebt,
- Mehrschicht-Leichtbauplatten aus organischen Dämmstoffen mit beidseitig aufkaschierten Beschichtungen aus mineralisch gebundener Holzwolle (je etwa 5 mm), mit Ansetzmörtel gegen die vorhandene Wand gesetzt und innenseitig verputzt,
- Mineralfasermatten, Hartschauplatten oder Holzfaserplatten zwischen einer Holzunterkonstruktion oder einem Metallständerwerk, Dampfbremse, als Oberfläche Gipskartonplatten bzw. Gipsfaserplatten.



1. Gipskarton- oder Gipsfaserplatte
2. Dampfbremse
3. Wärmedämmung
4. Innenputz vorh.
5. Mauer vorh.

Abb. 29 Innendämmung

Das wesentliche Problem von Innendämmungen besteht darin, dass in bestimmten Bereichen bei nicht konsequenter Detailausbildung erhebliche bauphysikalische Probleme entstehen können; im Einzelnen:

- in die innen gedämmten Außenwände einbindende Bauteile wie Massivdecken und massive Wände stellen erhebliche Wärmebrücken dar,
- an den Übergängen der Innendämmung zu diesen einbindenden Massivbauteilen können sehr niedrige Oberflächentemperaturen entstehen – wesentlich niedriger als vor der Dämmmaßnahme,
- Dampfdiffusion und/oder Dampfkonvektion aus der Innenräumen in die Dämmkonstruktion kann zu nicht unerheblichem Kondensat ausfall hinter den Innendämmung führen,
- Probleme beim Einbinden von Holzbalkenköpfen.

Zur Vermeidung von Bauschäden auf Grund einer Innendämmung sind die folgenden Konstruktionslösungen erforderlich:

- zur Reduzierung der Wärmebrückenwirkung sowie zur Vermeidung zu niedriger Oberflächentemperaturen an den Übergängen sind einbindende massive Bauteile mindestens 50 cm in die Innenräume hinein mitzudämmen,
- innere Fensterlaibungen und Fensterstürze, Heizkörpernischen usw. sind mitzudämmen, ggf. in geringeren Stärken.

Nachfolgend werden häufig vorkommende Problembereiche und mögliche Konstruktionslösungen schematisch dargestellt (siehe [Abb. 30-36](#), diese und nächste Seite).

Über die Frage, ob bei Innendämmungen grundsätzlich oder nur in bestimmten Fällen Dampfbremsen einzubauen sind, streiten sich die Fachleute. In Räumen, in denen bestimmte relative Luftfeuchten (z. B. > 50 %), in den Wintermonaten entstehen können, sollte auf eine Dampfbremse nicht verzichtet werden. Dies auch, weil an den Übergängen neuer Innendämm-Konstruktionen zu alten Bauteilen ggf. feine Abrisse entstehen können, wodurch mittels Dampfkonvektion in wesentlich höherem Maße als durch Dampfdiffusion Feuchtigkeit in die Dämmkonstruktion eindringen und im kalten Bereich kondensieren kann. In den letzten Jahren wurden sog. feuchteadap-

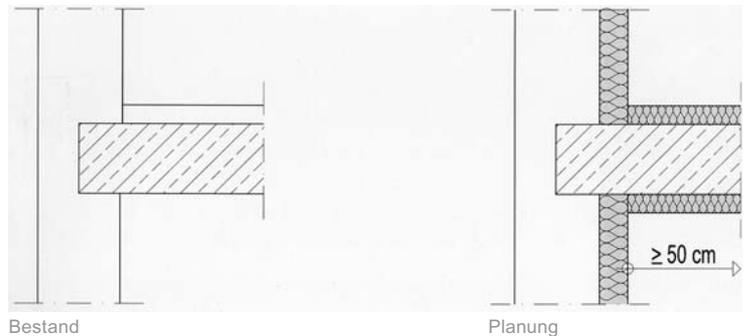


Abb. 30 Innendämmung einer einbindenden Geschossdecke

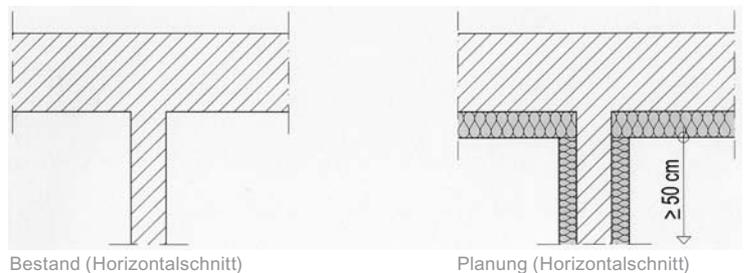


Abb. 31 Innendämmung einer einbindenden Innenwand

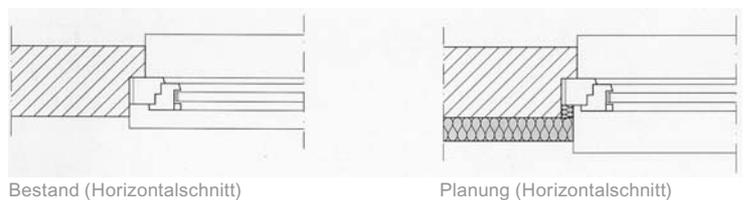


Abb. 32 Innendämmung einer Fensterlaibung

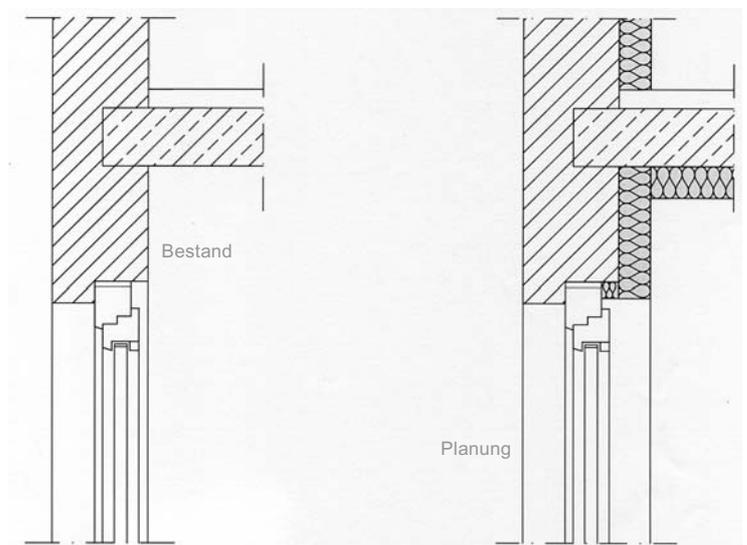


Abb. 33 Innendämmung eines Fenstersturzes

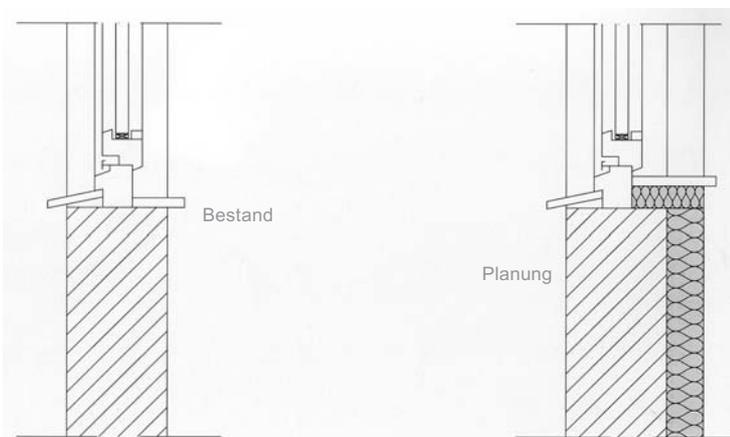


Abb. 34 Innendämmung einer Fensterbank

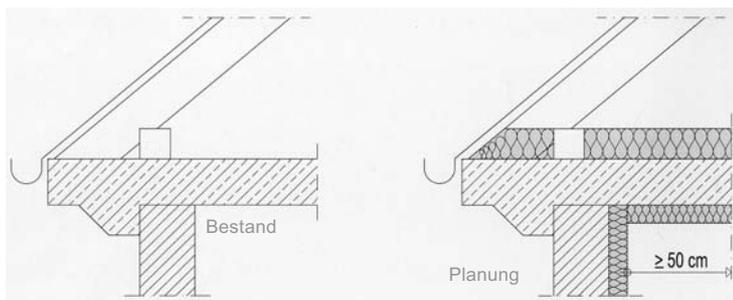


Abb. 35 Innendämmung eines Traufbereiches

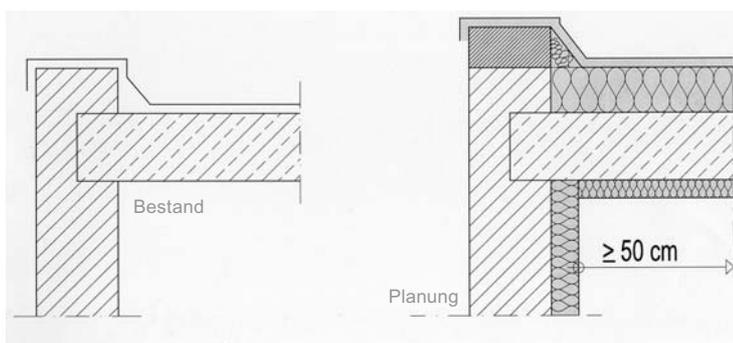


Abb. 36 Innendämmung eines Flachdachabschlusses

tierte Dampfbremsen entwickelt, deren „Bremswirkung“ sich je nach Beanspruchung verändert, d. h. bei höheren inneren Luftfeuchten und damit höheren Dampfdrücken steigt der Diffusionswiderstand; im „Normalfall“ ist die Dampfbremse als „diffusionsoffen“ einzustufen.

Ein weiteres mögliches Problem von Innendämmungen besteht darin, dass verputzte Wärmedämmschichten und auch Verbundplatten mit

Hartschaumdämmung zu einer Erhöhung der Schalllängsleitung und damit zu einer verstärkten Schallübertragung in Nachbarräume bzw. durch Resonanzeffekte zu einer Verschlechterung der Raumakustik führen können.

Um diese Effekte zu vermeiden, sind weichfedernde Dämmstoffe oder eine weichfedernde Unterkonstruktion zu verwenden (Mineralfaserdämmungen, Holzweichfaserdämmungen, Schwingbügel usw.).

Vorteile

- preisgünstige Ausführung durch einfachen Aufbau und leichte Montage,
- trockener Aufbau, sofort streich- und tapezierbar,
- keine Veränderung der Außenansicht,
- verkürzte Anheizzeiten; mögliche Energieeinsparung bei intermittierendem Heizbetrieb (unterbrochene Nutzung, Nacht- und Wochenendabsenkung).

Nachteile

- bauphysikalisch ungünstige Lage der Wärmedämmschicht,
- zusätzliche thermische Belastung der außenliegenden Bauteile,
- möglicher Tauwasseranfall zwischen Wand und Wärmedämmschicht; Notwendigkeit einer Dampfbremse in vielen Fällen,
- Wärmebrücken durch in die Außenwände einbindende Zwischenwände und Geschossdecken; zusätzliche Maßnahmen erforderlich,
- wesentliche Erhöhung der Frostgefahr und der Wärmeverluste für in der Außenwand liegender Wasser- oder Heizungsrohre,
- mögliche Verschlechterung der Raumakustik und des Schallschutzes zu Nachbarräumen wegen erhöhter Schalllängsleitung,
- Beeinträchtigung der Nutzung für die Zeit der Montage,
- Verringerung der Nutzfläche,
- zusätzliche bauliche Maßnahmen in der technischen Gebäudeausrüstung – Heizkörper, Elektroinstallationen usw. – erforderlich,
- Probleme bei Holzbalkenköpfen, Tauwasseranfall.

Auf Grund der bauphysikalischen Gegebenheiten und Probleme sind Innendämmungen nur in Massivbauten anwendbar. Bei Fachwerkbauten, vor allen Dingen bei äußerem Sichtfachwerk sowie bei

Gebäuden mit Holzbalkendecken (z. B. Gründerzeitbauten) ist auf Grund der „Verlagerung“ der Fachwerke bzw. der Balkenköpfe in den kalten und ggf. feuchten Bereich von einer Innendämmung der Außenwände abzuraten.

z. B. Sicht-Fachwerk-Außenwände, sind nicht dargestellt – hier sollte ggf. ein Bauphysiker hinzugezogen werden.

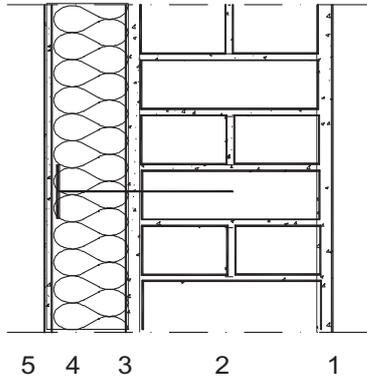
Die Ermittlung der Wärmedurchgangskoeffizienten U erfolgt auf der Grundlage der hierfür geltenden Regelwerke (DIN EN ISO 6946: 1996-11/ DIN 4108-4, Tab. 7).

3.1.7 Bemessungsbeispiele

Nachfolgend werden für die beschriebenen und dargestellten Konstruktionslösungen zur nachträglichen Wärmedämmung von Außenwänden die Nachweise der höchstzulässigen Wärmedurchgangskoeffizienten U durchgeführt; im Einzelnen:

- es werden nur Bemessungsbeispiele aufgeführt, die die Anforderungen der EnEV, 3. Abschnitt, Anlage 3, Tabelle 1, Zeile 1a und 1b, für Gebäude mit normalen Innentemperaturen, erfüllen:
- $U \leq 0,45 \text{ W/m}^2\text{K}$ bei
 - Ersatz der Gesamtkonstruktion,
 - Innendämmung vorh. Außenwände,
 - Gefacherneuerung Fachwerk.
- $U \leq 0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$ bei
 - Außendämmung,
 - Putzerneuerung,
- Hierdurch werden die Anforderungen der DIN 4108 auf jeden Fall erfüllt.
- Als vorhandene Außenwand wird von einer 24 cm starken Ziegelsteinwand mit einer mittleren Rohdichte ausgegangen; größere Wandstärken (Gründerzeit- oder 20/30er Jahre Bauten) oder auch andere, aus bauphysikalischer Sicht bessere Mauerwerke (z. B. Bims-MW bei den Bauten der 50/60er Jahre) führen zu etwas besseren Werten – bezogen auf die Dämmstoffstärke ist dies jedoch in aller Regel nicht wesentlich.
- 2 Beispiele betreffen „experimentelle“ Wandaufbauten der 70er Jahre, bei derartigen Konstruktionen ist Aufbau und Zustand detailliert zu prüfen,
- für die Wärmedämmmaterialien wird WL 040 festgelegt; für die dargestellten Konstruktionen kann grundsätzlich davon ausgegangen werden, dass die bauaufsichtlichen Zulassungen vorliegen.

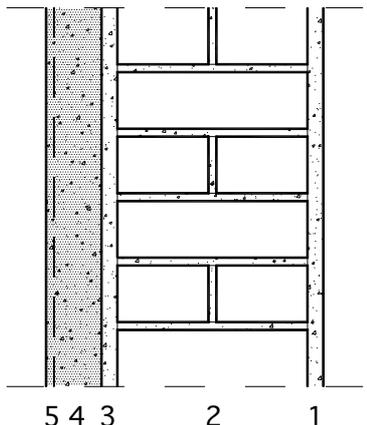
Für öffentliche Gebäude unübliche und ggf. bauphysikalisch problematische Konstruktionen, wie

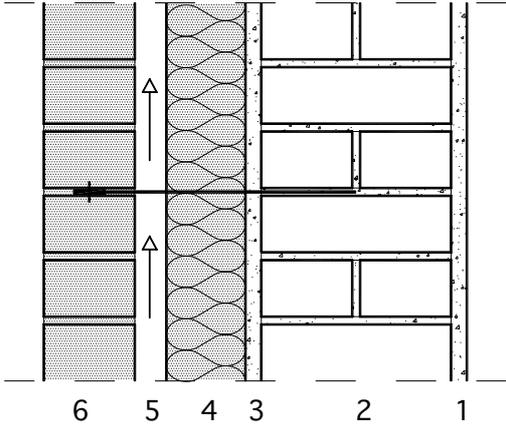
Bauteil		Außenwand		
Maßnahme		Wärmedämm-Verbundsystem		
		<ol style="list-style-type: none"> 1 Innenputz vorh. 2 Ziegelmauerwerk vorh. 3 Außenputz vorh. 4 Wärmedämmung, geklebt + gedübelt 5 Außenputz, armiert 		
Baustoffschichten von innen nach außen	Rohdichte ρ kg/m ³	Schichtdicke d m	Wärmeleitfähigkeit λ W/m x K	d / λ m ² x K / W
1 Innenputz (Gips/Kalk)	1400	0,02	0,70	0,0286
2 Ziegelmauerwerk	1600	0,24	0,68	0,3529
3 Außenputz (Kalk-Zement)	1800	0,02	0,87	0,0230
4 Wärmedämmung		0,10	0,04	2,5000
5 Außenputz, mineralisch	1800	0,01	0,87	0,0115
Wärmedurchlasswiderstand R in m ² x K/W				2,9160
Wärmeübergangswiderstand innen R_{si} in m ² x K/W Wärmeübergangswiderstand außen R_{se} in m ² x K/W				0,13 0,04
Wärmedurchgangswiderstand R_T in m ² x K/W				3,0860
Wärmedurchgangskoeffizient U in W/m ² x K				0,3240
Anforderung EnEV, 3. Abschnitt, Anhang 3, Tabelle 1, Zeile 1b				$\leq 0,35$

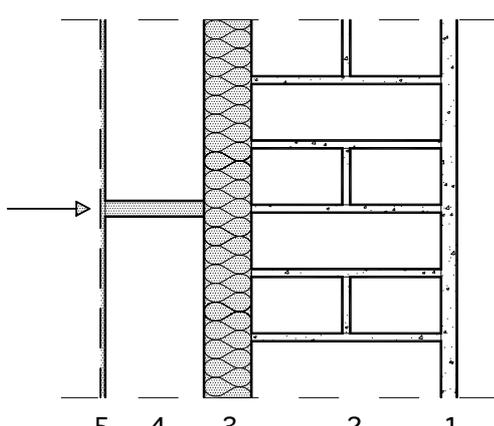
Bauteil		Außenwand		
Maßnahme		Vorhangfassade/Verkleidung		
		<ol style="list-style-type: none"> 1 Innenputz vorh. 2 Ziegelmauerwerk vorh. 3 Außenputz vorh. 4 Wärmedämmung 5 diffusionsoffene Unterspannbahn 6 Luftschicht, senkrecht 7 Verkleidung/Vorhangfassade 		
Baustoffschichten von innen nach außen	Roh- dichte ρ kg/m ³	Schicht- dicke d m	Wärmeleit- fähigkeit λ W/m x K	d / λ m ² x K W
1 Innenputz (Gips/Kalk)	1400	0,02	0,70	0,0286
2 Ziegelmauerwerk	1400	0,24	0,68	0,3529
3 Außenputz (Kalk/Zement)	1800	0,02	0,87	0,0230
4.1 Wärmedämmung 90 %		0,12	0,04	3,0000
4.2 Holz-Unterkonstruktion 10 %		0,12	0,13	0,9231
5 Unterspannbahn		--	--	--
6 Luftschicht		0,04	--	--
7 Verkleidung/Vorhangfassade		0,01	--	--
Wärmeübergangswiderstand innen R_{si} in m ² x K/W				0,13
Wärmeübergangswiderstand außen R_{se} in m ² x K/W				0,04
Oberer Grenzwert des Wärmedurchgangswiderstandes R'_T in m ² x K/W $R'_T = 1 / (f_{wDa} / R_{T wDa} + f_{UnKon} / R_{T UnKon})$ $R'_T = 1 / (0,90 / 3,5745 + 0,10 / 1,3276) =$				3,0572
Unterer Grenzwert des Wärmedurchgangswiderstandes R''_T in m ² x K/W R_j der thermisch in homogenen Schicht: $R_j = 1 / (f_{wDa} / R_{wDa} + f_{UnKon} / R_{UnKon})$ $R_j = 1 / (0,90 / 3,0000 + 0,10 / 0,9231) = 2,4492$ $R'_T = R_{si} + R_1 + R_2 + R_3 + R_j + R_{se}$ $R'_T = 0,13 + 0,0286 + 0,3529 + 0,0230 + 2,4492 + 0,04 =$				3,0237
Wärmedurchgangswiderstand R_T in m ² x K/W = $(R'_T + R''_T)/2$				3,0405
Wärmedurchgangskoeffizient U in W/m ² x K				0,3289
Anforderung EnEV, 3. Abschnitt, Anhang 3, Tabelle 1, Zeile 1b				≤ 0,35

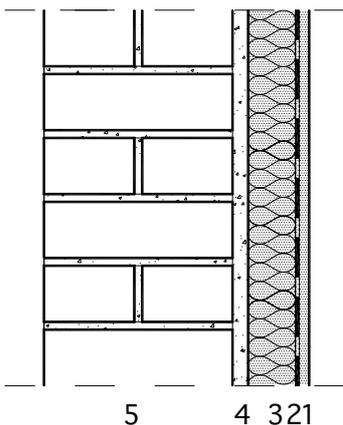
Anmerkung: Dieses Verfahren gilt nicht für Dämmschichten, die eine Wärmebrücke aus Metall (hier: Vorhangfassade mit Stahl- oder Alu-Unter-

konstruktion) enthalten. In diesem Fall ist das numerische Verfahren nach DIN EN ISO 10211 anzuwenden.

Bauteil		Außenwand		
Maßnahme		Wärmedämmputz		
		<p>1 Innenputz vorh. 2 Ziegelmauerwerk vorh. 3 Außenputz vorh. 4 Wärmedämmputz 5 Oberputz</p>		
Baustoffschichten von innen nach außen	Roh- dichte ρ kg/m ³	Schicht- dicke d m	Wärmeleit- fähigkeit λ W/m x K	d / λ m ² x K W
1 Innenputz (Kalk/Gips)	1400	0,02	0,70	0,0286
2 Ziegelmauerwerk	1600	0,24	0,68	0,3529
3 Außenputz (Kalk-Zement)	1800	0,02	0,87	0,0230
4 Wärmedämmputz	≥ 200	0,04	0,08	0,5000
5 Oberputz zu 4	≥ 1000	0,02	0,36	0,0556
Wärmedurchlasswiderstand R in m ² x K/W				0,9601
Wärmeübergangswiderstand innen R_{si} in m ² x K/W Wärmeübergangswiderstand außen R_{se} in m ² x K/W				0,13 0,04
Wärmedurchgangswiderstand R_T in m ² x K/W				1,1301
Wärmedurchgangskoeffizient U in W/m ² x K				0,8849
Anforderung EnEV, 3. Abschnitt, Anhang 3, Tabelle 1, Zeile 1b EnEV-Anforderung <u>nicht</u> erfüllt / bei Baudenkmälern Ausnahme nach § 16 (1) möglich				≤ 0,35

Bauteil		Außenwand		
Maßnahme		Vormauerung/Verblendung		
		<ol style="list-style-type: none"> 1 Innenputz vorh. 2 Ziegelmauerwerk vorh. 3 Außenputz vorh. 4 Wärmedämmung 5 Luftschicht 6 Vormauerung 		
Baustoffschichten von innen nach außen	Roh- dichte ρ kg/m^3	Schicht- dicke d m	Wärmeleit- fähigkeit λ $\text{W/m} \times \text{K}$	d / λ $\frac{\text{m}^2 \times \text{K}}{\text{W}}$
1 Innenputz (Kalk/Gips)	1400	0,02	0,70	0,0286
2 Ziegelmauerwerk	1600	0,24	0,68	0,3529
3 Außenputz (Kalk-Zement)	1800	0,02	0,87	0,0230
4 Wärmedämmung		0,10	0,04	2,5000
5 Luftschicht (be- und entlüftet)		0,04	--	--
6 Vormauerung	2000	0,115	--	--
Wärmedurchlasswiderstand R in $\text{m}^2 \times \text{K/W}$				2,9045
Wärmeübergangswiderstand innen R_{si} in $\text{m}^2 \times \text{K/W}$ Wärmeübergangswiderstand außen R_{se} in $\text{m}^2 \times \text{K/W}$				0,13 0,04
Wärmedurchgangswiderstand R_T in $\text{m}^2 \times \text{K/W}$				3,0745
Wärmedurchgangskoeffizient U in $\text{W/m}^2 \times \text{K}$				0,3253
Anforderung EnEV, 3. Abschnitt, Anhang 3, Tabelle 1, Zeile 1b				$\leq 0,35$

Bauteil		Außenwand		
Maßnahme		Kerndämmung vorh. Luftschicht		
		<ol style="list-style-type: none"> 1 Innenputz vorh. 2 Ziegelmauerwerk vorh. 3 vorh. Luftschicht, eingblasener Dämmstoff 4 Vormauerung vorh. 5 Schlagregenschutz von Putzflächen, Hydrophobierung von Sichtmauerwerk 		
Baustoffschichten von innen nach außen	Rohdichte ρ kg/m ³	Schichtdicke d m	Wärmeleitfähigkeit λ W/m x K	d / λ $\frac{m^2 \times K}{W}$
1 Innenputz (Kalk/Gips)	1400	0,02	0,70	0,0286
2 Ziegelmauerwerk	1600	0,24	0,68	0,3529
3 Wärmedämmung in vorh. Luftschicht		0,05	0,04	1,2500
4 Vormauerung (Ziegel)	2000	0,12	0,96	0,1250
Wärmedurchlasswiderstand R in m ² x K/W				1,7565
Wärmeübergangswiderstand innen R_{si} in m ² x K/W Wärmeübergangswiderstand außen R_{se} in m ² x K/W				0,13 0,04
Wärmedurchgangswiderstand R_T in m ² x K/W				1,9265
Wärmedurchgangskoeffizient U in W/m ² x K				0,5191
Anforderung EnEV, 3. Abschnitt, Anhang 3, Punkt 1., letzter Satz				Gilt als erfüllt

Bauteil		Außenwand		
Maßnahme		Innendämmung		
		1 Gipskarton- oder Gipsfaserplatte 2 Dampfbremse 3 Wärmedämmung 4 Innenputz vorh. 5 Mauerwerk vorh.		
Baustoffschichten von innen nach außen	Roh- dichte ρ kg/m ³	Schicht- dicke d m	Wärmeleit- fähigkeit λ W/m x K	d / λ $\frac{m^2 \times K}{W}$
1 Gipskarton-/Gipsfaserplatte	900	0,0125	0,21	0,0595
2 Dampfbremse		--	--	--
3 Wärmedämmung		0,08	0,04	2,000
4 Innenputz (Kalk/Gips)	1400	0,02	0,70	0,0286
5 Ziegelmauerwerk	1600	0,24	0,68	0,3529
Wärmedurchlasswiderstand R in m ² x K/W				2,4410
Wärmeübergangswiderstand innen R_{si} in m ² x K/W Wärmeübergangswiderstand außen R_{se} in m ² x K/W				0,13 0,04
Wärmedurchgangswiderstand R_T in m ² x K/W				2,6110
Wärmedurchgangskoeffizient U in W/m ² x K				0,3830
Anforderung EnEV, 3. Abschnitt, Anhang 3, Tabelle 1, Zeile 1a				≤ 0,45

Anmerkung: Bei Verwendung einer Holzunterkonstruktion ist das Verfahren für Bauteile aus homogenen und inhomogenen Schichten nach DIN EN ISO 6946 anzuwenden (siehe Vorhangfassade/

Verkleidung). Da dieses Verfahren bei Wärmebrücken aus Metall nicht anwendbar ist, ist bei Verwendung von Metallständerwerken das numerische Verfahren nach DIN EN ISO 10211 anzuwenden.

Bauteil	Außenwand			
Maßnahme	Wärmedämmverbundsystem auf vorh. Vorhangfassade			
<p>1 Innenputz 2 Stahlbeton 3 Holzwolleplatte 4 Luftschicht 5 Waschbeton-Vorhangfassade 6 Wärmedämmung 7 Aussenputz</p>				
<p>7 6 5 4 3 2 1</p>				
Baustoffschichten von innen nach außen	Rohdichte ρ kg/m ³	Schichtdicke d m	Wärmeleitfähigkeit λ W/m x K	d / λ $\frac{m^2 \times K}{W}$
1 Innenputz (Gips)	1400	0,02	0,70	0,0286
2 Stahlbeton	2400	0,20	2,10	0,0952
3 Holzwolleplatte		0,04	0,09	0,4444
5 Luftschicht		0,02		0,1400
6 Waschbeton-Vorhangfassade	2400	0,10	2,10	0,0476
7 Wärmedämmung		0,08	0,04	2,0000
8 Außenputz		0,01	0,87	0,0115
Wärmedurchlasswiderstand R in m ² x K/W				2,7673
Wärmeübergangswiderstand innen R_{si} in m ² x K/W Wärmeübergangswiderstand außen R_{se} in m ² x K/W				0,13 0,04
Wärmedurchgangswiderstand R_T in m ² x K/W				2,9373
Wärmedurchgangskoeffizient U in W/m ² x K				0,3404
Anforderung EnEV, 3. Abschnitt, Anhang 3, Tabelle 1, Zeile 1b				≤ 0,35

Bauteil		Außenwand		
Maßnahme		Vorhangfassade auf vorh. Mehrschicht-Außenwand		
		<ol style="list-style-type: none"> 1 Gipskartonplatte 2 Lattung/Luftschicht 3 Stahlbeton 4 Schalenfuge, vermörtelt 5 KS-Verblend-MW 6.1 Wärmedämmung 6.2 Alu-Unterkonstruktion 7 Unterspannbahn/ Luftschicht/Vorhangfassade 		
Baustoffschichten von innen nach außen	Roh- dichte ρ kg/m ³	Schicht- dicke d m	Wärmeleit- fähigkeit λ W/m x K	d / λ $\frac{m^2 \times K}{W}$
1 Gipskartonplatte	900	0,0125	0,21	0,0595
2 Lattung/Luftschicht		0,024		0,14
3 Stahlbeton	2400	0,20	2,10	0,0952
4 Schalenfuge vermörtelt	2000	0,02	1,40	0,0143
5 KS-Verblend-MW		0,12	1,10	0,1091
6.1 Wärmedämmung		0,12	0,04	3,0000
6.2 Alu-Unterkonstruktion		0,12	200	--
7 Unterspannbahn/Luftschicht/Vorhangfassade		0,05	--	--
Wärmedurchlasswiderstand R in m ² x K/W				3,4181
Wärmeübergangswiderstand innen R_{si} in m ² x K/W				0,13
Wärmeübergangswiderstand außen R_{se} in m ² x K/W				0,04
Wärmedurchgangswiderstand R_T in m ² x K/W				3,5881
Wärmedurchgangskoeffizient U in W/m ² x K				0,2787
Anforderung EnEV, 3. Abschnitt, Anhang 3, Tabelle 1, Zeile 1a				≤ 0,35

Anmerkung: Die Alu-Unterkonstruktion ist bei dieser Ermittlung nicht berücksichtigt, da das vereinfachte Verfahren nach DIN EN ISO 6946 bei Metall-Wärmebrücken nicht anwendbar ist. Es ist

entweder das numerische Verfahren nach DIN EN ISO 10211 anzuwenden, oder eine entsprechende Reduzierung des Wärmedurchgangskoeffizienten, z. B. um 0,05 W/m²K, einzuhalten.

3.2 Fenster und Fenstertüren

Alte, undichte und einfach verglaste Fenster und Fenstertüren führen häufig zu den, bauteilbezogen betrachtet, größten Wärmeverlusten eines Gebäudes; dies ist darin begründet, dass sich zwei Wärmeverluste addieren:

- einfach verglaste Fenster verfügen über Wärmedurchgangskoeffizienten $U \geq 5,0 \text{ W/m}^2\text{K}$, was zu erheblichen Transmissionswärmeverlusten führt,
- die Undichtigkeiten zwischen Blend- und Flügelrahmen führen zu erhöhten Lüftungswärmeverlusten auf Grund unkontrolliertem, sehr hohem Luftwechsel.

Während die **Transmissionswärmeverluste** der Fenster trotz des sehr hohen Wärmedurchgangskoeffizienten wegen der begrenzten Fensterfläche häufig geringer sind als die Transmissionswärmeverluste der wesentlich größeren Außenwandflächen mit einem wesentlich niedrigeren Wärmedurchgangskoeffizient (Transmissionswärmeverlust = Fläche x **U-Wert**) führen die zusätzlichen, nicht unerheblichen Lüftungswärmeverluste dazu, dass mit einer Verbesserung bzw. Erneuerung der Fenster erhebliche Energieeinsparungen möglich sind.

Neben den hohen Energieverlusten weisen einfach verglaste und undichte Altfenster weitere Probleme auf:

- wegen der Einfachverglasung, insbesondere jedoch auf Grund der Fugenundichtigkeit ist der Schallschutz alter Fenster gering, so dass Außenlärm die Nutzung der Gebäude erheblich beeinträchtigen kann,
- sowohl durch die niedrigen Oberflächentemperaturen der Einfachverglasungen als auch durch die Undichtigkeiten wird die Behaglichkeit in den Räumen, insbesondere im fensternahen Bereich erheblich eingeschränkt.

Auf Grund dieser Vielzahl von Problemen alter Fenster wurden in den letzten 20 Jahren bei vielen Bestandsgebäuden die Fenster erneuert. Hierdurch wurden die aufgeführten bauteilbezogenen Probleme beseitigt, da durch die von Isolierverglasungen ($U = < 3,0 \text{ W/m}^2\text{K}$) die Transmissionswärmeverluste reduziert wurden und die inneren Oberflächentemperaturen der Verglasung wesentlich erhöht wurden, durch die eingebauten Dichtungen die **Lüftungswärmeverluste** reduziert wurden

sowie der Schallschutz wesentlich verbessert wurde.

Andererseits führte die ausschließliche Erneuerung der Fenster in etlichen Fällen zu Folgeschäden, wie Kondensat und Schimmelpilzbildungen im Bereich von Fensterlaibungen, Raumecken usw. Grund hierfür ist letztendlich die hohe Dichtigkeit der Fenster, wodurch ohne entsprechendes Lüftungsverhalten die Raumluftfeuchten in den Räumen ansteigen können, wodurch es wiederum in den oben genannten Bereichen zu Oberflächenkondensat kommen kann. Da Oberflächenkondensat wiederum nur an kalten Oberflächen entstehen kann, löst die Wärmedämmung der Außenwände dieses Problem, d. h. von einer ausschließlichen Fenstererneuerung ohne Wärmedämmung der Außenwände (wenn diese Wärmedurchgangskoeffizienten $\geq 0,9 \text{ W/m}^2\text{K}$ aufweisen), ist abzuraten.

Die Wärmedurchgangskoeffizienten von Fenstern sind gemäß EnEV nach DIN EN ISO 10077-1 zu ermitteln (falls keine Produkt-Spezifikationen vorliegen). In diesem Verfahren wird, ergänzend zu der bisherigen Ermittlung der k-Werte, der Randverbund der Glasscheiben mittels eines längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten Ψ (Wärmebrückenverlustkoeffizient) zusätzlich zu Glas und Rahmen berücksichtigt.

Hierdurch erhöhen sich zum Einen die U-Werte der Fenster gegenüber den früheren k-Werten. Zum Anderen weisen unterschiedliche Fensterformen (Größe, Teilung, usw.) danach unterschiedliche U-Werte auf; sinnvoll erscheint diesbezüglich die Ermittlung eines mittleren U-Wertes aller Fenster eines Gebäudes unter Berücksichtigung der Gesamtflächen von Glas und Rahmen sowie der Gesamtlänge des Randverbunds. Eine U-Wert-Ermittlung nach dem in der EnEV vorgegebenen Verfahren ist im Berechnungsbeispiel aufgeführt.

3.2.1 Verbesserung vorhandener Fenster

Neben der kompletten Fenstererneuerung, auf die später eingegangen wird, können mit bestimmten Maßnahmen vorhandene Fenster derart ertüchtigt werden, dass sie heutigen Wärme- und Schallschutzanforderungen genügen. Diese Vorgehensweise ist jedoch nur unter bestimmten Voraussetzungen sinnvoll:

- auf Grund von Denkmalschutz-Anforderungen oder auch auf Wunsch des Bauherrn nach Erhalt aufwändig gestalteter Altfenster sollen die vorhandenen Fenster erhalten werden,
- die vorhandenen Fenster befinden sich in einem technisch guten Zustand, d. h. es sind keine konstruktiven Schäden an Rahmen, Beschlägen usw. vorhanden,
- die bauliche Situation ermöglicht bestimmte Verbesserungsmaßnahmen,
- die funktionalen Anforderungen an die Raum- und Fensternutzung stehen bestimmten Verbesserungsmaßnahmen nicht entgegen.

Wichtig ist, dass die Maßnahmen dazu führen, dass die verbesserten Fensterkonstruktionen zum Einen den Anforderungen der Energieeinsparverordnung entsprechen und zudem die Schallschutzwerte neuer Fenster erfüllen. Aus diesem Grunde wird auf notdürftige Verbesserungsmaßnahmen wie Einkleben von Schaumstoffdichtungen (Tesa-Moll o. Ä.) oder Aufbringen einer zusätzlichen Einfachverglasung in Kunststoffrandprofil auf dem vorhandenen Flügelrahmen nicht eingegangen.

Letztendlich beschränken sich die empfehlenswerten Verbesserungsmaßnahmen vorhandener Altfenster auf die Herstellung so genannter Verbundfenster bzw. die Herstellung so genannter Kastenfenster.

Verbundfenster

Als Verbundfenster bezeichnet man Fensterkonstruktionen, bestehend aus einem Blendrahmen und zwei Flügelrahmen, die getrennt zu öffnen sind. Bei Altfenstern ist diese Konstruktion dadurch erreichbar, dass auf dem vorhandenen Flügelrahmen ein zweiter Flügelrahmen inklusive entsprechender Beschläge aufgebracht wird (siehe Abb. 37).

Grundvoraussetzung für eine derartige Konstruktionslösung ist, dass das vorhandene Fenster und hier insbesondere die Beschläge, für eine derartige Konstruktion geeignet sind, z. B. was die Aufnahme der zusätzlichen Lasten anbelangt.

Der zusätzliche Flügelrahmen sollte wärmeschutzverglast werden, wodurch auf Grund der alten Einfachverglasung und der zusätzlichen Wärmeschutzverglasung ein Wärmedurchgangskoeffizient des gesamten Fensters erreicht wird, der besser ist als der in der EnEV geforderte U-Wert von $1,7 \text{ W/m}^2\text{K}$. Würde der zusätzliche Flügel lediglich mit Einfach-

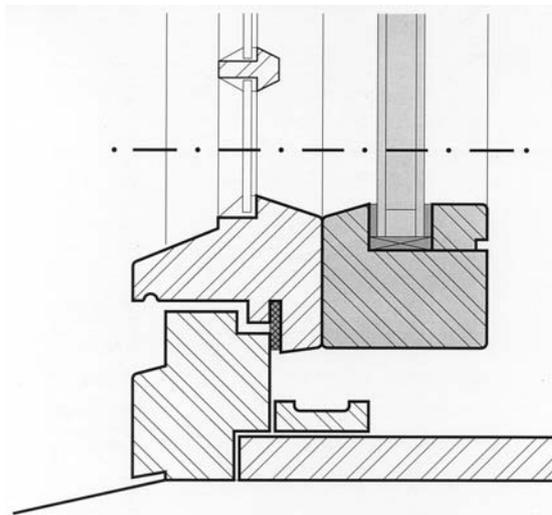


Abb. 37 Verbundfenster

verglasung versehen, so wird der U-Wert von $1,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ nicht erreicht; dies ist z. B. bei Baudenkmalern auf Grund der entsprechenden Ausnahmeregelung nach § 16 (1) der EnEV möglich.

Da mit der Aufdoppelung des Fensterflügels lediglich die Transmissionswärmeverluste reduziert werden, ist zusätzlich die Dichtigkeit des Altfensters durch Einbau geeigneter Dichtungen zu verbessern, da ansonsten unkontrollierte Lüftungswärmeverluste weiterhin gegeben wären. Dies kann durch Aufschrauben innerer Dichtungsprofile oder auch durch Einbau von Falzdichtungen in nachträglich eingefrästen Nuten erfolgen.

Ein Mangel von Verbundfenstern besteht darin, dass zwischen den beiden Flügelrahmen auf der Innenseite der Verglasung des Altfensters Kondensat entstehen kann, wodurch die Funktion des Fensters beeinträchtigt wird.

Kastenfenster

Die gegenüber der Verbundfensterkonstruktion weitaus häufiger durchgeführte und auch konsequenter Lösung ist die Herstellung eines so genannten Kastenfensters. Hierbei bleibt das Altfenster bis auf notwendige Instandsetzungsmaßnahmen (z. B. neuer Anstrich) unangetastet. Die Kastenfensterkonstruktion entsteht durch den Einbau eines kompletten zweiten Fensters entweder innerhalb der Fensterlaibung oder aufgesetzt auf die innere Wandoberfläche. Die Art der Anord-

nung ist im Wesentlichen davon abhängig, wie die Öffnung des Altfensters gewährleistet werden kann (siehe Abb. 38).

Das zweite Fenster ist wie ein neues Außenfenster zu konstruieren, d. h. mit Wärmeschutzverglasung, Dichtungs- und Beschlagskonstruktionen usw. Lediglich die Oberflächenbehandlung bei Holzrahmen kann weniger hochwertig ausgeführt werden, da das innere Fenster nicht der Witterung ausgesetzt ist. Ebenfalls wie beim Verbundfenster kann auf der Innenseite der Einfachverglasung des Altfensters Kondensat entstehen, die Wahrscheinlichkeit ist jedoch wesentlich geringer.

Eine, wenn auch bisher nicht häufig angewandte Konstruktionslösung, besteht in der Anordnung des 2. Fensters in der äußeren Dämmebene, d. h. das zusätzliche Fenster wird außen auf die Fassade montiert, das Wärmedämmverbundsystem oder die Vorhangfassade (in aller Regel stärker als die Fensterahmen) wird angearbeitet. Das neue, äußere Fenster sollte nach außen öffnend ausgebildet werden, da hierdurch keine Glasflächenreduzierung entsteht.

Vorteile einer derartigen Konstruktionslösung sind die Vermeidung eventueller Wärmebrücken im Laibungs- und Sturzbereich, der Schutz des alten Fensters von Witterungseinflüssen und Kondensat sowie der Erhalt der Innenfensterbankflächen. Nachteile sind die erschwerte Bedienbarkeit (vor allen Dingen bei nach außen öffnenden Fenstern) sowie die Veränderung der äußeren Fensteransicht durch „Verdecken“ des Altfensters, d. h. diese Konstruktionslösung ist bei Baudenkmälern normalerweise nicht anwendbar.

Wie beim Verbundfenster ist der Wärmedurchgangskoeffizient einer Kastenfensterkonstruktion um einiges geringer als der in der EnEV geforderte U-Wert von $1,7 \text{ W/m}^2\text{K}$. Hinzu kommt, dass derartige Kastenfenster-Konstruktionen bei halbwegs dicht schließendem Altfenster hohe Schallschutzwerte aufweisen. Zudem ist bei innerer Anordnung des zusätzlichen Fensters der Einbau von Sonnenschutzvorrichtungen im Zwischenraum nicht möglich, wodurch diese windgeschützt und gestalterisch unproblematisch sind.

Sonstige Verbesserungsmaßnahmen

In der Fachliteratur tauchen häufig weitere Verbesserungsmaßnahmen auf, die sich jedoch in der Praxis so gut wie nicht bewährt haben.

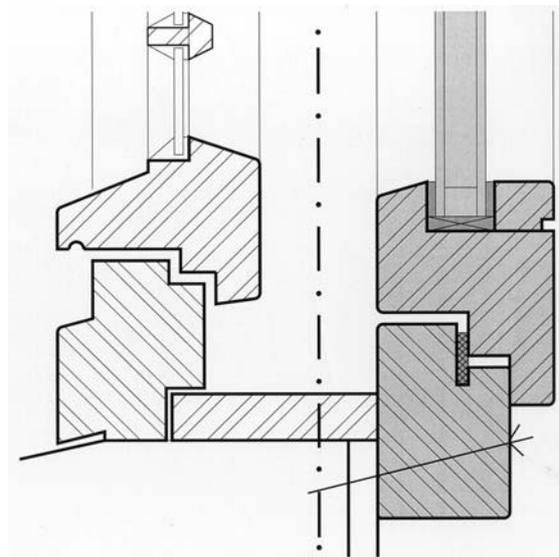


Abb. 38 Kastenfenster

- Erneuerung der Fensterflügel mit Wärmeschutzverglasung unter Beibehaltung der Blendrahmen,
Vorteil: Keine Putzzerstörungen, keine Beiputz- und Renovierungsarbeiten.
Nachteil: Erheblicher schreinermäßiger Aufwand auf Grund unterschiedlicher Altprofile, unterschiedlicher Fenstergrößen, leichter Schiefwinklichkeiten von Altfenstern usw..
- Einbau neuer Fenster auf abgeschnittenem Blendrahmen,
Vorteil: Keine Putzzerstörungen, keine Beiputz- und Renovierungsarbeiten.
Nachteil: Handwerklich äußerst schwierig durchzuführen; bei üblicherweise seitlich und oben vorhandenem Fensteranschlag überhaupt nicht machbar.

Erneuerung der Verglasung

Bei einfachverglasten Altfenstern ist es in aller Regel nicht möglich, heutige Wärmeschutzgläser einzubauen, da die Glasfalze das 20-24 mm starke Wärmeschutzglas nicht aufnehmen können und zudem die Verklotungsrichtlinien nicht einzuhalten sind. Hinzu kommt, dass die vorhandenen Beschläge das wesentlich höhere Gewicht der 2-Scheiben-Verglasung ggf. nicht aufnehmen können.

Da jedoch ab Mitte der 70er-Jahre Fenster mit so genannten Isolierverglasungen (2 Scheiben mit

Luftzwischenraum, Gesamtdicke bis 20 mm) eingebaut wurden, können diese Fenster bei noch intakten Rahmenkonstruktionen neu verglast werden.

Die EnEV fordert für diesen Fall einen Wärmedurchgangskoeffizienten $U = \leq 1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ für die neue Verglasung, was mit heute üblichen Wärmeschutzverglasungen problemlos erreicht wird. Das Problem der eventuell etwas größeren Stärke der Wärmeschutzverglasung gegenüber der alten Isolierverglasung kann durch neue innere Glashalteleisten gelöst werden.

3.2.2 Fenstererneuerung

Die seit über 20 Jahren am häufigsten durchgeführte und eigentlich auch sinnvollste Verbesserungsmaßnahme bei Fenstern ist der Einbau neuer Fenster; lediglich bei Baudenkmälern ist diese allgemeine Aussage kritisch zu prüfen (Abb. 39).

Für diese Vorgehensweise spricht, dass neben den Defiziten im Bereich des Wärme- und Schallschutzes Altfenster häufig weitere Mängel und auch konstruktive Schäden aufweisen, die Instandsetzungsmaßnahmen wie Neuanstriche, Erneuerung von Wetterschenkeln usw. erfordern. Letztendlich ist die Lebensdauer von Fenstern, die in der Fachliteratur mit ca. 30 Jahren angegeben wird, häufig überschritten.

Die Kompletterneuerung von Fenstern führt zwar zu gewissen Beeinträchtigungen der Nutzung der Räume, insbesondere auch durch erforderliche Folgearbeiten wie Beiputz der Laibungen; bei entsprechender Planung beschränkt sich dies jedoch auf wenige Stunden.

Die Anforderungen der EnEV ($U = \leq 1,7 \text{ W/m}^2\text{K}$) ist trotz des „verschärften“ Berechnungsverfahrens mit allen heute gängigen Rahmenmaterialien (Holz, Kunststoff, thermisch getrennte Alu-Profile, thermisch getrennte Stahl-Profile) und der Verwendung von Wärmeschutzverglasungen zu erreichen. Hinzu kommt, dass selbst denkmalpflegerische Anforderungen mit neuen Fenstern (siehe Abb. 40) einzuhalten sind.

Ein weiterer wesentlicher Vorteil neuer Fenster besteht darin, dass durch eine etwas breitere Ausführung der Blendrahmen die für die Außenwanddämmung erforderliche Dämmung der äußeren Fensterlaibungen problemlos möglich ist. Zudem

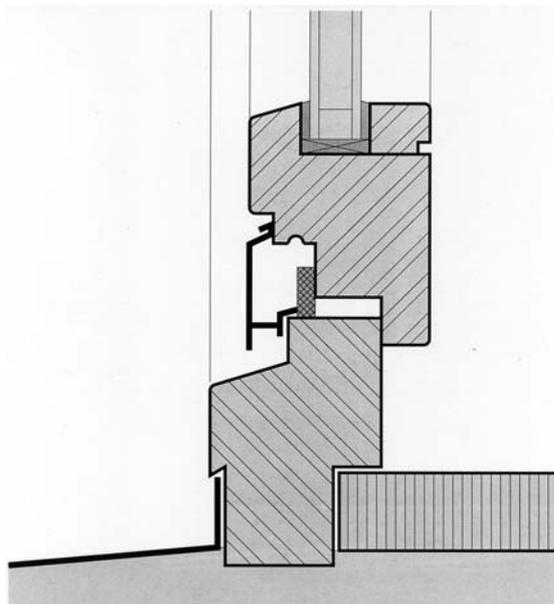


Abb. 39 Fenstererneuerung

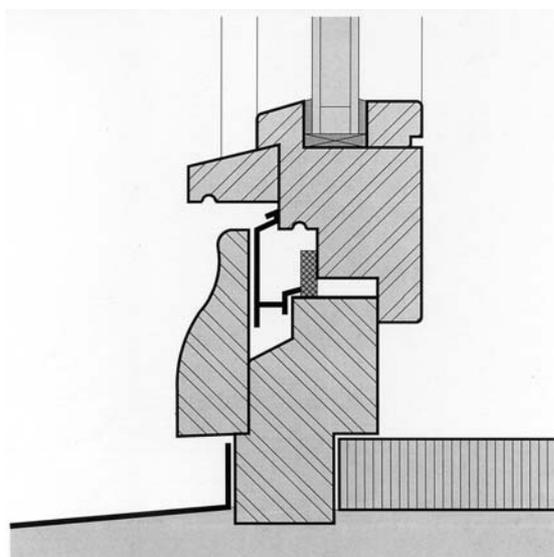


Abb. 40 Fenstererneuerung in der Denkmalpflege

können durch die Verwendung bestimmter Rahmenmaterialien die Instandhaltungsaufwendungen für die Fenster wesentlich reduziert werden.

Ebenso sind bei entsprechender Ausbildung neuer Fenster hohe Schallschutzwerte erreichbar, so dass diese Maßnahme zu einer wesentlichen funktionalen Verbesserung der Innenräume führt.

3.2.3 Sonstige Maßnahmen im Fensterbereich

Eine, wenn auch nicht zu hoch zu bewertende Verbesserung des Wärmeschutzes von Fenstern kann durch den Einbau von Rollläden erreicht werden. Bei der Erneuerung von Fenstern, bei denen bereits Rollläden vorhanden sind, ist die Erneuerung des Rollladenkastens in wärmegeädämter Ausführung üblicherweise problemlos möglich. Bei nicht vorhandenen Rollladenkästen ist das Aufsetzen von so genannten Mini-Rollläden in wärmegeädämten Kästen möglich, wobei hierdurch jedoch die Fensterhöhe reduziert wird. Von außen ist in diesem Fall im Rahmen der Wärmedämmung der Fassaden eine entsprechende Anpassung möglich.

Bei dem Erhalt alter Fenster und der Anwendung einer der oben beschriebenen Verbesserungsmaßnahmen (Herstellung von Verbund- oder Kastenfenstern) und vorhandenen Rollläden ist unbedingt zu prüfen, inwieweit der alte Rollladenkasten wärmegeädämmt ist; dies ist üblicherweise nicht der Fall, so dass auch hier zusätzliche Maßnahmen erforderlich werden.

Klapp- und Schiebeläden führen üblicherweise nicht zu einer nennenswerten Verbesserung des Wärmeschutzes, da der Luftzwischenraum zwischen Fenster und Klapp- oder Schiebeläden auf Grund hohem Luftwechsel letztendlich Außenlufttemperatur aufweist.

Zu guter Letzt ist bezüglich der wärmetechnischen Verbesserung von Fenstern nicht nur der winterliche Wärmeschutz sondern auch der sommerliche Schutz vor Überhitzung von Innenräumen zu bedenken. Große, nach Süden ausgerichtete Fensterflächen, wie sie in den Bauten der 60er- und 70er Jahre häufig anzutreffen sind, können zu diesem Problem führen. Eine Lösung kann nur mit einem außenliegenden Sonnenschutz in Form von Kunststoff- oder Metalllamellen erreicht werden. Rollläden erreichen den selben Zweck, führen jedoch zu funktionalen Beeinträchtigungen der Raumnutzung auf Grund ihrer weitgehenden Lichtundurchlässigkeit.

3.2.4 Bemessungsbeispiele

Zur Verdeutlichung der Ermittlung des Wärmedurchgangskoeffizienten von Fenstern entsprechend DIN EN ISO 10077-1 ist nachfolgend diese Berechnung für ein definiertes Fenster dargestellt.

Die in der ENEC, 3. Abschnitt, Anhang 3, Tabelle 1 gestellten Anforderungen an Fenster in Gebäuden mit normalen Innentemperaturen sind:

- $U \leq 1,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ für neue Fenster, Fenstertüren und Dachflächenfenster,
- $U \leq 1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ bei Erneuerung der Verglasung (wenn der vorhandene Rahmen geeignet ist),
- höhere U-Werte sind bei Sonderverglasungen (Schallschutz/Brandschutz/Durchschusshemmung usw.) zulässig: EnEV, Anhang 3, Nr. 2,
- für sog. Vorhangfassaden, d. h. z. B. Pfosten-Riegel-Konstruktionen mit Glasflächen und Paneelen ist ein Wärmedurchgangskoeffizient von $\leq 1,9 \text{ W/m}^2\text{K}$ vorgegeben.

Bauteil	Fenster
Maßnahme	Neues Holzfenster
<p>Konstruktion Weichholzrahmen/d_f = 65mm 2-Scheiben-Verglasung 4-12-4/1 Scheibe beschichtet/ Emissionsgrad ≤ 0,05/Argonfüllung</p>	
<p>Wärmedurchgangskoeffizienten gem. DIN EN ISO 10077-1 Glas: U_g = 1,30 W/m² x K Rahmen: U_f = 1,80 W/m² x K Randverbund: ψ = 0,06 W/m x K</p>	
<p>Flächen A / Länge l Glas 2,16 m² / Rahmen 1,08 m² / Randverbund 11,92m</p>	
<p>Wärmedurchgangskoeffizient U_w $U_w = (A_g \times U_g + A_f \times U_f + l \times \psi) / (A_g + A_f) = (2,16 \times 1,30 + 1,08 \times 1,80 + 11,92 \times 0,06) / (2,16 + 1,08)$ = 1,69 W/m² x K</p>	
Anforderung EnEV, 3. Abschnitt, Anhang 3, Tabelle 1, Zeile 2a	≤ 1,70 W/m ² x K

3.3 Dächer

Neben Außenwänden und Fenstern ist der obere Gebäudeabschluss bei fast allen Gebäuden, die vor 1980 errichtet wurden, bei der Durchführung von Wärmeschutzmaßnahmen zu berücksichtigen. Grund hierfür ist, dass bei weitgehend ungedämmten Steil- oder Flachdächern bzw. ungedämmten Decken zu unausgebauten Dachräumen die **Transmissionswärmeverluste** auf Grund sehr hoher **Wärmedurchgangskoeffizienten** sehr hoch sind. Hinzu kommt, dass wegen thermischer Gesetzmäßigkeiten die Temperaturdifferenzen zwischen beheiztem und unbeheiztem Raum bzw. der Außenluft größer sind, was ebenfalls zu höheren Transmissionswärmeverlusten führt. Das Dach bzw. die Decke zum unausgebauten Dachraum ist somit bei niedriggeschossigen Gebäuden wärmetechnisch betrachtet häufig das schlechteste aller wärmeabgebenden Bauteile.

Wegen dieser Gegebenheit sowie auf Grund der technischen Möglichkeiten werden in der Energieeinsparverordnung an Dächer bzw. Decken zum unausgebauten Dachraum die höchsten Wärmeschutzanforderungen aller wärmeabgebenden Bauteile gestellt. Für geneigte Dächer sowie Decken gegen unausgebauten Dachraum wird ein Wärmedurchgangskoeffizient von $\leq 0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$ und für Flachdächer ein Wärmedurchgangskoeffizient von $\leq 0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$ gefordert.

Diese Anforderungen sind dann einzuhalten, wenn die Dachhaut erneuert wird, wenn Dämmschichten eingebaut werden sowie wenn innenseitige Bekleidungen oder Verschalungen angebracht werden. In den meisten Fällen löst demnach die Instandsetzungsnotwendigkeit der Dachhaut (Dachziegeleindeckung, Flachdachabdichtung) die Dämmmaßnahme aus.

3.3.1 Steildächer

Neben der Erneuerung der Dachhaut ist der Ausbau bisher nicht genutzter Dachräume unter Steildächern einer der Hauptgründe für die Wärmedämmung der Dachschrägen. In diesem Zusammenhang ist darauf hinzuweisen, dass die Anforderungen der EnEV grundsätzlich nur die wärmeabgebenden Bauteile betreffen, d. h. bei einem unausgebauten Dachraum ist die Decke zum obersten beheizten Geschoss zu dämmen, bei einem Dachgeschossausbau sind die Dachschrägen im

ausgebauten Bereich zu dämmen sowie die Decke zum eventuellen Spitzboden.

Für die Wärmedämmung von Dachschrägen stehen verschiedene Konstruktionsvarianten sowie unterschiedliche Materialien zur Verfügung. Insbesondere bei der Anordnung der Dämmung zwischen bzw. zwischen und unter den Sparren ist eine weitgehende Dichtigkeit der Dacheindeckung Grundvoraussetzung.

Dies bedeutet, dass Dacheindeckungen aus Dachziegeln ohne Unterspannbahn, wie sie vor allen Dingen in Gebäuden die vor dem 2. Weltkrieg errichtet wurden, häufig anzutreffen sind, ohne eine Neueindeckung inklusive Unterspannbahn nicht ausbaubar und dämmbar sind, da derartige Eindeckungen gegen Flugschnee und Schlagregen nicht dicht sind (fehlende zweite Dichtungsebene).

Ein weiterer Punkt, auf den bei dem Ausbau von Dachgeschossen besonders zu achten ist, ist die Winddichtigkeit. Diese wird zum Einen durch eine innere **Dampfbremse**, die bei sehr vielen Nutzungen der Dachgeschosse erforderlich ist, erreicht. Hinzu kommt, dass unter Anderem auch aus Gründen der Winddichtigkeit die Unterseite von Dachschrägen grundsätzlich mit Gipskarton- oder Gipsfaserplatten verkleidet werden sollte, selbst dann, wenn hierunter nochmals eine Verbretterung angebracht wird.

Bezüglich der Frage des Einbaus einer Dampfbremse unterhalb der Dämmebene ist neben der Nutzung der ausgebauten Dachräume der Gesamtaufbau zu betrachten. Bei einer Neueindeckung des Daches sollten so genannte diffusionsoffene Unterspannbahnen ($S_d \leq 0,2 \text{ m}$) verwandt werden.

Ist eine relativ dampfdichte Unterspannbahn (Bitumenpappe o. Ä.) vorhanden, ist trotz innerer Dampfbremse eine be- und entlüftete Schicht zwischen Unterspannbahn und Wärmedämmung vorzusehen.

Die Wärmedämmung der Dachflächen sollte möglichst lückenlos erfolgen, wobei Holzsparren nicht als Lücke zu betrachten sind. Besonderes Augenmerk sollte auf die Ausbildung von Trauf- und Ortganganschlüssen gelegt werden, da hier eine möglichst lückenlose Anbindung an die Außenwanddämmung herzustellen ist (siehe **3.1 Außenwände**).

Zwischen-Sparren-Dämmung

Die bei Neubauten übliche Anordnung der Wärmedämmung zwischen den Sparren ist auch bei Altbauten unter bestimmten Voraussetzungen anwendbar. Zum Einen muss eine Sparrenhöhe von 14-16 cm vorhanden sein. Da größere Sparrenhöhen äußerst selten sind, ist fast grundsätzlich eine so genannte Sparrenvoldämmung, d. h. eine komplette Ausfüllung der Sparrenzwischenräume mit Dämmstoff erforderlich. Dies erfordert eine diffusionsoffene Unterspannbahn sowie eine Dachziegeleindeckung auf Konterlattung, was üblicherweise nur bei einer gleichzeitigen Erneuerung der Dacheindeckung gegeben ist (siehe Abb. 41).

Als Dämmmaterial werden heute üblicherweise Mineralfaserdämmmatten, so genannte Klemmfilze oder Dämmkeile verwandt, mit denen die bei Altbauten vorhandenen unterschiedlichen Sparrenabstände problemlos zu dämmen sind. Die Dampfbremse wird in einem zweiten Arbeitsgang großflächig unter den Sparren befestigt. Die aus dem Neubaubereich bekannten Kombinationsmaterialien, bestehend aus Mineralfaserdämmstoff auf alukaschiertem Papier sind für Altbauten häufig ungeeignet, da sie bestimmte Sparrenabstände erfordern, die im Altbau nicht gegeben sind.

Ebenfalls nur bedingt geeignet sind alle Plattenmaterialien mit festen Plattenbreiten (Polystyrol, Zel-

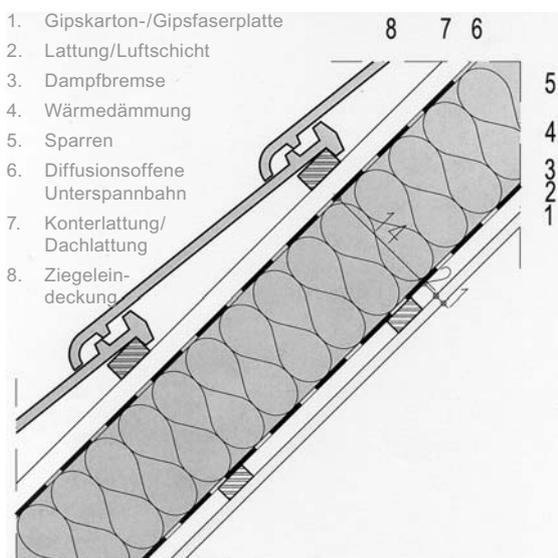


Abb. 41 Zwischen-Sparren-Dämmung

luloseplatten usw.) wegen der unterschiedlichen Sparrenabstände vieler Altbauten.

Bei Verwendung von Weichfaserplatten als Unterspannbahn sowie einer inneren Plattenkonstruktion ist der so entstehende „stabile“ Hohlraum mit losen Dämmstoffen, z. B. Zellulose, füllbar.

Eine weitere Voraussetzung für den Einbau der Wärmedämmung zwischen den Sparren ist die Zugänglichkeit der Sparrenzwischenräume vom Dachraum her. Ist ein Dachgeschossausbau vorhanden, d. h. sind die Dachschrägen verkleidet und ist zudem eine Erneuerung der Dacheindeckung nicht erforderlich, so ist der Einbau der Wärmedämmung zwischen den Sparren nicht möglich. Verfahren, bei denen lose Dämmstoffe vom Spitzboden aus eingebaut werden (Einblasen, Folien-schläuche usw.) haben sich in der Praxis nicht durchgesetzt, da ein kontrollierter Einbau kaum möglich ist.

In einem solchen Fall bietet sich entweder die Entfernung der Dachschrägenverkleidung oder die Anordnung der Dämmung unterhalb der vorhandenen Verkleidung an.

Ebenfalls ist der Einbau einer Zwischen-Sparren-Dämmung von oben im Zusammenhang mit der Erneuerung der Dacheindeckung bei vorhandenem Dachgeschossausbau nicht unproblematisch. Der Dämmstoff kann zwar eingebaut werden, die raumseitige Dampfbremse ist jedoch von oben nicht fachgerecht herstellbar (im Bereich der Sparren). Eine, allerdings nur unzureichende Lösung dieses Problems kann die Herstellung einer Dampfbremse auf der Untersicht der Dachschrägenverkleidung, z. B. in Form einer Alu-Untertapete sein, wobei dafür Sorge getragen werden muss, dass diese Dampfbremse bei Renovierungen erhalten bleibt.

In den Fällen, in denen die letztgenannte Konstruktionslösung mit Einbau der Wärmedämmung von oben in Zusammenhang mit der Erneuerung der Dacheindeckung erfolgt, kann die Dämmstoffstärke auf die Sparrenhöhe beschränkt werden (EnEV, Anhang 3, Nr. 4.1); in allen anderen Fällen ist ein Wärmedurchgangskoeffizient von $\leq 0,30$ W/m^2K einzuhalten.

Abschließend sei noch darauf hingewiesen, dass der in der EnEV geforderte maximale Wärmedurchgangskoeffizient von $0,30$ W/m^2K ein so genannter resultierender Wert ist, d. h. die Gesamt-

konstruktion bestehend aus Sparrenquerschnitten (10-15 % der Fläche) und den gedämmten Sparrenzwischenräumen darf $0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$ nicht überschreiten, was wiederum eine Mindestdämmstoffstärke von 14-16 cm (WLG 040) erfordert. Die U-Wert-Ermittlung ist gemäß DIN EN ISO 6946 (Bauteil aus homogenen und inhomogenen Schichten) durchzuführen (siehe [Bemessungsbeispiele](#)).

Zwischen- und Unter-Sparren-Dämmung

Bei nicht ausreichender Sparrenhöhe sowie ggf. notwendiger Luftschicht zwischen vorhandener Unterspannbahn und neuer Dämmschicht ist zum Erreichen der EnEV-Anforderung der Einbau von Wärmedämmung zwischen und unter den Sparren erforderlich. Bei einer üblichen Sparrenhöhe von ca. 12 cm können 8 cm Wärmedämmung zwischen den Sparren und 6 cm Wärmedämmung unter den Sparren angeordnet werden. Die Unterkonstruktion unterhalb der Sparren ist rechtwinklig zu diesen anzuordnen, so dass nur noch eine punktuelle Verbindung von Holzkonstruktionen zur kalten Außenseite besteht (siehe [Abb. 42](#)).

Ein gewisser Nachteil dieser Konstruktionslösung besteht im Verlust von 8-10 cm Raumvolumen, was dadurch minimiert werden kann, dass die neue Unterkonstruktion so ausgerichtet wird, dass auf eine zusätzliche Feinlattung verzichtet werden kann.

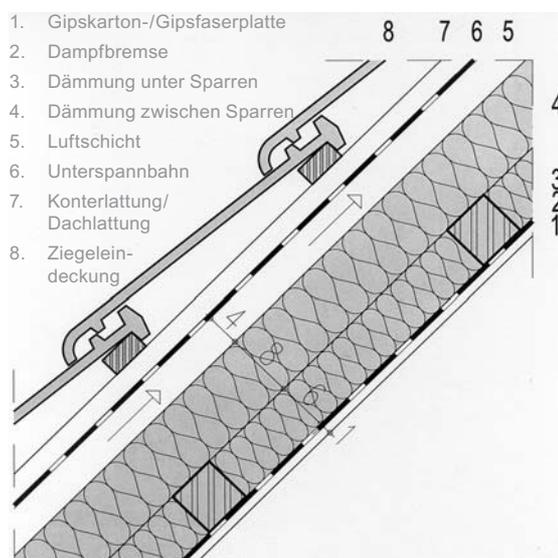


Abb. 42 Zwischen- und Unter-Sparren-Dämmung

Eine zusätzliche Wärmedämmschicht bietet sich auch bei bereits ausgebauten und aus heutiger Sicht ungenügend gedämmten Dachgeschossen unterhalb der Dachschrägenverkleidung an. Hierbei ist der vorhandene Aufbau festzustellen. Bei Vorhandensein einer Dampfbremse in diesem Aufbau sollte zur Beurteilung der geplanten zusätzlichen Dämmmaßnahme ein Bauphysiker hinzugezogen werden.

Die Anordnung der Dämmschicht in voller Höhe unterhalb der Sparren ist unüblich; lediglich bei Gebäuden mit minimalen Sparrenhöhen (z. B. Fachwerkhäuser mit 6-8 cm Sparren) kommt eine derartige Konstruktionslösung zum Einsatz; der Raumverlust ist entsprechend größer.

Auf-Sparren-Dämmung

Auch diese aus dem Neubaubereich in Verbindung mit sichtbaren Dachkonstruktionen bekannte Konstruktionsart ist bei Altbauten denkbar. Sie kann logischerweise nur in Verbindung mit einer Erneuerung der Dacheindeckung ausgeführt werden (siehe [Abb. 43](#)).

Hierbei werden auf die vorhandenen Sparren und eine Flächenschalung (N+F-Bretter oder Spanplatte) großformatige, starre Dämmplatten, häufig mit Nut- und Federverbindungen oder Falzausbildungen aufgelegt; gegen Abrutschen sind die Dämmplatten im Traufbereich durch entsprechende Holzkonstruktionen zu sichern. Auf diese Dämmplatten wird die Unterspannbahn aufgebracht sowie die Konterlattung und die Dachlattung mit der Ziegeleindeckung. Die gesamte Dacheindeckung ist ebenfalls gegen Abrutschen entsprechend zu sichern.

Nachteile dieser Konstruktionslösung sind zum Einen die um 12-14 cm erhöhte Oberfläche des Daches, was ggf. Probleme bei Anschlüssen an benachbarte Gebäude, aufgehende Bauteile usw. mit sich bringt. Zum Anderen erfordert eine Auf-Sparren-Dämmung auf Grund der Starrheit der zu verwendenden Materialien eine relativ fluchtgerechte Dachkonstruktion, was bei Altbauten häufig nicht gegeben ist.

Da zudem der Aspekt der von innen sichtbaren Dachkonstruktion (Pfetten und Sparren) bei Altbauten häufig keine Rolle spielt (ungehobelte und unregelmäßige Konstruktionen), wird die Auf-Sparren-Dämmung in der Praxis bei Altbauten relativ selten verwandt.

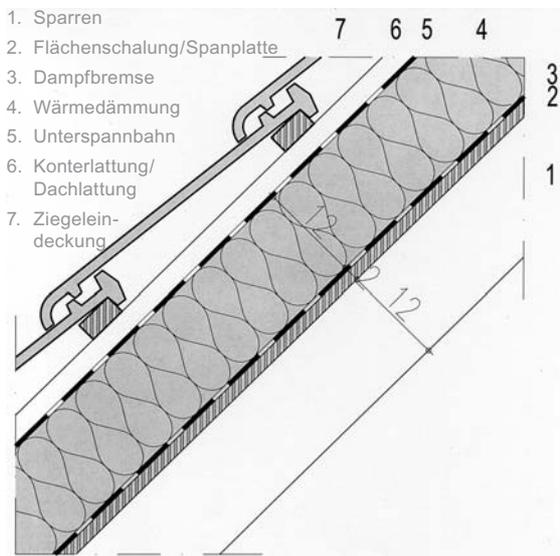


Abb. 43 Auf-Sparren-Dämmung

Der Vorteil der Auf-Sparren-Dämmung besteht in einer lückenlosen Ausbildung der Dämmschicht mit der „Verlagerung“ der gesamten Dachkonstruktion in den warmen und trockenen Bereich.

Ein weiteres Problem dieser Konstruktionsart entsteht dann, wenn oberhalb des ausgebauten, beheizten Dachraumes ein größerer Spitzboden vorhanden ist, da in diesem Falle zusätzlich zur, aus baukonstruktiven Gründen durchzuziehenden Außendämmung, eine Dämmung der Zwischendecke erforderlich wird.

3.3.2 Flachdächer

Die konstruktive Ausbildung von Flachdächern bei Altbauten kann sehr unterschiedlich sein, so dass vor der Planung von Wärmeschutzmaßnahmen eine detaillierte Bestandsaufnahme erforderlich ist. Man unterscheidet im Wesentlichen zwei Konstruktionsprinzipien von Flachdächern:

- **Kaltdächer**
2-schalige Konstruktion, bestehend aus einer Unterdecke, einer durchlüfteten Schicht unterschiedlicher Stärke und einer Tragschicht inklusive Abdichtung ohne Wärmedämmung.
- **Warmdächer**
1-schalige Tragkonstruktion mit Abdichtung.

Des Weiteren ist zu klären, ob es sich um ein Flachdach mit Gefälle oder um ein so genanntes gefälleloses Flachdach handelt.

Durchlüftetes Dach (Kaltdach)

Bei Dächern mit einem durchlüfteten Zwischenraum zwischen Unterdecke und Dachabdichtung von $\geq 50\text{-}80\text{ cm}$ kann das vorhandene Konstruktionsprinzip dann beibehalten werden, wenn in diesem Zwischenraum flächig eine Wärmedämmschicht von $14\text{-}16\text{ cm}$ eingebaut werden kann und die Durchlüftung des verbleibenden Raumes gewährleistet ist.

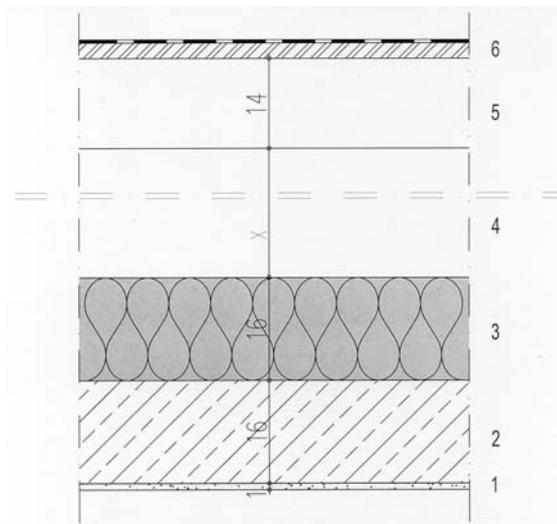
Auf Grund dieser Durchlüftung sowie in Verbindung mit einer Betondecke als Unterdecke (relativ diffusionsdicht) kann ggf. auf eine **Dampfsperre** auf der Unterdecke verzichtet werden; ist diese jedoch unproblematisch herstellbar, sollte sie eingebaut werden (siehe [Abb. 44, nächste Seite](#)).

Von einer kompletten Ausfüllung des Luftraumes zwischen Unterdecke und Dachabdichtung inklusive Schließen der Lüftungsöffnungen ist abzuraten, da es auf Grund des Fehlens der Dampfsperre auf der Unterdecke und der diffusionsdichten oberen Abdichtung zu Kondensatproblemen kommen kann.

Bei Dächern, in denen der Zwischenraum oberhalb der Unterdecke als „nicht begehbar, aber zugänglich“ bezeichnet werden kann, ist nach § 9 EnEV die Nachrüstverpflichtung gegeben ($U \leq 0,30\text{ W/m}^2\text{K/}$ Stichtag 31.12.2005).

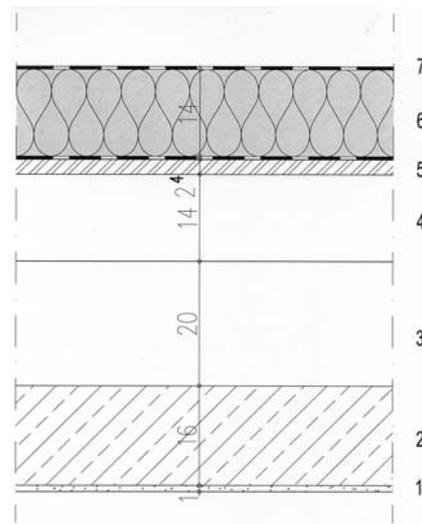
In einem solchen Fall ist zu empfehlen, die Wärmedämmung in Verbindung mit einer neuen Dachabdichtung herzustellen. Die Außenwandflächen des Luftraumes sind in Verbindung mit dem Schließen der Lüftungsöffnungen zu dämmen (im Rahmen der Außenwanddämmung); der ursprüngliche Luftraum wird letztendlich zum beheizten Innenraum.

Von Innendämmungen, d. h. Anordnung der Wärmedämmschicht unterhalb der Unterdecke ist abzuraten, da die Probleme bzgl. der Wärmebrücken aller einbindenden Außen- und Innenwände sowie bauphysikalischer Probleme, die trotz Einbau von Dampfbremsen an den einbindenden Wänden entstehen können, so gut wie nicht lösbar sind (siehe [Abb. 45, nächste Seite](#)).



1. Innenputz
2. Beton-Unterdecke
3. Wärmedämmung
4. Luftraum, be- und entlüftet
5. Tragkonstruktion
6. Abdichtung

Abb. 44 Durchlüftetes Dach: Dämmung im Zwischenraum



1. Innenputz
2. Beton-Unterdecke
3. Luftschicht: Be- und Entlüftung unterbinden
4. Tragkonstruktion
5. Dampfsperre
6. Wärmedämmung
7. Abdichtung

Abb. 45 Durchlüftetes Dach: Dämmung mit Erneuerung der Dachabdichtung

Nicht durchlüftetes Dach (Warmdach)

Mehr noch als bei Steildächern löst die Erneuerungsnotwendigkeit der Flachdachabdichtung Wärmedämmmaßnahmen aus. Bei einer maximalen Lebensdauer von 20-30 Jahren sind die in großer Anzahl hergestellten Flachdächer der Bauten der 60er- und 70er-Jahre die noch ohne wesentliche Wärmedämmschichten hergestellt wurden, in großem Umfang erneuerungsbedürftig (siehe [Abb. 46](#)).

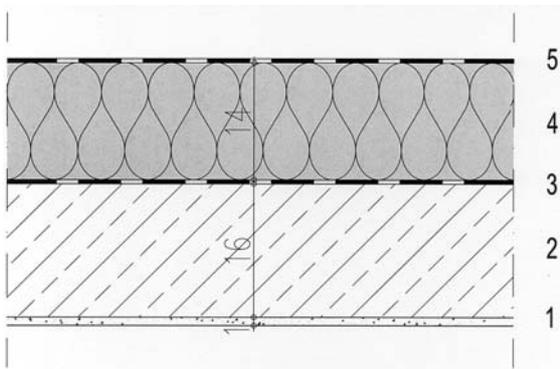
Die komplette Erneuerung des Flachdachaufbaus ist unter Berücksichtigung der entsprechenden Normen und Richtlinien relativ unproblematisch. Probleme können durch die wesentlich größere Stärke des neuen Aufbaus an Dachrändern, Attiken, Türen in aufgehenden Bauteilen usw. entstehen. Im Bereich der Dachränder/Attiken ist eine möglichst lückenlose Verbindung der Wärmedämmung mit der Außenwanddämmung herzustellen (siehe [3.1 Außenwände](#)).

Bei intakter Flachdachabdichtung mit noch 10-20 Jahren Lebensdauer, z. B. auf Grund einer bereits durchgeführten Instandsetzung mittels ganzflächiger Überklebung, mit einer hochwertigen Dichtungsbahn, kann die Verbesserung des Wärmeschutzes durch das Auflegen von Dämmmaterialien auf der vorhandenen Abdichtung erfolgen. Dieses Prinzip nennt man „Umkehrdach“ ([Abb. 47](#)).

Bautechnisch und bauphysikalisch ist diese Konstruktionslösung nicht unproblematisch:

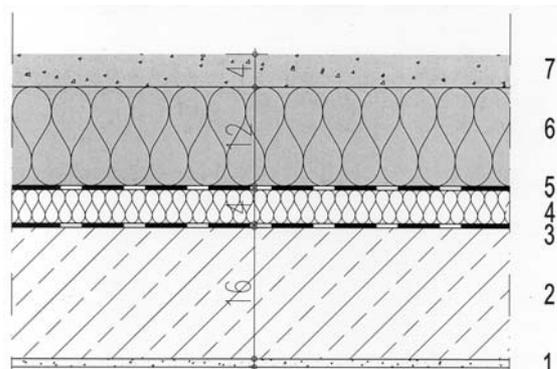
- die Aufeinanderfolge von Dampfdruckausgleich, Dampfsperre, Wärmedämmung, Abdichtung und zusätzlicher, recht starker Wärmedämmschicht (10-12 cm) sollte bauphysikalisch bewertet werden,
- als zu verwendende Dämmmaterialien kommen lediglich hierfür zugelassene Dämmstoffe, wie z. B. extrudierte Polystyrol-Hartschaumplatten bzw. Polyurethanplatten in Frage, da diese Dämmmaterialien feuchtigkeits-unempfindlich sind und eine hohe Frostbeständigkeit aufweisen (Schaumgläser verfügen nicht über eine genügende Frostbeständigkeit),
- die zusätzliche Dämmschicht ist gegen Abheben durch Windsog zu sichern, d. h. die vorhandene Tragkonstruktion muss eine Kieschicht bzw. einen Plattenbelag aufnehmen können.

Von nachträglichen Innendämmungen auf der Unterseite der Flachdach-Tragkonstruktion ist wie bei Kaldächern auch bei Warmdächern abzuraten, da die Probleme bezüglich der [Wärmebrücken](#) aller einbindenden Außen- und Innenwände sowie bauphysikalische Probleme, die trotz Einbau von



1. Innenputz
2. Betondecke
3. Dampfdruckausgleich/Dampfsperre
4. Wärmedämmung
5. Abdichtung

Abb. 46 Nicht durchlüftetes Dach: Dämmung bei Erneuerung der Dachabdichtung



1. Innenputz
2. Betondecke
3. Dampfdruckausgleich/Dampfsperre
4. Vorhandene Wärmedämmung
5. Vorhandene Abdichtung
6. Zusätzliche Wärmedämmung
7. Kiesschicht/Plattenbelag

Abb. 47 Nicht durchlüftetes Dach: Dämmung auf vorhandener Dachabdichtung

Dampfbremsen durch Dampfdiffusion und Dampfkonzentration entstehen können, so gut wie nicht lösbar sind.

Metalldächer

Die bauphysikalischen Grundlagen von Dächern gelten auch für Dächer mit Metalleindeckung und Dächer, deren gesamte Konstruktion (inklusive Tragwerk) aus Metall besteht. Darüber hinaus gibt es weitere materialspezifische Eigenschaften:

- grundsätzlich muss für die Verwendbarkeit von Metalldächern (je nach Systemanbieter eine Mindestdachneigung) von 1,5° - 3° vorhanden sein,
- trotz hoher Festigkeit des Materials besitzt ein Metalldach ein relativ geringes Eigengewicht. Soll auf einem bestehenden Dach ein neues Metalldach errichtet werden, sind oft keine zusätzlichen statisch-konstruktiven Maßnahmen erforderlich. (Eine statische Prüfung ist dabei trotzdem unerlässlich),
- bei einer neu aufgetragenen Dämmung kann je nach Konstruktion die alte Dämmung in die Energieberechnung mit einbezogen werden. Geringere neue Dämmstoffstärken werden benötigt und die Kosten werden reduziert. Dabei muss allerdings sichergestellt sein, dass die vorhandene Dämmung nicht durch Feuchte-

schäden oder ähnliches an Qualität verloren hat,

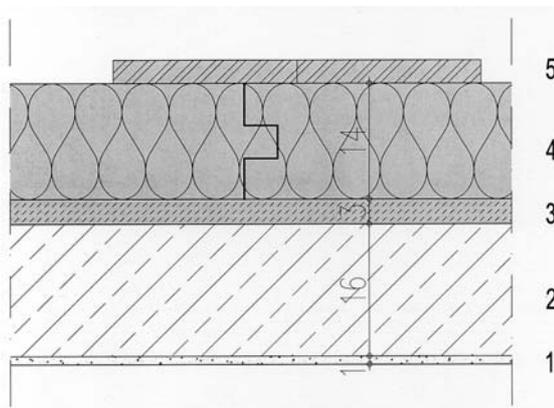
- Metalldächer sind wartungsarm und ermöglichen große Spannweiten ohne aufwendige Tragunterkonstruktionen. Auf Grund der industriellen Vorfertigung und der maschinellen Verarbeitung vor Ort ist der Montageaufwand relativ gering,
- die Ästhetik eines Gebäudes und seine Form kann durch ein Metalldach (oder auch Metallfassade) sehr stark verändert werden. Daher ist im Einzelfall der Einsatz solcher Systeme genau zu prüfen.
- genau wie bei anderen Dächern ist auch bei einem Metalldach der Aufbau von Solarzellen oder Dachbegrünung (extensiv) möglich,
- bei der Schadensbehebung durch innenliegende Dachrinnen, kann durch ein aufgeständertes Dach (als zweites Dach) die wasserführende Schicht über den Attikarand hinaus nach außen verlegt werden,
- Vorsicht beim Einsatz von Metall ist allerdings bei aggressiven Umwelteinflüssen geboten, wie es bei Seeluft oder in der Nähe von Industrieanlagen der Fall ist (aggressive Abluft). Hier werden aufwendige Beschichtungen notwendig, um die Dachhaut zu schützen.

3.3.3 Decken zu unausgebauten Dachräumen

Ist der Raum unterhalb eines Steildaches nicht ausgebaut, so ist die Decke zum darunterliegenden beheizten Geschoss das wärmeabgebende Bauteil. Gleiches gilt für so genannte Kehlbalkendecken, d. h. Decken innerhalb eines ausgebauten Dachgeschosses zu unausgebauten Spitzböden hin. Diese letztgenannten Decken in ausgebauten Dachgeschossen sind unter anderem gemeint in § 9 der **EnEV**, in der eine Nachrüstungsverpflichtung für „nicht begehbare aber zugängliche oberste Geschossdecken beheizter Räume“ den Gebäudeeigentümern auferlegt wird.

Diese Decken sind bis zum 31.12.2005 so zu dämmen, dass der Wärmedurchgangskoeffizient $0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$ nicht überschritten wird. Dieser Wärmedurchgangskoeffizient gilt auch für Decken zu begehbaren unausgebauten Dachgeschossen, wenn hier Dämmschichten eingebaut werden.

Die Dämmung der obersten Geschossdecke zum unausgebauten Dachraum hin ist dann von besonderer Bedeutung, wenn diese Decke, wie in den Gebäuden der 30er, 50er und 60er Jahren üblich, ausschließlich aus einer Stahlbetondecke mit unterseitigem Verputz und ggf. oberseitigem Estrich besteht, jedoch über keinerlei Dämmschichten verfügt. Eine derartige Konstruktion weist einen Wärmedurchgangskoeffizienten von über $3,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ auf.



1. Deckenputz
2. Betondecke
3. Verbundestrich
4. N+F-Wärmedämmplatten
5. Laufbohlen

Abb. 48 Decken zu unausgebauten Dachräumen

Zum Einen bedeutet dies, dass erhebliche **Transmissionswärmeverluste** aus der Nutzungseinheit unterhalb dieser Decke gegeben sind (ca. doppelt so hoch wie bei gleich großer Außenwandfläche) und zum Anderen, dass erhebliche Energieeinsparungen durch entsprechende Wärmedämmung (Reduzierung des **Wärmedurchgangskoeffizienten** auf $1/10$) möglich sind.

