



mit Sonderteil  
"10 Gebote"  
für energieeffiziente  
Bürogebäude

## Effiziente Energienutzung in Bürogebäuden Planungsleitfaden



Oberste Baubehörde  
im Bayerischen Staatsministerium des  
Innern

Klima schützen –  
Kosten senken  
Umwelt **Thema**



Dieses Projekt wurde vom Bayerischen Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz im Rahmen der EU-Strukturförderung für regionale Entwicklung (EFRE) finanziert.



**Auftraggeber: Bayerisches Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz**



# Effiziente Energienutzung in Bürogebäuden Planungsleitfaden

## Impressum

### **Effiziente Energienutzung in Bürogebäuden Planungsleitfaden**

ISBN (Druck-Version): 978-3-940009-78-4

ISBN (Online-Version): 978-3-940009-79-1

#### **Herausgeber:**

Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)

Bürgermeister-Ulrich-Straße 160

86179 Augsburg

Tel.: (0821) 9071 - 0

Fax: (0821) 9071 - 55 56

E-Mail: [poststelle@lfu.bayern.de](mailto:poststelle@lfu.bayern.de)

Internet: [www.lfu.bayern.de](http://www.lfu.bayern.de)

#### **Bearbeitung/Text/Konzept:**

Universität Karlsruhe (TH)

Fachgebiet Bauphysik und technischer Ausbau

Englerstraße 7, 76131 Karlsruhe

#### **In Kooperation mit**

Oberste Baubehörde

im Bayerischen Staatsministerium des Innern

Franz-Josef-Strauß-Ring 4, 80539 München

bifa Umweltinstitut

Am Mittleren Moos 46, 86167 Augsburg

#### **Redaktion:**

Bayerisches Landesamt für Umwelt, Referat 22

#### **Grafik und Layout:**

aiaorange - büro für gestaltung, Augsburg

#### **Druck:**

Druckerei Senser, Augsburg

#### **Stand:**

Juli 2008

Diese Druckschrift wurde mit großer Sorgfalt zusammengestellt. Eine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit kann dennoch nicht übernommen werden. Sofern in dieser Druckschrift auf Internetangebote Dritter hingewiesen wird, sind wir für deren Inhalte nicht verantwortlich.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Zehn Gebote für die Planung energieeffizienter Bürogebäude</b>	<b>6-7</b>
<b>1. Anforderungen und Kennzeichen zukunftsfähiger Büro- und Verwaltungsgebäude</b>	<b>8-12</b>
- Energieeinsparverordnung EnEV	8
- DIN 18599 „Energetische Bewertung von Gebäuden...“	9
- Grenz/Zielwerte für den Primärenergiebedarf	10
- Aufenthaltsqualität in Gebäuden – Bewertungskriterien nach der Vornorm prEN 15251	11
- Flächenbezug als Basis für den Vergleich von Energiekennwerten	12
- Kosteneffizienz und Wirtschaftlichkeit	12
<b>2. Heizen</b>	<b>13-21</b>
- Konzept für den Wärmeschutz	13
- Thermischer Komfort im Winter	13
- Kompakte Bauweise	13
- Baulicher Wärmeschutz	15
- Luftdichtheit der Gebäudehülle	17
- Passive Solargewinne	18
- Heizungsanlage – Wärmeübergabe und –verteilung im Gebäude	18
- Wärmeverteilverluste	21
- Elektrischer Energiebedarf - Hilfsenergie	21
<b>3. Lüften</b>	<b>22-29</b>
- Luftqualität	22
- Luftdichte Gebäudehülle	24
- Freie Lüftung	25
- Lüftungsarten bei freier Lüftung	26
- Regelung	26
- Mechanische Lüftung	27
- Abluftanlagen	27
- Zu- und Abluftanlagen mit Wärmerückgewinnung	28
- Regelung	29
<b>4. Kühlen</b>	<b>30-39</b>
- Sommerlicher Komfort in Innenräumen	30
- Relevante Außenklimafaktoren	32
- Abzuführende Wärmelasten (Kühllasten)	33
- Externe Lasten	34
- Sonnenschutz	35
- Aktivierbare Speichermasse	37
- Wärmeabfuhr aus dem Gebäude	37
<b>5. Beleuchten</b>	<b>40-47</b>
- Anforderungen an die Beleuchtung von Arbeitsplätzen	40
- Tageslicht	40
- Blendschutz	43
- Einfluss des Blendschutzes auf den Energieverbrauch der Beleuchtung	44
- Lichtumlenkung	44
- Das Atrium – ein Sonderfall	44
- Künstliche Beleuchtung	45
- Steuerung/Regelung	46
- Berechnung des Jahresenergiebedarfs für die Beleuchtung	47
<b>6. Zukunftsfähige Energieversorgung</b>	<b>48-51</b>
- Brennwerttechnik	48
- Heizen mit Biomasse	48
- Erdwärme-/Grundwasserwärmenutzung mit Wärmepumpe	48
- Solarenergie	50
- Kraft-Wärme-Kopplung	51
<b>7. Monitoring</b>	<b>52-53</b>
<b>8. Besonderheiten der Sanierung</b>	<b>54-57</b>
<b>9. Beispielgebäude</b>	<b>59-64</b>