Hinzu kommt, dass im Normalfall diese Dämmmaßnahme konstruktiv unproblematisch und kostengünstig durchzuführen ist.

Bei gänzlich ungenutzten Dachräumen genügt das Auslegen des Fußbodens des Dachgeschosses mit Dämmplatten, z. B. Polystyrol-Hartschaumplatten mit Nut und Feder. Für den Schornsteinfeger oder zur Inspektion der Dachfläche können in einzelnen Bereichen Laufbohlen lose aufgelegt werden (siehe Abb. 48).

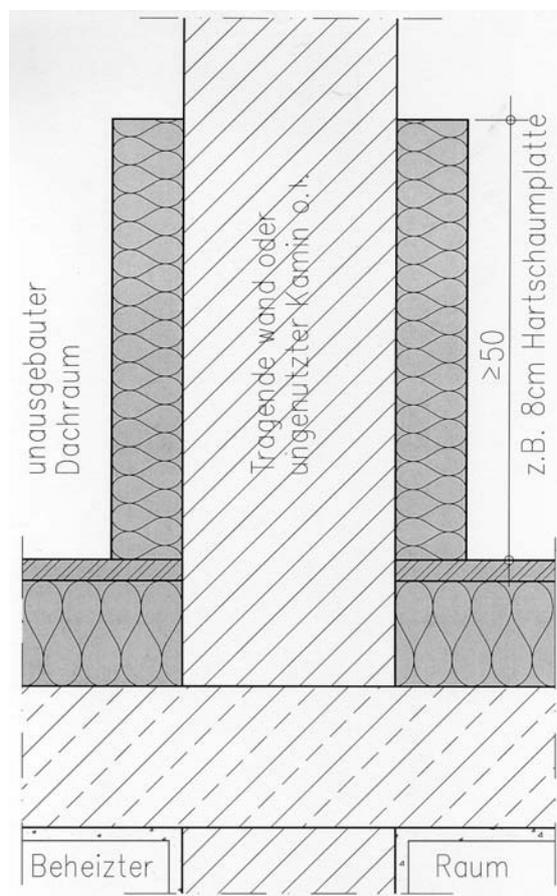


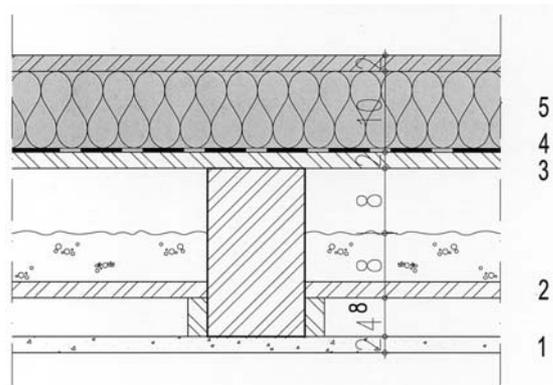
Abb. 49 Einbindende Bauteile im unausgebauten Dachraum

Bei begehbaren und genutzten Dachräumen, z. B. als Möbel- oder Aktenlager, bietet sich das Verlegen so genannter Dachboden-Verbundelemente an. Hierbei handelt es sich um Trockenestrich-Verbundplatten, bestehend aus Polystyrol-Hartschaum- oder Mineralfaserdämmung mit einer begehbaren Fußbodenplatte, z. B. aus Spanplatten, Gipsplatten oder Ähnlichem.

Der geforderte Wärmedurchgangskoeffizient von $\leq 0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$ ist mit normalen Dämmstoffen in einer Stärke von 12 cm erreichbar. Bei dieser Form der Dachbodendämmung sind zwei bauphysikalische Gegebenheiten zu beachten:

- massive, in die Decke einbindende Bauteile im Dachgeschoss, wie z. B. ungenutzte Kaminblöcke, Treppenhauswände, Giebelwände zu Nachbarhäusern hin usw. stellen ernstzunehmende **Wärmebrücken** dar. Da sich nach Wärmedämmung der Decke im unausgebauten Dachraum bei längeren Kälteperioden fast Außenlufttemperaturen einstellen, sind diese einbindenden Bauteile mindestens 50 cm hoch in den Dachraum hinein zu dämmen (**Abb. 49**),
- die Frage, ob unterhalb der Dämmung zur Vermeidung eventueller Kondensatschäden eine **Dampfbremse** erforderlich ist, ist umstritten. Bei dem ausschließlichen Auflegen von Dämmplatten ohne Bodenbelag ist dies sicherlich nicht erforderlich, da eventuelles Kondensat im ungenutzten Dachraum ablüftet. Bei der Verwendung von Trockenestrich-Verbundplatten mit Polystyrol-Hartschaumdämmung auf einer vorhandenen Betondecke kann ebenfalls auf eine Dampfbremse verzichtet werden, da die Gesamtkonstruktion einem derart hohen Diffusionswiderstand aufweist, dass es nicht zu wesentlichem Kondensatausfall unterhalb der Trockenestrichplatte kommen kann. Lediglich bei Holzbalkendecken zwischen dem obersten beheizten Geschoss und dem ungenutzten Dachraum und der dadurch bestehenden Möglichkeit erhöhter **Dampfdiffusion** oder auch Dampfkonvektion sollte unterhalb von Trockenestrich-Verbundplatten eine Dampfbremse eingebaut werden (siehe **Abb. 50**).

Die Anordnung der Wärmedämmschicht unterhalb der Decke zum unausgebauten Dachraum (Innen-dämmung) ist ähnlich wie bei Flachdächern, bauphysikalisch äußerst problematisch.



1. Deckenputz auf Spalierlattung
2. Blindboden mit Schlackeschüttung
3. Dielung
4. Dampfbremse
5. Trockenestrich-Verbundplatte

Abb. 50 Holzbalkendecke zum unausgebauten Dachraum

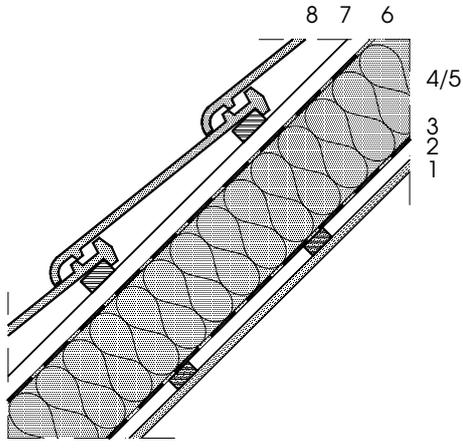
Die an allen Außen- und Innenwänden auftretenden Wärmebrücken sind auf Grund des sehr hohen Wärmedurchgangskoeffizienten üblicher Deckenkonstruktionen und der hierdurch entstehenden Kondensatproblematik kaum lösbar, so dass von einer derartigen Anordnung der Wärmedämmschicht abzuraten ist.

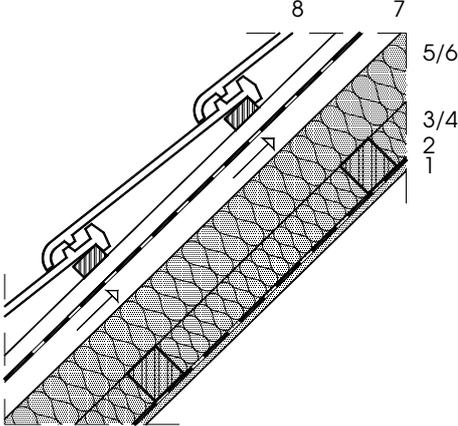
3.3.4 Bemessungsbeispiele

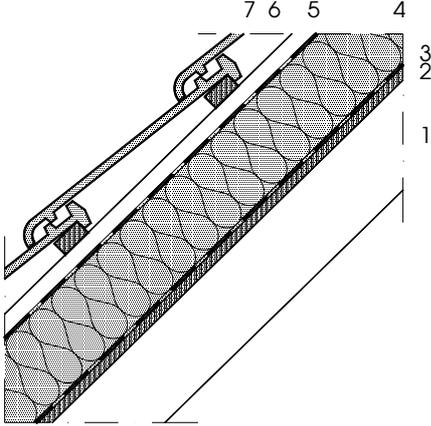
Nachfolgend werden für die beschriebenen und dargestellten Konstruktionslösungen zur Wärmedämmung von Dächern die Nachweise der höchstzulässigen Wärmedurchgangskoeffizienten U durchgeführt:

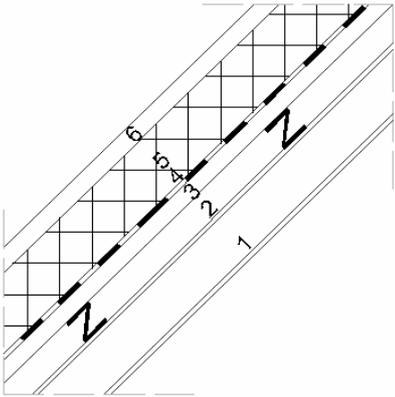
- es werden nur Bemessungsbeispiele aufgeführt, die die Anforderungen der EnEV, 3. Abschnitt, Anhang 3, Tabelle 1, Zeile 4a und 4b, für Gebäude mit normalen Innentemperaturen, erfüllen:
 - $U \leq 0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$ für Steildächer und Decken zu unausgebauten Dachräumen
 - $U \leq 0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$ für Flachdächer,
- für die Wärmedämmmaterialien werden je nach konstruktiver Notwendigkeit bzgl. einbaubarer Stärken die Wärmeleitgruppen 040 bzw. 035 angesetzt.

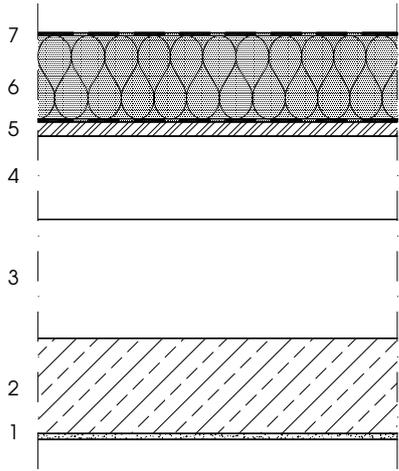
Die Ermittlung der Wärmedurchgangskoeffizienten erfolgt auf der Grundlage der hierfür geltenden Regelwerke (DIN EN ISO 6946: 1996-11 / DIN 4108-4, Tab. 7).

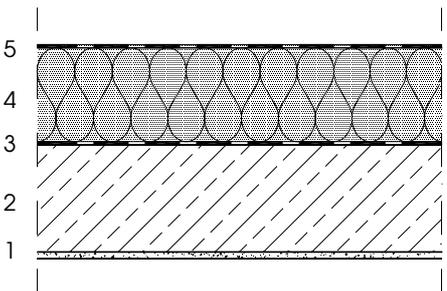
Bauteil	Steildach			
Maßnahme	Zwischen-Sparren-Dämmung			
				
	1 Gipskarton-/Gipsfaserplatte			
	2 Luftschicht			
	3 Dampfbremse			
	4 Wärmedämmung 87 %			
	5 Sparren 13 %			
	6 Unterspannbahn			
	7 Konterlattung/Dachlattung			
	8 Ziegeleindeckung			
Baustoffschichten von innen nach außen	Roh- dichte ρ kg/m ³	Schicht- dicke d m	Wärmeleit- fähigkeit λ W/m x K	d / λ m ² x K W
1 Gipskarton-/Gipsfaserplatte	900	0,0125	0,21	0,0595
2 Luftschicht		0,02		0,1400
3 Dampfbremse		--	--	--
4 Wärmedämmung a = 52 cm / 87 %		0,14	0,035	4,0000
5 Sparren b = 8 cm / 13 %		0,14	0,13	1,0769
6 Unterspannbahn		--	--	--
7 Konterlattung/Dachlattung		--	--	--
8 Ziegeleindeckung		--	--	--
Wärmeübergangswiderstand innen R_{si} in m ² x K/W				0,13
Wärmeübergangswiderstand außen R_{se} in m ² x K/W				0,04
Oberer Grenzwert des Wärmedurchgangswiderstandes R'_T in m ² x K/W $R'_T = 1 / (f_{WäDä} / R_{T WäDä} + f_{Sparren} / R_{T Sparren})$ $R'_T = 1 / (0,87 / 4,1995 + 0,13 / 1,4464) =$				3,3659
Unterer Grenzwert des Wärmedurchgangswiderstandes R''_T in m ² x K/W R_j der thermisch in homogenen Schicht: $R_j = 1 / (f_{WäDä} / R_{WäDä} + f_{Sparren} / R_{Sparren})$ $R_j = 1 / (0,87 / 4,0000 + 0,13 / 1,0769) = 2,9568$ $R''_T = R_{si} + R_1 + R_2 + R_3 + R_j + R_{se}$ $R''_T = 0,13 + 0,0595 + 0,1400 + 2,9568 + 0,04 =$				3,3263
Wärmedurchgangswiderstand R_T in m ² x K/W = $(R'_T + R''_T) / 2$				3,3461
Wärmedurchgangskoeffizient U in W/m ² x K				0,2989
Anforderung EnEV, 3. Abschnitt, Anhang 3, Tabelle 1, Zeile 4a				≤ 0,30

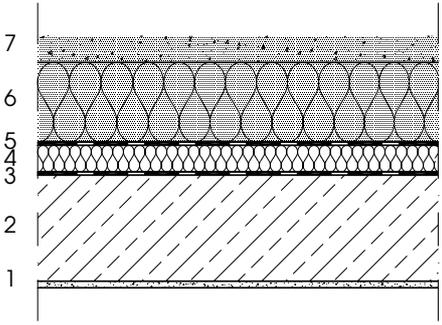
Bauteil		Steildach		
Maßnahme	Zwischen- u. Unter-Sparren-Dämmung			
		<ol style="list-style-type: none"> 1 Gipskarton-/Gipsfaserplatte 2 Dampfbremse 3 Wärmedämmung unter Sparren 4 Holzunterkonstruktion 5 Wärmedämmung zwischen Sparren 6 Sparren 7 Luftschicht 8 Dacheindeckung 		
Baustoffschichten von innen nach außen	Roh- dichte ρ kg/m ³	Schicht- dicke d m	Wärmeleit- fähigkeit λ W/m x K	d / λ $\frac{\text{m}^2 \times \text{K}}{\text{W}}$
1 Gipskarton-/Gipsfaserplatte	900	0,0125	0,21	0,0595
2 Dampfbremse	--	--	--	--
3 Wärmedämmung unter Sparren 89 %		0,06	0,035	1,7143
4 Holzunterkonstruktion 6/6 cm / 11 %		0,06	0,13	0,04615
5 WädÄ zwischen Sparren 87 %		0,08	0,035	2,2857
6 Sparren 8/12 cm / 13 %		0,12	0,13	0,9231
7 Luftschicht	--	--	--	--
8 Dacheindeckung	--	--	--	--
Wärmedurchlasswiderstand R in $\text{m}^2 \times \text{K/W}$				3,1883
Wärmeübergangswiderstand innen R_{si} in $\text{m}^2 \times \text{K/W}$				0,13
Wärmeübergangswiderstand außen R_{se} in $\text{m}^2 \times \text{K/W}$				0,04
Oberer Grenzwert des Wärmedurchgangswiderstandes R'_T in $\text{m}^2 \times \text{K/W}$ $R'_T = 1 / (f_{wDä} / R_{T wDä} + f_{Holz} / R_{T Holz})$ $R'_T = 1 / (0,88 / 4,2295 + 0,12 / 1,6141) =$				3,5411
Unterer Grenzwert des Wärmedurchgangswiderstandes R'_T in $\text{m}^2 \times \text{K/W}$ R_j der thermisch in homogenen Schicht: $R_j = 1 / (f_{wDä} / R_{wDä} + f_{Holz} / R_{Holz})$ $R_j = 1 / (0,88 / 4,000 + 0,12 / 1,3846) = 3,2605$ $R'_T = R_{si} + R_1 + R_2 + R_3 + R_j + R_{se}$ $R'_T = 0,13 + 0,0595 + 3,2605 + 0,04 =$				3,4900
Wärmedurchgangswiderstand R_T in $\text{m}^2 \times \text{K/W} = (R'_T + R'_T) / 2$				3,5156
Wärmedurchgangskoeffizient U in $\text{W/m}^2 \times \text{K}$				0,2844
Anforderung EnEV, 3. Abschnitt, Anhang 3, Tabelle 1, Zeile 4a				$\leq 0,30$

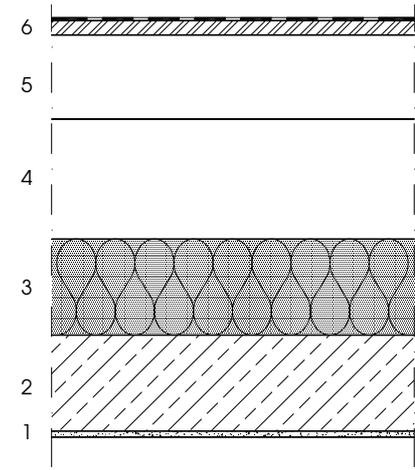
Bauteil		Steildach		
Maßnahme		Auf-Sparren-Dämmung		
		<p>1 Sparren 2 Flächenschalung/Spanplatte 3 Dampfbremse 4 Wärmedämmung 5 Unterspannbahn 6 Dachlattung 7 Ziegeleindeckung</p>		
Baustoffschichten von innen nach außen	Roh- dicke p kg/m ³	Schicht- dicke d m	Wärmeleit- fähigkeit λ W/m x K	d / λ $\frac{m^2 \times K}{W}$
1 Sparren 20 %		0,12	0,13	--
2 Flächenschalung/Spanplatte		0,025	0,13	0,1923
3 Dampfbremse	--	--	--	--
4 Wärmedämmung		0,12	0,04	3,000
5 Unterspannbahn	--	--	--	--
6 Konterlattung/Dachlattung	--	--	--	--
7 Ziegeleindeckung	--	--	--	--
Wärmedurchlasswiderstand R in m ² x K/W				3,1923
Wärmeübergangswiderstand innen R _{si} in m ² x K/W Wärmeübergangswiderstand außen R _{se} in m ² x K/W				0,13 0,04
Wärmedurchgangswiderstand R _T in m ² x K/W				3,3623
Wärmedurchgangskoeffizient U in W/m ² x K				0,2974
Anforderung EnEV, 3. Abschnitt, Anhang 3, Tabelle 1, Zeile 4a				≤ 0,30

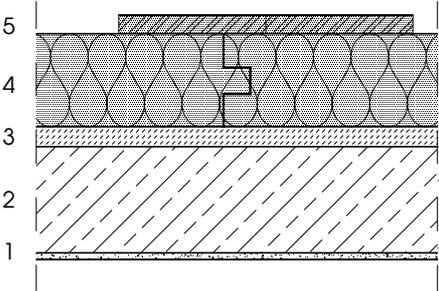
Bauteil		Steildach		
Maßnahme		Auf-Sparren-Dämmung		
		<ol style="list-style-type: none"> 1 Träger 2 Trägerprofil 3 Trapezblech 4 Dampfbremse 5 Wärmedämmung 6 Blecheindeckung 		
Baustoffschichten von innen nach außen	Roh- dichte ρ kg/m ³	Schicht- dicke d m	Wärmeleit- fähigkeit λ W/m x K	d / λ m ² x K W
1 Träger		--	--	--
2 Trägerprofil		--	--	--
3 Trapezblech		0,001	--	--
4 Dampfbremse		0,0004	--	--
5 Wärmedämmung		0,13	0,04	3,25
6 Blecheindeckung		0,001	--	--
Wärmedurchlasswiderstand R in m ² x K/W				3,25
Wärmeübergangswiderstand innen R_{si} in m ² x K/W				0,13
Wärmeübergangswiderstand außen R_{se} in m ² x K/W				0,04
Wärmedurchgangswiderstand R_T in m ² x K/W				3,42
Wärmedurchgangskoeffizient U in W/m ² x K				0,2924
Anforderung EnEV, 3. Abschnitt, Anhang 3, Tabelle 1, Zeile 4a				≤ 0,30

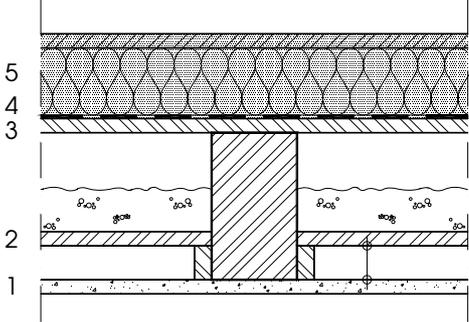
Bauteil		Flachdach		
Maßnahme		Umbau Kaldach zu Warmdach		
		<p>1 Innenputz 2 Beton-Unterdecke 3 Luftraum, unbelüftet 4 Tragkonstruktion Holz 5 Dampfsperre 6 Wärmedämmung 7 Abdichtung</p>		
Baustoffschichten von innen nach außen	Roh- dichte ρ kg/m ³	Schicht- dicke d m	Wärmeleit- fähigkeit λ W/m x K	d / λ m ² x K W
1 Innenputz	1400	0,01	0,70	0,0143
2 Beton-Unterdecke	2400	0,16	2,10	0,0762
3 Luftraum, unbelüftet				0,17
4 Holz-Schalung		0,02	0,13	0,1538
5 Dampfsperre		--	--	--
6 Wärmedämmung		0,14	0,04	3,5000
7 Abdichtung		--	--	--
Wärmedurchlasswiderstand R in m ² x K/W				3,9143
Wärmeübergangswiderstand innen R_{si} in m ² x K/W Wärmeübergangswiderstand außen R_{se} in m ² x K/W				0,13 0,04
Wärmedurchgangswiderstand R_T in m ² x K/W				4,0843
Wärmedurchgangskoeffizient U in W/m ² x K				0,2448
Anforderung EnEV, 3. Abschnitt, Anhang 3, Tabelle 1, Zeile 4b				≤ 0,25

Bauteil		Flachdach		
Maßnahme		Neuaufbau Abdichtung		
		<ul style="list-style-type: none"> 1 Innenputz 2 Betondecke 3 Dampfdruckausgleich/Dampfsperre 4 Wärmedämmung 5 Abdichtung 		
Baustoffschichten von innen nach außen	Roh- dichte ρ kg/m ³	Schicht- dicke d m	Wärmeleit- fähigkeit λ W/m x K	d / λ $\frac{\text{m}^2 \times \text{K}}{\text{W}}$
1 Innenputz	1400	0,01	0,70	0,0143
2 Betondecke	2400	0,16	2,10	0,0762
3 Dampfdruckausgleich/Dampfsperre	--	--	--	--
4 Wärmedämmung	--	0,14	0,035	4,0000
5 Abdichtung	--	--	--	--
Wärmedurchlasswiderstand R in $\text{m}^2 \times \text{K/W}$				4,0905
Wärmeübergangswiderstand innen R_{si} in $\text{m}^2 \times \text{K/W}$ Wärmeübergangswiderstand außen R_{se} in $\text{m}^2 \times \text{K/W}$				0,13 0,04
Wärmedurchgangswiderstand R_T in $\text{m}^2 \times \text{K/W}$				4,2605
Wärmedurchgangskoeffizient U in $\text{W/m}^2 \times \text{K}$				0,2347
Anforderung EnEV, 3. Abschnitt, Anhang 3, Tabelle 1, Zeile 4b				$\leq 0,25$

Bauteil		Flachdach		
Maßnahme		Umkehrdach		
		<p>1 Innenputz 2 Betondecke 3 Dampfdruckausgleich/ Dampfsperre 4 Wärmedämmung 5 Vorh. Abdichtung 6 Zusätzliche Wärmedämmung 7 Kies/Platten</p>		
Baustoffschichten von innen nach außen	Roh- dichte ρ kg/m ³	Schicht- dicke d m	Wärmeleit- fähigkeit λ W/m x K	d / λ m ² x K W
1 Innenputz	1400	0,01	0,70	0,0143
2 Betondecke	2400	0,16	2,10	0,0762
3 Dampfdruckausgleich / Dampfsperre		--	--	--
4 Vorh. Wärmedämmung		0,04	0,05	0,8000
5 Vorh. Abdichtung		--	--	--
6 Zusätzliche Wärmedämmung		0,12	0,035	3,4286
7 Kies / Platten		--	--	--
Wärmedurchlasswiderstand R in m ² x K/W				4,31915
Wärmeübergangswiderstand innen R_{si} in m ² x K/W Wärmeübergangswiderstand außen R_{se} in m ² x K/W				0,13 0,04
Wärmedurchgangswiderstand R_T in m ² x K/W				4,4891
Wärmedurchgangskoeffizient U in W/m ² x K				0,223
Anforderung EnEV, 3. Abschnitt, Anhang 3, Tabelle 1, Zeile 4b				≤ 0,25

Bauteil		Flachdach		
Maßnahme		Kaltdach-Dämmung		
		<p>1 Innenputz 2 Beton-Unterdecke 3 Dampfsperre 4 Wärmedämmung 5 Luftraum, be- und entlüftet 6 Abdichtung</p>		
Baustoffschichten von innen nach außen	Rohdichte ρ kg/m ³	Schichtdicke d m	Wärmeleitfähigkeit λ W/m x K	d / λ $\frac{\text{m}^2 \times \text{K}}{\text{W}}$
1 Innenputz	1400	0,01	0,70	0,0143
2 Beton-Unterdecke	2400	0,16	2,10	0,0762
3 Dampfsperre	--	--	--	--
4 Wärmedämmung	--	0,16	0,04	4,000
5 Luftraum, be- und entlüftet	--	--	--	--
6 Abdichtung	--	--	--	--
Wärmedurchlasswiderstand R in m ² x K/W				4,0905
Wärmeübergangswiderstand innen R_{si} in m ² x K/W Wärmeübergangswiderstand außen R_{se} in m ² x K/W				0,13 0,04
Wärmedurchgangswiderstand R_T in m ² x K/W				4,2605
Wärmedurchgangskoeffizient U in W/m ² x K				0,2347
Anforderung EnEV, 3. Abschnitt, Anhang 3, Tabelle 1, Zeile 4b				≤ 0,25

Bauteil		Decke zum unausgebauten Dachraum		
Maßnahme		N + F – Wärmedämmplatte ohne Bodenbelag		
		<p>1 Deckenputz 2 Betondecke 3 Verbundestrich 4 N + F Wärmedämmplatte 5 Laufbohlen</p>		
Baustoffschichten von innen nach außen	Roh- dichte ρ kg/m ³	Schicht- dicke d m	Wärmeleit- fähigkeit λ W/m x K	d / λ m ² x K W
1 Deckenputz	1400	0,01	0,70	0,0143
2 Betondecke	2400	0,16	2,10	0,0762
3 Verbundestrich	2000	0,03	1,40	0,0214
4 N + F Wärmedämmplatte		0,14	0,04	3,5000
5 Laufbohlen				
Wärmedurchlasswiderstand R in m ² x K/W				3,6119
Wärmeübergangswiderstand innen R_{si} in m ² x K/W Wärmeübergangswiderstand außen R_{se} in m ² x K/W				0,13 0,08
Wärmedurchgangswiderstand R_T in m ² x K/W				3,8219
Wärmedurchgangskoeffizient U in W/m ² x K				0,2616
Anforderung EnEV, 3. Abschnitt, Anhang 3, Tabelle 1, Zeile 4a				≤ 0,30

Bauteil		Decke zum unausgebauten Dachraum			
Maßnahme		Trockenestrich – Verbundplatte auf Holzbalkendecke			
		<p>1 Deckenputz auf Spalierl. 2 Blindboden + Schüttung 3 Dielung 4 Dampfbremse 5 Trockenestrich-Verbundplatte</p>			
Baustoffschichten von innen nach außen	Roh- dichte ρ kg/m ³	Schicht- dicke d m	Wärmeleit- fähigkeit λ W/m x K	d / λ m ² x K W	
1 Deckenputz		0,02	0,70	0,0286	
2 Blindboden + Schüttung		0,08	0,20		
3 Dielung		0,02	0,13	0,1538	
4 Dampfbremse		--	--	--	
5.1 Wärmedämmung		0,12	0,04	3,0000	
5.2 Spanplatte		0,02	0,13	0,1538	
Wärmedurchlasswiderstand R in m ² x K/W				3,3362	
Wärmeübergangswiderstand innen R_{si} in m ² x K/W Wärmeübergangswiderstand außen R_{se} in m ² x K/W				0,13 0,08	
Wärmedurchgangswiderstand R_T in m ² x K/W				3,5462	
Wärmedurchgangskoeffizient U in W/m ² x K				0,2820	
Anforderung EnEV, 3. Abschnitt, Anhang 3, Tabelle 1, Zeile 4a				≤ 0,30	

Anmerkung: Die inhomogene Schicht (Tragbalken/Blindboden + Schüttung) bleibt auf-

grund unterschiedlicher Ausführungen, Stärken usw. unberücksichtigt.

3.4 Bauteile gegen unbeheizte Räume

Bauteile, die beheizte Räume von unbeheizten Räumen trennen, können sein:

- Kellerdecken/Decken zu Tiefgaragen usw.,
- Wände zu unbeheizten Räumen, wie z. B. Treppenhäusern, unbeheizten Dachräumen, unbeheizten Kellerräumen, Garagen, usw.

Die **Transmissionswärmeverluste** durch diese Bauteile können recht unterschiedlich sein, da neben den unterschiedlichen **Wärmedurchgangskoeffizienten** der vorhandenen Konstruktionen die Temperaturdifferenzen zwischen dem beheizten und dem unbeheizten Raum in erheblichem Umfang differieren können. So geht man z. B. davon aus, dass in unbeheizten Treppenhäusern Innentemperaturen von $+5^{\circ}\text{C}$ bei -10°C Außentemperatur nicht unterschritten werden, was eine Temperaturdifferenz von 15 Grad zwischen beheiztem und unbeheiztem Raum ergibt.

Demgegenüber können in unausgebauten Dachräumen oder auch in Garagen nahezu Außentemperaturen entstehen.

Während im für den Neubau anzuwendenden Bilanzverfahren der EnEV diesen unterschiedlichen Temperaturdifferenzen durch bestimmte Faktoren Rechnung getragen wird, berücksichtigt **Anhang 3 der EnEV** bezüglich bestehender Gebäude dies nicht; der in Tabelle 1, Zeile 5a geforderte maximale Wärmedurchgangskoeffizient für diese Bauteile wird unabhängig von der Temperaturdifferenz mit $\leq 0,40\text{ W/m}^2\text{K}$ vorgegeben.

Wie bei allen Wärmedämmmaßnahmen ist auch bei Bauteilen zu unbeheizten Räumen hin die Anordnung der Wärmedämmung auf der kalten Seite, d. h. im unbeheizten Raum, die beste Lösung. Im Gegensatz zu Bauteilen gegen Außenluft ist jedoch zumindest in den Fällen mit reduzierter Temperaturdifferenz, z. B. zu Kellern und unbeheizten Treppenhäusern, eine Innendämmung, d. h. die Anordnung der Wärmedämmschicht im beheizten Raum möglich, da bestimmte bauphysikalische Probleme bezüglich Wärmebrücken, Dampfdiffusion und Kondensatausfall usw. in diesen Fällen in wesentlich geringerem Ausmaß auftreten.

Bauteile zu unbeheizten Räumen können in vielfältiger Form gegeben sein; einige häufig vorkommende Fälle werden nachfolgend behandelt.

3.4.1 Kellerdecken

Kellerdecken sind nach EnEV dann zu dämmen, wenn Fußbodenaufbauten auf der beheizten Seite aufgebaut oder erneuert werden, oder wenn Deckenbekleidungen auf der Kaltseite angebracht werden. Bezüglich der Fußbodenaufbauten gelten die Anforderungen als erfüllt, wenn ein Fußbodenaufbau mit der ohne Anpassung der Türhöhen höchstmöglichen Dämmschichtdicke ausgeführt wird.

Dies bedeutet letztendlich, dass in den seltensten Fällen die EnEV eine der Maßnahmen auslöst; es ist vielmehr fast grundsätzlich eine freiwillige Entscheidung des Bauherrn aus Gründen der Energieeinsparung Kellerdecken zu dämmen.

Die Wärmedämmung der Kellerdecken im Zusammenhang mit Fußbodenaufbauten im Erdgeschoss ist auf Grund erforderlicher Aufbauhöhen in dem angestrebten Umfang nicht möglich, da dies zumindest bei allen nachgründerzeitlichen Altbauten zu Problemen mit den Türhöhen, den Zugängen vom Treppenhaus aus usw. führt. Demzufolge bietet sich im Wesentlichen nur die unterseitige Anbringung einer Wärmedämmschicht im Keller an.

Die einfachste Ausführungsart besteht im Anbringen von Polystyrol-Hartschaumplatten oder auch Mineral-Schaumplatten auf der Deckenunterseite (siehe Abb. 51). Zu beachten hierbei ist, dass Polystyrol-Hartschaumplatten lediglich die Baustoffklasse B1 (schwer entflammbar) aufweisen und somit in bauordnungsrechtlich definierten Fluchtwegen (was in Kellergeschossen jedoch relativ selten ist) nicht verwendet werden dürfen. In diesen

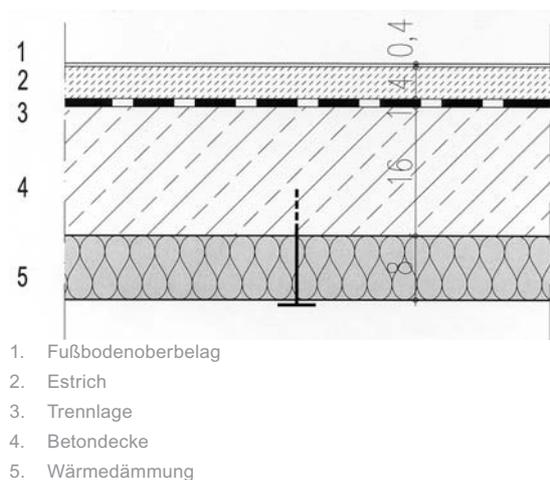


Abb. 51 Kellerdecken

Bereichen sollten Verbundplatten, bestehend aus Mineralfaserdämmung mit Gipskarton-Feuerschutzplatten-Beklankung verwandt werden. Derartige Verbundplatten sind auch dann zu empfehlen, wenn eine stoßfeste und ggf. streichbare Deckenuntersicht gewünscht wird.

Eine lückenlose Dämmung der Kellerdecke ist in den meisten Fällen nicht möglich, da unterhalb der Decken Rohrleitungen, Elektroinstallationen und dergleichen verlegt sind.

Hier ist im Einzelfall zu entscheiden, wie in den jeweiligen Bereichen vorgegangen wird, wobei jedoch wichtig ist, dass die **Wärmebrücken** auf Grund der geringen Temperaturdifferenz von maximal 12-15° C ggf. in Kauf genommen werden können. Das gleiche betrifft einbindende Bauteile wie Innenwände im Keller; auch hier ist eine zusätzliche Dämmung nicht erforderlich.

Wird die Kellerdeckendämmung in Zusammenhang mit einer Gesamtmodernisierung durchgeführt, so sollte sie nach Ausbau der alten Installationen und vor Einbau neuer Leitungen und Kabel erfolgen; hierauf ist bei der Bauablaufplanung zu achten.

3.4.2 Wände zu unbeheizten Räumen

Unbeheizte größere Treppenhäuser sind in öffentlichen Gebäuden eher eine Seltenheit. Häufiger auftretende Fälle sind Wände zwischen ausgebauten und beheizten Keller- und Dachgeschossen und unausgebauten Bereichen in diesen Geschossen. Insbesondere bei Wänden zu unausgebauten Dachräumen sollte eine Wärmedämmung auf jeden Fall erfolgen, da in diesem Fall große Temperaturdifferenzen zwischen beheiztem und unbeheiztem Raum entstehen können.

Die einfachste Lösung in allen Fällen ist das Aufbringen von Polystyrol-Hartschaumplatten auf der kalten, unausgebauten Seite (siehe Abb. 52). Eine etwas höherwertige Konstruktionslösung ist die Verwendung von Gipskarton-Verbundplatten, bestehend aus Wärmedämmung und Gipskartonplatte (siehe Abb. 53).

In den seltenen Fällen der Dämmung von Treppenhäuserwänden sind derartige Verbundplatten eben-

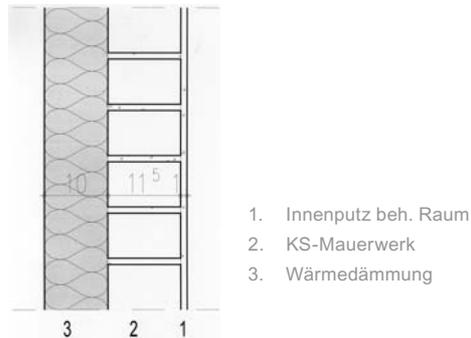


Abb. 52 Wände zu unbeheizten Räumen mit Polystyrol-Hartschaumplatten

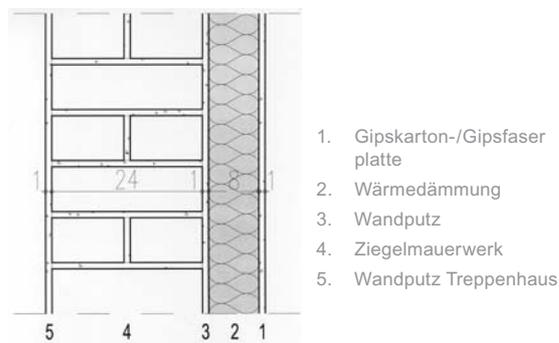


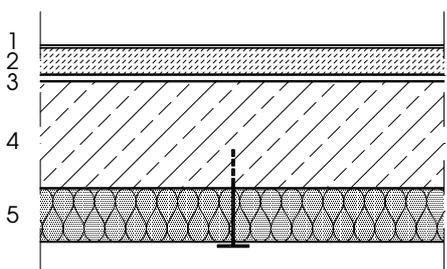
Abb. 53 Wände zu unbeheizten Räumen mit Gipskarton-Verbundplatte

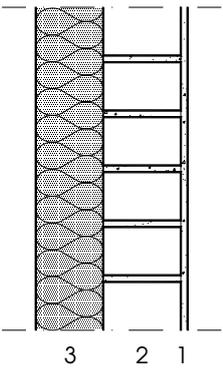
falls verwendbar, wobei jedoch das Anbringen auf der kalten Seite, d. h. im Treppenhaus üblicherweise nicht möglich ist (Reduzierung von Laufbreiten, Anschluss an Treppenläufe usw.).

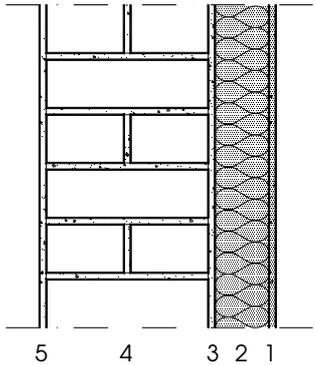
Demzufolge ist bei Treppenhäusern eine Innendämmung auf der beheizten Seite die einzige Möglichkeit. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass Folgearbeiten im Bereich der Elektroinstallation, der Anpassung von Türzargen, der Fußbodenbeläge und der Oberflächenrenovierung erforderlich werden sowie die Funktionen der Räume kurzfristig beeinträchtigt werden. Auf den Einbau von Dampfsperren kann auf Grund der relativ geringen Temperaturdifferenzen ebenso verzichtet werden wie auf die Mitdämmung einbindender Wände und Decken.

3.4.3 Bemessungsbeispiele

Nachfolgend werden für die beschriebenen und dargestellten Konstruktionslösungen zur Wärmedämmung von Bauteilen zu unbeheizten Räumen hin die Nachweise des nach **EnEV** höchstzulässigen Wärmedurchgangskoeffizienten $U \leq 0,40 \text{ W/m}^2\text{K}$ (Anhang 3, Tabelle 1, Zeile 5a) durchgeführt.

Bauteil		Kellerdecke		
Maßnahme		Unterseitige Wärmedämmung		
		<p>1 Fußbodenoberbelag</p> <p>2 Estrich</p> <p>3 Trennlage, z. B. Korkschüttung</p> <p>4 Betondecke</p> <p>5 Wärmedämmung</p>		
Baustoffschichten von innen nach außen	Roh- dichte ρ kg/m^3	Schicht- dicke d m	Wärmeleit- fähigkeit λ $\text{W/m} \times \text{K}$	d / λ $\frac{\text{m}^2 \times \text{K}}{\text{W}}$
1 Fußbodenoberbelag		0,003	0,23	0,0130
2 Estrich	2000	0,04	1,40	0,0286
3 Trennlage, z. B. Korkschüttung		0,01	0,05	0,2000
4 Betondecke	2400	0,16	2,10	0,0762
5 Wärmedämmung		0,08	0,04	2,0000
Wärmedurchlasswiderstand R in $\text{m}^2 \times \text{K/W}$				2,3178
Wärmeübergangswiderstand innen R_{si} in $\text{m}^2 \times \text{K/W}$ Wärmeübergangswiderstand außen R_{se} in $\text{m}^2 \times \text{K/W}$				0,17 0,17
Wärmedurchgangswiderstand R_T in $\text{m}^2 \times \text{K/W}$				2,6578
Wärmedurchgangskoeffizient U in $\text{W/m}^2 \times \text{K}$				0,3762
Anforderung EnEV, 3. Abschnitt, Anhang 3, Tabelle 1, Zeile 5a				$\leq 0,40$

Bauteil		Wände zu unbeheizten Räumen		
Maßnahme		Keller- oder Dachgeschoss		
 <p>1 Innenputz beheizter Raum 2 KS-Mauerwerk 3 Wärmedämmung</p>				
Baustoffschichten von innen nach außen	Roh- dichte ρ kg/m ³	Schicht- dicke d m	Wärmeleit- fähigkeit λ W/m x K	d / λ m ² x K W
1 Innenputz beheizter Raum	1400	0,02	0,70	0,0286
2 KS-Mauerwerk	1600	0,115	0,79	0,1456
3 Wärmedämmung		0,10	0,04	2,5000
Wärmedurchlasswiderstand R in m ² x K/W				2,6742
Wärmeübergangswiderstand innen R_{si} in m ² x K/W Wärmeübergangswiderstand außen R_{se} in m ² x K/W				0,13 0,13
Wärmedurchgangswiderstand R_T in m ² x K/W				2,9342
Wärmedurchgangskoeffizient U in W/m ² x K				0,3408
Anforderung EnEV, 3. Abschnitt, Anhang 3, Tabelle 1, Zeile 5a				≤ 0,40

Bauteil		Wände zu unbeheizten Räumen		
Maßnahme		Treppenhaus		
		<p>1 Gipskarton-/Gipsfaserplatte 2 Wärmedämmung 3 Wandputz (Gips/Kalk) 4 Ziegelmauerwerk 5 Wandputz Treppenhaus</p>		
Baustoffschichten von innen nach außen	Roh- dichte ρ kg/m ³	Schicht- dicke d m	Wärmeleit- fähigkeit λ W/m x K	d / λ m ² x K W
1 Gipskarton-/Gipsfaserplatte	900	0,0125	0,21	0,0595
2 Wärmedämmung		0,08	0,04	2,0000
3 Wandputz (Gips/Kalk)	1400	0,01	0,70	0,0143
4 Ziegelmauerwerk	1800	0,24	0,81	0,2963
5 Wandputz Treppenhaus	1400	0,01	0,70	0,0143
Wärmedurchlasswiderstand R in m ² x K/W				2,3844
Wärmeübergangswiderstand innen R_{si} in m ² x K/W Wärmeübergangswiderstand außen R_{se} in m ² x K/W				0,13 0,13
Wärmedurchgangswiderstand R_T in m ² x K/W				2,6444
Wärmedurchgangskoeffizient U in W/m ² x K				0,3781
Anforderung EnEV, 3. Abschnitt, Anhang 3, Tabelle 1, Zeile 4a				≤ 0,40

3.5 Bauteile gegen Erdreich

Wärmeabgebende Bauteile gegen Erdreich können Kelleraußenwände und Kellersohlen von höherwertig genutzten und somit beheizten Kellergeschossen oder auch erdgeschossige Bauwerksohlen nicht unterkellerten Gebäudeteile sein.

3.5.1 Kelleraußenwände

Eine höherwertige d. h. beheizte Nutzung eines Kellergeschosses erfordert neben der Wärmedämmung der wärmeabgebenden Außenwände eine konsequente Abdichtung dieser Wände gegen eindringende Feuchtigkeit aus dem Erdreich. Ist eine derartige Abdichtung vorhanden, was üblicherweise erst bei Gebäuden, die nach 1960 errichtet wurden, der Fall ist, so kann die Wärmedämmung im Zusammenhang mit dem Ausbau auf der Innenseite der Kelleraußenwände, z. B. mittels Gipskartonverbundplatten erfolgen (siehe Abb. 54).



Abb. 54 Kelleraußenwand mit innenseitiger Gipskarton-Verbundplatte

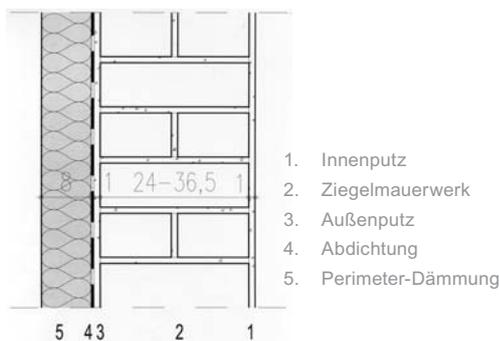


Abb. 55 Kelleraußenwand mit außenliegender Perimeterdämmung

Ist keine funktionierende äußere Abdichtung der Kellerwände vorhanden, ist diese im Zusammenhang mit einem höherwertigen Ausbau des Kellergeschosses herzustellen. Hierzu ist das äußere Abgraben der Kelleraußenwände erforderlich. Im Zusammenhang mit der Abdichtung ist eine äußere Wärmedämmung in Form einer so genannten Perimeter-Dämmung aufzubringen. Die hierfür zu verwendenden Materialien sind feuchtigkeitsunempfindlich und schützen zudem die Abdichtung gegen Beschädigungen bei der Wiederverfüllung bzw. durch Erddruck (siehe Abb. 55).

Äußere Perimeter-Dämmungen sind lückenlos an die Wärmedämmung der Außenwände oberhalb des Erdreiches anzuschließen (siehe 3.1: Außenwände).

3.5.2 Bauwerksohle

Bauwerksohlen in Kellergeschossen bzw. nicht unterkellerten Gebäudebereichen müssen bezüglich eines höherwertigen Ausbaus konsequent abgedichtet sein. Dies betrifft sowohl die Abdichtung gegen Feuchte als auch eine Abdichtung gegen Feuchtigkeits-Diffusion aus dem Erdreich. Bei Herstellung dieser Abdichtung im Zusammenhang mit dem Ausbau ist daher auf die Verwendung dampfdichter Abdichtungsbahnen zu achten (siehe Abb. 56).

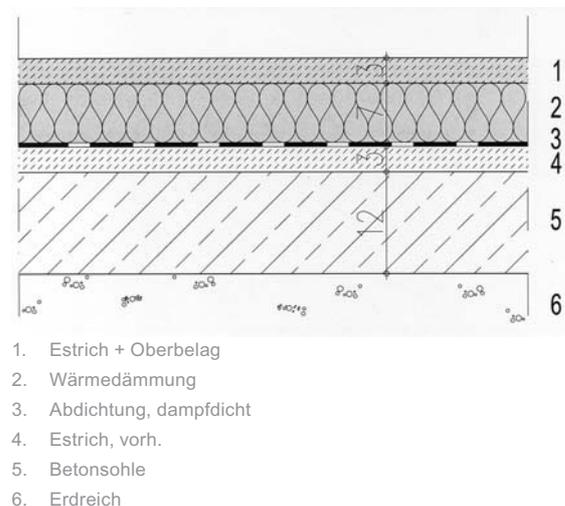


Abb. 56 Bauwerksohle

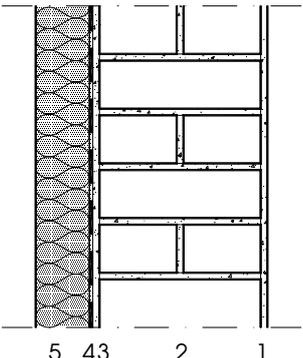
Die Wärmedämmung von Bauwerkssohlen kann nur auf der warmen Seite, d. h. in Form von Innendämmungen im Zusammenhang mit neuen Fußbodenaufbauten erfolgen. Auf Grund der relativ geringen Temperaturdifferenzen von maximal 10-15° C, die zur Gebäudemitte hin noch geringer werden, können bauphysikalische Aspekte wie [Wärmebrücken](#) durch einbindende Innen- und Außenwände, Dampfdiffusion und Kondensatausfall unseres Erachtens vernachlässigt werden.

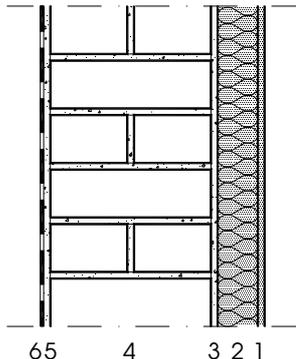
Unterhalb von Fußbodenheizungen sollte ein Wärmedurchgangskoeffizient von $\leq 0,30 - 0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$ nicht überschritten werden (Obwohl die ENEC im Gegensatz zur früheren WSVÖ diese Anforderungen nicht mehr enthält).

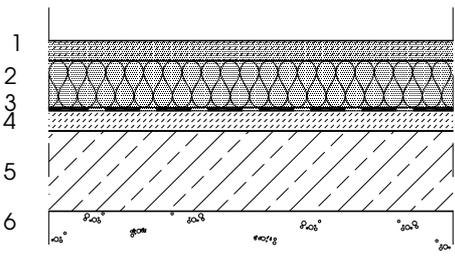
Ein neuer Fußbodenaufbau inkl. Wärmedämmung mit Erfüllung der EnEV-Anforderung von $U \leq 0,50 \text{ W/m}^2\text{K}$ erfordert eine Gesamtstärke von ca. 10 cm. Dies führt in Kellergeschossen häufig zu Problemen mit der Raumhöhe, die nur durch eine aufwendige Tieferlegung der Kellersohle lösbar sind. Desweiteren reduzieren sich die Türhöhen, so dass sowohl in Kellergeschossen als auch in nicht unterkellerten Erdgeschossen in fast allen Fällen ein Höherlegen der Türstürze erforderlich wird.

3.5.3 Bemessungsbeispiele

Nachfolgend werden für die beschriebenen und dargestellten Konstruktionslösungen zur Wärmedämmung von Bauteilen gegen Erdreich Nachweise des nach EnEV höchstzulässigen Wärmedurchgangskoeffizienten $U \leq 0,50 \text{ W/m}^2\text{K}$ (Anhang 3 Tabelle 1, Zeile 5b) durchgeführt.

Bauteil		Kelleraussenwand		
Maßnahme		Außendämmung		
 <p>1 Innenputz 2 Ziegelmauerwerk 3 Außenputz 4 Abdichtung 5 Perimeterdämmung</p>				
Baustoffschichten von innen nach außen	Roh- dichte ρ kg/m^3	Schicht- dicke d m	Wärmeleit- fähigkeit λ $\text{W/m} \times \text{K}$	d / λ $\frac{\text{m}^2 \times \text{K}}{\text{W}}$
1 Innenputz	1400	0,01	0,70	0,0143
2 Ziegelmauerwerk	1800	0,24	0,81	0,2963
3 Außenputz	2000	0,01	1,40	0,0071
4 Abdichtung		--	--	--
5 Perimeterdämmung		0,08	0,05	1,6000
Wärmedurchlasswiderstand R in $\text{m}^2 \times \text{K/W}$				1,9177
Wärmeübergangswiderstand innen R_{si} in $\text{m}^2 \times \text{K/W}$ Wärmeübergangswiderstand außen R_{se} in $\text{m}^2 \times \text{K/W}$				0,13 --
Wärmedurchgangswiderstand R_T in $\text{m}^2 \times \text{K/W}$				2,0477
Wärmedurchgangskoeffizient U in $\text{W/m}^2 \times \text{K}$				0,4884
Anforderung EnEV, 3. Abschnitt, Anhang 3, Tabelle 1, Zeile 5b				$\leq 0,50$

Bauteil		Kelleraußenwand		
Maßnahme		Innendämmung		
		<ol style="list-style-type: none"> 1 Gipskarton-/Gipsfaserplatte 2 Wärmedämmung 3 Innenputz vorh. 4 Ziegelmauerwerk 5 Außenputz 6 Abdichtung 		
Baustoffschichten von innen nach außen	Rohdichte ρ kg/m ³	Schichtdicke d m	Wärmeleitfähigkeit λ W/m x K	d / λ m ² x K / W
1 Gipskarton-/Gipsfaserplatte	900	0,0125	0,21	0,0595
2 Wärmedämmung		0,06	0,04	1,500
3 Innenputz vorh.	1800	0,01	0,87	0,0143
4 Ziegelmauerwerk	1800	0,24	0,81	0,2963
5 Außenputz	2000	0,01	1,40	0,0071
6 Abdichtung		--	--	--
Wärmedurchlasswiderstand R in m ² x K/W				1,8772
Wärmeübergangswiderstand innen R_{si} in m ² x K/W Wärmeübergangswiderstand außen R_{se} in m ² x K/W				0,13 --
Wärmedurchgangswiderstand R_T in m ² x K/W				2,0072
Wärmedurchgangskoeffizient U in W/m ² x K				0,4982
Anforderung EnEV, 3. Abschnitt, Anhang 3, Tabelle 1, Zeile 4a				≤ 0,50

Bauteil	Bauwerksohle			
Maßnahme	Fußbodenaufbau			
	<p>1 Estrich + Oberbelag, z. B. Gussasphalt-Estrich</p> <p>2 Wärmedämmung</p> <p>3 Abdichtung</p> <p>4 Estrich, vorh.</p> <p>5 Betonsohle</p> <p>6 kapillARBrechende Schicht</p>			
Baustoffschichten von innen nach außen	Rohdichte ρ kg/m ³	Schichtdicke d m	Wärmeleitfähigkeit λ W/m x K	d / λ m ² x K / W
1 Estrich + Oberbelag, z. B. Gussasphalt-Estrich	2300	0,03	0,90	0,0333
2 Wärmedämmung		0,07	0,04	1,7500
3 Abdichtung		--	--	--
4 Estrich, vorh.	2000	0,03	1,40	0,0214
5 Betonsohle	2400	0,12	2,10	0,0571
Wärmedurchlasswiderstand R in m ² x K/W				1,8618
Wärmeübergangswiderstand innen R_{si} in m ² x K/W Wärmeübergangswiderstand außen R_{se} in m ² x K/W				0,17 --
Wärmedurchgangswiderstand R_T in m ² x K/W				2,0318
Wärmedurchgangskoeffizient U in W/m ² x K				0,4922
Anforderung EnEV, 3. Abschnitt, Anhang 3, Tabelle 1, Zeile 5b				≤ 0,50

4. Anlagentechnische Maßnahmen

4.1. Einführung

Die Reduzierung des Energieverbrauches für Heizung, Lüftung, Klimatisierung und Beleuchtung von Gebäuden ist ein wichtiger Beitrag zur Umweltentlastung und zum Klimaschutz. Große Einsparpotenziale ergeben sich besonders bei der Sanierung von Altbauten und deren technischen Anlagen.

Bei jeder Sanierung/Modernisierung sollten die vorhandenen Energiesparpotenziale auch genutzt werden. Zu erschließen sind sie über ein abgestimmtes Energiekonzept für die energetische Optimierung, die bedarfsgerechte Auslegung der HLK-Systeme und eine moderne Automation (Steuerung und Regelung) der technischen Anlagen.

Dabei ist eine differenzierte Betrachtungsweise des Nutzerverhaltens/Nutzungsarten, der verschiedenen Gebäudetypen und des Energiebedarfs für die Versorgung der Gebäude unbedingt erforderlich. Der Energiebedarf von Gebäuden setzt sich aus Heizwärme, Lüftung, Warmwasser, Kälte und Elektroenergiebedarf zusammen.

Im Mittelpunkt der Sanierungsmaßnahmen stehen also technische Systeme und Anlagen zur optimalen Deckung des Gebäudeenergiebedarfs. Dazu zählen energieeffiziente und angepasste Heizungs-, Klima- und Lüftungssysteme sowie nutzungs- und bedarfsorientierte Regelsysteme, um den optimierten Betrieb der technischen Anlagen zu gewährleisten. Diese Forderungen sind auch in der Energieeinsparverordnung formuliert.

4.2. Einsparpotenziale

Im öffentlich/gewerblichen Gebäudebestand trägt der Wärmeverbrauch mit etwa 65 % und der Stromverbrauch mit ca. 35 % zum Energieverbrauch bei.

Bei Bürogebäuden verteilt sich der **Primärenergieverbrauch** gemäß Abb. 57. Dabei ist der Stromverbrauch in den einzelnen Gewerken bereits enthalten.

Die Modernisierung der technischen Anlagen kann hier zu erheblichen Einsparungen führen, die 15 bis 25 % der o. g. Verbrauchsanteile betragen. Die Schwerpunkte der Modernisierungsmaßnahmen sollten in einem abgestimmten und gewerkeübergreifenden Energiekonzept erarbeitet und formuliert werden.

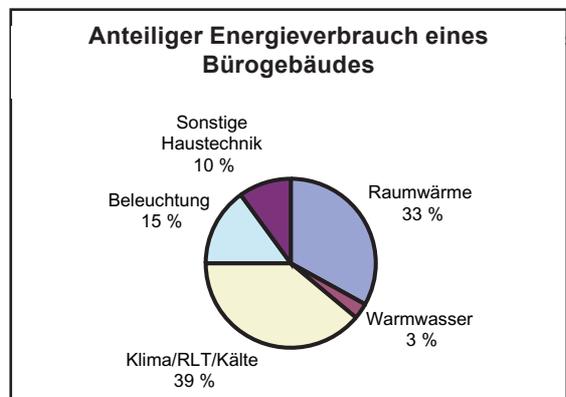


Abb. 57 Primärenergieverbrauch bei Bürogebäuden
(Quelle: BINE Informationsdienst, Projektinfo 8/01))

4.3. Auswirkungen der Energieeinsparverordnung auf anlagentechnische Maßnahmen im Bestand

Die EnEV im Bestand

Die folgenden Ausführungen erläutern die Vorschriften der EnEV für bestehende Gebäude unter den Aspekten:

- Nachrüstpflichten für Heizanlagen,
- Energiebedarfsausweis.

Nachrüstpflichten für Heizanlagen

Gas- oder Ölkessel, die vor dem 1. Oktober 1978 eingebaut oder aufgestellt wurden, müssen bis zum 31.12.2006 außer Betrieb genommen werden.

Wurde der Brenner nach dem 01.11.1996 erneuert (zu diesem Termin ist die Novelle der Bundesimmissionschutzverordnung (BImSchV) mit neuen Grenzwerten in Kraft getreten), verlängert sich die Frist bis 31.12.2008.

Die Anlage kann in Betrieb bleiben, wenn:

- weder mit Gas noch mit Öl geheizt wird (z. B. Holz, Kohle),
- ein Niedertemperatur- oder Brennwertkessel eingebaut ist,
- die Nennwärmeleistung der Anlage kleiner als 4 kW oder größer als 400 kW ist,
- die Anlage ausschließlich zur Warmwasserbereitung dient,
- es sich um ein selbst bewohntes Ein- oder Zweifamilienhaus handelt oder
- die Anlage nach dem 01.11.1998 eingebaut wurde.

Beim Einbau neuer Heizungsanlagen ist laut EnEV zu beachten, dass:

- in der Regel nur Niedrigenergie- bzw. Brennwertkessel zugelassen sind,
- eine CE-Kennzeichnung des Kessels erforderlich ist,
- eine außentemperaturgeführte und zeitgesteuerte Regelung der elektrischen Antriebe (Umwälzpumpen von Heizkreisen, Zirkulationspumpen in Warmwasseranlagen) eingesetzt wird,
- raumweise selbsttätige Temperaturregelungen (Thermostatventile) eingesetzt werden,
- die Dämmung von Heiz- und Warmwasserleitungen und Armaturen durchgeführt wird.

Grenzwerte für Abgasverluste

Die Grenzwerte für Abgasverluste der BImSchV gelten weiterhin. In einem Stufenplan für Altanlagen (vor 01.11.96) ist festgelegt, bis zu welchem Zeitpunkt sie einzuhalten sind. Die Werte werden vom Schornsteinfeger überprüft (siehe Tab. 7). Seit dem 1. Januar 1998 müssen neue Heizungsanlagen folgende Abgasverluste einhalten:

- 11 % von 4 - 25 kW Nennwärmeleistung,
- 10 % von 25 - 50 kW Nennwärmeleistung,
- 9 % über 50 kW Nennwärmeleistung.

Dämmung

Heizanlagen einschließlich ungedämmte, frei zugängliche Leitungen (Warmwasser sowie Heizung) und Armaturen in nicht beheizten Räumen müssen bis 31.12.2006 gedämmt werden (siehe Tab. 8).

Der Energiebedarfsausweis

In einem Energiebedarfsausweis sind wichtige Eckdaten der bauphysikalischen und anlagentechnischen Qualität eines Gebäudes festgehalten. Für Neubauten ist er verpflichtend. Für bestehende Gebäude muss er ausgestellt werden, wenn das beheizte Volumen um mehr als die Hälfte erweitert wird oder wenn innerhalb eines Jahres mindestens drei Außenbauteile sowie die Heizungsanlage wärmetechnisch modernisiert werden. Allerdings ist es für den Eigentümer bei umfassenden Modernisierungen empfehlenswert, in einem Energiebedarfsausweis die (neue) energetische Qualität des Gebäudes darzulegen.

Zeitpunkt, ab dem von bestehenden Heizungsanlagen folgende Grenzwerte einzuhalten sind:

Nennwärmeleistung [kW]	Abgasverlust			
	bis 10 %	11 %	12 %	13 %
über 4 bis 25	01.11.2004	01.11.2004	01.11.2004	01.11.2002
über 25 bis 50	01.11.2004	01.11.2004	01.11.2002	01.11.2001
über 50 bis 100	01.11.2004	01.11.2002	01.11.2001	01.11.2001
über 100	01.11.2004	01.11.2002	01.11.1999	01.11.1999

Tab. 7 Stufenplan für Alt-Anlagen

Innendurchmesser der Leitungen	< 22 mm	22 - 35 mm	35 - 100 mm	> 100 mm	im Fußbodenaufbau
Mindestdicke der Dämmung (WLG 035)	20 mm	30 mm	= Innendurchmesser	100 mm	6 mm

Tab. 8 Vorgegebene Dämmstärken

4.4 Sanierungs- und Modernisierungsmaßnahmen

4.4.1 Heizung

Bei bestehenden Anlagen ist darauf zu achten, dass regelmäßige Wartungen durchgeführt werden. Nur eine kontinuierliche Überwachung und Optimierung einer Heizanlage führt zu hohen Wirkungsgraden und damit zu Energie- und Kostenreduzierung.

In vielen Gebäuden sind die Anlagen zur Wärmeerzeugung veraltet und häufig auch überdimensioniert, d. h. die Nennwärmeleistung ist zu hoch. Bei der Erneuerung einer Kesselanlage ist deshalb unbedingt auf angepasste Wärmeleistung zu achten. Darüber hinaus haben moderne Wärmeerzeuger deutlich verbesserte Wirkungsgrade, so dass durch eine Kessel- und/oder Brennererneuerung in fast allen Fällen der Energieverbrauch gesenkt wird.

Der Einsatz von Niedertemperatur- oder Brennwerttechnik ist heutzutage Standard. Allerdings erfordert vor allem der Einbau von Brennwertkesseln fast immer eine Schornsteinsanierung (Abgasrohr aus Edelstahl). In der [EnEV § 11](#) ist der Einbau von Niedertemperatur- bzw. Brennwertkesseln für bestimmte Gebäude vorgeschrieben.

Durch den Wechsel des Energieträgers können die Emissionen in der Regel deutlich reduziert werden. Bei der Erzeugung von 1 kWh Energie mit Erdgas entstehen z. B. 202 g CO₂, mit Heizöl EL (EL= Extraleicht/„normales“ Heizöl) 266 g CO₂ und mit Kohle oder Koks 378 g CO₂. Die Erzeugung von Fernwärme verursacht wegen der hohen Leitungs- und Verteilungsverluste einen um ca. 20 % erhöhten Einsatz an Primärenergie und damit verbundenen Emissionen gegenüber Kesselanlagen.

Durch den Einsatz von Abgaswärmetauschern wird dem Abgas Wärmeenergie entzogen und dem Heizkreislauf wieder zugeführt. Diese Maßnahme ist nur bei großen Anlagen wirtschaftlich vertretbar.

Bei hohem Energiebedarf kann es sinnvoll sein, ein Blockheizkraftwerk zu errichten. (siehe [Kap. D.1](#))

Die Regelung der Heizungsanlage sollte so ausgestattet und eingestellt sein, dass die Anlage nur dann in Betrieb ist, wenn Wärme gefordert ist und die erzeugte Wärmemenge dem tatsächlich erforderlichen Wärmebedarf entspricht. Diese Forderung wird auch in der [EnEV § 12](#) für Verteilungseinrichtungen gestellt.

Bei größeren Gebäuden sollte die Wärmeversorgung der Räume über separate Heiz- und Regelkreise erfolgen, um eine optimale Wärmeverteilung zu gewährleisten. In Einzelfällen kann auch eine dezentrale Wärmeerzeugung sinnvoll sein z. B. durch Trennung von Heiz- und Wirtschaftswärme.

Bei der Umstellung auf Niedertemperatur- bzw. Brennwerttechnik ist darauf zu achten, dass in den Räumen Heizkörper der richtigen Größe eingebaut sind. Neuere Kesselanlagen arbeiten in der Regel mit niedrigeren Vor- und Rücklauftemperaturen. Dies hat zur Folge, dass die Heizkörper größer gewählt werden müssen, um die gleiche Wärmeabgabe zu erreichen. Da im Gebäudebestand die Heizkörper häufig überdimensioniert sind, ist es dennoch möglich, dass trotz niedrigerer Heizwassertemperaturen die Heizkörpergröße ausreicht.

Durch Thermostatventile mit Begrenzung an den Heizkörpern wird die Wärmeversorgung beim Erreichen der Raumsolltemperatur gestoppt.

4.4.2 Klima (RLT/Kälte)

RLT-Anlagen haben die Aufgabe, in Gebäuden oder Gebäudebereichen ein bestimmtes Raumklima zu erzeugen. Dies bedingt, dass RLT-Anlagen in der Regel einen hohen Energieverbrauch haben. Daher sollte als erstes geprüft werden, ob eine vorhandene oder der Einbau einer neuen RLT-Anlage überhaupt notwendig ist. Anstelle einer aufwändigen Kühlung können auch Verschattungen, zu öffnende Fenster oder der Einbau einer Lüftungsanlage ausreichen.

Ist eine Klima- oder Lüftungsanlage notwendig, so ist darauf zu achten, dass die Regelung für die Anlage richtig eingestellt ist. Hierbei können folgende Fehler entstehen:

- **Luftwechselzahl zu niedrig.** Fenster oder Türen werden geöffnet. Dadurch wird die Wirkung der Anlage erheblich herabgesetzt.
- **Luftwechselzahl zu hoch.** Es kommt zu Zugerscheinungen, die als sehr unangenehm und störend empfunden werden.
- **Zulufttemperatur zu hoch.** Hier wird durch Öffnen von Fenstern oder Türen Heizenergie verschwendet.

- **Zulufttemperatur zu niedrig.** Tritt dieser Fall in Maschinenräumen auf, sollte geprüft werden, ob hier eine Lüftungsanlage den Zweck der notwendigen Kühlung erfüllt. Existiert in einem Raum eine Klimaanlage und eine statische Heizung, so führt eine zu starke Kühlung dazu, dass Heizung und Klimaanlage gegeneinander arbeiten. Um dies zu vermeiden, muss die Regelung der Klimaanlage mit der der Heizung abgeglichen werden.

Diese Fehler haben einen erhöhten und damit unnötigen Energieverbrauch zur Folge. Da die Regelung von Klimaanlagen mehr Parameter zu berücksichtigen hat als die von Heizungsanlagen, können hier durch eine richtige Einstellung der Regelanlage der Energieverbrauch und die -kosten erheblich gesenkt werden.

Beim Einbau einer Kälteanlage gelten die o. g. Hinweise entsprechend. Außerdem sollte berücksichtigt werden, ob die Abwärme der Anlage der Heizung bzw. dem Heizregister einer Klimaanlage nutzbar gemacht werden kann.

Der Energieverbrauch von Ventilatoren bei Klima- und Kälteanlage kann durch regelmäßige Wartungen minimiert werden. Werden die Filter in den vorgeschriebenen Intervallen gereinigt bzw. gewechselt, so entstehen in der Anlage keine unnötig hohen Druckverluste und die Ventilatoren können mit geringerer Drehzahl betrieben werden.

Durch Ventilatoren mit Drehzahlregelung werden die Luftgeschwindigkeiten im System auf das notwendige Maß reduziert. Dadurch wird nicht nur Energie gespart, es kommt auch nicht zu den oben beschriebenen Zegerscheinungen durch zu hohe Luftwechselzahlen.

4.4.3 Sanitär (Kalt- und Warmwasser)

Der Verbrauch von Kaltwasser kann durch verschiedene Maßnahmen gesenkt werden:

- Durchflussminderer an den Zapfstellen,
- benutzungs- und zeitabhängige Urinalsteuerung,
- Mengenbegrenzung an Spülkästen,
- Einsatz von Luftkühlung statt Wasserkühlung,
- Regenwassernutzung bei der Brauchwasser-

versorgung (Gartenbewässerung, Toiletten, Löschwasser, Wasserstrahlpumpen etc.),

- Beseitigung von Undichtigkeiten an Zapfstellen und Rohrleitungen,
- Abbau unnötiger Zapfstellen,
- richtige Wahl der Rohrmaterialien. Gerade bei Sanierungsmaßnahmen muss darauf geachtet werden, dass z. B. bei der Verbindung von Kupferleitungen mit vorhandenen Stahlrohren durch geeignete Übergangstücke keine elektrochemische Korrosion entsteht. Die Verwendung von Kunststoffleitungen sollte hier ebenfalls berücksichtigt werden.

Diese Maßnahmen können teilweise ohne viel Aufwand im Gebäudebestand durchgeführt werden.

Die **Warmwasserversorgung** erfolgt in der Regel zentral. Ein Warmwasserspeicher wird direkt oder indirekt beheizt. Von dort aus werden alle Verbrauchsstellen meist über eine Ringleitung versorgt. Wird der Warmwasserspeicher **direkt beheizt** (nicht mit der Heizung gekoppelt), entstehen in den Stillstandszeiten des Brenners Auskühlverluste. Diese können z. B. durch gesteuerte Abgasklappen minimiert werden.

Erfordert die zentrale Warmwasserversorgung sehr lange Rohrleitungsstrecken, führt die Zirkulationsleitung zu permanentem Wärmeverlust. Bei dezentraler Warmwasserversorgung treten diese Verluste nicht auf. Hier kann sogar eine Wassererwärmung mit Strom wirtschaftlich sein.

Bei dezentraler Warmwasserbereitung mit Strom empfiehlt sich der Einbau von Zeitschaltuhren, damit keine unnötigen Bereitschaftsverluste auftreten. Je nach Nutzung ist eine zeitliche Steuerung der Warmwasserbereitung und der Zirkulationsleitung sinnvoll, um die Auskühlverluste möglichst klein zu halten.

Ist die Temperatur in Warmwasserspeichern zu hoch, entstehen unnötige Verluste im Speicher und in den Rohrleitungen. Hier sollte die höchste notwendige Wassertemperatur ermittelt (z. B. DVGW Regelwerk W 552 zur Vermeidung von Legionellenbildung) und bei der Regelung des Warmwasserspeichers berücksichtigt werden

4.4.4 Elektrotechnik/Strom

Der Austausch von herkömmlichen Lampen durch Energiesparlampen bringt eine erhebliche Energieersparnis bei gleicher Lichtausbeute. Beim Austausch von Lampen sollte außerdem darauf geachtet werden, dass die Beleuchtungsleistung nicht höher ist, als in den Arbeitsstättenrichtlinien vorgeschrieben.

In Gebäuden mit Bereichen unterschiedlicher Nutzung empfiehlt sich eine Beleuchtungssteuerung. Bereiche gleicher Nutzung können so zeitgleich geschaltet werden. Diese Maßnahme kann unterstützt werden, indem man die Bereiche gleicher Nutzung räumlich zusammenlegt, damit auch die Verkehrswege in diesem Bereich mit geschaltet werden können.

Bei den Heizungs-, Klima- und Sanitäreanlagen haben die Pumpen und Ventilatoren den größten Anteil am Stromverbrauch. Bei vorhandenen mehrstufigen Pumpen sollte die niedrigste Leistungsstufe gewählt werden, die zum einwandfreien Betrieb der Anlage notwendig ist. Beim Austausch sollten drehzahlregelte Pumpen eingebaut werden. Hierbei ist zu prüfen, ob eine Pumpe mit geringerer Leistung ausreichend ist (siehe auch [EnEV § 12](#)). Für Ventilatoren gelten die Hinweise entsprechend. Durch den Einbau von Ventilatoren mit Frequenzumformer kann erheblich Energie eingespart werden.

Der PC-Arbeitsplatz sollte mit Monitoren und Druckern ausgestattet sein, die eine Energiesparschaltung besitzen. Werden diese Geräte längere Zeit nicht benutzt, wird diese Schaltung aktiv. Diese Technik ist heutzutage Standard, sie muss aber bei einigen Geräten vom Nutzer aktiviert werden. Einige Drucker haben keinen Ausschalter mehr. Sie gehen nach einer bestimmten Zeit in den Standby-Betrieb und verbrauchen kontinuierlich Strom.

Der Nutzer sollte in längeren Nutzungspausen seinen PC mit allen Peripheriegeräten abschalten. Es gibt z. B. Master/Slave Steckerleisten, bei denen alle angeschlossenen Geräte stromlos geschaltet werden, wenn der PC abgeschaltet wird.

Eine Maßnahme zur Stromkostensenkung ist eine Blindstromkompensationsanlage. Bei fast allen Stromverbrauchern entsteht Blindstrom. Beträgt dieser in der Summe mehr als 50 % des Wirkstromverbrauchs, so fallen hierfür Kosten an. Durch die einmalige Investition in eine Blindstromkompensationsanlage werden diese Kosten vermieden.

Eine weitere Maßnahme ist eine Maximumüberwachungsanlage. Diese bewirkt, dass die abgenommene Stromleistung einen vorgegebenen Höchstwert nicht überschreitet. In Gebäuden mit Leistungsmessung gibt es in der Regel große Stromverbraucher (z. B. Klimaanlage), die ohne Komforteinbußen kurzfristig abgeschaltet werden können. Dadurch werden Leistungsspitzen und damit verbundene hohe Kosten vermieden.

Durch die gleichzeitige Inbetriebnahme von mehreren Stromverbrauchern (Kaffeemaschinen, PC ...) werden Leistungsspitzen erzeugt. Hier kann man durch entsprechende organisatorische Maßnahmen erreichen, dass die Geräte nicht gleichzeitig in Betrieb genommen werden. Durch die Einrichtung von zentralen Kaffee- oder Teezubereitungen können nicht nur Leistungsspitzen vermieden, sondern auch der Stromverbrauch gesenkt werden.

5. Beispielprojekt für energetische Sanierungen

**Grundinstandsetzung des
Regierungspräsidiums in Kassel
Steinweg 6
34117 Kassel**

Eigentümer/in:
Land Hessen,
Regierungspräsidium Kassel
Steinweg 6
34117 Kassel
Tel.: 05 61 / 1 06-0
Telefax 05 61 / 1 06-16 11
E-Mail: presse@rpks.hessen.de

Bearbeitung:
Staatsbauamt Kassel
Goethestraße 46
34117 Kassel
Tel.: 0561/7203-0

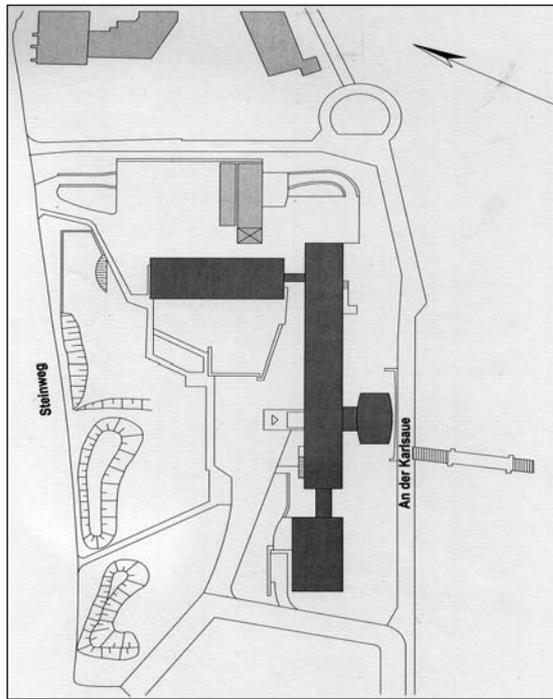


Abb. 59 Ansicht von Osten

Abb. 58 Lageplan



Das Regierungsdienstgebäude wurde Ende der 50er Jahre errichtet und 1959 bezogen.

Der gesamte Gebäudekomplex besteht aus:

- Hauptgebäude mit Sitzungssaal,
- Nordflügel,
- Wirtschaftsgebäude,
- Werkstattgebäude mit Tiefgarage, hier erfolgte keine Sanierung.

Maßnahmen im Einzelnen:

A. Hauptgebäude

Die vorhandene Dachkonstruktion besteht aus einer belüfteten Konstruktion mit einer dünnen Stahlbeton-Massivdecke. Auf dieser Decke befindet sich eine dünne Wärmedämmschicht sowie eine Bitumenabdichtung und ein belüfteter Hohlraum. Den oberen Dachaufbau bilden Bimsbeton-Hohlstegdielen, die auf tragende Betonüberzügen aufgelegt sind mit Gefälle zur Gebäudemitte. Eine dünne Zementestrich-Ausgleichsschicht mit Bitumenschweißbahn-Abdichtungen, oberste Lage bekies, bildet den Abschluss der Dachhaut.

Sanierung

Im Zuge der Bauunterhaltung mussten umfangreichen Undichtigkeiten und mehrfach Ausbesserungsarbeiten durchgeführt werden. Die Abdichtung war gekennzeichnet durch Schäden und Mängel als Folge der Materialalterung.

Nicht nur die Dachhaut an sich, sondern auch die Nahtstellen erfüllten nur unzureichend ihre Funktion. Die Reparaturflicken entlang der inneren Entwässerungsrinnen des Hauptgebäudes wiesen starke Blasenbildung auf und verhinderten damit den Wasserabfluss zu den Dachläufen. Die alte Dachhaut war komplett abgängig.

Die bei der Entstehung der Gebäude im Jahr 1958 und 1959 getroffenen Maßnahmen entsprachen nicht annähernd den heutigen Anforderungen einer gebotenen und gesetzlich geforderten Energieeinsparung mit schonendem Umgang und Verbrauch von jeglicher Primärenergie.

Aus diesen Gründen wurde der Neuaufbau der obersten Dachhaut mit wirkungsvoller Wärmedämmung und Dachabdichtung erforderlich.

Ausgeführt wurde die Umwandlung des belüfteten Daches in ein unbelüftetes Dach. Dabei wurden alle Zuluftöffnungen zum Deckenhohlraum verschlossen. Die gesamten oberen Dachschalen wurden mit Wärmedämmung versehen.

Das vorhandene Dachgefälle wurde von ca. 1,5 %

bis 2,5 % durch Verwendung von Gefälledämmung aus Schaumglas auf ca. 2,6 % bis 4,2 % erhöht. Die Dachausbildungen wurden entsprechend angehoben.

B. Nordflügel

Hier besteht die Dachkonstruktion aus tragenden Querunterzügen mit einem Abstand von 3,60 m mit dazwischen angeordneter Stahlbeton-Rippendecke. Oberseitig befindet sich ebenfalls eine ca. 4 cm dicke Wärmedämmung aus Polystyrol mit Abdeckung durch Bitumendachbahn. Die weitere Dachhaut ist durch keilig angeordnete Stahlbetonbohlen aufgeständert.

Hierdurch ergab sich ein Hohlraum mit Zu- und Abluftöffnungen. Auf diesen Keilbohlen sind wie beim Hauptgebäude Bimsbeton-Hohlstegdielen mit oberseitigem Zementmörtelausgleich und entsprechender Bitumenschweißbahn-Abdichtung als Dachhaut angeordnet.

Sanierung

Hier gilt gleiches wie beim Hauptgebäude, zusätzlich jedoch mussten am Dachrand umfangreiche Stahlkonstruktionen zur Befestigung und Verankerung der neuen Attika und der Dachranderhöhung mit vorgesehen werden. Diese zusätzliche Maßnahme konnte erst nach Demontage des abgängigen, vorhandenen Dachrandes festgestellt werden. Ein in Bestandsunterlagen dargestellter Randbalken erwies sich nach dem Öffnen der Dachhaut als Auffüllbeton mit geringer Abmessung und war an keiner Stelle als Verankerungsgrund mit entsprechender Tragfähigkeit geeignet.

Die im Zuge der Sanierung aufgebrachte Wärmedämmung über den Bimsbeton-Hohlstegdielen wurde durch vorkonfektionierte Gefälledämmplatten aus Faserdämmstoff hergestellt.

C. Wirtschaftsgebäude

Ebenfalls belüftete Dachkonstruktion. Stahlbeton-Rippendecke, Rippen nach oben, untere Seite glatte Decke. Oberseitig befindet sich eine ca. 4 cm dicke Wärmedämmung aus Polystyrol, auch seitlich an den Rippen. Auf diesen mindestens 0,52 cm hohen Stahlbetonrippen befindet sich eine vollflächige Holzbekleidung mit geringem Gefälle, ausgebildet durch unterschiedlich hohe Stahlbetonrippen. Auf dieser Holzschalung befand sich eine mehrlagige Bitumenschweißbahn-Abdichtung. Im Bereich des großen Speisesaales befand sich raumseitig unter der Rippendecke eine Decken-

strahlheizung mit 4 cm Mineralfaserdämmung zwischen der Heizkonstruktion und der 6 cm dicken Stahlbetonschale. Bei vorgenannter Konstruktion ergaben sich erhebliche Wärmeverluste, die über viele Jahre zu erheblichen Energieverbräuchen führten.

Sanierung

Bei der Sanierung wurde die abgängige, mehrlagige Dachabdichtung einschließlich Trenn- und Dampfsperrschichten vollständig entfernt, abgängige Bereiche der Holzbekleidung wurden durch gespundete Schalung ersetzt. Alle vorhandenen Dachentlüftungen, Entlüftungsschlitze etc. wurden ausgebaut und mit Holzschalung geschlossen.

Ein neuer Schichtenaufbau für Abdichtung und Wärmedämmung wurde wie folgt aufgebaut:

Voranstrich, Ausgleichsschicht aus Heißbitumen in Teilflächen, Dampfsperrschicht aus Bitumen-Schweißbahnen DIN 52 131, Dampfsperrschicht aus Bitumenbahn mit Einlage aus Aluminiumband zugleich als Ausgleichsschicht, Gefälledämmung aus Mineralfaserdämmstoff DIN 18165 Teil 1, WD – 040 – A1/A2 – als vorgefertigte Gefälleplatten in Dicken von 14 bis 22 cm, Dachabdichtung als Dampfdruckausgleichsschicht Bitumen-Dachdichtungsbahn mit Polyesterflieseinlage, 2. Lage aus Polymerbitumen-Schweißbahn, Oberflächenschutz als Schüttung aus gewaschenen Kies, 16 / 32 mm Rundkorn.

Wie bei allen anderen Gebäudeteilen wurde der Dachrand durch Aufbringen von Brettschichtholz entsprechend erhöht und neu ausgebildet. Innerhalb dieser Dachfläche, über der Küche, mußten eine Vielzahl von Lichtkuppeln und Dachdurchdringungen, Technikaufbauten etc. miteingedichtet werden, die Einzelteile konnten nicht als zusammenhängende Durchdringung zusammengefasst werden.

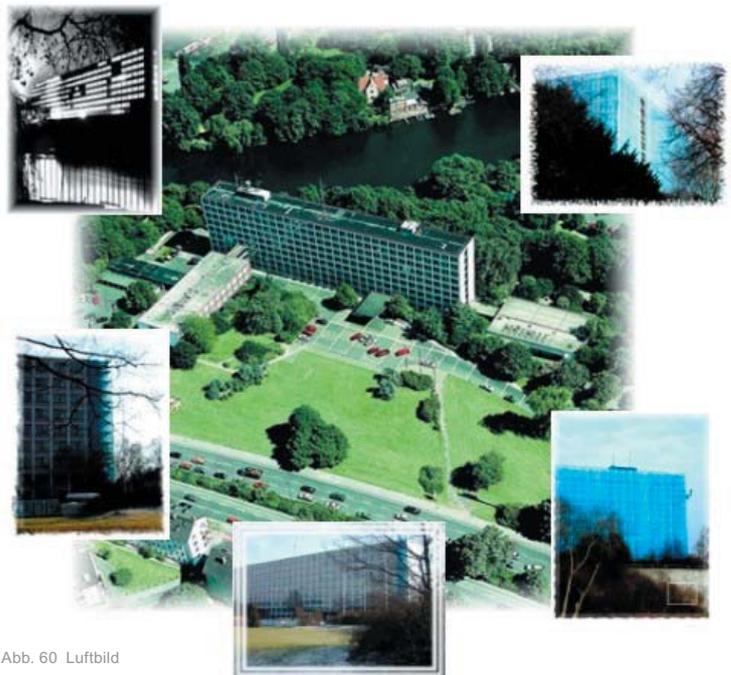


Abb. 60 Luftbild

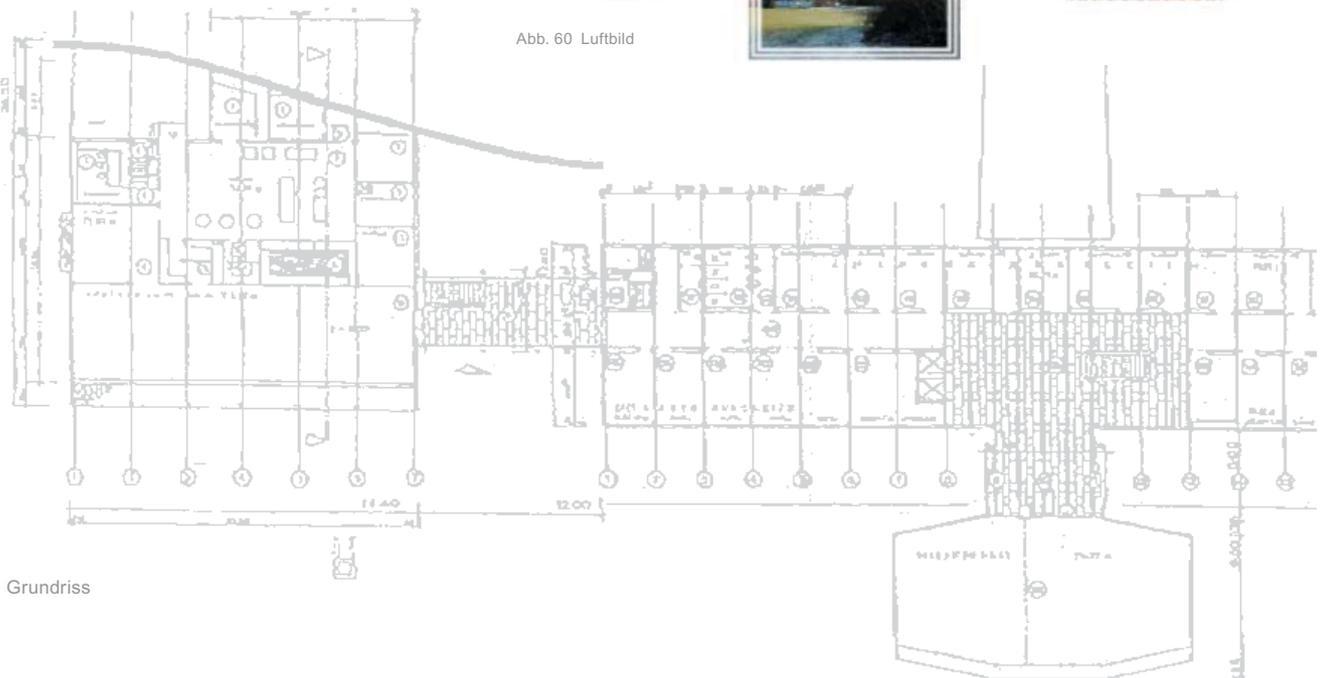


Abb. 61a Grundriss

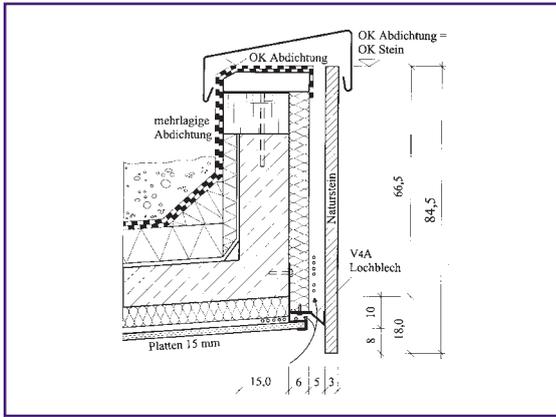


Abb. 62 Attikadetail

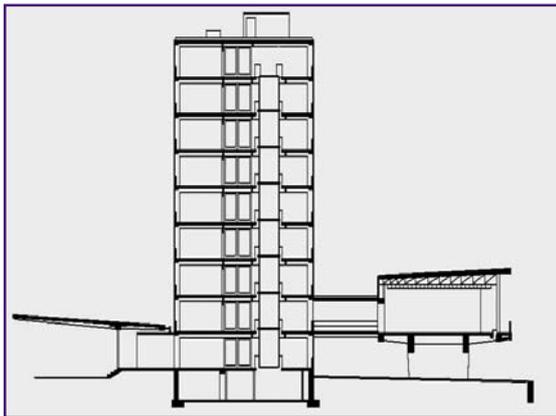


Abb. 63 Schnitt

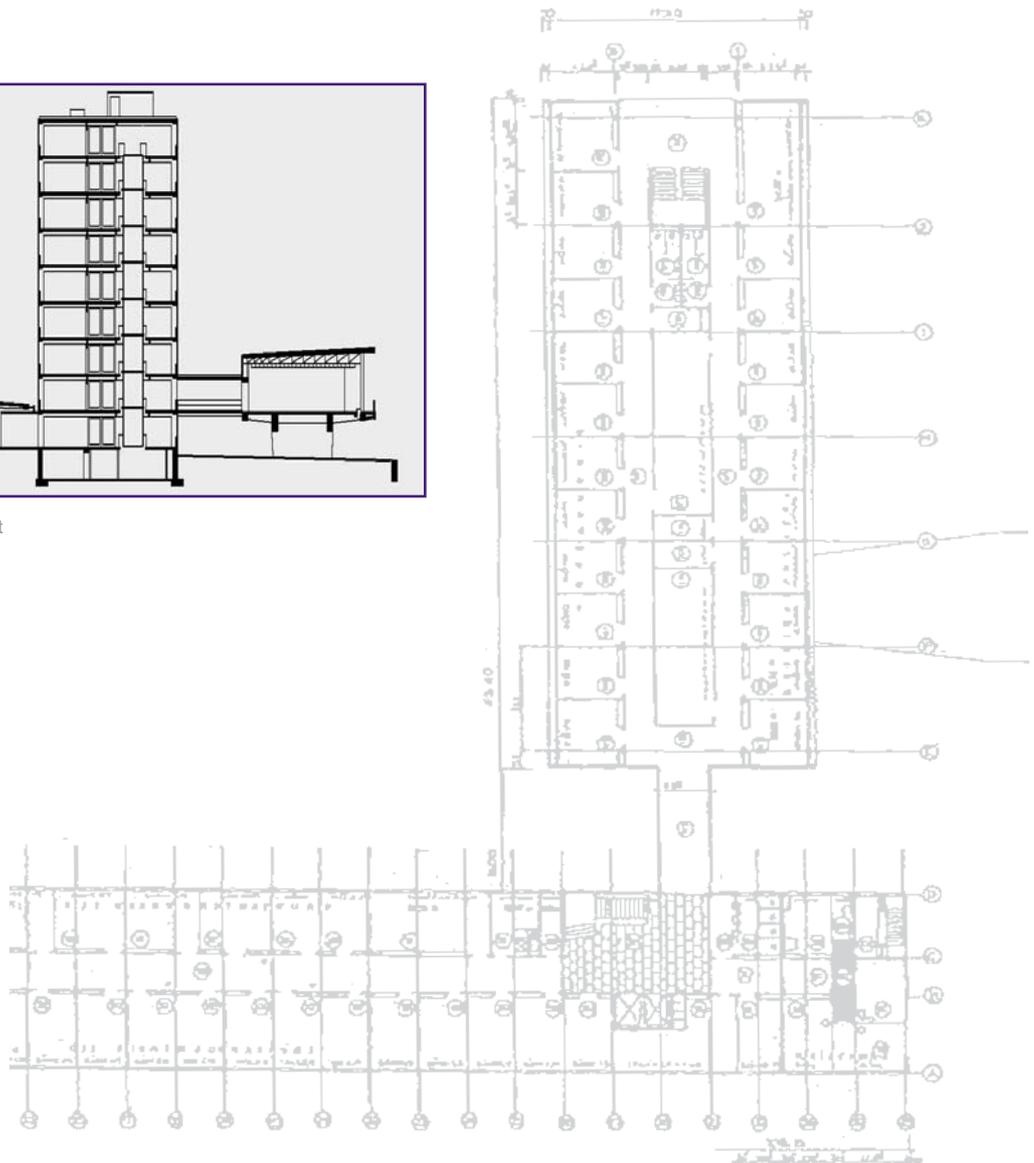


Abb. 61b
Grundriss

A Hauptgebäude, B Nebenflügel, C Wirtschaftsgebäude						
Um-/Bauzeit			10.1996 bis 05.2002			
	vor Sanierung			nach Sanierung		
BGF / NGF	17.480 / 15.400			17.480 / 15.400		
	A	B	C	A	B	C
Wand gegen außen U-Wert	2,69	1,074	0,92	0,312	0,265	0,265
	2,53		0,90	0,310		0,90
Wand gegen unbeheizt U-Wert	1,6			1,6		
Fenster k-Wert (Berechnung nach WSchVO)	2,6	2,6	2,6	1,8	1,8	1,8
Dach U-Wert	0,79	0,68	1,25	0,23	0,16	0,23
			2,02			0,30
Decke über außen U-Wert	1,05	0,75		1,05	0,24	
Sohle / Kellerdecke U-Wert	2,08	3,47	2,08	2,08	3,47	2,08
Verbrauchsdaten (Durchschnittswerte über mehrere Jahre,) bez. BGF						
Gradtagszahlbereinigt kW/m ² a	Im Mittel 250 kW/m ² a (geschätzt)			Verbrauch 2001: 98 kW/m ² a		

Tab. 9 Kennwerte

Bauteil/Hüllflächenaufbau:

Bauteil	Schicht- dicke m	Flächen- gewicht kg/m ²	Wärmeleit- fähigkeit W/mk	Wärme- durchlass- widerstand m ² K/W	U-Wert
A. Hauptgebäude					
AW 01 Wände Süd- u. Nordansicht					
Innenwandputz	0,015	27,00	0,870	0,017	alt 2,69
Mehrschicht- Leichtbauplatte	0,05	8,00	1,000	0,050	
Stahlbetonwand neu	0,15	360,00	2,100	0,071	
Faserdämmstoff mineral . "Steinfaserplatten" belüfteter Hohlraum	0,10 0,04	60,00	0,035	2,857 nicht mehr	neu 0,312
Natursteinbekleidung Granitplatten	0,03	105,00	2,100	mitberück- sichtigt	

Bauteil	Schicht- dicke m	Flächen- gewicht kg/m ²	Wärmeleit- fähigkeit W/mk	Wärme- durchlass- widerstand m ² K/W	U-Wert
B. Nordflügel					
AW 03 Bereiche, die mit Betonwerkstein bekleidet waren					
Innenwandputz	0,015	27,00	0,87	0,017	alt 1,074
Holzwohle- Leichtbauplatte	0,05	8,00	0,081	0,617	
Stahlbetonwand neu	0,15	360,00	2,10	0,071	
Faserdämmstoff mineral . "Steinfaserplatten" belüfteter Hohlraum	0,10 0,04	60,00	0,035	2,857 nicht mehr	neu 0,265
Natursteinbekleidung Granitplatten	0,03	105,00	2,100	mitberück- sichtigt	

Bauteil					U-Wert
F 01 Fenster: A Hauptgebäude B Nordflügel C Wirtschaftsgebäude	Es wurden neue Aluminiumfenster mit thermisch getrennten Profilen der Rahmenmaterialgruppe 1,0 eingebaut, mit Wärmeschutz –Isolierglasscheiben aus 6 mm Floatglas, 16 mm Scheibenabstand und 4 mm Floatglasscheibe. Der k_F - Wert ($W / m^2 \times K$) der neu eingebauten Fenster und Türanlagen beträgt 1,80. (hier k-Wert, da die Werte nach dem altem Berechnungsverfahren ermittelt wurden)				
			<u>alt</u> 2,60	<u>neu</u> 1,80	

Bauteil	Schicht- dicke m	Flächen- gewicht kg/m ²	Wärmeleit- fähigkeit W/mk	Wärme- durchlass- widerstand m ² K/W	U-Wert
D 02 flach geneigtes Dach über dem 3. OG / Innenentwässerung Innendeckenputz auf Rohrgewebe mit Unterkonstruktion Stahlbeton-Rippendecke, Plattendicke PS- Dämmplatten Belüfteter Hohlraum Bimsbeton -Hohlstegdielen neu Zementestrich Ausgleichsschicht Dampfsperre Faserdämmung, Steinfaserplatten Bitumenabdichtung-Schweißbahnen, 2 Lg	0,015	27,00	0,87	0,017	
	0,05	8,00	2,10	0,024	
	0,05	360,00	0,040	1,25	
	0,15				<u>alt</u>
	0,07	105,00	0,35	0,200	0,68
	0,03	9,00	1,40	0,021	
	0,02		0,17	0,118	<u>neu</u>
	0,18	102,00	0,040	4,500	0,16
	0,02		0,17	0,118	

Bauteil	Schicht- dicke m	Flächen- gewicht kg/m ²	Wärmeleit- fähigkeit W/mk	Wärme- durchlass- widerstand m ² K/W	U-Wert
D 04 Flach geneigtes Dach über dem Verbindungsgang zum Hauptgebäude Gipskartonplatten mit Unterkonstruktion Stahlbetondecke, Zementestrich als Ausgleichsschicht neu Trennlage u. Dampfsperre Faserdämmung, Steinfaserpl. mit Gefälle Bitumenabdichtung-Schweißb., mehrlagig	0,015	11,25	0,21	0,071	
	0,12	264,00	2,10	0,052	<u>alt</u>
	0,02	40,00	1,100	0,018	2,02
	0,015		1,00	0,015	
	0,12	102,00	0,040	3,000	<u>neu</u>
	0,015		1,00	0,015	0,30

Tab. 10 Bauteil/Hüllflächenaufbau

Bauteil	Transmissionswärmeverluste in Mwh / a			
	vor der Sanierung	nach der Sanierung	Differenz	
Außenwände	6.368,69	1.513,42	4.855,27	4.855,27
A. Hauptgebäude	5.358,47	1.248,33	4.110,14	
B. Nordflügel	783,38	190,45	592,93	
C. Wirtschaftsgebäude	226,84	74,64	152,20	
Fenster, Fenstertüren, Dachflächenfenster, Außentüren	6.069,76	1.987,24	4.082,52	4.082,52
Hauptgebäude	4.733,03	1.248,33	3.484,70	
Nordflügel	1.162,58	640,86	521,72	
C. Wirtschaftsgebäude	174,15	98,05	76,10	
Decken, Dächer, Dachschrägen	3.524,53	520,72	3.003,81	3.003,81
Hauptgebäude	2.090,40	238,02	1.852,38	
B. Nordflügel	444,87	104,68	340,19	
C. Wirtschaftsgebäude	989,26	178,02	811,24	
Wände u. Decken gegen unbeheizte Räume	1866,97	1866,97		
A. Hauptgebäude	1.400,75	1.400,75	0,00	0,00
B. Nordflügel	entfällt			
C. Wirtschaftsgebäude	466,22	466,22	0,00	
Decken nach unten gegen die Außenluft	446,62	238,08	208,54	208,54
Hauptgebäude, großer Sitzungssaal	139,95	139,95	0,00	
B. Nordflügel	306,67	98,13	208,54	
Decken u. Wände an das Erdreich grenzend	1.663,81	1.663,81	0,00	0,00
Hauptgebäude	entfällt			
Nordflügel	49,62	49,62	0,00	
C. Wirtschaftsgebäude	1.614,19	1.614,19	0,00	
	Σ 19940,38	Σ 7790,24		
Verringerung der Transmissionsverluste durch o.g. Sanierungsmaßnahme				
Gesamt in Mwh / a in Kw / h :				12.150,14

Tab. 11 Daten zur Außenhülle – Gesamtübersicht – Gebäude A, B und C



Abb. 64 Ansicht von Norden



Abb. 65 Teilansicht von Westen



Abb. 66 Ansicht von Süden



Abb. 67 Teilansicht

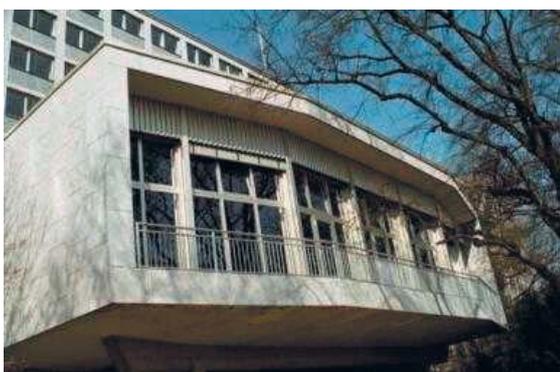


Abb. 68 Teilansicht von Süden



Abb. 69 Ansicht von Westen

Quelle:

Oberfinanzdirektion Frankfurt am Main
–Landesbauabteilung–
Energiewirtschaftliche Beratungsstelle
Fachbereich Bau, Herr Kurt Kretschmer
Adickesalle 32
60322 Frankfurt am Main
Tel.: 069 / 1560-411

D Anlagentechnische Maßnahmen

1. Alternative Anlagentechniken

Vorbemerkung

Unter dem Aspekt der integralen Planung wird die konventionelle Anlagenplanung bereits in [Abschnitt B, Kapitel 2.9 – 2.13](#) dargestellt. Daher wird an dieser Stelle auf die vorgenannten Kapitel querverwiesen und im Folgenden nur noch auf besondere Anlagentechnische Maßnahmen eingegangen, die bis heute noch nicht Standard sind, oder die sich erst in den letzten Jahren entwickelt haben:

- alternative Anlagentechniken,
- regenerative Energien,
- Energiemanagement, sowie
- Gebäudeautomation.

Neben der Reduzierung des Energiebedarfs für die Versorgung von Gebäuden durch konstruktive, bauphysikalische Maßnahmen kommt der Auswahl effizienter Anlagentechnik eine immer größere Bedeutung zu.

Beispiele für eine rationelle Energieverwendung sind der Einsatz energiesparender Geräte, Wärmedämmung, die Förderung und der Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung oder die Verbesserung der Anlagenwirkungsgrade. Durch eine konsequente Verringerung des Energiebedarfs kann zum einen die Verbrennung fossiler Energien weiter gedrosselt werden, zum anderen erleichtert dies zukünftig den Übergang auf höherwertige Formen der Endenergie. Die Entwicklungsschritte können wie folgt beschrieben werden:

- Hinwendung zur Umweltschutztechnik (Reduzieren des Energiebedarfs),
- Verbesserung der Energieerzeugung (z. B. Kraft-Wärme-Kopplung),
- rationelle Energieverwendung,
- Nutzung von Sonne, Wind, Biomasse,
- Erzeugung von solarem Wasserstoff.

Dies gilt insbesondere im Hinblick auf die Verminderung der Umweltbelastung und der Schonung natürlicher Ressourcen.

1.1 Kraft-Wärme-Kopplung

Blockheizkraftwerke (BHKW)

Blockheizkraftwerke zählen zu den Systemen der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK). Verstanden

werden darunter mit Verbrennungsmotoren oder Gasturbinen betriebene Kleinkraftwerke. Das Schema eines KWK-Systems, das Strom und Wärme gleichzeitig erzeugt, ist in Abb. 70 dargestellt.

Diese „kleinen“ Kraftwerke zeichnen sich durch einen besonders hohen Wirkungsgrad aus. Häufig setzt sich ein BHKW wegen der erforderlichen Anpassung an den Leistungsbedarf aus mehreren Aggregaten (Modulen) zusammen.

Ein Modul besteht aus einem gas- oder dieselbetriebenen Verbrennungsmotor, der einen Generator zur Stromerzeugung antreibt. Die Abwärme des Motors wird über Wärmeaustauscher dem Abgas, dem Kühlwasser und dem Motorenöl entzogen und zum Heizen verwendet.

Abb. 71 (nächste Seite) verdeutlicht beispielhaft den Zusammenhang zwischen Primärenergieeinsatz und Nutzenergiegewinnung bei der getrennten Erzeugung von Kraft und Wärme (Kondensationskraftwerk und Ölzentralheizung und bei der Kraft-Wärme-Kopplung im Blockheizkraftwerk).

Bezogen auf den Primärenergieeinsatz beim getrennten Prozess reduziert sich damit beim BHKW der Brennstoffbedarf auf 66 %. Hierin sind die erhöhten Verteilverluste durch erdverlegte Fernwärmeleitungen bereits berücksichtigt.

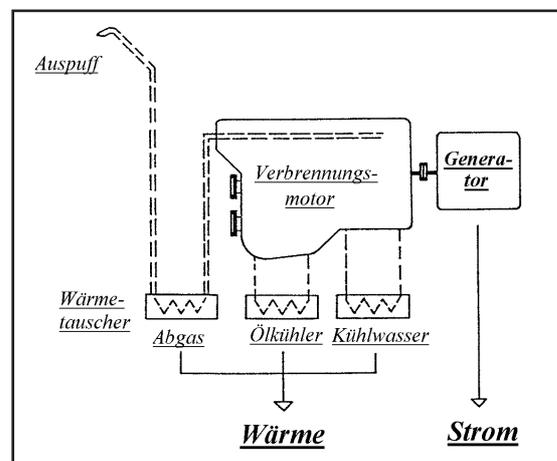


Abb. 70 Schema eines Blockheizkraftwerkes mit Verbrennungsmotor

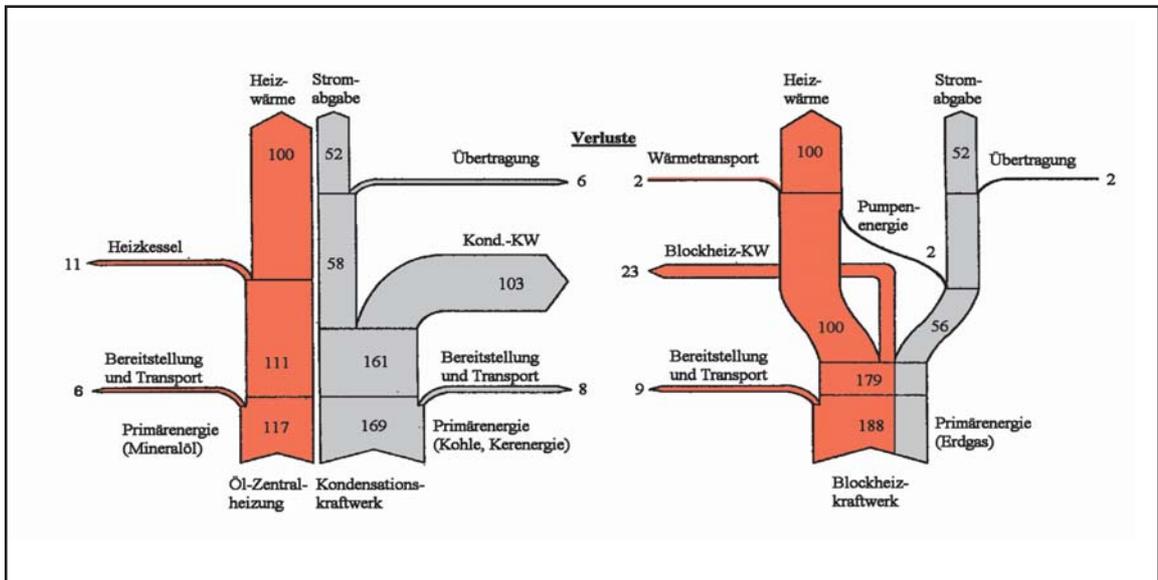


Abb. 71 Leistungsflüsse bei der getrennten Wärme- und Stromerzeugung sowie beim kombinierten Prozess

Im herkömmlichen BHKW ist im Gegensatz zur Kraft-Wärme-Kopplung in Kondensationskraftwerken eine flexible Anpassung an Strom- und Wärmeanforderung gleichzeitig nicht möglich. Wegen dieser starren Kopplung stehen bei einer Erzeugung von 1 kWh elektrischer Energie stets etwa 1,8 kWh nutzbarer thermischer Energie zur Verfügung. Daher müssen mögliche Standorte für BHKW'e sorgfältig auf ihre Eignung untersucht werden. Strom- und Wärmebedarfskurven der Verbraucher über den Jahresgang und typische Tagesverläufe müssen erstellt und miteinander verglichen werden.

Inzwischen gibt es technische Entwicklungen, die diese Nachteile beseitigen. Es wird auf die STIG-Anlagen (Steam-Injektion-Gasturbine) hingewiesen. Dieses Gasturbinen-BHKW arbeitet mit einem Abhitzekegel zur Hochdruckdampferzeugung. Je nach Leistungsanforderung kann ein Teil dieses Dampfes in die Brennkammer der Gasturbine injiziert werden. Damit kann der Gasvolumenstrom und damit die Wellenleistung der Turbine beeinflusst werden. Innerhalb dieser Grenzen sind mit solchen Anlagen flexible Anpassungen der abzugebenden Leistungen an die jeweiligen Strom- und Wärmeanforderungen möglich.

Wirtschaftlich werden BHKW'e allgemein erst bei Benutzungsstundenzahlen von mindestens 5000 h/a eingesetzt. Dies setzt voraus, dass auch im

Sommer entsprechende Wärmeverbraucher vorhanden sein müssen.

Viele Versorger errichten mit Nahwärmeinseln auf BHKW-Basis einen Verbund mit häufig vorhandenen Heizwerken und Fernwärmenetzen. Dieses Wärmeangebot mit Kraft-Wärme-Kopplung sollte entsprechend genutzt werden.

Mikrogasturbine

Mikrogasturbinen stellen eine Alternative zu Zündstrahlmotoren (umgebaute Dieselmotoren, bei denen die Zündung durch eingespritzten Dieseldieselkraftstoff erfolgt) und speziell auf Gasbetrieb ausgerichtete Gas-Ottomotoren mit Zündkerzen dar. Die einfache Bauweise und der Rotor als einziges bewegliches Teil mit Verdichter, Turbine und Generatorläufer führen zu einem geringen Wartungsaufwand.

Dabei werden Komponenten genutzt, die als Abgasturbolader und Stromerzeugungsaggregate in der Luftfahrt sich bereits bewährt haben. Elektronische Frequenzrichter und Abgaswärmetauscher ermöglichen die Einbindung von Mikrogasturbinen in eine effiziente Kraft-Wärme-Kopplungsanlage mit niedrigen NO_x-Emissionen. Im Vergleich zu einer gasmotorbetriebenen Kraft-Wärme-Kopplung können bei der Mikrogasturbine die NO_x-Emissionen nahezu um das 10-fache reduziert werden. Gleichzeitig stellt die Mikrogasturbine eine Option dar, auf Dauer fossile Brenn-

stoffe durch erneuerbare Energien zu ersetzen. Bei einer elektrischen Leistung von 30 kW können 60 kW Wärme über den Abgaswärmetauscher ausgekoppelt werden. Der Gesamtwirkungsgrad liegt damit bei 77 % und einem hohen Teillast-Wirkungsgrad.

1.2 Sorptionskälte

Absorptionskälteanlagen nutzen das physikalische Prinzip des Wärmeübergangs durch Kondensation und Verdampfung einer Flüssigkeit.

Der aus dem Verdampfer austretende Kältemitteldampf wird in einer weiteren Flüssigkeit (Absorptionsmittel) unter Freisetzung der Absorptionswärme gelöst und dann im flüssigen Zustand durch eine Pumpe auf ein höheres Druckniveau gebracht. Unter Zufuhr von Wärme wird anschließend im Austreiber das Kältemittel von der Absorptionsflüssigkeit wieder getrennt und dem Verflüssiger zugeführt, während die kältemittelarme Flüssigkeit in den Absorber zurückfließt. Das Kältemittel gelangt vom Verflüssiger nach Druckreduzierung in den Verdampfer. Im Verdampfer kann es dann wieder Wärme aus dem zu kühlenden Medium aufnehmen.

Die Betriebskosten einer Absorptionskälteanlage werden geprägt von den spezifischen Energiekosten der Wärme für den Absorber und dem Wasserbedarf der Rückkühlwerke. Absorptionskälteanlagen haben bei gleicher Leistung ein größeres Bauvolumen als Kompressionskälteanlagen, insbesondere bei den Rückkühlwerken. Die eingesetzten Geräte haben kaum bewegliche Teile, die verschleifen können.

Die **Adsorptionskälte** stellt eine neue interessante Alternative bei der Bereitstellung von Kaltwasser dar, da sie in der Lage ist, Abfallenergie in Temperaturbereichen ab 60° C für die Kälteerzeugung noch zu verwerten.

Adsorptionskältemaschinen arbeiten ähnlich wie bei den Absorberanlagen mit Wasser als Kältemittel und einem Adsorber, z. B. Silicagel. Das Wasser wird bei niedrigen Drücken und geringen Temperaturen verdampft. Dabei entzieht es seiner Umgebung die notwendige Verdampfungswärme als nutzbare Kälteleistung.

Das Silicagel adsorbiert soviel verdampftes Wasser, bis es gesättigt ist. Danach wird das Wasser durch Zufuhr von thermischer Energie wieder ausgetrieben. Das desorbierte Wasser wird im Verflüssiger kondensiert und in den Verdampfer zurückgeführt. Damit ist der Kreislauf geschlossen.

Eine interessante Energiequelle für den Betrieb des Adsorbers bieten solare Anlagen und die Nutzung von Niedertemperatur- oder Restwärmequellen. Elektroenergie wird nur zur Steuerung verwendet.

1.3 Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung

Trotz des geringen Wärmebedarfs in den Sommermonaten können Blockheizkraftwerke dort eine wirtschaftliche Ausnutzungsdauer erreichen, wo die ausgekoppelte Wärme, z. B. über eine Absorptionskälteanlage, Klimakälte erzeugt. Der thermische Verdichter einer Absorptionskältemaschine wird dabei mit der bei der Stromerzeugung anfallenden Wärme betrieben.

1.4 Brennwerttechnik

Bei der bei einem Verbrennungsprozess frei werdenden Wärmemenge ist zwischen der trockenen (sensiblen) Wärme und der Verdampfungswärme (latente Wärme) zu unterscheiden. Standardheizkessel und Niedertemperaturheizkessel sind lediglich in der Lage, die frei werdende trockene Wärme zu nutzen. Bezogen auf die Masse des eingesetzten Brennstoffes wird dieser als unterer Heizwert (H_U) bezeichnet. Der Gesamtwärmeinhalt eines Brennstoffs, also die Summe aus sensibler und latenter Wärmemenge, wird als oberer Heizwert (H_O) oder als Brennwert bezeichnet. Hierbei beträgt der Anteil der latenten Wärmemenge bei Erdgas ca. 10 % und bei Heizöl ca. 6 %. Eine Nutzung der Verdampfungswärme setzt eine Kondensation des Wasserdampfes im Abgas voraus. Dies wird durch starkes Auskühlen der Heizgase an zusätzlichen Nachschaltheizflächen dieser speziellen Kessel (Brennwertkessel) erreicht (siehe [Abb. 72, nächste Seite](#)). Brennwertkessel mit Gebläsebrenner haben einen höheren Wirkungsgrad als Kessel mit atmosphärischem Brenner.

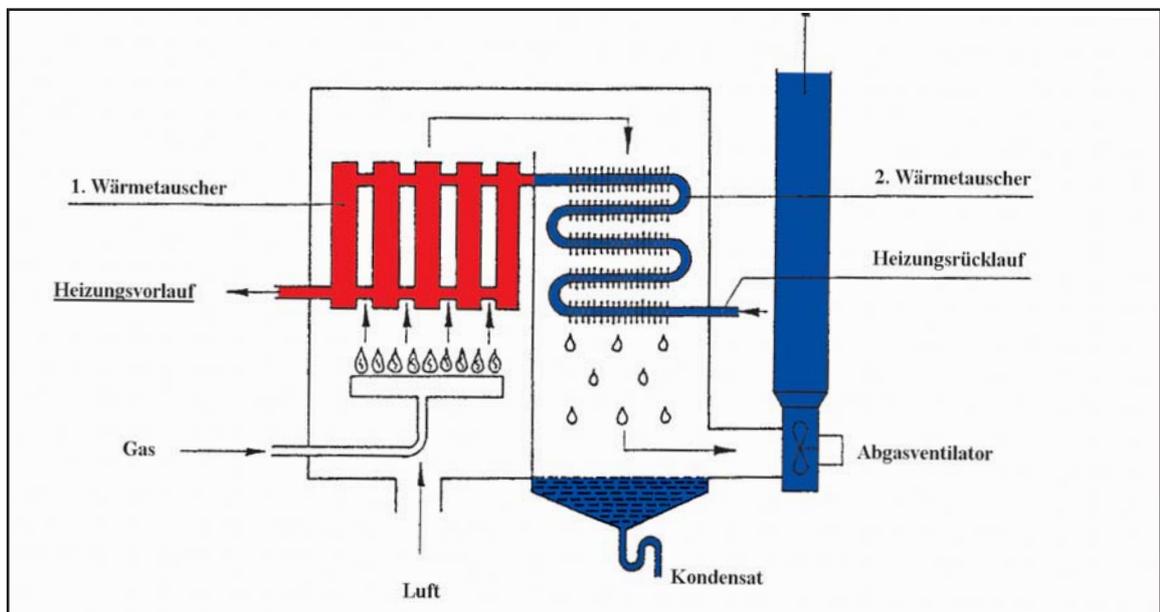


Abb. 72 Prinzip eines Brennwertkessels

Der gewinnbare Anteil an Verdampfungswärme in Brennwertkesseln hängt von einer möglichst niedrigen Heizmittelrücklauftemperatur ab.

Beim Einsatz von Brennwertkesseln ist zu beachten, dass sich die im Abgas vorhandenen Gase Schwefeldioxid und Stickoxide mit dem Kondensat zu Säuren verbinden, die Abgasanlage, Kessel und vor allem Abwasserleitungen angreifen können. Aus diesem Grunde ist eine Einleitung der Kondensate in das Abwassernetz teilweise untersagt.

Bedingungen:

- Abgasanlage, Brennkammer und Nachschaltheizflächen müssen aus hochwertigem korrosionsbeständigem Material bestehen.
- Das anfallende saure Kondensat größerer Anlagen muss vor der Einleitung in die öffentliche Kanalisation ggf. neutralisiert werden (Abwassersatzung der Kommunen beachten).

Die zusätzlichen Maßnahmen sowie die Notwendigkeit eines hochwertigen korrosionsbeständigen Materials bedingen derzeit noch höhere Anlagekosten als bei Niedertemperaturkesseln. Wegen der niedrigen Abgastemperaturen und der Kondensation des Abgases muss die Schornsteinanlage feuchte- und korrosionsresistent sein (Edelstahl,

Keramik, Kunststoff, Glas). Dies betrifft insbesondere den Umbau von Heizungsanlagen in Altbauten.

Bei neukonzipierten Heizungsanlagen in Neubauten unterscheiden sich die Kosten für eine Niedertemperaturheizung im Vergleich zu einer Brennwertheizung kaum.

1.5 Brennstoffzelle

Bei einer elektrochemischen Stromerzeugung werden durch Reaktionen von Stoffen in einem Elektrolyten Elektronen frei, die durch die Elektroden (Anode und Kathode) in Form von Gleichstrom als elektrische Energie entnommen werden können. Brennstoffzellen sind neben den Batterien, die für Großanlagen weniger geeignet sind, die bekanntesten Vertreter dieser Technik. Ihr Einsatz ist besonders geeignet bei gleichzeitigem Bedarf an Strom und Wärme. Durch die modulare Bauweise können sie als dezentrale Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen auch für kleinere Leistungsbereiche eingesetzt werden.

Brennstoffzellen zeichnen sich durch einen hohen elektrischen Wirkungsgrad, einem guten Teillast-

und Regelverhalten sowie durch niedrige Schadstoffemissionen und einer geringen Geräuschentwicklung der zugehörigen Aggregate aus (siehe Abb. 73).

Es gibt verschiedene Typen von Brennstoffzellen (siehe Tab. 12), die nach ihrer Arbeitstemperatur und nach der Art des Elektrolyten klassifiziert werden.

Werden Wasserstoff und Sauerstoff als Brenngase verwendet, so entsteht als Abgas lediglich Wasserdampf. Aufwändig gestaltet sich allerdings die Wasserstoffherzeugung. Voraussetzung für einen großflächigen Einsatz von Brennstoffzellen wäre die kostengünstige und energieverbrauchsarme Erzeugung von Wasserstoff durch biologische oder chemische Prozesse ggf. in Verbindung mit solarerzeugtem Strom.

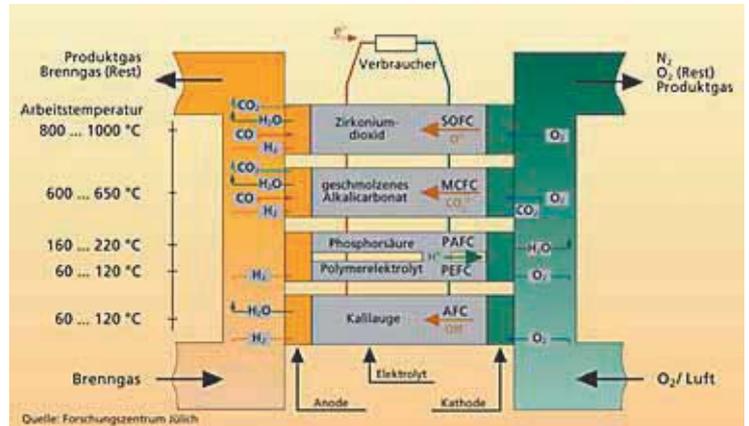


Abb. 73 Funktionsschema einer Brennstoffzelle

	PEM	PAFC	MCFC	SOFC
Elektrolyt	Polymer-Membran	Konzentriertes Phosphorsäureegel (H_3PO_4) an Silizium-carbid-Matrix fixiert	Schmelzflüssige Alkalikarbonate (Li_2CO_3 , K_2CO_3) in keramischer Lithium-aluminat-Matrix	Yttrium stabilisiertes Zirkonoxid
Temperatur	80 °C	200 °C	650 °C	900 °C
η_{el} (System)	40 % (Erdgas) > 50 % (H_2)	40 % (Erdgas) 50 % (H_2)	50 - 55 % (Erdgas) 60 - 70 % (mit Dampfturbine)	55 % (Erdgas) > 70 % (mit Gasturbine)
Anlagengröße	< 1 kW _{el} bis 1 MW _{el}	50 kW _{el} bis 10 MW _{el}	200 kW _{el} bis 10 MW _{el}	1 kW _{el} bis 10 MW _{el}
Derzeitige Anlagenkosten	5.000 bis 10.000 Euro/kW _{el}	ca. 2.500 Euro/kW _{el}	>= 10.000 Euro/kW _{el}	>= 10.000 Euro/kW _{el}

Tab. 12 Charakteristische Daten von Brennstoffzellen

2. Regenerative Energien

Der starke Anstieg des CO_2 -Gehaltes der Atmosphäre wird im Wesentlichen auf die Verbrennung fossiler Energieträger zurückgeführt. Die eigentlichen Verursacher des Treibhauseffektes sind eine Reihe von Spurengasen wie Wasserdampf (H_2O), Kohlendioxid (CO_2), Methan (CH_4), Distickstoffoxid (N_2O), Ozon (O_3) u. a., deren Anteil an der Gesamtmasse der Atmosphäre zusammen weniger als 1 % ausmacht (siehe Abb. 74).

Eine herausragende Bedeutung ist dem Abbau der CO_2 -Emissionen beizumessen.

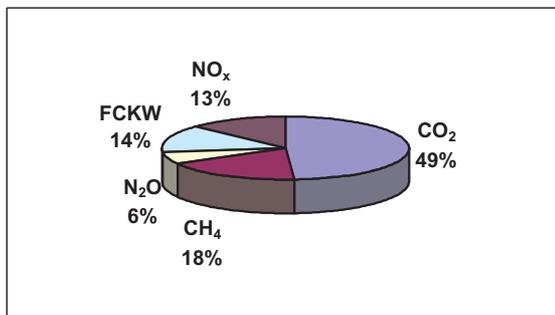


Abb. 74 Beiträge zum anthropogenen Treibhauseffekt

Die regenerativen (erneuerbaren) Energiequellen sind CO_2 -neutral und im Prinzip unerschöpflich. Sie gelten deshalb zunehmend als die Energien der Zukunft. Eine Systematik der **regenerativen Energiequellen** zeigt Abb. 75. An dieser Stelle soll ausschließlich die Solarenergie und die daraus abgeleiteten Energien behandelt werden.

Der Beginn der Industrialisierung zeichnete sich unter anderem dadurch aus, dass es gelang, mit dem Einsatz von Steinkohle eine hohe Leistungs- und Energiedichte zu nutzen. Die Sonneneinstrahlung und die daraus entstehenden anderen erneuerbaren Energieformen Wind, Umweltwärme, Bioenergie haben eine vergleichbar geringe Energiedichte, wie [Tabelle 13](#) zeigt.

Da in vielen Fällen der regenerativen Energieerzeugung die gewonnene Energie nicht zeitgleich auch genutzt werden kann, ist der Einbau von Energiespeichern notwendig. Diese Puffer sind in der Regel noch aufwändig und teuer.

Auch wenn durch die Nutzung der regenerativen Energien nicht unbedingt Kapazitäten konventioneller Kraftwerke eingespart werden können, wird der Einsatz fossiler Brennstoffe reduziert. Die Nut-

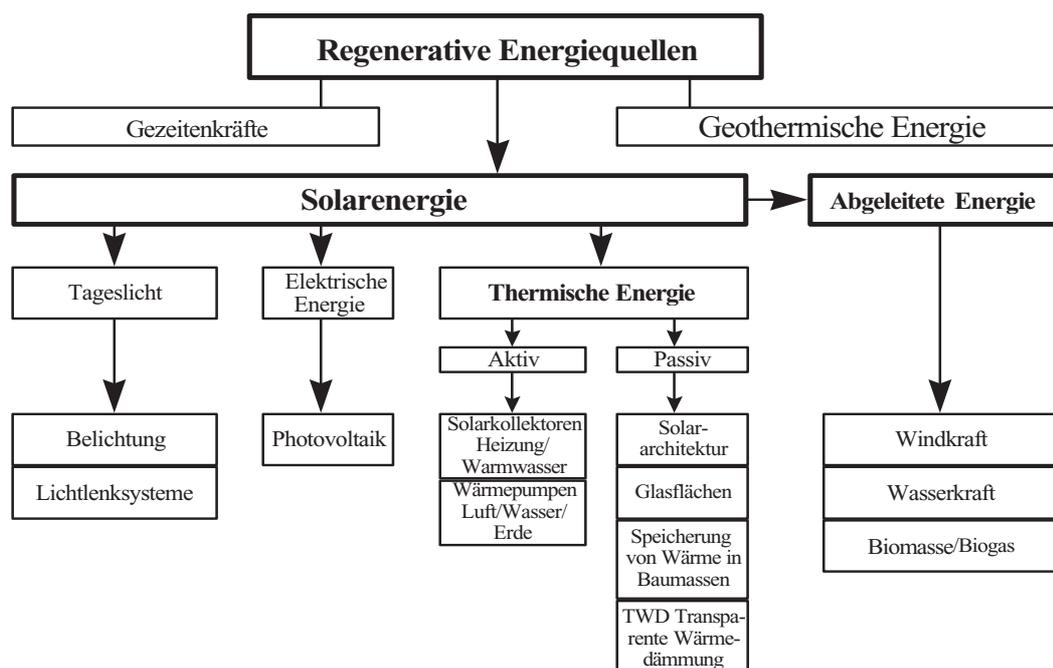


Abb. 75 Systematik der regenerativen Energiequellen

<u>Regenerativ</u>	
Jahresmittel der Sonneneinstrahlung in Deutschland	133 W/m ²
Spitzenwert der Sonneneinstrahlung um die Mittagszeit	1000 W/m ²
Jahresmittel des Windes an der Nordseeküste	490 W/m ²
Bei Sturm (20 m/s)	4800 W/m ²
<u>Herkömmlich</u>	
Heizöl EL	~ 10,08 kWh/l (~ 3 kg CO ₂ /l)
Steinkohle	~ 9,19 kWh/kg (~ 3,8 kg CO ₂ /kg)
Erdgas (Hu)	~ 8,90 kWh/m ³ (~ 2,1 kg CO ₂ /m ³)
Holz	~ 4,30 kWh/kg (~ 0,24 kg CO ₂ /kg)

Tab. 13 Flächenbezogene Leistungsdichten und volumenbezogene Energiedichten/CO₂-Emissionen regenerativer Energiequellen im Vergleich zu herkömmlichen Technologien und Energieträgern

	Theoretisches Potenzial in TWh/a	Prozent	Technisches Potenzial in TWh/a	Prozent
Solarstrahlung	695 000 000	96,000	166 800	56,9
Windenergie	27 800 000	3,840	27 800	9,5
Biomasse	834 000	0,115	52 800	18,0
Erdwärme	278 000	0,038	17 800	6,1
Wasserkraft	44 000	0,006	27 800	9,5
Gesamt	723 956 000	100	293 000	100,0

Tab. 14 Weltweite Aufteilung der wichtigsten regenerativen Energiequellen

zung der neuen Energieformen bedingt große Flächen für Sonnenkollektoren, große Ackerflächen für Biomasse und große Flächen für Windräder.

Der Energieverbrauch der Weltbevölkerung beträgt rund 90.000 TWh. Theoretisch steht ein jährliches regeneratives Energieangebot von 700.000.000 TWh zur Verfügung. Es ist damit rund 8.000 mal so groß wie der Weltverbrauch. Aber selbst das technisch nutzbare Potenzial beträgt noch mehr als das 3-fache des Weltenergieverbrauchs. Die Zusammenhänge zeigt die Tabelle 14 .

Bei der Nutzung von Wasserkraft hat sich bereits in der Vergangenheit gezeigt, dass die entsprechenden Eingriffe in die Natur nicht ohne Bürgerproteste vonstatten gehen. Das Gleiche ist jetzt bei dem Ausbau der Windenergienutzung zu beobachten.

Weitere Probleme bei der Nutzung der „sanften“ Energieströme ergeben sich aus der Schwankung der Verfügbarkeit durch tages- und jahreszeitliche Veränderungen des Energieangebotes.

2.1 Solarthermie

Bei solarthermischen Anlagen erfolgt eine Umwandlung der eingestrahnten Sonnenenergie in Form von Wärme durch abgedeckte Kollektorsysteme, vorzugsweise angeordnet auf Dächern oder integriert in Fassaden. Ein Solarkollektor besteht aus dem Aufnahmeelement, der rückwärtigen und seitlichen Wärmedämmung und der transparenten, der Sonne zugewandten Abdeckung.

Sonnenkollektoren (direkte Nutzung)

Die einfachsten Niedertemperatur-Kollektoren werden vornehmlich für die Schwimmbad-Wassererwärmung eingesetzt. Sie bestehen aus unverklebten, nicht isolierten schwarzen Absorbieren, meist aus preiswerten Kunststoffmaterialien. Bei Stillstand des Wärmeträgerdurchflusses treten Temperaturen von 70 - 90° C auf. Diese Kollektoren liefern in der Badesaison rund 250 bis 300 kWh pro m² Kollektorenfläche und kosten nur zwischen 51 und 128 Euro pro m².

Daraus ergeben sich Wärmegestehungskosten von 2,6 bis 4,1 Cent pro kWh. Diese einfachen Kollektoren sind mit konventionellen Wärmeerzeugern auf der Basis von Öl oder Gas konkurrenzfähig und einer Wärmeerzeugung mittels Strom sogar weit überlegen.

Durch transparente Abdeckung durch eine Scheibe und durch Wärmedämmung werden die Wärmeverluste reduziert und die Effizienz der Kollektoren erhöht. Allerdings steigt auch der Preis.

In unseren Breiten werden diese Anlagen vornehmlich zur Schwimmbadheizung mit Brauchwassererwärmung und zur reinen Brauchwassererwärmung eingesetzt. Da eine Umwandlung der Sonnenstrahlung in nutzbare Wärme nur bei Sonnenschein möglich ist, müssen Brauchwassererwärmungsanlagen mit Speichern ausgestattet werden (siehe Abb. 76).

Die unmittelbare Solarenergienutzung mit thermischen Solarkollektoren ist wegen des klimatisch begrenzten Solarenergiegewinns von jährlich 300 bis 400 (max. 500) kWh je m² Kollektorfläche und der je nach Kollektorbauart und Verwendungszweck relativ hohen Investitionen für das Gesamtsystem nur in gewissen Anwendungsbereichen wirtschaftlich. Zur ganzjährigen Beheizung ist eine ergänzende konventionelle Wärmeerzeugung unentbehrlich.

Um die jahreszeitabhängigen solaren thermischen Gewinne auch langfristig, d. h. über mehrere Wochen oder Monate, speichern zu können, sind Erdspeicher, sog. Aquiferanlagen, entwickelt worden. Hierbei wird die Solarwärme an einen im Erdreich mit einem Wasser-Kiesgemisch gefüllten Speicher abgegeben. Der Speicher kann bedarfsweise entladen werden.

Die Größenordnung des Speichers hängt naturgemäß vom Gesamtwärmebedarf und der installierten Kollektorfläche ab. Thermochemische Speichersysteme, die ebenfalls eine langfristige Wärmespeicherung ermöglichen, befinden sich noch in der Entwicklungsphase.

Durch Vakuum-Röhrenkollektoren oder Vakuum-Flachkollektoren lässt sich eine weitere Verbesserung in bezug auf den Wirkungsgrad und die Temperaturen erreichen. Allerdings verursachen Stillstandstemperaturen von bis zu 200° C bei diesen Kollektoren noch eine Reihe von Problemen. Bei Flachkollektoren treten beim Stillstand Temperatu-

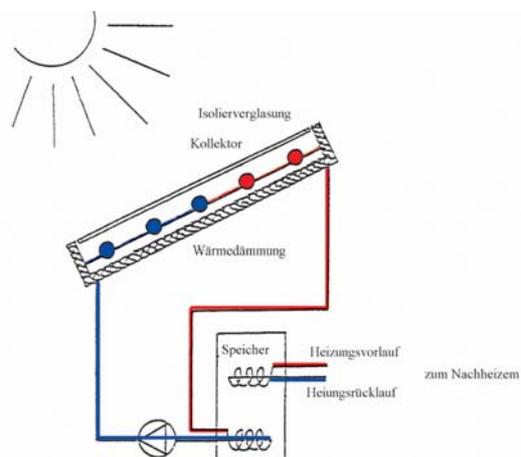


Abb. 76 Schema einer solaren Brauchwasseranlage

ren bis 200° C und bei Vakuum-Röhrenkollektoren bis 250° C auf. Mittlerweile sind die Systeme in der Lage, mit diesem Problem umzugehen. Ist eine Anlage optimal geplant (Anlagengröße im Verhältnis zur Speichergröße), kann mit sehr geringen Stillstandzeiten gerechnet werden.

Der Vakuumröhrenkollektor hat im Vergleich den größeren Wirkungsgrad, gefolgt vom Flachkollektor mit selektivem Absorber. Einen geringeren Wirkungsgrad hat der Flachkollektor mit mattschwarzem Absorber und den geringsten Wirkungsgrad erzielt der Schwimmbadabsorber (siehe [Abb. 77, nächste Seite](#)).

Voraussetzung für einen wirtschaftlichen Betrieb von Solartechnischen Anlagen ist:

- realistisch kumulierte jährliche solare Energie-nutzung,
- verlustarme Umwandlung von Solarstrahlung in Wärme (Auslegungsparameter, Bauarten),
- schnell reagierende Mess-, Steuer- und Regel-technik.

Besonders geeignet sind solarthermische Anlagen mit Heizungsunterstützung und Brauchwassererwärmung bei gleichmäßigem und hohem Warmwasserbedarf. Ist der Heizungsbedarf durch entsprechende Vorkehrungen geringer (Passivhausstandard), bietet sich eine reine Brauchwasserunterstützung durch Solarenergie an. Eine reine Heizungsunterstützung ist weder im Wohnungsbau, noch im Verwaltungsbau sinnvoll, da nur im Sommer thermische Gewinne erzielt werden, wenn sie zu Heizzwecken eigentlich nicht benötigt werden.

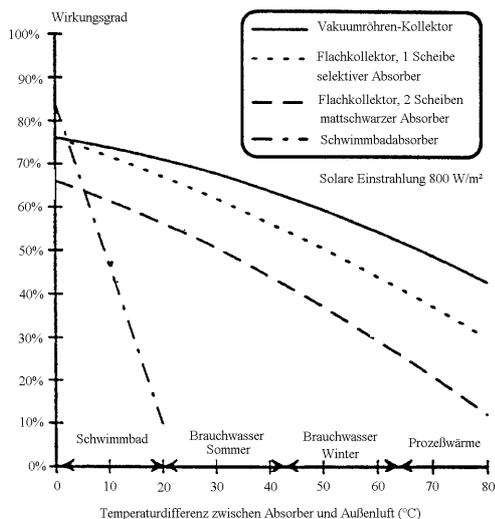


Abb. 77 Kennlinien verschiedener Kollektortypen

Bei Kollektorflächen lassen sich Fertigdachelemente einsetzen, die individuell an die zur Verfügung stehende Dachfläche angepasst werden können. Die Tragkonstruktion einschließlich Wärmedämmung ist Bestandteil des Fertigbauelementes. Aus dem geringeren Montage- und Installationsaufwand sowie der Größe der Kollektormodule resultieren niedrigere Wärmegestehungskosten im Vergleich zu kleineren Solaranlagen.

Um eine Verschattung von Kollektorflächen zu minimieren, sind möglichst hoch gelegene Aufstellorte vorzuziehen. Dabei bestimmen Dachform, Dachneigung und die Stellung der Gebäude die Möglichkeiten und, über den Energieertrag, auch die Kosteneffizienz der aktiven Sonnenenergienutzung. Abbildung 78 soll helfen, diese energetische Wirkung abschätzen zu können.

Luftkollektoren

In Gebäuden, die ständig be- und entlüftet werden müssen, wie z. B. Sporthallen oder Gebäude mit Luftheizung kann der Einsatz von Luftkollektoren interessant sein.

Hierbei wird die Zuluft direkt durch Hohlräume eines Solarkollektors geführt und dabei vorgewärmt. Durch die unmittelbare Wärmeübertragung der solaren Energie auf die Zuluft können relativ hohe Wirkungsgrade erzielt werden. Voraussetzung für den Einsatz dieser Systeme ist eine einfache, kurze Luftkanalführung und der Verzicht auf höhere Komfortansprüche an die Luftqualität. Der Nachteil ist, dass die solare Wärme nicht direkt gespeichert werden kann.

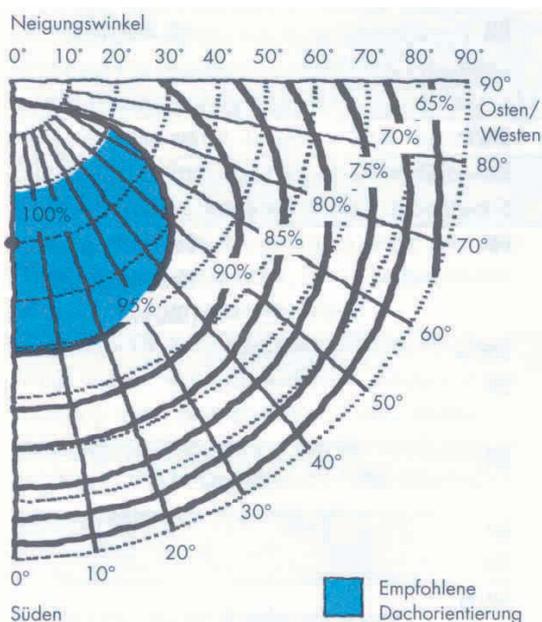


Abb. 78 Prozentualer Energieertrag in Abhängigkeit von Neigung und Ausrichtung der Dachfläche

2.2 Fotovoltaik

Bei der Fotovoltaik wird die Strahlungsenergie der Sonne direkt in elektrischen Strom umgewandelt. Für die Umsetzung werden z. Zt. mehrere Wege besprochen, die nach dem verwendeten Basismaterial charakterisiert werden können:

- einkristallines Silizium,
- amorphes Silizium,
- multikristallines Silizium,
- Verbindungshalbleiter,
- Tandemzellen,
- fotoelektrochemische (PEC-)Zellen.

Die heute eingesetzten Solarzellen bestehen überwiegend aus den vorgenannten Arten auf Siliziumbasis. Obwohl die theoretischen Wirkungsgrade bei etwa 26 % liegen, werden in der Praxis maximale Wirkungsgrade von 8 - 18 % erreicht. Theoretische Wirkungsgrade z. B. durch Kopplung von PEC-Zellen mit Tandemzellen von 44 % sind zur Zeit technisch noch nicht realisierbar.

Der gewonnene Strom kann in Batterien gespeichert oder über Wechselrichter in die konventionellen Netze eingespeist werden.

Die Anlagenkosten betragen je nach Aufwand für Wechselrichteranlagen rund 6.000 bis 8.500 Euro/kW_p.

In diesen Preisen sind die Kosten der Peripherie (Wechselrichter, E-Technik, Verkabelung und

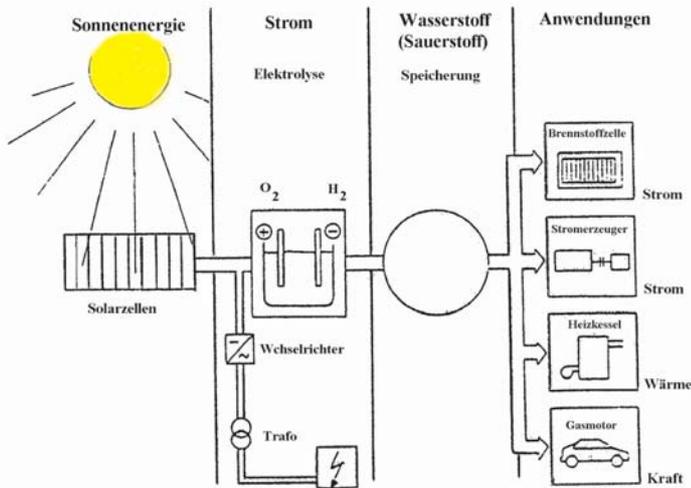


Abb. 79 Denkbare Nutzung für Wasserstoff

Bisher wurden in Deutschland aber nur Versuchsanlagen errichtet. Diese Demonstrationsanlagen zeigen, dass die Strom- und damit die Wasserstoffherzeugung aus Sonnenenergie über fotovoltaische Umwandlung noch sehr weit von der Wirtschaftlichkeit entfernt ist. Bisher kostet der Strom aus Fotovoltaikanlagen das Vielfache des in konventionellen Kraftwerken erzeugten Stromes. Die Wasserstoffherzeugung durch Fotovoltaik wird häufig als Energie des 21. Jahrhunderts bezeichnet. Die denkbaren Nutzungen für Wasserstoff zeigt Abb. 79.

Montage) bereits enthalten. Trotz der hohen Kosten nimmt der Einsatz für solche Verbrauchsanlagen zu, die bisher mit aufwändigen und sehr teuren Kabelzuführungen gespeist werden mussten (Signalanlagen in abgelegenen Gebieten, See- und Verkehrsschildern, Relaisstationen, Beleuchtung in abgelegenen Straßentunneln). Auf 10 m² Dachfläche lässt sich je nach Modulwahl eine Fotovoltaikanlage von 1 kW_p realisieren.

Fotovoltaik zur Wasserstoffherzeugung

Wärme und Strom können über größere Entfernungen nur mit erheblichen Verlusten transportiert werden. Die Speicherung ist nur mit großem technischen Aufwand möglich.

Eine Alternative bietet die elektrophysikalische Erzeugung von Wasserstoff. Dabei dient der mittels Solarzellen erzeugte Strom zur Spaltung von Wasser.

Die technischen Probleme sind weitgehend gelöst.

Damit ist es möglich, gewonnene elektrische Energie umzuwandeln, in Form von flüssigem Wasserstoff zu transportieren und an entfernter Stelle zu verarbeiten. Eine Umweltbelastung findet im Betrieb praktisch nicht statt.

Wasserstoff verbrennt sehr umweltfreundlich. Er könnte Erdgas als Brennstoff ablösen. Zur Verteilung bieten sich die bestehenden Erdgasleitungen an. Ein umfangreiches Wasserstoffrohrnetz existiert bereits im Rhein-Ruhr-Raum.

2.3 Wärmepumpe

Wärme mit nicht nutzbarem Temperaturniveau gibt es in vielen Bereichen in der Umwelt (Erdbreich, Grundwasser, Oberflächenwasser, Außenluft) und als Abwärme aus verschiedenartigsten technischen Anlagen und Einrichtungen (Fortluft von Lüftungsanlagen, Abwasser usw.). Mit der Wärmepumpe wird diesen Quellen Wärme entzogen und mit einem verhältnismäßig geringen Aufwand an **Primärenergie** auf eine für die Beheizung, Warmwasserbereitung etc. verwendbare Temperatur angehoben. Die Wärmepumpe arbeitet prinzipiell wie eine Kältemaschine (Kühlschrank), aber mit dem Unterschied, dass nicht die Kühlleistung des Verdampfers, sondern die Wärmeleistung des Verflüssigers genutzt wird (siehe Abb. 80). Als Antrieb stehen Elektro-, Gas- oder Dieselmotoren zur Verfügung. Ob Wärmepumpen energetisch sinnvolle Alternativen zu anderen Heizungssystemen sind, wird maßgeblich durch das Verhältnis der von der Wärme-

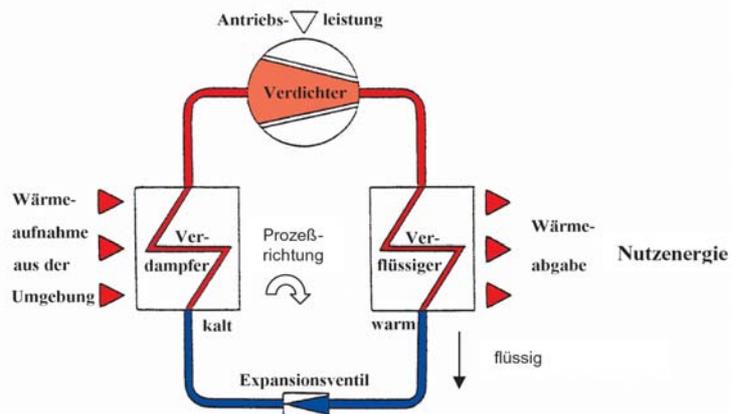


Abb. 80 Prinzip der Kompressionswärmepumpe

pumpe bereitgestellten Nutzenergie zu der für das gesamte Wärmepumpensystem in den vorgelagerten Umwandlungsstufen notwendigen Primärenergie beeinflusst, denn zum Betrieb des Verdichters der Wärmepumpe werden stets zusätzlich Strom oder Brennstoffe benötigt.

Die Tabelle 15 gibt einen Überblick über diese so genannten Primärenergie nutzungsgrade. Die in der Tabelle gezeigten Werte stellen zwar nur grobe Mittelwerte dar, zeigen aber eine wesentliche Tendenz. Die Wärmepumpen nutzen herkömmliche fossile Primärenergieträger bis zu 50 % besser als die üblichen Öl- und Gasheizungs-systeme.

Wichtig ist dabei, dass jeweils das gesamte System der Energiebereitstellung betrachtet wird. Dies bedeutet beispielsweise im Falle der elektromotorisch angetriebenen Kompressionswärmepumpe, dass auch die Art und Weise der Stromerzeugung für den Elektromotor (Wirkungsgrad, Schadstoffe) Berücksichtigung findet.

Am effektivsten arbeiten Wärmepumpen, wenn Wärmequellen mit möglichst hoher Temperatur zur Verfügung stehen und das Wärmeabgabesystem mit niedriger Temperatur betrieben wird.

Schwimmbäder sind ein idealer Anwendungsfall für den Einsatz einer Wärmepumpe durch die konsequente Ausnutzung der Energie der Abluft und deren relativ hohem Temperaturniveau zu den benötigten Temperaturen für:

- Beckenwassererwärmung,
- Fußbodenheizung,
- Duschwasserbereitung,
- Raumluft erwärmung.

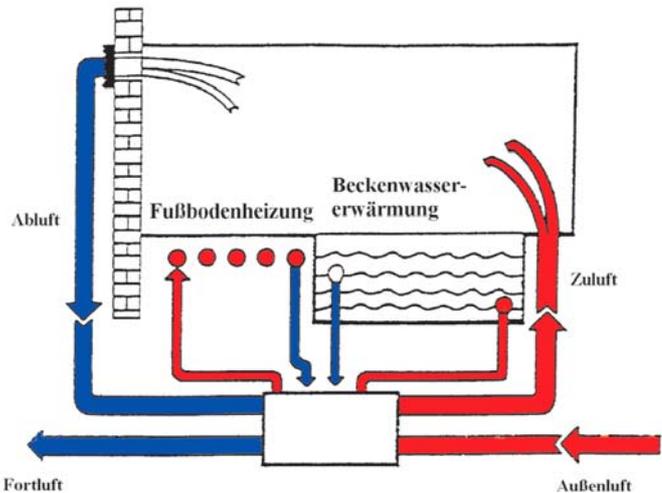


Abb. 81 Wärmepumpenanlage in einem Schwimmbad

Abb. 81 zeigt die Abwärmenutzung für Beckenwassererwärmung, Fußbodenheizung und Zulufterwärmung.

2.4 Wasserkraft

Überragende Bedeutung unter den erneuerbaren Energien hat die Wasserkraft. Sie zählt mit Stromgestehungskosten bei bestehenden Anlagen von 2,6 bis 3,6 Cent/kWh zu den kostengünstigsten Varianten der Stromversorgung und trägt in Deutschland seit Jahrzehnten mit sehr hoher Zuverlässigkeit zur Strombedarfsdeckung bei. 1994 wurden in Deutschland rd. 17,5 Milliarden kWh entsprechend 3,9 % des Stromverbrauchs so erzeugt. Dies sind 80 % des aus erneuerbaren Energien erzeugten Stromes. Der weit überwiegende Teil dieses Stromes stammt aus relativ wenigen großen Wasserkraftanlagen der Energieversorgungsunternehmen. Starke Zuwächse sind aus geografischen Gründen, aber auch auf Grund der immer umfangreicheren

Kompressionswärmepumpe (elektrisch betriebene Wärmepumpe)	0,9 - 1,4
Absorptionswärmepumpe	1,1 - 1,5
<i>Im Vergleich dazu</i>	
- Öl- oder Gasheizung	0,6 - 0,8
- mit Brennwertnutzung	0,8 - 1,05

Tab. 15 Primärenergie nutzungsgrade verschiedener Heizsysteme im Verhältnis zum Primärenergieeinsatz

Genehmigungsverfahren, verbunden mit Einsprüchen und zusätzlichen Auflagen, vor allem aus Gründen des Landschafts- und Naturschutzes sowie wegen wachsender Widerstände in der Bevölkerung eher unwahrscheinlich.

2.5 Windkraft

Mitte 1995 waren in Deutschland 840 Megawatt installiert. Ende 2001 betrug die installierte Leistung bereits 8.000 Megawatt. Die Kosten der Windkraftanlagen sind in den vergangenen Jahren im Verhältnis der Leistungsgröße gesunken und betragen bei Großanlagen ca. 767 Euro pro kW. Nach dem Erneuerbaren-Energien-Gesetz (EEG) wird die kWh mit durchschnittlich 8,85 Cent (Stand 2002) vergütet.

Auch im Binnenland sind oftmals bessere Standortbedingungen anzutreffen, als ursprünglich erwartet. So hat beispielsweise Nordrhein-Westfalen 1995 nach den beiden Küstenländern Schleswig-Holstein und Niedersachsen Platz 3 in bezug auf die installierte Windenergieanlagenleistung erreicht. Potenzialabschätzungen weisen auch für andere Binnenstandorte wie z. B. der Schwäbischen Alb oder anderen Mittelgebirgen gute Möglichkeiten einer kostengünstigen Windstromversorgung aus (siehe Abb. 82).

2.6 Biomasse

Die nachwachsende Biomasse ist – rein rechnerisch gesehen – in der Lage, den derzeitigen **Primärenergiebedarf** der Welt etwa mehrfach zu decken. Allein die beiden sich flächenmäßig nicht ausschließenden Methoden der Forstwirtschaft und der Strohverwertung in der Landwirtschaft weisen ein Gesamtpotenzial aus, dass mehr als das 4-fache des derzeitigen Primärenergieverbrauchs darstellt.

Biogas entsteht durch anaerobe Gärung organischer Abfallstoffe unter Luftabschluss und wird aus Kläranlagen, landwirtschaftlichen Betrieben und Mülldeponien und in der Ernährungsindustrie gewonnen. Biogas enthält hauptsächlich Methan als brennbaren Bestandteil (siehe [Abb. 83, nächste Seite](#)). Das für die Biogasproduktion verwendete organische Material benötigt für seine Entstehung Koh-

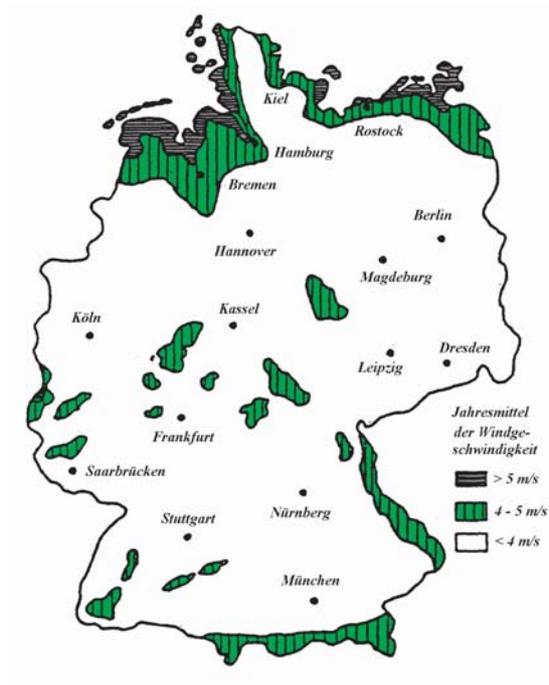


Abb. 82 Gebiete mit technisch nutzbaren Windgeschwindigkeiten in Deutschland

lendioxid, das durch Fotosynthese aus der Luft gewonnen und in den Pflanzen gebunden wurde.

Das bei der anaeroben Gärung entstehende Biogas hat als Verbrennungsprodukt wiederum Kohlendioxid, so dass es sich hier bezüglich des Treibhauseffektes um einen umweltneutralen kurzfristigen Kreislauf handelt.

Biogas kann direkt als Brenngas oder als Treibstoff für Verbrennungsmotoren, z. B. von Blockheizkraftwerken, eingesetzt werden, enthält aber häufig große Anteile S und N₂. Die Erzeugung von Wärme und elektrischem Strom ist damit möglich.

Zur Nutzung sind Wärme- und Stromabnehmer in der Nähe oder spezielle Faulgasleitungen zu den Gasverbrauchern erforderlich.

Aus diesen Gründen ist bisher der Anteil an der Energieerzeugung gering. In vielen Fällen wird nur der Eigenbedarf gedeckt, der allerdings recht hoch sein kann. Für Kläranlagen, die sowohl hohen Strom- als auch Wärmebedarf haben, bietet sich die Installation eines Blockheizkraftwerks mit diesem Gas an.

Mülldeponie:

Die Methangasproduktion beginnt etwa 2 Jahre nach Abschluss eines Deponieabschnitts intensiv, hält etwa 20 Jahre an und ergibt in dieser Zeit ca. 120 m³ Gas/t Müll.

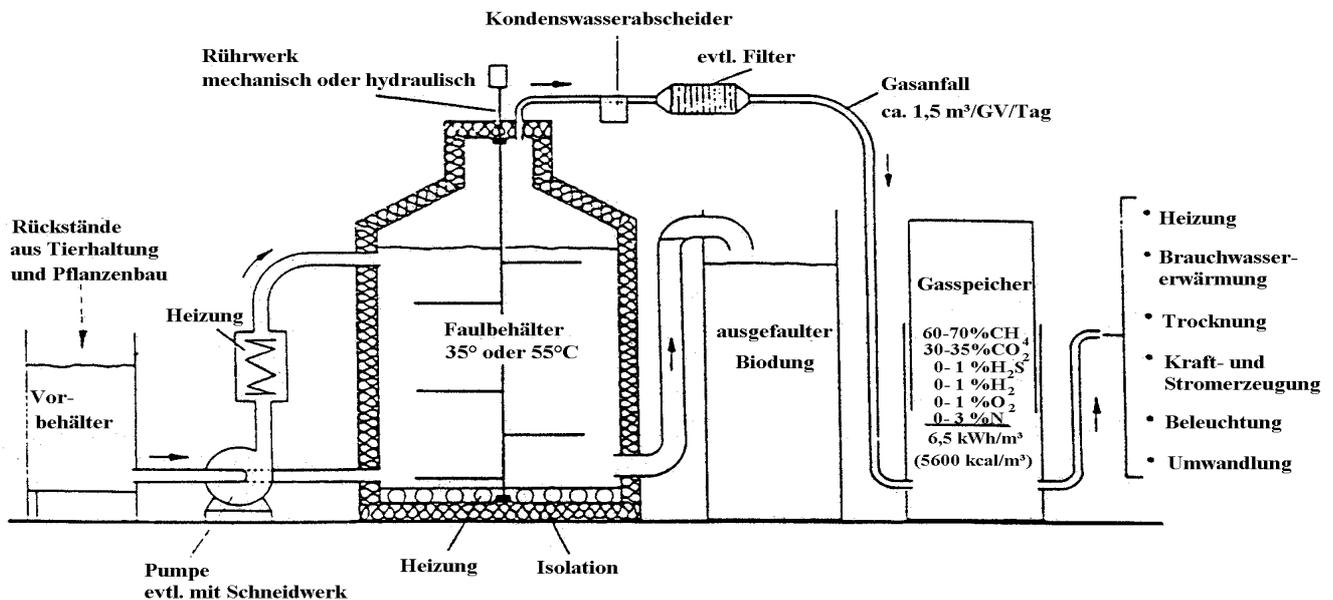


Abb. 83 Biogas-Verfahren (vereinfachte schematische Darstellung)

Kläranlagen:

Faulgas aus biologischen Kläranlagen enthält etwa 70 % Methan. Pro Tag und Einwohner rechnet man mit ca. 0,025 m³ Faulgas.

Landwirtschaft:

Hier kann etwa mit 1-2 m³ Gas pro Tag und GVE (Großvieheinheit = 1 Kuh von 500 kg) gerechnet werden.

Eine Ergänzung der klassischen Brennstoffe zur Wärmeerzeugung sind feste Biobrennstoffe aus rasch nachwachsenden Hölzern und Pflanzen sowie Rückständen aus landwirtschaftlichem Anbau (strohökologischer Kreislauf) zur Erzeugung von Wärme in Heizwerken.

Für die direkte Verbrennung von Holz (Stück- oder Hackgut) und Stroh sind geeignete Wärmeerzeugungsanlagen auf dem Markt. Der Einsatz ist auch in Kombination mit Wärmeerzeugern für fossile Brennstoffe wirtschaftlich durchführbar.

Unbehandelte Hobel- und Sägespäne werden als Abfallprodukte der Holzverarbeitenden Industrie unter hohem Druck zu kleinen zylindrischen Holzpellets verdichtet. Der Heizwert entspricht etwa 5 kWh/kg, so dass mit 2 kg Pellets etwa 1 l Heizöl bzw. 1 m³ Gas ersetzt werden kann. Je nach Liefermenge liegt der Preis zwischen 170 und 230 Euro pro Tonne. Im Vergleich zum Heizöl würde das einem Preis von etwa 35 bis 41 Cent je Liter entsprechen. Bei Umstellung von Heizöl reicht der ehemalige Heizöllagererraum meistens als neues Pelletlager aus. Der Rohlagererraum kann nach der Faustformel

0,9 m³ pro kW Wärmeleistung berechnet werden. Pflanzenöle (meist Rapsöle) sind für die Wärme- und Stromerzeugung (Netzersatzanlagen) und für die Wärme-Kraft-Kopplung geeignet. Rapsöle sind nur in speziell angepassten Dieselmotoren einsetzbar.

Der Standort der Heizwerke muss wegen des vergleichsweise geringen Heizwertes der Biomasse gegenüber Gas, Öl, Kohle am Erzeugungsschwerpunkt gewählt werden. Ein wirtschaftlicher Einsatz ist nur bei hinreichender Wärmeabnahme gegeben. Überlegungen zur Organisation einer gesicherten Brennstoffbeschaffung und -lagerung sind dabei notwendig.

Das bei der Verbrennung entstehende CO₂ würde beim Vermodern ohnehin entstehen. Das bedeutet, dass der zwischengeschobene Verbrennungsprozess bezüglich des Treibhauseffekts umweltneutral ist und darüber hinaus fossile Brennstoffe eingespart werden können.

2.7 Geothermie

Die Erdwärme stammt aus der Ursprungswärme bei der Entstehung der Erde und zum großen Teil aus dem Zerfall verschiedener radioaktiver Isotopen.

Diese Wärme fließt ständig zur Erdoberfläche. Die Temperatur nimmt mit der Tiefe zu, der gebräuch-

liche Mittelwert des Temperaturanstiegs beträgt ca. 3 K pro 100 m.

Die Nutzung erfolgt bisher hauptsächlich an Stellen so genannter geothermischer Anomalien, die sich durch natürliche Vorkommen von heißen Wasser und Dampf (Geysire, warme Quellen) bemerkbar machen. Diese Form der geothermischen Energie wird hauptsächlich zur Gewinnung von:

- elektrischer Energie,
- Wärmeenergie für Heizzwecke und Warmwasserbereitung,
- technologische Zwecke – Wasserentsalzung, Kühlung.

genutzt.

In Larderello (Italien) wurde schon 1913 das erste geothermische Kraftwerk der Welt in Betrieb genommen.

Reykjavik (Island) versorgt 115.000 Einwohner mit Warmwasser, Fernheizung über Geothermie. Wasserentsalzungsanlagen werden in Kalifornien betrieben.

Die hydrothermale Geothermie nutzt geothermische Schichtenwässer, die in porösen wasserführenden Schichten in Tiefen von 1.500 bis 3.000 m anzutreffen sind. Die Wässer sind meist salzhaltig und je nach Tiefe liegen ihre Thermalwassertemperaturen zwischen 55 bis 95° C. Genutzt wird dieses geothermische Wasser zur Wärmeversorgung und im Einzelfall über Binärsysteme zur Elektroenergiegewinnung. Über ein Bohrungsdoppel mit einem Abstand von ca. 1 km wird das Wasser mit Hilfe einer Tauchpumpe gefördert und nach der thermischen Nutzung mittels Wärmetauscher wieder in den Untergrund gepresst (reinjiziert, siehe Abb. 84).

In Neubrandenburg wurde schon 1984 ein Wohngebiet mit ca. 5 MW versorgt. Geeignete Gebiete gibt es in Deutschland vor allem in der Norddeutschen Tiefebene, im Oberrheingraben, auf der Schwäbischen Alb.

Das Hot-Dry-Rock-Verfahren nutzt die Energie aus heißen Gesteinen des Untergrundes. Dazu werden zwei Bohrungen bis max. 5 km Tiefe niedergebracht, zwischen denen vorhandene Risse erweitert bzw. künstliche Risse geschaffen werden und so eine große Wärmeübergangsfläche bilden. Durch die eine Bohrung wird kaltes Wasser eingebracht, das sich in der Rissfläche bei Gesteinstemperaturen von 250 – 450° C erwärmt und als Warmwasser bzw. Dampf an der zweiten Bohrung austritt.

Es gibt Anlagen in Los Alamos (USA) mit 5 MW, Versuchsanlagen in Bad Urach mit Bohrungen bis 3.500 m Tiefe und eine Versuchsanlage mit Beteiligung der EU im Oberrheingraben.

Bei der Nutzung oberflächennaher Bereiche kommen Erdwärmesonden, die in Bohrungen bis max. 200 m Tiefe eingebracht werden zum Einsatz. In ihnen zirkuliert in einem geschlossenen Kreislauf Wasser, ein Wasser-Glykol-Gemisch (Sole) oder als Direktverdampfersystem ein Kältemittel. Dieses System ist aber nur in Verbindung mit einer Wärmepumpe nutzbar.

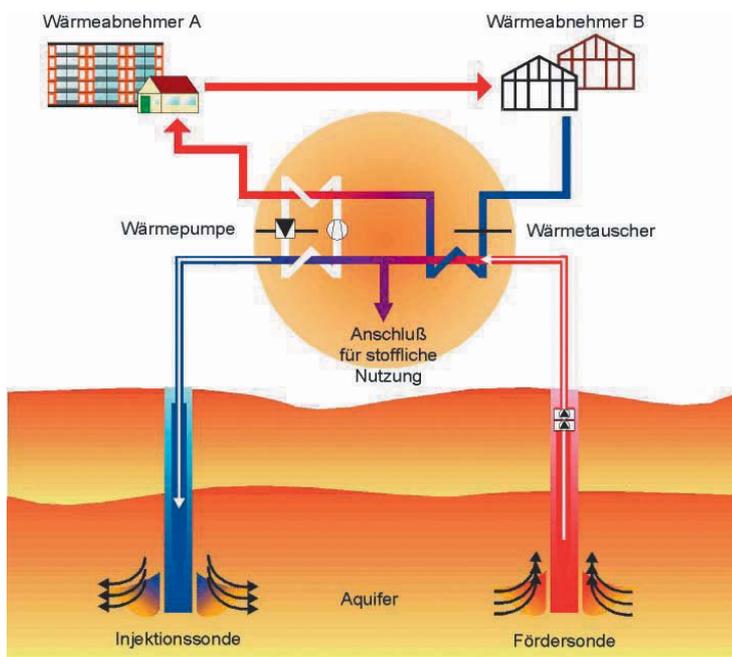


Abb. 84 Funktionsweise einer Geothermieanlage
(Quelle: Landesinitiative Zukunftsenegie NRW)

3. Energiemanagement

Ausgehend vom nordamerikanischen Raum vollzieht sich seit einigen Jahren auch in Europa und Deutschland ein Wandel in der Gebäude- und Immobilienbetrachtung. Das so genannte Facility Management (FM) hat Einzug gehalten. Verstanden wird darunter eine ganzheitliche Konzeption der Gebäudebewirtschaftung, die sich auf den kompletten Lebenszyklus einer Immobilie von der Planung und Erstellung über die Nutzung bzw. Umnutzung, Umbauten bis hin zum Abriss erstreckt. Ein weiterer Haupt Gesichtspunkt ist dabei die Konzentration auf die Kernkompetenzen. Das heißt, mit der Gebäudebewirtschaftung werden zunehmend Firmen beauftragt, die sich auf diese Aufgabe spezialisiert haben und deren Kernkompetenz damit auch in diesem Bereich liegt. Um diese Zielsetzungen zu erreichen, hat sich die GEFMA (Deutscher Verband für Facility Management) konstituiert mit dem Ziel, eine Hilfestellung für alle Beteiligten am Thema FM zu bieten.

Hintergrund dieser Entwicklung ist, dass bei der ganzheitlichen Betrachtung einer Immobilie die Betriebskosten immer mehr in den Vordergrund rücken. Bei einer Gebäudenutzungsdauer von 40 bis 60 Jahren betragen die Investitionskosten nur zwischen 10 und 25 % der Baunutzungskosten. Das heißt, nach sechs bis acht Jahren, bei hochinstallierten Gebäuden wie Krankenhäusern bereits nach 3 - 4 Jahren sind die Baunutzungskosten für Betrieb und Unterhalt der Immobilie bereits höher als die Erstellungskosten (siehe Abb. 85).

Die Entwicklung der Gebäudekosten (Planungs- und Erstellungskosten und Baunutzungskosten) wird durch folgende Grafik verdeutlicht. Wesentliche Weichen für dieses Verhältnis und die spätere Kostenverursachung werden bereits in der Planungs- und Entstehungsphase der Gebäude gestellt. Nicht nur ein Großteil der reinen Baukosten, sondern auch 50 bis 80 % der späteren Baunutzungskosten werden schon in der Entwurfs- und Planungsphase festgelegt. Hier liegt auch der Ansatzpunkt für ein ganzheitliches und optimiertes FM-Konzept. Um die Auswirkungen der Planungsentscheidungen auf die späteren Betriebskosten transparent zu machen, werden moderne Simulationsprogramme eingesetzt.

Betrachtet man nur den Teil des FM, der sich auf die Nutzung der Gebäude bezieht, so spricht man in der Regel von „Gebäudemanagement“ (GM). Das Gebäudemanagement umfasst die Gesamtheit der

kaufmännischen, technischen und infrastrukturellen Leistungen. Ein wesentlicher Bestandteil des Technischen Gebäudemanagements ist das Energiemanagement. Das Energiemanagement fasst alle Aktionen und Maßnahmen zusammen, die geplant und durchgeführt werden mit dem Ziel, möglichst wenig Energie einzusetzen, die Energiekosten zu minimieren und die energieverbrauchsbedingten Emissionen zu reduzieren. Energiemanagement kann in jedem Gebäude angewandt werden und erstreckt sich auf alle Arten der eingesetzten Energie (z. B. für Heizung, Kühlung, Beleuchtung usw.) bis hin zum gesamten Wasserverbrauch. Das Energiemanagement umfasst im Wesentlichen die in [Abb. 86](#) (siehe nächste Seite) gezeigten Handlungsfelder:

- Energiecontrolling, Benchmarking**
 Das systematische Energiecontrolling ist ein zentrales Element des Energiemanagements. Das Erheben der Gebäudebasisdaten und das regelmäßige Erfassen der Verbrauchs- und Kostenwerte ermöglichen erst die Bildung von Energiekennwerten und das darauf aufbauende Benchmarking. Diese Daten und Verfahren bilden die Grundlage für die Analyse vermeidbarer Energieverluste sowie technischer und organisatorischer Schwachstellen. Dabei unterscheidet man zwischen dem so genannten internen und externen Benchmarking. Beim internen Benchmarking betrachtet man die zeitliche Entwicklung der Energiekennwerte eines Gebäudes, z. B. die Veränderungen gegenüber dem Vormonat oder dem Vorjahr.

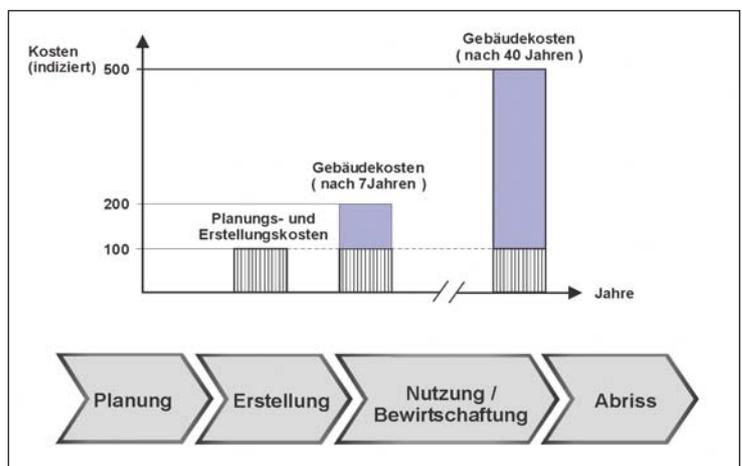


Abb. 85 Gebäudelebenszykluskosten

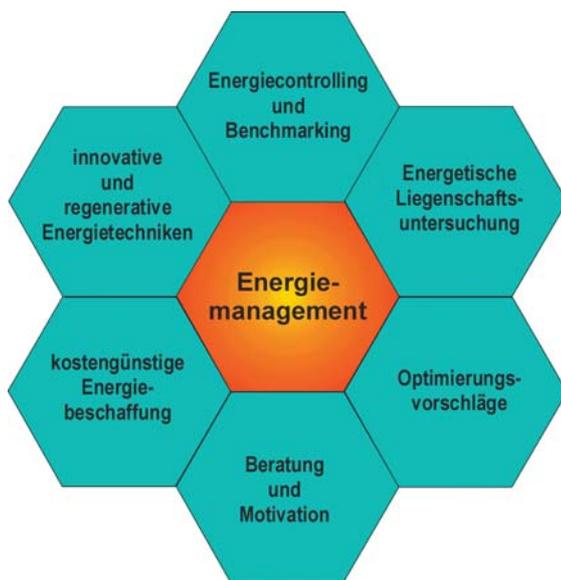


Abb. 86 Handlungsfelder des Energiemanagements

Beim externen Benchmarking werden die Energiekennwerte der Gebäude mit gleicher Nutzungsart miteinander verglichen. Dabei können die Nutzungsarten dem Bauwerkszuordnungskatalog der Arbeitsgemeinschaft der für das Bau-, Wohnungs- und Siedlungswesen zuständigen Minister der Länder (früher: ARGEBAU – jetzt Bauministerkonferenz (BMK)) entnommen werden. Erst durch ein systematisches Energiecontrolling und Benchmarking wird es möglich, die energetische Situation der Gebäude transparent zu machen.