## Vorwort

Der Schutz des Erdklimas ist eine der größten Herausforderungen für die Menschheit im 21. Jahrhundert. Nach Erkenntnissen des Weltklimarates (IPCC) lassen sich durch rasches und ambitioniertes Handeln die Folgen des Klimawandels auf ein erträgliches Maß begrenzen. In seinem jüngsten Sachstandsbericht spricht der IPCC von dem Erfordernis, bis 2050 die weltweiten CO<sub>2</sub>-Emissionen, bezogen auf das Jahr 2000, um 50 – 85 % zu senken. Dies bedeutet gerade für die Industrieländer eine Abkehr vom bisherigen Umgang mit Energieressourcen. Vor allem im Interesse künftiger Generationen ist eine nachhaltige Klimaschutzpolitik notwendig. Deren Aufgabe ist es, einerseits die Treibhausgasemissionen konsequent zu vermindern und andererseits den unvermeidbaren Folgen der Klimaveränderung wirksam zu begegnen. Eine vielbeachtete Studie des britischen Wirtschaftswissenschaftlers Sir Nicholas Stern kommt zu dem Ergebnis, dass die Auswirkungen des Klimawandels viel teurer wären als konsequente Gegenmaßnahmen.

Bayern hat darauf reagiert und das Bayerische Klimaschutzprogramm aus dem Jahr 2000 (novelliert im Jahr 2003) im Jahr 2007 zu einem „Klimaprogramm Bayern 2020“ fortgeschrieben. Das Klimaprogramm 2020 enthält Maßnahmen in den Bereichen Energiewirtschaft, Industrie, Verkehr, Gebäude sowie Land- und Forstwirtschaft. Dieses umfangreiche Maßnahmenpaket macht deutlich, dass Klimaschutz eine Querschnittsaufgabe für die gesamte Gesellschaft ist. Wirtschaft, Staat und Kommunen sind ebenso gefordert wie jeder einzelne Bürger. Besonders wichtig sind breit angelegte Information und Kommunikation, die Bewusstsein für das Thema Klimaschutz schaffen, Handlungsmöglichkeiten aufzeigen und alle gesellschaftlichen Gruppen einbeziehen.

Eine erfolgreiche Klima- und Energiepolitik muss dort ansetzen, wo die großen Einsparpotenziale liegen und die Potenziale besonders wirtschaftlich und nachhaltig erschlossen werden können. Besondere Bedeutung hat der Bereich der Gebäude, sowohl Wohn- als auch Gewerbegebäude. Nicht zuletzt aus diesem Grund hat die Staatsregierung im Rahmen des Klimaprogramms Bayern 2020 ein Sonderprogramm zur energetischen Sanierung staatlicher Gebäude initiiert, das die energetische Verbesserung des Gebäudebestands einen wichtigen Schritt voranbringen soll. Bayern will auch im Bereich des sparsamen Umgangs mit Energie und des Einsatzes neuer Energietechnologien Vorbildfunktion erfüllen.

Das Bayerische Landesamt für Umwelt (LfU) führt seit vielen Jahren im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz Projekte durch, die die Möglichkeiten sparsamer und effizienter Energienutzung vor allem im Gewerbebereich aufzeigen. Die Oberste Baubehörde beschäftigt sich seit langem mit den Möglichkeiten, vor allem öffentliche Gebäude so zu konzipieren, dass sie bei höchstem Nutzwert möglichst wirtschaftlich hergestellt und betrieben werden können. Der vorliegende gemeinsame Planungsleitfaden fasst die Erfahrungen zusammen und zeigt insbesondere für Büro- und Gewerbegebäude die Anforderungen auf, die an zukunftsfähige Gebäude zu stellen sind.



Dr. Otmar Bernhard, MdL  
Staatsminister für Umwelt,  
Gesundheit und Verbraucherschutz



Joachim Herrmann, MdL  
Staatsminister des Innern

## Einführung

Energieeffizienz ist der Königsweg zum Klimaschutz: Sie verringert den Energiebedarf und die Emission von Treibhausgasen und ist damit sowohl kostengünstig als auch umweltfreundlich. Insbesondere bei Gebäuden lohnt sich die Investition, denn neueste Materialien und Techniken können den Energieverbrauch gegenüber herkömmlichen Gebäuden um beachtliche 80 Prozent senken. Andererseits müssen gezielt neue Techniken zur energieeffizienten Gebäudekühlung entwickelt werden, denn die Anforderungen an den Nutzerkomfort steigen, während der Klimawandel vermutlich heißere Sommer bringen wird.