- **Energetische Liegenschaftsuntersuchung und Ermittlung der Einsparpotentiale**
Energetische Liegenschaftsuntersuchungen werden mit dem Ziel durchgeführt, die energetischen Schwachstellen eines Gebäudes und der gebäudetechnischen Anlagen aufzuzeigen. Dabei ist besonders zu achten auf:
 - Wärmedämmung der Gebäudehülle sowie der Rohrleitungen und Armaturen,
 - Notwendigkeit und Funktion der einzelnen Anlagen und Bauelemente,
 - hydraulischer Abgleich der Leitungswerke,
 - Aufteilung der Heiz- und Regelkreise nach Gebäudenutzung und Himmelsrichtung.

Im Einzelfall kann eine gezielte messtechnische Schwachstellenanalyse erforderlich sein, um die Ursachen für einen hohen Energieverbrauch zu ermitteln. Dazu wird untersucht, in welchen Fällen unnötig Energie verbraucht wird, und die technischen Anlagen und Geräte

werden dahingehend untersucht, ob und wo Energie ineffizient und mit hohen Umwandlungsverlusten bereitgestellt wird. Zur Rationalisierung des Arbeitsablaufes empfiehlt es sich, mit standardisierten Prüflisten zu arbeiten und eine automatisierte Erstellung der Ergebnisberichte anzustreben. Dabei sind neben den Defiziten auch bauliche und technische Verbesserungsmöglichkeiten aufzuzeigen.

Die Schlussfolgerungen aus den voran gegangenen Schritten dienen zur Optimierung der Energieverbrauchssituation. Dies schließt auch eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der verschiedenen Maßnahmen mit ein. Diese gliedern sich in Sofortmaßnahmen und in mittel- bis langfristige Maßnahmen.

■ **Optimierungsvorschläge für den Gebäudebetrieb**

Die wirtschaftliche Nutzung der gebäudetechnischen Anlagen erfordert eine ständige Optimierung der Betriebsparameter und Betriebsweise.

Dabei ist besonders darauf zu achten, dass:

- die gebäudetechnischen Anlagen in Nutzungspausen außer Betrieb genommen werden,
- die Heizungsanlage beim Überschreiten einer festgelegten Außentemperatur abschaltet,
- die Raumtemperatur z. B. in Büroräumen 20° C nicht überschreitet.

Darüber hinaus werden Wartungs- und Instandhaltungsmaßnahmen veranlasst und auf Optimierungspotenziale durch Parameteränderungen und -anpassung wird explizit hingewiesen.

■ **Beratung und Motivation der Nutzer**

Das Nutzerverhalten beeinflusst den Energieverbrauch maßgeblich. Dabei sind zwei Bereiche zu unterscheiden: die organisatorischen Maßnahmen der Dienststellen und das energiebewusste Nutzerverhalten der einzelnen Bediensteten.

Zu den organisatorischen Maßnahmen zur Minimierung des Energieverbrauchs gehört:

- ein konsequentes Flächen- und Belegungsmanagement,

- die Minimierung des zeitlichen und räumlichen Bedarfs von Heizung, Kälte und Beleuchtung,
- die Überprüfung der zulässigen Raumtemperaturen,
- die Information der Bediensteten über den sparsamen Umgang mit Energie und Wasser (z. B. durch Infomaterial, Plakate, Hinweise, Verbesserungsvorschläge und Ergebnisdarstellung).

Denn jeder Nutzer kann durch sein Verhalten zur Energieeinsparung beitragen. Ein typisches Beispiel hierfür ist das kurzzeitige intensive Lüften von Räumen bei geschlossenen Thermostatventilen, im Gegensatz zum energieverschwendenden Dauerlüften. Deshalb ist es eine der wichtigsten Aufgaben des Energiemanagements, die Nutzer zu informieren und zu motivieren, damit sie ihr Verhalten im Sinne eines effektiveren und sparsameren Energieeinsatzes verändern.

■ **Kostengünstige Energiebeschaffung und -bereitstellung**

Zielsetzung des Vertragsmanagements im Rahmen des Energiemanagements ist die Reduzierung der Energiebezugskosten. Im Unterschied zur Kostensenkung durch Reduzierung des Energieverbrauchs besteht die Aufgabe darin, nur die tatsächlich benötigte Energie und Leistung zu bestellen und diese zum günstigsten Preis zu beziehen. Im Gebäudebestand entsprechen die vertraglichen Vereinbarungen etwa nach Nutzungsänderungen, nach Umbaumaßnahmen oder nach der Durchführung von Energiesparmaßnahmen in der Regel nicht mehr dem aktuellen Bedarf.

Zu den Aufgaben in diesem Bereich gehören die

- Optimierung der Bezugskonditionen (Vertragsart, Abnahmemenge, Preise, Laufzeiten),
- Anpassung der laufenden Verträge an den tatsächlichen Bedarf,
- Vorschläge zur Verbesserung der Bezugsbedingungen durch technische Maßnahmen (z. B. Blindstromkompensationsanlagen, Begrenzung der Leistungsspitzen),
- Verhandlungen mit den Versorgungsunternehmen.

Erfahrungen haben gezeigt, dass durch die Anpassung der Strom-, Fernwärme-, Gas- und Wasserlieferverträge erhebliche Kosteneinsparungen möglich sind, die den dafür eingesetzten Personalaufwand auf jeden Fall rechtfertigen. Mit der Öffnung des Energiemarktes hat sich der Verhandlungsspielraum zunächst im Strommarkt erheblich vergrößert. Die Stromlieferverträge sowie die dort festgelegten Bezugskonditionen werden im Wesentlichen durch den Wettbewerb bestimmt. Entsprechend haben Marktkenntnisse sowie energiewirtschaftliche vertrags- und vergaberechtliche Aspekte neben den technischen Anforderungen erheblich an Bedeutung gewonnen.

■ **Einsatz innovativer und regenerativer Energietechniken**

Neben der Reduzierung des Energiebedarfs für die Versorgung von Gebäuden durch konstruktive Maßnahmen am Gebäude und den technischen Anlagen sowie durch einen nutzungsgerechten Einsatz der Technik kommt der Verringerung des Einsatzes fossiler Energieträger eine immer größere Bedeutung zu. Das gilt insbesondere im Hinblick auf die Verminderung der Umweltentlastung und der Schonung der natürlichen Ressourcen. Hierfür bieten sich innovative und regenerative Energietechniken an. Diese haben sich als praxistauglich erwiesen und ihr Einsatz zur unterstützenden Energieversorgung von Gebäuden kann einen deutlichen Beitrag zur Umweltentlastung und zur Energiekostenreduzierung leisten (siehe [Kap. D2](#)).

Fazit:

Erfahrungen in verschiedenen Bereichen der Gebäudebewirtschaftung haben gezeigt, dass durch konsequentes Energiemanagement, – d. h. Kombination investiver und nichtinvestiver Maßnahmen – Einsparpotenziale in Höhe von

- bis zu 50 % bei Wärme,
- bis zu 20 % bei Strom,
- bis zu 30 % bei Wasser

ausgeschöpft werden können. Diese Werte beziehen sich auf anlagentechnisch und baulich nicht optimierte Gebäude, bei denen ein sachgerechtes Energiemanagement noch nicht durchgeführt wurde. In Bereichen, in denen entsprechende Maßnahmen bereits teilweise umgesetzt wurden, sind die verbleibenden Potenziale geringer.

4. Gebäudeautomation

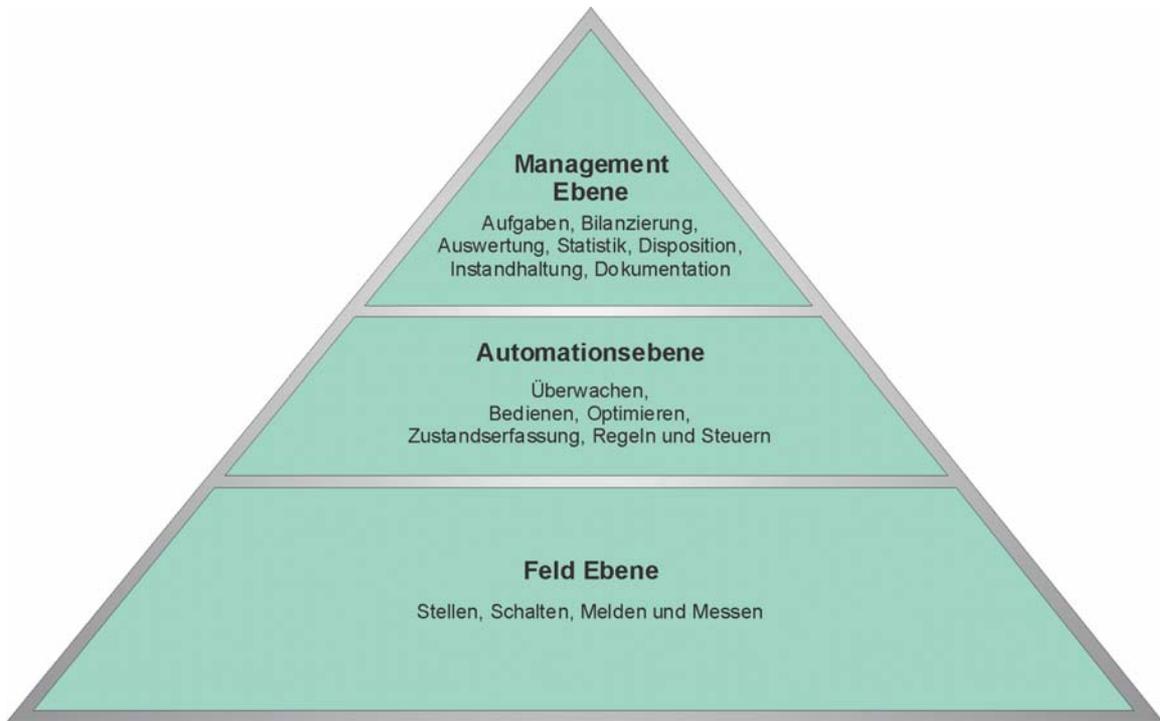


Abb. 87 Ebenen in der Gebäudeautomation gem. CEN

Die Gebäudeautomation ist heute ein unverzichtbarer Bestandteil des technischen Gebäudemanagements. In der Gebäudetechnik gibt es keinen anderen Bereich, der sich in den letzten Jahren so verändert hat wie die Mess-, Steuer-, Regel- und Gebäudeleittechnik (MSR-Technik) bzw. heute Gebäudeautomation (GA). Auslöser dieser Veränderungen sind die Entwicklungen in der Mikroelektronik und Computertechnik und deren Einsatz zur Steuerung, Regelung und Überwachung der technischen Anlagen und Einrichtungen in den Gebäuden (siehe Abb. 87).

Unter dem Begriff „Gebäudeautomation“ ist die Verknüpfung und Interaktion aller gebäudetechnischer Anlagen zu verstehen. Während sich in der Vergangenheit die Gebäudeleittechnik (GLT) im Wesentlichen auf die versorgungstechnischen Anlagen der Heizungs-, Klima- und Lüftungstechnik bezog, erstreckt sich die Gebäudeautomation heute auch auf folgende Bereiche:

- **Haustechnik** (Beleuchtungsanlagen, Schalter, Schaltuhren, Einzelraumregelungen, Raumthermostate, Heizkörperventile, Außenfühler,

- Sonnenschutz und Beschattungsanlagen),
- **Sicherheitstechnik** (Toranlagen, Zutrittskontrolle, Personenüberwachung, Einbruch- und Brandmeldeanlagen, Bewegungsmelder, Anwesenheitsmelder),
- **Kommunikationstechnik** (Telefon, Funk, Personenruf, Sprechanlage),
- **Fördertechnik** (Aufzüge, Parkraumsteuerung).

Die weitere Entwicklung liegt in den Möglichkeiten der Vernetzung der verschiedenen Anlagen, Einrichtungen und Systeme im Gebäude. Statt der bisher noch üblichen Einzellösungen für die verschiedenen Gewerke bietet die GA die Verknüpfung und Interaktion der verschiedenen technischen Systeme.

Außer den Forderungen nach Funktionalität aller technischen Anlagen, geringen Betriebskosten und optimiertem Energieverbrauch ist den Behaglichkeits- und Komfortanforderungen der Nutzer Rechnung zu tragen. Darüber hinaus sind heute und zukünftig flexible Umnutzungsmöglichkeiten

und optimale Gebäudeausnutzung und -belegung zu berücksichtigen.

Erreicht werden diese Zielsetzungen mit einer ganzheitlichen Betrachtung der technischen Gebäudeausstattung, einer modernen und leistungsfähigen Automationstechnik und einer koordinierten Gesamtlösung mit durchgängigem Kommunikationskonzept.

Gebäudeautomation bedeutet also, die technischen Aspekte von Komfort, Nutzung, Sicherheit, Betrieb und Instandhaltung zu verknüpfen und insgesamt zu optimieren. Um diese Anforderungen zu realisieren, hat das Technische Komitee für Anwendungen in der Gebäudeautomation des europäischen Komitees für Normierung (CEN) Empfehlungen (TC 247) herausgegeben. Dabei wurden den Aufgabenstellungen entsprechend drei Automatisierungsebenen mit den folgenden Aufgabenverteilungen definiert:

- **Managementebene** (Leit- oder Unterzentralen): Bilanzierung, Auswertung, Statistik, Disposition, Dokumentation, Energiemanagement, Instandhaltungsmanagement, Datensicherung, Ereignisverarbeitung/-bildung, (zentrales Bedienen und Beobachten, Parametrieren, Protokollieren, Archivieren),
- **Automationsebene** (Unterstationen, Automatisierungsgeräte): Steuern (zeit- und ereignisabhängig), Regeln, Optimieren (Last, Höchstlast, Heizzeit), Überwachen (Grenzen, Zustände), Ereignisbildung/-verarbeitung (Alarmer, Änderungen),
- **Feldebene** (Feldgeräte, Sensoren, Aktoren, festparametrierte Regler): Schalten, Stellen, Messen, Melden, Alarmer.

Um diese Funktionen für die Gebäudeautomation nutzbar zu machen, müssen die Sensoren, Aktoren und/oder Automatisierungsgeräte logisch und physikalisch integriert werden. In der Praxis realisierbar wird das Konzept der Gebäudeautomation z. B. durch den Einsatz von BUS-Systemen. Als Bussysteme werden hierzu unter anderem EIB, LON, BACNET oder auch PROFIBUS und FND eingesetzt. Die Gebäudeautomationssysteme bestehen aus informationsaufnehmenden Sensoren, den verbindenden Leitungen, den stellenden Aktoren und der steuernden Software. Dabei kommunizieren alle angeschlossenen Teilnehmer unterschiedlichster Gewerke physikalisch über verbindende Leitungen

Ebene	Kommunikation
Management	BACnet mit ISO 8802/3 FND 1.0 (DIN V 32 735)
Automation	BACnet mit LonTalk Protocol PROFIBUS FMS (EN 50170, V 2) WorldFIP (EN 50170, Vol. 3) EIB on Automation Net
Feld	BatiBUS EHS EIB LonTalk Protocol Field Level Objects

Tab. 16 Kommunikationsebenen; Stand Mai 2002
(Quelle: TAB, 5/2002, S. 69ff)

oder Funkstrecken. Dies können verdrehte Zweidrahtleitungen (Twisted Pair), Koaxial-Kabel, das Stromnetz (Power Line) Lichtwellenleiter oder Funkstrecken sein. Es kommt also einzig und alleine auf die einheitliche Sprache – die Protokolle – an.

Das TC 247 im CEN hat deshalb Empfehlungen zur herstellerneutralen Kommunikation innerhalb der Gebäudeautomation herausgegeben. Für jede der o. g. Automatisierungsebenen wurde der Einsatz mehrerer Bussysteme vorgeschlagen (siehe Tabelle 16).

Um die Kommunikation zwischen den verschiedenen Bus-Protokollen zu gewährleisten, werden entsprechende Gateways eingesetzt. Damit nicht jeder Hersteller, der alle Protokolle anbieten will, diese entwickeln und einsetzen muss, wird durch CEN TC 247 und nationale Verbände an einer Standardisierung der Kommunikation gearbeitet.

Der FND (Firmenneutrales Datenübertragungssystem) sichert die Gestaltung eines freien Wettbewerbs der GA, die Loslösung von firmen- und herstellereigenen Abhängigkeiten, sowie eine wirtschaftliche und offene Systemlösung. FND wird in zahlreichen Liegenschaften mit Erfolg betrieben.

BACnet (Building Automation Control Network) ermöglicht die offene und durchgängige Kommunikation aller beteiligten Hersteller und Gewerke. Dieses wurde Mitte der neunziger Jahre in den

USA (ASHRAE) standardisiert, unterstützt Netzwerkarchitekturen und die Möglichkeit andere Protokolle wie z. B. Ethernet oder LON-Talk zu nutzen.

Der PROFIBUS (Process Field Bus) ist für eine breite Anwendung im Automations- und Feldbereich ausgelegt. Zahlreiche Hersteller bieten für diesen Bus Geräte an, bei denen jedoch häufig nicht auf firmenspezifische Besonderheiten verzichtet wurde. Es wird nur die Linien- oder Baumstruktur unterstützt.

Fast alle Hersteller haben heute den Anschluss an die LON-oder EIB-Technik vollzogen. Damit sind diese beiden Systeme auf der Feldebene führend in der Gebäudeautomation. Mit dem EIB (European Installation Bus) lassen sich Baum- und Linienstrukturen abbilden.

Das LON (Local Operating Network) steht in direktem Wettbewerb mit dem EIB und unterstützt eine Netzwerkstruktur.

Die Benutzeroberfläche muss sich an den Bedürfnissen des Bedieners orientieren, damit er beobachten und ggf. eingreifen kann. Deshalb ist diese Oberfläche benutzergerecht zu gestalten, da sie sonst nicht akzeptiert wird. Die einheitliche Visualisierung der Anlagen sowie einfache und durchgängige Bedienphilosophie tragen zum sicheren Umgang mit dieser Technik bei.

Die Zukunft der Gebäudeautomation wird heute bereits als das „intelligente Haus“ beschrieben und ist in Einzelfällen auch bereits real. Per Identifikation durch Chipkarte oder Fingerabdruck wird dem Beschäftigten z. B. nicht nur die Zufahrt zum Betriebsgelände ermöglicht, sondern:

- ein Computer gibt über sein Parkraumbewirtschaftungssystem einen bestimmten Parkplatz frei,
- die Heizung oder Raumluftechnik wird für das entsprechende Büro aktiviert,
- die Schließanlage erfasst den neuen Teilnehmer mit seinen Berechtigungen,
- die Personalregistrierung erfasst die Arbeitszeit,
- die Telekommunikation schaltet von Anrufbeantworter auf Telefon,
- die Beleuchtung wird entsprechend den Vorgaben aktiviert,
- die Verschattung wird je nach Wunsch und Einstrahlung aktiviert,
- der Terminkalender wird aktualisiert,
- der Anwesenheitsdetektor wird aktiviert und übernimmt die Steuerung.

Die Grenzen der Gebäudeautomation werden heute weniger durch die technischen Realisierungsmöglichkeiten als durch die finanzielle Machbarkeit gesetzt. Ein genaues Abwägen über Nutzen und Kosten ist individuell für jede Baumaßnahme erforderlich und die Datenschutzbestimmungen sind in jedem Fall zu beachten.

Es wird künftig immer mehr Aufgabe des Architekten oder des Planers sein, bereits im Vorfeld des eigentlichen Planungsprozesses alle Schnittstellen eindeutig zu definieren, diese mit allen Beteiligten insbesondere im Rahmen der einzelnen Gewährleistungen abzuklären und eine Offenlegung aller angewandten Protokolle einzufordern. Bei der Planung von Neubauten sollte die Installation von Datenübertragungstrecken frühzeitig angemessen berücksichtigt werden, um Bus- oder Web-Techniken nutzen zu können.

E Bauphysikalische Begriffe und Zusammenhänge

1. Bauphysikalische Begriffe

1.1 Raumklima

Physiologische Behaglichkeit

Der Begriff „Behaglichkeit“ ist nicht eindeutig definiert oder messbar. Die DIN 1946–2:1994–01 beschreibt Behaglichkeit wie folgt:

„Behaglichkeit ist gegeben, wenn der Mensch Lufttemperatur, Luftfeuchte, Luftbewegung und Wärmestrahlung in seiner Umgebung als optimal empfindet und weder wärmere noch kältere, weder trockenere noch feuchtere Raumluft wünscht.“

Demzufolge handelt es sich dabei um einen ungestörten Wärmehaushalt des menschlichen Körpers, in dem die Menge zuzuführender Wärme mit dem Wärmeverlust des Körpers ein Gleichgewicht bildet. Die Behaglichkeit muss in Arbeits- und Aufenthaltsräumen durch raumklimatische Faktoren gewährleistet sein. Der gewünschte Grad der Behaglichkeit bestimmt im Winter die Menge der objektiv zuzuführenden Wärme.

Voraussetzung für ein behagliches Raumklima ist eine ausreichende Frischluftzufuhr.

Als Frischluftbedarf eines Menschen wird diejenige Menge an Luftzufuhr verstanden, bei der die Obergrenze an ausgeatmeten CO₂ nicht überschritten wird (= 0,1% = Pettenkoferwert). Durch die Frischluftzufuhr werden Ausdünstungen und Geruchsstoffe abtransportiert, wobei für Schadstoffe wie z. B. Zigarettenrauch erheblich mehr Frischluft benötigt wird als es bei dem Abtransport von CO₂ der Fall ist. Eine über den Bedarf hinausgehende Frischluftzufuhr erhöht den Wärmeverlust. Eine geringere Zufuhr kann zu Ermüdung, Übelkeit, Konzentrationsschwäche etc. führen.

Bei leichter Tätigkeit beträgt der Frischluftbedarf/Mensch und Stunde 20-30 m³. Bei 15 m² Fläche/Person und 2,75 m Raumhöhe (41,25 m³ Nettovolumen / Person) macht das einen 0,6-fachen Luftwechsel/Stunde erforderlich.

Der Frischluftbedarf ist von der Temperatur der Außenluft abhängig:

- unter 5° C reicht der CO₂-bedingte Frischluftbedarf,
- zwischen 5° und 10° C sind der feuchtebedingte und der CO₂-bedingte Frischluftbedarf etwa gleich groß,
- oberhalb 10° C Außentemperatur steigt der Frischluftbedarf auf Grund der Feuchteabgabe des Menschen.

In der Praxis wird der feuchtebedingt erhöhte Frischluftbedarf durch geöffnete Fenster gedeckt. Feuchtigkeit und Gerüche sollten nahe den Quellen abgeführt werden.

Einflussgrößen der Behaglichkeit

Das Gefühl der Behaglichkeit ist sehr individuell und von verschiedenen Parametern abhängig:

Personenbezogene Parameter:

- Kleidung,
- Tätigkeit,
- Aufenthaltsdauer,
- thermische und stoffliche Belastung,
- Belegungsdichte.

Bautechnische Parameter:

- Lufttemperatur,
- Oberflächentemperatur der raumumschließenden Flächen,
- Luftgeschwindigkeit,
- Luftfeuchte.

Lufttemperatur und -schichtung

Die unter dem Gesichtspunkt physiologischer Behaglichkeit erforderliche Höhe der Raumlufttemperatur bestimmt den Wärmebedarf und hat damit auf den Energieverbrauch erheblichen Einfluss. Die durch erhöhte Wärmedämmung der Außenwand mögliche Lufttemperatursenkung im Rauminneren ergibt bei Jahresmitteln der **Außenlufttemperatur** θ_{La} um + 5° C einen Minderverbrauch an **Heizenergie** von 5 - 6 % je Kelvin, bezogen auf Heizgradtage. Durch Reduzierung des Behaglichkeitsanspruches kann eine Energieeinsparung in gleicher Größenordnung erzielt werden.

Die Arbeitsstättenrichtlinien geben Werte über die Mindest-Raumlufttemperaturen in verschiedenen genutzten Räumen vor. So ist in Büroräumen mit leichter Tätigkeit eine Raumlufttemperatur von >19-20° C vorgeschrieben. Allein mit der Festlegung der Raumtemperatur ist die Behaglichkeit eines Raumes aber noch nicht garantiert. Weitere Bedingungen müssen erfüllt sein.

Die Temperatur über dem Fußboden (in 10 cm Höhe über dem Fußboden gemessen) sollte 21° C nicht unterschreiten. Je nach Bodenbelag muss die Fußbodentemperatur zwischen 18° C und 22° C liegen. Zur Begrenzung der Temperaturschichtung sollte der Temperaturgradient der Lufttemperatur für einen Aufenthaltsraum höchstens 2 K/m Raum-

höhe betragen (Vorsicht bei zwei- oder mehrgeschossigen Räumen).

Oberflächentemperatur der raumumschließenden Flächen

Die Oberflächentemperatur der äußeren Umfassungsflächen beeinflusst das Behaglichkeitsempfinden im Innenraum entscheidend. Denn die Oberflächentemperatur wirkt in Form von Strahlungswärme oder -kälte direkt auf den Menschen ein.

Ein objektiver Maßstab für die physiologische Behaglichkeit ist mit einer gewissen Streubreite das Verhältnis von Raumlufttemperatur zur Oberflächentemperatur in Abhängigkeit von der relativen Luftfeuchte (im Sommer $\theta \geq 35\%$, im Winter $\theta \leq 65\%$) und einer geringen Luftbewegung am Arbeitsplatz ($v < 0,20$ m/s).

Die Abhängigkeit der Raumlufttemperatur von der mittleren Oberflächentemperatur der Raumumschließungsflächen zeigt Abb. 88. Hieraus ergibt sich, dass bei einer mittleren Oberflächentemperatur (insbesondere der Außenwände von Aufenthalts- und Arbeitszonen) θ_{oi} von $+17^\circ\text{C}$ eine Raum-

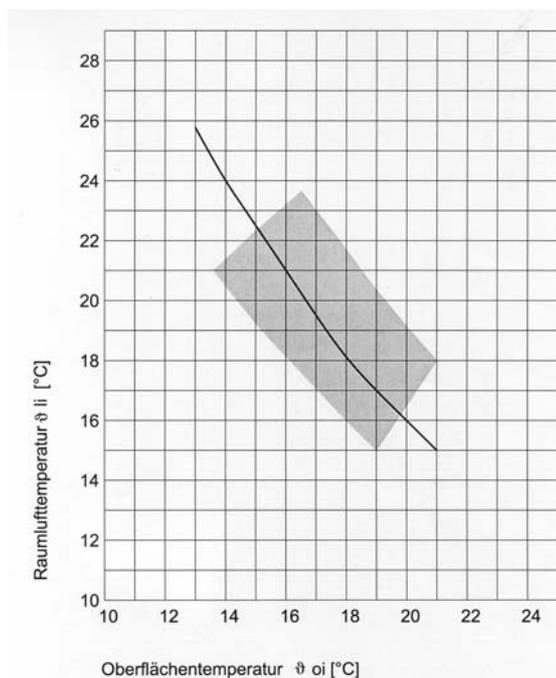


Abb. 88 Bereich der physiologischen Behaglichkeit für das Verhältnis von Raumlufttemperatur zu mittlerer Oberflächentemperatur der Raumumschließungsflächen.

lufttemperatur θ_{Li} von $+20^\circ\text{C}$ genügt, für θ_{oi} von $+14^\circ\text{C}$ hingegen ein θ_{Li} von $+24^\circ\text{C}$ erforderlich ist, um eine vergleichbare physiologische Behaglichkeit zu erreichen. Die Differenz zwischen Lufttemperatur und mittlerer Temperatur aller Raumumschließungsflächen sollte jedoch maximal 3 K, besser nur 2 K, betragen.

Der Mittelwert aus Lufttemperatur und Oberflächentemperatur (einschl. Heizflächen) wird „Empfindungstemperatur“ genannt.

In ebenen, durch Wärmebrücken oder Gebäudeecken nicht gestörten Wandflächen sind die inneren Oberflächentemperaturen auf Grund vorgegebener Innen- und Außentemperaturen und Dämmwerte der Wand rechnerisch bestimmbar.

Der insgesamt durch die Außenwand gehende Wärmestrom

$$\Phi = U \cdot A \cdot \Delta T \quad [\text{W}]$$

bzw. durch die Flächeneinheit $A = 1 \text{ m}^2$ gehende Wärmestromdichte

$$q = U \cdot \Delta T \quad [\text{W}/\text{m}^2]$$

ist an jeder beliebigen Stelle des Wandquerschnittes gleich groß und bestimmt bei gegebener Gesamttemperaturdifferenz

$$\Delta T = \theta_{Li} - \theta_{La}$$

die einzelnen Temperaturdifferenzen und damit die Temperatur an dieser Stelle.

Strahlungstemperatur-Asymmetrie

Einseitige Erwärmung oder Auskühlung des Menschen durch uneinheitliche Umgebungsflächentemperaturen kann zu einem Unbehaglichkeitsempfinden und weiter zu körperlichen Beschwerden führen. Ursachen einer asymmetrischen Temperatur können schlecht gedämmte Außenwände oder undichte Fenster, falsch angeordnete Heizkörper usw. sein.

Beeinflusst wird das Innenraumklima physiologisch wie psychologisch auch von der Oberflächenbeschaffenheit der verwendeten Materialien. Aus Gründen der Pflegeleichtigkeit werden viele Materialien mit einem Überzug versehen, wodurch ein direkter haptischer Zugang zum Baustoff unmög-

lich gemacht wird. Durch solche Versiegelungen gehen darüber hinaus auch die raumklimatisch positiven Eigenschaften der Materialien verloren, einer elektrostatischen Aufladung wird Vorschub geleistet (siehe auch Planungshilfe „Umweltschutz im Bauwesen“).

Luftgeschwindigkeit im Inneren eines Gebäudes

Zugerscheinungen durch zu starke Luftbewegung beeinträchtigen die Behaglichkeit in einem Innenraum. Schlecht isolierte Fenster oder Türen oder falsch dimensionierte Lüftungsanlagen können Ursachen für Zugerscheinungen sein.

Ein gewisses Maß an Luftbewegung ist aber in Abhängigkeit von der Raumlufttemperatur notwendig, um CO₂, Feuchtigkeit und Schadstoffe abzutransportieren. Daher sollte ein genau abgestimmtes Lüftungskonzept erarbeitet werden.

Mit steigender Luftbewegung steigt die Wärmeabgabe eines Menschen. Die Haut bildet grundsätzlich ein Polster gegen die Außenluft, den so genannten **Übergangswiderstand** R_{si} oder R_{se} (früher $1/\alpha$). Eine stärkere Luftbewegung baut diesen Widerstand ab und der Wärmeverlust steigt. Es zieht! Geschwindigkeiten über 0,1 m/s werden bereits wahrgenommen. Eine Luftbewegung >0,2 m/s wird als unbehaglich empfunden. Durch Erhöhung der Lufttemperatur kann dieser Effekt reduziert werden, aber nur auf Kosten eines höheren Energieverbrauchs.

Relative Luftfeuchte (Φ)

In Bezug auf die Behaglichkeit tritt die Luftfeuchte vor allem als Schwüle in Erscheinung. Dabei funktioniert die Wärmeregulierung des Körpers über die Verdunstung der Hautfeuchte nicht mehr ausreichend, weil die umgebende Luft bereits „relativ“ viel Wasser enthält.

Feuchtigkeit ist in der Luft unsichtbar als Wasserdampf enthalten. Sichtbar wird sie erst, wenn sie sich als Tauwasser an kalten Oberflächen niederschlägt.

Durch entsprechende Lüftung kann der in der Luft enthaltene Wasserdampf abtransportiert und die Behaglichkeit wieder hergestellt werden. Voraussetzung dabei ist jedoch, dass die von außen einströmende Luft eine geringere relative Luftfeuchte hat als die im Raum befindliche.

Luft kann in Abhängigkeit von ihrer Temperatur nur eine begrenzte Menge in Form von Wasserdampf aufnehmen. Dieser maximale Feuchtigkeitsgehalt (Sättigungswert) ist um so größer, je wärmer die Luft ist. Warme Luft kann z. B. bei + 20° C eine fünfmal so große Wassermenge bis zur völligen Sättigung aufnehmen wie kalte Luft bei -5° C.

Außer durch Lüftung kann auch durch die Erhöhung der Raumlufttemperatur die relative Luftfeuchtigkeit reduziert werden. Der Mehraufwand an Energie rechtfertigt eine solche Maßnahme aber nicht. Außerdem würde auch die erwärmte Luft irgendwann ihren spezifischen Sättigungswert erreichen und müsste dann zu einem späteren Zeitpunkt ebenfalls weggelüftet werden.

Setzt man den Sättigungswert gleich Hundert und errechnet, wie viel Prozent an Feuchtigkeit die Luft tatsächlich enthält, so ergibt sich der Feuchtigkeitsgrad oder die relative Luftfeuchte:

$$\text{Relative Luftfeuchte } \Phi = \frac{\text{vorhandene Feuchtigkeit (g/m}^3\text{)}}{\text{maximale Feuchtigkeit (g/m}^3\text{)} 100[\%]}$$

In der Regel ist die Luft nicht mit Wasserdampf gesättigt, sondern enthält nur einen Bruchteil dieser maximal möglichen Menge, typischerweise 50 % in Innenräumen.

Da die Luftfeuchtigkeit den Sättigungswert niemals überschreiten kann, kommt es zur Tauwasserbildung, wenn sich in einem Raum durch Wasserdampf mehr Feuchtigkeit bildet, als die Luft bei der gegebenen Temperatur aufnehmen kann oder wenn sich feuchte Luft von einer Ausgangstemperatur unter ihren Taupunkt abkühlt.

Z. B. wird Raumluft von + 20° C und 60 % relativer Luftfeuchte mit einem Taupunkt von 12° C trotz einer mittleren Außenwand-Oberflächentemperatur von 13 bis 13,5° C ($k_w=1,56$) an Wärmebrücken mit geringerer Dämmung und Oberflächentemperaturen unter 12° C zu Tauwasserbildung führen. Daher sind solche Wärmebrücken zu vermeiden.

Bei Abkühlung der gesättigten Luft kondensiert das Wasser an den kühleren Flächen (z. B. schlecht isolierte Fenster, Wärmebrücken, schlecht gedämmte Außenwände etc.) (siehe [Abb. 89](#), [nächste Seite](#)).

Lufttemperatur θ_L [°C]	Taupunkttemperatur θ_s [°C] bei einer relativen Luftfeuchte Φ in % von:							
	30	40	50	60	70	80	90	100
+ 30	11	15	18	21	24	26	28	30
+ 26	7	11	15	18	20	22	24	26
+ 24	5	10	13	16	18	20	22	24
+ 22	4	8	11	14	16	18	20	22
+ 20	2	6	9	12	14	16	18	20
+ 18	0	4	7	10	13	15	16	18
+ 16	- 1	2	6	8	11	13	14	16
+ 14	- 3	+ 1	4	6	9	11	12	14
+ 12	- 5	- 1	2	5	7	9	10	12
+ 10	- 6	- 3	± 0	3	5	7	8	10
+ 8	- 9	- 5	- 2	+ 1	3	5	6	8
+ 6	- 10	- 7	- 3	- 1	+ 1	3	4	6
+ 4	- 12	- 8	- 5	- 3	- 1	+ 1	2	4
+ 2	- 14	- 10	- 7	- 5	- 3	- 1	± 0	2
+ 0	- 16	- 12	- 9	- 7	- 5	- 3	- 2	± 0

Abb. 89 Abhängigkeit der inneren Oberflächentemperatur vom Wärmedurchlasswiderstand von Außenwänden für Raumlufttemperatur innen von $\theta_{Li} + 12^\circ \text{C}$ und Außenlufttemperatur von $\theta_{La} - 12^\circ \text{C}$

Abhängig von der Lüftung wird immer Innenluft gegen Außenluft ausgetauscht. Im Winter bedeutet dies, dass bei 20°C und 50 % r. F. mit der Innenluft $8,65 \text{ g/m}^3$ Wasserdampf herausgehen und dafür bei 0°C und 50 % r. F. mit der Außenluft nur $2,4 \text{ g/m}^3$ hereinkommen. Die Innenluft wird trockener. Im Sommer wird dagegen weniger oder keine Feuchte herausgebracht. Deshalb ist die relative Innenluftfeuchte im Winter niedriger als im Sommer.

Ganzjährige Messungen haben Durchschnittswerte der relativen Innenluftfeuchte von 30 % r. F. im Winter und 60 % r. F. im Sommer ergeben. Eine relative Luftfeuchte zwischen 35 % und 65 % wird größtenteils als behaglich empfunden. Unterhalb 35 % r.F. trocknen die Schleimhäute aus, womit Erkältungskrankheiten begünstigt werden. Oberhalb 65 % r. F. besteht die Gefahr der Schimmelpilzbildung.

Für ein behagliches Raumklima ist demnach eine relative Luftfeuchtigkeit zwischen 40 % und 60 % anzustreben. Empfindliche Menschen verspüren bereits beim Absinken der relativen Luftfeuchtigkeit auf Werte unter 50 % beim Anfassen metallischer Gegenstände elektrische Schläge, die auch an EDV-Arbeitsplätzen stören. Hautreizungen sind auch in diesem Zusammenhang zu sehen. Wenn außerdem isolierendes Schuhwerk und Kleidung aus synthetischen Fasern getragen werden, erhöht sich die Entladungsneigung, je weiter die relative Luftfeuchte absinkt.

Die physiologische Behaglichkeit wird im Wesentlichen durch ein Strahlungsklima bei mittlerer Luftfeuchtigkeit und zugfreier natürlicher Belüftung bestimmt. Hierfür entscheidend sind möglichst große und niedertemporierte Heizflächen, die die Wärme überwiegend durch Strahlung abgeben und damit unnötig hohe Raumlufttemperaturen vermeiden. Dabei soll die Oberflächentemperatur der Raumumfassung so wenig wie möglich von der Raumlufttemperatur abweichen. Erforderlich sind hierzu Umfassungsflächen mit genügender **Wärmespeicherfähigkeit** und Feuchtigkeitsaufnahme wie -abgabe sowie eine gute Wärmedämmung.

1.2 Wasserdampfdiffusion

Die relative Luftfeuchte bewirkt abhängig von der Raumlufttemperatur einen Wasserdampfdruck (Wasserdampfteildruck). Er ist analog den Temperaturdifferenzen während der Heizperiode von innen nach außen als Diffusion wirksam. Der Wasserdampf-Diffusionsdurchlasswiderstand des Bauteils gegen diese Feuchtigkeitsbewegung kann mit Hilfe der **Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahlen μ** ähnlich wie der Wärmedurchlasswiderstand rechnerisch bestimmt werden.

Sofern der Wasserdampfdruck im Bauteil den temperaturabhängigen Wasserdampfsättigungsdruck erreicht, bildet sich Tauwasserausfall innerhalb des Bauteils. Hieraus ergeben sich eine Verminderung der Wärmedämmung und mögliche Bauschäden.

Eine Tauwasserbildung in Bauteilen ist unschädlich, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

- das während der Tauperiode im Inneren des Bauteils anfallende Wasser muss während der Verdunstungsperiode wieder an die Umgebung abgegeben werden können. Tauwasserberechnung nach DIN 4108-3:2001-07,
- die Baustoffe, die mit dem Tauwasser in Berührung kommen, dürfen nicht geschädigt werden (z. B. durch Korrosion, Pilzbefall),
- tritt Tauwasser an Berührungsflächen von kapillar nicht wasseraufnahmefähigen Schichten auf, so darf zur Begrenzung des Ablaufens oder Abtropfens eine Tauwassermasse von $0,5 \text{ kg/m}^2$ nicht überschritten werden (z. B. Berüh-

rungsflächen von Faserdämmstoff- oder Luftschichten einerseits und Dampfsperren- oder Betonschichten andererseits).

Die Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl mit der Schichtdicke des entsprechenden Bauteils multipliziert ergibt die **wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke** s_d .

Bauteile mit einer diffusionsäquivalenten Bauschichtdicke von $s_d \geq 100$ m werden als **Dampfsperren** bezeichnet. Baupraktisch sind jedoch erhebliche Sicherheitszuschläge anzunehmen, um eine in der Konstruktion wirksame Dampfsperre zu erhalten. Dampfsperren sind aber nur bei erhöhtem Feuchteanfall notwendig.

Als „Dampfbremsschicht“ gilt im Allgemeinen schon eine Schicht mit einem $s_d \geq 2$ m.

Für die allgemeine Beurteilung sind folgende Kriterien zu beachten:

- bei mehrschichtigen Wänden sollen von innen nach außen der Wärmedurchlasswiderstand R zunehmen und Diffusionswiderstand $\mu \cdot s$ abnehmen,
- homogene Wände sind diffusionstechnisch problemlos,
- äußere Schutzanstriche oder Imprägnierungen gegen Niederschlagsdurchfeuchtung dürfen die Wasserdampfdiffusion durch die Außenwandkonstruktion nicht unterbinden,
- bei diffusionsoffenen Leichtbauwänden ist auf jeden Fall eine Dampfbremse an der Innenseite erforderlich.

Anforderungen zur Vermeidung kritischer Oberflächenfeuchte sind in DIN 4108-2:2001-03 (6.2) aufgeführt. Planungs- und Ausführungsbeispiele werden in DIN 4108:1998-08, Bbl. 2 angegeben.

Für Außenwände und Dächer, die dem Mindestwärmeschutz nach DIN 4108-2:2001-03 und einer luftdichten Ausführung nach DIN 4108-7:2001-08 entsprechen, wird kein rechnerischer Nachweis der Tauwassermenge gefordert.

Normen

- DIN 4108-2:2001-03
Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz
- DIN 4108 Beiblatt 2:1998-08

Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Wärmebrücken – Planungs- und Ausführungsbeispiele

- DIN 4108-7:2001-08

Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 7: Luftdichtheit von Gebäuden, Anforderungen, Planungs- und Ausführungsempfehlungen sowie -beispiele

1.3 Luftdichtheit

Die Gebäudeexponiertheit und die Dichtheit der Konstruktion gewinnen für den Energiebedarf eines Gebäudes immer mehr an Bedeutung.

Die mehr oder weniger bewegte Außenluft erzeugt gegenüber den annähernd konstanten Verhältnissen im Gebäudeinneren Luftdruckdifferenzen. Dem Druckgefälle folgend strömt Luft durch Öffnungen und Fugen der Gebäudehülle wie Fenster, Türen und Lüftungsanlagen bzw. undichte Fugen der Außenhaut. Während der Heizperiode ergibt sich dadurch nicht nur ein erheblicher Wärmeverlust. Die feuchtwarme Raumluft gibt auf dem Weg von innen nach außen bei Abkühlung überschüssige Anteile an Luftfeuchtigkeit in Form von Tauwasser in die Bauteile ab.

Bei undichten Fugen in der Konstruktion führt dieses zu teilweise bestandsgefährdenden Bauschäden, insbesondere bei leichten Bauteilen wie z. B. gedämmten Steildächern.

Obwohl u. a. in DIN 4108-2:2001-03 schon seit langem verankert ist, dass „Fugen in der wärmeübertragenden Umfassungsfläche entsprechend dem Stand der Technik dauerhaft und luftundurchlässig abgedichtet sein müssen, ist dieser Forderung in der baupraktischen Umsetzung bisher viel zu wenig Bedeutung geschenkt worden. Verschärfte Anforderungen an die Luftdichtheit von Konstruktionen werden in der Energieeinsparverordnung neu gestellt.

Nach § 5 EnEV ist bei der Erstellung von Fugenabdichtungen der Stand der Technik einzuhalten. In Anhang 4 Nr. 1 / 2 werden Richtwerte vorgegeben.

Durch ein Luftdichtheitskonzept muss ein Gebäude gegen unkontrollierte **Lüftungswärmeverluste** schon in der Planungsphase geschützt werden.

Eine Luftsperrung ist eine Konstruktion, die verhindert, dass (erwärmte) Innenluft insbesondere durch undichte Anschluss- und Durchdringungsfugen in (kühlere) Außenbauteile eindringt. Eine wirksame Luftsperrung ist die Voraussetzung für schadensfreie (insbesondere leichte) Außenbauteile.

Der Gebäudeplaner muss darauf achten, dass insbesondere heterogene und relativ biege- weiche Konstruktionen raumseitig so abgeschlossen werden, dass keine luftdurchlässige Fugen entstehen. Eine Planung von Durchdringungen ist erforderlich. Besondere Sorgfalt ist bei Anschlüssen an starre Bauteile walten zu lassen. Diese müssen gleichsam beweglich wie luftdicht sein.

Zur Kennzeichnung der Luftdichtigkeit eines Gebäudes dient der n_{50} -Wert. Er beschreibt die **Luft- wechsellrate**, d. h. das pro Stunde mit der Außen- luft ausgetauschte Luftvolumen bezogen auf das Gebäudevolumen bei einer Druckdifferenz von 50 Pa zwischen dem Gebäudeinnern und der Um- gebung. Der n_{50} -Wert hat die Einheit h^{-1} . In DIN V 4108-7:2001-08 werden die n_{50} -Grenzwerte von 3 h^{-1} für natürlich belüftete Gebäude und 1 h^{-1} für Gebäude mit raumluftechnischen Anlagen vorge- geben.

Der Nachweis der Luftdichtigkeit kann z. Zt. nur durch eine Druckprobe am fertigen Gebäude er- bracht werden (**Blower-Door-Test**). Die Messung mittels Blower-Door-Test sollte stattfinden, bevor die Luftdichtigkeitsebene verschlossen wird, um Nacharbeiten ohne zusätzlichen Mehraufwand aus- führen zu können.

Berechnungsbeispiel zu Abb. 90:

Ein gedachtes Bauteil hat einen U-Wert von $0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Bei einem angenommenen Riss von $1,5 \text{ mm}$ und 1 m Länge und einem Druckunterschied von 3 Pascal zwischen innen und außen beträgt der Wärmeverlust etwa:

$$Q_L = 2 \text{ W/mK} \cdot 1 \text{ m} = 2,0 \text{ W/K}$$

Der Wärmeverlust über 1 m^2 des Bauteils:

$$Q_r = 0,2 \text{ W/m}^2\text{K} \cdot 1 \text{ m}^2 = 0,2 \text{ W/K}$$

Der Verlust über die Fugenundichtigkeit beträgt also das 10-fache des **Transmissionswärmeverlus- tes**. Außerdem besteht die Gefahr einer Tauwasser-

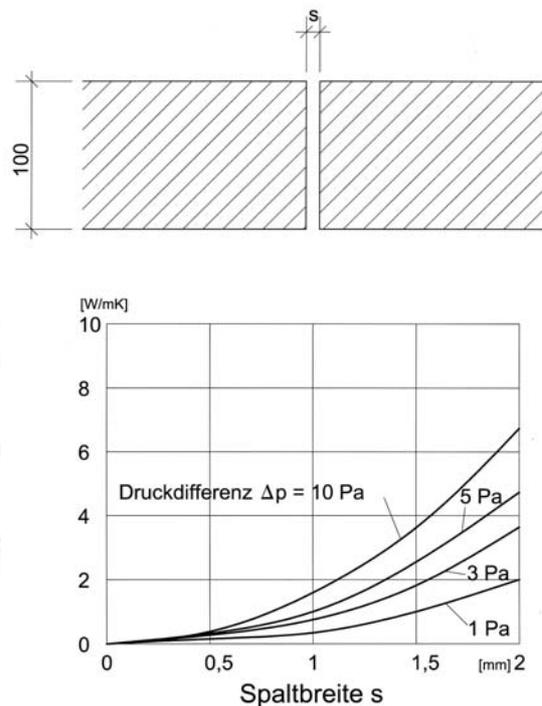


Abb. 90 Der spezifische Lüftungswärmeverlust

bildung, weil feuchtwarme Raumluft ungebremst in die Konstruktion gelangt.

Normen

- DIN 4108-2:2001-03
- DIN 4108-3:2001-07
- DIN 4108-7:2001-08
- DIN EN 13829:2001-02
- EnEV § 5 und Anhang 4

1.4 Wärmebrücken

Einzelbauteile innerhalb der Außenflächen mit geringerer Wärmedämmung als die Flächen selbst bilden Wärmebrücken, durch die Wärme verstärkt abfließt und an denen sich damit verminderte Oberflächentemperaturen an den Innenflächen ein- stellen.

Sofern diese verringerten **Oberflächentempera- ren** der Nutzung und ihrer Luftfeuchtigkeit ent- sprechende Mindestwerte unterschreiten, ist die Gefahr von Tauwasserbildung auf dem Bauteil gegeben.

Mit immer stärkerer Dämmung der Konstruktion gewinnt der Energieverlust und das Schadensrisiko durch energetische Schwachstellen (Wärmebrü- cken) an Bedeutung.

Man unterscheidet:

- geometrische Wärmebrücken: z. B. Gebäudeaußenecken,
- stoffbedingte Wärmebrücken: z. B. Materialwechsel: z. B. eine Betonstütze im Mauerwerk, Mischkonstruktionen mit Materialien mit guter Wärmeleitfähigkeit und Material mit schlechter Wärmeleitfähigkeit,
- konstruktive Wärmebrücken: z. B. Querschnittsvermindernde Fensterbrüstungen, Heizleitungen in der Außenwand, auskragende Balkone, Attikas u. a.,
- Lüftungsbedingte Wärmebrücken: Anschlüsse von Dachflächenfenstern (Luftströmungen durch undichte Bauteile).

Zur Vermeidung von feuchtigkeitsbedingten Bauschäden und zum Schutz der Bausubstanz ist ein wärmebrückenfreier Aufbau der Wärmedämmung herzustellen. Konstruktive Wärmebrücken sind darüber hinaus aus Gründen der Energieeinsparung und des Wohnkomforts zu vermeiden.

Wärmebrücken in Außenwänden lassen sich jedoch nicht immer vermeiden.

Bei **punktförmigen** Wärmebrücken, wie Ankern von Vormauerschichten, Vorsatzschalen oder Vorhangfassaden, ist die innere Oberflächentemperatur oft nur abschätzbar. Für eine geringe Anzahl spezifischer Ankerkonstruktionen sind Rechenprogramme vorhanden.

Die durch die Wärmebrücken sich einstellenden Oberflächentemperaturen hängen hierbei von der Wärmedämmung, der Häufigkeit der Anker und ihrer Tiefe ab. Im allgemeinen verteilen sich die Temperaturen im Bauteil soweit, dass schädliche Auswirkungen vermieden werden können.

Den wärmetechnischen und feuchtetechnischen Folgen einer **lüftungsbedingten** Wärmebrücke kann wirksam nur durch das Luftdichtigkeitskonzept und eine konsequente Realisierung der geplanten Maßnahmen in der Ausführung begegnet werden.

Es ist zu beachten, dass die wirksame Größe einer Wärmebrücke in Bezug auf den Wärmeverlust größer ist als der aus der geometrischen Abmessung abgeleitete Wärmeverlust, d. h. die geometrische Abmessung einer Wärmebrücke ist nicht identisch mit der thermischen!

Die Auswirkung kann bei Fensteröffnungen bis 1,0 m ins angrenzenden Mauerwerk reichen, dann bleibt bei einer Lochfassade kein ungestörter Bereich mehr übrig. Der U-Wert der Wand gibt hier den Transmissionswärmeverlust nicht zutreffend wieder.

Die Wirkung der Wärmebrücken kann mit Hilfe von Wärmebrückenkatalogen/-atlanten oder mit **Isothermen-Programmen** abgeschätzt werden.

Zur Verringerung von Wärmebrücken sollten die folgenden Punkte beachtet werden:

- Wärmebrücke nach Möglichkeit durch konstruktive Maßnahmen vermeiden (z. B. Balkon getrennt vorstellen statt auskragende Platte). Wenn dies nicht möglich ist, soll die Wärmebrückenwirkung durch geeignete Konstruktionen vermindert werden,
- Dämmstofflagen verschiedener Bauteile sollten an den Stoßstellen lückenlos ineinander übergehen (z. B. die Außenwanddämmung in die Dämmung der Dachschräge),
- wenn an Anschlüssen unterschiedlich starke Dämmungen aneinandergrenzen, so sollten die Mittellinien der Dämmlagen ineinander übergehen (z. B. wird ein Fenster optimal im Zentrum der Außenwanddämmung eingebaut). Eine mögliche (jedoch teurere) Alternative ist die Überlappung der Dämmstofflagen,
- die Winkel, unter denen Außenbauteile aneinander stoßen, sollten möglichst stumpf sein. Winkel kleiner als 90° bringen hohe Wärmebrückenwirkung,
- wenn Bauteile, die die dämmende Hülle durchstoßen, nicht vermieden werden können, so sollte in der Reihenfolge der folgenden Regeln versucht werden, die Wärmebrückenwirkung zu verringern:
 - thermische Trennung mit hochwertigem Dämmstoff (z. B. durch gedämmte Kraganker),
 - Verwendung von Materialien mit möglichst geringer Wärmeleitfähigkeit für das durchstoßende Bauteil (z. B. Porenbetonstein, Leichtbeton, Porenziegel o. ä.). Nach Möglichkeit sollte die **Wärmeleitfähigkeit** 0,25 W/mK nicht überschreiten,
 - wenn die beiden vorgenannten Regeln nicht angewendet werden können, so lässt sich als Notbehelf ein durchstoßendes Bauteil auch zusätzlich über eine gewisse

Ausdehnung vom Durchstoßpunkt hinaus dämmen. Dieser Notbehelf ist aber weniger wirkungsvoll und i. Allg. kostenaufwändig.

Gemäß [EnEV \(§ 6 und Anhang 1 \(2.5\)\)](#) sind Wärmebrücken in die Ermittlung des [Jahresheizwärmebedarfs](#) einzubeziehen. Je nach Art der Wärmebrücken gehen sie mit unterschiedlich starker Wertung in die Berechnungen ein.

Gemäß DIN 4108-2:2001-03 (6) benötigen Ausführungen gem. Tabelle 3 (Mindestwerte für Wärmedurchlasswiderstände) keinen Nachweis. Das gleiche gilt für die Anwendung der Ausführungsbeispiele aus der DIN 4108:1998-08, Beiblatt 2.

Isothermen

Die Beachtung der [Isothermen](#) innerhalb von Bauteilen, insbesondere bei Fensteranschlüssen, ist nicht zuletzt auf Grund von Bauschäden in den letzten Jahren immer wichtiger geworden für den fachgerechten Einbau der Elemente und die funktions sichere Abdichtung der Fuge. Die zeichnerische Darstellung macht deutlich, dass die Lage von Bauteilen zueinander und damit deren Fugen für den Wärmeverlauf entscheidend ist.

Die Isotherme von + 10° C (Redline) bei Normstandardbedingungen (innen + 20° C / außen - 15° C besitzt hierbei eine besondere Bedeutung. Entlang dieser „Redline“ befindet sich der Bereich, wo sich Tauwasser bilden kann, indem die warme nach außen wandernde Luftfeuchte kondensiert. Tritt diese Linie an die Oberfläche der Bauteile oder wird unterbrochen, besteht die Gefahr von sichtbarer Tauwasserbildung und Durchfeuchtung.

Normen

- Energieeinsparverordnung:2001
- DIN 4108-2:2001-03 Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz
- DIN 4108:1998-08, Beiblatt 2 – Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Wärmebrücken – Planungs- und Ausführungsbeispiele

1.5 Wärmeschutz

Der Wärmeschutz eines Raumes/Gebäudes ist abhängig:

- vom [Wärmedurchlasswiderstand R](#) (früher 1/Λ) bzw. vom [Wärmedurchgangskoeffizienten U](#) (früher k) der umschließenden Bauteile (Wände, Decken, Fenster, Türen) und deren Anteil an der wärmeübertragenden Umfassungsfläche
- von der Anordnung der einzelnen Schichten bei mehrschichtigen Bauteilen,
- von der [Wärmespeicherfähigkeit](#) der Bauteile (Tauwasserbildung, sommerlicher Wärmeschutz, instationärer Heizbetrieb),
- von der [Energiedurchlässigkeit](#) der Fenster und deren Größe und Orientierung unter Berücksichtigung von Sonnenschutzmaßnahmen,
- von der Luftdurchlässigkeit von Bauteilen (Fugen, Spalten), vor allem der Umfassungsbauteile,
- von der [Lüftung](#).

Baulicher Wärmeschutz im Sommer umfasst alle Maßnahmen, die dem Schutz eines Gebäudes vor Überhitzung durch externe und internen Wärmequellen dienen. Konstruktive und technische Möglichkeiten sind im Abschnitt [B, Kapitel „Sonnenschutz“](#) erläutert.

Baulicher Wärmeschutz im Winter umfasst alle Maßnahmen zur Verringerung der Wärmeverluste eines beheizten Gebäudes an die Außenluft bzw. an das Erdreich sowie den Schutz von Aufenthaltsräumen vor schädlicher Tauwasserbildung in und auf Bauteilen und Folgeschäden.

Erhöhte Wärmeverluste, Zerstörung von Konstruktionen, muffiges Raumklima, Schimmelpilzbildung können die Folge falsch geplanten und/oder falsch ausgeführten Wärmeschutzes sein.

Die gesetzlich erforderliche Wärmedämmung ermittelt man mit Hilfe der Berechnungsvorschriften aus der Energieeinsparverordnung und den geltenden Normen.

Den Schutz vor schädlicher Tauwasserbildung erreicht man durch Beachtung der bauphysikalischen Grundsätze und ggf. durch Einzelbetrachtung kritischer Stellen mit Hilfe einer Tauwasserberechnung (s. a. Oberflächentemperatur, Isothermen, Taupunkttemperatur, Luftdichtigkeit, Wasserdampfdiffusion, Wärmebrücken). Hier sind die Mindestwerte der DIN 4108:2001-03 einzuhalten.

Mit zunehmendem Dämmstandard und gleichzeitig verringertem **Heizwärmebedarf** treten neben die bisher bekannten Schwachstellen der Außenhautkonstruktionen neue Schwachpunkte, die durch die Verlagerung der Wärmebrücken innerhalb des Raumes (z. B. vom Fenster weg in die untere Raumaußenecke) entstehen. Thermische Schwachpunkte treten auch bei Einhaltung der Mindestwärmeschutz-Werte nach DIN 4108:2001–03 auf.

Bei nutzungsbedingter erhöhter Luftfeuchtigkeit kann die gesonderte Betrachtung kritischer Bereiche notwendig sein.

Wärmedämmung als enger gefasster Begriff bezieht sich auf den Wärmedurchgang (Transmission) durch Außenbauteile. Die Wärmedämmeigenschaften der Außenbauteile bestimmen auch die innere Oberflächentemperatur und damit die für die eine Raumnutzung erforderliche physiologische Behaglichkeit.

Die Wärmedämmwirkung kann als reine Bauteileigenschaft durch den **Wärmedurchlasswiderstand R** ermittelt werden, die Dämmeigenschaften im eingebauten Zustand bezogen auf den Gesamtwärmeverlust eines Bauteils wird durch den Wärmedurchgangskoeffizienten U (früher k-Wert) erfasst.

1.6 Wärmespeicherung

Unter der Wärmespeicherung von Bauteilen versteht man deren Eigenschaft, bei Sonneneinstrahlung – sowohl bei Außenwandflächen als auch durch Verglasungen hindurch bei Innenbauteilen – und bei Lufttemperatur-Zunahme Wärmeenergie aufzunehmen und bei Lufttemperaturrückgang wieder abzugeben. Temperaturschwankungen im Raum werden von wärmespeichernden Bauteilen durch Wärmeaufnahme oder -abgabe gedämpft bzw. ausgeglichen.

Praktisch ist zu unterscheiden zwischen der dämpfenden und verzögernden Wirkung auf Temperaturschwankungen im Raum (Wärmespeicherung der inneren Raumumgrenzungen einschließlich Raumausstattung) und der dämpfenden und verzögernden Wirkung auf den Wärmedurchgang durch Außenbauteile bei Außentemperaturschwankungen und Sonneneinstrahlung („Temperatur-Amplituden-Dämpfung“ und „Phasenverschiebung“).

Die Speicherfähigkeit wird überwiegend durch die Baustoffdichte bestimmt, sie wird mit steigendem Gewicht größer. Die allgemeine Erfahrung, dass bei Gebäuden in Leichtbauweise gegenüber Massivbauten ein weniger ausgeglichenes Raumklima herrscht, beruht darauf, dass leichte Außen- und Innenbauteile eine geringere Speicherfähigkeit haben.

Für Sommer- und Übergangszeiten sind wärmespeichernde Bauteile neben einem optimalen Sonnenschutz und einer wirksamen Fensterlüftung eine bautechnische Maßnahme zur Vermeidung hoher Wärmebelastung im Raum. In Räumen mit raumlufttechnischen Anlagen mit Kühlung (ohne Klimakonstanz) reduziert eine gute Wärmespeicherung die Kühllastspitzen und damit Anlage- und Energiekosten.

Stoffkriterien für die Wärmespeicherwirkung

Anforderungen an die Wärmespeicherfähigkeit können über die Angabe von Mindestgewichten der Bauteile gestellt werden. Diese vereinfachte Form der Erfassung wird durch mehrere bauphysikalische Zusammenhänge ermöglicht, die hier kurz erläutert und durch praktische Hinweise ergänzt werden sollen.

Spezifische Wärmekapazität c

Die zur Erwärmung einer Stoffmasse um 1 K erforderliche Wärmeenergie, d. h. die Wärmemenge, die eine bestimmte Stoffmasse pro **Kelvin** aufnehmen kann, ist die spezifische Wärmekapazität (spezifische Wärme) c in Wh/kg · K (Wärmemenge je kg Stoffmasse und je Kelvin Temperaturdifferenz).

Sie liegt bei festen Baustoffen in einem vergleichsweise engen Bereich und kann auf Grund der Unterschiede in der Stoffstruktur in drei Baustoffgruppen – metallische, mineralische und organische – zusammengefasst werden.

Wärmespeicherzahl S

Baustoffe haben eine unterschiedliche **Dichte ρ** (Rho) [kg/m³]. Die massenbezogene Kennzahl c ist für ein Baustoffvolumen noch nicht aussagefähig. Zur Erfassung der Wärmeaufnahme von Bauteilen dient daher die volumenbezogene Wärmespeicherzahl $S = c \cdot \rho$ in Wh/m³ · K (Wärmemenge je m³ Baustoffvolumen und je Kelvin Temperaturdifferenz).

Aus dem Zusammenhang der volumenbezogenen Wärmespeicherzahl S mit der Baustoffdichte ρ ($S = c \cdot \rho$) ergibt sich die direkte Abhängigkeit der Speicherfähigkeit vom Gewicht der Baustoffe, d. h. „schwere“ Bauteile können gegenüber „leichten“ grundsätzlich mehr Wärme speichern.

Wärmeaustausch zwischen Raumluft und Bauteil

Zum Verständnis der ausgleichenden Wirkung wärmespeichernder Bauteile auf Temperaturschwankungen und zur Ableitung von Bemessungskriterien müssen die Voraussetzung zwischen Raumluft und Bauteil beachtet werden.

Dieser Wärmeaustausch ist abhängig vom Vorhandensein einer Temperaturdifferenz und dem zeitlichen Verlauf der Wärmeschwankungen, von der Wärmeeindringgeschwindigkeit in das Bauteil (Wärmeeindringkoeffizient b), von dem Wärmeübergang zwischen Raumluft und Bauteiloberfläche (Wärmeübergangskoeffizient h (früher α)) sowie der Größe dieser Oberfläche.

Temperaturdifferenz und zeitlicher Schwankungsverlauf

Die Wärmeübertragung ist direkt abhängig von der Temperaturdifferenz zwischen Raumluft und Bauteiloberfläche. Diese Temperaturdifferenz wird durch Wärmeaufnahme bzw. -abgabe des Bauteils ausgeglichen, woraus folgt, dass Wärmespeicherung nur Temperaturschwankungen beeinflussen kann.

Die hier zu betrachtenden Temperaturschwankungen aus wechselnder äußerer Wärmebelastung, z. B. durch Sonneneinstrahlung, und aus den inneren Wärmebelastungen, z. B. durch Personen, Beleuchtung usw., treten mehr oder weniger im Tagesrhythmus von 24 Stunden auf. Durch diese zeitliche Begrenzung des Temperaturschwankungsbereichs hängt die Wirksamkeit von wärmespeichernden Bauteilen neben ihrer Speicherfähigkeit auch von der Geschwindigkeit der Wärmeaufnahme ab.

	Nadelholz	Beton B 1
Rohdichte ρ	600 kg/m ³	2400 kg/m ³
Spez. Wärmekapazität c	0,58 Wh/kg K	0,28 Wh/kg K
Speicherzahl S	350 Wh/m ³ K	670 Wh/m ³ K
Wärmeleitfähigkeit λ	0,13 W/m K	2,10 W/m K
Wärmeeindringkoeffizient b	6,7 W · h ^{1/2} /m ² K	37,6 W · h ^{1/2} /m ² K

Tab. 17 Wärmespeicherung von Holz und Beton

Wärmeeindringkoeffizient b und Bauteildicke s

Ein Maß für die Wärmeeindringgeschwindigkeit in das Bauteil gibt die **Wärmeeindringkoeffizient b** .

Zum Beispiel hat Holz trotz seines geringen Gewichtes von nur $\frac{1}{4}$ gegenüber Beton durch seine etwa doppelt so hohe spezifische Wärme c die halbe Speicherfähigkeit von Beton. Die Einleitung des Speichervorgangs verläuft jedoch bei Beton erheblich schneller, weil seine größere **Wärmeleitfähigkeit λ** eine wesentlich höhere Wärmeeindringgeschwindigkeit b ergibt (siehe Tab. 17).

Trotz der geringen spezifischen Wärme dämpft der schwere Beton gegenüber Holzstoffen Temperaturschwankungen wesentlich wirksamer. Für eine wirksame Wärmespeicherung sind daher Baustoffe mit hoher Wärmeeindringzahl besonders günstig.

Aus dem zeitlichen Ablauf der wechselnden Wärmebelastung im Tagesrhythmus und der Wärmeeindringgeschwindigkeit ergibt sich bei den verschiedenen Baumaterialien eine Grenzdicke für die Ausnutzbarkeit ihrer Speicherfähigkeit.

Bei ansteigenden Mitteltemperaturen während einer Hitzeperiode können durch dickere Speicherschichten noch weitere spürbare Dämpfungseffekte erzielt werden. Praktisch ist für Schwerbetonteile eine Dicke von 15 - 20 cm ausreichend.

Bei Materialien mit niedrigem Wärmeeindringkoeffizient ($b < 10 \text{ W} \cdot \text{h}^{1/2} / \text{m}^2 \text{ K}$) sind hingegen Bauteildicken über 12 - 15 cm für die Wärmespeicherung kaum mehr ausnutzbar

Ausschlaggebende Bedeutung hat die Wärmeeindringzahl der Oberflächenschicht. Bereits sehr dünne wärmedämmende Verkleidungen verringern die Wärmeaufnahmefähigkeit erheblich.

Wärmeübergangskoeffizient h (früher α)

Bedingung für die volle Ausnutzbarkeit großer Wärmeeindringgeschwindigkeiten ist ein entsprechend großer Wärmeübergang zwischen Raumluft und Bauteiloberfläche. Dieser ist vor allem abhängig von der Luftbewegung an der Bauteiloberfläche; je stärker die Luftströmung, um so mehr Luftteilchen kommen mit der Bauteiloberfläche in Berührung und vergrößern damit den Wert h .

Durch Luftbewegung an speicherfähigen Bauteilen (Decke) lässt sich die Ausnutzung der vorhandenen Wärmespeicherkapazitäten verbessern. Dagegen wirkt sich eine Behinderung der Luftzirkulation durch entgegengerichtete Raumteiler, Sichtblenden usw. mindernd auf den Wärmeaustausch aus, da sich hier stehende Luftpolster bilden können, die den Wärmeübergang behindern.

Größe der Bauteiloberfläche

Wärmespeichernde Innenbauteile sollen eine möglichst große Oberfläche haben, an der die Raumluft ungehindert zirkulieren kann. Sie kann beispielsweise durch Profilierung erheblich vergrößert werden. Besonders günstig für den Wärmeaustausch durch Luftbewegung an der Decke sind entsprechend der Luftströmung gerichtete Profilierungen (z. B. Rippendecken), im Allgemeinen senkrecht zur Außenwand.

Innenbauteile

Geschossdecken

Deckengewichte von 400 - 500 kg/m² entsprechen den in weiten Baubereichen gebräuchlichen Massivkonstruktionen. Sie bieten neben dem Ausgleich rein kurzzeitiger Temperaturschwankungen im Tagesgang noch hinreichend Speicherkapazität für die dämpfende Wirkung auf ansteigende Tages-Mitteltemperaturen während einer mehrtägigen Hitzeperiode. Hierdurch kann die anhaltende Erhöhung der Raumlufttemperaturen deutlich verlangsamt werden.

Die Raumdecke ist zur **Wärmespeicherung** besonders geeignet, da sich vor allem bei kurzzeitig auftretender starker Wärmebelastung größere **Temperaturdifferenzen** zur wärmeren Luft im oberen Raumbereich ergeben. Stahlbeton hat eine hohe **Wärmeindringzahl**, die Luftzirkulation wird unter der Decke am wenigsten behindert, und die Deckenoberfläche kann durch Profilierung (Rippen, Balken usw.) vergrößert werden.

Sind abgehängte Decken zur Verbesserung der Raumakustik oder als Sichtblende nicht zu vermeiden, so muss geprüft werden, ob durch entsprechende Ausbildung, z. B. entschiedenes Absetzen von den Wänden, eine wirksame Raumluftzirkulation über den Deckenhohlraum erhalten werden kann. Sind durchgehend geschlossene, abgehängte Decken, z. B. für horizontale Installationszonen, erforderlich, so ist damit der direkte Wärmeaus-

tausch mit der Rohdecke verhindert. In diesem Falle sollten möglichst andere Bauteile, vor allem die Innenwände, aber auch Verbundestriche ohne dämmende Beläge verstärkt zur Wärmespeicherung herangezogen werden.

Innenwände

Auch die Speicherung der Innenwände kann zum Raumlufttemperatur-Ausgleich beitragen. Hierfür sind bereits Bauteilmassen von 100 bis 150 kg/m² für Wandstärken bis ca. 15 cm ausnutzbar. Dieses gilt insbesondere für kleine Räume (< 50 m²), da der Anteil der Innenwände an der raumumgrenzenden Bauteilfläche mit kleiner werdender Raumgröße zunimmt.

Innenwände mit einer Gesamtmasse über 150 kg/m² sind für Räume zu empfehlen, die eine geschlossene abgehängte Decke haben müssen und deren hohe Wärmebelastungen (vor allem aus der Belegungsichte) eine raumlufttechnische Anlage mit Kühlung erfordern.

Wie bereits erläutert, steht die Speicherfähigkeit in direkter Beziehung zum Bauteilgewicht (flächenbezogene Masse) (**Abb. 91, nächste Seite**). Im Falle der nichttragenden Innenwände ist jedoch eine differenzierte Betrachtung angebracht, da die Forderung nach höherem Gewicht einer Reihe von Vorteilen leichter Wandkonstruktionen widerspricht.

So weist z. B. eine nur 33 kg/m² schwere Elementwand aus 200 mm Spanplatten mit $S' = 9,6 \text{ Wh/m}^2$ bereits nahezu die gleiche Speicherfähigkeit auf wie eine 85 kg/m² schwere Wand aus Vollgipsplatten mit $S' = 9,8$ und verhält sich wesentlich günstiger als die etwa gleich schwere Wand aus 15 mm Gipskartonplatten auf Metallständern, mit $S' = 5,1 \text{ Wh/m}^2 \text{ K}$. Der immerhin spürbare Einfluss dieser geringen Speicherfähigkeit soll an einem Raumbeispiel angezeigt werden:

Würde man einen Seminarraum von der Größe 4,80 x 6,00 m bei 3,00 m lichter Raumhöhe mit der bereits beschriebenen Elementwand aus Spanplatten ausführen, so ergebe sich bei Belegung mit 14 Personen und der Sonneneinstrahlung durch 10 m² Südfenster mit Außenjalousetten für den Hochsommer bei Annahme sonst völlig fehlenden Wärmeaustausches (Lüftung, Transmission) und unter Vernachlässigung der Zeitverzögerung bei der Wärmeaufnahme eine stündliche Raumluft-Tem-

Gruppe	Konstruktionsart	Rohdichte λ [kg/m ³]	Wanddicke d [mm]	Flächengewicht m [kg/m ²]	Speicher- kapazität S' [Wh/m ² K]
1	2	3	4	5	6
Mauerwerk	1/2-Stein Ziegelmauerwerk, verputzt	1 800	145	260	33,0
		1 200	145	180	22,8
	1/2-Stein KSV-Sichtmauerwerk	2 000	115	230	29,9
		1 800	115	207	26,9
		1 600	115	184	23,9
Holzbeton	Platten aus Holzspanbeton	1 000	150	150	30,8
		1 000	100	100	20,5
		1 000	75	75	15,4
Leichtbeton	Bimsdielen nach DIN 1862, verputzt	1 400	130	180	24,2
		1 400	100	140	18,6
		1 400	80	112	14,6
		1 000	130	130	17,4
		1 000	100	100	13,3
		1 000	80	80	10,5
	Porenbeton GS	600	150	90	13,1
600		100	60	8,7	
Vollgips- Wandbauplatten	Gips-Wandbauplatten nach DIN 18 163 gespachtelt	1 200	105	126	14,5
		1 200	85	102	11,7
		1 000	105	105	12,1
		1 000	85	85	9,8
		600	105	63	7,2
		600	85	51	5,9
Spanplatten	25 mm Spanplatten auf Holzrahmen, vorgefertigt mit Sandfüllung ohne Sandfüllung		100	60	13,5
			100	38	11,0
	Schichtstoffplatten mit 20 mm Spanplatten auf Holzrahmen		80	33	9,6
Gipskarton	GK-Platten auf Metallständerwerk beidseitig	2 x 25 + 9,5 mm	≥ 100	71	10,7
		2 x 25,0 mm	≥ 60	50	7,5
		2 x 15,0 mm	≥ 80	34	5,1
		2 x 12,5 mm	≥ 75	27	4,1
Stahlblech	Stahlblech auf Stahlrahmen mit Mineralwollefüllung $\rho = 70 \text{ kg/m}^3$ Mineralwollefüllung $\rho = 36 \text{ kg/m}^3$		59	31	2,2
			59	23	1,6

Abb. 91 Halbseitige Wärmespeicherkapazität S' von Innenwänden in Abhängigkeit von der flächenbezogenen Masse m (Flächengewicht) bzw. der Wanddicke s .

peraturzunahme von 20° auf 23° C gegenüber von 20° auf 27° C bei Verwendung der Metallständerwand mit 15 mm Gipskartonplatten.

Diese Überlegungen sollen nur die Einflussgrößen und beispielhaft die Unterschiede bei Innenwandkonstruktionen verdeutlichen. Bei dieser vereinfachten Betrachtung wurde die Abhängigkeit der Wärmeaufnahme von Zeitdauer und Eindringgeschwindigkeit bewusst ausgeklammert, deren Bedeutung um so größer wird, je dicker die Bauteile sind.

Für sehr kurzfristig auftretende starke Wärmebelastung bleibt allerdings eine höhere Wärmeeindringgeschwindigkeit für die temperaturdämpfende Wirkung entscheidend.

Grundlagen zur Bemessung von Außenwänden und Dachdecken

Zur Beurteilung von Außenbauteilen bei instationärem Wärmedurchgang von außen nach innen dienen die beiden Kenngrößen Phasenverschiebung und Temperatur-Amplitudendämpfung, zwi-

schen denen bei einschichtigen Bauteilen ein direkter Zusammenhang besteht.

Phasenverschiebung Φ (Phi)

Der Wärmedurchgang durch das Bauteil benötigt Zeit; zwischen dem äußeren Temperaturmaximum und dem Auftreten der Maximaltemperatur auf der inneren Bauteiloberfläche liegt ein zeitlicher Abstand. Er wird als Phasenverschiebung Φ (Phi) der Temperaturmaxima und damit der gesamten Temperatur-Amplitude bezeichnet und in Stunden [h] angegeben.

Bei entsprechend hoher Phasenverschiebung werden äußere Wärmebelastungen während des Tagesverlaufs erst zu einer Zeit an der Wandinnenseite wirksam, in der bereits wieder niedrige Außentemperaturen herrschen und eine Abkühlung des Raumes durch Fensterlüftung möglich ist.

Eine große Phasenverschiebung ergibt sich aus hohem R des Außenbauteils und hoher Wärmeindringzahl b des Baustoffs.

Sehr leichte Außenwände haben eine Phasenverschiebung von weniger als 3 h, schwere Außenwände mit genügend hohem Wärmedurchlasswiderstand (z. B. Mauerwerkswände) erreichen ideale Werte um 12 h.

Temperatur-Amplitudendämpfung θ (Theta)

Die Temperaturdifferenzen der Außenluft zwischen Maximum und Minimum, d. h. die Temperaturamplitude der Tagesschwankung, werden auf die äußere Bauteiloberfläche übertragen, wobei das Maximum durch direkte Sonnenstrahlung stark erhöht werden kann.

Infolge der Phasenverschiebung bei der Weitergabe der Maximaltemperatur im Bauteil fließt ein Teil der Wärmemenge bereits wieder an die inzwischen abgekühlte Außenluft zurück („instationärer“ Vorgang), so dass die **Temperaturdifferenz** der Bauteilaußenseite an der Bauteilinnenseite verringert auftritt, die Amplitude also gedämpft wird.

Das Verhältnis der Temperaturamplituden auf der äußeren Bauteiloberfläche (ΔT_a) zu der auf der Innenoberfläche (ΔT_i) ist die Temperatur-Amplitudendämpfung θ (Theta) als dimensionslose Verhältniszahl:

$$\theta = \frac{\Delta T_a}{\Delta T_i} = \frac{\theta_{\alpha,\max} - \theta_{\alpha,\min}}{\theta_{i,\max} - \theta_{i,\min}}$$

Betragen beispielsweise die Extremwerte der Temperaturen an der Außenseite einer Hochlochziegelwand + 32° C am Tage und + 12° C in der Nacht, auf der Innenseite dagegen (ohne Einfluss der Nutzung und direkten Sonneneinstrahlung durch das Fenster) + 23° C und + 21° C, dann hat diese Wand eine Amplitudendämpfung von

$$\theta = \frac{32^\circ\text{C} - 12^\circ\text{C}}{23^\circ\text{C} - 21^\circ\text{C}} = \frac{20\text{K}}{2\text{K}} = 10$$

Die Werte für die Temperatur-Amplitudendämpfung sollen möglichst hoch und > 4 sein. Bei einschichtigen Konstruktionen steigen sie mit den Werten der Phasenverschiebung an. Bei mehrschichtigen Konstruktionen können sie von den Werten der Phasenverschiebung stark abweichen; sie haben aber ausschlaggebende Bedeutung.

Den reziproken Wert der Amplitudendämpfung nennt man das Temperatur-Amplitudenverhältnis (TAV)v

$$v = \frac{\Delta T_i}{\Delta T_a}$$

Seine Werte (zwischen 0 und 1) sollen möglichst niedrig und < 0,25 sein.

Konstruktionsvergleich

- hoher **Wärmedurchlasswiderstand R** ohne **Wärmespeicherfähigkeit** (z. B. Polystyrol) oder hohe Wärmespeicherfähigkeit mit geringer Wärmedämmung (z. B. Schwerbeton) bewirken gleich geringe Amplitudendämpfung wie Phasenverschiebung,
- einschichtige Bauteile mit gleichermaßen guten Dämm- und Speichereigenschaften erreichen die volle Phasenverschiebung bei gleichzeitig guter Amplitudendämpfung (z. B. Nadelholz und z. B. Hochlochziegel),
- mehrschichtige Konstruktionen mit Trennung der Funktionsschichten erreichen bei außenliegender Wärmedämmschicht die höchste Amplitudendämpfung, die unabhängig von der Phasenverschiebung die auf der Raumseite austretende Wärmemenge bestimmt (Beton mit Außendämmung).

Außenwände

Der vorstehende Vergleich zeigt eindeutig, dass eine große Amplitudendämpfung durch eine mehrschichtige Konstruktion aus einer innenliegenden Schicht mit hoher **Speicherkapazität** und einer äußeren Schicht mit guter Wärmedämmung erreicht wird. Bei großer **Wärmeeindringzahl** der Innenoberfläche hat eine solche Konstruktion den anfangs erwähnten Vorteil, dass sie – solange ihre Speicherkapazität von außen her nicht ausgelastet ist – auch Wärme aus der Raumluft aufnehmen kann. Dieses ist vor allem bei Nutzungen mit wechselnd hohen inneren Wärmelasten von Bedeutung.

Bei konsequenter Trennung in dämmenden und speichernden Bauteilschichten ist die Phasenverschiebung geringer als bei Verwendung von gleichzeitig dämmenden und speicherfähigen Baustoffen. Eine entsprechend dem Tagesgang optimale Phasenverschiebung von 10 - 12 Stunden ist mehrschichtig mit konstruktiv und wirtschaftlich vertretbaren Bauteildicken nicht erreichbar, aber auch nicht erforderlich, da sie bei hoher Amplitudendämpfung von geringer Bedeutung ist. Eine Phasenverschiebung von 6 - 8 Stunden ist bei genügender Amplitudendämpfung als ausreichend anzusehen, da die Sonneneinstrahlungsdauer für Außenwände höchstens 6 - 8 Stunden beträgt und sich bei dieser Phasenverschiebung die stärksten Wärmebelastungen in der Regel erst außerhalb der Nutzungsstunden von Arbeitsräumen auswirken.

Werden aus anderen Gründen auch für größere geschlossene Außenwandflächen leichte Montageelemente verwendet, so sollten sie vor direkter Sonneneinstrahlung geschützt werden (Fluchtbalkone). Für die Oberflächen sind gut reflektierende, glatte Materialien zu verwenden.

Dachdecken

Flachdächer sind gegenüber Außenwänden der Sonneneinstrahlung in stärkerem Maße und den ganzen Tag über ausgesetzt. Sie sollen daher eine höhere Amplitudendämpfung und Phasenverschiebung haben. Hierfür sind die für Dachdecken üblichen mehrschichtigen Konstruktionen mit außenliegender Wärmedämmung günstig. Dachdecken aus Schwebeton sollten jedoch eine Masse von mindestens 400 kg/m² aufweisen, damit insbesondere die Amplitudendämpfung weiter verbessert wird. Dem entspricht eine Plattenstärke von ca. 20 cm. Begrünte Dächer erweisen sich als vorteilhaft.

Auswirkung der Wärmespeicherung im Winter

Auch im Winter bewirkt die **Wärmespeicherung** ein ausgeglichenes Raumklima; starke Temperaturschwankungen der Raumluft durch wechselnde Belastung – schnelle Aufheizung bei Besonnung oder schnelle Auskühlung bei Fensterlüftung – werden vermieden. Im Hinblick auf die Energieeinsparung kann hierzu jedoch keine pauschale Aussage gemacht werden.

Wärmespeichernde Bauteile dienen vor allem der physiologischen Behaglichkeit durch Schaffung eines ausgeglichenen Raumklimas (Strahlungsklimas). Soweit die Erhöhung der Raumoberflächentemperaturen eine Absenkung der Raumlufttemperatur erlaubt, ist auch eine Einsparung von Heizenergie damit verbunden.

Räume ohne raumluftechnische Anlagen

Bei allen nicht unterbrochenen Nutzungen, für die eine sehr gleichmäßige Raumlufttemperatur gefordert wird (typisches Beispiel: Pflegebereich im Krankenhaus), ist eine Wärmespeicherfähigkeit von Außenwand und Innenbauteilen gerade im Winter vorteilhaft: Die Auswirkungen der Schwankungen der Außenlufttemperatur und der inneren Wärmebelastungen werden ausgeglichen und die Regelfähigkeit des Heizsystems kaum beansprucht. Diese positive Auswirkung der Speicherfähigkeit deckt sich mit der im Sommer.

Bei allen unterbrochenen Nutzungen, die eine starke Nachtabsenkung des Heizbetriebes zulassen (typisches Beispiel: Verwaltungsgebäude), kann deren Einsparwirkung durch eine zu hohe Wärmespeicherfähigkeit der Innenbauteile weitgehend wieder aufgehoben werden.

Die während der Tagesnutzung in der Raumumgrenzung gespeicherte Wärmemenge bewirkt nach Absenken oder Abschalten der Heizung eine langsamere Raumauskühlung und bei hoher **Temperaturdifferenz** zur Außenluft einen entsprechend höheren (Speicher-) Wärmeverlust während der Nachtzeit; bei bzw. vor Nutzungsbeginn muss mit entsprechend höherer Aufheizenergie für die Speichermasse dieser Wärmeverlust wieder ausgeglichen werden, wobei die Oberflächentemperatur z. B. der Wände erst langsam wieder den für die Behaglichkeit erforderlichen Wert erreicht.

In anhaltenden Kälteperioden vermindert eine starke Wärmespeicherung den Energiespareffekt durch Nachtabsenkung gegenüber Leichtbauweisen deutlich.

Bei stark speicherfähiger Bauweise kann durch eine entsprechende Betriebsweise ein Ausgleich zur rechtzeitigen Erzielung der erforderlichen Behaglichkeit herbeigeführt werden.

Räume mit raumluftechnischen Anlagen

In Räumen mit raumluftechnischen Anlagen ist stets nach Lüftungsanlass und Lüftungsdauer zu differenzieren.

Sofern durch Wärmespeicherung die Kühlleistung der Lüftungsanlage im Sommer reduziert werden kann, wird diese Einsparung in jedem Falle größer sein als die Heizenergieverluste im Winter (typisches Beispiel: Seminarraum).

Ist ganzjährig Lüftung mit Kühlung unvermeidlich, z. B. durch den überwiegenden Einfluss von Personenwärme, so ist auch im Winter Wärmespeicherung zur Entlastung der Lüftungsanlage durch Aufnahme von Spitzentemperaturen um so wirksamer, je stärker Betriebsunterbrechungen mit der Möglichkeit der Auskühlung gegeben sind (typisches Beispiel: Hörsaal).

Die raumumschließenden Flächen sollen nicht in jedem Fall wärmeausgleichenden Einfluss auf die Raumlufthtemperatur haben. So kann in Räumen mit Klimakonstanz die Wärmespeicherung der Raumumschließung einen Energie-Mehrverbrauch bewirken. Gegebenenfalls sind hierbei auch raumumschließende Flächen unabhängig von ihrer sonstigen Konstruktion, auf der Innenseite durch eine Wärmedämmschicht gegen Wärmeaufnahme abzuschirmen.

1.7 Wärmegewinne

Die Wärmegewinne eines Gebäudes setzen sich zusammen aus internen Wärmegewinnen, z. B. aus Geräten, aus Personenabwärme und aus solaren Wärmegewinnen (= Sonneneinstrahlung durch transparente Flächen).

Die Wärmegewinne sind abhängig von Variablen: intern z. B. von der Anzahl der Personen und Wär-

meabgabe der Geräte, solar von der Himmelsrichtung, der Verschattung und dem Energiedurchlassgrad der transparenten Bauteile. Sie senken in der Heizperiode den **Wärmebedarf**, erhöhen jedoch auch bei fehlenden Gegenmaßnahmen im Sommer die Aufheizung des Gebäudes.

Bei der Planung eines Gebäudes sind die Wärmegewinne kalkulierbar und beim Wärmeschutz begrenzt anrechenbar.

Bei den internen Gewinnen ist zu beachten, dass diese mit fortschreitender Energieeinsparung im Gerätesektor tendenziell zurückgehen werden. Den größten Gewinn erreicht man im solaren Bereich durch Ausrichtung des Gebäudes nach Süden mit entsprechender Auslegung der Fenster und der Anordnung genügender Speichermassen.

Bei der Gewinnung solarer Energie durch transparente Außenflächen ist aber gleichzeitig darauf zu achten, dass durch geplante Sonnenschutzmaßnahmen eine Überhitzung vermieden oder zumindest erheblich reduziert wird. Der Sonnenschutz darf wiederum nicht soweit führen, dass die Helligkeit derart reduziert wird, dass künstliche Beleuchtung erforderlich wird. Bei Fensterflächen über 30 % Flächenanteil an der Fassade müssen die Grenzwerte nach **EnEV, Anhang 1 Nr. 2.9** eingehalten werden. Wegen erheblicher Kostendifferenz gilt jedoch: Die Minimierung des Verlustes hat Vorrang vor der Optimierung des Gewinns.

2. Berechnungen in der Praxis

2.1 Simulations- und Berechnungsprogramme

Situation

Durch die neue Energieeinsparverordnung wird der Aufwand für die energetische Berechnung eines Gebäudes deutlich umfangreicher, als dies bisher der Fall war. Eine Optimierung des Baukörpers z. B. mit verschiedenen Konstruktionsaufbauten führt dabei zu einem extrem zeitaufwändigen Unterfangen. Durch geeignete Simulationsprogramme können einzelne Parameter verändert und das Ergebnis unmittelbar abgelesen werden.

Ein Vorentwurf kann schon in seiner Entwicklung energetisch bewertet und optimiert werden. Hierzu bieten sich eine Reihe von computergestützten Verfahren an. Der Energiebedarf eines Gebäudes lässt sich für das gesamte Gebäude sowie bezogen auf einen Quadratmeter Nettofläche ermitteln und mit Zielgrößen vergleichen.

Beispielsweise kann die Menge an Solareinstrahlung auf ein beliebiges Bauteil auch aus Tabellen abgelesen werden, aber nur durch Computersimulation wird ersichtlich, ob die Einstrahlung eine Überhitzung bewirkt oder **Heizenergie** einspart.

Nicht nur aus Sicht des Planers (Zeitersparnis) sind Simulationsprogramme sinnvoll. Modernes Gebäudemanagement fordert heute optimierte Bedingungen in der Gebäudetechnik. Für die Vermarktung eines Gebäudes wird es zunehmend wichtiger, günstige Betriebskosten aufweisen zu können und diese schon zum Zeitpunkt der Planung realitätsnah zu ermitteln.

Gebäudesimulation

Simulationsprogramme dienen dazu, den Energiebedarf eines Gebäudes bereits in der Planungsphase zu ermitteln und diesen durch Veränderung von Parametern zu optimieren. Dabei kann ohne größeren Aufwand durch Veränderung einzelner Parameter sehr schnell erkannt werden, welche Maßnahmen sich am besten eignen, um den Energiebedarf zu minimieren.

Simulationsprogramme stellen Temperatur- und Witterungsverläufe im Jahresverlauf sehr genau dar. Komplexere Verfahren geben neben Verbrauchsdaten Auskunft über die Gebäudeauswirkungen. Durch die Möglichkeit, jede Klimasituation eines Raumes im Jahres- und Tagesablauf zu simulieren, lassen sich Schwachstellen identifizieren und rechtzeitig Maßnahmen zu deren Vermeidung entwi-

ckeln. Sie zeigen z. B. Temperaturextreme zu bestimmten Tageszeiten, Temperaturschichtungen in hohen oder verglasten Räumen oder Luftbewegungen. Hieraus lassen sich Maßnahmen zum Abfangen vom Lufttemperaturspitzen z. B. über geringe entwerfliche Änderungen oder die Wahl einer geeigneten Bauweise, oft ohne den hohen technischen Aufwand einer Klimatisierung, ableiten.

Die Behaglichkeit in Arbeitsräumen oder Hallen, die Notwendigkeit von Verschattungseinrichtungen, die Entwicklung der Luftfeuchtigkeit oder die Laufzeiten von Heizungs- und Lüftungsanlagen – zu diesen und weiteren Fragen werden konkrete Aussagen gemacht.

Berücksichtigt werden dabei interne Wärmegevinne von Personen, Geräten und Beleuchtung sowie die Feuchtigkeitsentwicklung durch Pflanzen und Menschen. Als Klimadaten werden Test-Referenzjahre typischer Regionen genutzt. Auch die solaren Gewinne werden eingerechnet. Die 3D-Computermodelle können Einstrahlung und Verschattung zu jeder Jahres- und Tageszeit im voraus abbilden.

Die Gebäudesimulation stellt somit ein hervorragendes Mittel für die „integrale Planung“ dar. Sie bildet auch die ideale Grundlage für die nachträgliche Optimierung aller Komponenten der lüftungstechnischen Anlage.

Darüber hinaus ermöglicht die Gebäudesimulation auch Voraussagen über Raumzustände, die aus unterschiedlicher Lüftungstechnischer Ausstattung oder Betriebsweise resultieren. Damit sind fundierte und nachvollziehbare Entscheidungen möglich, beispielsweise ob eine Kälteanlage installiert werden muss. Der teilweise behördlich verlangte Bedarfsnachweis für Raumkühlung kann somit erbracht werden.

Die Aussagequalität einer Computersimulation kann nie besser sein als die dahinterstehenden Basisdaten. Die sorgfältige Ermittlung der Basisdaten ist Grundvoraussetzung. Grundsätzlich sind im Umfang der Computersimulation und den zu erzielenden Aussagen keine Grenzen gesetzt. Jedoch ist auch hier der Aufwand, der für die Simulation zu treiben ist, im Verhältnis zum zu erwartenden Nutzen zu sehen. Computersimulationen können nur durch den erfahrenen Fachmann interpretiert werden. Auch mit einem einfachen Simulationssystem sind hinreichende und aussagekräftige Ergebnisse erzielbar.

Sind die Grunddaten eines Entwurfs einmal eingegeben, lassen sich Varianten einfach bearbeiten. Die Auswirkungen von Veränderungen in der Gebäudegeometrie, der Ausrichtung von Fenstern, der Verglasungsart oder der Außendämmung sind dann schnell zu ermitteln. Auch Kombinationen verschiedener Maßnahmen sind korrekt abbildbar. Jede Variante wird mit genau den gleichen Randbedingungen simuliert, so dass die Relationen optimal erkennbar sind. Gebäude-Simulationsprogramme sind insbesondere im Vorentwurfs- und Entwurfsstadium sinnvoll einsetzbar; in diesen Phasen finden die wesentlichen Entscheidungen in Richtung einer energie- und umweltgerechten Planung statt.

Bei komplexeren Bauvorhaben entfaltet sich die volle Leistungsfähigkeit solcher Simulationsprogramme nur im Team. Das intensive Zusammenwirken von Architekt, Tragwerksplaner/Bauphysiker, Haustechnik-Ingenieur/ Energieberater kann dann zu wirklich innovativen Lösungen des energiesparenden und umweltschonenden Bauens führen.

2.2 Die Berechnungsverfahren der EnEV (Beispiele)

Geltungsbereich der EnEV

Die Energieeinsparverordnung (EnEV) stellt im Rahmen des öffentlich rechtlichen Nachweises Anforderungen an zu errichtende Gebäude mit normalen und niedrigen Innentemperaturen (Grenze bei 19° C) einschließlich ihrer Heizungs-, raumluftechnischen und zur Warmwasserbereitung dienenden Anlagen. Weiterhin beschreibt sie Anforderungen im Zusammenhang mit bestehenden Gebäuden.

Da in der EnEV erstmals Anforderungen an den baulichen Wärmeschutz und an die Anlagentechnik zusammengefasst werden, ergeben sich im Vergleich zur Wärmeschutzverordnung größere Gestaltungsfreiräume. Das allerdings führt auch dazu, das durch besonders effektive Maßnahmen z. B. in der Anlagentechnik, andere Bereiche schlechter ausgeführt werden können.

Um einen **Mindestwärmeschutz** sicher zu stellen, wurde zusätzlich zur Forderung des **Jahresprimärenergiebedarfs** (Q_p'' in kWh/ (m²·a)) der **spezifi-**

sche auf die wärmeübertragende Umfassungsfläche bezogene Transmissionswärmeverlust (H_T' in W/ (m²·K)) festgelegt. Er ist als eine Art mittlerer Wärmedurchgangskoeffizient zu verstehen.

Durch die Zusammenführung der Wärmeschutzverordnung und der Heizungsanlagenverordnung ergibt sich eine größere Transparenz für den Nutzer. Diese Transparenz wird durch zukünftig auszustellende Ausweise über Energie- und Wärmebedarf und Energieverbrauchskennwerte weiterentwickelt.

Energiebedarfsausweis

Er ist eine Weiterentwicklung des bisherigen Wärmeschutzausweises der Wärmeschutzverordnung und er gilt für zu errichtende Gebäude mit normalen Innentemperaturen. Außerdem für Ersatz- und Erneuerungsmaßnahmen im Gebäudebestand, die einen gewissen Umfang überschreiten.

Es werden folgende Werte eingetragen:

- spezifischer Transmissionswärmeverlust (H_T'),
- **Anlagenaufwandszahl** der Anlagen für Heizung, Warmwasserbereitung und Lüftung,
- Energiebedarf nach einzelnen Energieträgern,
- Jahresprimärenergiebedarf (Q_p'').

Auf die Bedeutung der Parameter wird später noch eingegangen.

Wärmebedarfsausweis

Für zu errichtende Gebäude mit niedrigen Innentemperaturen (wie in der Wärmeschutzverordnung 1995)

Es werden folgende Werte eingetragen:

- wesentliche Ergebnisse der Berechnungen,
- der spezifische Transmissionswärmeverlust (H_T').

Damit diese Daten auch von Nutzern bewertet werden können, gibt das Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen im Bundesanzeiger durchschnittliche Energieverbrauchskennwerte für die unterschiedlichen Klimazonen bekannt.

Beide Ausweise sind auf Verlangen den Behörden vorzulegen und den Nutzern oder Eigentümern eines Gebäudes zugänglich zu machen.

Für das Gebäudemanagement sowohl im öffent-

lichen Bereich als auch im privaten Sektor ist der Energiebedarfsausweis ein gutes Mittel, um nachvollziehbare Abrechnungen zu erhalten oder Interessenten über die Verbrauchswerte zu informieren.

Berechnungsverfahren

Die EnEV sieht drei Berechnungsverfahren für den öffentlichen Nachweis vor (siehe auch [Abb. 92](#)):

1. Das **Monatsbilanzverfahren** nach DIN EN 832:1998–12 in Verbindung mit DIN V 4108–6:2000–11 und DIN V 4701–10:2001–02
Dieses Verfahren benötigt den größten Rechenaufwand. Es ist genau wie das vereinfachte Verfahren eine Weiterentwicklung des Verfahrens aus der WSVO, allerdings ist die Anzahl der in die Berechnung eingehenden temperaturbezogenen Faktoren umfangreicher als bisher. Neu im Nachweisverfahren der EnEV ist ebenfalls die Berücksichtigung der [Wärmebrücken](#) und der [Luftdichtigkeit](#) des Gebäudes. Für sie werden entweder pauschalierte Werte eingesetzt, oder alternativ eine detaillierte Berechnung ermöglicht. Die Ursache für die Einbeziehung der Wärmebrücken ist in deren gesteigerter Bedeutung auf Grund erhöhter Wärmeschutzanforderungen zu sehen.
Das Monatsbilanzverfahren gilt mit wenigen Ausnahmen (siehe Heizperiodenbilanzverfahren) für alle zu errichtenden Gebäude mit normalen Innentemperaturen ($\geq 19^\circ \text{C}$).
Dabei ist das Ziel der Berechnung die Ermittlung des **Jahresprimärenergiebedarfs** (Q_p) und des spezifischen **Transmissionswärmeverlusts** (H_T).
2. Das **Vereinfachte Verfahren** (auch Heizperiodenbilanzverfahren) nach EnEV in Verbindung mit DIN V 4701–10:2001–02.
In der alten Wärmeschutzverordnung gab es neben dem normalen Verfahren (Wärmeschutznachweis) ein vereinfachtes Berechnungsverfahren für Wohngebäude mit bis zu drei Wohneinheiten und mit nicht mehr als zwei Vollgeschossen.
Auch in der EnEV sind Vereinfachungen vorgesehen: Wohnungen/Wohngebäude mit einem Fensterflächenanteil $\leq 30\%$ können nach dem vereinfachten Nachweisverfahren (Heizperiodenbilanzverfahren) berechnet werden. Dieses Verfahren entspricht grundsätzlich dem Wärmeschutznachweis der alten Wärmeschutzverordnung, wobei das neue Verfahren insofern anspruchsvoller und flexibler ist, weil eine Begrenzung des Jahresprimärenergiebedarfs unter Berücksichtigung einer Anlagenaufwandszahl und der benötigten Energie für die Bereitstellung von Warmwasser ermittelt wird. Das heißt insbesondere, dass auch Wohngebäude künftig grundsätzlich die gleichen Anforderungen zu erfüllen haben wie andere Gebäude mit normalen Innentemperaturen, also insbesondere bezogen auf die Begrenzung des Jahres-Primärenergiebedarfs. Auf diese Weise ist auch im Wohnungsbau eine klare Aussage über den Energiebedarf eines Gebäudes möglich.
Übliche Konstruktionen im Wohnungsbau rechtfertigen das neue vereinfachte Rechenverfahren.
Alternativ kann zum vereinfachten Verfahren auch das Monatsbilanzverfahren durchgeführt werden. Die Ergebnisse beider Verfahren liegen dicht beieinander, können aber auf Grund der pauschalierten Werte und der allgemeineren Berechnung über eine gesamte Heizperiode (ein Jahr) im vereinfachten Verfahren geringfügig höher liegen.

meschutznachweis der alten Wärmeschutzverordnung, wobei das neue Verfahren insofern anspruchsvoller und flexibler ist, weil eine Begrenzung des Jahresprimärenergiebedarfs unter Berücksichtigung einer Anlagenaufwandszahl und der benötigten Energie für die Bereitstellung von Warmwasser ermittelt wird. Das heißt insbesondere, dass auch Wohngebäude künftig grundsätzlich die gleichen Anforderungen zu erfüllen haben wie andere Gebäude mit normalen Innentemperaturen, also insbesondere bezogen auf die Begrenzung des Jahres-Primärenergiebedarfs. Auf diese Weise ist auch im Wohnungsbau eine klare Aussage über den Energiebedarf eines Gebäudes möglich.

Übliche Konstruktionen im Wohnungsbau rechtfertigen das neue vereinfachte Rechenverfahren.

Alternativ kann zum vereinfachten Verfahren auch das Monatsbilanzverfahren durchgeführt werden. Die Ergebnisse beider Verfahren liegen dicht beieinander, können aber auf Grund der pauschalierten Werte und der allgemeineren Berechnung über eine gesamte Heizperiode (ein Jahr) im vereinfachten Verfahren geringfügig höher liegen.

Der Jahresprimärenergiebedarf Q_p ist laut [Anhang 1 Nr. 3 EnEV](#) wie folgt zu ermitteln:

$$Q_p = (Q_h + Q_w) * e_p$$

$$\begin{aligned} Q_h &= \text{Jahresheizwärmebedarf} \\ Q_w &= \text{Zuschlag für Warmwasser} \\ e_p &= \text{Anlagenaufwandszahl} \end{aligned}$$

Die einzelnen Rechenschritte sind in der [EnEV und Anhang 1 Tabelle 2 und 3](#) dargestellt.

Bestimmungen für das vereinfachte Nachweisverfahren finden sich in [Anhang 1 Nr. 3](#). Darüber hinaus sind die gleichen Richtwerte einzuhalten, die auch für das Monatsbilanzverfahren gelten.

Eine weitere Voraussetzung für die Anwendbarkeit des Heizperiodenbilanzverfahrens ist die Anwendung der Planungsbeispiele aus der DIN 4108:1998–08, Bbl.2 (Wärmebrücken) oder ähnlichen nachgewiesenen Konstruktionen. Diese Planungs- und Ausführungsbei-

sie zeigen Standardkonstruktionen zur Vermeidung von Wärmebrücken.

Beide Verfahren berücksichtigen erstmalig den Einfluss von Wärmebrücken und den Dichtheitsgrad des Gebäudes.

Die Differenzierung trägt dem Planungsablauf im Wohnungsbau Rechnung, in dem den vorlagenberechtigten Planern die Möglichkeit gegeben wird, die notwendigen Berechnungen von Hand durchzuführen.

Im Vereinfachten Verfahren werden teilweise pauschalisierte (ungünstigere) Werte in die Berechnung eingestellt als im ausführlichen Monatsbilanzverfahren.

3. **Das Bauteilverfahren** findet im Gebäudebestand Anwendung, außerdem bei neu zu errichtenden Gebäuden mit niedrigen Innentemperaturen (unter 19° C) und bei Gebäuden mit geringem Volumen ($V = \leq 100 \text{ m}^3$).

Ziel ist die Ermittlung des **Wärmedurchgangskoeffizienten**, also des U-Wertes (früher k-Wert) der betreffenden Bauteile.

Hier wurden durch die EnEV jedoch die maximalen U-Werte weiter reduziert.

Für zu ändernde Gebäude oder Anlagen finden sich Vorgaben in der **EnEV §§ 8, 9, 13**, des weiteren in **Anhang 3**. Er gibt die einzuhaltenen Richtwerte vor.

Änderung an bestehenden Gebäuden und Anlagen (EnEV Abschnitt 3 § 8)

Die Forderungen der Energieeinsparverordnung für Änderungen an bestehenden Gebäuden richten sich nach der Art und der Größe der Änderungen (siehe auch **Abb. 93, nächste Seite**). Im Detail sind dies:

- Änderungen (**gem. Anhang 3 Nr. 1-5**) an Außenwänden, Fenstern, Fenstertüren, Dachflächenfenstern, Decken, Dächern, Dachschrägen, Wänden und Decken gegen unbeheizte Räume oder gegen Erdreich.

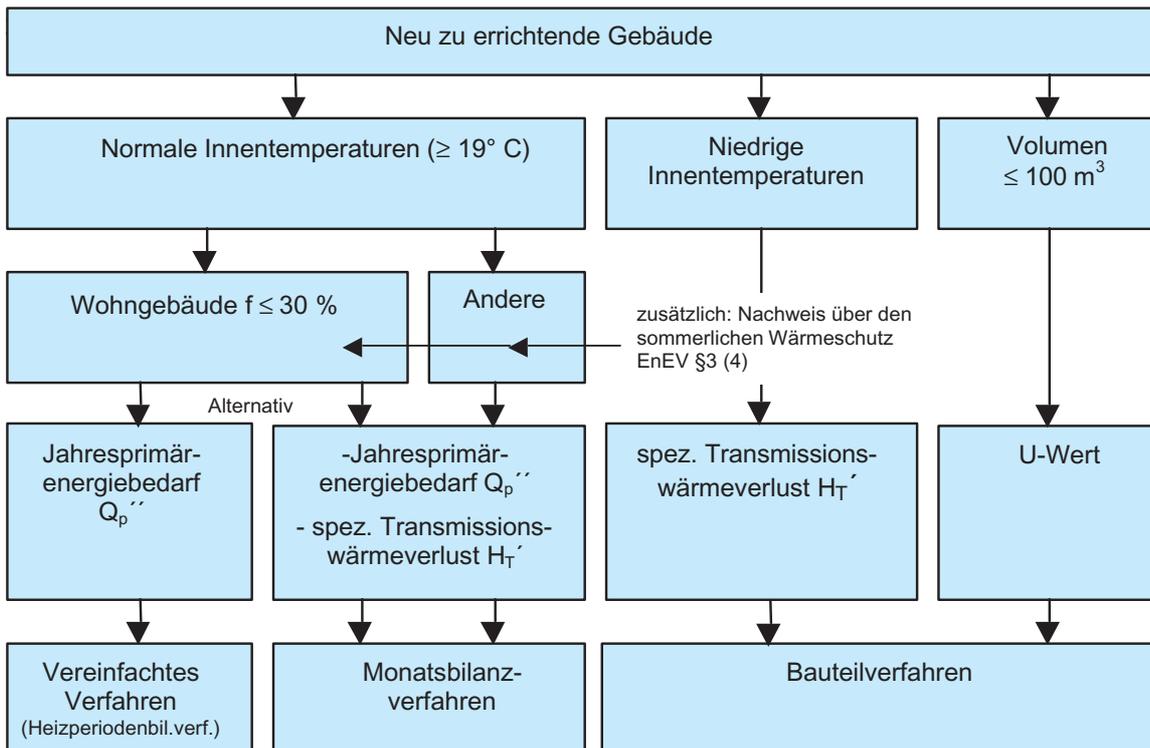


Abb. 92 Schematische Übersicht über die anzuwendenden Rechenverfahren für neue zu errichtende Gebäude gem. EnEV

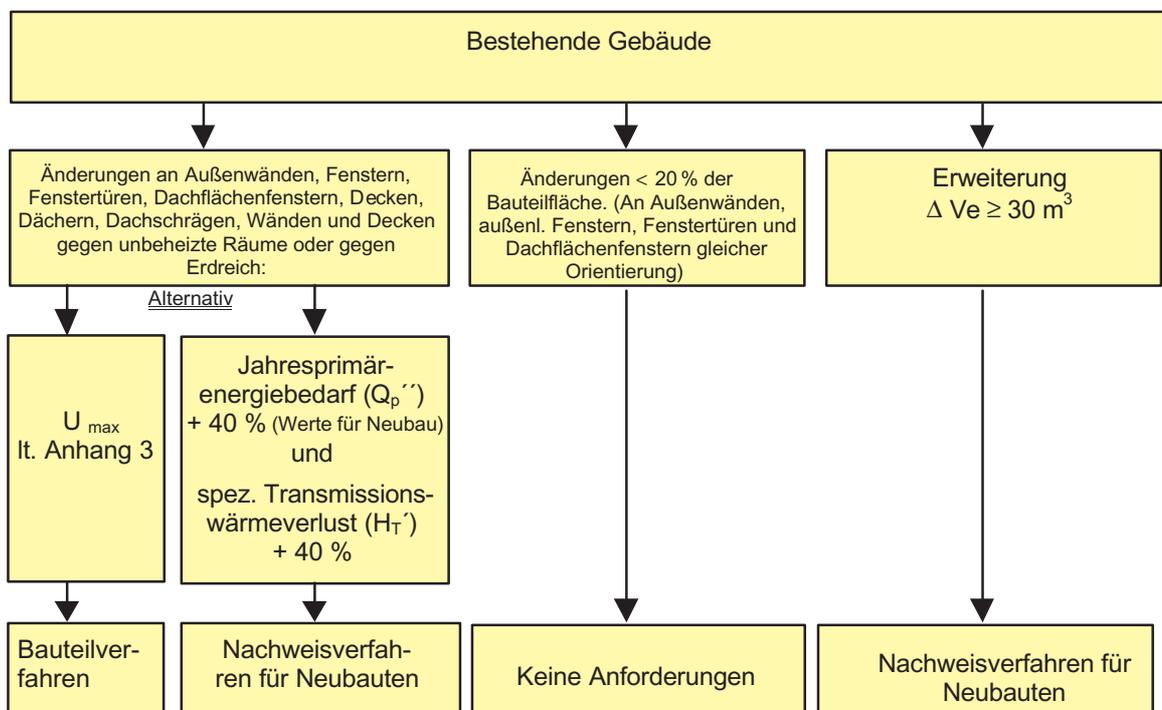


Abb. 93 Schematische Übersicht über die anzuwendenden Rechenverfahren für den Gebäudebestand gem. EnEV

Hier wird die Einhaltung der Wärmedurchgangskoeffizienten gem. [Anhang 3, Tabelle 1](#) gefordert (Bauteilverfahren).

Alternativ gilt die Einhaltung der Wärmedurchgangskoeffizienten als erfüllt, wenn das geänderte Gebäude insgesamt den jeweiligen Höchstwert nach [Anhang 1, Tabelle 1](#) oder [Anhang 2, Tabelle 1](#) um nicht mehr als 40 % überschreitet. Dieser alternative Nachweis erlaubt in dem Fall, wo der U-Wert eines Bauteils nicht ausreicht, einen Ausgleich über das gesamte Gebäude.

- Eine Ausnahme bilden Änderungen mit geringen Umfang. Dies ist der Fall, wenn die Änderung eines Bauteils weniger als 20 % der gesamten Bauteilfläche ausmacht. An Außenwänden, außenliegenden Fenstern, Fenstertüren und Dachflächenfenstern beschränken sich die 20 % auf Bauteile der gleichen Orientierung im Sinne von [Anhang 1 Tabelle 2 Zeile 4 oder Spalte 3](#). Hier stellt die EnEV keine Anforderungen.
- Bei einer Erweiterung um mindestens 30 m³ sind die Nachweisverfahren für Neubauten anzuwenden.

Für denkmalgeschützte Gebäude sind in Absprache mit den zuständigen Behörden Ausnahmen von den Bestimmungen der EnEV vorgesehen.

Berechnungsbeispiel

Nachfolgend wird ein Beispielwohngebäude nach dem vereinfachten Berechnungsverfahren berechnet. Im Anschluss daran ist für das gleiche Gebäude das Monatsbilanzverfahren angewendet. Zur Vereinfachung wurde dabei auf eine Arbeitshilfe zurückgegriffen, die jedermann unentgeltlich im Internet zur Verfügung steht. Es handelt sich dabei um eine Excel-Tabelle, die von der Universität Kassel erarbeitet wurde. Es müssen nur einige Werte vom Benutzer eingegeben werden. Die Berechnungen laufen über eingesetzte Formeln im Hintergrund selbstständig. Die Arbeitshilfe kann allerdings kein Ersatz für die Einschaltung eines Fachingenieurs der Haustechnik sein.

Bei diesem Beispiel handelt es sich um ein Wohnhaus. Unterschiede zum Verwaltungsbau ergeben sich insofern, dass hier bei der Ermittlung des Jahresprimärenergiebedarfs ein durch die DIN vorgegebener Pauschalwert für die Bereitstellung von

Warmwasser aufgeschlagen wird. Laut Begründung zur EnEV ist in Verwaltungsbauten kein Wert für Warmwasser zu ermitteln und daher würde er in einer Bilanzierung für solche Gebäude nicht einbezogen werden.

Die in der Berechnung ebenfalls festgelegten **Anlagen-Aufwandszahlen** sind Werte, die aus einem zeichnerischen Verfahren in der DIN V 4701–10: 2001–02, Anhang 10 zu ermitteln sind. Sie sollen die Effektivität der verschiedenen Systeme in der Bilanzierung bewerten.

Alle anderen Beiwerte sind Korrekturfaktoren, die sich durch die DIN 4108 erklären. In den Berechnungsbeispielen sind sie an den entsprechenden Stellen eingesetzt, ohne auf jeden einzelnen Wert einzugehen. Dies würde den Umfang der Planungshilfe sprengen.

Sehr deutlich und schnell kann allerdings nachvollzogen werden, wie sich die Bilanzierung eines Gebäudes optimieren lässt, wenn man nur wenige Parameter verändert.

In der Gegenüberstellung beider Berechnungsverfahren wird ebenfalls deutlich, dass die unterschiedlichen Ergebnisse nicht weit differieren.

Die Rechenhilfen werden mit Erlaubnis der Universität Kassel und der Kalksandsteinindustrie veröffentlicht.

Die Internet-Adressen zum Herunterladen lauten:

<http://www.bpy.uni-kassel.de>

<http://www.kalksandstein.de>

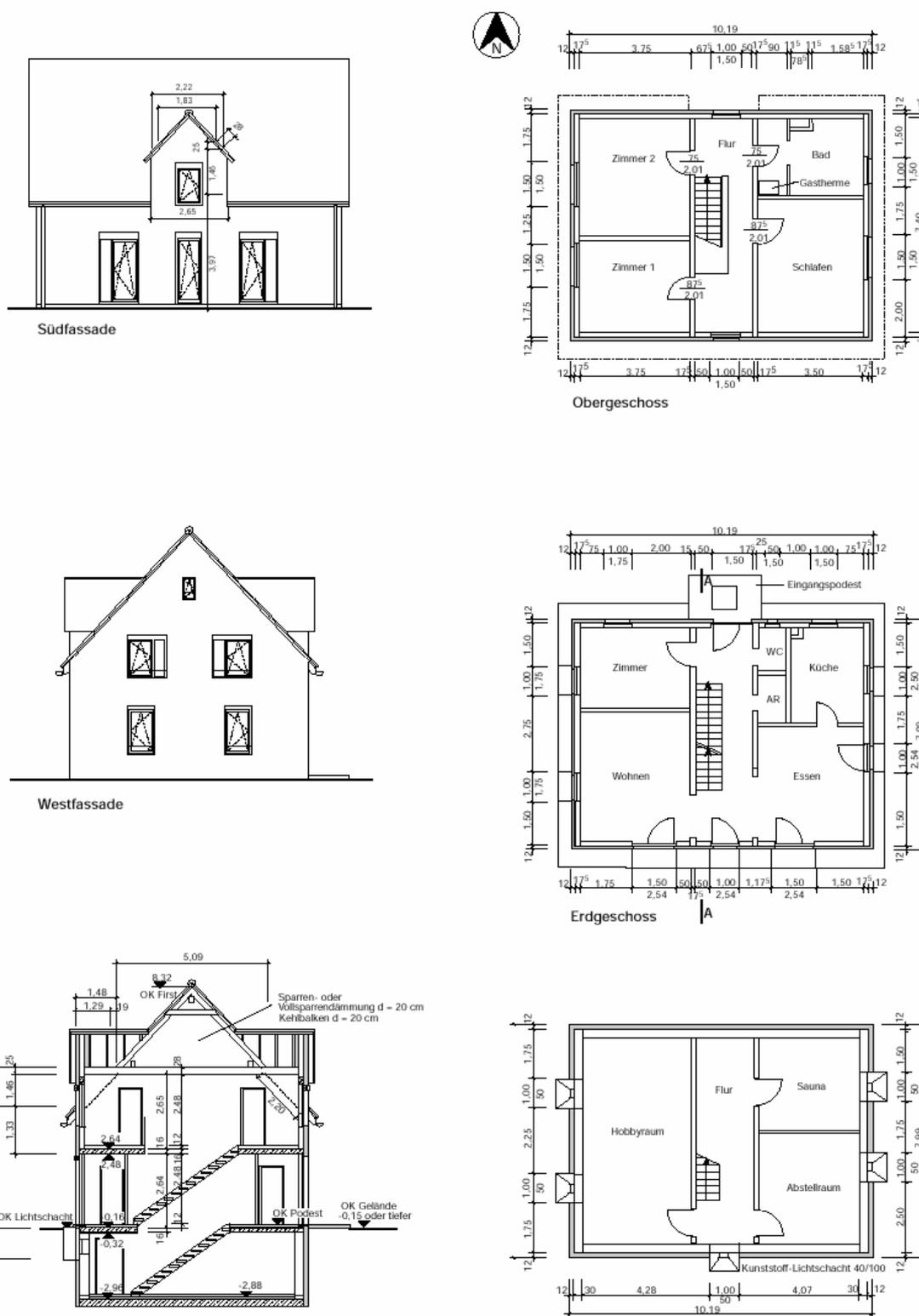


Abb. 94 Beispielgebäude für die Berechnung

Anlage 1: Berechnung nach dem vereinfachten Nachweisverfahren

Nachweis der Anforderungen nach Energieeinsparverordnung - Wohngebäude - VEREINFACHTES VERFAHREN, Periodenbilanz -							
Objekt:							
1	1. Gebäudedaten						
2	Volumen (Außenmaß) [m³]	$V_e = 671,8$					
	Nutzfläche [m²]	$A_N = 0,32 * V_e = 0,32 * 671,80 = 215,0$					
	A/V _e -Verhältnis [1/m]	$A/V_e = 456,41 / 671,80 = 0,68$					
3	2. Wärmeverluste						
4	2.1 Transmissionswärmeverlust [W/K]						
5	Bauteil	Kurzbezeichnung	Fläche A _i [m²]	Wärmedurchgangskoeffizient U _i [W/(m²K)]	U _i * A _i [W/K]	Temperatur-Korrektur-faktor F _{xi} [-]	U _i * A _i * F _{xi} [W/K]
6	Außenwand	AW 1	35,62	0,30	10,69	1	10,69
7		AW 2	37,43	0,30	11,23	1	11,23
8		AW 3	33,27	0,30	9,98	1	9,98
9		AW 4	37,88	0,30	11,36	1	11,36
10	Fenster	W 1	5,50	1,40	7,70	1	7,70
11		W 2	8,00	1,40	11,20	1	11,20
12		W 3	11,66	1,40	16,32	1	16,32
13		W 4	10,29	1,40	14,41	1	14,41
14	Haustür	T 1	3,81	1,00	3,81	1	3,81
15	Dach	D 1	16,59	0,20	3,32	1	3,32
16		D 2	16,59	0,20	3,32	1	3,32
17		D 3	1,66	0,20	0,33	1	0,33
18	Oberste Geschoßdecke	D 4	54,88	0,20	10,98	0,8	8,78
19		D 5				0,8	
20	Wand gegen Abseitenraum	AbW 1				0,8	
21		AbW 2				0,8	
22	Wände und Decken zu unbeheizten Räumen	AB 1				0,5	
23		AB 2				0,5	
24	Kellerdecke zum unbeheizten Keller	G 1	81,42	0,48	39,08	0,6	23,45
25		G 2	101,81	0,29	29,52	0,6	17,71
26	Fußboden auf Erdreich Flächen des beheizten Kellers gegen Erdreich	G 3				0,6	
27		G 4				0,6	
28		G 5				0,6	
29	$\Sigma A_i = A =$		456,41	Spezifischer Transmissionswärmeverlust $\Sigma U_i * A_i * F_{xi} =$			153,61
30	Transmissionswärmeverlust ¹⁾	$H_T = \Sigma (U_i * A_i * F_{xi}) + \Delta U_{WB} * A$ $H_T = 153,61 + 0,05 * 456,41$					H _T = 176,43
31	2.2 Lüftungswärmeverlust [W/K]						
32	Lüftungswärmeverlust ohne Dichtheitsprüfung	$H_V = 0,19 * V_e = 0,19 * 671,80$					H _V = 127,64
33	Lüftungswärmeverlust mit Dichtheitsprüfung	$H_V = 0,163 * V_e = 0,163 * 671,80$					H _V =

34	3. Wärmegewinne				
35	3.1 Solare Wärmegewinne Q_s [kWh/a]				
36	Orientierung	Solare Einstrahlung I_j [kWh/(m ² a)]	Fenster- Teiffläche $A_{W,i}$ [m ²]	Gesamtener- giedurchlaß- grad g_i [-]	$I_j * 0,567$ $* A_{W,i} * g_i$ [kWh/a]
37	Südost bis Südwest	270	11,66	0,58	1.035,32
38					
39	Nordwest bis Nordost	100	5,50	0,58	180,87
40					
41	übrige Richtungen	155	15,79	0,58	804,87
42					
43	Dachflächenfenster mit Neigung < 30° ¹⁾	225			
44	Solare Wärmegewinne: $Q_s = \sum (I_j * 0,567 * A_{W,i} * g_i)$				$Q_s = 2.021,06$
45	3.2 Interne Wärmegewinne Q_i [kWh/a]				
46	Interne Wärmegewinne: $Q_i = 22 * A_N = 22 * 214,98$				$Q_i = 4.729,47$
47	4. Jahres-Heizwärmebedarf [kWh/a]				
48	Jahres-Heizwärmebedarf: ²⁾		$Q_h = 66 * (H_T + H_V) - 0,95 * (Q_s + Q_i)$ $Q_h = 66 * 304,08 - 0,95 * 6.750,53$		$Q_h = 13.655,96$
49	Flächenbezogener Jahres-Heizwärmebedarf: ³⁾ [kWh/(m ² a)]		$Q''_h = Q_h / A_N$ $Q''_h = 13.655,96 / 214,98$		$Q''_h = 63,52$
50	5. Spezifischer flächenbezogener Transmissionswärmeverlust [W/(m²K)]				
51	vorhandener spezifischer flächenbezogener Transmissionswärmeverlust: $H'_{T,vorh} = H_T / A = 176,43 / 456,41$				$H'_{T,vorh} = 0,39$
52	zulässiger spezifischer flächenbezogener Transmissionswärmeverlust: $H'_{T,max} = 1,05$ bei $A/V_e \leq 0,2$ $H'_{T,max} = 0,3 + 0,15 / (A/V_e)$ bei $0,2 < A/V_e < 1,05$ $H'_{T,max} = 0,44$ bei $A/V_e \geq 1,05$				$H'_{T,max} =$
53	$H'_{T,vorh} = 0,39 \quad W/(m^2K) \leq 0,52 \quad W/(m^2K) = H'_{T,max}$				
54	6. Ermittlung der Primärenergieaufwandszahl gemäß DIN 4701 - 10 Anhang A (Berechnungsblätter) oder Anhang C (Diagramme)				
55	Anlagenaufwandszahl (primärenergiebezogen): <i>Anlagentyp: Anlage 7 - Niedertemperaturkessel, Aufstellung/Verteilung innerhalb thermischer Hülle</i>				$e_p = 1,40$
56	7. Jahres-Primärenergiebedarf [kWh/(m²a)]				
57	vorhandener Jahres- Primärenergiebedarf:		$Q''_{P,vorh} = e_p * (Q''_h + 12,5)$ $Q''_{P,vorh} = 1,40 * (63,52 + 12,5)$		$Q''_{P,vorh} = 106,09$
58	zulässiger Jahres-Primärenergiebedarf:				
59	Wohngebäude (außer solche nach Zeile 60) $Q''_{P,max} = 66 + 2600 / (100 + A_N)$ bei $A/V_e < 0,2$ $Q''_{P,max} = 50,94 + 75,29 * A/V_e + 2600 / (100 + A_N)$ bei $0,2 < A/V_e < 1,05$ $Q''_{P,max} = 130 + 2600 / (100 + A_N)$ bei $A/V_e \geq 1,05$				$Q''_{P,max} = 110,35$
60	Wohngebäude mit überwiegender Warmwasserbereitung aus elektrischem Strom: $Q''_{P,max} = 88$ bei $A/V_e < 0,2$ $Q''_{P,max} = 72,97 + 75,29 * A/V_e$ bei $0,2 < A/V_e < 1,05$ $Q''_{P,max} = 152$ bei $A/V_e \geq 1,05$				$Q''_{P,max} =$
61	$Q''_{P,vorh} = 106,09 \quad kWh/(m^2a) \leq 110,35 \quad kWh/(m^2a) = Q''_{P,max}$				

Anlage 2: Berechnung nach dem Monatsbilanzverfahren

Nachweis der Anforderungen nach Energieeinsparverordnung							
Objekt: <i>Beispiel Wohnhaus</i>							
1	1. Gebäudedaten						
2	Volumen (Außenmaß) [m ³]	$V_e = 671,8$					
	Nutzfläche [m ²]	$A_N = 0,32 * V_e = 0,32 * 671,84 = 215,0$					
	AV _e -Verhältnis [1/m]	$A / V_e = 456,41 / 671,84 = 0,68$					
3	2. Wärmeverlust						
4	2.1 Transmissionswärmeverlust [W/K]						
5	Bauteil	Kurzbezeichnung	Fläche A _i [m ²]	Wärmedurchgangskoeffizient U _i [W/(m ² K)]	U _i * A _i [W/K]	Temperaturkorrekturfaktor F _{xi} [-]	U _i * A _i * F _{xi} [W/K]
6	Außenwand (Orientierung: siehe Zeilen 60-65)	AW 1	35,62	0,30	10,69	1	10,69
7		AW 2	37,43	0,30	11,23	1	11,23
8		AW 3	33,27	0,30	9,98	1	9,98
9		AW 4	37,88	0,30	11,36	1	11,36
10		AW 5				1	
11		AW 6				1	
12	Fenster (Orientierung: siehe Zeilen 49-54)	W 1	5,50	1,40	7,70	1	7,70
13		W 2	8,00	1,40	11,20	1	11,20
14		W 3	11,66	1,40	16,32	1	16,32
15		W 4	7,79	1,40	10,91	1	10,91
16		W 5	2,50	1,40	3,50	1	3,50
17		W 6				1	
18	Haustür	T 1	3,81	1,00	3,81	1	3,81
19	Dach (Orientierung/Neigung: siehe Zeilen 67-70)	D 1	16,59	0,20	3,32	1	3,32
20		D 2	16,59	0,20	3,32	1	3,32
21		D 3	0,83	0,20	0,17	1	0,17
22		D 4	0,83	0,20	0,17	1	0,17
23	Oberste Geschoßdecke	D 5	54,88	0,20	10,98	0,8	8,78
24		D 6				0,8	
25	Wand gegen Abseitenraum	AbW 1				0,8	
26		AbW 2				0,8	
27	Wände, Türen und Decken zu unbeheizten Räumen	AB 1				0,5	
28		AB 2				0,5	
29	Kellerdecke zum unbeheizten Keller, Fußboden auf Erdreich, Flächen des beheizten Kellers gegen Erdreich,	G 1	81,42	0,48	39,08	0,45	17,59
30		G 2	101,81	0,29	29,52	0,6	17,71
31		G 3				3	
32		G 4				1	
33		G 5				1	
34	S A_i = A =		456,41	Spezifischer Transmissionswärmeverlust		S U_i * A_i * F_{xi} =	
						147,75	

35		pauschal - ohne Berücksichtigung DIN 4108 Bbl. 2	$[W/(m^2K)] \Delta U_{WB} =$					
36	Wärmebrücken-korrekturwert	optimiert - mit Berücksichtigung DIN 4108 Bbl. 2	$[W/(m^2K)] \Delta U_{WB} =$	0,05				
37		detailliert - gem. DIN EN ISO 10211-2	$[W/(m^2K)] \Delta U_{WB} =$					
38	Transmissionswärmeverlust:		$H_T = \Sigma (U_i * A_i * F_{xi}) + \Delta U_{WB} * A$ $H_T = 147,75 + 0,05 * 456,41$	$H_T = 170,57$				
39	2.2 Lüftungswärmeverlust [W/K]							
40	beheiztes Luftvolumen	kleine Gebäude ¹⁾ $V = 0,76 * V_e = 0,76 * 671,80$	$[m^3] V =$	510,60				
41		große Gebäude ²⁾ $V = 0,80 * V_e = 0,80 * 671,80$	$[m^3] V =$					
42	Luftwechselrate	ohne Dichtheitsprüfung	$[h^{-1}] n =$	0,70				
43		mit Dichtheitsprüfung, Fensterlüftung und Zu-/Abluftanlagen	$[h^{-1}] n =$					
44		mit Dichtheitsprüfung, Abluftanlagen	$[h^{-1}] n =$					
45	Lüftungswärmeverlust:		$H_V = 0,34 Wh/(m^3K) * n * V$ $H_V = 0,34 * 0,70 * 510,60$	$H_V = 121,52$				
46	3. Wärmegewinne							
47	3.1 Solare Wärmegewinne transparenter Bauteile $Q_{s,t}$ [kWh/a]							
48	Orientierung/ Neigung	Kurzbezeichnung	Fläche A_i [m ²]	Gesamtenergie-durchlaßgrad g_i [-]	Ver-schattung ³⁾ $F_s \leq 0,9$ [-]	Minderung Rahmen ⁴⁾ F_F [-]	Strahlungs-intensität $I_{s,i,M}$ [W/m ²]	
49	Wärmebrücken	W 1	5,5	0,58	0,9	0,7	Monatswerte werden nicht dargestellt	
50	Gebäudegröße für V	W 2	8	0,58	0,9	0,7		
51	Lüftungsart für n	W 3	11,66	0,58	0,9	0,7		
52	Bauweise	W 4	7,79	0,58	0,9	0,7		
53	Warmwasser	W 5	2,5		0,9	0,7		
54	Nachtsabsenkung	W 6			0,9	0,7		
55	Solare Wärmegewinne		$\Phi_{s,t,M} = \Sigma (A_i * g_i * F_{s,i} * F_C * F_W * F_F * I_{s,i,M})$			[W] $\Phi_{s,t,M} =$	Monatswerte	
56	über transparente Bauteile:		$Q_{s,t,M} = \Sigma (0,024 * \Phi_{s,t,M} * t_M)$			$Q_{s,t,M} =$	Monatswerte	
57	3.2 Solare Wärmegewinne opaker Bauteile $Q_{s,o}$ [kWh/a]							
58	Orientierung/ Neigung	Kurzbezeichnung	Fläche A_i [m ²]	Strahlungs-absorptions-grad ⁵⁾ α_i [-]	übrige Parameter $U_i * R_e$ [-]		$F_{fi} * h * \Delta \vartheta_{er}$ [W/m ²]	Strahlungs-intensität $I_{s,i,M}$ [W/m ²]
60	Nord - 90°	AW 1	35,62	0,50	0,012		Monatswerte werden nicht dargestellt	
61	Ost/West - 90°	AW 2	37,43	0,50	0,012			
62	Süd - 90°	AW 3	33,27	0,50	0,012			
63	Ost/West - 90°	AW 4	37,88	0,50	0,012			
64		AW 5		0,50				
65		AW 6		0,50				
66	Nord - 90°	T 1	3,81	0,50	0,040			
67	Nord - 45°	D 1	16,59	0,80	0,008			
68	Süd - 90°	D 2	16,59	0,80	0,008			
69	Ost/West - 45°	D 3	0,83	0,80	0,008			
70	Ost/West - 45°	D 4	0,83	0,80	0,008			
71	Solare Wärmegewinne		$\Phi_{s,o,M} = \Sigma (U_i * A_i * R_e * (\alpha_i * I_{s,i,M} - F_{fi} * h * \Delta \vartheta_{er}))$			[W] $\Phi_{s,o,M} =$	Monatswerte	
72	über opake Bauteile:		$Q_{s,o,M} = \Sigma (0,024 * \Phi_{s,o,M} * t_M)$			$Q_{s,o,M} =$	Monatswerte	
73	3.3 Interne Wärmegewinne Q_i [kWh/a]							
74	Interne Wärmegewinne:		$Q_{i,M} = 0,024 * q_i * A_N * t_M = 0,024 * 5 W/m^2 * A_N * t_M$			$Q_{i,M} =$	Monatswerte	

75	4. Wirksame Wärmespeicherfähigkeit [Wh/K]			
76	wirksame	leichte Bauweise ⁶⁾	$C_{\text{wirK},\eta} = 15 * V_e = 15 *$	$C_{\text{wirK},\eta} =$
77	Wärmespeicherfähigkeit für Ausnutzungsgrad:	schwere Bauweise ⁶⁾	$C_{\text{wirK},\eta} = 50 * V_e = 50 *$ 671,84	$C_{\text{wirK},\eta} =$ 33,592
78		detaillierte Ermittlung ⁶⁾ - volumenbezogener Wert [Wh/(m³K)] $C_{\text{wirK},\eta} / V_e =$		
79	wirksame	leichte Bauweise ⁶⁾	$C_{\text{wirK},NA} = 12 * V_e = 12 *$	$C_{\text{wirK},NA} =$
80	Wärmespeicherfähigkeit bei Nachtabschaltung:	schwere Bauweise ⁶⁾	$C_{\text{wirK},NA} = 18 * V_e = 18 *$ 671,84	$C_{\text{wirK},NA} =$ 12,093
81		detaillierte Ermittlung ⁶⁾ - volumenbezogener Wert [Wh/(m³K)] $C_{\text{wirK},NA} / V_e =$		
82	5. Jahres-Heizwärmebedarf [kWh/a]			
83	Wärmeverlust ohne Nachtabschaltung: ⁷⁾	$Q_{i,M} = 0,024 * (H_T + H_V) * (19 \text{ °C} - \vartheta_{e,M}) * t_M$	$Q_{i,M} =$	Monatswerte
84	Wärmeverlust bei 7 h Nachtabschaltung:	gemäß DIN V 4108-6 Anhang C	$Q_{i,M} =$	
85	Wärmegewinn-/verlustverhältnis:	$\gamma_M = (Q_{s,t,M} + Q_{i,M}) / (Q_{i,M} - Q_{s,o,M})$	[-] $\gamma_M =$	
86	Ausnutzungsgrad Wärmegewinne:	$\eta_M = (1 - \gamma_M^a) / (1 - \gamma_M^{a+1})$	[-] $\eta_M =$	
87	Jahres-Heizwärmebedarf:	$Q_{h,M} = Q_{i,M} - Q_{s,o,M} - \eta_M * (Q_{s,t,M} + Q_{i,M})$	$Q_{h,M} =$	
88		$Q_h = \sum (Q_{h,M})_{\text{pos.}}$	$Q_h =$ 13.125,19	
89	Flächenbezogener Jahres-Heizwärmebedarf: ⁸⁾	$Q''_h = Q_h / A_N$ $Q''_h = 13.125,19 / 214,99$	[kWh/(m²a)] $Q''_h =$ 61,05	
90	6. Spezifischer flächenbezogener Transmissionswärmeverlust [W/(m²K)]			
91	vorhandener spezifischer flächenbezogener Transmissionswärmeverlust: $H'_{T,\text{vorh}} = H_T / A = 170,57 / 456,41$			$H'_{T,\text{vorh}} =$ 0,37
92	zulässiger spezifischer flächenbezogener Transmissionswärmeverlust: $H'_{T,\text{max}} = 1,05$ bei $A/V_e \leq 0,2$ $H'_{T,\text{max}} = 0,3 + 0,15 / (A/V_e)$ bei $0,2 < A/V_e < 1,05$ $H'_{T,\text{max}} = 0,44$ bei $A/V_e \geq 1,05$			$H'_{T,\text{max}} =$ 0
93	$H'_{T,\text{vorh}} = 0,37$ W/(m²K) $\leq 0,52$ W/(m²K) = $H'_{T,\text{max}}$			
94	7. Ermittlung der Primärenergieaufwandszahl gemäß			
95	Anlagen-Aufwandszahl (primärenergiebezogen): Anlagentyp: Anlage 7 - Niedertemperaturkessel, Aufstellung/Verteilung innerhalb thermischer Hülle			$e_p =$ 1,4
96	8. Jahres-Primärenergiebedarf bezogen auf die Gebäudenutzfläche [kWh/(m²a)]			
97	vorhandener Jahres-Primärenergiebedarf: $Q''_{p,\text{vorh}} = e_p * (Q''_h + 12,5)$ $Q''_{p,\text{vorh}} = 1,40 * (61,05 + 12,5)$			$Q''_{p,\text{vorh}} =$ 103,11
98	zulässiger Jahres-Primärenergiebedarf:			
99	Wohngebäude (außer solche nach Zeile 100) $Q''_{p,\text{max}} = 66 + 2600 / (100 + A_N)$ bei $A/V_e \leq 0,2$ $Q''_{p,\text{max}} = 50,94 + 75,29 * A/V_e + 2600 / (100 + A_N)$ bei $0,2 < A/V_e < 1,05$ $Q''_{p,\text{max}} = 130 + 2600 / (100 + A_N)$ bei $A/V_e \geq 1,05$			$Q''_{p,\text{max}} =$ 110,34
100	Wohngebäude mit überwiegender Warmwasserbereitung aus elektrischem Strom: $Q''_{p,\text{max}} = 88$ bei $A/V_e \leq 0,2$ $Q''_{p,\text{max}} = 72,94 + 75,29 * A/V_e$ bei $0,2 < A/V_e < 1,05$ $Q''_{p,\text{max}} = 152$ bei $A/V_e \geq 1,05$			$Q''_{p,\text{max}} =$
101	$Q''_{p,\text{vorh}} = 103,11$ kWh/(m²a) $\leq 110,34$ kWh/(m²a) = $Q''_{p,\text{max}}$			

Dokumentation weiterer Randbedingungen der Berechnung

Temperatur-Korrekturfaktoren für den unteren Gebäudeabschluß - F_{xi}

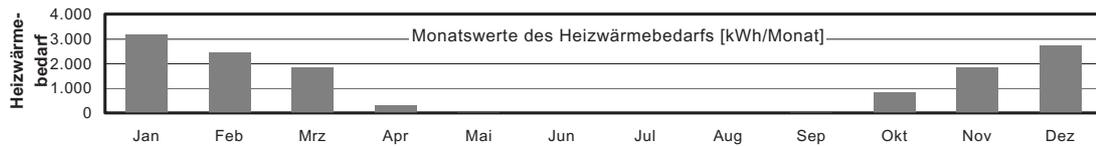
Parameter		
Bodengrundfläche A_G ⁹⁾	[m ²]	81,42
Umfang der Bodengrundfläche (Perimeter) P ⁹⁾	[m]	36,36
Kenngröße $B' = A_G / (0,5 * P)$	[m]	4,48
Wärmedurchlaßwiderstand Bodenplatte R_f bzw. der Kellerwand R_w (der ungünstigere Wert) ¹⁰⁾	[m ² K/W]	1,90
Flächen	Spezifizierung	F_{xi} [-]
G 1 : $A = 81,42 \text{ m}^2$; $U = 0,48 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$	Fußboden beheizter Keller	0,45
G 2 : $A = 101,81 \text{ m}^2$; $U = 0,29 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$	Wand beheizter Keller	0,60
G 3	nicht festgelegt	
G 4	nicht festgelegt	
G 5	nicht festgelegt	

⁹⁾ Angabe nicht notwendig für aufgeständerte Fußböden

¹⁰⁾ Angabe nur notwendig für Flächen des beheizten Kellers und Fußböden auf Erdreich ohne Randdämmung

Monatliche Zwischenergebnisse

Monat	Heizwärmebedarf (Zeile 87) $Q_{h,M} = Q_{l,M} - \eta_M * Q_{g,M}$ $Q_{h,M}$ [kWh/Monat]	Wärmeverlust (bei Nachtabschaltung) abzüglich solarer Wärmegewinne opaker Bauteile (Zeile 84 - Zeile 72) $Q_{l,M}$ [kWh/Monat]	solare Wärmegewinne transparenter Bauteile und interne Wärmegewinne (Zeile 56 + Zeile 74) $Q_{g,M}$ [kWh/Monat]	Ausnutzungsgrad der Wärmegewinne (Zeile 86) η_M [-]
Jan	3156	4231	1075	1
Feb	2429	3466	1037	1
Mrz	1826	3104	1279	1
Apr	286	1865	1703	0,93
Mai	18	1208	1754	0,68
Jun	0	584	1823	0,32
Jul	0	117	1922	0,06
Aug	0	88	1658	0,05
Sep	6	895	1490	0,06
Okt	802	2065	1272	0,99
Nov	1854	2905	1051	1
Dez	2748	3713	965	1



2.3 Baustofftabellen DIN V 4108 Teil 4: 2002-02

Die DIN-Normen sind mit Erlaubnis des DIN (Deutsches Institut für Normung e.V.) vervielfältigt worden. Ausdrücke dürfen nur für interne Zwecke innerhalb der Baubehörden angefertigt und verwendet werden.

Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden
Teil 4: Wärme- und feuchteschutztechnische Bemessungswerte

Vornorm

DIN V
4108-4

ICS 91.120.10; 91.120.30

Vornorm

Ersatz für
DIN V 4108-4:1998-10

Thermal insulation and energy economy in buildings —
Part 4: Hygrothermal design values

Isolation thermique et économie d'énergie en bâtiments immeuble —
Partie 4: Valeurs de calcul hygrothermiques

Eine Vornorm ist das Ergebnis einer Normungsarbeit, das wegen bestimmter Vorbehalte zum Inhalt oder wegen des gegenüber einer Norm abweichenden Aufstellungsverfahrens vom DIN noch nicht als Norm herausgegeben wird.

Zur vorliegenden Vornorm wurde kein Entwurf veröffentlicht.

Erfahrungen mit dieser Vornorm sind erbeten an den Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V., 10772 Berlin (Hausanschrift: Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin).

Fortsetzung Seite 2 bis 49

Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V.

Inhalt

	Seite
Vorwort.....	4
Einleitung.....	5
1 Anwendungsbereich.....	5
2 Normative Verweisungen.....	5
3 Begriffe.....	9
4 Wärme- und feuchteschutztechnische Kennwerte.....	9
4.1 Baustoffe, Bauarten und Bauteile.....	9
4.2 Ausgleichsfeuchtegehalte.....	30
4.3 Umrechnungsfaktoren für den Feuchtegehalt und Zuschlagswerte.....	31
4.4 Wärmedurchlasswiderstand von Luftschichten.....	32
4.5 Wärmeübergangswiderstände.....	32
4.6 Spezifische Wärmekapazität.....	32
4.7 Decken.....	33
5 Gläser, Fenster, Fenstertüren und Dachflächenfenster.....	34
5.1 Bemessungswerte für Fenster und Fenstertüren sowie Dachflächenfenster.....	34
5.2 Luftdichtheit in Abhängigkeit von den Konstruktionsmerkmalen von Fenstern und Fenstertüren.....	39
5.3 Bemessungswerte für Verglasungen.....	39
5.3.1 Allgemeine Anforderungen.....	39
5.3.2 Bemessungswerte des Wärmedurchgangskoeffizienten.....	39
5.3.3 Nennwerte des Wärmedurchgangskoeffizienten.....	40
5.3.4 Bemessungswerte für den Gesamtenergiedurchlassgrad.....	40
5.3.5 Bestimmung des Gesamtenergiedurchlassgrads g_o	41
6 Lichtkuppeln.....	42
Anhang A Bestimmung von Bemessungswerten für Mauerwerk durch Messungen und durch Berechnung.....	43
A.1 Alternativer Bemessungswert λ der Wärmeleitfähigkeit für Mauerwerk.....	43
A.2 Bestimmung des Bemessungswertes λ durch Messung von Wandprobekörpern.....	43
A.3 Bestimmung des Bemessungswertes λ durch Messung des Steinmaterials und anschließende Berechnung.....	44
A.4 Bestimmung des Bemessungswertes λ durch Berechnung.....	45
Anhang B Ergänzende Anforderungen an die Überwachung bei der Fertigung von Mehrscheiben-Isoliergläsern.....	47
B.1 Werkseigene Produktionskontrolle.....	47
B.2 Fremdüberwachung.....	47
B.3 Kennzeichnung.....	47
Anhang C Wärmetechnisch verbesserter Randverbund bei Isolierglas.....	48
Literaturhinweise.....	49
Tabelle 1 — Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit und Richtwerte der Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahlen.....	10
Tabelle 1a - Zeile 5 von Tabelle 1 nach Eintreten der Gültigkeit von DIN 13162 bis DIN 13171.....	21
Tabelle 1b - Zeile 5 von Tabelle 1 vor Eintreten der Gültigkeit von DIN EN 13162 bis DIN EN 13171.....	26
Tabelle 2 — Ausgleichsfeuchtegehalte von Baustoffen.....	31
Tabelle 3 - Wandbaustoffe.....	31

Tabelle 4 — Wärmedämmstoffe	32
	Seite
Tabelle 5 — Wärmedurchlasswiderstände von Decken	33
Tabelle 6 — Nennwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten von Fenstern und Fenstertüren U_w in Abhängigkeit vom Nennwert des Wärmedurchgangskoeffizienten für Verglasung U_g und vom Bemessungswert des Wärmedurchgangskoeffizienten des Rahmens U_f	36
Tabelle 7 — Zuordnung der U_f -Werte von Einzelprofilen	38
zu einem $U_{f,BW}$ - Bemessungswert für Rahmen	38
Tabelle 8 — Korrekturwerte ΔU_w zur Berechnung der $U_{w,BW}$ -Bemessungswerte	38
Tabelle 9 — Luftdichtheit in Abhängigkeit der Konstruktionsmerkmale von Fenstern und Fenstertüren	39
Tabelle 10 — Korrekturwerte ΔU_g zur Berechnung der Bemessungswerte $U_{g,BW}$	40
Tabelle 11 — Korrekturfaktoren c	41
Tabelle 12 — Bemessungswerte für Lichtkuppeln.....	42
Tabelle A.1 — Einstufung von Mauerwerk	45
Bild C.1 — Schematische Darstellung von Abstandhaltern.....	48

Vorwort

Diese Vornorm ist vom NABau-Arbeitsausschuss „Wärmeschutz“, Unterausschuss Wärmedurchgang“ erarbeitet worden.

Die Normenreihe DIN 4108 „Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden“ besteht aus:

- Bbl 1: Inhaltsverzeichnisse, Stichwortverzeichnis
- Bbl 2: Wärmebrücken – Planungs- und Ausführungsbeispiele
- Teil 1: Größen und Einheiten
- Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz
- Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz, Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung
- Teil 4: Wärme- und feuchteschutztechnische Bemessungswerte
- Teil 6: Berechnung des Jahresheizwärmebedarfs und Jahresheizenergiebedarfs von Gebäuden
- Teil 7: Luftdichtheit von Bauteilen und Anschlüssen, Planungs- und Ausführungsempfehlungen sowie –beispiele
- Teil 10: Anwendungsbezogene Anforderungen an Wärmedämmstoffe, werkmäßig hergestellte Wärmedämmstoffe

Änderungen

Gegenüber DIN V 4108-4:1998-10 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

Festlegung der Bemessungswerte für werkmäßig hergestellte Wärmedämmstoffe nach den aus den aus Europäischen Normen abgeleiteten Deutschen Normen;

Festlegung der Bemessungswerte für Fenster und Verglasungen nach den aus Europäischen Normen abgeleiteten Deutschen Normen;

Festlegung der Bemessungswerte für Mauerwerk nach den aus den aus Europäischen Normen abgeleiteten Deutschen Normen.

Frühere Ausgaben

DIN 4108: 1952xx-07; DIN 4108:1960-05; DIN 4108: 1969-08; DIN 4108-4: 1981-08, 1985-12, 1991-11, 1998-03, 1998-10

Einleitung

Die Herausgabe von DIN V 4108-4 erfolgt im Zusammenhang mit der Einführung europäischer technischer Spezifikationen für Bauprodukte und europäischer Berechnungsnormen. Sie ist ein Beitrag zur nationalen Umsetzung der Ergebnisse der europäischen Normung

1 Anwendungsbereich

Die Norm beinhaltet wärme- und feuchteschutztechnische Bemessungswerte für Baustoffe, darunter werkmäßig hergestellte Wärmedämmstoffe, Fenster und Verglasungen und Mauerwerk und sonstige gebräuchliche Stoffe für die Berechnung des Wärmeschutzes und der Energie-Einsparung in Gebäuden. Produkte werden mit dem Nennwert gekennzeichnet.

Sie gilt nicht für Wärmedämmstoffe der Haustechnik und für betriebstechnische Anlagen.

Die in der Vornorm angegebenen Bemessungswerte berücksichtigen unter anderem Einflüsse der Temperatur, des Ausgleichsfeuchtegehalts sowie Schwankungen der Stoffeigenschaften und Alterung der Produkte.

Weitere tabellierte Bemessungswerte sind in DIN EN 12524 angegeben. Darüber hinaus können Bemessungswerte auch nach bauaufsichtlichen Festlegungen (bauaufsichtliche Zulassungen) ermittelt werden.

Die in dieser Norm aufgeführten Werte der Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahlen sind Richtwerte und können erheblichen Schwankungen unterliegen. Es können die in dieser Norm angegebenen Richtwerte oder die nach DIN EN 12086, DIN EN 12524 oder E DIN EN ISO 12572 ermittelten Werte verwendet werden.

2 Normative Verweisungen

Diese Vornorm enthält durch datierte oder undatierte Verweisungen Festlegungen aus anderen Publikationen. Diese normativen Verweisungen sind an den jeweiligen Stellen im Text zitiert, und die Publikationen sind nachstehend aufgeführt. Bei datierten Verweisungen gehören spätere Änderungen oder Überarbeitungen nur zu dieser Vornorm, falls sie durch Änderung oder Überarbeitung eingearbeitet sind. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe der in Bezug genommenen Publikation (einschließlich Änderungen).

DIN 105-1, *Mauerziegel – Vollziegel und Hochlochziegel.*

DIN 105-2, *Mauerziegel – Leichthochlochziegel.*

DIN 105-3, *Mauerziegel; Hochfeste Ziegel und hochfeste Klinker.*

DIN 105-4, *Mauerziegel; Keramikklinker.*

DIN 105-5, *Mauerziegel; Leichtlanglochziegel und Leichtlangloch-Ziegelplatten.*

E DIN 105-6:2000-05, *Mauerziegel - Teil 6: Planziegel.*

DIN 106-1, *Kalksandsteine; Vollsteine, Lochsteine, Blocksteine, Hohlblocksteine.*

DIN 106-2, *Kalksandsteine - Teil 2: Vormauersteine und Verblender.*

DIN 398, *Hüttensteine; Vollsteine, Lochsteine, Hohlblocksteine.*

DIN 1045-1, *Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton.*

DIN 1045-2, *Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton - Teil 2: Beton; Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität.*

DIN 1053-1, *Mauerwerk - Teil 1: Berechnung und Ausführung.*

DIN 1101, *Holzwohle-Leichtbauplatten und Mehrschicht-Leichtbauplatten als Dämmstoffe für das Bauwesen - Anforderungen, Prüfung.*

DIN 4108-3, *Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz; Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung.*

DIN 4158, *Zwischenbauteile aus Beton, für Stahlbeton- und Spannbetondecken.*

DIN 4159, *Ziegel für Decken und Vergußtafeln, statisch mitwirkend.*

DIN 4160, *Ziegel für Decken, statisch nicht mitwirkend.*

DIN 4165, *Porenbetonsteine – Plansteine, Planelemente und Formsteine.*

DIN 4166, *Porenbeton-Bauplatten und Porenbeton-Planbauplatten.*

DIN 4223-1, *Vorgefertigte bewehrte Bauteile aus dampfgehärtetem Porenbeton – Teil 1: Herstellung, Eigenschaften, Übereinstimmungsnachweis*

DIN 4226-1, *Gesteinskörnungen für Beton und Mörtel – Teil 1: Normale und schwere Gesteinskörnungen.*

DIN 4226-2, *Gesteinskörnungen für Beton und Mörtel – Teil 2: Leichte Gesteinskörnungen (Leichtzuschläge).*

DIN 5036-3, *Strahlungsphysikalische und lichttechnische Eigenschaften von Materialien – Messverfahren für lichttechnische und spektrale strahlungsphysikalische Kennzahlen.*

DIN 16729, *Kunststoff-Dachbahnen und Kunststoff-Dichtungsbahnen aus Ethylencopolymerisat-Bitumen (ECB) – Anforderungen.*

DIN 16730, *Kunststoff-Dachbahnen aus weichmacherhaltigem Polyvinylchlorid (PVC-P) nicht bitumenverträglich – Anforderungen.*

DIN 16731, *Kunststoff-Dachbahnen aus Polyisobutylene (PIB), einseitig kaschiert – Anforderungen.*

DIN 18148, *Hohlwandplatten aus Leichtbeton.*

DIN 18151, *Hohlblöcke aus Leichtbeton.*

DIN 18152, *Vollsteine und Vollblöcke aus Leichtbeton.*

DIN 18153, *Mauersteine aus Beton (Normalbeton).*

DIN 18159-1, *Schaumkunststoffe als Ortschäume im Bauwesen – Polyurethan-Ortschaum für die Wärme- und Kälte-dämmung – Anwendung, Eigenschaften, Ausführung, Prüfung.*

DIN 18159-2, *Schaumkunststoffe als Ortschäume im Bauwesen; Harnstoff-Formaldehydharz-Ortschaum für die Wärmedämmung – Anwendung, Eigenschaften, Ausführung, Prüfung.*

DIN 18161-1, *Korkerzeugnisse als Dämmstoffe für das Bauwesen; Dämmstoffe für die Wärmedämmung.*

DIN 18162, *Wandbauplatten aus Leichtbeton, unbewehrt.*

DIN 18163, *Wandbauplatten aus Gips – Eigenschaften, Anforderungen, Prüfung.*

DIN V 18164-1, *Schaumkunststoffe als Dämmstoffe für das Bauwesen - Teil 1: Dämmstoffe für die Wärmedämmung.*

DIN 18164-2, *Schaumkunststoffe als Dämmstoffe für das Bauwesen – Dämmstoffe für die Trittschalldämmung – Polystyrol-Partikelschaumstoffe.*

DIN V 18165-1, *Faserdämmstoffe für das Bauwesen - Teil 1: Dämmstoffe für die Wärmedämmung.*

DIN 18165-2, *Faserdämmstoffe für das Bauwesen – Dämmstoffe für die Trittschalldämmung.*

DIN 18174, *Schaumglas als Dämmstoff für das Bauwesen – Dämmstoffe für die Wärmedämmung.*

DIN 18180, *Gipskartonplatten – Arten, Anforderungen, Prüfung.*

DIN 18550-3, *Putz; Wärmedämmputzsysteme aus Mörteln mit mineralischen Bindemitteln und expandiertem Polystyrol (EPS) als Zuschlag.*

DIN 52128, *Bitumendachbahnen mit Rohfilzeinlage – Begriff, Bezeichnung, Anforderungen.*

DIN 52129, *Nackte Bitumenbahnen – Begriff, Bezeichnung, Anforderungen.*

DIN 52143, *Glasvlies-Bitumendachbahnen – Begriffe, Bezeichnung, Anforderungen.*

DIN 52611-2¹, *Wärmeschutztechnische Prüfungen – Bestimmung des Wärmedurchlasswiderstandes von Bauteilen – Weiterbehandlung der Messwerte für die Anwendung im Bauwesen.*

DIN 68121-1, *Holzprofile für Fenster und Fenstertüren – Maße, Qualitätsanforderungen.*

DIN 68755-1, *Holzfaserdämmstoffe für das Bauwesen – Teil 1: Dämmstoffe für die Wärmedämmung.*

DIN 68755-2, *Holzfaserdämmstoffe für das Bauwesen – Teil 2: Dämmstoffe für die Trittschalldämmung*

DIN EN 206-1, *Beton – Teil 1: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität.*

DIN EN 410, *Glas im Bauwesen – Bestimmung der lichttechnischen und strahlungsphysikalischen Kenngrößen von Verglasungen; Deutsche Fassung EN 410:1998.*

DIN EN 673, *Glas im Bauwesen – Bestimmung des Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) – Berechnungsverfahren (enthält Änderung A1:2000); Deutsche Fassung EN 673:1997 + A1:2000.*

DIN EN 674, *Glas im Bauwesen – Bestimmung des Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) – Verfahren mit dem Plattengerät; Deutsche Fassung EN 674:1997.*

DIN EN 1934, *Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Messung des Wärmedurchlasswiderstandes; Heizkastenverfahren mit dem Wärmestrommesser – Mauerwerk; Deutsche Fassung EN 1934:1998.*

DIN EN 12086, *Wärmedämmstoffe für das Bauwesen – Bestimmung der Wasserdampfdurchlässigkeit; Deutsche Fassung EN 12086:1997.*

DIN EN 12088, *Wärmedämmstoffe für das Bauwesen – Bestimmung der Wasseraufnahme durch Diffusion; Deutsche Fassung EN 12088:1997.*

¹) DIN 52611-2 wird ab März 2003 durch DIN EN ISO 6946 und DIN EN 1934 ersetzt

DIN EN 12207, *Fenster und Türen – Luftdurchlässigkeit – Klassifizierung; Deutsche Fassung EN 12207:1999.*

E DIN EN 12412-2, *Fenster, Türen und Abschlüsse – Bestimmung des Wärmedurchgangskoeffizienten mittels des Heizkastenverfahrens – Teil 2: Rahmen; Deutsche Fassung prEN 12412-2:1997.*

DIN EN 12524, *Baustoffe und -produkte – Wärme- und feuchteschutztechnische Eigenschaften – Tabellierte Bemessungswerte; Deutsche Fassung EN 12524:2000.*

DIN EN 12664, *Wärmetechnisches Verhalten von Baustoffen und Bauprodukten – Bestimmung des Wärmedurchlasswiderstandes nach dem Verfahren mit dem Plattengerät und dem Wärmestrommessplatten-Gerät – Trockene und feuchte Produkte mit mittlerem und niedrigem Wärmedurchlasswiderstand; Deutsche Fassung EN 12664:2001.*

DIN EN 13162, *Wärmedämmstoffe für Gebäude – Werkmäßig hergestellte Produkte aus Mineralwolle (MW) – Spezifikation; Deutsche Fassung EN 13162:2001.*

DIN EN 13163, *Wärmedämmstoffe für Gebäude – Werkmäßig hergestellte Produkte aus expandiertem Polystyrol (EPS) – Spezifikation; Deutsche Fassung EN 13163:2001.*

DIN EN 13164, *Wärmedämmstoffe für Gebäude – Werkmäßig hergestellte Produkte aus extrudiertem Polystyrolschaum (XPS) – Spezifikation; Deutsche Fassung EN 13164:2001.*

DIN EN 13165, *Wärmedämmstoffe für Gebäude – Werkmäßig hergestellte Produkte aus Polyurethan-Hartschaum (PUR) – Spezifikation; Deutsche Fassung EN 13165:2001.*

DIN EN 13166, *Wärmedämmstoffe für Gebäude – Werkmäßig hergestellte Produkte aus Phenolharz-Hartschaum (PF) – Spezifikation; Deutsche Fassung EN 13166:2001.*

DIN EN 13167, *Wärmedämmstoffe für Gebäude – Werkmäßig hergestellte Produkte aus Schaumglas (CG) – Spezifikation; Deutsche Fassung EN 13167:2001.*

DIN EN 13168, *Wärmedämmstoffe für Gebäude – Werkmäßig hergestellte Produkte aus Holzwolle (WW) – Spezifikation; Deutsche Fassung EN 13168:2001.*

DIN EN 13169, *Wärmedämmstoffe für Gebäude – Werkmäßig hergestellte Produkte aus Blähperlit (EPB) – Spezifikation; Deutsche Fassung EN 13169:2001*

DIN EN 13170, *Wärmedämmstoffe für Gebäude – Werkmäßig hergestellte Produkte aus expandiertem Kork (ICB) – Spezifikation; Deutsche Fassung EN 13170:2001.*

DIN EN 13171, *Wärmedämmstoffe für Gebäude – Werkmäßig hergestellte Holzfaserdämmstoffe (WF) – Spezifikation; Deutsche Fassung EN 13171:2001.*

DIN EN 13172, *Wärmedämmstoffe – Konformitätsbewertung; Deutsche Fassung EN 13172:2001.*

E DIN EN 13947, *Wärmetechnisches Verhalten von Vorhangfassaden – Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten – Vereinfachtes Verfahren; Deutsche Fassung prEN 13947:2000.*

DIN EN ISO 6946, *Bauteile – Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient – Berechnungsverfahren (ISO 6946:1996); Deutsche Fassung EN ISO 6946:1996.*

DIN EN ISO 7345, *Wärmeschutz – Physikalische Größen und Definitionen (ISO 7345:1987); Deutsche Fassung EN ISO 7345:1995.*

E DIN EN ISO 9229, *Wärmedämmung – Begriffsbestimmungen (ISO/DIS 9229:1997); Dreisprachige Fassung EN ISO 9229:1997.*

DIN EN ISO 9346, *Wärmeschutz – Stofftransport - Physikalische Größen und Definitionen (ISO 9346:1987); Deutsche Fassung EN ISO 9346:1996.*

DIN EN ISO 10077-1, *Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen – Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten – Teil 1: Vereinfachtes Verfahren (ISO 10077-1:2000); Deutsche Fassung EN ISO 10077-1:2000.*

E DIN EN ISO 10077-2, *Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen – Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten – Teil 2: Numerisches Verfahren für Rahmen (ISO/DIS 10077-2:1998); Deutsche Fassung prEN ISO 10077-2:1998.*

DIN EN ISO 10211-1, *Wärmebrücken im Hochbau – Wärmeströme und Oberflächentemperaturen – Teil 1: Allgemeine Berechnungsverfahren (ISO 10211-1:1995); Deutsche Fassung EN ISO 10211 1:1995.*

DIN EN ISO 10456, *Baustoffe und –produkte – Verfahren zur Bestimmung der wärmeschutztechnischen Nenn- und Bemessungswerte (ISO 10456:1999); Deutsche Fassung EN ISO 10456:1999.*

DIN EN ISO 12567-1, *Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern und Türen – Bestimmung des Wärmedurchgangskoeffizienten mittels des Heizkastenverfahrens – Teil 1: Komplette Fenster und Türen (ISO 12567-1:2000); Deutsche Fassung EN ISO 12567-1:2000.*

E DIN EN ISO 12567-2, *Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern und Türen – Bestimmung des Wärmedurchgangskoeffizienten mittels des Heizkastenverfahrens – Teil 2: Dachflächenfenster und andere auskragende Produkte (ISO/DIS 12567-2:2000); Deutsche Fassung prEN ISO 12567-2:2000.*

DIN EN ISO 12571, *Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Baustoffen und Bauprodukten – Bestimmung der hygroskopischen Sorptionseigenschaften (ISO 12571:2000); Deutsche Fassung EN ISO 12571:2000.*

DIN EN ISO 12572, *Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Baustoffen und Bauprodukten – Bestimmung der Wasserdampfdurchlässigkeit (ISO 12572:2001); Deutsche Fassung EN ISO 12572:2001.*

DIN EN ISO 13370, *Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Wärmeübertragung über das Erdreich - Berechnungsverfahren (ISO 13370:1998); Deutsche Fassung EN ISO 13370:1998*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieser Vornorm gelten die in DIN 7345, E DIN EN ISO 9229 und DIN EN ISO 9346 aufgeführten Begriffe und Definitionen.

Tabelle 1 gibt Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit und Richtwerte der Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahlen für Produkte nach Deutschen und Europäischen Normen an.

4 Wärme- und feuchteschutztechnische Kennwerte

4.1 Baustoffe, Bauarten und Bauteile

Die in Tabelle 1 angegebenen Bemessungswerte wurden nach DIN EN ISO 10456 ermittelt. Als Randbedingung wurde ein Feuchtegehalt bei 23°C und 80% relative Luftfeuchte zugrunde gelegt. Werte für Ausgleichsfeuchtegehalte können Tabelle 2 und die Umrechnungsfaktoren für den Feuchtegehalt Tabelle 3 entnommen werden.

ANMERKUNG Die in Klammern gesetzten Zahlenwerte dienen nur zur Abschätzung. Sie besitzen keine wissenschaftlich gesicherte Zuordnung. Erklärung der Fußnoten - siehe Seite 20.

Tabelle 1 — Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit und Richtwerte der Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahlen

Zeile	Stoff	Rohdichte ^{a b} ρ kg/m ³	Bemessungswert der Wärmeleit- fähigkeit λ W/(m·K)	Richtwert der Wasserdampf- Diffusionswider- standszahl ^c μ
1	Putze, Mörtel und Estriche			
1.1	Putze			
1.1.1	Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	(1 800)	1,0	15/35
1.1.2	Putzmörtel aus Kalkgips, Gips, Anhydrit und Kalkanhydrit	(1 400)	0,70	10
1.1.3	Leichtputz	< 1 300	0,56	15/20
1.1.4	Leichtputz	≤ 1 000	0,38	
1.1.5	Leichtputz	≤ 700	0,25	
1.1.6	Gipsputz ohne Zuschlag	(1 200)	0,51	10
1.1.7	Wärmedämmputz nach DIN 18550-3 Wärmeleitfähigkeitsgruppe			5/20
	060		0,060	
	070		0,070	
	080	(≥ 200)	0,080	
	090		0,090	
	100		0,100	
1.1.8	Kunstharzputz	(1 100)	0,70	50/200
1.2	Mauermörtel			
1.2.1	Zementmörtel	(2 000)	1,6	15/35
1.2.2	Normalmörtel NM	(1 800)	1,2	
1.2.3	Dünnbettmauermörtel	(1 600)	1,0	
1.2.4	Leichtmauermörtel nach DIN 1053-1	≤ 1 000	0,36	
1.2.5	Leichtmauermörtel nach DIN 1053-1	≤ 700	0,21	
1.2.6	Leichtmauermörtel	250	0,10	5/20
		400	0,14	
		700	0,25	
		1 000	0,38	
		1 500	0,69	
1.3	Asphalt,	Siehe DIN EN 12524		
1.4	Estriche			
1.4.1	Zement-Estrich	(2 000)	1,4	15/35
1.4.2	Anhydrit-Estrich	(2 100)	1,2	
1.4.3	Magnesia-Estrich	1 400	0,47	
		2 300	0,70	

Tabelle 1 (fortgesetzt)

Zeile	Stoff	Rohdichte ^{a b} ρ kg/m ³	Bemessungswert der Wärmeleit- fähigkeit λ W/(m·K)	Richtwert der Wasserdampf- Diffusionswider- standszahl ^c μ
2	Beton-Bauteile			
2.1	Beton nach DIN EN 206	Siehe DIN EN 12524		
2.2	Leichtbeton und Stahlleichtbeton mit geschlossenem Gefüge nach DIN EN 206 und DIN 1045-1, hergestellt unter Verwendung von Zuschlägen mit porigem Gefüge nach DIN 4226-2 ohne Quarzsandzusatz ^d	800	0,39	70/150
		900	0,44	
		1 000	0,49	
		1 100	0,55	
		1 200	0,62	
		1 300	0,70	
		1 400	0,79	
		1 500	0,89	
		1 600	1,0	
		1 800	1,3	
	2 000	1,6		
2.3	Dampfgehärteter Porenbeton nach DIN 4223-1	300	0,10	5/10
		350	0,11	
		400	0,13	
		450	0,15	
		500	0,16	
		550	0,18	
		600	0,19	
		650	0,21	
		700	0,22	
		750	0,24	
		800	0,25	
		900	0,29	
	1 000	0,31		
2.4	Leichtbeton mit haufwerkporigem Gefüge			
2.4.1	- mit nichtporigen Zuschlägen nach DIN 4226-1, z.B. Kies	1 600	0,81	3/10
		1 800	1,1	5/10
		2 000	1,4	

Tabelle 1 (fortgesetzt)

Zeile	Stoff	Rohdichte ^{a b} ρ kg/m ³	Bemessungswert der Wärmeleit- fähigkeit λ W/(m·K)	Richtwert der Wasserdampf- Diffusionswider- standszahl ^c μ
2.4.2	- mit porigen Zuschlägen nach DIN 4226-2, ohne Quarzsandzusatz ^d	600 700 800 1 000 1 200 1 400 1 600 1 800 2 000	0,22 0,26 0,28 0,36 0,46 0,57 0,75 0,92 1,2	5/15
2.4.2.1	- ausschließlich unter Verwendung von Naturbims	500 600 700 800 900 1 000 1 100 1 200 1 300	0,16 0,18 0,21 0,24 0,28 0,32 0,37 0,41 0,47	5/15
2.4.2.2	- ausschließlich unter Verwendung von Blähton	400 500 600 700 800 900 1 000 1 100 1 200 1 300 1 400 1 500 1 600 1 700	0,13 0,16 0,19 0,23 0,27 0,30 0,35 0,39 0,44 0,50 0,55 0,60 0,68 0,76	5/15

Tabelle 1 (fortgesetzt)

Zeile	Stoff	Rohdichte ^{a b} ρ kg/m ³	Bemessungswert der Wärmeleit- fähigkeit λ W/(m·K)	Richtwert der Wasserdampf- Diffusionswider- standszahl ^c μ
3	Bauplatten			
3.1	Porenbeton-Bauplatten und Porenbeton-Planbauplatten, unbewehrt nach DIN 4166			
3.1.1	Porenbeton-Bauplatten (Ppl) mit normaler Fugendicke und Mauermörtel nach DIN 1053-1 verlegt	400 500 600 700 800	0,20 0,22 0,24 0,27 0,29	5/10
3.1.2	Porenbeton-Planbauplatten (Pppl), dünnfugig verlegt	300 350 400 450 500 550 600 650 700 750 800	0,10 0,11 0,13 0,15 0,16 0,18 0,19 0,21 0,22 0,24 0,25	5/10
3.2	Wandplatten aus Leichtbeton nach DIN 18162	800 900 1 000 1 200 1 400	0,29 0,32 0,37 0,47 0,58	5/10
3.3	Wandbauplatten aus Gips nach DIN 18163, auch mit Poren, Hohlräumen, Füllstoffen oder Zuschlägen	600 750 900 1 000 1 200	0,29 0,35 0,41 0,47 0,58	5/10
3.4	Gipskartonplatten nach DIN 18180	900	0,25	
4	Mauerwerk, einschließlich Mörtelfugen			
4.1	Mauerwerk aus Mauerziegeln nach DIN 105-1 bis E DIN 105-6		NM/DM ^f	
4.1.1	Vollklinker, Hochlochklinker, Keramikklinker	1 800 2 000 2 200 2 400	0,81 0,96 1,2 1,4	50/100

Tabelle 1 (fortgesetzt)

Zeile	Stoff	Rohdichte ^{a b}	Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit		Richtwert der Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl ^c	
		ρ kg/m ³	λ W/(m·K)			μ
4.1.2	Vollziegel, Hochlochziegel, Füllziegel	1 200	0,50		5/10	
		1 400	0,58			
		1 600	0,68			
		1 800	0,81			
		2 000	0,96			
		2 200	1,2			
		2 400	1,4			
4.1.3	Hochlochziegel mit Lochung A und B nach DIN 105-2 und E DIN 105-6		LM21/LM36 ^f	NM/DM ^f	5/10	
			550	0,27		0,32
			600	0,28		0,33
			650	0,30		0,35
			700	0,31		0,36
			750	0,33		0,38
			800	0,34		0,39
			850	0,36		0,41
			900	0,37		0,42
			950	0,38		0,44
1 000	0,40	0,45				
4.1.4	Hochlochziegel HLzW und Wärmedämmziegel WDz nach DIN 105-2, $h \geq 238$ mm		LM21/LM36 ^f	NM ^f	5/10	
			550	0,19		0,22
			600	0,20		0,23
			650	0,20		0,23
			700	0,21		0,24
			750	0,22		0,25
			800	0,23		0,26
			850	0,23		0,26
			900	0,24		0,27
			950	0,25		0,28
1 000	0,26	0,29				

Tabelle 1 (fortgesetzt)

Zeile	Stoff	Rohdichte ^{a b} ρ kg/m ³	Bemessungswert der Wärmeleit- fähigkeit λ W/(m·K)	Richtwert der Wasserdampf- Diffusionswider- standszahl ^c μ	
4.1.5	Plan-Wärmedämmziegel PWDz nach E DIN 105-6, $h \geq 248$ mm	550	0,20	5/10	
		600	0,21		
		650	0,21		
		700	0,22		
		750	0,23		
		800	0,24		
		850	0,24		
		900	0,25		
		950	0,26		
		1 000	0,27		
4.2	Mauerwerk aus Kalksandsteinen nach DIN 106-1 und	1 000 1 200 1 400	NM/DM ^f		5/10
			0,50		
			0,56 0,70		
	DIN 106-2	1 600 1 800 2 000 2 200	0,79	15/25	
			0,99		
			1,1		
			1,3		
4.3	Mauerwerk aus Hüttensteinen nach DIN 398	1 000	0,47	70/100	
		1 200	0,52		
		1 400	0,58		
		1 600	0,64		
		1 800	0,70		
		2 000	0,76		
4.4	Mauerwerk aus Porenbeton-Plansteinen (PP) nach DIN 4165	300 350 400 450 500 550 600 650 700 750 800	DM ^f		5/10
			0,10		
			0,11		
			0,13		
			0,15		
			0,16		
			0,18		
			0,19		
			0,21		
			0,22		
			0,24		
			0,25		

Tabelle 1 (fortgesetzt)

Zeile	Stoff		Rohdichte ^{a b}	Bemessungswert der Wärmeleit- fähigkeit			Richtwert der Wasserdampf- Diffusionswider- standszahl ^c	
			ρ kg/m ³	λ W/(m·K)			μ	
4.5	Mauerwerk aus Betonsteinen							
4.5.1	Hohlblöcke (Hbl) nach DIN 18151, Gruppe 1 ^e		450	LM21 ^f	LM36 ^f	NM ^f	5/10	
				0,20	0,21	0,24		
				0,22	0,23	0,26		
	Steinbreite, in cm	Anzahl der Kammerreihen		550	0,23	0,24		0,27
				600	0,24	0,25		0,29
	17,5	≥ 2		650	0,2	0,27		0,30
	24	≥ 3		700	0,28	0,29		0,32
	30	≥ 4		800	0,31	0,32		0,35
	36,5	≥ 5		900	0,34	0,36		0,39
	49	≥ 6		1000				0,45
				1200				0,53
		1400			0,65			
4.5.2	Hohlblöcke (Hbl) nach DIN 18151 und Hohlwandplatten nach DIN 18148, Gruppe 2		450	0,22	0,23	0,28	5/10	
				0,24	0,25	0,30		
				0,26	0,27	0,31		
	Steinbreite, in cm	Anzahl der Kammerreihen		600	0,27	0,28		0,32
				650	0,29	0,30		0,34
	11,5	≤ 1		700	0,30	0,32		0,36
	17,5	≤ 1		800	0,34	0,36		0,41
	24	≤ 2		900	0,37	0,40		0,46
	30	≤ 3		1000				0,52
	36,5	≤ 4		1200				0,60
	49	≤ 5		1400				0,72
4.5.3	Vollblöcke (Vbl, S_W) nach DIN 18152		450	0,14	0,16	0,18	5/10	
			500	0,15	0,17	0,20		
			550	0,16	0,18	0,21		
			600	0,17	0,19	0,22		
			650	0,18	0,20	0,23		
			700	0,19	0,21	0,25		
			800	0,21	0,23	0,27		
			900	0,25	0,26	0,30		
		1 000	0,28	0,29	0,32			

Tabelle 1 (fortgesetzt)

Zeile	Stoff	Rohdichte ^{a b}	Bemessungswert			Richtwert der Wasserdampf- Diffusionswider- standszahl ^c	
		ρ kg/m ³	der Wärmeleit- fähigkeit λ W/(m·K)				
4.5.4	Vollblöcke (Vbl) und Vbl-S nach DIN 18152 aus Leichtbeton mit anderen leichten Zuschlägen als Naturbims und Blähton	450	0,22	0,23	0,28	5/10	
		500	0,23	0,24	0,29		
		550	0,24	0,25	0,30		
		600	0,25	0,26	0,31		
		650	0,26	0,27	0,32		
		700	0,27	0,28	0,33		
		800	0,29	0,30	0,36		
		900	0,32	0,32	0,39		
		1 000	0,34	0,35	0,42		
		1 200			0,49		
		1 400			0,57		
			1 600			0,69	10/15
			1 800			0,79	
	2 000			0,89			
4.5.5	Vollsteine (V) nach DIN 18152	450	0,21	0,22	0,31	5/10	
		500	0,22	0,23	0,32		
		550	0,23	0,25	0,33		
		600	0,24	0,26	0,34		
		650	0,25	0,27	0,35		
		700	0,27	0,29	0,37		
		800	0,30	0,32	0,40		
		900	0,33	0,35	0,43		
		1 000	0,36	0,38	0,46		
		1 200			0,54		
		1 400			0,63		
			1 600			0,74	10/15
			1 800			0,87	
	2 000			0,99			
4.5.6	Mauersteine nach DIN 18153 aus Beton	800			0,60	5/15	
		900			0,65		
		1 000			0,70		
		1 200			0,80		
		1 400			0,90		
		1 600			1,1		

Tabelle 1 (fortgesetzt)

Zeile	Stoff	Rohdichte ^{a b}	Bemessungswert			Richtwert der
		ρ kg/m ³	der Wärmeleitfähigkeit			Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl ^c
			λ W/(m·K)			μ
		1 800			1,2	20/30
		2 000			1,4	
		2 200			1,7	
		2 400			2,1	
5	Wärmedämmstoffe - siehe Tabelle 1a und Tabelle 1b					
6	Holz- und Holzwerkstoffe	Siehe DIN EN 12524				
7	Beläge, Abdichtstoffe und Abdichtungsbahnen					
7.1	Fußbodenbeläge	Siehe DIN EN 12524				
7.2	Abdichtstoffe	Siehe DIN EN 12524				
7.3	Dachbahnen, Dachabdichtungsbahnen					
7.3.1	Bitumendachbahn nach DIN 52128	(1 200)	0,17			10 000/80 000
7.3.2	Nackte Bitumenbahnen nach DIN 52129	(1 200)	0,17			2 000/20 000
7.3.3	Glasvlies-Bitumendachbahnen nach DIN 52143	-	0,17			20 000/60 000
7.3.4	Kunststoff-Dachbahn nach DIN 16729 (ECB)	-	-			50 000/75 000 (2,0K) 70 000/90 000 (2,0)
7.3.5	Kunststoff-Dachbahn nach DIN 16730 (PVC-P)	-	-			10 000/30 000
7.3.6	Kunststoff-Dachbahn nach DIN 16731 (PIB)	-	-			40 000/ 1 750 000
7.4	Folien	Siehe DIN EN 12524				
7.4.1	PTFE-Folien Dicke $d \geq 0,05$ mm	-	-			10 000
7.4.2	PA-Folie Dicke $d \geq 0,05$ mm	-	-			50 000
7.4.3	PP-Folie Dicke $d \geq 0,05$ mm	-	-			1 000
8	Sonstige gebräuchliche Stoffe ^g					
8.1	Lose Schüttungen, abgedeckt ^h					
8.1.1	- aus porigen Stoffen:					3
	Blähperlit	(≤ 100)	0,060			
	Blähglimmer	(≤ 100)	0,070			
	Korkschat, expandiert	(≤ 200)	0,055			
	Hüttenbims	(≤ 600)	0,13			
	Blähton, Blähschiefer	(≤ 400)	0,16			
	Bimskies	($\leq 1 000$)	0,19			

Tabelle 1 (fortgesetzt)

Zeile	Stoff	Rohdichte ^{a b} ρ kg/m ³	Bemessungswert der Wärmeleit- fähigkeit λ W/(m·K)	Richtwert der Wasserdampf- Diffusionswider- standszahl ^c μ
	Schaumlava	≤ 1 200 ≤ 1 500	0,22 0,27	
8.1.2	- aus Polystyrolschaumstoff-Partikeln	(15)	0,050	3
8.1.3	- aus Sand, Kies, Splitt (trocken)	(1 800)	0,70	3
8.2	Fliesen	Siehe DIN EN 12524		
8.3	Glas			
8.4	Natursteine			
8.5	Lehmbaustoffe	500 600 700 800 900 1 000 1 200 1 400 1 600 1 800 2 000	0,14 0,17 0,21 0,25 0,30 0,35 0,47 0,59 0,73 0,91 1,1	5/10
8.6	Böden, naturfeucht	Siehe DIN EN 12524		
8.7	Keramik und Glasmosaik			
8.8	Metalle			
8.9	Gummi			

Tabelle 1 (fortgesetzt)

Zeile	Stoff	Rohdichte ^{a b} ρ kg/m ³	Bemessungswert der Wärmeleit- fähigkeit λ W/(m·K)	Richtwert der Wasserdampf- Diffusionswider- standszahl ^c μ
<p>^a Die in Klammern angegebenen Rohdichtewerte dienen nur zur Ermittlung der flächenbezogenen Masse, z. B. für den Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes.</p> <p>^b Die bei den Steinen genannten Rohdichten entsprechen den Rohdichteklassen der zitierten Stoffnormen.</p> <p>^c Es ist jeweils der für die Baukonstruktion ungünstigere Wert einzusetzen. Bezüglich der Anwendung der μ-Werte siehe DIN 4108-3.</p> <p>^d Bei Quarzsand erhöhen sich die Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit um 20%.</p> <p>^e Die Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit sind bei Hohlblöcken mit Quarzsandzusatz für 2 K Hbl um 20 % und für 3 K Hbl bis 6 K Hbl um 15 % zu erhöhen.</p> <p>^f Bezeichnung der Mörtelarten nach DIN 1053-1:1996-11:</p> <ul style="list-style-type: none"> - NM - Normalmörtel; - LM21- Leichtmörtel mit $\lambda = 0,21$ W/(m·K); - LM36 - Leichtmörtel mit $\lambda = 0,36$ W/(m·K); - DM - Dünnbettmörtel. <p>^g Diese Stoffe sind hinsichtlich ihrer wärmeschutztechnischen Eigenschaften nicht genormt. Die angegebenen Wärmeleitfähigkeitswerte stellen obere Grenzwerte dar.</p> <p>^h Die Dichte wird bei losen Schüttungen als Schüttdichte angegeben</p>				

Die Werte nach Tabelle 1a gelten für Produkte nach harmonisierten Europäischen Normen, die nach Bauregelliste eingeführt sind. Bei der Ermittlung des Bemessungswertes ist der Nennwert wegen der zu erwartenden Materialstreuung mit einem Sicherheitsbeiwert $\gamma = 1,2$ zu multiplizieren (Kategorie II). Dieser Sicherheitsbeiwert kann bei einer Fremdüberwachung der Produktion nach DIN EN 13172:2001-10, Anhang A gleich 1,0 gesetzt werden (Kategorie I). In die Kategorie II werden alle Produkte aufgenommen, die CE gekennzeichnet sind. In die Kategorie I werden Produkte aufgenommen, die zusätzlich zur CE-Kennzeichnung einer Fremdüberwachung einer von den Ländern zugelassenen Stelle unterliegen.

Tabelle 1a - Zeile 5 von Tabelle 1 nach Eintreten der Gültigkeit von DIN 13162 bis DIN 13171

Zeile	Stoff	Roh- dichte ρ kg/m ³	Wärmeleitfähigkeit W/(m·K)			Richtwert der Was- serdampfdiffusions- widerstandszahl μ
			Nennwert λ_D	Bemessungswert λ		
				Kategorie I	Kategorie II	
5.1	Mineralwolle nach DIN EN 13162		0,030	0,030	0,036	1
			0,031	0,031	0,037	
			0,032	0,032	0,038	
			0,033	0,033	0,040	
			0,034	0,034	0,041	
			0,035	0,035	0,042	
			.	.	.	
			.	.	.	
			0,050	0,050	0,060	
5.2	Expandierter Polystyrolschaum nach DIN EN 13163		0,030	0,030	0,036	20 bis 100
			0,031	0,031	0,037	
			0,032	0,032	0,038	
			0,033	0,033	0,040	
			0,034	0,034	0,041	
			0,035	0,035	0,042	
			.	.	.	
			.	.	.	
			0,050	0,050	0,060	
5.3	Extrudierter Polystyrolschaum nach DIN EN 13164		0,026	0,026	0,031	80 bis 250
			0,027	0,027	0,032	
			0,028	0,028	0,034	
			0,029	0,029	0,035	
			0,030	0,030	0,036	
			.	.	.	
			.	.	.	
			.	.	.	
			0,040	0,040	0,048	
5.4	Polyurethan-Hartschaum nach DIN EN 13165		0,020	0,020	0,024	
			0,021	0,021	0,025	
			0,022	0,022	0,026	

— Vornorm —

Tabelle 1a (fortgesetzt)

Zeile	Stoff	Roh- dichte ρ kg/m ³	Wärmeleitfähigkeit W/(m·K)			Richtwert der Was- serdampfdiffusions- widerstands-zahl μ
			Nennwert λ_D	Bemessungswert λ		
				Kategorie I	Kategorie II	
			0,023 0,024 0,025 . . 0,040	0,023 0,024 0,025 . . 0,040	0,028 0,029 0,030 . . 0,048	40 bis 200
5.5	Phenolharz-Hartschaum nach DIN EN 13166		0,020 0,021 0,022 0,023 0,024 0,025 . . . 0,045	0,020 0,021 0,022 0,023 0,024 0,025 . . . 0,045	0,024 0,025 0,026 0,028 0,029 0,030 . . . 0,054	10 bis 50
5.6	Schaumglas nach DIN EN 13167		0,038 0,039 0,040 0,055	0,038 0,039 0,040 0,055	0,046 0,047 0,048 0,066	m)

Tabelle 1a (fortgesetzt)

Zeile	Stoff	Rohdichte ρ kg/m ³	Wärmeleitfähigkeit W/(m·K)						Richtwert der Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl μ
			Nennwert λ_D		Bemessungswert λ				
					Kategorie I		Kategorie II		
5.7	Holzwolleleichtbauplatten nach DIN EN 13168								
5.7.1	Homogene Platten (WW)	360 bis 460	Zement	Kauster	Zement	Kauster	Zement	Kauster	2 bis 5
0,060			0,060	0,063	0,061	0,076	0,073		
0,061			0,060	0,064	0,062	0,077	0,074		
0,062			0,061	0,065	0,063	0,078	0,076		
0,063			0,062	0,066	0,064	0,079	0,077		
0,064			0,063	0,068	0,065	0,082	0,078		
0,065			0,064	0,069	0,066	0,083	0,079		
.				
.				
.				
			0,10	0,10	0,11	0,11	0,13	0,13	
5.7.2	Mehrschicht-Leichtbauplatten nach DIN EN 13168 (WW-C)								
	- mit Hartschaumschicht nach DIN EN 13163		0,030		0,030		0,036		20 bis 50
0,031			0,031		0,037				
0,032			0,032		0,038				
0,032			0,032		0,040				
0,033			0,033		0,041				
0,034			0,034		0,042				
.			.		.				
.			.		.				
.			.		.				
					0,050	0,050	0,050	0,060	

Tabelle 1a (fortgesetzt)

Zeile	Stoff	Rohdichte ρ kg/m ³	Wärmeleitfähigkeit W/(m·K)								Richtwert der Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl μ
			Nennwert λ_D		Bemessungswert λ						
					Kategorie I		Kategorie II				
	- mit Mineralfaserschicht nach DIN EN 13162		0,035		0,035		0,042		1		
		0,036		0,036		0,043					
		0,037		0,037		0,044					
		0,038		0,038		0,046					
		0,039		0,039		0,047					
		.		.		.					
		.		.		.					
		0,050		0,050		0,060					
	- mit Holzwoleschicht nach DIN EN 13168	460 bis 650	Zement	Kauster	Zement	Kauster	Zement	Kauster	2 bis 5		
			0,10	0,10	0,11	0,10	0,14	0,13			
			0,11	0,11	0,12	0,11	0,15	0,14			
			0,12	0,12	0,13	0,12	0,16	0,15			
			0,13	0,13	0,14	0,13	0,17	0,16			
			0,14	0,14	0,15	0,14	0,18	0,17			
5.8	Blähperlit nach DIN EN 13169		0,038		0,038		0,046		5		
		0,039		0,039		0,047					
		0,040		0,040		0,048					
		.		.		.					
		.		.		.					
		0,055		0,055		0,066					
5.9	Expandierter Kork nach DIN EN 13170		0,040		0,041		0,049		5 bis 10		
		0,041		0,042		0,050					
		0,042		0,043		0,052					
		0,043		0,044		0,053					
		0,044		0,045		0,054					
		0,045		0,046		0,055					
		.		.		.					
		.		.		.					
		0,055		0,056		0,067					

Tabelle 1a (fortgesetzt)

Zeile	Stoff	Rohdichte ρ kg/m ³	Wärmeleitfähigkeit W/(m·K)			Richtwert der Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl
			Nennwert λ_D	Bemessungswert λ		
				Kategorie I	Kategorie II	μ
5.10	Holzfaserdämmstoff nach DIN EN 13171		0,032	0,035	0,043	5
			0,033	0,036	0,044	
			0,034	0,037	0,045	
			0,035	0,038	0,046	
			0,036	0,039	0,047	
			0,037	0,040	0,048	
			0,038	0,041	0,049	
			0,039	0,043	0,052	
			0,040	0,044	0,053	
			.	.	.	
			.	.	.	
			0,065	0,071	0,085	

Die Werte der nachfolgenden Tabelle 1b gelten vor Eintreten der Gültigkeit von DIN EN 13162 bis DIN EN 13171.

Erklärungen zu den Fußnoten von Tabelle 1b – siehe am Ende dieser Tabelle.

Tabelle 1b - Zeile 5 von Tabelle 1 vor Eintreten der Gültigkeit von DIN EN 13162 bis DIN EN 13171

Zeile	Stoff	Rohdichte ^{a, b} ρ kg/m ³	Bemessungswert der Wärmeleit- fähigkeit λ W/(m·K)	Richtwert der Wasserdampf- Diffusionswider- standszahl ^c μ
5	Wärmedämmstoffe			
5.1	Holzwohle-Leichtbauplatten nach DIN 1101 ^d Plattendicke $d \geq 25$ mm Wärmeleitfähigkeitsgruppe 065 070 075 080 085 090 Plattendicke d $15 \text{ mm} \leq d \leq 25 \text{ mm}$	(360 bis 460)	0,065 0,070 0,075 0,080 0,085 0,090 0,15	2 bis 5
	Holzwolleschichten ⁹ Dicke d : $10 \text{ mm} \leq d < 25 \text{ mm}$ Wärmeleitfähigkeitsgruppe 065 070 075 080 085 090 Dicke $d \geq 25 \text{ mm}$	(460 bis 650) (360 bis 460)	0,15 0,065 0,070 0,075 0,080 0,085 0,090	2/5
5.3	Schaumkunststoffe, an der Baustelle hergestellt			
5.3.1	Polyurethan(PUR)-Ortschaum nach DIN 18159-1 (Treibmittel CO ₂) Wärmeleitfähigkeitsgruppe 035 040	(> 45)	0,035 0,040	30/100

Tabelle 1b (fortgesetzt)

Zeile	Stoff	Rohdichte ^{a, b} ρ kg/m ³	Bemessungswert der Wärmeleit- fähigkeit λ W/(m·K)	Richtwert der Wasserdampf- Diffusionswider- standszahl ^c μ
5.3.2	Harnstoff-Formaldehyd (UF)-Ortschaum nach DIN 18159-2 Wärmeleitfähigkeitsgruppe 035 040	(≥ 10)	0,035 0,040	1/3
5.4	Korkdämmstoffe Korkplatten nach DIN 18161-1 Wärmeleitfähigkeitsgruppe 045 050 055	(80 bis 500)	0,045 0,050 0,055	5/10
5.5	Schaumkunststoffe nach DIN V 18164-1 ^h			
5.5.1	Polystyrol(PS)-Hartschaum			
5.5.1.1	Polystyrol(PS)-Partikelschaum Wärmeleitfähigkeitsgruppe 035 040	≥ 15 ≥ 20 ≥ 30	0,035 0,040	20/50 30/70 40/100
5.5.1.1.1	Polystyrol-Extruderschaum Wärmeleitfähigkeitsgruppe 030 035 040	(≥ 25)	0,030 0,035 0,040	80/250
5.5.1.1.2	Polystyrol-Extruderschaum außerhalb der Bauwerksabdichtung ^j) bzw. Dachhaut ^l) Wärmeleitfähigkeitsgruppe 030 035 040	(≥ 30)	0,030 0,035 0,040	80/250

Tabelle 1b (fortgesetzt)

Zeile	Stoff	Rohdichte ^{a, b} ρ kg/m ³	Bemessungswert der Wärmeleit- fähigkeit λ W/(m·K)	Richtwert der Wasserdampf- Diffusionswider- standszahl ^c μ
5.5.2	Polyurethan(PUR)-Hartschaum Wärmeleitfähigkeitsgruppe 020 ^k) 025 030 035 040	(≥ 30)	0,020 0,025 0,030 0,035 0,040	30/100
5.5.3	Phenolharz(PF)-Hartschaum Wärmeleitfähigkeitsgruppe 030 035 040 045	(≥ 30)	0,030 0,035 0,040 0,045	10/50
5.6	Mineralische und pflanzliche Faserdämmstoffe nach DIN V 18165-1 ^l Wärmeleitfähigkeitsgruppe 035 040 045 050	(8 bis 500)	0,035 0,040 0,045 0,050	1
5.7	Schaumglas			
5.7.1	Schaumglas nach DIN 18174 Wärmeleitfähigkeitsgruppe 045 050 055 060	(100 bis 150)	0,045 0,050 0,055 0,060	^{m)}

Tabelle 1b (fortgesetzt)

Zeile	Stoff	Rohdichte ^{a, b} ρ kg/m ³	Bemessungswert der Wärmeleit- fähigkeit λ W/(m·K)	Richtwert der Wasserdampf- Diffusionswider- standszahl ^c μ
5.7.2	Schaumglas nach DIN 18174 außerhalb der Bauwerksabdichtungen Wärmeleitfähigkeitsgruppe 045 050 055	(110 bis 150)	0,045 0,050 0,055	m)
5.8	Holzfaserdämmplatten nach DIN 68755 Wärmeleitfähigkeitsgruppe 035 040 045 050 055 060 065 070	(110 bis 450)	0,035 0,040 0,045 0,050 0,055 0,060 0,065 0,070	5

Tabelle 1b (fortgesetzt)

Zeile	Stoff	Rohdichte ^{a, b} ρ kg/m ³	Bemessungswert der Wärmeleit- fähigkeit λ W/(m·K)	Richtwert der Wasserdampf- Diffusionswider- standszahl ^c μ
<p>^a Die in Klammern angegebenen Rohdichtewerte dienen nur zur Ermittlung der flächenbezogenen Masse, z. B. für den Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes.</p> <p>^b Die bei den Steinen genannten Rohdichten entsprechen den Rohdichteklassen der zitierten Stoffnormen.</p> <p>^c Es ist jeweils der für die Baukonstruktion ungünstigere Wert einzusetzen. Bezüglich der Anwendung der μ-Werte siehe DIN 4108-3.</p> <p>^d Platten der Dicke $d < 15$ mm dürfen wärmeschutztechnisch nicht berücksichtigt werden (siehe DIN 1101)</p> <p>^e Bei Vereinbarung anderer Wärmeleitfähigkeitsgruppen oder anderer Schaumkunststoffe nach DIN V 18164-1 gelten die Werte der Zeile 5.5.</p> <p>^f Bei Vereinbarung anderer Wärmeleitfähigkeitsgruppen gelten die Werte der Zeile 5.6</p> <p>^g Holzwoleschichten (Einzelschichten) mit Dicken $d < 10$ mm dürfen zur Berechnung des Wärmedurchlasswiderstandes R nicht berücksichtigt werden (siehe DIN 1101). Bei Berechnungen der Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl werden sie jedoch mit ihrer wasserdampfdiffusionsäquivalenten Luftschichtdicke s_d in Ansatz gebracht (Richtwert der Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl $\mu = 2$ bis 5).</p> <p>^h Bei Trittschalldämmplatten aus Schaumkunststoffen werden bei sämtlichen Erzeugnissen der Wärmedurchlasswiderstand R und die Wärmeleitfähigkeitsgruppe auf der Verpackung angegeben (siehe DIN 18164-2).</p> <p>ⁱ Zusätzliche Anforderungen gegenüber DIN 18164-1, Anwendungstyp WD oder WS bei Anwendung als Perimeterdämmung:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Die Dämmplatten müssen beidseitig je eine Schaumhaut haben; - Druckfestigkeit bzw. Druckspannung bei 10 % Stauchung $\geq 0,30$ N/mm²; - Wasseraufnahme in der Prüfung nach DIN EN 12088 im Temperaturgefälle 50 °C zu 1 °C: unter 3,0 % Volumenanteil. <p>^j Zusätzliche Anforderungen gegenüber DIN V 18164-1, Anwendungstyp WD oder WS bei Anwendung als Umkehrdach:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Druckfestigkeit bzw. Druckspannung bei 10 % Stauchung $\geq 0,30$ N/m²; - Wasseraufnahme in der Prüfung nach DIN EN 12088 im Temperaturgefälle 50 °C zu 1 °C: unter 3,0 % Volumenanteil. - Die Dämmplatten sind mit Kantenprofilierung (z. B. Stufenfalz) auszubilden. <p>^k Mit diffusionsdichten Deckschichten.</p> <p>^l Bei Trittschalldämmung aus Faserdämmstoffen wird bei sämtlichen Erzeugnissen die Wärmeleitfähigkeitsgruppe auf der Verpackung angegeben (siehe DIN 18165-2).</p> <p>^m praktisch dampfdicht; DIN EN 12086 oder DIN EN ISO 12572: $s_d \geq 1$ 500 m</p>				

4.2 Ausgleichsfeuchtegehalte

Die Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit λ in Tabelle 1 sind aufgrund der Ausgleichs-feuchtegehalte im Klima 23° C/80 % relative Luftfeuchte nach Tabelle 2 und den Umrechnungsfaktoren für den Feuchtegehalt nach Tabelle 3 festgelegt worden.

Tabelle 2 — Ausgleichsfeuchtegehalte von Baustoffen

Zeile	Baustoffe	Feuchtegehalt u kg/kg
1	Beton mit geschlossenem Gefüge mit porigen Zuschlägen	0,13
2	2.1 Leichtbeton mit haufwerkporigem Gefüge mit dichten Zuschlägen nach DIN 4226-1	0,03
	2.2 Leichtbeton mit haufwerkporigem Gefüge mit porigen Zuschlägen nach DIN 4226-2	0,045
3	Gips, Anhydrit	0,02
4	Gussasphalt, Asphaltmastix	0
5	Holz, Sperrholz, Spanplatten, Holzfaserplatten, Schilfrohrplatten und -matten, organische Faserdämmstoffe	0,15
6	Pflanzliche Faserdämmstoffe aus Seegras, Holz-, Torf und Kokosfasern und sonstige Fasern	0,15

Weitere Ausgleichsfeuchtegehalte sind DIN EN 12524:2000-07, Tabelle 2 zu entnehmen.

4.3 Umrechnungsfaktoren für den Feuchtegehalt und Zuschlagswerte

Tabelle 3 - Wandbaustoffe

Zeile	Mauerwerk- und Wandkonstruktionen, Mörtel, Estriche	Umrechnungsfaktor F_m^a
1	Mauerziegel	1,13
2	Kalksandstein	1,27
3	Porenbeton	1,20
4	Beton mit Blähtonzuschlägen	1,08
5	Beton mit überwiegend Blähtonzuschlägen	1,13
6	Beton mit Bimszuschlägen	1,15
7	Beton mit Polystyrolzuschlägen	1,13
8	Beton mit mehr als 70 % geblähter Hochofenschlacke	1,17
9	Beton mit Zuschlägen, vorwiegend bei hohen Temperaturen aus tauben Gestein aufbereitet	1,17
10	Beton mit Leichtzuschlägen	1,22
11	Mörtel (Mauermörtel und Putzmörtel)	1,27
12	Beton mit nichtporigen Zuschlägen und Kunststein	1,17
13	Beton mit geschlossenem Gefüge und mit porigen Zuschlägen	1,45
14	Gips, Anhydrit	1,25
15	Steinholz	1,60
16	Asphalt, Bitumen	1,0

^a F_m bezogen auf den Trockenwert der Wärmeleitfähigkeit

Tabelle 4 — Wärmedämmstoffe

Zeile	Stoffe	Zuschlagswert Z	
1	Anorganische Stoffe in loser Schüttung		
1.1	- expandiertes Gesteinsglas (z.B. Blähperlit)	0,05	
1.2	- sonstige anorganische Stoffe	0,05	
2	Mineralische Faserdämmstoffe		
2.1	- aus Glas-, Gesteins-, Schlackenfasern	0,05	
2.2	- aus sonstigen Fasern, auch zementgebunden	0,20	
3	Pflanzliche Faserdämmstoffe		
3.1	- aus Holzfasern, Torffasern, sonstigen Fasern	0,20	
3.2	- aus Kokosfasern	0,10	
4	Synthetische Faserdämmstoffe	0,20	
5	Schaumglas	0,05	
6	Holz, Sperrholz, Holzspanplatten, Holzfaserplatten	0,15	
7	Holzwolle-Leichtbauplatten	Zementgebunden	0,10
		Magnesitgebunden	0,05
8	Korkerzeugnisse	0,10	
9	Holzfaserdämmplatten nach DIN 68755-1	0,10	
10	Schaumkunststoffe ^a		
10.1	- aus Polystyrol-Hartschaum	0,05	
10.2	- aus Harnstoff-Formaldehydharz (UF)-Ortschaum nach DIN 18159-2	0,10	
10.3	- sonstige Schaumstoffe ^b	0,10	
a	Die Zuschlagswerte für Schaumkunststoffe aus Polystyrol-Extruderschaum und Polyurethan-Hartschaum mit bestimmten Treibmitteln sind in der Bauregelliste A angegeben.		
b	Für Schaumkunststoffe, deren Zellen ganz oder teilweise mit einem Gas gefüllt sind, dessen Wärmeleitfähigkeit kleiner ist als die Wärmeleitfähigkeit von Luft und die in dieser Tabelle nicht aufgeführt sind, ist der Zuschlag nicht bekannt.		

4.4 Wärmedurchlasswiderstand von Luftschichten

Wärmedurchlasswiderstände von ruhenden Luftschichten, schwach belüfteten Luftschichten und stark belüfteten Luftschichten werden nach DIN EN ISO 6946 angegeben.

4.5 Wärmeübergangswiderstände

Wärmeübergangswiderstände sind DIN EN ISO 6946 und DIN EN ISO 13370 zu entnehmen

4.6 Spezifische Wärmekapazität

Spezifische Wärmekapazitäten von Baustoffen, Metallen, Wasser und Gasen werden nach DIN EN 12524 angegeben.

4.7 Decken

Die Wärmedurchlasswiderstände von Decken sind in Tabelle 5 angeben.

Tabelle 5 — Wärmedurchlasswiderstände von Decken

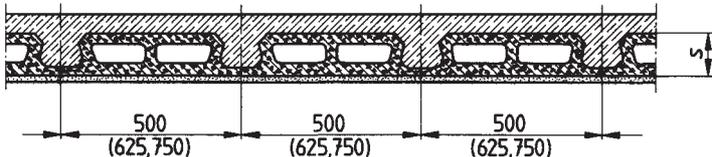
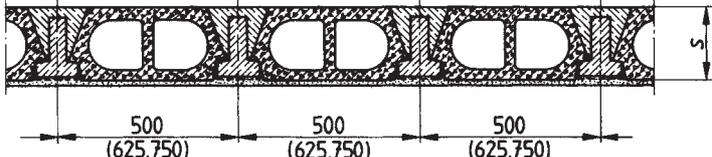
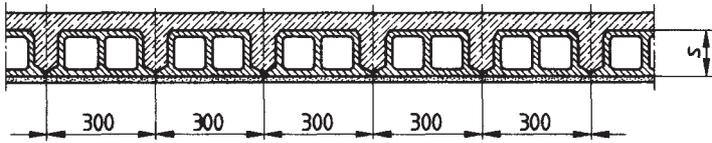
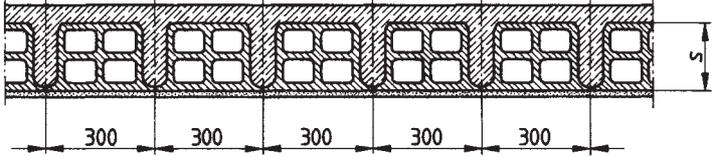
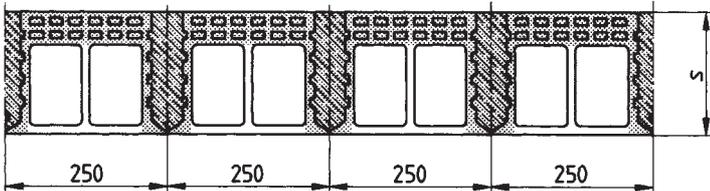
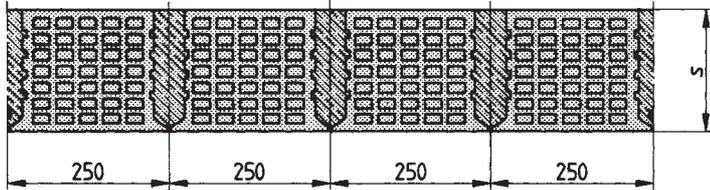
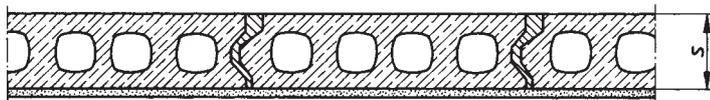
Spalte	1	2	3	4
Zeile	Deckenart und Darstellung	Dicke s mm	Wärmedurchlass- widerstand R m ² ·K/W	
			im Mittel	an der ungünstigsten Stelle
1 Stahlbetonrippen- und Stahlbetonbalkendecken nach DIN 1045-1, DIN 1045-2 mit Zwischenbauteilen nach DIN 4158				
1.1	Stahlbetonrippendecke (ohne Aufbeton, ohne Putz) 	120	0,20	0,06
		140	0,21	0,07
		160	0,22	0,08
		180	0,23	0,09
		200	0,24	0,10
		220	0,25	0,11
		250	0,26	0,12
1.2	Stahlbetonbalkendecke (ohne Aufbeton, ohne Putz) 	120	0,16	0,06
		140	0,18	0,07
		160	0,20	0,08
		180	0,22	0,09
		200	0,24	0,10
		240	0,28	0,12
2.1	Ziegel als Zwischenbauteile nach DIN 4160 ohne Querstege (ohne Aufbeton, ohne Putz) 	115	0,15	0,06
		140	0,16	0,07
		165	0,18	0,08
2.2	Ziegel als Zwischenbauteile nach DIN 4160 mit Querstegen (ohne Aufbeton, ohne Putz) 	190	0,24	0,09
		225	0,26	0,10
		240	0,28	0,11
		265	0,30	0,12
		290	0,32	0,13

Tabelle 5 (fortgesetzt)

Spalte	1	2	3	4
Zeile	Deckenart und Darstellung	Dicke s mm	Wärmedurchlass- widerstand R m ² ·K/W im Mittel an der ungün- stigsten Stelle	
3 Stahlsteindecken nach DIN 1045-1, DIN 1045-2 aus Deckenziegeln nach DIN 4159				
3.1	Ziegel für teilvermörtelbare Stoßfugen nach DIN 4159 	115 140 165 190 215 240 265 290	0,15 0,18 0,21 0,24 0,27 0,30 0,33 0,36	0,06 0,07 0,08 0,09 0,10 0,11 0,12 0,13
3.2	Ziegel für vollvermörtelbare Stoßfugen nach DIN 4159 	115 140 165 190 215 240 265 290	0,13 0,16 0,19 0,22 0,25 0,28 0,31 0,34	0,06 0,07 0,08 0,09 0,10 0,11 0,12 0,13
4 Stahlbetonhohldielen nach DIN 1045-1, DIN 1045-2				
	(ohne Aufbeton, ohne Putz) 	65 80 100	0,13 0,14 0,15	0,03 0,04 0,05

5 Gläser, Fenster, Fenstertüren und Dachflächenfenster

5.1 Bemessungswerte für Fenster und Fenstertüren sowie Dachflächenfenster

Der Bemessungswert des Wärmedurchgangskoeffizienten für Fenster und Fenstertüren sowie Dachflächenfenster ist zu bestimmen durch Hinzufügen eines Korrekturwertes ΔU_w zu dem Nennwert U_w nach Tabelle 8. Der Bemessungswert $U_{w,BW}$ des Wärmedurchgangskoeffizienten ist nach Gleichung (1) zu ermitteln.

$$U_{w,BW} = U_w + \sum \Delta U_w \quad (1)$$

ANMERKUNG 1 den Berechnungsnormen und Nachweisen für den baulichen Wärmeschutz und die Energie-Einsparung im Hochbau wird der Index BW (für Bemessungswerte) nicht verwendet.

Der Nennwert des Wärmedurchgangskoeffizienten für Fenster und Fenstertüren U_w ist in der Regel mit der Standardgröße $1,23 \text{ m} \times 1,48 \text{ m}$ zu bestimmen durch:

- Ermittlung nach DIN EN ISO 10077-1: 2000-11, Tabelle F.1 oder der Tabelle 6 dieser Norm oder
- Berechnung nach DIN EN ISO 10077-1 und gegebenenfalls in Verbindung mit E DIN EN ISO 10077-2 oder
- Messung nach DIN EN ISO 12567-1.

Der Nennwert des Wärmedurchgangskoeffizienten für Dachflächenfenster U_w ist in der Regel mit der Standardgröße $(1,23 \text{ m} \times 1,48 \text{ m}) \pm 20\%$ zu bestimmen durch

- Messung nach E DIN EN ISO 12567-2.

Das in Prüfzeugnissen nach DIN EN ISO 12567-1 angegebene Messergebnis U_{st} oder das in Prüfzeugnissen nach E DIN EN ISO 12567-2 angegebene Messergebnis U_m entspricht dem zu verwendenden Nennwert U_w .

ANMERKUNG 2 Die Berechnung kann auch mit tatsächlich vorhandenen Fensterabmaßen durchgeführt werden.

Bei nicht-transparenten Ausfachungen sind die längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten Ψ E DIN EN 13947 zu entnehmen.

Tabelle 6 — Nennwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten von Fenstern und Fenstertüren U_w in Abhängigkeit vom Nennwert des Wärmedurchgangskoeffizienten für Verglasung U_g und vom Bemessungswert des Wärmedurchgangskoeffizienten des Rahmens U_f

$U_{f, BW}$ nach Tabelle 7 $W/(m^2 \cdot K)^b$		0,8	1,0	1,2	1,4	1,8	2,2	2,6	3,0	3,4	3,8	7,0
Art der Verglasung	U_g^a $W/(m^2 \cdot K)$	U_w $W/(m^2 \cdot K)$										
	Einfachglas	5,7	4,2	4,3	4,3	4,4	4,5	4,6	4,8	4,9	5,0	5,1
Zweischeiben- Isolierver- glasung	3,3	2,6	2,7	2,8	2,8	2,9	3,1	3,2	3,4	3,5	3,6	4,4
	3,2	2,6	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0	3,2	3,3	3,4	3,5	4,3
	3,1	2,5	2,6	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2	3,3	3,5	4,3
	3,0	2,4	2,5	2,6	2,6	2,7	2,9	3,0	3,1	3,3	3,4	4,2
	2,9	2,4	2,4	2,5	2,5	2,7	2,8	3,0	3,1	3,2	3,3	4,1
	2,8	2,3	2,4	2,4	2,5	2,6	2,7	2,9	3,0	3,1	3,3	4,1
	2,7	2,2	2,3	2,3	2,4	2,5	2,6	2,8	2,9	3,1	3,2	4,0
	2,6	2,2	2,3	2,3	2,4	2,5	2,6	2,8	2,9	3,0	3,1	4,0
	2,5	2,1	2,2	2,3	2,3	2,4	2,6	2,7	2,8	3,0	3,1	3,9
	2,4	2,1	2,1	2,2	2,2	2,4	2,5	2,7	2,8	2,9	3,0	3,8
	2,3	2,0	2,1	2,1	2,2	2,3	2,4	2,6	2,7	2,8	2,9	3,8
	2,2	1,9	2,0	2,0	2,1	2,2	2,3	2,5	2,6	2,8	2,9	3,7
	2,1	1,9	1,9	2,0	2,0	2,2	2,3	2,4	2,5	2,7	2,8	3,6
	2,0	1,8	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,4	2,5	2,6	2,7	3,6
	1,9	1,7	1,8	1,8	1,9	2,0	2,1	2,3	2,4	2,5	2,7	3,5
	1,8	1,6	1,7	1,8	1,8	1,9	2,1	2,2	2,4	2,5	2,6	3,4
	1,7	1,6	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,2	2,3	2,4	2,5	3,3
	1,6	1,5	1,6	1,6	1,7	1,8	1,9	2,1	2,2	2,3	2,5	3,3
	1,5	1,4	1,5	1,6	1,6	1,7	1,9	2,0	2,1	2,3	2,4	3,2
1,4	1,4	1,4	1,5	1,5	1,7	1,8	2,0	2,1	2,2	2,3	3,1	
1,3	1,3	1,4	1,4	1,5	1,6	1,7	1,9	2,0	2,1	2,2	3,1	
1,2	1,2	1,3	1,3	1,4	1,5	1,7	1,8	1,9	2,1	2,2	3,0	
1,1	1,2	1,2	1,3	1,3	1,5	1,6	1,7	1,9	2,0	2,1	2,9	
1,0	1,1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,7	1,8	1,9	2,0	2,9	
Dreischeiben- Isolierver- glasung	2,3	1,9	2,0	2,1	2,1	2,2	2,4	2,5	2,7	2,8	2,9	3,7
	2,2	1,9	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,5	2,6	2,7	2,8	3,6
	2,1	1,8	1,9	1,9	2,0	2,1	2,2	2,4	2,5	2,6	2,8	3,6
	2,0	1,7	1,8	1,9	1,9	2,0	2,2	2,3	2,5	2,6	2,7	3,5
	1,9	1,7	1,7	1,8	1,8	2,0	2,1	2,3	2,4	2,5	2,6	3,4

Tabelle 6 (fortgesetzt)

$U_{f, BW}$ nach Tabelle 7 $W/(m^2 \cdot K)^b$		0,8	1,0	1,2	1,4	1,8	2,2	2,6	3,0	3,4	3,8	7,0
Art der Verglasung	U_g^a $W/(m^2 \cdot K)$	U_w $W/(m^2 \cdot K)$										
	Dreischeiben- Isolierver- glasung	1,8	1,6	1,7	1,8	1,8	1,9	2,1	2,2	2,4	2,5	2,6
1,7		1,6	1,6	1,7	1,7	1,8	1,9	2,1	2,2	2,4	2,5	3,3
1,6		1,5	1,6	1,6	1,7	1,8	1,9	2,1	2,2	2,3	2,5	3,3
1,5		1,4	1,5	1,6	1,6	1,7	1,9	2,0	2,1	2,3	2,4	3,2
1,4		1,4	1,4	1,5	1,5	1,7	1,8	2,0	2,1	2,2	2,3	3,1
1,3		1,3	1,4	1,4	1,5	1,6	1,7	1,9	2,0	2,1	2,2	3,1
1,2		1,2	1,3	1,3	1,4	1,5	1,7	1,8	1,9	2,1	2,2	3,0
1,1		1,2	1,2	1,3	1,3	1,5	1,6	1,7	1,9	2,0	2,1	2,9
1,0		1,1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,7	1,8	1,9	2,0	2,9
0,9		1,0	1,1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,6	1,7	1,8	2,0	2,8
0,8		0,9	1,0	1,1	1,1	1,3	1,4	1,5	1,7	1,8	1,9	2,7
0,7		0,9	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,5	1,6	1,7	1,8	2,6
0,6		0,8	0,9	0,9	1,0	1,1	1,2	1,4	1,5	1,6	1,8	2,6
0,5	0,7	0,8	0,9	0,9	1,0	1,2	1,3	1,4	1,6	1,7	2,5	
<p>^a Nennwert des Wärmedurchgangskoeffizienten U_g nach 5.3.3</p> <p>^b Die Bestimmung des U_f-Wertes erfolgt aufgrund</p> <ul style="list-style-type: none"> - von Messungen nach E DIN EN 12412-2 oder - Berechnung nach E DIN EN ISO 10077-2 oder - Ermittlung nach DIN EN ISO 10077-1:2000-11, Anhang D. <p>Die so ermittelten U_f-Werte von Einzelprofilen werden einem $U_{f, BW}$- Bemessungswert nach Tabelle 7 zugeordnet.</p>												

ANMERKUNG Die Nennwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten U_w für Fenster und Fenstertüren nach Tabelle 7 sind für die Standardgröße 1.23 m × 1.48 m, abgeleitet aus Europäischen Normen.

Tabelle 7 — Zuordnung der U_f -Werte von Einzelprofilen zu einem $U_{f,BW}$ - Bemessungswert für Rahmen

U_f -Wert für Einzelprofile	$U_{f,BW}$ -Bemessungswert
W/(m ² ·K)	
< 0,90	0,80
≥ 0,90	1,0
≥ 1,1	1,2
≥ 1,3	1,4
≥ 1,6	1,8
≥ 2,0	2,2
≥ 2,4	2,6
≥ 2,8	3,0
≥ 3,2	3,4
≥ 3,6	3,8
≥ 4,0	7,0

Die U_f -Werte von verschiedenen Profilen bzw. Profilkombinationen eines Profilsystems werden durch den U_f -Wert des wärmeschutztechnisch ungünstigsten Profils beschrieben.

Tabelle 8 — Korrekturwerte ΔU_w zur Berechnung der $U_{w,BW}$ -Bemessungswerte

Bezeichnung des Korrekturwertes	Korrekturwert ΔU_w W/(m ² ·K)	Grundlage
Glasbeiwert	+ 0,1	Bei Verwendung einer Verglasung ohne Überwachung nach Anhang B
	± 0,0	Bei Verwendung einer Verglasung mit Überwachung nach Anhang B
Korrektur für wärmetechnisch verbesserten Randverbund des Glases ^a	- 0,1	Randverbund erfüllt die Anforderung nach Anhang C
	± 0,0	Randverbund erfüllt die Anforderung nach Anhang C nicht
Korrekturen für Sprossen ^{a,b}		Abweichungen in den Berechnungsannahmen und bei der Messung
- aufgesetzte Sprossen	± 0,0	
- Sprossen im Scheibenzwischenraum (einfaches Sprossenkreuz)	+ 0,1	
- Sprossen im Scheibenzwischenraum (mehrfache Sprossenkreuze)	+ 0,2	
- Glasteilende Sprossen	+ 0,3	
^a Korrektur entfällt, wenn bereits bei Berechnung oder Messung berücksichtigt ^b Eine detaillierte Untersuchung zum Einfluss von Sprossenkonstruktionen auf den Wärmedurchgangskoeffizienten von Fenstern ist in [2] angegeben.		

5.2 Luftdichtheit in Abhängigkeit von den Konstruktionsmerkmalen von Fenstern und Fenstertüren

Tabelle 9 — Luftdichtheit in Abhängigkeit der Konstruktionsmerkmale von Fenstern und Fenstertüren

Konstruktionsmerkmale	Klasse nach DIN EN 12207
Holzfenster (auch Doppelfenster) mit Profilen nach DIN 68121-1 ohne Dichtung	2
Alle Fensterkonstruktionen mit alterungsbeständiger, leicht auswechselbarer, weichfedernder Dichtung, in einer Ebene umlaufenden angeordnet	3

5.3 Bemessungswerte für Verglasungen

5.3.1 Allgemeine Anforderungen

Der Bemessungswert $U_{g,BW}$ nach diesem Abschnitt wird für alle die Fälle benötigt, bei denen die Eigenschaften der Verglasung für die Ermittlung eines Bemessungswertes $U_{w,BW}$ nicht benötigt werden.

ANMERKUNG 1 Der Bemessungswert $U_{g,BW}$ wird nur dann benötigt, wenn ausschließlich das Glas festzulegen ist, wie z. B. im Fall von Ersatz bzw. Erneuerung.

ANMERKUNG 2 In den Berechnungsnormen und Nachweisen für den baulichen Wärmeschutz und die Energie-Einsparung im Hochbau wird der Index BW (für Bemessungswerte) nicht verwendet.

Der Bemessungswert $U_{g,BW}$ des Wärmedurchgangskoeffizienten eines Isolierglases mit Luftfüllung oder mit Gasfüllung sowie mit einem bestimmten Scheibenzwischenraum und mit oder ohne strahlungswirksamer Beschichtung ist auf der Grundlage von Messungen oder Berechnungen festzulegen.

Bis zur Einführung der Europäischen (Produkt-)Normen für Verglasungen und unter Beachtung der Koexistenzphase, erfolgt die Ermittlung des Bemessungswertes des Wärmedurchgangskoeffizienten $U_{g,BW}$ nach Bauregelliste A Teil 1, Anlagen 11.1 und 11.2.

Soweit für die Bestimmung des Bemessungswertes $U_{g,BW}$ des Wärmedurchgangskoeffizienten, des Emissionsvermögens ε_n sowie des Gesamtenergiedurchlassgrades g Messungen vorzunehmen sind, müssen hierfür identische Probekörper verwendet werden.

5.3.2 Bemessungswerte des Wärmedurchgangskoeffizienten

Der Bemessungswert $U_{g,BW}$ des Wärmedurchgangskoeffizienten eines Isolierglases wird aus dem Nennwert U_g des Wärmedurchgangskoeffizienten nach 5.3.3 durch Hinzufügen eines Korrekturwertes ΔU_g nach Tabelle 10 dieser Norm bestimmt. Der Bemessungswert des Wärmedurchgangskoeffizienten ist nach Gleichung (2) zu ermitteln.

$$U_{g,BW} = U_g + \sum \Delta U_g. \quad (2)$$

Tabelle 10 — Korrekturwerte ΔU_g zur Berechnung der Bemessungswerte $U_{g,BW}$

Korrekturwert ΔU_g W/(m ² ·K)	Grundlage
+ 0,2	Bei Verwendung einer Verglasung ohne Überwachung nach Anhang B
± 0,0	Bei Verwendung einer Verglasung mit Überwachung nach Anhang B
+ 0,1	Sprossen im Scheibenzwischenraum (einfaches Sprossenkreuz)
+ 0,2	Sprossen im Scheibenzwischenraum (mehrfache Sprossenkreuze)

5.3.3 Nennwerte des Wärmedurchgangskoeffizienten

Der Nennwert des Wärmedurchgangskoeffizienten U_g kann nach den nachfolgend angegebenen Regeln berechnet oder gemessen werden.

- 1) Der Wärmedurchgangskoeffizient U_g ist nach DIN EN 673 zu berechnen. Dazu ist das Emissionsvermögen ε_n der Infrarot-Reflexionsschichten zu ermitteln und festzulegen. Der Wärmedurchgangskoeffizient des Isolierglases ist für den zugrundegelegten Scheibenzwischenraum und gegebenenfalls für den vom Hersteller angestrebten Gasfüllgrad (Sollwert des Gasvolumenanteils) zu berechnen.
- 2) Der Wärmedurchgangskoeffizient U_g von luftgefüllten Isoliergläsern ist durch Messung nach DIN EN 674 zu bestimmen.
- 3) An den Probekörpern von gasgefüllten Isoliergläsern sind zunächst die Gaszusammensetzung und der Gasfüllgrad im Scheibenzwischenraum mittels Gasanalyse zu bestimmen. An den gasgefüllten Probekörpern ist der Wärmedurchgangskoeffizient durch Messung nach DIN EN 674 zu bestimmen. Nach Spülung der Scheibenzwischenräume der Probekörper mit Luft ist an den luftgefüllten Probekörpern der Wärmedurchgangskoeffizient durch Messung nach DIN EN 674 zu bestimmen. Die Gerade zwischen den Messwerten im gasgefüllten und im luftgefüllten Zustand kennzeichnet den Einfluss der Gasfüllung auf den Wärmedurchgangskoeffizienten des Isolierglases. Der Bemessungswert $U_{g,BW}$ des Wärmedurchgangskoeffizienten des gasgefüllten Isolierglases ist für den vom Hersteller angestrebten Gasfüllgrad festzulegen durch:
 - lineare Interpolation des zum angestrebten Gasfüllgrad (Sollwert des Gasvolumenanteils) gehörigen Wertes zwischen den Messwerten im gasgefüllten und im luftgefüllten Zustand.
 - Rundung auf eine Dezimalstelle

5.3.4 Bemessungswerte für den Gesamtenergiedurchlassgrad

Der Bemessungswert g für den Gesamtenergiedurchlassgrad eines Isolierglases wird bestimmt aus dem Wert g_o für den Gesamtenergiedurchlassgrad nach 5.3.5 durch Multiplikation mit einem Korrekturfaktor c nach Tabelle 11 dieser Norm. Für den Bemessungswert des Gesamtenergiedurchlassgrades g gilt in jedem Fall Gleichung (3)

$$g = g_o \times c \quad (3)$$

Tabelle 11 — Korrekturfaktoren c

Außenscheibe Dicke d mm	Korrekturfaktor c bei Schichttyp	
	$\varepsilon_n \leq 0,1$	$\varepsilon_n > 0,1$
4 bis 6	1,00	1,00
7 bis 10	0,90	0,85
11 bis 14	0,85	0,80
>14	0,75	0,70
Messung ist mit dickerer Außenscheibe erfolgt	1,00	1,00

Für dickere Innenscheiben kann der festgelegte g -Wert weiter verwendet werden.

5.3.5 Bestimmung des Gesamtenergiedurchlassgrads g_o

Die Bestimmung des Wertes g_o für den Gesamtenergiedurchlassgrad erfolgt grundsätzlich nach DIN EN 410. Vorhandene Werte g_o für den Gesamtenergiedurchlassgrad eines Isolierglases, ermittelt nach DIN EN 410, sind um 0,02 zu erhöhen.

Bei der Messung ist im Einzelnen wie folgt vorzugehen:

- g_o -Werte von Wärmedämm-Isolierglas (Funktionsschicht in der Regel auf Position 3) werden üblicherweise an einem Scheibenaufbau von je 4 mm Glasdicke ermittelt (4-SZR*-4).
- g_o -Werte von Sonnenschutz-Isolierglas (Funktionsschicht in der Regel auf Position 2) werden üblicherweise an einem Scheibenaufbau von 6 mm außen und 4 mm innen ermittelt (6-SZR*-4).
- Die g -Werte werden in den Prüfzeugnissen mit einer Toleranz von $x = \pm 0,02$ angegeben; z. B. $(0,63 \pm 0,02)$. Diese Toleranz gilt auch als Anforderung für die Überwachungsprüfungen.
- Die Messungen erfolgen mit einem Spektralphotometer, dessen Genauigkeit der Absolutwerte von $\pm 1\%$ oder besser beträgt. Bei automatisch durchstimmbaren Spektrometern erfolgt die Auswertung nach DIN EN 410:1998-12, Tabelle 2, durch Mittelwertbildung über den entsprechenden spektralen Bereich.
- Der Reflexionsgrad wird für quasi-parallelen, annähernd senkrechten Strahlungseinfall bestimmt. Für die Messungen darf dabei die Achse des einfallenden Strahlenbündels um nicht mehr als 10° gegen die Flächennormale der Messprobe geneigt sein. Der Winkel zwischen der Achse und einem beliebigen Strahl des einfallenden Strahlenbündels darf 5° nicht überschreiten (Öffnungswinkel des Strahlenbündels kleiner 10°).
- Für Reflexionsmessungen ist ein gerichtet reflektierendes Normal (z.B. Alu-Spiegel) mit einem zertifizierten spektralen Reflexionsgrad im Wellenlängenbereich von 300 nm bis 2 500 nm zu verwenden. Der Reflexionsgrad des Normals muss mit einer Genauigkeit von $\pm 0,02$ bekannt sein.

- Proben mit einem Reflexionsgrad von $\rho > 0,2$ müssen grundsätzlich mit einer geeigneten Integrationskugel gemessen werden, um die Reflexe auf der Rückseite miterfassen zu können. Im Allgemeinen reicht bei Zweistrahlpektrometern eine übliche Integrationskugel mit einem Durchmesser von 150 mm aus. Bei Probendicken > 10 mm muss eine Integrationskugel, die den Anforderungen nach DIN 5036-3 entspricht, verwendet werden.
- Lichttransmissionsgrade werden bei senkrechtem Lichteinfall gemessen.
- Gläser, mit lichtstreuenden Eigenschaften (wie z. B. Ornamentgläser) müssen grundsätzlich nach DIN 5036-3 gemessen werden.

6 Lichtkuppeln

Für zweischalige und dreischalige Lichtkuppeln mit wärmegeämmten Aufsatzkränzen dürfen, ohne dass ein Nachweis über den Wärmedurchgang geführt werden braucht, die nachstehenden Bemessungswerte der Wärmedurchgangskoeffizienten nach Tabelle 12 angenommen werden:

Tabelle 12 — Bemessungswerte für Lichtkuppeln

Lichtkuppeln	Bemessungswert des Wärmedurchgangskoeffizienten
	U W/(m ² · K)
zweischalig	3,5
dreischalig	2,5

Anhang A

Bestimmung von Bemessungswerten für Mauerwerk durch Messungen und durch Berechnung

A.1 Alternativer Bemessungswert λ der Wärmeleitfähigkeit für Mauerwerk

Ein von vorliegender Vornorm abweichender Bemessungswert λ der Wärmeleitfähigkeit für Mauerwerk aus Steinen einer bestimmten Rohdichteklasse unter Verwendung eines bestimmten Mauermörtels nach DIN 1053-1 kann entweder

- durch Messung entsprechender Wandprobekörper nach A.2 oder
- durch Messung des Steinmaterials nach A. 3 mit anschließender Berechnung oder
- durch Berechnung nach A.4

ermittelt und festgelegt werden.

A.2 Bestimmung des Bemessungswertes λ durch Messung von Wandprobekörpern

A.2.1 Der Bemessungswert λ der Wärmeleitfähigkeit ist durch Messung der auf ein Ausgleichsklima von 23°C und 80 % relativer Luftfeuchte bezogenen äquivalenten Wärmeleitfähigkeit λ_U an mindestens drei Wandprobekörpern nach A.2.5 und Einstufung nach Tabelle A1 festzulegen. Diese Festlegung gilt so lange, wie sie durch mindestens jährliche Wiederholung der Messung an einem Wandprobekörper oder alternativ an einem Steinprobekörper überprüft wird [1].

Die jährliche Überprüfung darf allerdings nur in solchen Fällen ausschließlich an Steinprobekörpern durchgeführt werden, in denen bereits anlässlich der Festlegung des Bemessungswertes neben den Wandprobekörpern mindestens ein Steinprobekörper gemessen wurde.

A.2.2 Für die Messung der Wärmeleitfähigkeit sind im Herstellwerk Steine derjenigen Rohdichteklasse zu entnehmen und zu kennzeichnen, für die der Bemessungswert λ ermittelt und festgelegt werden soll. Die Steine sind so auszuwählen, dass unterschiedliche Steinformate wärmeschutztechnisch erfasst werden.

A.2.3 An den im Herstellerwerk entnommenen Steinen, aus denen Probekörper hergestellt werden, sind die Druckfestigkeit und die Rohdichte nach der für den Stein geltenden Stoffnorm zu bestimmen und daraus die Mittelwerte für den jeweiligen Probekörper zu bilden. Die jeweiligen Probekörper sind mit der vom Hersteller bestimmten zugehörigen Mörtelart nach DIN 1053-1 aus Werkrockentmörtel oder nach [1] herzustellen.

A.2.4 Die äquivalente Wärmeleitfähigkeit λ_U ist an den jeweiligen Wandprobekörpern nach DIN EN 1934 zu messen.

Ist kein Umrechnungsfaktor F_m bekannt, ist die Wärmeleitfähigkeit λ_U entweder für den Ausgleichsfeuchtegehalt nach vorliegender Norm oder für den Adsorptionsfeuchtegehalt nach DIN EN ISO 12571 (es gilt der Mittelwert - Angabe in zwei wertanzeigenden Ziffern) durch Messung bei mindestens zwei unterschiedlichen Feuchtegehalten sowie durch Messung im trockenen Zustand nach DIN EN 12664 zu bestimmen. Der Mindestwert für F_m beträgt 1,05.

Wird die Wärmeleitfähigkeit λ_U für den Adsorptionsfeuchtegehalt nach DIN EN ISO 12571 ermittelt, so ist der zu Grunde gelegte Adsorptionsfeuchtegehalt mindestens einmal jährlich zu prüfen.

Der Umrechnungsfaktor F_m darf für Mauerwerk aus Leichthochlochziegeln nach DIN 105-2, abweichend von Tabelle 3 dieser Norm mit dem Wert $F_m = 1,05$ in Ansatz gebracht werden, wenn

— die Sorptionsfeuchte $u_{m,80}$ nach DIN EN ISO 12571 den Massenanteil 0,5 % nicht überschreitet

und

— dieser höchste Adsorptionsfeuchtegehalt an Steinen der betreffenden Rohdichteklasse mindestens einmal jährlich überprüft wird.

A.2.5 Die an den einzelnen Wandprobekörpern ermittelten Werte der äquivalenten Wärmeleitfähigkeit λ_U sind nach DIN 52611-2 aus der ermittelten Abhängigkeit der Wärmeleitfähigkeit von der Rohdichte auf die obere Grenze der betreffenden Rohdichteklasse zu extrapolieren. Der größte so ermittelte Wert aller zugehörigen Wandprobekörper ist mathematisch zu runden. Auf der Grundlage des so auf drei wertanzeigende Ziffern angegebenen gerundeten Wertes ist der Bemessungswert λ der Wärmeleitfähigkeit für Mauerwerk der betreffenden Rohdichteklasse mit der zugehörigen Mörtelart nach DIN 1053-1:1996-11 und nach Tabelle A.1 für die Einstufung zu ermitteln (siehe A.4.4).

A.2.6 Der für die jährliche Wiederholungsmessung festzulegende und einzuhaltende $\lambda_{10,tr}$ -Wert wird unter Berücksichtigung des Umrechnungsfaktors F_m und des größten Einzelwertes nach Tabelle A.1 festgelegt.

A.3 Bestimmung des Bemessungswertes λ durch Messung des Steinmaterials und anschließende Berechnung

A.3.1 Der Bemessungswert λ der Wärmeleitfähigkeit des Mauerwerks ist durch

— Messung der äquivalenten Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{10,tr}$ des Steinmaterials

— Umrechnung der gemessenen Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{10,tr}$ auf die äquivalente Wärmeleitfähigkeit λ_z in feuchtem Zustand (Angabe mit drei wertanzeigenden Ziffern)

— Berechnung der äquivalenten Wärmeleitfähigkeit λ von Mauerwerk aus den betreffenden Steinen unter Verwendung einer bestimmten Mörtelart nach DIN 1053-1 und mathematische Rundung mit drei wertanzeigenden Ziffern festzulegen. Danach erfolgt die Einstufung nach Tabelle A.1. Die Festlegung des Bemessungswertes λ der Wärmeleitfähigkeit des Steinmaterials gilt so lange, wie sie durch mindestens jährliche Wiederholung der Messung an einem Probekörper überprüft wird.

A.3.2 Für die Messung der Wärmeleitfähigkeit des Steinmaterials sind mindestens drei repräsentative aus dem Stein herausgeschnittene Probekörper der betreffenden Rohdichteklasse herzustellen und zu kennzeichnen. Je Rohdichteklasse ist die Wärmeleitfähigkeit an drei Probekörpern zu messen. Die Druckfestigkeit und die Rohdichte der Mauersteine, aus denen die Proben hergestellt werden, sind zu bestimmen.

A.3.3 An den drei Probekörpern ist die äquivalente Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{10,tr}$ bei Probekörpern nach DIN EN 12664 zu messen, dabei sind die Mindesteinbaudicken zu beachten. Die Wärmeleitfähigkeit für den Adsorptionsfeuchtegehalt ist auf drei wertanzeigende Ziffern zu bestimmen. Dabei sind die Umrechnungsfaktoren F_m nach dieser Norm anzusetzen. Der Mindestwert für F_m beträgt 1,05

Ist für das jeweilige Steinmaterial kein Umrechnungsfaktor F_m bekannt oder soll ein anderer Umrechnungsfaktor F_m verwendet werden, so ist die Wärmeleitfähigkeit λ_U entweder für den Ausgleichsfeuchtegehalt nach vorliegender Norm oder für den Adsorptionsfeuchtegehalt nach DIN EN ISO 12571 zu bestimmen. Die Messungen erfolgen bei mindestens zwei unterschiedlichen Feuchtegehalten sowie durch Messung im trockenen Zustand. Die Wärmeleitfähigkeit λ_U wird durch lineare Interpolation und Zugrundelegung des Adsorptionsfeuchtegehaltes bestimmt. Der zugrunde gelegte Adsorptionsfeuchtegehalt ist mindestens einmal jährlich zu überprüfen.

A.3.4 Die an den einzelnen Probekörpern ermittelten Werte der äquivalenten Wärmeleitfähigkeit sind aus der ermittelten Abhängigkeit der Wärmeleitfähigkeit von der Rohdichte auf die obere Grenze der betreffenden Steinrohndichteklasse zu extrapolieren. Der größte so ermittelten Wert geht in die Berechnung nach A.4 ein. Er ist mit drei wertanzeigenden Ziffern anzugeben. Eine Einstufung in Tabelle A1 erfolgt in diesem Falle nicht.

A.3.5 Der für die jährliche Wiederholungsmessung festzulegende und einzuhaltende $\lambda_{10, tr}$ -Wert wird unter Berücksichtigung des Umrechnungsfaktors F_m und des größten Einzelwertes nach A.3.4 errechnet. Dieser Wert ist mit drei wertanzeigenden Ziffern anzugeben.

A.4 Bestimmung des Bemessungswertes λ durch Berechnung

A.4.1 Der Bemessungswert λ der Wärmeleitfähigkeit des Mauerwerks ist durch Berechnung der äquivalenten Wärmeleitfähigkeit λ von Mauerwerk aus den betreffenden Steinen unter Verwendung einer bestimmten Mörtelart nach DIN 1053-1 und Einstufung nach Tabelle A.1 festzulegen.

A.4.2 Die Berechnung ist dreidimensional nach dem Verfahren der finiten Elemente oder Differenzen durchzuführen. Das Berechnungsmodell ist nach DIN EN ISO 10211-1 zu validieren. Die Steine sind so auszuwählen, dass unterschiedliche Steinformate wärmeschutztechnisch erfasst werden.

A.4.3 Die Bemessungswerte λ der Wärmeleitfähigkeit der einzelnen Bestandteile des zu berechnenden Mauerwerks sind vorliegender Norm zu entnehmen. Der Bemessungswert λ der Wärmeleitfähigkeit des zugehörigen Steinmaterials darf dabei durch lineare Interpolation zwischen den in vorliegender Norm für einzelne Rohdichteklassen des Steinmaterials angegebenen Werten für die vom Hersteller angestrebte Steinrohddichte ermittelt werden.

Der Wärmedurchlasswiderstand von Luftschichten in Hohlkammern des betreffenden Steines ist nach DIN EN ISO 6946: 1996-11, Anhang B, zu berechnen.

Als Wärmeleitfähigkeit λ des zugehörigen Steinmaterials darf auch ein Wert angesetzt werden, der nach Abschnitt A.3 ermittelt wurde; gegebenenfalls ist er Gegenstand einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung. Eine lineare Interpolation des Bemessungswertes auf die vom Hersteller angestrebte Steinrohddichte ist allerdings nur dann zulässig, wenn die angestrebte Rohddichte des Steinmaterials zwischen zwei Rohdichteklassen mit jeweils nach Abschnitt A.3 oder in einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung festgesetzten Bemessungswerten liegt.

A.4.4 Der errechnete Wert der äquivalenten Wärmeleitfähigkeit λ ist mathematisch auf drei wertanzeigende Ziffern zu runden und danach in Tabelle A.1 einzustufen und gilt als Bemessungswert λ der Wärmeleitfähigkeit für Mauerwerk der betreffenden Rohdichteklasse mit zugehörigen Mörtelarten nach DIN 1053-1.

Tabelle A.1 — Einstufung von Mauerwerk

Wärmeleitfähigkeit	
λ	
W/(m·K)	
Größter Einzelwert	Bemessungswert
0,083	0,080
0,093	0,090
0,103	0,10
0,113	0,11
0,123	0,12
0,133	0,13
0,145	0,14
0,155	0,15
0,165	0,16
0,188	0,18

Tabelle A.1 (fortgesetzt)

Wärmeleitfähigkeit	
λ	
W/(m·K)	
Größter Einzelwert	Bemessungswert
0,218	0,21
0,248	0,24
0,278	0,27
0,308	0,30
0,338	0,33
0,368	0,36
0,398	0,39
0,428	0,42
0,463	0,45
0,513	0,50
0,563	0,55
0,613	0,60
0,663	0,65
0,725	0,70
0,825	0,80
0,925	0,90
1,03	1,00
1,13	1,10
1,25	1,20

A.4.5 Messungen und Berechnungen dürfen nur von Stellen durchgeführt werden, die hierfür vom Verzeichnis der Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstellen nach den Landesbauordnungen gelistet sind.

Anhang B

Ergänzende Anforderungen an die Überwachung bei der Fertigung von Mehrscheiben-Isoliergläsern

B.1 Werkseigene Produktionskontrolle

Im Rahmen der werkseigenen Produktionskontrolle sind regelmäßig mindestens folgende Eigenschaften des Isolierglases zu überprüfen:

- Art des Füllgases und seine Zusammensetzung (nur bei gasgefüllten Isoliergläsern);
- Gasfüllgrad durch Bestimmung der Restsauerstoffkonzentration (nur bei gasgefüllten Isoliergläsern);
- Dicke der Glasscheiben und des Scheibenzwischenraumes;
- Das Emissionsvermögen ε_n der Beschichtung ist durch eigene Messungen des Herstellers zu überprüfen oder durch Werkszeugnis des Lieferanten der beschichteten Einzelscheibe zu belegen;
- Art und Qualität des Randverbundes;
- Kennzeichnung.

B.2 Fremdüberwachung

Die werkseigene Produktionskontrolle ist im Rahmen der Fremdüberwachung mindestens zweimal jährlich zu überprüfen, mindestens einmal jährlich sind folgende Eigenschaften des Isolierglases zu prüfen:

- Zeitstandverhalten nach einer geeigneten Kurzzeitprüfung;
- Gaszusammensetzung mittels Gasanalyse (nur bei gasgefüllten Isoliergläsern);
- Emissionsvermögen ε_n der Beschichtung;
- Gesamtenergiedurchlassgrad g
- nach DIN EN 673 berechneter Wärmedurchgangskoeffizient des Isolierglases.

B.3 Kennzeichnung

Das Isolierglas ist mit einer Kennzeichnung zu versehen, welche die Fremdüberwachung dokumentiert.

Anhang C

Wärmetechnisch verbesserter Randverbund bei Isolierglas

Die korrekte wärmetechnische Kenngröße zur Beschreibung des Systems Fensterrahmen – Glasrandverbund – Glas ist der längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizient Ψ nach E DIN EN ISO 10077-2.

Vereinfachend wird zur Abgrenzung die Kenngröße $\Sigma d \cdot \lambda$, in W/K verwendet, siehe Bild C.1. Als wärmetechnisch verbesserter Randverbund wird ein Randverbund bezeichnet, dessen Abstandhalter das Kriterium nach Ungleichung (C.1) erfüllt.

$$\Sigma(d \cdot \lambda) \leq 0,007 \text{ WK} \quad (\text{C.1})$$

Dabei wird der Querschnitt in der Mitte des Abstandhalters betrachtet, es ist:

d die Materialdicke bzw. Wandstärke, in m;

λ die Wärmeleitfähigkeit, in W/(m·K).

Es wird über alle Materialien, insbesondere metallische, summiert. Die Wärmeleitfähigkeiten sind nach DIN EN 12524 bzw. E DIN EN ISO 10077-2 anzusetzen.

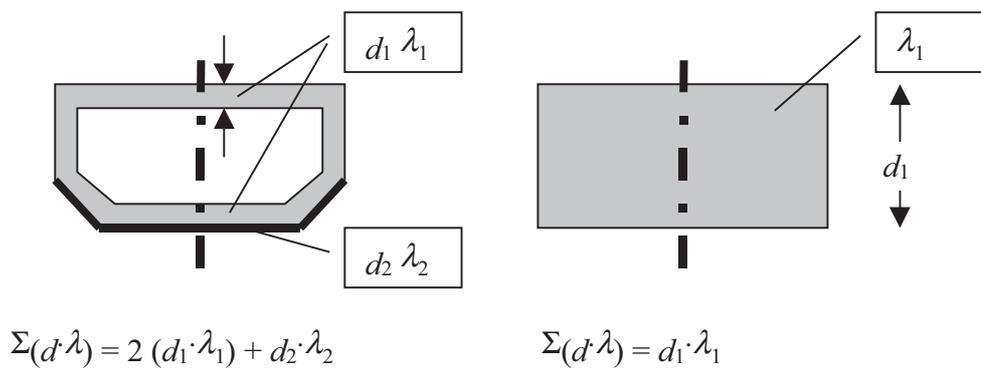


Bild C.1 — Schematische Darstellung von Abstandhaltern

Literaturhinweise

E DIN 105-1:2000-05, *Mauerziegel – Teil 1: Vollziegel und Hochlochziegel der Rohdichteklassen $\geq 1, 2$*

E DIN 105-2:2000-05, *Mauerziegel – Teil 2: Wärmedämmziegel, Hochlochziegel und Füllziegel der Rohdichteklassen $\leq 1, 0$*

E DIN 106-1:2000-05, *Kalksandsteine – Teil 1: Voll-, Loch-, Block-, Hohlblock, Plansteine, Planelemente, Fasensteine, Bauplatten, Formsteine*

E DIN 106-2:2000-05, *Kalksandsteine – Teil 2: Vormauersteine und Verblender*

E DIN 18164-2, *Schaumkunststoffe als Dämmstoffe für das Bauwesen – Teil 2: Dämmstoffe für die Trittschalldämmung aus expandiertem Polystyrol-Hartschaum*

E DIN 18165-2, *Faserdämmstoffe für das Bauwesen – Teile 2: Dämmstoffe für die Trittschalldämmung*

Z DIN 67507, *Lichttransmissionsgrade, Strahlungstransmissionsgrade und Gesamtenergiedurchlassgrade von Verglasungen*; ersetzt durch DIN EN 410

[1] DIBt-Richtlinie zur Messung der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{10, tr}$ von Mauersteinprobekörpern

[2] Untersuchung des Einflusses unterschiedlicher Sprossenkonstruktionen auf den Wärmedurchgang von Fenstern, H. Froelich u.a.; Februar 2001, i.f.t. Rosenheim

2.4 Wirtschaftlichkeitsberechnungen

2.4.1. Einführung

Wirtschaftlichkeitsberechnungen werden zur Vorbereitung oder Überprüfung von Investitionsentscheidungen eingesetzt, um Fehlinvestitionen soweit wie möglich zu vermeiden.

Durch den Vergleich von Kosten und Nutzen wird die Wirtschaftlichkeit der Maßnahme, die so genannte Maßnahmenwirtschaftlichkeit¹ nachgewiesen.

Zur Durchführung von Wirtschaftlichkeitsberechnungen werden in den folgenden Abschnitten zunächst die mathematischen Grundlagen eingeführt, im Weiteren werden praktische Anwendungen zur Energieeinsparung mit Beispielen aus den Bereichen Hochbau und Technische Gebäudeausrüstung dargestellt.

Bei der Berechnung der Vorteilhaftigkeit lassen sich drei Problemkreise unterscheiden²:

- Prüfung der Vorteilhaftigkeit einer einzelnen Investition (Wirtschaftlichkeitsproblem),
- Wahl zwischen zwei oder mehr sich gegenseitig ausschließenden Investitionen (Wahlproblem),
- Entscheidung, ob eine bereits realisierte Investition durch eine andere ersetzt werden soll, Frage nach dem günstigsten Ersatzzeitpunkt (Ersatzproblem).

2.4.2. Mathematische Grundlagen

Grundsätzlich kann man statische oder dynamische Verfahren³ zur Wirtschaftlichkeitsrechnung anwenden (siehe Tab. 18). Weisen die betrachteten Alternativen eine Nutzungsdauer von mehr als 3 Jahren auf und/oder liegen in den einzelnen Jahren erheblich unterschiedliche Ausgaben- und Einnahmeströme vor, führen statische Berechnungen meist zu verfälschten Ergebnissen. In solchen Fällen ist es erforderlich, dynamische Wirtschaftlichkeits-Analysen durchzuführen.

Statische Verfahren

Bei den statischen Verfahren werden Zinseszinsen nicht berücksichtigt. Zu den statischen Verfahren zählt die Kostenvergleichsrechnung und die Berechnung der Amortisationsdauer einer Investition:

$$\text{Amortisationsdauer [a]} = \frac{\text{Investition [€]}}{\text{Einsparung [€/a]}}$$

Diese Methode gibt einen schnellen Überblick über die Wirtschaftlichkeit einer Maßnahme bei einfachen Voraussetzungen.

Merkmal	Statische Methoden	Dynamische Verfahren
Betrachtungszeitraum	maximal 3 Jahre	Gesamte Nutzungsdauer
Berücksichtigung zeitlicher Unterschiede im Anfall von Einnahmen und Ausgaben	ist grundsätzlich nicht vorgesehen	Grundvoraussetzung: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Es erfolgt eine jahresgenaue Schätzung/Ermittlung <u>aller</u> Ausgaben und Einnahmen ▪ Die Investitionssummen werden zum tatsächlichen Zeitpunkt der Investition berücksichtigt
Kosten- und Nutzenanalyse	Es wird eine Durchschnittsrechnung für Kosten und Nutzen durchgeführt	Es erfolgt eine jahresgenaue Schätzung/ Ermittlung <u>aller</u> Ausgaben und Einnahmen
Berücksichtigung von Zinsen und Zinseszinsen	Es werden nur die Zinsen ohne Zinseszinsen auf der Basis von Durchschnittswerten berücksichtigt.	Zinsen und Zinseszinsen werden jahresgenau berücksichtigt; ggf. auch quartals-, monats- oder tageweise.

Tab. 18 Unterschiede im statischen und dynamischen Verfahren

¹ Krajewski Gunther: Public Private Partnership (PPP) und der Wirtschaftlichkeitsvergleich, die deutschen Erfahrungen. Vortrag am 16. Mai 2002 vor der Projektarbeitsgruppe „Public Private Partnership“ der SPD Bundestagesfraktion. n.v.

² Recknagel. Sprenger. Höhnmann: Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik. R. Oldenbourg, Verlag München Wien

³ Da die Begriffe statisch oder dynamisch nicht genormt sind, können in der Literatur auch andere Zuordnungen vertreten werden.

Dynamische Verfahren

Bei dynamischen Verfahren gibt es je nach Betrachtungsweise vier verschiedene Methoden, die in ihrem zugrundeliegenden mathematischen Algorithmus identisch sind:

- Kapitalwertmethode,
- Annuitätenmethode,
- Methode über die Amortisationsdauer,
- Methode des internen Zinsfußes.

Zentrales mathematisches Element ist der „Barwert-Faktor“, der sich aus der Rentenformel und der Zinseszinsformel zusammensetzt und der es erlaubt, die Kosteneinheiten

$$[\text{€}] \leftrightarrow [\text{€}/a]$$

vergleichbar auf den Betrachtungszeitpunkt $t = 0$ zu normieren.

Je nach Betrachtungsweise wird die Grundgleichung nach dem Barwertfaktor b (Barwertmethode), in Zähler und Nenner vertauscht nach dem Annuitätenfaktor a (Annuitätenmethode), nach dem Betrachtungszeitraum T (Amortisationsmethode), nach dem Einheitszinsfuß i oder nach dem Zinsfaktor q (Methode des internen Zinsfußes) aufgelöst.

$$b = \frac{1}{a} = \frac{(1+i)^T - 1}{i \cdot (1+i)^T} = \frac{q^T - 1}{(q-1) \cdot q^T}$$

$$\begin{aligned} \text{Dabei ist } i &= (q-1) = p / 100 \\ q &= 1 + i \end{aligned}$$

i ist der Einheitszinsfuß
 q ist der Zinsfaktor
 T ist der Betrachtungszeitraum

Die Annuität wird in der Literatur auch als Kapitaldienst K_d bezeichnet (siehe [Beispiele 1 bis 3](#)).

Folgende typische Anwendungsfälle der einzelnen Methoden haben sich in der Vergangenheit als vorteilhaft erwiesen (siehe Tab. 19). Bei Anwendung gleicher Ansätze und Randbedingungen ergeben alle vier Methoden dasselbe mathematische Ergebnis.

2.4.3. Berücksichtigung veränderlicher Kostengrößen wie Preissteigerungen

Bei Bedarf können über die Nutzungsdauer veränderliche Kostengrößen wie Inflationseffekte, Energiepreissteigerungen, Änderungen der Nominalzinssätze oder der Instandhaltungspauschalen berücksichtigt werden. Mathematisch lassen sich diese veränderlichen Kostengrößen mit dem Abzinsungsfaktor saldieren oder über speziell hierzu erweiterte Barwertfaktoren fassen.

Die Berücksichtigung dieser veränderlichen Kostengrößen ist landespolitisch zu entscheiden.

2.4.4. Sensitivitätsanalysen

Bei der Sensitivitätsanalyse wird der veränderliche Einfluss einer Kostengröße betrachtet, wobei sich die grafische Darstellung anbietet.

So haben sich Sensitivitätsanalysen bei der Auswahl von Energieträgern für größere Liegenschaften bewährt. Größere Liegenschaften werden über Sonderlieferverträge versorgt, deren Grund- und Arbeitspreise auf Preisgleitklauseln beruhen. Da z. B. Erdgaspreise unmittelbar und Fernwärmepreise mittelbar über die Preisgleitklauseln an den Weltmarktpreis für Öl gekoppelt sein können, ermöglichen Sensitivitätsanalysen einen Vergleich der Lieferverträge; der Einfluss des Weltmarktpreises Öl kann somit bei den Alternativen Erdgas, Heizöl EL oder Fernwärmeversorgung grafisch sichtbar gemacht werden.

Im Schaubild (siehe [Abb. 95, nächste Seite](#)) werden die jährlichen Gesamtkosten über der Heizölpreisentwicklung aufgetragen. Die jährlichen Gesamtkosten setzen sich nach VDI 2067 zusammen aus vier Kostengruppen: kapitalgebundene, verbrauchsgebundene, betriebsgebundene und sonstige Kosten.

Methode	typische Anwendungsfälle
Kapitalwert	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Wertung von Submissionsergebnissen, z.B. Berücksichtigung von Wartungskosten ▪ Investitionen fallen zu unterschiedlichen Zeitpunkten im Laufe der Betrachtungszeit an
Annuitäten	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Energielieferverträge ▪ Investitionen fallen zum Startzeitpunkt des Betrachtungszeitraums an
Amortisationsdauer	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Berechnung der Rückzahlungszeit bei Energieeinsparmaßnahmen
interner Zinsfuß	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Investorenmodelle

Tab. 19 Vier Methoden im dynamischen Verfahren

Bei nicht veränderlichen Kostengrößen ergeben sich Geraden. Es müssen zwei Rechengänge je Energieträger mit unterschiedlichen Heizölpreisanahmen durchgeführt werden.

Die letztendliche Entscheidung ist jedoch nicht nur vom kritischen Heizölpreis (Schnittpunkt der Geraden) sondern z. B. auch von Umweltschutzkriterien abhängig.

Beispiele für Berechnungen im Bereich Hochbau und Technische Gebäudeausrüstung

An praxisgerechten Beispielen des Hochbaus und der Technischen Gebäudeausrüstung wird die Wirtschaftlichkeitsberechnung für verschiedene bauliche und technische Maßnahmen dargestellt. Die Beispiele aus dem Bereich Hochbau zeigen, dass neben den erforderlichen „Sowieso“-Kosten zur Instandhaltung, Instandsetzung bzw. Bauschadensbehebung auch Mehrkosten für Energieeinsparmaßnahmen noch wirtschaftlich sind, wenn sie über die allgemeinen Vorschriften (EnEV 2002) hinausgehen. Die Beispiele erläutern lediglich das Berechnungsverfahren und sind nicht auf andere Objekte übertragbar. Jeder Fall ist individuell zu berechnen.

Für die Nutzungsdauer sowie für die Kosten der Instandhaltung und Wartung der einzelnen Maßnahmen wurden Ansätze aus dem „Leitfaden Nachhaltiges Bauen“⁴, sowie aus der VDI-Richtlinie 2067⁵ entnommen.

Auf Grund eigener länderspezifischer Erfahrungen können hiervon abweichende, bzw. dort nicht aufgeführte Ansätze eingesetzt werden. Die Ansätze für die Nominalzinsen als Kreditzinsen sind bei den Kreditreferaten der Finanzministerien oder Finanzbehörden zu erfragen.

Energieeinsparmaßnahmen an bestehenden Gebäuden

Die Wirtschaftlichkeit von Energieeinsparmaßnahmen an bestehenden Gebäuden lässt sich allgemein durch das Verhältnis von Ertrag zu Aufwand darstellen.

Der Ertrag ist die Energiekosteneinsparung (ΔK_E) und der Aufwand ist die zu tätige Investition.

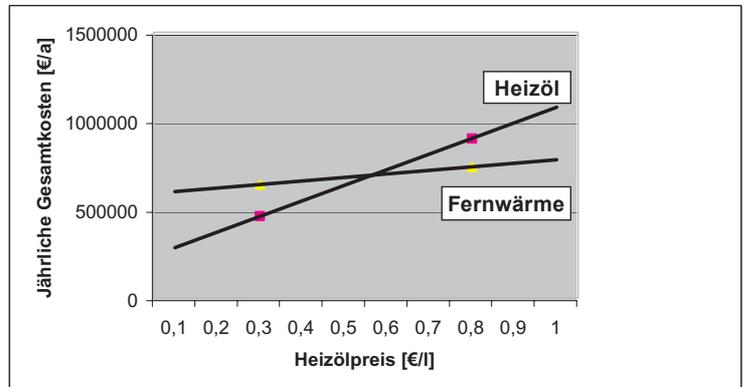


Abb. 95 Sensitivitätsanalyse der Versorgung mit den Energieträgern Heizöl oder Fernwärme am Beispiel der Heizölpreisentwicklung

Die Investition wird in den folgenden Beispielen mit der Annuitätenmethode als jährlicher Kapitaldienst (Kd) mit der Einheit [€/a] berechnet. Er besteht aus den Kostenanteilen für Zinsen und Tilgung, für eine Investition, die getätigt wird (Berechnung siehe unten). Die Wirtschaftlichkeit wird definiert als:

$$\text{Wirtschaftlichkeit} = \frac{\text{Ertrag}}{\text{Aufwand}} \geq 1$$

Beispiel 1: Wirtschaftlichkeitsberechnung für eine Außenwand mit Wärmedämmverbundsystem (WDVS)

Der Außenputz eines Schulgebäudes muss erneuert werden. Die Vorbereitung des Untergrundes gilt als Bauunterhaltungsmaßnahme und wird nicht berücksichtigt. Es wird untersucht, ob ein WDVS-System mit 8 cm Wärmedämmung wirtschaftlich ist. Die Erneuerung des Außenputzes entfällt dabei und ist infolgedessen von den Kosten abzuziehen.

Verbesserung:

$$\begin{aligned} U_{\text{alt}} &= 1,75 \text{ W/m}^2\text{K} \\ - U_{\text{neu}} &= 0,31 \text{ W/m}^2\text{K} \\ \hline \Delta U &= 1,44 \text{ W/m}^2\text{K} \end{aligned}$$

⁴ Hrsg. Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Jan. 2001

⁵ Verein Deutscher Ingenieure, Teil 1, Fassung von Dezember 1983

Investitionen:		
Insgesamt	=	54,00 €/m ²
- Außenputz	=	16,00 €/m ²
<hr/>		
Energiespar-Investition	=	38,00 €/m ²

Annahmen:
Energiepreis: $P_{\text{Energie}} = 37,00 \text{ €/MWh (Erdgas)}$

Der Energiepreis je Energieträger ist orts- und zeitabhängig und ist deshalb vor Ort zu erfragen. Er wird i. d. R. brutto angegeben.

Zinssatz 6 %: $i = 0,06$
Nutzungsdauer: $T_N = 40 \text{ a}$
Annuitätsfaktor: $a = 0,0665/\text{a}$

i [-] Einheitszinssatz, wird als Dezimalwert verwendet
z. B. Zinssatz 6 % $\rightarrow i = 0,06$
Es ist der aktuelle Zinssatz einzusetzen.

K_w [-] Instandhaltungskosten. Die in Tab. 22 enthaltenen Prozentsätze von der Investition werden als Dezimalwert verwendet.

T_N [a] Rechnerische Nutzungsdauer, auch Betrachtungszeitraum genannt. Für einige gebräuchliche Bauteile sind Nutzungsdauern in Tab. 22 zusammengestellt. Für nicht erfasste Bauteile muss im Einzelfall durch Herstellerangaben oder Erfahrungen anderer Dienststellen die Nutzungsdauer bestimmt werden.

Ermittlung des Kapitaldienstes (Kd):

$$Kd = I \cdot \left(\frac{i(1+i)^{T_N}}{(1+i)^{T_N} - 1} + K_w \right)$$

$$Kd = I \cdot (a + K_w)$$

Der jährliche Kostensatz (Kapitaldienst) einer energiesparenden Maßnahme entsteht durch die getätigte Investition (I) und ist abhängig von der Nutzungsdauer (T_N) und dem Zinssatz (i). Ihm sind die durchschnittlichen jährlichen Instandhaltungskosten zuzurechnen (K_w).

I [€/m²] Investitionskosten bzw. Investitionsmehrkosten für zusätzliche Energiekosteneinsparung (einschl. MWSt.)

a [a⁻¹] Annuitätsfaktor, ergibt sich aus der Nutzungsdauer und dem Zinssatz.
z. B.:

Zinssatz (Dezimalwert) $i = 0,06$
Nutzungsdauer $T_N = 40\text{a}$

$$a = \frac{i \cdot (1+i)^{T_N}}{(1+i)^{T_N} - 1}$$

$$a = \frac{0,06 \cdot 1,06^{40}}{1,06^{40} - 1} = 0,0665\text{a}^{-1}$$

Jährliche Mehrkosten der Maßnahme (ΔKd , entspricht der Annuität der zusätzlichen Investitionen):

$$\Delta Kd = \Delta I \cdot a$$

$$\Delta Kd = 38,00 \frac{\text{€}}{\text{m}^2} \cdot 0,0665 \frac{1}{\text{a}} = 2,53 \frac{\text{€}}{\text{m}^2 \text{a}}$$

Ermittlung der jährlichen Energiekosteneinsparung (ΔK_E):

Die jährliche Energiekosteneinsparung (ΔK_E) ist die Differenz der Energieverbrauchskosten vor (K_{E1}) und nach (K_{E2}) der Sanierungsmaßnahme:

$$\Delta K_E = K_{E1} - K_{E2} \quad [\text{€/m}^2 \text{a}]$$

Bei baulichen Maßnahmen werden die Energieverbrauchskostenwerte nach folgender Gleichung bestimmt:

$$K_E = U \cdot \Delta\theta \cdot b_{\text{VH}} \cdot P_{\text{Energie}} \cdot 10^{-6} \quad [\text{€/m}^2 \text{a}]$$

U [W/m²K] Wärmedurchgangskoeffizient
 θ [K] Temperaturdifferenz zwischen Raumlufttemperatur (θ_i) und Außenlufttemperatur (θ_a) bzw. Temperatur des nichtbeheizten Raums (siehe Tab. 21)

b_{VH} [h/a] Vollbenutzungsstunden (siehe Tab. 20)

Für die genaue Berechnung der b_{VH} wird auf die VDI 2067 Blatt 2 von 1993 verwiesen.

P_{Energie} [€/MWh] Energiepreis
Der Energiepreis ist orts- und zeitabhängig. Die verwendeten Werte sind Anhaltswerte. Aktuelle Werte sind vor Ort zu erfragen. Es sind Bruttopreise (einschl. Mehrwert- und Ökosteuern) anzusetzen.

Jährliche Energiekosteneinsparung der Maßnahme:

$$\Delta K_E = \Delta U \cdot \Delta \theta \cdot b_{\text{VH}} \cdot P_{\text{Energie}} \cdot 10^{-6}$$

$$\Delta K_E = 1,44 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \cdot 32\text{K} \cdot 1441,70 \frac{\text{h}}{\text{a}} \cdot 37,00 \frac{\text{€}}{\text{MWh}} \cdot 10^{-6} = 2,46 \frac{\text{€}}{\text{m}^2\text{a}}$$

Das Wärmedämmverbundsystem ist mit diesen Ergebnissen nicht wirtschaftlich, da die jährlichen zusätzlichen Investitionskosten für die Energieeinsparmaßnahme (2,53 €/m²a) die jährlichen Energieeinsparungen (2,46 €/m²a) überschreiten.

Unter Berücksichtigung einer dynamischen Wirtschaftlichkeitsberechnung wird man jedoch bei steigenden Energiepreisen feststellen, dass diese Maßnahme innerhalb eines kurzen Zeitraums wirtschaftlich ist (siehe Mathematische Grundlagen). Legt man in diesem Beispiel einen Erdgaspreis von 40,00 €/MWh zugrunde, entstehen Energieeinsparungen in Höhe von 2,56 €/m²a, die dann größer sind, als die zusätzlichen Investitionskosten.

Die Maßnahme sollte deshalb dennoch ausgeführt werden.

Beispiel 2: Wirtschaftlichkeitsberechnung für ein belüftetes Dach – „Kalt-dach“

Mit diesem Beispiel wird eine Energieeinsparungsmaßnahme am Dach eines Schulgebäudes vorgestellt. Das ursprüngliche Pfannendach mit hölzernem Dachstuhl ist durch Kriegseinwirkung abgebrannt. Die in den 50er Jahren errichtete provisorische Dachkonstruktion ist durch regelmäßige War-

tung und Instandhaltung in einem guten Zustand. Der Wärmeschutz ist jedoch nicht gut, deshalb wird untersucht, ob eine etwa 12 cm dicke Dämmschüttung wirtschaftlich ist (siehe Abb. 96).

A vorhandener Dachaufbau B geplante Maßnahmen
vorh. $U = 2,00 \text{ W/m}^2\text{K}$ neu $U = 0,34 \text{ W/m}^2\text{K}$

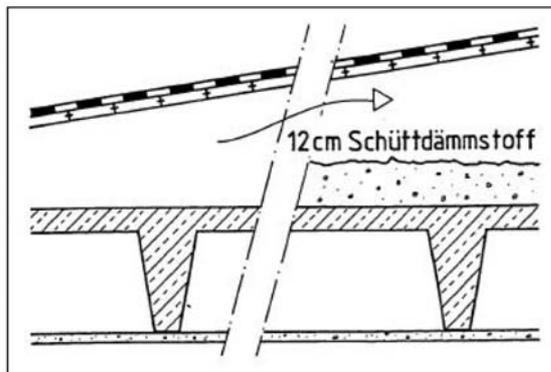


Abb. 96 Beispiel „Belüftetes Kalt-dach“ für eine Wirtschaftlichkeitsberechnung

In Gebäudemitte ist der Luftraum bekrichbar. Von hier aus wird mit einer bis zu 6 m langen „Lanze“ ein schüttfähiger Dämmstoff auf die Betondecke aufgebracht. Die Investitionskosten betragen: $I = 20,00 \text{ €/m}^2$.

A vorhandener Dachaufbau

Energieverbrauchskosten der vorhandenen Konstruktion:

vorh. U : $U_{\text{vorh}} = 2,00 \text{ W/m}^2\text{K}$
Energiepreis: $P_{\text{Energie}} = 50,00 \text{ €/MWh}$
(Fernwärme)

$$K_E = U \cdot \Delta \theta \cdot b_{\text{VH}} \cdot P_{\text{Energie}} \cdot 10^{-6}$$

$$K_E = 2,00 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \cdot 32\text{K} \cdot 1441,70 \frac{\text{h}}{\text{a}} \cdot 50,00 \frac{\text{€}}{\text{MWh}} \cdot 10^{-6} = 4,61 \frac{\text{€}}{\text{m}^2\text{a}}$$

B geplante Maßnahme (12 cm Dämmschüttung)

Energieverbrauchskosten und Kapitaldienst der neuen Konstruktion:

neu U : $U_{\text{neu}} = 0,34 \text{ W/m}^2\text{K}$
Energiepreis: $P_{\text{Energie}} = 50,00 \text{ €/MWh}$
(Fernwärme)
Zinssatz 6 %: $i = 0,06$
Nutzungsdauer: $T_N = 50 \text{ Jahre}$
Annuitätsfaktor: $a = 0,0634/\text{a}$

$$K_E = 0,34 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \cdot 32\text{K} \cdot 1441,70 \frac{\text{h}}{\text{a}} \cdot 50,00 \frac{\text{€}}{\text{MWh}} \cdot 10^{-6} = 0,78 \frac{\text{€}}{\text{m}^2\text{a}}$$

$$K_d = I \cong a$$

$$K_d = 20,00 \frac{\text{€}}{\text{m}^2} \cdot 0,0634 \frac{\text{a}}{\text{a}} = 1,27 \frac{\text{€}}{\text{m}^2\text{a}}$$

Kommt Möglichkeit B zur Ausführung, entstehen also folgende jährliche Kapitalkosten (Kd) bzw. Energiekosteneinsparungen (ΔK_E):

- Kapitalkosten:
Kd = 1,27 €/m²a
- Energiekosteneinsparung:
 $\Delta K_E = (4,61 - 0,78) \text{ €/m}^2\text{a} = 3,83 \text{ €/m}^2\text{a}$

Weil die Energiekosteneinsparungen mit 3,83 €/m²a größer sind, als die jährlichen Kosten von 1,27 €/m²a, die infolge einer Investition von 20,00 €/m² entstehen, ist die Möglichkeit B wirtschaftlich.

Beispiel 3: Wirtschaftlichkeitsberechnung für den Austausch vorhandener gegen neue Fenster

Die vorhandenen Fenster einer nach Westen ausgerichteten Bürohaus-Fassade sind so schadhaft, dass sie gegen neue Fenster ausgetauscht werden müssen.

Die EnEV 2002 verlangt in [Anhang 3, Tab. 1](#) für Gebäude mit normalen Innentemperaturen einen **Wärmedurchgangskoeffizienten** für Fenster von $U_{\text{max}} = 1,70 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Es wird nun untersucht, ob ein Fenster mit einem U-Wert von 1,30 W/m²K wirtschaftlich ist. Es werden nur die **Transmissionswärmeverluste** betrachtet und der Einfluss der Wärmebrücke im Anschlussbereich des Fensters wird nicht berücksichtigt.

Es werden nur die Mehrkosten für die bessere Verglasung ($\Delta I = 8,00 \text{ €/m}^2$) berücksichtigt. Die Fensterfläche beträgt $A_w = 2,00 \text{ m}^2$.

Wird bei Gebäuden der Fensterflächenanteil von 30 % überschritten, sind lt. [§ 3 EnEV 2002](#) die Anforderungen an die Sonneneintragskennwerte oder eine entsprechende Kühlleistung einzuhalten. Die Werte sind nach DIN 4108-2:2001-03 zu berechnen.

gegeben:

$$U_{w1} = 1,7 \text{ W/m}^2\text{K}, \quad g_{w1} = 0,70$$

$$U_{w2} = 1,3 \text{ W/m}^2\text{K}, \quad g_{w2} = 0,62$$

$$\text{sol. Einstrahlung West (IS)}_{j,HP} = 155 \text{ kWh/m}^2\text{a}$$

Annahmen:

$$\text{Energiepreis: } P_{\text{Energie}} = 37,00 \text{ €/MWh (Erdgas)}$$

$$\text{Zinssatz 6 \%: } i = 0,06$$

$$\text{Nutzungsdauer: } T_N = 30 \text{ Jahre}$$

$$\text{Annuitätsfaktor: } a = 0,0726/\text{a}$$

Energiekostenermittlung für Fenster:

$$K_E = A_i \cdot U_w \cdot \Delta\theta \cdot b_{VH} \cdot P_{\text{Energie}} \cdot 10^{-6}$$

$$K_S = Q_S \cdot P_{\text{Energie}} \cdot 10^{-3}$$

$$K_T = Q_T \cdot P_{\text{Energie}} \cdot 10^{-3}$$

A_i [m ²]	Fläche des Bauteils i, z. B. Fensterfläche, lichtet Öffnungsmaß
U_w [W/m ² K]	Wärmedurchgangskoeffizient des Fensters (window)
Q_S [kWh/a]	Solare Wärmegewinne berechnen sich lt. EnEV 2002, Anh. 1, Tab. 2
Q_T [kWh/a]	Transmissionswärmeverluste eines Bauteils, abhängig von Temperaturdifferenz und Vollbenutzungsstunden
$(I_{S,j,HP})$ [kWh/m ² a]	Solare Einstrahlung, abhängig von der Orientierung j
g [-]	Verglasungsabhängiger Gesamtenergiedurchlassgrad abzulesen in DIN V 4108-6: 2000-11 i.V.m. DIN V 4108-6/A1:2001-08, Tab. 6, bzw. zu ermitteln nach DIN EN 410:1998-12

Transmissionswärmeverluste (Q_T) je Fenster:

$$Q_T = A_w \cdot U_w \cdot \Delta\theta \cdot b_{vH} \cdot 10^{-3}$$

$$Q_{T1} = 2\text{m}^2 \cdot 1,7 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \cdot 32\text{K} \cdot 1885,30 \frac{\text{h}}{\text{a}} \cdot 10^{-3} = 205,12 \frac{\text{KWh}}{\text{a}}$$

$$Q_{T2} = 2\text{m}^2 \cdot 1,3 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \cdot 32\text{K} \cdot 1885,30 \frac{\text{h}}{\text{a}} \cdot 10^{-3} = 156,85 \frac{\text{KWh}}{\text{a}}$$

jährliche Energiekosten durch Transmissionswärmeverluste (K_T) je Fenster:

$$K_T = Q_T \cdot P_{\text{Energie}} \cdot 10^{-3}$$

$$K_{T1} = 205,12 \frac{\text{KWh}}{\text{a}} \cdot 37,00 \frac{\text{€}}{\text{MWh}} \cdot 10^{-3} = 7,59 \frac{\text{€}}{\text{a}}$$

$$K_{T2} = 156,85 \frac{\text{KWh}}{\text{a}} \cdot 37,00 \frac{\text{€}}{\text{MWh}} \cdot 10^{-3} = 5,80 \frac{\text{€}}{\text{a}}$$

Solare Wärmegewinne (Q_S) je Fenster:

$$Q_S = \sum (I_s)_{j,HP} \cdot \sum 0,567 \cdot g_i \cdot A_i$$

$$Q_{S1} = 155 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2\text{a}} \cdot 0,567 \cdot 0,70 \cdot 2\text{m}^2 = 123,04 \frac{\text{kWh}}{\text{a}}$$

$$Q_{S2} = 155 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2\text{a}} \cdot 0,567 \cdot 0,62 \cdot 2\text{m}^2 = 108,98 \frac{\text{kWh}}{\text{a}}$$

jährliche Energiekosteneinsparung durch solare Wärmegewinne (K_S) je Fenster:

$$K_S = Q_S \cdot P_{\text{Energie}} \cdot 10^{-3}$$

$$K_{S1} = 123,04 \frac{\text{kWh}}{\text{a}} \cdot 37,00 \frac{\text{€}}{\text{MWh}} \cdot 10^{-3} = 4,55 \frac{\text{€}}{\text{m}^2\text{a}}$$

$$K_{S2} = 108,98 \frac{\text{kWh}}{\text{a}} \cdot 37,00 \frac{\text{€}}{\text{MWh}} \cdot 10^{-3} = 4,03 \frac{\text{€}}{\text{m}^2\text{a}}$$

jährliche Energiekosten durch tatsächlichen Energieverlust des Fensters (K_{EV}):

$$K_{EV} = K_T - K_S$$

$$K_{EV1} = 7,59 \frac{\text{€}}{\text{a}} - 4,55 \frac{\text{€}}{\text{a}} = 3,04 \frac{\text{€}}{\text{a}}$$

$$K_{EV2} = 5,80 \frac{\text{€}}{\text{a}} - 4,03 \frac{\text{€}}{\text{a}} = 1,77 \frac{\text{€}}{\text{a}}$$

jährliche Energiekosteneinsparung (ΔK_E) je Fenster:

$$\Delta K_E = K_{EV1} - K_{EV2}$$

$$\Delta K_E = 3,04 \frac{\text{€}}{\text{a}} - 1,77 \frac{\text{€}}{\text{a}} = 1,27 \frac{\text{€}}{\text{a}}$$

jährliche Mehrkosten, Kapitaldienst (ΔK_d):

$$\Delta K_d = \Delta I \cdot a$$

$$\Delta K_d = 2,00 \text{m}^2 \cdot 8,00 \frac{\text{€}}{\text{m}^2} \cdot 0,0726 \frac{1}{\text{a}} = 1,16 \frac{\text{€}}{\text{a}}$$

Bei dem Glaspreisunterschied von $\Delta I = 8,00 \text{ €/m}^2$ ist das Fenster mit dem kleineren U-Wert von $1,30 \text{ W/m}^2\text{K}$ wirtschaftlich, da die Annuität aus der Investition mit $1,16 \text{ €/a}$ geringer ist als die Energiekosteneinsparung von $1,27 \text{ €/a}$.

Beispiel 4: Wirtschaftlichkeitsvergleich für eine Wärmeversorgung

Am Beispiel des Poelzig-Ensemble der Johann-Wolfgang-Goethe Universität Frankfurt am Main ist die Wirtschaftlichkeitsberechnung für die Varianten **Wärmeversorgung** über **Eigenwärmeversorgung durch Blockheizkraftwerk und Spitzenkesselanlage** und **Fernwärme** dargestellt. Die Kostenarten entsprechen den Vorgaben der VDI 2067, Blatt 1. Die wirtschaftlichste Variante ist die Variante mit den geringsten Jahreskosten. Als Anhaltswert zum Vergleich mit weiteren Versorgungsvarianten dient die Angabe der spezifischen Wärmekosten [€/MWh].

Die Einflüsse einzelner Kostenarten wie

- Annuitäten,
- verbrauchgebundenen Kosten,
- betriebsgebundenen Kosten,
- sonstige Kosten.

auf das Ergebnis lassen sich mit der Sensitivitätsanalyse beurteilen.

Wärmeversorgung über Eigenwärmeerzeugung durch BHKW und Spitzenkesselanlage

Zusammenstellung der Kosten nach VDI 2067 (Blatt 1)

Kostenart		Herstellkosten [€]	Nutzungs- dauer [a]	Zins	Annuitätsfaktor [1/a]	Jahreskosten [€/a]
A Annuitäten						
A. 1	Gasanschluss	263.171	50	0,0634	0,0665	17.494
A. 2	BHKW-Anlage: Erdgas	327.636	15	0,0634	0,1053	34.488
A. 3	Spitzenkesselanlage: Erdgas	624.799	20	0,0634	0,0896	55.986
A. 4	Baulich. Aufwand, Umbau Nebengeb.	409.034	50	0,0634	0,0665	27.190
A. 5	Schornsteinanlage	117.597	40	0,0634	0,0693	8.153
A. 6	Nahwärmeleitungen, Kabel	435.621	40	0,0634	0,0693	30.202
A. 7	Infrastruktur: Zufahrten, Abwasser	178.952	50	0,0634	0,0665	11.896
A. 8	Baunebenkosten 10 %: A.1 bis A.7	235.681				-
	Summe Herstellkosten	2.592.489				
Zwischensumme A.1 - A.8						185.408,66
B Verbrauchsgebundene Kosten						
	Wärmeleistung QN	4.700	kW			
	Jahres-Wärmeverbrauch	7.062	MWh/a			
	Jahres-Erdgasverbrauch BHKW	5.471	MWh/a			
	Jahres-Erdgasverbrauch Kessel	4.654	MWh/a			
	Summe	10.125	MWh/a	Erdgasbezug (bezogen auf Hu)		
B.1	Erdgas Arbeitspreis AP	1,58	Ct/kWh			159.964
B.2	Leistungspreis LP	58,80	Ct/kWh/d	Tages-Max. ca 18 h QN		49.744
B.3	Messpreis MP	127,82	€/Monat	Zählerkosten		1.534
B.4	Elektrische Hilfsenergie			ohne Kostenansatz		
Zwischensumme B.1 - B.3						211.242
15 % MWSt						31.686
						242.928
C Betriebsgebundene Kosten						
C.1	Spitzenkesselanlage					
C.1.1	Bedienung/Betriebspersonal	700h/a, (66,50 DM/h Stundensatz MTL VIII): VDI 2067 Tab. 8; StAnz. Hessen				23.801
C.1.2	Instandsetzung	1 % der Investitionskosten: A.3				6.248
C.1.3	Schornsteinfegergebühren	Emissionsüberwachung u. ä.				300
C.2	BHKW-Anlage					
C.2.1	Bedienung/Betriebspersonal	3 % der Investitionskosten: A.2				9.829
C.2.2	Instandsetzung/Vollwartung	3 Pfg je kWh(el) erzeugte Arbeit				24.268
C.3	Sonstige Instandsetzung	Gasanlage, baulicher Aufwand, Nahwärmeleitungen				
C.3.1	Baulicher Aufwand, Schornsteinanlage, Infrastruktur	1 % der Investitionskosten: A.4+A.5+A.7				3.608
C.3.2	Nahwärmeleitungen, Kabel	4 % der Investitionskosten: A.6				8.909
Zwischensumme C.1 - C.3.2						76.962
D Sonstige Kosten						
D.1	Stromgutschrift BHKW					- 103.024
Zwischensumme D						- 103.024
E Jahreskosten (Summe A, B, C, D)						402.275
E.1	Spezifische Wärmekosten [€/MWh]	Entscheidungsgrundlage			56,96	

Beispiel: Poelzig-Ensemble der Johann-Wolfgang-Goethe Universität Frankfurt am Main
Staatsbauamt Kassel, den 26.03.1998

Wärmeversorgung über Fernwärme

Zusammenstellung der Kosten nach VDI 2067 (Blatt 1)

Kostenarten		Herstellkosten [€]	Nutzungs- dauer [a]	Zins	Annuitäts- faktor [1/a]	Jahreskosten [€/a]
A Annuitäten						
A.1	Hausanschluss vorhanden, Umrüstung Wärmetauscher	40.903	20	0,0634	0,0896	3.665
A.2	Baunebenkosten 10 %: A.1	4.090				
	Summe Herstellkosten	44.994				
Zwischensumme A.1 - A.2						3.665,20
B Verbrauchsgebundene Kosten						
	Wärmeleistung QN	4.700	kW			
	Jahres-Wärmeverbrauch	7.062	MWh/a			
	Vertragsleistung	4.700	kW			
B.1	Grundpreis GP	20,43	€/MWh/a			96.027
B.2	Arbeitspreis Winter	28,93	€/MWh 70 %			143.032
B.3	Arbeitspreis Sommer	28,42	€/MWh 30 %			60.216
Zwischensumme B.1 - B.4						299.275
15 % MWSt						44.891
						344.167
C Betriebsgebundene Kosten						
C.1	Bedienung/Betriebspersonal					0
C.2	Instandsetzung	1 % der Investitionskosten: A.1				4.090
Zwischensumme C.1 - C.2						4.090
D Sonstige Kosten						
D.1						
Zwischensumme D						-
E Jahreskosten (Summe A, B, C, D)						351.922
E.1	Spezifische Wärmekosten [€/MWh]	Entscheidungsgrundlage			49,83	

*Beispiel: Poelzig-Ensemble der Johann-Wolfgang-Goethe Universität Frankfurt am Main
Staatsbauamt Kassel, den 26.03.1998*

Beispiel 5: Wirtschaftlichkeitsberechnung für den Einbau neuer Brenner

Bei der Justizvollzugsanstalt Bruchsal sollen die vier vorhandenen, nicht regelbaren Zweistoffbrenner (Erdgas/Heizöl EL) durch modulierende Zweistoffbrenner ersetzt werden. Zusätzlich wird eine Kesselfolgeschaltung zur Optimierung des Betriebs der beiden Warmwasser- und der beiden Niederdruckdampfkessel installiert. Durch die vorstehende Maßnahme soll eine Verbesserung des feuerungstechnischen Wirkungsgrads eine Reduzierung der Bereitschaftsverluste sowie eine Verbesserung der allgemeinen Kesselregelung erreicht werden.

Es wird die Barwertmethode angewendet.

Energieeinsparung:

Wärme: 990 MWh/a
Strom: 10 MWh/a

Investitionskosten: 275.000 €
Nutzungsdauer: 15 Jahre
Zinssatz: 6 %

Energiepreis:

Wärme: 35 €/MWh
Strom: 90 €/MWh

Energiekosteneinsparung

Wärme: 990 MWh/a
x 35 €/MWh = 34.650 €/a
Strom: 10 MWh/a
x 90 €/MWh = 900 €/a

Barwertfaktor: $b = \frac{(1+i)^T - 1}{i \cdot (1+i)^T} = \frac{q^T - 1}{(q-1) \cdot q^T} = 9,71$

Barwert der Einsparungen:

Energiekosteneinsparung x Barwertfaktor
= 35.550 €/a x 9,71 = 345.270 €/a

Der Barwert der Einsparung über die angenommene Nutzungsdauer ist höher als die Investitionskosten. Die Maßnahme ist damit wirtschaftlich.

Beispiel 6: Wirtschaftlichkeitsberechnung für den Austausch von Lüftungsanlagen

In der Polizeidirektion Reutlingen sollen die Lüftungsanlagen für die Duschen und Umkleiden sowie für weitere innenliegende Räume ausgetauscht werden. Die Anlagen wurden bisher mit einer konstanten Luftmenge über 24 Stunden pro Tag betrieben. Die neuen Anlagen sollen mit Frequenzumformern ausgestattet werden, um die Luftmengen den jeweils betriebstechnischen Erfordernissen anpassen zu können.

Energieeinsparung:

Wärme: 85 MWh/a
Strom: 69 MWh/a

Investitionskosten: 40 000 €
Nutzungsdauer: 15 Jahre
Zinssatz: 6 %

Energiepreise:

Wärme: 35 €/MWh
Strom: 90 €/MWh

Energiekosteneinsparung:

Wärme: 85 MWh/a
x 35 €/MWh = 2.975 €/a
Strom: 69 MWh/a
x 90 €/MWh = 6.210 €/a

Barwertfaktor: $b = \frac{(1+i)^T - 1}{i \cdot (1+i)^T} = \frac{q^T - 1}{(q-1) \cdot q^T} = 9,71$

Barwert der Einsparungen:

Energiekosteneinsparung x Barwertfaktor
= 9.185 €/a x 9,71 = 89.186 €/a

Der Barwert der Einsparungen ist höher als die Investitionskosten. Die Maßnahme ist damit wirtschaftlich.

Tabellen

Vollbenutzungsstunden	b_{vH} [h/a] *)	b_{vH} [h/a] **)
Mehrfamilienhaus	2.000	2.218,00
Bürohaus	1.700	1.885,30
Krankenhaus	2.400	2.661,60
Schule (mehrschichtig)	1.300	1.441,70

Tab. 20 Vollbenutzungsstunden

Quelle: VDI-Richtlinie 2067 Blatt 2 von Dezember 1993

*) gültig für Düsseldorf lt. Tab. 6, Umrechnungsfaktoren f_v lt. Anh. A7

**) gültig für Würzburg, $f_v = 1,109$

Temperaturdifferenz ($\Delta T = \theta_{Li} - \theta_{La}$)

Die Temperaturdifferenz ist nutzungsabhängig und muss in Abhängigkeit von der ortsspezifischen Norm-Außentemperatur für jeden Ort ermittelt werden.

Für die Beispiele werden die Würzburger Werte zugrunde gelegt mit $\theta_{La, Würzburg} = -12^\circ \text{C}$

Gebäudenutzung (Auswahl)	Raumtemperatur θ_{Li} [°C]	Temperaturdifferenz ΔT [K]
Werkstätten, allg.	15	27
Werkstätten, bei sitzender Beschäftigung	20	32
Schule, Unterrichtsgebäude	20	32
Krankenhäuser	22	34
Verwaltungsgebäude	20	32
Wohngebäude	20	32

Tab. 21 Temperatur in Abhängigkeit von der Gebäudenutzung

Quellen: θ_{La} DIN 4701 Teil 2 von März 1983 (Tabelle 1)

θ_{Li} DIN 4701 Teil 1 (Verweis) und 2 von März 1983 (Tabelle 2)

Technische Nutzungsdauer T_N von Bauteilen (Auszüge)

Bezeichnung	Bauart/Baustoff	mittlere Nutzungsdauer [Jahre]	jährliche Instandhaltung K_w in % der Inv.kosten [%i]
Dachhaut	Bitumendachbahnen	20	1
	Zementziegel	40	-
	Dachziegel	50	-
	Schiefer	50	-
	Stahlblech, verzinkt	45	-
	Zinkblech	45	-
	Kupferblech	50	-
Dachstuhl	Holz/Stahl	50	-
Außenputz		40	-
Fußböden	Zementestrich	50	-
	Plattenbelag	50	-
	Holzböden	40-50	1
	Textilbeläge	10	1
	Linoleum	20	1
	Kunststoff	20	1
Fenster/Türen	Holzfenster/Außentür	40	2
	Rollladen	20	1
Schornsteine	Schornstein im Gebäude	50	-
Konstruktion (Tragwerk) allgemein *)		50	1
Dämmung	Flachdach	25	1
	Steildach, Dachdecken	50	1
	Keller	30	1
	Außenwand	30	1
	Heizkörpernischen	25	1
	Einbau Windfanganlage	30	1
Außenwand	Vorsatzschale mit Hinterlüftung	40	1
Betriebstechnische Maßnahmen allgemein		**)	**)

Tab. 22 Technische Nutzungsdauer von Bauteilen

Quellen: VDI 2067 Teil 1 von Dezember 1983

„Leitfaden Nachhaltiges Bauen“, Hrsg. Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen

*) Mittlere Rest-Nutzungsdauer bei 80 Jahren Lebensdauer. Nutzungsdauern über 50 Jahren sollten in Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen nicht verwendet werden.

***) Vergleiche VDI 2067 Blatt 1 (Tabellen A2-A4) von September 2000

F Anhang

1. Verordnungstext Energieeinsparverordnung (EnEV)

**Verordnung
über energiesparenden Wärmeschutz
und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden
(Energieeinsparverordnung - EnEV) *)**

Vom 16. November 2001

Auf Grund des § 1 Abs. 2, des § 2 Abs. 2 und 3, des § 3 Abs. 2, der §§ 4 bis 6, des § 7 Abs. 3 bis 5 und des § 8 des Energieeinsparungsgesetzes vom 22. Juli 1976 (BGBl. I S. 1873), von denen die §§ 4 und 5 durch Artikel 1 des Gesetzes vom 20. Juni 1980 (BGBl. I S. 701) geändert worden sind, verordnet die Bundesregierung:

*) Die §§ 3 bis 7 und 8 Abs. 3 und die Anhänge 1, 2 und 4 dienen der Umsetzung des Artikels 5 der Richtlinie 93/76/EWG des Rates vom 13. September 1993 zur Begrenzung der Kohlendioxidemissionen durch eine effizientere Energienutzung - SAVE - (ABl. EG Nr. L 237 S. 28), § 13 dient der Umsetzung des Artikels 2 dieser Richtlinie. § 11 Abs. 1 bis 3 und § 18 Nr. 1 dienen der Umsetzung der Richtlinie 92/42/EWG des Rates vom 21. Mai 1992 über die Wirkungsgrade von mit flüssigen oder gasförmigen Brennstoffen beschickten neuen Warmwasserheizkesseln (ABl. EG Nr. L 167 S. 17, L 195 S. 32), geändert durch Artikel 12 der Richtlinie 93/68/EWG des Rates vom 22. Juli 1993 (ABl. EG Nr. L 220 S. 1).

Die Verpflichtungen aus der Richtlinie 98/34/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 22. Juni 1998 über ein Informationsverfahren auf dem Gebiet der Normen und technischen Vorschriften und der Vorschriften für die Dienste der Informationsgesellschaft (ABl. EG Nr. L 204 S. 37), geändert durch die Richtlinie 98/48/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 20. Juli 1998 (ABl. EG Nr. L 217 S. 18), sind beachtet worden.

Inhaltsübersicht

Abschnitt 1

Allgemeine Vorschriften

- § 1 Geltungsbereich
- § 2 Begriffsbestimmungen

Abschnitt 2

Zu errichtende Gebäude

- § 3 Gebäude mit normalen Innentemperaturen
- § 4 Gebäude mit niedrigen Innentemperaturen
- § 5 Dichtheit, Mindestluftwechsel
- § 6 Mindestwärmeschutz, Wärmebrücken
- § 7 Gebäude mit geringem Volumen

Abschnitt 3

Bestehende Gebäude und Anlagen

- § 8 Änderung von Gebäuden
- § 9 Nachrüstung bei Anlagen und Gebäuden
- § 10 Aufrechterhaltung der energetischen Qualität

Abschnitt 4

Heizungstechnische Anlagen, Warmwasseranlagen

- § 11 Inbetriebnahme von Heizkesseln
- § 12 Verteilungseinrichtungen und Warmwasseranlagen

Abschnitt 5

Gemeinsame Vorschriften, Ordnungswidrigkeiten

- § 13 Ausweise über Energie- und Wärmebedarf, Energieverbrauchskennwerte
- § 14 Getrennte Berechnungen für Teile eines Gebäudes
- § 15 Regeln der Technik
- § 16 Ausnahmen
- § 17 Befreiungen
- § 18 Ordnungswidrigkeiten

Abschnitt 6

Schlussbestimmungen

§ 19 Übergangsvorschrift

§ 20 Inkrafttreten, Außerkrafttreten

Anhänge

Anhang 1 Anforderungen an zu errichtende Gebäude mit normalen Innentemperaturen (zu § 3)

Anhang 2 Anforderungen an zu errichtende Gebäude mit niedrigen Innentemperaturen (zu § 4)

Anhang 3 Anforderungen bei Änderung von Außenbauteilen bestehender Gebäude (zu § 8 Abs. 1) und bei Errichtung von Gebäuden mit geringem Volumen (§ 7)

Anhang 4 Anforderungen an die Dichtheit und den Mindestluftwechsel (zu § 5)

Anhang 5 Anforderungen zur Begrenzung der Wärmeabgabe von Wärmeverteilungs- und Warmwasserleitungen sowie Armaturen (zu § 12 Abs. 5)

Abschnitt 1

Allgemeine Vorschriften

§ 1

Geltungsbereich

(1) Diese Verordnung stellt Anforderungen an

1. Gebäude mit normalen Innentemperaturen (§ 2 Nr. 1 und 2) und
2. Gebäude mit niedrigen Innentemperaturen (§ 2 Nr. 3)

einschließlich ihrer Heizungs-, raumlufttechnischen und zur Warmwasserbereitung dienenden Anlagen.

(2) Diese Verordnung gilt mit Ausnahme des § 11 nicht für

1. Betriebsgebäude, die überwiegend zur Aufzucht oder zur Haltung von Tieren genutzt werden,
2. Betriebsgebäude, soweit sie nach ihrem Verwendungszweck großflächig und lang anhaltend offen gehalten werden müssen,
3. unterirdische Bauten,
4. Unterglasanlagen und Kulturräume für Aufzucht, Vermehrung und Verkauf von Pflanzen,
5. Traglufthallen, Zelte und sonstige Gebäude, die dazu bestimmt sind, wiederholt aufgestellt und zerlegt zu werden.

Auf Bestandteile des Heizsystems, die sich nicht im räumlichen Zusammenhang mit Gebäuden nach Absatz 1 befinden, ist nur § 11 anzuwenden.

§ 2

Begriffsbestimmungen

Im Sinne dieser Verordnung

1. sind Gebäude mit normalen Innentemperaturen solche Gebäude, die nach ihrem Verwendungszweck auf eine Innentemperatur von 19 Grad Celsius und mehr und jährlich mehr als vier Monate beheizt werden,
2. sind Wohngebäude solche Gebäude im Sinne von Nummer 1, die ganz oder deutlich überwiegend zum Wohnen genutzt werden,
3. sind Gebäude mit niedrigen Innentemperaturen solche Gebäude, die nach ihrem Verwendungszweck auf eine Innentemperatur von mehr als 12 Grad Celsius und weniger als 19 Grad Celsius und jährlich mehr als vier Monate beheizt werden,
4. sind beheizte Räume solche Räume, die auf Grund bestimmungsgemäßer Nutzung direkt oder durch Raumverbund beheizt werden,
5. sind erneuerbare Energien zu Heizungszwecken, zur Warmwasserbereitung oder zur Lüftung von Gebäuden eingesetzte und im räumlichen Zusammenhang dazu gewonnene Solarenergie, Umweltwärme, Erdwärme und Biomasse,
6. ist ein Heizkessel der aus Kessel und Brenner bestehende Wärmeerzeuger, der zur Übertragung der durch die Verbrennung freigesetzten Wärme an den Wärmeträger Wasser dient,

7. sind Geräte der mit einem Brenner auszurüstende Kessel und der zur Ausrüstung eines Kessels bestimmte Brenner,
8. ist die Nennwärmeleistung die höchste von dem Heizkessel im Dauerbetrieb nutzbar abgegebene Wärmemenge je Zeiteinheit; ist der Heizkessel für einen Nennwärmeleistungsbereich eingerichtet, so ist die Nennwärmeleistung die in den Grenzen des Nennwärmeleistungsbereichs fest eingestellte und auf einem Zusatzschild angegebene höchste nutzbare Wärmeleistung; ohne Zusatzschild gilt als Nennwärmeleistung der höchste Wert des Nennwärmeleistungsbereichs,
9. ist ein Standardheizkessel ein Heizkessel, bei dem die durchschnittliche Betriebstemperatur durch seine Auslegung beschränkt sein kann,
10. ist ein Niedertemperatur-Heizkessel ein Heizkessel, der kontinuierlich mit einer Eintrittstemperatur von 35 bis 40 Grad Celsius betrieben werden kann und in dem es unter bestimmten Umständen zur Kondensation des in den Abgasen enthaltenen Wasserdampfes kommen kann,
11. ist ein Brennwertkessel ein Heizkessel, der für die Kondensation eines Großteils des in den Abgasen enthaltenen Wasserdampfes konstruiert ist.

Abschnitt 2

Zu errichtende Gebäude

§ 3

Gebäude mit normalen Innentemperaturen

- (1) Zu errichtende Gebäude mit normalen Innentemperaturen sind so auszuführen, dass
 1. bei Wohngebäuden der auf die Gebäudenutzfläche bezogene Jahres-Primärenergiebedarf und
 2. bei anderen Gebäuden der auf das beheizte Gebäudevolumen bezogene Jahres-Primärenergiebedarfsowie der spezifische, auf die wärmeübertragende Umfassungsfläche bezogene Transmissionswärmeverlust die Höchstwerte in Anhang 1 Tabelle 1 nicht überschreiten.
- (2) Der Jahres-Primärenergiebedarf und der spezifische, auf die wärmeübertragende Umfassungsfläche bezogene Transmissionswärmeverlust sind zu berechnen

1. bei Wohngebäuden, deren Fensterflächenanteil 30 vom Hundert nicht überschreitet, nach dem vereinfachten Verfahren nach Anhang 1 Nr. 3 oder nach dem in Anhang 1 Nr. 2 festgelegten Nachweisverfahren,
2. bei anderen Gebäuden nach dem in Anhang 1 Nr. 2 festgelegten Nachweisverfahren.

(3) Die Begrenzung des Jahres-Primärenergiebedarfs nach Absatz 1 gilt nicht für Gebäude, die beheizt werden

1. mindestens zu 70 vom Hundert durch Wärme aus Kraft-Wärme-Kopplung,
2. mindestens zu 70 vom Hundert durch erneuerbare Energien mittels selbsttätig arbeitender Wärmeerzeuger,
3. überwiegend durch Einzelfeuerstätten für einzelne Räume oder Raumgruppen sowie sonstige Wärmeerzeuger, für die keine Regeln der Technik vorliegen.

Bei Gebäuden nach Satz 1 Nr. 3 darf der spezifische, auf die wärmeübertragende Umfassungsfläche bezogene Transmissionswärmeverlust 76 vom Hundert des jeweiligen Höchstwertes nach Anhang 1 Tabelle 1 Spalte 5 nicht überschreiten.

(4) Um einen energiesparenden sommerlichen Wärmeschutz sicherzustellen, sind bei Gebäuden, deren Fensterflächenanteil 30 vom Hundert überschreitet, die Anforderungen an die Sonneneintragskennwerte oder die Kühlleistung nach Anhang 1 Nr. 2.9 einzuhalten.

§ 4

Gebäude mit niedrigen Innentemperaturen

Bei zu errichtenden Gebäuden mit niedrigen Innentemperaturen darf der nach Anhang 2 Nr. 2 zu bestimmende spezifische, auf die wärmeübertragende Umfassungsfläche bezogene Transmissionswärmeverlust die Höchstwerte in Anhang 2 Nr. 1 nicht überschreiten.

§ 5

Dichtheit, Mindestluftwechsel

(1) Zu errichtende Gebäude sind so auszuführen, dass die wärmeübertragende Umfassungsfläche einschließlich der Fugen dauerhaft luftundurchlässig entsprechend dem Stand der Technik abgedichtet ist. Dabei muss die Fugendurchlässigkeit

außen liegender Fenster, Fenstertüren und Dachflächenfenster Anhang 4 Nr. 1 genügen. Wird die Dichtheit nach den Sätzen 1 und 2 überprüft, ist Anhang 4 Nr. 2 einzuhalten.

(2) Zu errichtende Gebäude sind so auszuführen, dass der zum Zwecke der Gesundheit und Beheizung erforderliche Mindestluftwechsel sichergestellt ist. Werden dazu andere Lüftungseinrichtungen als Fenster verwendet, müssen diese Anhang 4 Nr. 3 entsprechen.

§ 6

Mindestwärmeschutz, Wärmebrücken

(1) Bei zu errichtenden Gebäuden sind Bauteile, die gegen die Außenluft, das Erdreich oder Gebäudeteile mit wesentlich niedrigeren Innentemperaturen abgrenzen, so auszuführen, dass die Anforderungen des Mindestwärmeschutzes nach den anerkannten Regeln der Technik eingehalten werden.

(2) Zu errichtende Gebäude sind so auszuführen, dass der Einfluss konstruktiver Wärmebrücken auf den Jahres-Heizwärmebedarf nach den Regeln der Technik und den im jeweiligen Einzelfall wirtschaftlich vertretbaren Maßnahmen so gering wie möglich gehalten wird. Der verbleibende Einfluss der Wärmebrücken ist bei der Ermittlung des spezifischen, auf die wärmeübertragende Umfassungsfläche bezogene Transmissionswärmeverlusts und des Jahres-Primärenergiebedarfs nach Anhang 1 Nr. 2.5 zu berücksichtigen.

§ 7

Gebäude mit geringem Volumen

Übersteigt das beheizte Gebäudevolumen eines zu errichtenden Gebäudes 100 Kubikmeter nicht und werden die Anforderungen des Abschnitts 4 eingehalten, gelten die übrigen Anforderungen dieser Verordnung als erfüllt, wenn die Wärmedurchgangskoeffizienten der Außenbauteile die in Anhang 3 Tabelle 1 genannten Werte nicht überschreiten.

Abschnitt 3

Bestehende Gebäude und Anlagen

§ 8

Änderung von Gebäuden

(1) Soweit bei beheizten Räumen in Gebäuden nach § 1 Abs. 1 Änderungen gemäß Anhang 3 Nr. 1 bis 5 durchgeführt werden, dürfen die in Anhang 3 Tabelle 1 festgelegten Wärmedurchgangskoeffizienten der betroffenen Außenbauteile nicht überschritten werden. Dies gilt nicht für Änderungen, die

1. bei Außenwänden, außen liegenden Fenstern, Fenstertüren und Dachflächenfenstern weniger als 20 vom Hundert der Bauteilflächen gleicher Orientierung im Sinne von Anhang 1 Tabelle 2 Zeile 4 Spalte 3 oder
 2. bei anderen Außenbauteilen weniger als 20 vom Hundert der jeweiligen Bauteilfläche
- betreffen.

(2) Absatz 1 Satz 1 gilt als erfüllt, wenn das geänderte Gebäude insgesamt den jeweiligen Höchstwert nach Anhang 1 Tabelle 1 oder Anhang 2 Tabelle 1 um nicht mehr als 40 vom Hundert überschreitet.

(3) Bei der Erweiterung des beheizten Gebäudevolumens um zusammenhängend mindestens 30 Kubikmeter sind für den neuen Gebäudeteil die jeweiligen Vorschriften für zu errichtende Gebäude einzuhalten. Ein Energiebedarfsausweis ist nur unter den Voraussetzungen des § 13 Abs. 2 auszustellen.

§ 9

Nachrüstung bei Anlagen und Gebäuden

(1) Eigentümer von Gebäuden müssen Heizkessel, die mit flüssigen oder gasförmigen Brennstoffen beschickt werden und vor dem 1. Oktober 1978 eingebaut oder aufgestellt worden sind, bis zum 31. Dezember 2006 außer Betrieb nehmen. Heizkessel nach Satz 1, die nach § 11 Abs. 1 in Verbindung mit § 23 der Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen so ertüchtigt wurden, dass die zulässigen Abgasverlustgrenzwerte eingehalten sind, oder deren Brenner nach dem 1. November 1996 erneuert worden sind, müssen bis zum 31. Dezember 2008 außer Betrieb genommen werden. Die Sätze 1 und 2 sind nicht anzuwenden, wenn die vorhande-

nen Heizkessel Niedertemperatur-Heizkessel oder Brennwertkessel sind, sowie auf heizungstechnische Anlagen, deren Nennwärmeleistung weniger als 4 Kilowatt oder mehr als 400 Kilowatt beträgt, und auf Heizkessel nach § 11 Abs. 3 Nr. 2 bis 4.

(2) Eigentümer von Gebäuden müssen bei heizungstechnischen Anlagen ungedämmte, zugängliche Wärmeverteilungs- und Warmwasserleitungen sowie Armaturen, die sich nicht in beheizten Räumen befinden, bis zum 31. Dezember 2006 nach Anhang 5 zur Begrenzung der Wärmeabgabe dämmen.

(3) Eigentümer von Gebäuden mit normalen Innentemperaturen müssen nicht begehbare, aber zugängliche oberste Geschossdecken beheizter Räume bis zum 31. Dezember 2006 so dämmen, dass der Wärmedurchgangskoeffizient der Geschossdecke $0,30 \text{ Watt}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ nicht überschreitet.

(4) Bei Wohngebäuden mit nicht mehr als zwei Wohnungen, von denen zum Zeitpunkt des Inkrafttretens dieser Verordnung eine der Eigentümer selbst bewohnt, sind die Anforderungen nach den Absätzen 1 bis 3 nur im Falle eines Eigentümerwechsels zu erfüllen. Die Frist beträgt zwei Jahre ab dem Eigentumsübergang; sie läuft jedoch nicht vor dem 31. Dezember 2006, in den Fällen des Absatzes 1 Satz 2 nicht vor dem 31. Dezember 2008, ab.

§ 10

Aufrechterhaltung der energetischen Qualität

(1) Außenbauteile dürfen nicht in einer Weise verändert werden, dass die energetische Qualität des Gebäudes verschlechtert wird. Das Gleiche gilt für Anlagen nach dem Abschnitt 4, soweit sie zum Nachweis der Anforderungen energieeinsparrechtlicher Vorschriften des Bundes zu berücksichtigen waren.

(2) Energiebedarfssenkende Einrichtungen in Anlagen nach Absatz 1 sind betriebsbereit zu erhalten und bestimmungsgemäß zu nutzen. Satz 1 gilt als erfüllt, soweit der Einfluss einer energiebedarfssenkenden Einrichtung auf den Jahres-Primärenergiebedarf durch anlagentechnische oder bauliche Maßnahmen ausgeglichen wird.

(3) Heizungs- und Warmwasseranlagen sowie raumluftechnische Anlagen sind sachgerecht zu bedienen, zu warten und instand zu halten. Für die Wartung und In-

Instandhaltung ist Fachkunde erforderlich. Fachkundig ist, wer die zur Wartung und Instandhaltung notwendigen Fachkenntnisse und Fertigkeiten besitzt.

Abschnitt 4

Heizungstechnische Anlagen, Warmwasseranlagen

§ 11

Inbetriebnahme von Heizkesseln

(1) Heizkessel, die mit flüssigen oder gasförmigen Brennstoffen beschickt werden und deren Nennwärmeleistung mindestens 4 Kilowatt und höchstens 400 Kilowatt beträgt, dürfen zum Zwecke der Inbetriebnahme in Gebäuden nur eingebaut oder aufgestellt werden, wenn sie mit der CE-Kennzeichnung nach § 5 Abs. 1 und 2 der Verordnung über das Inverkehrbringen von Heizkesseln und Geräten nach dem Bauproduktengesetz vom 28. April 1998 (BGBl. I S. 796) oder nach Artikel 7 Abs. 1 Satz 2 der Richtlinie 92/42/EWG des Rates vom 21. Mai 1992 über die Wirkungsgrade von mit flüssigen oder gasförmigen Brennstoffen beschickten neuen Warmwasserheizkesseln (ABl. EG Nr. L 167 S. 17, L 195 S. 32), geändert durch Artikel 12 der Richtlinie 93/68/EWG des Rates vom 22. Juli 1993 (ABl. EG Nr. L 220 S. 1), versehen sind. Satz 1 gilt auch für Heizkessel, die aus Geräten zusammengefügt werden. Dabei sind die Parameter zu beachten, die sich aus der den Geräten beiliegenden EG-Konformitätserklärung ergeben.

(2) Soweit Gebäude, deren Jahres-Primärenergiebedarf nicht nach § 3 Abs. 1 begrenzt ist, mit Heizkesseln nach Absatz 1 ausgestattet werden, müssen diese Niedertemperatur-Heizkessel oder Brennwertkessel sein. Ausgenommen sind bestehende Gebäude mit normalen Innentemperaturen, wenn der Jahres-Primärenergiebedarf den jeweiligen Höchstwert nach Anhang 1 Tabelle 1 um nicht mehr als 40 vom Hundert überschreitet.

(3) Absatz 1 ist nicht anzuwenden auf

1. einzeln produzierte Heizkessel,
2. Heizkessel, die für den Betrieb mit Brennstoffen ausgelegt sind, deren Eigenschaften von den marktüblichen flüssigen und gasförmigen Brennstoffen erheblich abweichen,

3. Anlagen zur ausschließlichen Warmwasserbereitung,
4. Küchenherde und Geräte, die hauptsächlich zur Beheizung des Raumes, in dem sie eingebaut oder aufgestellt sind, ausgelegt sind, daneben aber auch Warmwasser für die Zentralheizung und für sonstige Gebrauchszwecke liefern,
5. Geräte mit einer Nennwärmeleistung von weniger als 6 Kilowatt zur Versorgung eines Warmwasserspeichersystems mit Schwerkraftumlauf.

(4) Heizkessel, deren Nennwärmeleistung kleiner als 4 Kilowatt oder größer als 400 Kilowatt ist, und Heizkessel nach Absatz 3 dürfen nur dann zum Zwecke der Inbetriebnahme in Gebäuden eingebaut oder aufgestellt werden, wenn sie nach anerkannten Regeln der Technik gegen Wärmeverluste gedämmt sind.

§ 12

Verteilungseinrichtungen und Warmwasseranlagen

(1) Wer Zentralheizungen in Gebäude einbaut oder einbauen lässt, muss diese mit zentralen selbsttätig wirkenden Einrichtungen zur Verringerung und Abschaltung der Wärmezufuhr sowie zur Ein- und Ausschaltung elektrischer Antriebe in Abhängigkeit von

1. der Außentemperatur oder einer anderen geeigneten Führungsgröße und
2. der Zeit

ausstatten. Soweit die in Satz 1 geforderten Ausstattungen bei bestehenden Gebäuden nicht vorhanden sind, muss der Eigentümer sie nachrüsten oder nachrüsten lassen. Bei Wasserheizungen, die ohne Wärmeübertrager an eine Nah- oder Fernwärmeversorgung angeschlossen sind, gilt die Vorschrift hinsichtlich der Verringerung und Abschaltung der Wärmezufuhr auch ohne entsprechende Einrichtungen in den Haus- und Kundenanlagen als erfüllt, wenn die Vorlauftemperatur des Nah- oder Fernheiznetzes in Abhängigkeit von der Außentemperatur und der Zeit durch entsprechende Einrichtungen in der zentralen Erzeugungsanlage geregelt wird.

(2) Wer heizungstechnische Anlagen mit Wasser als Wärmeträger in Gebäude einbaut oder einbauen lässt, muss diese mit selbsttätig wirkenden Einrichtungen zur raumweisen Regelung der Raumtemperatur ausstatten. Dies gilt nicht für Einzelheizgeräte, die zum Betrieb mit festen oder flüssigen Brennstoffen eingerichtet sind. Mit Ausnahme von Wohngebäuden ist für Gruppen von Räumen gleicher Art und Nut-

zung eine Gruppenregelung zulässig. Fußbodenheizungen in Gebäuden, die vor dem Inkrafttreten dieser Verordnung errichtet worden sind, dürfen abweichend von Satz 1 mit Einrichtungen zur raumweisen Anpassung der Wärmeleistung an die Heizlast ausgestattet werden. Soweit die in Satz 1 bis 3 geforderten Ausstattungen bei bestehenden Gebäuden nicht vorhanden sind, muss der Eigentümer sie nachrüsten.

(3) Wer Umwälzpumpen in Heizkreisen von Zentralheizungen mit mehr als 25 Kilowatt Nennwärmeleistung erstmalig einbaut, einbauen lässt oder vorhandene ersetzt oder ersetzen lässt, hat dafür Sorge zu tragen, dass diese so ausgestattet oder beschaffen sind, dass die elektrische Leistungsaufnahme dem betriebsbedingten Förderbedarf selbsttätig in mindestens drei Stufen angepasst wird, soweit sicherheitstechnische Belange des Heizkessels dem nicht entgegenstehen.

(4) Wer in Warmwasseranlagen Zirkulationspumpen einbaut oder einbauen lässt, muss diese mit selbsttätig wirkenden Einrichtungen zur Ein- und Ausschaltung ausstatten.

(5) Wer Wärmeverteilungs- und Warmwasserleitungen sowie Armaturen in Gebäuden erstmalig einbaut oder vorhandene ersetzt, muss deren Wärmeabgabe nach Anhang 5 begrenzen.

(6) Wer Einrichtungen, in denen Heiz- oder Warmwasser gespeichert wird, erstmalig in Gebäude einbaut oder vorhandene ersetzt, muss deren Wärmeabgabe nach anerkannten Regeln der Technik begrenzen.

Abschnitt 5

Gemeinsame Vorschriften, Ordnungswidrigkeiten

§ 13

Ausweise über Energie- und Wärmebedarf, Energieverbrauchskennwerte

(1) Für zu errichtende Gebäude mit normalen Innentemperaturen sind die wesentlichen Ergebnisse der nach dieser Verordnung erforderlichen Berechnungen, insbesondere die spezifischen Werte des Transmissionswärmeverlusts, der Anlagenaufwandszahl der Anlagen für Heizung, Warmwasserbereitung und Lüftung, des Endenergiebedarfs nach einzelnen Energieträgern und des Jahres-Primärenergiebedarfs

in einem Energiebedarfsausweis zusammenzustellen. In dem Ausweis ist auf die normierten Bedingungen hinzuweisen. Einzelheiten über den Energiebedarfsausweis werden in einer Allgemeinen Verwaltungsvorschrift der Bundesregierung mit Zustimmung des Bundesrates bestimmt. Rechte Dritter werden durch den Ausweis nicht berührt.

(2) Für Gebäude mit normalen Innentemperaturen, die wesentlich geändert werden, ist ein Energiebedarfsausweis entsprechend Absatz 1 auszustellen, wenn im Zusammenhang mit den wesentlichen Änderungen die erforderlichen Berechnungen in entsprechender Anwendung des Absatzes 1 durchgeführt worden sind. Einzelheiten, insbesondere bezüglich der erleichterten Feststellung der Eigenschaften von Gebäudeteilen, die von der Änderung nicht betroffen sind, werden in der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift nach Absatz 1 Satz 3 geregelt. Eine wesentliche Änderung liegt vor, wenn

1. innerhalb eines Jahres mindestens drei der in Anhang 3 Nr. 1 bis 5 genannten Änderungen in Verbindung mit dem Austausch eines Heizkessels oder der Umstellung einer Heizungsanlage auf einen anderen Energieträger durchgeführt werden oder
2. das beheizte Gebäudevolumen um mehr als 50 vom Hundert erweitert wird.

(3) Für zu errichtende Gebäude mit niedrigen Innentemperaturen sind die wesentlichen Ergebnisse der Berechnungen nach dieser Verordnung, insbesondere der spezifische, auf die wärmeübertragende Umfassungsfläche bezogene Transmissionswärmeverlust, in einem Wärmebedarfsausweis zusammenzustellen. Absatz 1 Satz 2 bis 4 gilt entsprechend.

(4) Der Energiebedarfsausweis nach den Absätzen 1 und 2 oder der Wärmebedarfsausweis nach Absatz 3 ist den nach Landesrecht zuständigen Behörden auf Verlangen vorzulegen und Käufern, Mietern und sonstigen Nutzungsberechtigten der Gebäude auf Anforderung zur Einsichtnahme zugänglich zu machen.

(5) Soweit ein Energiebedarfsausweis nach den Absätzen 1 oder 2 nicht zu erstellen ist, können insbesondere die Eigentümer von Wohngebäuden, die zur verbrauchsabhängigen Abrechnung der Heizkosten nach der Verordnung über die Heizkostenabrechnung verpflichtet sind, den Käufern, Mietern, sonstigen Nutzungs-

berechtigten und Miet- und Kaufinteressenten den Energieverbrauchskennwert zusammen mit den wesentlichen Gebäude- und Nutzungsmerkmalen gemäß Absatz 6 Satz 2 mitteilen. Energieverbrauchskennwerte im Sinne dieser Vorschrift sind die witterungsbereinigten Energieverbräuche für Raumheizung in Kilowattstunden pro Quadratmeter Wohnfläche des Gebäudes und Jahr. Für die Witterungsbereinigung des Energieverbrauchs ist das in VDI 3807 : Juni 1994*) angegebene Verfahren anzuwenden. Die für die Witterungsbereinigung erforderlichen Daten sind den Bekanntmachungen nach Absatz 6 zu entnehmen.

(6) Als Vergleichsmaßstab für Energieverbrauchskennwerte nach Absatz 5 gibt das Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen im Einvernehmen mit dem Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie im Bundesanzeiger durchschnittliche Energieverbrauchskennwerte und deren Bandbreiten, die den topographischen Unterschieden in den einzelnen Klimazonen Rechnung tragen, sowie die für die Witterungsbereinigung erforderlichen Daten bekannt. Bei der Bekanntmachung durchschnittlicher Energieverbrauchskennwerte ist sachgerecht nach den wesentlichen Gebäude- und Nutzungsmerkmalen zu unterscheiden.

(7) Die Ausweise nach den Absätzen 1 bis 3 und die Energieverbrauchskennwerte nach Absatz 5 sind energiebezogene Merkmale eines Gebäudes im Sinne der Richtlinie 93/76/EWG des Rates vom 13. September 1993 zur Begrenzung der Kohlendioxidemissionen durch eine effizientere Energienutzung (ABl. EG Nr. L 237 S. 28).

§ 14

Getrennte Berechnungen für Teile eines Gebäudes

Teile eines Gebäudes dürfen wie eigenständige Gebäude behandelt werden, insbesondere wenn sie sich hinsichtlich der Nutzung, der Innentemperatur oder des Fensterflächenanteils unterscheiden. Für die Trennwände zwischen den Gebäudeteilen gelten Anhang 1 Nr. 2.7 und Anhang 2 Nr. 2 Satz 3 entsprechend. Soweit im Einzelfall nach Satz 1 verfahren wird, ist dies für dieses Gebäude in den Ausweisen nach § 13 Abs. 1 bis 3 deutlich zu machen.

*) Veröffentlicht im Beuth-Verlag GmbH, Berlin

§ 15

Regeln der Technik

(1) Das Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen kann im Einvernehmen mit dem Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie durch Bekanntmachung im Bundesanzeiger auf Veröffentlichungen sachverständiger Stellen über anerkannte Regeln der Technik hinweisen, soweit in dieser Verordnung auf solche Regeln Bezug genommen wird.

(2) Zu den anerkannten Regeln der Technik gehören auch Normen, technische Vorschriften oder sonstige Bestimmungen anderer Mitgliedstaaten der Europäischen Gemeinschaft oder sonstiger Vertragsstaaten des Abkommens über den Europäischen Wirtschaftsraum, wenn ihre Einhaltung das geforderte Schutzniveau in Bezug auf Energieeinsparung und Wärmeschutz dauerhaft gewährleistet.

(3) Soweit eine Bewertung von Baustoffen, Bauteilen und Anlagen im Hinblick auf die Anforderungen dieser Verordnung auf Grund anerkannter Regeln der Technik nicht möglich ist, weil solche Regeln nicht vorliegen oder wesentlich von ihnen abgewichen wird, sind gegenüber der nach Landesrecht zuständigen Behörde die für eine Bewertung erforderlichen Nachweise zu führen. Der Nachweis nach Satz 1 entfällt für Baustoffe, Bauteile und Anlagen,

1. die nach den Vorschriften des Bauproduktengesetzes oder anderer Rechtsvorschriften zur Umsetzung von Richtlinien der Europäischen Gemeinschaften, deren Regelungen auch Anforderungen zur Energieeinsparung umfassen, mit der CE-Kennzeichnung versehen sind und nach diesen Vorschriften zulässige und von den Ländern bestimmte Klassen- und Leistungsstufen aufweisen, oder
2. bei denen nach bauordnungsrechtlichen Vorschriften über die Verwendung von Bauprodukten auch die Einhaltung dieser Verordnung sichergestellt wird.

§ 16

Ausnahmen

(1) Soweit bei Baudenkmälern oder sonstiger besonders erhaltenswerter Bausubstanz die Erfüllung der Anforderungen dieser Verordnung die Substanz oder das Erscheinungsbild beeinträchtigen und andere Maßnahmen zu einem unverhältnismäßig

hohen Aufwand führen würden, lassen die nach Landesrecht zuständigen Behörden auf Antrag Ausnahmen zu.

(2) Soweit die Ziele dieser Verordnung durch andere als in dieser Verordnung vorgesehene Maßnahmen im gleichen Umfang erreicht werden, lassen die nach Landesrecht zuständigen Behörden auf Antrag Ausnahmen zu. In einer Allgemeinen Verwaltungsvorschrift kann die Bundesregierung mit Zustimmung des Bundesrates bestimmen, unter welchen Bedingungen die Voraussetzungen nach Satz 1 als erfüllt gelten.

§ 17

Befreiungen

Die nach Landesrecht zuständigen Behörden können auf Antrag von den Anforderungen dieser Verordnung befreien, soweit die Anforderungen im Einzelfall wegen besonderer Umstände durch einen unangemessenen Aufwand oder in sonstiger Weise zu einer unbilligen Härte führen. Eine unbillige Härte liegt insbesondere vor, wenn die erforderlichen Aufwendungen innerhalb der üblichen Nutzungsdauer, bei Anforderungen an bestehende Gebäude innerhalb angemessener Frist durch die eintretenden Einsparungen nicht erwirtschaftet werden können.

§ 18

Ordnungswidrigkeiten

Ordnungswidrig im Sinne des § 8 Abs. 1 Nr. 1 des Energieeinsparungsgesetzes handelt, wer vorsätzlich oder fahrlässig

1. entgegen § 11 Abs. 1 Satz 1, auch in Verbindung mit Satz 2, einen Heizkessel einbaut oder aufstellt,
2. entgegen § 12 Abs. 1 Satz 1 oder Abs. 2 Satz 1 eine Zentralheizung oder eine heizungstechnische Anlage nicht oder nicht rechtzeitig ausstattet,
3. entgegen § 12 Abs. 3 nicht dafür Sorge trägt, dass Umwälzpumpen in der dort genannten Weise ausgestattet oder beschaffen sind oder
4. entgegen § 12 Abs. 5 die Wärmeabgabe von Wärmeverteilungs- und Warmwasserleitungen sowie Armaturen nicht oder nicht rechtzeitig begrenzt.

Abschnitt 6

Schlussbestimmungen

§ 19

Übergangsvorschrift

Diese Verordnung ist nicht anzuwenden auf die Errichtung und die Änderung von Gebäuden, wenn für das Vorhaben vor dem Inkrafttreten dieser Verordnung der Bauantrag gestellt oder die Bauanzeige erstattet ist. Auf genehmigungs- und anzeigefreie Bauvorhaben ist diese Verordnung nicht anzuwenden, wenn mit der Bauausführung vor dem Inkrafttreten dieser Verordnung begonnen worden ist. Auf Bauvorhaben nach den Sätzen 1 und 2 sind die bis zum 31. Januar 2002 geltenden Vorschriften der Wärmeschutzverordnung vom 16. August 1994 (BGBl. I S. 2121) und der Heizungsanlagen-Verordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 4. Mai 1998 (BGBl. I S. 851) weiter anzuwenden.

§ 20

Inkrafttreten, Außerkrafttreten

(1) § 13 Abs. 1 Satz 3, § 15 und § 16 Abs. 2 dieser Verordnung treten am Tage nach der Verkündung in Kraft. Im Übrigen tritt diese Verordnung am 1. Februar 2002 in Kraft.

(2) Am 1. Februar 2002 treten die Wärmeschutzverordnung vom 16. August 1994 (BGBl. I S. 2121), geändert durch Artikel 350 der Verordnung vom 29. Oktober 2001 (BGBl. I S. 2785), und die Heizungsanlagen-Verordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 4. Mai 1998 (BGBl. I S. 851), geändert durch Artikel 349 der Verordnung vom 29. Oktober 2001 (BGBl. S. 2785), außer Kraft.

Der Bundesrat hat zugestimmt.

Berlin, den 16. November 2001

Der Bundeskanzler
Gerhard Schröder

Der Bundesminister
für Wirtschaft und Technologie

Müller

Der Bundesminister
für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen

Klaus Bodewig

Anhang 1

Anforderungen an zu errichtende Gebäude mit normalen Innentemperaturen (zu § 3)

1. Höchstwerte des Jahres-Primärenergiebedarfs und des spezifischen Transmissionswärmeverlusts (zu § 3 Abs. 1)

1.1 Tabelle der Höchstwerte

Tabelle 1

Höchstwerte des auf die Gebäudenutzfläche und des auf das beheizte Gebäudevolumen bezogenen Jahres-Primärenergiebedarfs und des spezifischen, auf die wärmeübertragende Umfassungsfläche bezogenen Transmissionswärmeverlusts in Abhängigkeit vom Verhältnis A/V_e

Verhältnis A/V_e	Jahres-Primärenergiebedarf			Spezifischer, auf die wärmeübertragende Umfassungsfläche bezogener Transmissionswärmeverlust	
	$Q_{p''}$ in kWh/(m ² ·a) bezogen auf die Gebäudenutzfläche	$Q_{p''}$ in kWh/(m ² ·a) bezogen auf die Gebäudenutzfläche	$Q_{p'}$ in kWh/(m ³ ·a) bezogen auf das beheizte Gebäudevolumen	H_T' in W/(m ² ·K)	
	Wohngebäude außer solchen nach Spalte 3	Wohngebäude mit überwiegender Warmwasserbereitung aus elektrischem Strom	andere Gebäude	Nichtwohngebäude mit einem Fensterflächenanteil ≤30% und Wohngebäude	Nichtwohngebäude mit einem Fensterflächenanteil >30%
1	2	3	4	5	6
≤0,2	$66,00 + 2600/(100+A_N)$	88,00	14,72	1,05	1,55
0,3	$73,53 + 2600/(100+A_N)$	95,53	17,13	0,80	1,15
0,4	$81,06 + 2600/(100+A_N)$	103,06	19,54	0,68	0,95
0,5	$88,58 + 2600/(100+A_N)$	110,58	21,95	0,60	0,83
0,6	$96,11 + 2600/(100+A_N)$	118,11	24,36	0,55	0,75
0,7	$103,64 + 2600/(100+A_N)$	125,64	26,77	0,51	0,69
0,8	$111,17 + 2600/(100+A_N)$	133,17	29,18	0,49	0,65
0,9	$118,70 + 2600/(100+A_N)$	140,70	31,59	0,47	0,62
1	$126,23 + 2600/(100+A_N)$	148,23	34,00	0,45	0,59
≥1,05	$130,00 + 2600/(100+A_N)$	152,00	35,21	0,44	0,58

1.2 Zwischenwerte zu Tabelle 1

Zwischenwerte zu den in Tabelle 1 festgelegten Höchstwerten sind nach folgenden Gleichungen zu ermitteln:

Spalte 2 $Q_{p''} = 50,94 + 75,29 \cdot A/V_e + 2600/(100 + A_N)$ in kWh/(m²·a)

Spalte 3 $Q_{p''} = 72,94 + 75,29 \cdot A/V_e$ in kWh/(m²·a)

Spalte 4 $Q_{p'} = 9,9 + 24,1 \cdot A/V_e$ in kWh/(m³·a)

chenen Betriebes durch eine Widerstandsheizung Wärme in einem geeigneten Speichermedium speichern.

2.1.3 Werden Ein- und Zweifamilienhäuser mit Niedertemperaturkesseln ausgestattet, deren Systemtemperatur 55/45 °C überschreitet, erhöht sich bei monolithischer Außenwandkonstruktion der Höchstwert des zulässigen Jahres-Primärenergiebedarfs Q_p'' in Tabelle 1 jeweils um 3 vom Hundert. Diese Regelung gilt für die Dauer von fünf Jahren ab dem 1. Februar 2002.

2.2 Berücksichtigung der Warmwasserbereitung bei Wohngebäuden

Bei Wohngebäuden ist der Energiebedarf für Warmwasser in der Berechnung des Jahres-Primärenergiebedarfs zu berücksichtigen. Als Nutz-Wärmebedarf für die Warmwasserbereitung Q_W im Sinne von DIN V 4701-10: 2001-02 sind 12,5 kWh/(m²·a) anzusetzen.

2.3 Berechnung des spezifischen Transmissionswärmeverlusts

Der spezifische Transmissionswärmeverlust H_T ist nach DIN EN 832 : 1998-12 mit den in DIN V 4108 - 6: 2000-11 Anhang D genannten Randbedingungen zu ermitteln. In DIN V 4108 - 6: 2000-11 angegebene Vereinfachungen für den Berechnungsgang nach DIN EN 832 : 1998-12 dürfen angewandt werden.

2.4 Beheiztes Luftvolumen

Bei den Berechnungen gemäß Nr. 2.1 ist das beheizte Luftvolumen V nach DIN EN 832 :1998–12 zu ermitteln. Vereinfacht darf es wie folgt berechnet werden:

$$V = 0,76 V_e \quad \text{bei Gebäuden bis zu 3 Vollgeschossen}$$

$$V = 0,80 V_e \quad \text{in den übrigen Fällen.}$$

2.5 Wärmebrücken

Wärmebrücken sind bei der Ermittlung des Jahres-Heizwärmebedarfs auf eine der folgenden Arten zu berücksichtigen:

- a) Berücksichtigung durch Erhöhung der Wärmedurchgangskoeffizienten um $\Delta U_{WB} = 0,10 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ für die gesamte wärmeübertragende Umfassungsfläche,
- b) bei Anwendung von Planungsbeispielen nach DIN 4108 Bbl 2 : 1998-08 Berücksichtigung durch Erhöhung der Wärmedurchgangskoeffizienten um $\Delta U_{WB} = 0,05 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ für die gesamte wärmeübertragende Umfassungsfläche,
- c) durch genauen Nachweis der Wärmebrücken nach DIN V 4108 - 6: 2000–11 in Verbindung mit weiteren anerkannten Regeln der Technik

Soweit der Wärmebrückeneinfluss bei Außenbauteilen bereits bei der Bestimmung des Wärmedurchlasskoeffizienten U berücksichtigt worden ist, darf die wärmeübertragende Umfassungsfläche A bei der Berücksichtigung des Wärmebrückeneinflusses nach Buchstabe a, b oder c um die entsprechende Bauteilfläche vermindert werden.

2.6 Ermittlung der solaren Warmegewinne bei Fertighäusern und vergleichbaren Gebäuden

Werden Gebäude nach Plänen errichtet, die für mehrere Gebäude an verschiedenen Standorten erstellt worden sind, dürfen bei der Berechnung die solaren Gewinne so ermittelt werden, als wären alle Fenster dieser Gebäude nach Osten oder Westen orientiert.

2.7 Aneinander gereihte Bebauung

Bei der Berechnung von aneinander gereihten Gebäuden werden Gebäudetrennwände

- a) zwischen Gebäuden mit normalen Innentemperaturen als nicht wärmedurchlässig angenommen und bei der Ermittlung der Werte A und A/V_e nicht berücksichtigt,
- b) zwischen Gebäuden mit normalen Innentemperaturen und Gebäuden mit niedrigen Innentemperaturen bei der Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten mit einem Temperatur-Korrekturfaktor F_u nach DIN V 4108 - 6: 2000-11 gewichtet und
- c) zwischen Gebäuden mit normalen Innentemperaturen und Gebäuden mit wesentlich niedrigeren Innentemperaturen im Sinne von DIN 4108 - 2: 2001-03 bei der Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten mit einem Temperatur-Korrekturfaktor $F_u = 0,5$ gewichtet.

Werden beheizte Teile eines Gebäudes getrennt berechnet, gilt Satz 1 Buchstabe a sinngemäß für die Trennflächen zwischen den Gebäudeteilen. Werden aneinander gereihte Gebäude gleichzeitig erstellt, dürfen sie hinsichtlich der Anforderungen des § 3 wie ein Gebäude behandelt werden. § 13 bleibt unberührt.

Ist die Nachbarbebauung bei aneinander gereihter Bebauung nicht gesichert, müssen die Trennwände mindestens den Mindestwärmeschutz nach § 6 Abs. 1 aufweisen.

2.8 Fensterflächenanteil (zu § 3 Abs. 2 und 4 und zu Anhang 1 Nr. 1)

Der Fensterflächenanteil des gesamten Gebäudes f nach § 3 Abs. 2 und 4 ist wie folgt zu ermitteln:

$$f = \frac{A_w}{A_w + A_{AW}}$$

mit

A_w Fläche der Fenster

A_{AW} Fläche der Außenwände.

Wird ein Dachgeschoss beheizt, so sind bei der Ermittlung des Fensterflächenanteils die Fläche aller Fenster des beheizten Dachgeschosses in die Fläche A_w und die Fläche der zur wärmeübertragenden Umfassungsfläche gehörenden Dachschrägen in die Fläche A_{AW} einzubeziehen.

2.9 Sommerlicher Wärmeschutz (zu § 3 Abs. 4)

2.9.1 Als höchstzulässige Sonneneintragskennwerte nach § 3 Abs. 4 sind die in DIN 4108 - 2: 2001-03 Abschnitt 8 festgelegten Werte einzuhalten. Der Sonneneintragskennwert des zu errichtenden Gebäudes ist nach dem dort genannten Verfahren zu bestimmen.

2.9.2 Werden Gebäude mit Ausnahme von Wohngebäuden nutzungsbedingt mit Anlagen ausgestattet, die Raumluft unter Einsatz von Energie kühlen, so dürfen diese Gebäude abweichend von Nr. 2.9.1 auch so ausgeführt werden, dass die Kühlleistung bezogen auf das gekühlte Gebäudevolumen nach dem Stand der Technik und den im Einzelfall wirtschaftlich vertretbaren Maßnahmen so gering wie möglich gehalten wird. Dabei sind insbesondere die Maßnahmen zu berücksichtigen, die das unter Nr. 2.9.1 angegebene Berechnungsverfahren zur Verminderung des Sonneneintragskennwertes vorsieht.

2.10 Voraussetzungen für die Anrechnung mechanisch betriebener Lüftungsanlagen (zu § 3 Abs. 2)

Im Rahmen der Berechnung nach Nr. 2 ist bei mechanischen Lüftungsanlagen die Anrechnung der Wärmerückgewinnung oder einer regelungstechnisch verminderten Luftwechselrate nur zulässig, wenn

- a) die Dichtheit des Gebäudes nach Anhang 4 Nr. 2 nachgewiesen wird,
- b) in der Lüftungsanlage die Zuluft nicht unter Einsatz von elektrischer oder aus fossilen Brennstoffen gewonnener Energie gekühlt wird und
- c) der mit Hilfe der Anlage erreichte Luftwechsel § 5 Abs. 2 genügt.

Die bei der Anrechnung der Wärmerückgewinnung anzusetzenden Kennwerte der Lüftungsanlagen sind nach anerkannten Regeln der Technik zu bestimmen oder den allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen der verwendeten Produkte zu entnehmen. Lüftungsanlagen müssen mit Einrichtungen ausgestattet sein, die eine Beeinflussung der Luftvolumenströme jeder Nutzeinheit durch den Nutzer erlauben. Es muss sichergestellt sein, dass die aus der Abluft gewonnene Wärme vorrangig vor der vom Heizsystem bereitgestellten Wärme genutzt wird.

3. Vereinfachtes Verfahren für Wohngebäude (zu § 3 Abs. 2 Nr. 1)

Der Jahres-Primärenergiebedarf ist vereinfacht wie folgt zu ermitteln:

$$Q_p = (Q_h + Q_w) \cdot e_p$$

Dabei bedeuten

Q_h der Jahres-Heizwärmebedarf

Q_w der Zuschlag für Warmwasser nach Nr. 2.2

e_p die Anlagenaufwandszahl nach DIN V 4701-10 : 2001-02 Nr. 4.2.6 in Verbindung mit Anhang C.5 (grafisches Verfahren); auch die ausführlicheren Rechengänge nach DIN V 4701-10 : 2001-02 dürfen zur Ermittlung von e_p angewandt werden.

Der Einfluss der Wärmebrücken ist durch Anwendung der Planungsbeispiele nach DIN 4108 Bbl 2 : 1998-08 zu begrenzen.

Die Nr. 2.1.2, 2.6 und 2.7 gelten entsprechend.

Der Jahres-Heizwärmebedarf ist nach Tabelle 2 und 3 zu ermitteln:

Tabelle 2

Vereinfachtes Verfahren zur Ermittlung des Jahres-Heizwärmebedarfs

Zeile	Zu ermittelnde Größen	Gleichung	Zu verwendende Randbedingung										
	1	2	3										
1	Jahres-Heizwärmebedarf Q_h	$Q_h = 66 (H_T + H_V) - 0,95 (Q_s + Q_i)$											
2	Spezifischer Transmissionswärmeverlust H_T	$H_T = \sum (F_{xi} U_i A_i) + 0,05 A$ ¹⁾	Temperatur-Korrekturfaktoren F_{xi} nach Tabelle 3										
	bezogen auf die wärmeübertragende Umfassungsfläche	$H_T' = \frac{H_T}{A}$											
3	Spezifischer Lüftungswärmeverlust H_V	$H_V = 0,19 V_e$	ohne Dichtheitsprüfung nach Anhang 4 Nr. 2										
		$H_V = 0,163 V_e$	mit Dichtheitsprüfung nach Anhang 4 Nr. 2										
4	Solare Gewinne Q_s	$Q_s = \sum (I_s)_{j,HP} \sum 0,567 g_i A_i$ ²⁾	<p>Solare Einstrahlung:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Orientierung</th> <th>$\sum (I_s)_{j,HP}$</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Südost bis Südwest</td> <td>270 kWh/(m²·a)</td> </tr> <tr> <td>Nordwest bis Nordost</td> <td>100 kWh/(m²·a)</td> </tr> <tr> <td>übrige Richtungen</td> <td>155 kWh/(m²·a)</td> </tr> <tr> <td>Dachflächenfenster mit Neigungen < 30°³⁾</td> <td>225 kWh/(m²·a)</td> </tr> </tbody> </table> <p>Die Fläche der Fenster A_i mit der Orientierung j (Süd, West, Ost, Nord und horizontal) ist nach den lichten Fassadenöffnungsmaßen zu ermitteln.</p>	Orientierung	$\sum (I_s)_{j,HP}$	Südost bis Südwest	270 kWh/(m ² ·a)	Nordwest bis Nordost	100 kWh/(m ² ·a)	übrige Richtungen	155 kWh/(m ² ·a)	Dachflächenfenster mit Neigungen < 30° ³⁾	225 kWh/(m ² ·a)
Orientierung	$\sum (I_s)_{j,HP}$												
Südost bis Südwest	270 kWh/(m ² ·a)												
Nordwest bis Nordost	100 kWh/(m ² ·a)												
übrige Richtungen	155 kWh/(m ² ·a)												
Dachflächenfenster mit Neigungen < 30° ³⁾	225 kWh/(m ² ·a)												
5	Interne Gewinne Q_i	$Q_i = 22 A_N$	A_N : Gebäudenutzfläche nach Nr. 1.3.4										

1) Die Wärmedurchgangskoeffizienten der Bauteile U_i sind nach DIN EN ISO 6946 : 1996-11 und nach DIN EN ISO 10077-1 : 2000-11 zu ermitteln oder sind technischen Produktspezifikationen (z.B. für Dachflächenfenster) zu entnehmen. Bei an das Erdreich grenzenden Bauteilen ist der äußere Wärmeübergangswiderstand gleich Null zu setzen.

2) Der Gesamtenergiedurchlassgrad g_i (für senkrechte Einstrahlung) ist technischen Produktspezifikationen zu entnehmen oder nach DIN EN 410 : 1998-12 zu ermitteln. Besondere energiegewinnende Systeme, wie z.B. Wintergärten oder transparente Wärmedämmung, können im vereinfachten Verfahren keine Berücksichtigung finden.

3) Dachflächenfenster mit Neigungen $\geq 30^\circ$ sind hinsichtlich der Orientierung wie senkrechte Fenster zu behandeln.

Tabelle 3
Temperatur-Korrekturfaktoren F_{xi}

Wärmestrom nach außen über Bauteil i	Temperatur-Korrekturfaktor F_{xi}
Außenwand, Fenster	1
Dach (als Systemgrenze)	1
Oberste Geschossdecke (Dachraum nicht ausgebaut)	0,8
Abseitenwand (Drempelwand)	0,8
Wände und Decken zu unbeheizten Räumen	0,5
Unterer Gebäudeabschluss: - Kellerdecke/-wände zu unbeheiztem Keller - Fußboden auf Erdreich - Flächen des beheizten Kellers gegen Erdreich	0,6

Anhang 2

Anforderungen an zu errichtende Gebäude mit niedrigen Innentemperaturen (zu § 4)

1. Höchstwerte des spezifischen, auf die wärmeübertragende Umfassungsfläche bezogenen Transmissionswärmeverlusts

Tabelle 1

Höchstwerte in Abhängigkeit vom Verhältnis A/V_e

A/V_e ¹⁾ in m^{-1}	Höchstwerte H_T' in $W/(m^2 \cdot K)$ ²⁾
$\leq 0,20$	1,03
0,30	0,86
0,40	0,78
0,50	0,73
0,60	0,70
0,70	0,67
0,80	0,66
0,90	0,64
$\geq 1,00$	0,63

¹⁾ Die A/V_e -Werte sind nach Anhang 1 Nr. 1.3 zu ermitteln.

²⁾ Zwischenwerte sind nach folgender Gleichung zu ermitteln:

$$H_T' = 0,53 + 0,1 \cdot V_e/A \quad \text{in } W/(m^2 \cdot K)$$

2. Berechnung des spezifischen, auf die wärmeübertragende Umfassungsfläche bezogenen Transmissionswärmeverlusts H_T'

Der spezifische, auf die wärmeübertragende Umfassungsfläche bezogene Transmissionswärmeverlust H_T' ist aus dem spezifischen Transmissionswärmeverlust H_T zu bestimmen, der nach DIN EN 832 : 1998-12 in Verbindung mit DIN V 4108-6 : 2000-11 zu berechnen ist. Bei der Berechnung von H_T dürfen die Temperatur-Reduktionsfaktoren nach DIN V 4108-6 : 2000-11 verwendet werden. Bei aneinander gereihten Gebäuden dürfen die Gebäudetrennwände als wärmeundurchlässig angenommen werden.

Anhang 3
Anforderungen bei
Änderung von Außenbauteilen bestehender Gebäude (zu § 8 Abs. 1)
und bei Errichtung von Gebäuden mit geringem Volumen (§ 7)

1. Außenwände

Soweit bei beheizten Räumen Außenwände

- a) ersetzt, erstmalig eingebaut

oder in der Weise erneuert werden, dass

- b) Bekleidungen in Form von Platten oder plattenartigen Bauteilen oder Verschalungen sowie Mauerwerks-Vorsatzschalen angebracht werden,
 c) auf der Innenseite Bekleidungen oder Verschalungen aufgebracht werden,
 d) Dämmschichten eingebaut werden,
 e) bei einer bestehenden Wand mit einem Wärmedurchgangskoeffizienten größer $0,9 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ der Außenputz erneuert wird oder
 f) neue Ausfachungen in Fachwerkwände eingesetzt werden,

sind die jeweiligen Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten nach Tabelle 1 Zeile 1 einzuhalten. Bei einer Kerndämmung von mehrschaligem Mauerwerk gemäß Buchstabe d gilt die Anforderung als erfüllt, wenn der bestehende Hohlraum zwischen den Schalen vollständig mit Dämmstoff ausgefüllt wird.

2. Fenster, Fenstertüren und Dachflächenfenster

Soweit bei beheizten Räumen außen liegende Fenster, Fenstertüren oder Dachflächenfenster in der Weise erneuert werden, dass

- a) das gesamte Bauteil ersetzt oder erstmalig eingebaut wird,
 b) zusätzliche Vor- oder Innenfenster eingebaut werden oder
 c) die Verglasung ersetzt wird,

sind die Anforderungen nach Tabelle 1 Zeile 2 einzuhalten. Satz 1 gilt nicht für Schaufenster und Türanlagen aus Glas. Bei Maßnahmen gemäß Buchstabe c gilt Satz 1 nicht, wenn der vorhandene Rahmen zur Aufnahme der vorgeschriebenen Verglasung ungeeignet ist. Werden Maßnahmen nach Buchstabe c an Kasten- oder Verbundfenstern durchgeführt, so gelten die Anforderungen als erfüllt, wenn eine Glastafel mit einer infrarot-reflektierenden Beschichtung mit einer Emissivität $\epsilon_n \leq 0,20$ eingebaut wird. Werden bei Maßnahmen nach Satz 1

1. Schallschutzverglasungen mit einem bewerteten Schalldämmmaß der Verglasung von $R_{w,R} \geq 40 \text{ dB}$ nach DIN EN ISO 717-1 : 1997-01 oder einer vergleichbaren Anforderung oder
2. Isolierglas-Sonderaufbauten zur Durchschusshemmung, Durchbruchhemmung oder Sprengwirkungshemmung nach den Regeln der Technik oder
3. Isolierglas-Sonderaufbauten als Brandschutzglas mit einer Einzelelementdicke von mindestens 18 mm nach DIN 4102-13 : 1990-05 oder einer vergleichbaren Anforderung

verwendet, sind abweichend von Satz 1 die Anforderungen nach Tabelle 1 Zeile 3 einzuhalten.

3. Außentüren

Bei der Erneuerung von Außentüren dürfen nur Außentüren eingebaut werden, deren Türfläche einen Wärmedurchgangskoeffizienten von $2,9 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ nicht überschreitet. Nr. 2 Satz 2 bleibt unberührt.

4. Decken, Dächer und Dachschrägen

4.1 Steildächer

Soweit bei Steildächern Decken unter nicht ausgebauten Dachräumen sowie Decken und Wände (einschließlich Dachschrägen), die beheizte Räume nach oben gegen die Außenluft abgrenzen,

a) ersetzt, erstmalig eingebaut

oder in der Weise erneuert werden, dass

b) die Dachhaut bzw. außenseitige Bekleidungen oder Verschalungen ersetzt oder neu aufgebaut werden,

c) innenseitige Bekleidungen oder Verschalungen aufgebracht oder erneuert werden,

d) Dämmschichten eingebaut werden,

e) zusätzliche Bekleidungen oder Dämmschichten an Wänden zum unbeheizten Dachraum eingebaut werden,

sind für die betroffenen Bauteile die Anforderungen nach Tabelle 1 Zeile 4 a einzuhalten. Wird bei Maßnahmen nach Buchstabe b oder d der Wärmeschutz als Zwischensparrendämmung ausgeführt und ist die Dämmschichtdicke wegen einer innenseitigen Bekleidung und der Sparrenhöhe begrenzt, so gilt die Anforderung als erfüllt, wenn die nach den Regeln der Technik höchstmögliche Dämmschichtdicke eingebaut wird.

4.2 Flachdächer

Soweit bei beheizten Räumen Flachdächer

a) ersetzt, erstmalig eingebaut

oder in der Weise erneuert werden, dass

b) die Dachhaut bzw. außenseitige Bekleidungen oder Verschalungen ersetzt oder neu aufgebaut werden,

c) innenseitige Bekleidungen oder Verschalungen aufgebracht oder erneuert werden,

d) Dämmschichten eingebaut werden,

sind die Anforderungen nach Tabelle 1 Zeile 4 b einzuhalten. Werden bei der Flachdacherneuerung Gefälledächer durch die keilförmige Anordnung einer Dämmschicht aufgebaut, so ist der Wärmedurchgangskoeffizient nach DIN EN ISO 6946 : 1996-11, Anhang C zu ermitteln. Der Bemessungswert des Wärmedurchgangswiderstandes am tiefsten Punkt der neuen Dämmschicht muss den Mindestwärmeschutz nach § 6 Abs. 1 gewährleisten.

5. Wände und Decken gegen unbeheizte Räume und gegen Erdreich

Soweit bei beheizten Räumen Decken und Wände, die an unbeheizte Räume oder an Erdreich grenzen,

a) ersetzt, erstmalig eingebaut

oder in der Weise erneuert werden, dass

b) außenseitige Bekleidungen oder Verschalungen, Feuchtigkeitssperren oder Drainagen angebracht oder erneuert,

c) innenseitige Bekleidungen oder Verschalungen an Wände angebracht,

d) Fußbodenaufbauten auf der beheizten Seite aufgebaut oder erneuert,

e) Deckenbekleidungen auf der Kaltseite angebracht oder

f) Dämmschichten eingebaut werden,

sind die Anforderungen nach Tabelle 1 Zeile 5 einzuhalten. Die Anforderungen nach Buchstabe d gelten als erfüllt, wenn ein Fußbodenaufbau mit der ohne Anpassung der Türhöhen höchstmöglichen Dämmschichtdicke (bei einem Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0,04 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$) ausgeführt wird.

6. Vorhangfassaden

Soweit bei beheizten Räumen Vorhangfassaden in der Weise erneuert werden, dass

a) das gesamte Bauteil ersetzt oder erstmalig eingebaut wird,

b) die Füllung (Verglasung oder Paneele) ersetzt wird,

sind die Anforderungen nach Tabelle 1 Zeile 2 c einzuhalten. Werden bei Maßnahmen nach Satz 1 Sonderverglasungen entsprechend Nr. 2 Satz 2 verwendet, sind abweichend von Satz 1 die Anforderungen nach Tabelle 1 Zeile 3 c einzuhalten.

7. Anforderungen

Tabelle 1

Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten
bei erstmaligem Einbau, Ersatz und Erneuerung von Bauteilen

Zeile	Bauteil	Maßnahme nach	Gebäude nach § 1 Abs. 1 Nr. 1	Gebäude nach § 1 Abs. 1 Nr. 2
			maximaler Wärmedurchgangskoeffizient U_{\max} ¹⁾ in W / (m ² ·K)	
	1	2	3	4
1 a	Außenwände	allgemein	0,45	0,75
b		Nr. 1 b, d und e	0,35	0,75
2 a	Außen liegende Fenster, Fenstertüren, Dachflächenfenster	Nr. 2 a und b	1,7 ²⁾	2,8 ²⁾
b	Verglasungen	Nr. 2 c	1,5 ³⁾	keine Anforderung
c	Vorhangfassaden	allgemein	1,9 ⁴⁾	3,0 ⁴⁾
3 a	Außen liegende Fenster, Fenstertüren, Dachflächenfenster mit Sonderverglasungen	Nr. 2 a und b	2,0 ²⁾	2,8 ²⁾
b	Sonderverglasungen	Nr. 2 c	1,6 ³⁾	keine Anforderung
c	Vorhangfassaden mit Sonderverglasungen	Nr. 6 Satz 2	2,3 ⁴⁾	3,0 ⁴⁾
4 a	Decken, Dächer und Dachschrägen	Nr. 4.1	0,30	0,40
b	Dächer	Nr. 4.2	0,25	0,40
5 a	Decken und Wände ge- gen unbeheizte Räume	Nr. 5 b und e	0,40	keine Anforderung
b	oder Erdreich	Nr. 5 a, c, d und f	0,50	keine Anforderung

- 1) Wärmedurchgangskoeffizient des Bauteils unter Berücksichtigung der neuen und der vorhandenen Bauteilschichten; für die Berechnung opaker Bauteile ist DIN EN ISO 6946 : 1996-11 zu verwenden.
- 2) Wärmedurchgangskoeffizient des Fensters; er ist technischen Produkt-Spezifikationen zu entnehmen oder nach DIN EN ISO 10077-1 : 2000-11 zu ermitteln.
- 3) Wärmedurchgangskoeffizient der Verglasung; er ist technischen Produkt-Spezifikationen zu entnehmen oder nach DIN EN 673 : 2001-1 zu ermitteln.
- 4) Wärmedurchgangskoeffizient der Vorhangfassade; er ist nach anerkannten Regeln der Technik zu ermitteln.

Anhang 5
Anforderungen zur Begrenzung der Wärmeabgabe
von Wärmeverteilungs- und Warmwasserleitungen sowie Armaturen (zu § 12 Abs. 5)

1. Die Wärmeabgabe von Wärmeverteilungs- und Warmwasserleitungen sowie Armaturen ist durch Wärmedämmung nach Maßgabe der Tabelle 1 zu begrenzen.

Tabelle 1

Wärmedämmung von Wärmeverteilungs- und Warmwasserleitungen sowie Armaturen

Zeile	Art der der Leitungen/Armaturen	Mindestdicke der Dämmschicht, bezogen auf eine Wärmeleitfähigkeit von 0,035 W/(m·K)
1	Innendurchmesser bis 22 mm	20 mm
2	Innendurchmesser über 22 mm bis 35 mm	30 mm
3	Innendurchmesser über 35 mm bis 100 mm	gleich Innendurchmesser
4	Innendurchmesser über 100 mm	100 mm
5	Leitungen und Armaturen nach den Zeilen 1 bis 4 in Wand- und Deckendurchbrüchen, im Kreuzungsbereich von Leitungen, an Leitungsverbindungsstellen, bei zentralen Leitungsnetzteilern	1/2 der Anforderungen der Zeilen 1 bis 4
6	Leitungen von Zentralheizungen nach den Zeilen 1 bis 4, die nach Inkrafttreten dieser Verordnung in Bauteilen zwischen beheizten Räumen verschiedener Nutzer verlegt werden	1/2 der Anforderungen der Zeilen 1 bis 4
7	Leitungen nach Zeile 6 im Fußbodenaufbau	6 mm

Soweit sich Leitungen von Zentralheizungen nach den Zeilen 1 bis 4 in beheizten Räumen oder in Bauteilen zwischen beheizten Räumen eines Nutzers befinden und ihre Wärmeabgabe durch freiliegende Absperrrichtungen beeinflusst werden kann, werden keine Anforderungen an die Mindestdicke der Dämmschicht gestellt. Dies gilt auch für Warmwasserleitungen in Wohnungen bis zum Innendurchmesser 22 mm, die weder in den Zirkulationskreislauf einbezogen noch mit elektrischer Begleitheizung ausgestattet sind.

2. Bei Materialien mit anderen Wärmeleitfähigkeiten als 0,035 W/(m·K) sind die Mindestdicken der Dämmschichten entsprechend umzurechnen. Für die Umrechnung und die Wärmeleitfähigkeit des Dämmmaterials sind die in Regeln der Technik enthaltenen Rechenverfahren und Rechenwerte zu verwenden.

3. Bei Wärmeverteilungs- und Warmwasserleitungen dürfen die Mindestdicken der Dämmschichten nach Tabelle 1 insoweit vermindert werden, als eine gleichwertige Begrenzung der Wärmeabgabe auch bei anderen Rohrdämmstoffanordnungen und unter Berücksichtigung der Dämmwirkung der Leitungswände sichergestellt ist.

2. Rechtsgrundlagen der Energieeinsparverordnung

Gesetz zur Einsparung von Energie in Gebäuden

EnEG – Energieeinsparungsgesetz

vom 22. Juli 1976

(BGBl. I S. 1873; zuletzt geändert BGBl. I 1980 S. 701)

Die Energieeinsparverordnung (EnEV)

Verordnung über den energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung – EnEV)

Vom 16. November 2001 BGBl. I S. 3085)

AVV Energiebedarfsausweis

Allgemeine Verwaltungsvorschrift zu § 13 der Energieeinsparverordnung vom 7. März 2002 (Bundesanzeiger 2002 Nr. 52, S. 4865)

Mit der Energieeinsparverordnung mitgeltende Normen:

DIN EN 410: 1998-12	Glas im Bauwesen – Bestimmung der lichttechnischen und strahlungsphysikalischen Kenngrößen von Verglasungen <i>Bezug zur EnEV: Ermittlung des Gesamtenergiedurchlassgrades für transparente Bauteile nach Anhang 1</i>
DIN EN 673: 2001-01	Glas im Bauwesen – Bestimmung des Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert)- Berechnungsverfahren <i>Bezug zur EnEV: Ermittlung von Wärmedurchgangskoeffizienten für Verglasungen nach Anhang 3</i>
DIN EN 832: 1998-12	Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden, Berechnung des Heizenergiebedarfs, Wohngebäude <i>Bezug zur EnEV: Festlegungen zum Berechnungsverfahren gem. § 3</i>
DIN EN 12207-1: 2000-06	Fenster und Türen – Lichtdurchlässigkeit – Klassifizierung <i>Bezug zur EnEV: Festlegung von Klassen der Fugendurchlässigkeit in Anhang 4</i>
DIN EN 13829: 2001-02	Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden, Bestimmung der Lichtdurchlässigkeit von Gebäuden, Druckdifferenzverfahren <i>Bezug zur EnEV: Festlegung der Nachweismethode für die Dichtheit von Gebäuden nach Anhang 4</i>
DIN EN ISO 6946: 1996-11	Bauteile – Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient, Berechnungsverfahren <i>Bezug zur EnEV: Ermittlung von Wärmedurchgangskoeffizienten für opake Bauteile nach Anhang 1 und Anhang 3</i>
DIN EN ISO 7171-1: 1997-10	Akustik – Bewertung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen – Teil 1: Luftschalldämmung (ISO 717-1: 1996); Deutsche Fassung EN ISO 717-1: 1996 <i>Bezug zur EnEV: Festlegung des Schalldämmmaßes für Sonderverglasungen in Anhang 3</i>

- DIN EN ISO 10077-1: 2000-11** Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen – Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten – Teil 1: Vereinfachtes Verfahren
Bezug zur EnEV: Ermittlung von Wärmedurchgangskoeffizienten für transparente Bauteile nach Anhang 1 und Anhang 3
- DIN EN ISO 13789: 1999-10** Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden, Spezifischer Transmissionswärmeverlustkoeffizient, Berechnung
Bezug zur EnEV: Angaben zur Ermittlung der wärmetauschenden Hüllfläche nach Anhang 1
- DIN 4102-13: 1990-05** Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen-; Brandschutzverglasungen; Begriffe, Anforderungen und Prüfungen
Bezug zur EnEV: Festlegung von Isolierglas-Sonderaufbauten in Anhang 3
- DIN V 4108-2: 2001-03** Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden, Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz
Bezug zur EnEV: Mindestwärmeschutz nach § 6, sommerlicher Wärmeschutz nach § 3
- DIN V 4108-6: 2000-11**
und **DIN V 4108-6/A1: 2001-08** Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden, Teil 6: Berechnung des Jahresprimärenergiebedarfs
Bezug zur EnEV: Festlegungen zum Berechnungsverfahren gem. § 3 Randbedingungen auf der Bauseite
- DIN 4108 Beiblatt 2: 1998-08** Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden – Wärmebrücken – Planungs- und Ausführungsbeispiele
Bezug zur EnEV: Festlegungen zur Minimierung von Wärmebrücken nach § 6
- DIN V 4701-10: 2001-02** Energetische Bewertung von heiz- und raumlufttechnischen Anlagen, Teil 10: Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung
Bezug zur EnEV: Festlegungen zum Berechnungsverfahren gem. § 3 Randbedingungen auf der Anlagenseite
- Weitere Normen:**
- DIN EN 674: 1999-01** Glas im Bauwesen – Bestimmung des Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) – Verfahren mit dem Plattengerät
Deutsche Fassung EN 674:1997
- DIN EN 675: 1999-01** Glas im Bauwesen – Bestimmung des Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) – Wärmestrom-Verfahren
Deutsche Fassung EN 675:1997
- DIN EN 12412-2: 1998-01** Fenster, Türen und Abschlüsse – Bestimmung des Wärmedurchgangskoeffizienten mittels des Heizkastenverfahrens – Teil 2: Rahmen;
Deutsche Fassung prEN 12412-2:1997
- DIN EN 12412-4: 1999-01** Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen – Bestimmung des Wärmedurchgangskoeffizienten mittels des Heizkastenverfahrens – Teil 4: Rollladenkästen;
Deutsche Fassung prEN 12412-4:1998

DIN EN 12524: 2000-07	Baustoffe und Bauprodukte – wärme- und feuchtschutztechnische Eigenschaften – Tabellierte Bemessungswerte <i>Bezug zur EnEV: Bereitstellung von Bemessungswerten für DIN EN ISO 6946:1996-11</i>
DIN EN 12975-2: 1998-01	Thermische Solaranlagen und ihre Bauteile – Kollektoren – Teil 2: Prüfverfahren; Deutsche Fassung prEN 12975-2:1997
DIN EN 12976-2: 2001-03	Thermische Solaranlagen und ihre Bauteile – Vorgefertigte Anlagen – Teil 2: Prüfverfahren; Deutsche Fassung prEN 12976-2:2000
DIN V ENV 12977-2: 2001-10	Thermische Solaranlagen und ihre Bauteile – Kundenspezifisch gefertigte Anlagen – Teil 2: Prüfverfahren; Deutsche Fassung ENV 12977-2:2001
DIN EN ISO 7345: 1995-12	Wärmeschutz – Physikalische Größen und Definitionen (ISO 7345: 1987) <i>Bezug zur EnEV: Definitionen, Symbole und Indizes für alle Berechnungsnormen</i>
DIN EN ISO 9 288:1996-08	Wärmeschutz – Wärmeübertragung durch Strahlung
DIN EN ISO 10077-2: Entwurf 1999-02	Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen – Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten – Teil 2: Numerisches Verfahren für Rahmen (ISO-DIS 10077-2: 1998); Deutsche Fassung prEN ISO 10077-2: 1998 <i>Bezug zur EnEV: Ermöglicht die Ermittlung von U-Werten für Rahmen zur Verwendung in DIN EN ISO 10077-1: 2000-11</i>
DIN EN ISO 10211-1: 1995-11	Wärmebrücken im Hochbau – Wärmeströme und Oberflächentemperaturen – Teil 1: Allgemeine Berechnungsverfahren (ISO 10211-1: 1995); Deutsche Fassung EN ISO 10211-1: 1995 <i>Bezug zur EnEV: Regel der Technik zu § 6 (2)</i>
DIN EN ISO 10211-2: 2001-06	Wärmebrücken im Hochbau – Berechnung der Wärmeströme und Oberflächentemperaturen – Teil 2: Linienförmige Wärmebrücken (ISO 10211-2: 2001); Deutsche Fassung EN ISO 10211-2: 2001 <i>Bezug zur EnEV: Regel der Technik zu § 6 (2)</i>
DIN EN ISO 10456: 2000-08	Baustoffe und -produkte – Verfahren zur Bestimmung der wärme-schutztechnischen Nenn- und Bemessungswerte <i>Bezug zur EnEV: Bereitstellung von Bemessungswerten für DIN EN ISO 6946: 1996-11</i>
DIN EN ISO 12 370	Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden, Wärmeübertragung über das Erdreich Berechnungsverfahren (ISO 13 370: 1998)

DIN EN ISO 13370: 1998-12	Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden, Wärmeübertragung über das Erdreich, Berechnungsverfahren <i>Bezug zur EnEV: Rechenregel zur genauen Bestimmung der Wärmeverluste über das Erdreich in DIN EN 832: 1998-12 und DIN V 4108-6: 2000-11</i>
DIN EN ISO 14683: 1999-09	Wärmebrücken im Hochbau – Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient – Vereinfachte Verfahren und Anhaltswerte (ISO 14683: 1999); Deutsche Fassung EN ISO 14683: 1999 Wärmedurchgangskoeffizient, Vereinfachte Verfahren und Anhaltswerte) <i>Bezug zur EnEV: Regel der Technik zu § 6 (2)</i>
DIN 277-1: 2000-09	Grundflächen und Rauminhalte von Bauwerken im Hochbau Teil 1: Begriffe und Berechnungsgrundlagen
DIN V 4108 – 4: 2000-02	Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 4: wärme- und feuchtschutztechnische Bemessungswerte. <i>Bezug zur EnEV: Bereitstellung von Bemessungswerten für DIN EN ISO 6946: 1996-11</i>
DIN 4108-7: 2001-08	Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 7: Luftdichtheit von Gebäuden, Anforderungen, Planungs- und Ausführungsempfehlungen sowie Beispiele <i>Bezug zur EnEV: Beispiellösungen zur Sicherstellung einer luftdichten Gebäudehülle</i>
DIN V 4753-8: 1996-12	Wassererwärmer und Wassererwärmungsanlagen für Trink- und Betriebswasser – Teil 8: Wärmedämmung von Wassererwärmern bis 1000 l Nenninhalt – Anforderungen und Prüfung
DIN V 4757-4: 1995-11	Solarthermische Anlagen – Teil 4: Sonnenkollektoren; Bestimmung von Wirkungsgrad, Wärmekapazität und Druckabfall
DIN 18055: 1981-10	Fenster; Fugendurchlässigkeit, Schlagregendichtheit und mechanische Beanspruchung; Anforderungen und Prüfung (teilweise ersetzt durch DIN EN 12207-1: 2000-06)
VDI 2067 Bl. 1	Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen Grundlage und Kostenrechnung
VDI 2067 Bl 10E	Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen Energiebedarf beheizter und klimatisierter Gebäude
VDI 2067 Bl 11E	Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen Rechenverfahren zum Energiebedarf beheizter und klimatisierter Gebäude
VDI 2067 Bl. 12E	Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen Nutzenergiebedarf für die Trinkwassererwärmung
VDI 2067 Bl. 20E	Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen Energieaufwand der Nutzenübergabe bei Warmwasserheizung

AMEV	Arbeitskreis Maschinen- und Elektrotechnik staatlicher und kommunaler Verwaltungen. Der AMEV hat die Aufgabe, die Hochbauverwaltungen der Länder und Kommunen durch regelmäßigen Erfahrungsaustausch und durch fachliche Empfehlungen zu unterstützen. Veröffentlichungsbeispiel: BelBildschirm 2002: Hinweise für die Beleuchtung von Arbeitsplätzen mit Bildschirmgeräten in öffentlichen Gebäuden Die Empfehlungen des AMEV sind nicht in allen Bundesländern verpflichtend eingeführt.
Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV)	Verordnung über Arbeitsstätten vom 20. März 1975 (BGBl. S. 729); zuletzt geändert durch Verordnung vom 4. Dezember 1996 (BGBl. I S. 1841)
Arbeitsstätten-Richtlinien (ASR)	zur Arbeitsstättenverordnung im Bundesarbeitsblatt (BABl.) bekannt gegeben
weitere Gesetze, Verordnungen, Richtlinien der Länder	

3. Literaturhinweise und Links

Literatur:

- Die Energieeinsparverordnung (EnEV):
Verordnung über den energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung – EnEV)
vom 16. November 2001 BGBl. I S.3085)
- Gottschalk: Verwaltungsbauten, Bauverlag GmbH, Wiesbaden und Berlin 1995
- Planungs-Büro Schmitz: Energiegerechtes Bauen und Modernisieren, Birkhäuser Verlag 1996
- Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Die neue Energieeinsparverordnung (EnEV)
- Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Leitfaden Nachhaltiges Bauen, Januar 2001
- AMEV: Arbeitskreis Maschinen- und Elektrotechnik staatlicher und kommunaler Verwaltungen

Internet-Links:

<http://www.altbauerneuerung.de>

Bundesarbeitskreis Altbauerneuerung e.V.

<http://www.is-ergebaut.de/>

Bauministerkonferenz – Konferenz der für Städtebau, Bau- und Wohnungswesen zuständigen Minister und Senatoren der Länder (früher ARGE-BAU)

<http://www.bine.info>

BINE Informationsdienst - BINE informiert zu Erneuerbaren Energien und Energiespartechniken

<http://www.bmwi.de/Homepage/Startseite.jsp>

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi)

<http://www.bmvbw.de>

Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen

<http://www.bpy.uni-kassel.de>

Berechnungsprogramme

<http://www.enev-online.de>

EnEV-online ist ein neutrales Internet-Portal zum Thema „Energieeinsparverordnung und Energiepass für Gebäude“.

<http://www.enev.info>

Informationen zur EnEV

<http://www.enev-info.de/>

Die kostenlose und unabhängige Diskussionsplattform für alle Themengebiete rund um die Energieeinsparverordnung (EnEV)

<http://www.fvtwd.de>

Fachverband TWD e.V.

<http://www.gre-online.de>

Die Gesellschaft für Rationelle Energieverwendung e.V., informiert zur Energieeinsparverordnung und Energiepass, zum Niedrigenergiehaus/Passivhaus, sowie zum Energieeinsparen im Gebäude-Bestand.

<http://www.ift-rosenheim.de>

Institut für Fenstertechnik e. V. in Rosenheim (ift)

<http://www.iwu.de>

Institut Wohnen und Umwelt GmbH (IWU) ist eine Forschungseinrichtung des Landes Hessen und der Stadt Darmstadt.

<http://www.kfw.de/>

Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW)

<http://www.lb.nrw.de>

Landesinstitut für Bauwesen des Landes Nordrhein-Westfalen (LB)

<http://www.passiv.de>

Passivhaus Institut Darmstadt

<http://www.amev.belwue.de/>

Arbeitskreis Maschinen- und Elektrotechnik staatlicher und kommunaler Verwaltungen

4. Glossar

A/V_e-Verhältnis

Das Verhältnis A/V_e im m^{-1} ist die errechnete wärmeübertragende Umfassungsfläche A bezogen auf das beheizte Gebäudevolumen V . Dabei werden die Werte für A und V gem. EnEV nach DIN 13789: 1999–10 ermittelt. Maß für die → Kompaktheit eines Gebäudes.

Anlagenaufwandszahl e_p

Sie beschreibt das Verhältnis der von der Anlagentechnik aufgenommenen Primärenergie zu der von ihr abgegebenen Nutzwärme (Aufwand zu Nutzen). Sie dient dem Vergleich unterschiedlicher Anlagen hinsichtlich ihres Energieaufwands und wird nach DIN V 4701–10: 2001–02 berechnet. Die Beschreibung der energetischen Effizienz eines Gesamtanlagensystems erfolgt über e_p . Je höher der Wirkungsgrad eines Energiesystems, desto niedriger die Aufwandszahl.

Beheizter Raum

Nach EnEV sind beheizte Räume solche, die auf Grund bestimmungsgemäßer Nutzung direkt oder durch Raumverbund mit normalen Innentemperaturen ($\geq 19^\circ C$) beheizt werden.

Blower-Door-Test

Die Blower-Door-Messung ist ein standardisiertes Verfahren, um die Luftdichtheit von Gebäuden zu messen. Dabei wird mittels eines in die Außenwand (Haustür oder ähnliches) eingeklebten Ventilators Luft in ein Gebäude eingeblasen. Durch die entstehende Druckdifferenz strömt die eingeblasene Innenluft durch undichte Bauteile nach außen. Die Menge der abfließenden Luft kann quantifiziert werden. Die EnEV fordert die Einhaltung bestimmter Werte in Bezug auf die Luftdichtheit eines Gebäudes. Bei → Passivhäusern ist die Durchführung eines Blower-Door-Test notwendig zur Qualitätssicherung.

Dampfsperre/Dampfbremse

Auf der Innenseite von Außenwänden oder Dächern angebracht, verhindern/reduzieren Dampfsperren/Dampfbremsen das Eindringen von feuchter Raumluft in die Bauteile. Auf diese Weise kann der in der Luft enthaltene Wasserdampf nicht im Bauteil kondensieren. Bauschäden werden vermieden. Zur Beurteilung der Dampfdichtigkeit wird die → diffusionsäquivalente Luftschichtdicke s_d bestimmt.

Als „Dampfbremsschicht“ gilt im Allgemeinen schon eine Schicht mit einem $s_d > 2$ m. Bauteile mit

einer diffusionsäquivalenten Bauschichtdicke von $s_d \geq 100$ m werden als Dampfsperren bezeichnet. Nach Möglichkeit sollten Konstruktionen gewählt werden, die keine Dampfsperre/-bremse benötigen.

Dampfdiffusion

Als Dampfdiffusion bezeichnet man den Abtransport von in der Luft enthaltener Feuchtigkeit durch Bauteile hindurch.

Diffusionsäquivalente Luftschichtdicke s_d (m)

Kenngröße der Diffusionseigenschaft einer bestimmten Stoffschicht mit der Dicke d . Sie gibt an, wie viel Meter ruhende Luftschicht benötigt werden, um den gleichen → Wasserdampf-Diffusionswiderstand wie bei dem betrachteten Bauteil zu erreichen. Nach DIN 4108–3: 2001–07 errechnet sich $s_d = \mu \cdot d$ [m].

Endenergiebedarf

Energiemenge, die zur Deckung des Jahresheizenergiebedarfs Q_p und des → Trinkwasserwärmebedarfs Q_w (Bedarf und Aufwand der Anlagentechnik) benötigt wird, ermittelt an der Systemgrenze des betrachteten Gebäudes. Die zusätzliche Energiemenge, die durch vorgelagerte Prozessketten bei der Erzeugung des jeweils eingesetzten Brennstoffs entstehen, werden nicht in Betracht gezogen.

Energiebedarfsausweis

Für neu zu errichtende Gebäude wird in der → Energieeinsparverordnung die Ausstellung eines Energiebedarfsausweises vorgeschrieben. Dieser fasst die wesentlichen Ergebnisse des Nachweisverfahrens zusammen und weist die Kenngrößen aus. Weiterhin wird der → Endenergiebedarf angegeben, der als Vergleichswert zu dem tatsächlichen Verbrauch benutzt werden kann.

Energiedurchlassgrad (g-Wert)

Der Energiedurchlassgrad gibt den Anteil des einfallenden Sonnenlichts an, der durch die Verglasung in das Rauminnere gelangt. Dieser Wert soll möglichst hoch sein, da er die Energiebilanz positiv beeinflusst. Dies gilt jedoch nur dort, wo solare Gewinne erwünscht sind (häufiges Problem der Überhitzung im Verwaltungsbau).

Die Ermittlung erfolgt nach DIN 4108–6: 2000–11, Anhang B.

Energieeinsparverordnung

Die Energieeinsparverordnung (EnEV) ist seit Februar 2002 in Kraft. Sie ist die Weiterführung der Wärmeschutzverordnung 1995. Um Gebäude ganzheitlich energetisch bewerten zu können, wurde die Wärmeschutzverordnung und die alte Heizungsanlagenverordnung in der EnEV zusammengelegt. Weitergehende Forderungen in der neuen Verordnung sollen die Energieverbräuche senken und so zu einem ressourcenschonenden und nachhaltigen Gebäudemanagement führen.

Erdreichwärmetauscher

Erdreichwärmetauscher kühlen/wärmen die Zuluft von Gebäuden vor. Dabei durchströmt die Außenluft im Erdreich verlegte Rohre. Im Sommer kühlt sie sich dabei ab und wird etwas entfeuchtet, im Winter erwärmt sie sich.

Fugendurchlasskoeffizient (a-Wert)

Der Fugendurchlasskoeffizient (gem. DIN 18055: 1981–10) gibt an, wie viel Luftaustausch über die Flügel- und Blendrahmen eines Fensters in einer bestimmten Zeit bei einer bestimmten Luftdruckdifferenz stattfindet. Der unkontrollierte Luftaustausch über undichte Fenster ist ein ausschlaggebender Faktor für die Wärmeverlust eines Gebäudes. Ein → Blower-Door-Test kann in der Praxis solche Undichtigkeiten aufdecken.

Heizenergiebedarf

Energie, die für die Gebäudebeheizung unter Berücksichtigung des → Heizwärmebedarfs und der Verluste des Heizsystems aufgebracht werden muss. Verluste des Heizsystems treten bei der Wärmeübergabe, der Wärmeverteilung, der Wärmespeicherung und der Wärmeerzeugung auf. Diese Verluste werden in einer → Anlagenaufwandszahl zusammengefasst.

Heizgradtagzahl

Die Heizgradtagzahl ist die Summe der täglichen Differenzen zwischen der mittleren Raumtemperatur von 20° C und der mittleren Außenlufttemperatur über alle Tage der Heizperiode. Ein Heiztag ist der Tag, an dem das Tagesmittel der Lufttemperatur unter 15° C liegt. Auf Grund langjähriger Aufzeichnungen der meteorologischen Daten wurden für zahlreiche Orte die Werte festgelegt

Heizwärmebedarf Q_h (Wh/a)

Wärmemenge, die vom Heizsystem dem Gebäude zugeführt werden muss, um die innere Solltemperatur der beheizten Räume einzuhalten. Dies entspricht dem „Heizwärmebedarf“ nach DIN V 4108–6: 2000–11, soweit dieser nicht mit einem auf Grund von Wärmerückgewinnung abgeminderten Lüftungswärmebedarf bestimmt wird. Die Menge wird durch die Bilanzierung von Wärmeverlusten (aus Transmission und Lüftung) und Wärmege winnen (solare und interne) ermittelt und kennzeichnet die wärmeschutztechnische Qualität der Gebäudehülle.

Hilfsenergie

Energie, die nicht zur unmittelbaren Deckung des → Heizwärmebedarfs bzw. der Trinkwassererwärmung eingesetzt wird (z. B. Energie für den Antrieb von Systemkomponenten – Umwälzpumpen, Regelung, etc).

Hüllfläche

Die Summe aller Böden, Decken, Dächer, Fenster und Außenwände, die ein Gebäude gegen Außenluft, Erdreich und unbeheizte Räume begrenzen.

Isotherme (Redline)

Isothermen sind Linien gleicher Temperaturen innerhalb von Bauteilen. Für Berechnungen legt die DIN 4108 Randbedingungen fest. Die Redline ist dabei als die 10° C-Linie die wichtigste Isotherme, mit deren Hilfe eventuell auftretende Tauwasserprobleme in bestimmten Bereichen ermittelt werden können.

Jahres-Heizwärmebedarf Q_h [(kWh/a)]

Jahres-Heizwärmebedarf ist der → Heizwärmebedarf für den Zeitraum eines Jahres.

Jahresprimärenergiebedarf Q_p [(kWh/m²a)]

Der Jahresprimärenergiebedarf gibt die Energiemenge an, die zur Deckung des → Endenergiebedarfs benötigt wird unter Berücksichtigung der zusätzlichen Energiemenge, die durch vorgelagerte Prozessketten außerhalb der Systemgrenze „Gebäude“ bei der Gewinnung, Umwandlung und Verteilung der jeweils eingesetzten Brennstoffe entstehen.

Kompaktheit des Gebäudes

Die Kompaktheit eines Gebäudes ist entscheidend für dessen Energieverbrauch und wird durch das $\rightarrow A/V_e$ -Verhältnis dargestellt. Ein Gebäude mit einer großen Oberfläche im Verhältnis zum Volumen gibt mehr Wärme ab als ein kompaktes Gebäude, ähnlich den Rippen eines Heizkörpers.

Luftdichtheit

Beschaffenheit von Konstruktionen zur Vermeidung von Wärmeverlusten durch unkontrollierten Luftaustausch und zur Vermeidung von Tauwasserbildung infolge Konvektion feuchter Luft. Bei luftdichten Konstruktionen findet bei den praktisch auftretenden Luftdruckdifferenzen kein Luftdurchgang im Sinne eines Luftaustausches mit der Außenluft statt.

Luftgeschwindigkeit

Geschwindigkeiten über 0,1 m/s werden bereits wahrgenommen. Eine Luftbewegung $> 0,2$ m/s wird als unbehaglich empfunden. Zegerscheinungen durch zu starke Luftbewegung beeinträchtigen die Behaglichkeit in einem Innenraum.

Lüftungswärmeverlust H_v [(kWh/a)]

Der Lüftungswärmeverlust ist der durch den Luftaustausch gegen kalte Außenluft verursachte Wärmeverlust. Er setzt sich zusammen aus den Verlusten aus gezielter Raumlüftung, den Fugendichtigkeiten bei Fenstern und Außentüren (Fugendurchlasskoeffizient α) und sonstigen Undichtigkeiten der Gebäudehülle.

Luftwechselrate (h^{-1})

Die Luftwechselrate gibt an, wie oft das Volumen eines Raums pro Stunde getauscht wird.

Mindestwärmeschutz

Maßnahme, die an jeder Stelle der Innenoberfläche der Systemgrenze bei ausreichender Beheizung und Lüftung unter Zugrundelegung üblicher Nutzung ein hygienisches Raumklima sicherstellt, so dass Tauwasserfreiheit durch wärmebrückenreduzierte Innenoberflächen von Außenbauteilen im Ganzen und in Ecken gegeben ist. Außerdem wird damit Tauwasserfreiheit sichergestellt sowie das Risiko der Schimmelbildung reduziert. (Die einzuhaltenden Werte sind in der DIN 4108-2: 2001-03, Tabelle 3 dargestellt)

Monatsbilanzverfahren

Ausführlicheres von zwei möglichen Berechnungsverfahren zur Ermittlung des \rightarrow Jahresprimärenergiebedarfs $Q_{p, \text{J}}$. Auf Grund der genaueren, monatsweisen Betrachtung eines Gebäudes werden geringere Werte ermittelt, als im vereinfachten Verfahren (\rightarrow Periodenbilanzverfahren). Das \rightarrow Monatsbilanzverfahren darf gem. EnEV für alle Gebäude angewendet werden.

Niedrigbeheizte Räume

Räume, die nach ihrem Verwendungszweck auf eine Raumtemperatur von mehr als 12°C und weniger als 19°C und jährlich mehr als vier Monate beheizt werden.

Niedrigenergiehaus

Der Begriff „Niedrigenergie-Haus“ ist weder durch den Gesetzgeber noch durch Normung definiert. Daher gibt es verschiedene gängige Definitionen. Die umfassendste und präziseste NEH-Definition ist die der Gütegemeinschaft Niedrigenergie-Häuser e.V. Deren Anforderungen sind in den sog. „Güte- und Prüfbestimmungen“ formuliert:

- \rightarrow **Heizwärmebedarf:** Entweder 30 % unter Wärmeschutzverordnung 1995 oder bei Berechnung nach LEG (Leitfaden „Energiebewußte Gebäudeplanung“, Hessen, siehe hierzu auch Beispielgebäude „Neubau Limburg“, Abschnitt B.2) je nach Gebäudeart max. $55\text{-}70\text{ kWh/m}^2\text{a}$.
- **Wärmebrückenvermeidung:** Keine Durchdringung der Dämmschicht mit Materialien mit Lambda-Wert über $0,22\text{ W/mK}$ oder Kompensation oder Flankendämmung sowie mehrere Detailvorgaben.
- \rightarrow **Luftdichtheit:** Die Anforderungen der DIN 4108-7: 2001-08 für Gebäude mit Lüftungsanlagen ($n_{50} < 1,0\text{ h}^{-1}$) sind einzuhalten. Der Zuschlag für Messungenauigkeit von $+ 0,5\text{ h}^{-1}$ gemäß Bundesanzeiger wird nicht gewährt.
- **Heizungsanlage:** Bei Gas sind Brennwertkessel mit RAL-Umweltzeichen Nr. 61 einzubauen. Bei Öl sind Kessel mit RAL-Umweltzeichen Nr. 46 einzubauen. Bei Elektrowärmepumpen muss vom Installateur eine Jahresarbeitszahl der gesamten Anlage von mindestens 3,2 bei Außenluft oder von mindestens 3,8 bei Erdwärme als Wärmequelle gewährleistet werden. Bei Feststoffheizung: Gebläse und automatische Brennstoffzufuhr sowie weitere Einzelanforderungen. Fernwärme und regene-

rative Energien sollen vorrangig genutzt werden.

- **Warmwasser:** Möglichst geringe Umwandlungs-, Bereitschafts-, Verteil- und Regelverluste.
- **Lüftung:** Abluftanlagen oder WRG-Anlagen mit Auslegung auf 0,3- bis 0,8-fachen Luftwechsel sowie weitere Einzelanforderungen.

Nutzfläche (A_N)

Nach Energieeinsparverordnung festgelegt als $A_N = 0,32 \cdot V_e$

Nutzenergiebedarf

Energie, die vom Heizsystem unter normierten Bedingungen abgegeben werden muss, um den Heizwärmebedarf und den Trinkwasser-Wärmebedarf decken zu können.

Oberflächentemperatur θ (Theta) (°C)

Für Oberflächentemperaturen ist das Zeichen θ üblich, um sie von z. B. Lufttemperaturen (K/°C) zu unterscheiden. Eine feste Regelung besteht nicht.

Passivhäuser

Der Begriff Passivhaus ist genau wie der des → Niedrigenergiehauses nicht gesetzlich festgelegt. Lediglich das Passiv-Haus-Institut in Darmstadt hat Richtwerte für den Passivhausstandard festgelegt.

Der Passivhausstandard wird dann erreicht, wenn ein sehr guter Wärmeschutz mit U-Werten von opaken Bauteilen von unter 0,15 W/(m²K) und von transluzenten Bauteilen einschließlich Rahmen von unter 0,8 W/(m²K) und eine Zu/Abluftanlage mit hocheffizienter Wärmerückgewinnung zu einem → Heizwärmebedarf kleiner als 15 kWh/(m²a) führen und ein separates Heizsystem überflüssig machen. Die Luftdichtigkeit des Gebäudes ist durch Luftdichtigkeitstest (→ Blower-Door-Test) nachzuweisen, eine → Luftwechselrate von 0,6/h bei einer Druckdifferenz von 50 Pascal (n_{50} -Wert) sollte nicht überschritten werden. Zur Vermeidung von Überhitzung sollten transluzente Flächen einen temporären Sonnenschutz aufweisen, sobald sie in Ost- und West-Orientierung 15 % und in Südorientierung 25 % der dahinterliegenden Nutzfläche überschreiten.

Ein Nachweis des Passivhausstandards gemäß aktuellem Passivhaus-Projektierungs-Paket (PHPP) des Passivhausinstituts Darmstadt ist erforderlich.

Eine Nutzereinführung und -begleitung zum Lüftungsverhalten sollte durchgeführt werden.

Periodenbilanzverfahren (Vereinfachtes Verfahren oder Heizperiodenbilanzverfahren)

Nach dem → Monatsbilanzverfahren ist das Periodenbilanzverfahren das zweite Verfahren zur Ermittlung des → Jahresprimärenergiebedarfs eines Gebäudes. Allerdings mit eingeschränkter Anwendung: Wohnungen/Wohngebäude mit einem Fensterflächenanteil ≤ 30 % können nach dem vereinfachten Nachweisverfahren berechnet werden. Es werden pauschalierte Werte in die Berechnungen eingestellt, damit für solche Gebäude auf einfachere Weise ein Nachweis geführt werden kann. Im Ergebnis liegt der so ermittelte Jahresprimärenergiebedarf immer ein wenig ungünstiger als im Monatsbilanzverfahren.

Phasenverschiebung Φ (phi) [h]

Zeitliche Verschiebung (Nachlauf) der inneren zu der entsprechenden äußeren Temperaturkurve, beispielsweise der zeitliche Abstand des inneren zu dem äußeren Temperaturmaximum in Stunden. Bei einer großen Zeitdauer für den Wärmedurchgang (Optimum 12 h) wirken sich die äußeren Temperaturspitzen erst in der kühleren Abend- oder Nachtzeit im Raum aus.

Relative Luftfeuchte Φ (phi) (%)

Verhältnis der in der Luft enthaltenen Wasserdampfmenge W (absolute Feuchtigkeit) und der Wasserdampf-Sättigungsmenge W_s entsprechend dem Verhältnis des vorhandenen Wasserdampfdruckes p zum Wasserdampf-Sättigungsdruck p_s :

$$\text{Relative Luftfeuchte } \Phi = \frac{W_{\text{vorh}}}{W_s} = \frac{p}{p_s} [(\cdot 100) \%]$$

Die Aufnahmefähigkeit der Luft, d. h. die Sättigungsmenge und der Sättigungsdruck, steigt mit zunehmender Temperatur an; die relative Feuchte sinkt, wenn bei konstantem Feuchtegehalt die Lufttemperatur steigt.

Rohdichte ρ (Rho) (kg/m³)

Die Masse eines Stoffes in kg bezogen auf ein Volumen (m³) gibt seine Rohdichte wieder. Anhand der Rohdichte können Rückschlüsse auf die Wärmeleitfähigkeit und auf das Speichervermögen des Stoffes zugelassen werden. Je höher die Rohdichte, um so größer die Wärmespeicherfähigkeit, aber auch um so größer die Wärmeleitfähigkeit λ .

Strahlungswärme oder -kälte

Durch Strahlungswärme oder -kälte wird die Behaglichkeit eines Raumes stark beeinflusst. Ein schlecht gedämmtes Mauerwerk kann im Winter die der Außenwand zugewandte Seite einer Person stark abkühlen. Eine gute Dämmung der Außenhülle und somit eine Erhöhung der Oberflächentemperatur auf der Innenseite ist daher genauso wichtig wie eine luftdichte Fassade.

Systemgrenze

Gesamte Oberfläche eines Gebäudes oder der beheizten Zone eines Gebäudes, über die eine Wärmebilanz mit einer bestimmten Raumtemperatur erstellt wird. Darin sind alle Räume, die direkt oder indirekt durch Raumverbund beheizt werden, inbegriffen.

Taupunkttemperatur θ (Theta) [°C]

Von der Lufttemperatur und dem Wasserdampfgehalt bestimmte Temperaturgrenze, bei der die relative Luftfeuchtigkeit 100 % beträgt (z. B. durch Abkühlen der Luft bei gleichbleibendem absoluten Feuchtigkeitsgehalt). Bei Unterschreiten der Taupunkttemperatur (des Taupunktes) wird die 100 % der relativen Feuchte übersteigende Wasserdampfmenge als Wasser (Nebel, Tauwasser) ausgeschieden.

Temperatur θ (Theta), T [°C, K] Celsius-Temperatur [Grad Celsius]; Kelvin-Temperatur [Kelvin], die Einheit der thermodynamischen Temperatur.

Messbarer Wärmezustand eines bestimmten Stoffes (oder seiner Oberfläche). Die Kelvin-Skala und die Celsius-Skala haben die gleiche Teilung mit der Beziehung:

$$0 \text{ K} = -273,15^\circ \text{ C} \quad 0^\circ \text{ C} = 273,15 \text{ K}$$

Temperaturen im Bauwesen werden grundsätzlich in °C angegeben.

Temperaturdifferenz $\Delta\theta, \Delta$ [K]

Temperaturdifferenzen werden in K angegeben. Temperatur-Amplitudendämpfung θ (theta) [-] Kennzahl für die Dämpfung des Durchgangs äußerer Temperaturschwankungen im Tagesverlauf.

Sie stellt das Verhältnis der äußeren Temperaturdifferenzen (Amplituden) zu den beim Wärmedurchgang sich ergebenden inneren Temperaturdifferenzen dar:

Temperatur-Amplitudendämpfung =

$$\frac{\Delta\theta_a}{\Delta\theta_i} = \frac{\theta_{a \max} - \theta_{a \min}}{\theta_{i \max} - \theta_{i \min}}$$

Mit zunehmendem Wert für θ nimmt die Wärmebelastung des Raumes durch sommerliche Außenlufttemperaturschwankungen und Besonnung ab.

Spezifischer Transmissionswärmeverlustkoeffizient H_T (W/(m²K))

Die europäische Norm DIN EN 832 definiert einen „spezifischen Transmissionswärmeverlust“ als Wärmestrom durch die Außenbauteile je Grad Kelvin Temperaturdifferenz. Durch zusätzlichen Bezug auf die wärmeübertragende Umfassungsfläche wird aus diesem Kennwert (H_T) eine energetische Eigenschaft des Gesamtgebäudes, die dem → „mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten“ entspricht, der bis 1994 wesentlicher Anforderungsgegenstand der Wärmeschutzverordnung war.

Trinkwasserwärmebedarf

Nutzwärme, die zur Erwärmung der gewünschten Menge des Trinkwassers zugeführt werden muss.

Trinkwasser-Wärmeenergiebedarf

Energie, die dem Trinkwassersystem zugeführt werden muss, um den Trinkwasserwärmebedarf decken zu können.

Warmwasserbedarf Q_w (kWh/m²a)

Für den Warmwasserbedarf ist bei Wohngebäuden pauschal ein Wert von $Q_w = 12,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ zu berücksichtigen. Bei Nicht-Wohngebäuden wird kein Warmwasserwärmebedarf in Ansatz gebracht.

Wärme Q (J) bzw. Wärmemenge Q [J], auch: [Ws, kWh, Wh]

Massegebundene Grundform der Energie. 1 Joule entspricht der mechanischen Energie von 1 Newtonmeter [Nm], d. h. der Arbeit, die verrichtet wird, wenn der Angriffspunkt der Kraft 1 N in Richtung der Kraft um 1 m verschoben wird. Abgeleitete Einheiten des SI-Systems (DIN 1301) sind:

$$1 \text{ J} = 1 \text{ Nm} = 1 \text{ Ws} \text{ [Wattsekunde]}$$

Für reine Wärmemengenrechnungen (Enthalpie) wird die Einheit kJ [Kilojoule] = kWh benutzt;

Umrechnungsfaktor:

$$1 \text{ Wh} \triangleq 3,6 \text{ kJ (kWh)}$$

Bei wärmeschutztechnischen Angaben ist statt J

die Einheit Ws zu verwenden, um entsprechend Wärmedurchgang $[W/m^2K]$ und Wärmebelastung $[W/m^2;/m^3]$ einheitlich in der Größe W (Watt = Leistung) und Ws (Wattsekunden = Arbeit) zu bleiben.

Wärmebedarf Q [kWh]

Der Wärmebedarf ergibt sich aus den Wärmeverlusten gemindert um die \rightarrow Wärmegewinne (Wärmebilanz).

Wärmebrücken

Teil der Gebäudehülle, wo der ansonsten normal zum Bauteil auftretende \rightarrow Wärmestrom deutlich verändert wird durch:

- eine volle oder teilweise Durchdringung der Gebäudehülle durch Baustoffe mit unterschiedlicher \rightarrow Wärmeleitfähigkeit und/oder
- eines Wechsels in der Dicke der Bauteil und/oder
- eine unterschiedlich große Differenz zwischen Innen- und Außenfläche, wie diese bei Wand-, Fußböden- und Decken-Anschlüssen auftritt.

Wärmedurchgangskoeffizient U $[W/m^2 K]$ (früher k -Wert)

Der Wärmedurchgangskoeffizient U gibt die Transmissionswärmeverluste in Watt an, die je m^2 wärmeübertragender Fläche A des Bauteils/Gebäudes und je Kelvin Temperaturdifferenz zwischen Innen- und Außenluft aus dem beheizten Gebäudevolumen abfließen.

Der \rightarrow Wärmedurchgangskoeffizient U wird ermittelt als Kehrwert des Wärmedurchgangswiderstandes R_T :

$$U = \frac{1}{R_{si} + R + R_{sa}} \quad \left[\frac{1}{\frac{m^2 K}{W}} = W / m^2 K \right]$$

Mittlerer Wärmedurchgangskoeffizient U_m

Mittelwert des Wärmedurchgangs bei Flächen, die sich aus mehreren, nebeneinanderliegenden Teilflächen mit verschiedenen \rightarrow Wärmedurchgangskoeffizienten U_1, U_2, \dots, U_n zusammensetzen.

Der mittlere U -Wert ist in der Energieeinsparverordnung durch den „spezifischen auf die wärmeübertragende Umfassungsfläche bezogenen Transmissionswärmeverlust“ ersetzt worden.

Äquivalenter Wärmedurchgangskoeffizient U_{eq}

Abgeminderter Wärmedurchgangskoeffizient für Bauteile, bei denen solare Wärmeeinstrahlung zu berücksichtigen ist (z. B. : $U_{eq,W}$ für Fenster).

Wärmedurchgangswiderstand R_T (m^2K/W) (früher $1/k$)

Gesamtwiderstand (Dämmwirkung) eines Bauteils als Summe von \rightarrow Wärmedurchlasswiderstand R und \rightarrow Wärmeübergangswiderständen R_{si} und R_{se} :

$$R_T = R_{si} + R + R_{se} ; R = \sum R_1 + \dots + R_n$$

R_T dient als Zwischenwert zur Ermittlung von U .

Wärmedurchlasskoeffizient Λ $[W/(m^2K)]$ (lambda)

\rightarrow Wärmestrom in W , den eine Stoffschicht von der Dicke s je m^2 Oberfläche durchlässt, wenn der Temperaturunterschied zwischen den Oberflächen gleichbleibend $1 K$ beträgt.

Der Wärmedurchlasskoeffizient ist der Quotient aus \rightarrow Wärmeleitzahl λ und der Schichtdicke d :

$$= \frac{\lambda}{d} \left[\frac{W / mK}{m} = W / m^2K \right]$$

(Je kleiner der Zahlenwert, desto besser ist die Dämmwirkung.)

Wärmedurchlasswiderstand R $[(m^2K)/W]$ (früher $1/\Lambda$) (auch Wärmeleitwiderstand)

Kehrwert des \rightarrow Wärmedurchlasskoeffizienten Λ , der die Dämmwirkung der Stoffdicke s als Widerstand angibt:

$$R = \frac{d}{\lambda} \left[\frac{m}{W / Mk} = m^2 K / W \right]$$

Der Wärmedurchlasswiderstand wächst mit steigender Schichtdicke d und mit geringerer \rightarrow Wärmeleitfähigkeit. (Je größer der Zahlenwert, desto besser ist die Dämmwirkung.)

Bei mehrschichtigen Bauteilen addieren sich diese Widerstände:

$$R = \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{d_n}{\lambda_n};$$

also:

$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

R_L : Wärmedurchlasswiderstand des Luftraums

Für Luft ist die Wärmeleitfähigkeit λ keine Stoffkonstante, sondern verändert sich durch die Strahlungsanteile bei der Wärmeübertragung je nach Oberflächenbeschaffenheit der Begrenzung und der Luftschichtdicke; sie ist stets mit Konvektion überlagert. Die Wärmeübertragung kann daher über eine „äquivalente Wärmeleitfähigkeit“ nur mit dem Wärmedurchlasswiderstand erfasst werden. Dieser bleibt im Bereich der bautechnisch interessierenden Luftschichtdicken von 20 bis 80 mm unter den verschiedenen Einflüssen relativ gleich, so dass mit einem konstanten Wert R gerechnet werden darf.

Wärmeeindringkoeffizient b [$\text{J}/\text{m}^2 \text{h}^{1/2} \text{K}$]

Stoffkennwert für die Wärmeaufnahmeleistung (Maß für die Wärmeeindringgeschwindigkeit). Der Wärmeeindringkoeffizient ist eine maßgebende Größe für die Beurteilung von Baustoffen bzw. Bauteilen bei kurzzeitigen Wärmeströmungsvorgängen (Wärmeableitung bei Berührung, Dämpfung von Lufttemperaturschwankungen, Anheizen). Sie ist abhängig von der Wärmeleitung, der spezifischen Wärme und der Rohdichte des Stoffes:

$$b = \sqrt{\lambda \cdot c \cdot \rho}$$

Das Eindringen von Wärme in ein Bauteil und damit seine Durchwärmung erfolgt um so langsamer, je kleiner die Wärmeeindringzahl ist.

Interne Wärmegewinne Q_i [kWh/a]

Interne Wärmegewinne sind die inneren Wärmegewinne aus Personenwärme, künstlicher Beleuchtung, Geräten und Maschinen. Sie werden bis zu bestimmten Obergrenzen berücksichtigt.

Solare Wärmegewinne Q_s [kWh/a]

Solare Wärmegewinne sind die Wärmegewinne aus direkter und diffuser Sonneneinstrahlung auf transparente und nicht transparente (opake) Bauteile. Die Einstrahlung ist abhängig von der Himmelsrichtung, Verschattung und bei transparenten Bauteilen vom Gesamtenergiedurchlassgrad g der Verglasung. Der nutzbare Anteil der Wärmegewinne wird begrenzt durch die Größe der Einstrahlung und die Bauart des Gebäudes.

Wärmeleitfähigkeit λ [W/mK]

Durch Wärmeleitung fließt Wärme durch Bauteile. Der Rechenwert λ [W/mK] gibt die Wärmemenge in Watt an, die stündlich durch 1 m^2 einer 1 m dicken Stoffschicht geleitet wird, wenn die beiden gegenüberliegenden Oberflächen einen Temperaturunterschied von 1 K aufweisen

Die Wärmeleitfähigkeit ist eine Stoffeigenschaft, die im Wesentlichen von der Dichte des Stoffes aber auch von der Temperatur abhängig ist. Sie wird durch den Feuchtigkeitsgehalt erhöht (wegen der hohen Wärmeleitfähigkeit von Wasser).

Wärmeleitfähigkeit λ (λ) [$\text{W} / \text{m K}$]

gibt den \rightarrow Wärmestrom in W durch 1 m Stoffdicke an, der von 1 K gleichbleibender Temperaturdifferenz zwischen den Oberflächen je m^2 Stoffoberfläche bewirkt wird. (Je kleiner der Zahlenwert, desto besser ist die Dämmeigenschaft.). λ_R : amtlich bekannt gemachte Rechenwerte, unter Berücksichtigung der im eingebauten Zustand sich einstellenden Dauerfeuchtigkeit und mit Sicherheitszuschlag gegenüber mittleren Prüfergebnissen.

Wärmeschutzverglasung

Die Entwicklung von Wärmeschutzgläsern führte zu einer Verglasungstechnik, die immer weniger Wärme nach außen durchlässt und damit den Energieverlust drastisch reduziert. Spezielle Edelgasfüllungen zwischen einer Zweischeibenkonstruktion ermöglichen Werte bis zu $U_w = 0,4 \text{ W}/\text{m}^2$.

Wärmespeicherung

Vorgang der Energieaufnahme von Stoffen bei Temperaturzunahme. Die Speicherung ist abhängig von der spezifischen \rightarrow Wärmekapazität c und der Masse m , also dem Gewicht des speichernden Stoffes.

Da sich die spezifische Wärme c bei mineralischen Baustoffen nur wenig unterscheidet, ist die Speicherung im Wesentlichen von der Masse abhängig, d. h. in der Regel ist das Wärmespeichervermögen eines Körpers mit gegebenem Volumen um so größer, je schwerer es ist.

Synonym zu „Wärmespeicherung“ wird auch der Begriff „Wärmebeharrung“ benutzt, der die mit Wärmespeichervorgängen verbundene zeitliche Verzögerung der Temperaturwirkung betont.

Spezifische Wärmekapazität c (Wh/kgK) oder (kJ/kgK)

(früher auch Stoffwärme) massenspezifische Wärmespeicherkapazität von Stoffen. Sie gibt an, wie viel Wärme in Wh von 1 kg eines Stoffes bei Temperaturzunahme um 1 K (Kelvin) aufgenommen wird.

Gespeicherte Wärmemenge Q [Wh/kgK]

Die bei bestimmter Temperatur und gegebenem Volumen in Bauteilen gespeicherte Wärmemenge bzw. vorhandene Speicherkapazität, also

$$Q = c \cdot \rho \cdot V \cdot \Delta\theta$$

(ρ = Rohdichte [„spezifisches Gewicht“] in kg/m³)

Wärmespeicherzahl S [Wh/m²K]

Volumenspezifische Wärmespeicherfähigkeit von Bauteilen; sie ergibt sich aus dem Produkt der → spezifischen Wärmekapazität c und der → Rohdichte ρ .

$$S = c \cdot \rho$$

Die Wärmespeicherzahl S gibt an, welche Wärmemenge in Wh von 1 m³ eines Stoffes bei der Temperaturzunahme um 1 K aufgenommen wird. Hieraus ergibt sich umgekehrt bei gleicher vorgegebener Wärmemenge die unterschiedliche Temperaturerhöhung von Stoffen gleichen Volumens.

Wärmestrom Φ (Phi)[W]

Wärmemenge pro Zeiteinheit (Leistung)

$$\Phi = \frac{Q}{t} \left[\frac{\text{Wh}}{\text{h}} = \text{W} \right] \quad t = \text{Zeit in h}$$

Wärmestromdichte q [W/m²]

Die Wärmestromdichte gibt an, wie viel Wärme (J) in einer Sekunde durch 1 m² des Querschnittes eines Materials hindurchfließt.

Wärmetransmission

Der Durchgang von Wärmeenergie durch ein Bauteil in Richtung des Temperaturgefälles. Im Winter von innen nach außen, im Sommer kann der umgekehrte Fall zutreffen.

Wärmeübergang

Wärmeübertragung an der Oberfläche eines festen oder flüssigen Stoffes bei gleichbleibender Temperaturdifferenz vom Stoff an die angrenzende Luft oder umgekehrt.

Der Wärmeübergang setzt sich aus Wärmeleitung, Konvektion und Strahlung zusammen; er wird am stärksten beeinflusst durch die Luftbewegung (und Luftfeuchte), durch die Art der Oberfläche nur bei sehr glatter oder reflektierender Ausführung (z. B. Metallbedampfung von Gläsern).

Wärmeübergangskoeffizient h [W/m²K] (früher α)

Der Wärmeübergangskoeffizient drückt die Wärmemenge aus, die pro Sekunde zwischen 1 m² der Oberfläche eines festen Stoffes und der ihn berührenden Luft ausgetauscht wird, wenn der Temperaturunterschied zwischen Luft und Stoffoberfläche 1 Kelvin beträgt.

Wärmeübergangswiderstand R [m² K/W]

Kehrwert des → Wärmeübergangskoeffizienten, der den Widerstand (die wärmedämmende Wirkung) des Übergangs von Bauteiloberflächen zu Luft - und umgekehrt – angibt.

Äußerer Wärmeübergangswiderstand R_{se} (m² K/W) (früher $1/\alpha_a$)

Innerer Wärmeübergangswiderstand R_{si} (m² K/W) (früher $1/\alpha_i$) bezeichnet.

Als feste Werte werden sie in der EN ISO 6946: 1996 und in der DIN 4108-2:2001-03,6.2 für die Berechnung von → Wärmedurchlasswiderständen und → Wärmedurchgangskoeffizienten vorgeschrieben.

Wärmeübertragung

Wärme wird immer von einem Bereich mit höherer Temperatur an einen mit niedriger Temperatur weitergegeben. Die Weitergabe von Wärme erfolgt durch Verlagerung der warmen Stoffteile (Wärmitführung), durch Abstrahlung von Wärmeenergie (Wärmestrahlung) oder durch direkte Bewegungsanregung der benachbarten Moleküle (Wärmeleitung). Dementsprechend sind zu unterscheiden:

- **Wärmitführung** („Konvektion“)
Wärmeübertragung von einem Medium auf ein anderes durch Transport oder Umwälzen warmer Flüssigkeits- oder Gasteilchen (Grundlage vieler Heizsysteme).
- **Wärmestrahlung**
Wärmeübertragung in Form von elektromagnetischen Wellen zwischen den Oberflächen fester oder flüssiger Stoffe, wenn sie durch ein für Wärmestrahlung durchlässiges Medium (Gase, insbesondere Luft) oder Vakuum getrennt sind (z. B. Flächenstrahlungsheizungen).
- **Wärmeleitung**
Wärmeübertragung innerhalb eines festen, flüssigen oder gasförmigen Stoffes durch Übertragung der molekularen Bewegungsenergie in Abhängigkeit von einem Temperaturgefälle. Die Wärmeleitung kann nicht unterbunden, vorhandene Wärme also nicht abge-

sperrt („isoliert“) werden; die Weiterleitung kann nur durch Stoffe mit geringerer Rohdichte (z. B. Porenbildung) verringert werden (Wärmedämmung).

Wasserdampfdiffusion

Druckausgleich durch Poren eines Baustoffes hindurch zwischen Luftbereichen mit unterschiedlichem Dampfdruck (Wasserdampfdruck der relativen Luftfeuchtigkeit), meist durch unterschiedliche Lufttemperaturen bewirkt, z. B. Raumluft – Außenluft.

Wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke s_d

Dicke einer ruhenden Luftschicht, die den gleichen Wasserdampf-Diffusionswiderstand besitzt wie die betrachtete Bauteilschicht bzw. das aus Schichten zusammengesetzte Bauteil. Sie bestimmt den Widerstand gegen \rightarrow Wasserdampfdiffusion. Die wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke ist eine Schicht- bzw. Bauteileigenschaft. Sie ist für eine Bauteilschicht nach folgender Gleichung definiert: $s_d = \mu \cdot d$
Für mehrschichtige, ebene Bauteile gilt die Addition der einzelnen Luftschichtdicken.

Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl μ (mü)

Stoffeigenschaft, die im Wesentlichen von der Dichte des Stoffes und Art und Struktur der Poren bzw. Luftzwischenräume abhängt.

Sie gibt als Verhältniszahl an, um wie viel mal größer der Diffusionswiderstand einer Stoffschicht gegenüber einer gleich dicken Luftschicht unter denselben Bedingungen ist. Leichte, poröse Stoffe mit guten Wärmedämmeigenschaften haben eine geringe, gegen 1 strebende Diffusionswiderstandszahl, sofern sie nicht herstellungsbedingt überwiegend geschlossenzellig sind.

Die Wasserdampfdampfdiffusionswiderstandszahl errechnet sich nach DIN 4108-3: 2001-07 aus dem Quotienten aus Wasserdampf-Diffusionsleitkoeffizient in Luft und in einem Stoff.

Im Folgenden werden die wichtigsten Symbole und ihre Bedeutung dargestellt. Es handelt sich dabei um Auszüge aus den DIN Normen, die in Bezug auf die EnEV von Bedeutung sind.

Je nach Norm werden für die einzelnen Bedeutungen unterschiedliche Symbole verwendet, daher muss im Zweifelsfall eine genauere Betrachtung erfolgen.

Bedeutung	Symbol alt 1(siehe Fußnote am Ende der Tabelle)	Symbol neu	Einheit
Anlagenaufwandszahl	--	e_p	--
Ausnutzungsgrad	η	η	--
Dicke	s	d oder s	m
Energie		Q	kWh/a
Fläche	A	A	m^2
Nutzfläche	A_N	A_N	m^2
Gesamtenergiedurchlassgrad	g	g	--
Jahresheizenergiebedarf		Q_p	$Wh, kWh, Wh/a, kWh/a$
Jahresheizwärmebedarf		Q_h	$Wh/a, kWh/a$
Jahres-Primärenergiebedarf		Q_p''	$kWh/(m^2 \cdot a)$ $kWh/(m^3 \cdot a)$
Korrekturfaktor	F	F	--
Luftwechselrate bei 50 Pa Druckdifferenz	n_{50}	n_{50}	h^{-1}
Masse	m	m	kg
Relative Luftfeuchte	Φ (Phi)	Φ (Phi)	%
Rohdichte	ρ (Rho)	ρ (Rho)	kg/m^3
Spezifische Wärmekapazität	c	c	$KJ/(kg \cdot K)$ $Wh/(kg \cdot K)$
Spezifischer Transmissionswärmeverlustkoeffizient	--	H_T	$W/(m^2 \cdot K)$

Spezifischer auf die wärmeübertragende Umfassungsfläche bezogener Transmissionswärmeverlust		H_T'	W/(m ² ·K)
Spezifischer Lüftungswärmeverlust	Q_L	H_V	kWh/a
Stefan-Boltzmann Konstante	σ (Sigma)	σ (Sigma)	W/(m ² ·K ⁴)
Temperatur Celsius Kelvin	θ (Theta)	θ (Theta)	°C K
Temperaturdifferenz	$\Delta\theta$ (ΔT)	$\Delta\theta$ (ΔT)	K
Thermodynamische Temperatur	T	T	K
Volumen, beheizt	V_e	V_e	m ³
Wärmegewinne, solar; intern		$Q_s; Q_i$	kWh/m ² ·a
Masse- Volumenbezogener Feuchtegehalt	u ψ (Psi)	u ψ (Psi)	Kg/Kg m ³ /m ³
Wärme, Wärmemenge	Q	Q	Wh, kWh, Wh/a, kWh/a
Wärmebrückenverlustkoeffizient (auch längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient)	ψ (Psi)		W/(m·K)
Wärmedurchgangskoeffizient	k	U	W/(m ² ·K)
Wärmedurchgangswiderstand	$1/k$	R_T	m ² ·K/W
Wärmedurchlasskoeffizient	Λ (Lambda)	Λ (Lambda)	W/(m ² ·K)
Wärmedurchlasswiderstand (Wärmeleitwiderstand)	$1/\Lambda$ (Lambda)	R	(m ² ·K)/W
Wärmeeindringkoeffizient	b	b	J/m ² ·K·s ^{1/2})
Wärmekapazität	C	C	J/K
Wärmeleitfähigkeit	λ (Lambda)	λ (Lambda)	W/(m·K)
Wärmeübergangskoeffizient, flächenbezogener	α (alpha)	h	W/(m ² ·K)
Wärmeübergangswiderstand, außen	$1/\alpha_a$	R_{se}	m ² ·K/W
Wärmeübergangswiderstand, inneren	$1/\alpha_i$	R_{si}	m ² ·K/W
Wärmespeicherzahl	S	S	Wh/m ² ·K
Wärmestrom	Q	Φ (Phi)	W
Wärmestromdichte	q	q	W/m ²
Wasseraufnahmekoeffizient	w	w	kg/(m ² ·h ^{1/2})
Wasserdampf-Diffusionsäquivalente Luftschichtdicke	s_d	s_d	m
Wasserdampf-Diffusionsdurchlasskoeffizient	Δ (Delta)	W	kg/(m ² ·h·Pa)
Wasserdampf-Diffusionsdurchlasswiderstand	$1/\Delta$	z	m ² ·h·Pa/kg
Wasserdampf-Diffusionsleitkoeffizient	δ (Delta)	δ (Delta)	kg/(m·h·Pa)
Wasserdampf-Diffusionsstrom	I	G	Kg/h
Wasserdampf-Diffusionsstromdichte	i	g	kg/(m ² ·h)
Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl	μ (Mü)	μ (Mü)	--
Sättigungsdruck des Wasserdampfes (Wasserdampfsättigungsdruck)	p_s	p_s	Pa(N/m ²)
Wasserdampfteildruck	p	p	Pa
Zeit	t	t	h
Zuschlag für Warmwasser		Q_w	12,5 kWh/(m ² ·a)

¹⁾ DIN 4108-1: 1981-08 wurde nach Fertigstellung des „Paketes“ Europäischer Normen für den Wärmeschutz im September 2001 zurückgezogen.

Tab. 23 Symbole und ihre Bedeutung

5. Abbildungsverzeichnis mit Quellen

Sofern keine Angaben gemacht wurden, handelt es sich bei der Quelle um das Landesinstitut für Bauwesen des Landes Nordrhein-Westfalen

Abbildungen:

Titelseite (von links)	Hessen, Neubau der Staatsanwaltschaft Limburg	Staatsbauamt Wetzlar
	Baden-Württemberg, Verwaltungs- und Betriebsgebäude der Fa. Surtec, Zwingenberg (Abdruck mit freundlicher Genehmigung der Passivhaus Dienstleistungs GmbH, Darmstadt)	Foto : Passivhaus Institut Darmstadt Architekt: Martin Zimmer, Darmstadt
	Nordrhein-Westfalen, Fortbildungsakademie Mont-Cenis, Herne-Sodingen	Foto: Entwicklungsgesellschaft Mont-Cenis Bauamt: Staatliches Bauamt Bochum
	Universität Dortmund, Blockheizkraftwerk	Foto: Max Hampel, Düsseldorf

Abb.	Kapitel	Bezeichnung	Seite
1	A	Stufen des Energiebedarfs, Gesamtenergiebedarf in Deutschland Quelle: Energieagentur NRW, Basiswissen Energie (CD-ROM), Wuppertal, 2001	6
2	B.1	Die Zusammenfassung von Wärmeschutzverordnung und Heizungsanlagenverordnung	9
3	B.2.6	Darstellung des Energieflusses für die Erstellung einer Energiebilanz am Fenster	17
4	B.2.6	Vergleich der U-Werte von Wärmeschutzglas im Berechnungsverfahren nach Wärmeschutzverordnung 1995, nach EnEV und von Drei-Scheiben-Glas mit gedämmten Rahmen für den Passivhausstandard	18
5	B.2.6	Isothermenverlauf je nach Einbaulage des Fensters	19
6	B.2.7.1	Vergleich der Wärmeströme bei einer Fassade mit opaker oder transparenter Dämmung	20
7	B.2.7.1	TWD-Typen – Geometrische Klassifizierung transparenter Dämmmaterialien	20
8	B.2.7.1	Eine Fassade mit transparenter Wärmedämmung als Strahlungsheizkörper Quelle: Fachverband Transparente Wärmedämmung e.V., http://www.ftwd.de/	21
9	B.2.7.2	Prinzip eines Passivhauses	23
10	B.2.8	Maximale stündliche direkte Sonnenwärmeeinstrahlung durch 1 m ² senkrechter Fensterfläche in Abhängigkeit von der Himmelsrichtung	29
11	B.2.8	Tagessumme der direkten Sonnenwärmeeinstrahlung durch 1 m ² senkrechter Fensterfläche in Abhängigkeit von der Himmelsrichtung	29
12	B.2.8	Raumlufttemperaturverlauf in Abhängigkeit vom Einsatzzeitpunkt des Sonnenschutzes im Hochsommer	32
13	B.2.9	Optimierung von Energiesparmaßnahmen	34
14	B.2.12	Lichtausbeute verschiedener Lampensysteme	42
15a	B.2.13	Jahresenergiebedarf für Wärme und Kühlung	46
15b	B.2.13	Wärme- und Kältekosten über einen Nutzungszeitraum von 50 Jahren für 3 unterschiedliche Wettbewerbs-Entwürfe	46
16a	B.3	Lageplan Staatsanwaltschaft Limburg Quelle: Oberfinanzdirektion Frankfurt am Main -Landesbauabteilung-	49
16b	B.3	Ansicht Haupteingang von Norden Quelle: Oberfinanzdirektion Frankfurt am Main -Landesbauabteilung-	49
16c	B.3	Grundriss Staatsanwaltschaft Limburg Quelle: Oberfinanzdirektion Frankfurt am Main -Landesbauabteilung-	52

16d	B.3	Ansicht von Westen Quelle: Oberfinanzdirektion Frankfurt am Main -Landesbauabteilung-	52
16e	B.3	Ansicht Haupteingang von Norden Quelle: Oberfinanzdirektion Frankfurt am Main -Landesbauabteilung-	52
16f	B.3	Ansicht Innenhof von Süden Quelle: Oberfinanzdirektion Frankfurt am Main -Landesbauabteilung-	52
16g	B.3	Ansicht von Osten Quelle: Oberfinanzdirektion Frankfurt am Main -Landesbauabteilung-	52
17	C.3.1	Sockel Bestand/Planung	60
18	C.3.1	Balkon Bestand/Planung	60
19	C.3.1	Fenster Bestand/Planung	60
20	C.3.1	Fenstersturz Bestand/Planung	61
21	C.3.1	Fensterbank Bestand/Planung	61
22	C.3.1	Traufe Bestand/Planung	61
23	C.3.1	Flachdachanschluss Bestand/Planung	61
24	C.3.1.1	Wärmedämmverbundsystem	62
25	C.3.1.2	Hinterlüftete Vorhangsfassade	63
26	C.3.1.3	Wärmedämmputz	64
27	C.3.1.4	Vormauerung/Verblendung	65
28	C.3.1.5	Kerndämmung	65
29	C.3.1.6	Innendämmung	66
30	C.3.1.6	Einbindende Geschossdecke Bestand/Planung	67
31	C.3.1.6	Einbindende Innenwand Bestand/Planung	67
32	C.3.1.6	Fensterlaibung Bestand/Planung	67
33	C.3.1.6	Fenstersturz Bestand/Planung	67
34	C.3.1.6	Fensterbank Bestand/Planung	68
35	C.3.1.6	Traufe Bestand/Planung	68
36	C.3.1.6	Flachdachabschluss Bestand/Planung	68
37	C.3.2.1.1	Verbundfenster	79
38	C.3.2.1.2	Kastenfenster	80
39	C.3.2.2	Fenstererneuerung	81
40	C.3.2.2	Fenstererneuerung	81
41	C.3.3.1.1	Zwischen-Sparren-Dämmung	85
42	C.3.3.1.2	Zwischen- und Unter-Sparren-Dämmung	86
43	C.3.3.1.3	Auf-Sparren-Dämmung	87
44	C.3.3.2.1	Durchlüftetes Dach (Kaltdach)	88
45	C.3.3.2.1	Durchlüftetes Dach (Kaltdach)	88
46	C.3.3.2.2	Nicht durchlüftetes Dach (Warmdach)	89
47	C.3.3.2.2	Nicht durchlüftetes Dach (Warmdach)	89
48	C.3.3.3	Decken zu unausgebauten Dachräumen	90
49	C.3.3.3	Einbindende Bauteile	90
50	C.3.3.3	Holzbalkendecke zum unausgebauten Dachraum	91
51	C.3.4.1	Kellerdecken	102
52	C.3.4.2	Wände zu unbeheizten Räumen	103
53	C.3.4.2	Wände zu unbeheizten Räumen	103
54	C.3.5.1	Kelleraußenwände	107
55	C.3.5.1	Kelleraußenwände	107
56	C.3.5.2	Bauwerkssohlen	107
57	C.4.2	Primärenergieverbrauch bei Bürogebäuden Quelle: BINE Informationsdienst, Projektinfo 8/01	112

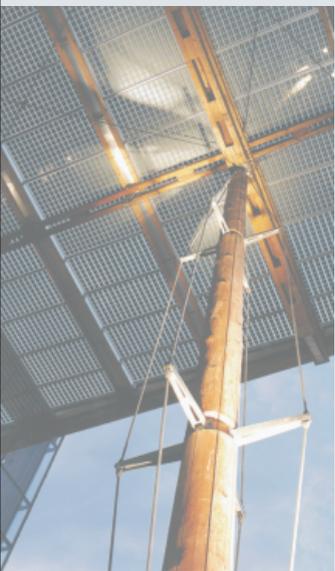
58	C.5	Lageplan Regierungspräsidium in Kassel Quelle: Oberfinanzdirektion Frankfurt am Main -Landesbauabteilung-	117
59	C.5	Ansicht von Osten Quelle: Oberfinanzdirektion Frankfurt am Main -Landesbauabteilung-	117
60	C.5	Luftbild Quelle: Oberfinanzdirektion Frankfurt am Main -Landesbauabteilung-	119
61a	C.5	Grundriss Quelle: Oberfinanzdirektion Frankfurt am Main -Landesbauabteilung-	119
61b	C.5	Grundriss Quelle: Oberfinanzdirektion Frankfurt am Main -Landesbauabteilung-	120
62	C.5	Attikadetail Quelle: Oberfinanzdirektion Frankfurt am Main -Landesbauabteilung-	120
63	C.5	Schnitt Quelle: Oberfinanzdirektion Frankfurt am Main -Landesbauabteilung-	120
64	C.5	Ansicht Quelle: Oberfinanzdirektion Frankfurt am Main -Landesbauabteilung-	124
65	C.5	Ansicht Quelle: Oberfinanzdirektion Frankfurt am Main -Landesbauabteilung-	124
66	C.5	Ansicht Quelle: Oberfinanzdirektion Frankfurt am Main -Landesbauabteilung-	124
67	C.5	Ansicht Quelle: Oberfinanzdirektion Frankfurt am Main -Landesbauabteilung-	124
68	C.5	Ansicht Quelle: Oberfinanzdirektion Frankfurt am Main -Landesbauabteilung-	124
69	C.5	Ansicht Quelle: Oberfinanzdirektion Frankfurt am Main -Landesbauabteilung-	124
70	D.1.1	Schema eines Blockheizkraftwerkes mit Verbrennungsmotor	125
71	D.1.1	Leistungsflüsse bei der getrennten Wärme- und Stromerzeugung sowie beim kombinierten Prozess	126
72	D.1.4	Prinzip eines Brennwertkessels	128
73	D.1.5	Funktionsschema einer Brennstoffzelle Quelle: Forschungszentrum Jülich	129
74	D.2	Beiträge zum antropogenen Treibhauseffekt	130
75	D.2	Systematik der regenerativen Energiequellen	130
76	D.2.1	Schema einer solaren Brauchwasseranlage	132
77	D.2.1	Kennlinien verschiedener Kollektortypen	133
78	D.2.1	Prozentualer Energieertrag in Abhängigkeit von Neigung und Ausrichtung der Dachfläche Quelle: Landesgewerbeamt Baden-Württemberg	133
79	D.2.2	Denkbare Nutzung für Wasserstoff	134
80	D.2.3	Prinzip der Kompressionswärmepumpe	134
81	D.2.3	Wärmepumpenanlage in einem Schwimmbad	135
82	D.2.5	Gebiete mit technisch nutzbaren Windgeschwindigkeiten in Deutschland	136
83	D.2.6	Biogas-Verfahren (vereinfachte schematische Darstellung)	137
84	D.2.7	Funktionsweise einer Geothermieanlage Quelle: Landesinitiative Zukunftsenergien NRW	138
85	D.3	Gebäudelebenszykluskosten Quelle: Galonska/ Erbslöh, Deutscher Wirtschaftsdienst, Facility Management - Praxishandbuch für integriertes Immobilienmanagement, Köln (Lose Blattsammlung)	140
86	D.3	Handlungsfelder des Energiemanagements	139
87	D.4	Ebenen in der Gebäudeautomation gem CEN Quelle: Die Kälte- und Klimatechnik, 3/2000, S.60ff.	142
88	E.1.1	Bereich der physiologischen Behaglichkeit	146

89	E.1.1	Abhängigkeit der inneren Oberflächentemperatur vom Wärmedurchlasswiderstand von Außenwänden	148
90	E.1.3	Der spezifische Lüftungswärmeverlust	150
91	E.1.6	Halbseitige Wärmespeicherkapazität von Innenwänden	156
92	E.2.2	Schematische Übersicht über die anzuwendenden Rechenverfahren für neue zu errichtende Gebäude gem. EnEV	163
93	E.2.2	Schematische Übersicht über die anzuwendenden Rechenverfahren für den Gebäudebestand gem. EnEV	164
94	E.2.2	Beispielgebäude für die Berechnung Quelle: http://www.bpy.uni-kassel.de ; http://www.kalksandstein.de	166
95	E.2.4	Sensitivitätsanalyse der Versorgung mit den Energieträgern Heizöl oder Fernwärme am Beispiel der Heizölpreisentwicklung Hamburg	225
96	E.2.4	Beispiel „Belüftetes Kaldach“ für eine Wirtschaftlichkeitsberechnung Hamburg	227

Tabelle	Kapitel	Bezeichnung	Seite
1	B.2.8	Aktive Sonnenschutzmaßnahmen	30
2	B.2.12	Vergleich verschiedener Vorschaltgeräte	42
3	B.2.13	Abhängigkeit der Betriebskosten	44
4	B.2.13	Jahresbetriebskosten für Heizungs-, Lüftungs- und Klimaanlage	45
5	B.3	Haustechnik Kennwerte Quelle: Oberfinanzdirektion Frankfurt am Main -Landesbauabteilung-	50
6	B.3	Beispiel Hüllflächenaufbau Quelle: Oberfinanzdirektion Frankfurt am Main -Landesbauabteilung-	51
7	C.4.3	Stufenplan für Altanlagen	113
8	C.4.3	Vorgegebene Dämmstärken	113
9	C.5	Kennwerte Quelle: Oberfinanzdirektion Frankfurt am Main -Landesbauabteilung-	121
10	C.5	Beispiel Hüllflächenaufbau Quelle: Oberfinanzdirektion Frankfurt am Main -Landesbauabteilung-	121f.
11	C.5	Daten zur Außenhülle Quelle: Oberfinanzdirektion Frankfurt am Main -Landesbauabteilung-	123
12	D.1.5	Charakteristische Daten von Brennstoffzellen	129
13	D.2	Flächenbezogene Leistungsdichten und volumenbezogene Energiedichten	131
14	D.2	Weltweite Aufteilung der wichtigsten regenerativen Energiequellen	131
15	D.2.3	Primärenergienutzungsgrade	135
16	D.4	Kommunikationsebenen Quelle: (TAB, 5/2002, S69ff)	143
17	E.1.6	Wärmespeicherung von Nadelholz und Beton	154
18	E.2.4	Unterschiede im statischen und dynamischen Verfahren	223
19	E.2.4	Vier Methoden im dynamischen Verfahren	224
20	E.2.4	Vollbenutzungsstunden	234
21	E.2.4	Temperatur in Abhängigkeit von der Gebäudenutzung	234
22	E.2.4	Technische Nutzungsdauer von Bauteilen	235
23	E.4	Symbole und ihre Bedeutung	284f.

Impressum

Projekt	Planungshilfe Energiesparendes Bauen
Auftraggeber	Ausschuss für staatlichen Hochbau der Bauministerkonferenz der Länder
Bearbeitung	Runrid Fox-Kämper, Landesinstitut für Bauwesen, Aachen Michaela Geisler, Behörde für Bau und Verkehr, Hamburg Edmund Grewe, Landesinstitut für Bauwesen, Aachen Ulrich Kniel, Ministerium für Städtebau und Wohnen, Kultur und Sport des Landes Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf Edgar Krings, Planungsbüro Schmitz Aachen GmbH Herbert Kuck, Landesinstitut für Bauwesen, Aachen Matthias Trudel, Behörde für Bau und Verkehr, Hamburg Georg Wollscheid, Landesinstitut für Bauwesen, Aachen
Beratung	Reinhard Altleitner, Oberfinanzdirektion München Jörg Braun, Landesamt für Bau und Liegenschaften, Saarbrücken Manfred Györi, Finanzministerium des Landes Baden-Württemberg, Stuttgart Dr. Gerd Huber, Sächsisches Staatsministerium der Finanzen, Dresden Hermann Müller, Ministerium der Finanzen des Landes Rheinland-Pfalz, Mainz Günter Nusch, Oberste Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Innern, München Wolfgang Peter, Hessisches Ministerium der Finanzen, Wiesbaden Niels Schwarzer, Sächsisches Staatsministerium der Finanzen, Dresden
Herausgeber und Vertrieb	Landesinstitut für Bauwesen des Landes Nordrhein-Westfalen (LB) Theaterplatz 14, 52062 Aachen Tel. 0241/455-01, Fax 0241/455221 e-mail:poststelle@lb.nrw.de Internet: http://www.lb.nrw.de
© LB Aachen 2003	
Layout und Druck	medienfabrik Oranienstraße 9, Aachen
Besonderer Dank	gilt der Oberfinanzdirektion Frankfurt am Main –Landesbauabteilung, Herrn Kurt Kretschmer und allen Beteiligten, die diese Publikation durch ihre Mitwirkung unterstützt haben.



Vertrieb
Landesinstitut für Bauwesen
des Landes NRW (LB)
Theaterplatz 14, 52062 Aachen