Speziell die Bürogebäude stellen hohe Ansprüche an die Planer: Sie benötigen oft mehr Energie zur Kühlung im Sommer als zur Beheizung im Winter, hinzu kommt der Energieverbrauch für Beleuchtung, Belüftung und den Betrieb der Bürogeräte. Während man also bei neuen Wohngebäuden mit der Einhaltung des Passivhausstandards bereits den Stand der Technik erfüllt, ist bei Büro- und Gewerbegebäuden das Zusammenspiel der unterschiedlichen Bereiche komplexer. Erster Schritt ist daher ein Gesamtkonzept zur Minimierung des Primärenergiebedarfs. Anschließend können die Detail- und Entwurfsplanung erstellt werden. Ein maximaler jährlicher Primärenergieverbrauch von 100 kWh pro m<sup>2</sup> Nettogrundfläche wird dabei als Stand der Technik für zukunftsfähige Bürogebäude angesehen.

Die „10 Gebote“ der Energieeffizienz sind stets dieselben – bei Neubauten wie bei Sanierungen: Werden diese zentralen Grundprinzipien beachtet, ist das meiste schon gewonnen. Beispielsweise bedeutet eine vollflächige Fassadenverglasung fast immer Einschränkungen bei Komfort, Wirtschaftlichkeit und Energieverbrauch. Auch andere Anforderungen und Zusammenhänge werden im hier vorgelegten Leitfaden aufgezeigt. Ziel ist dabei immer ein Gebäude, das komfortabel, wirtschaftlich, umweltverträglich und architektonisch gelungen ist.

Die im Leitfaden beschriebenen Anforderungen und Zusammenhänge gelten grundsätzlich auch für andere Gebäude, wie Schulen, Veranstaltungsgebäude oder Schwimmhallen. Bei diesen Gebäuden muss der Planer aber zusätzliche Anforderungen beachten, zum Beispiel erhöhte Ansprüche an den Luftwechsel in Schulgebäuden, den Brandschutz in Veranstaltungsgebäuden oder den Aspekt der hohen Luftfeuchte und der Hygiene in Schwimmbädern. Der Leitfaden kann daher keinen kompetenten Fachplaner ersetzen. Er soll aber Entscheidungsträger von staatlichen und privatwirtschaftlichen Büro- bzw. Gewerbebauten dabei unterstützen, die Chancen zukunftsfähiger Gebäudekonzepte zu erkennen und als Grundlage der Planung vorzugeben.



Prof. Dr.-Ing. Albert Göttle  
Präsident des Bayerischen Landes-  
amtes für Umwelt

# Die 10 Gebote für energieeffiziente Bürogebäude

## Zehn Gebote für die Planung energieeffizienter Bürogebäude

### 1. Integrales Konzept zur Minimierung des Gesamtenergiebedarfs

Ein Primärenergiekennwert zum Heizen, Lüften, Kühlen und Beleuchten von 100 kWh/(m<sup>2</sup>a) ist nach dem Stand der Technik ein realistisch zu erreichender Zielwert. Voraussetzung ist die Erarbeitung eines integralen Energiekonzeptes – mit klimagerechtem Bauwerk und abgestimmter Gebäudetechnik – unter Einbeziehung aller relevanten Entscheidungsträger.

### 2. Kompakte Bauweise und sehr guter baulicher Wärmeschutz

Ein Heizenergiekennwert von 40 kWh/(m<sup>2</sup>a) sollte nicht überschritten werden. Der Passivhaus-Standard mit  $\leq 15$  kWh/(m<sup>2</sup>a) ist für Neubauten heute als Stand der Technik anzusehen und schafft planerische Freiräume zum Erreichen des oben geforderten Gesamtenergiebedarfs. Eine hohe Wirtschaftlichkeit erreichen Dämmmaßnahmen an großflächigen Primärbauteilen und eine kompakte Bauweise.

### 3. Angepasste Glasflächen und Verglasungsqualitäten

Kostenaufwändige Ganzglas- und Glasdoppelfassaden tragen maßgeblich zu Wärmeverlusten bei und bewirken insbesondere hohe Kühllasten. Glasflächenanteile von 30 bis max. 50 % der raumbezogenen Fassadenfläche und selektive Sonnenschutzverglasungen (U-Wert  $\leq 0,8$  W/(m<sup>2</sup>K), g-Werte  $\leq 0,4$ , Lichttransmissionsgrad  $\geq 0,6$ ) sichern eine ausreichende Tageslichtversorgung und hohen thermischen Komfort bei gleichzeitig geringem Klimatisierungsaufwand.

### 4. Integrale Lüftungsplanung

Große Querschnitte für die Luftführung – z. B. auch durch Nutzung von Erschließungswegen oder Lufträumen des Gebäudes zur Luftverteilung/-sammmlung – verringern die Druckverluste und damit die notwendige Antriebsenergie für Ventilatoren. Möglichkeiten zur Fensterlüftung (außerhalb der Heizperiode) erhöhen deutlich die Nutzerzufriedenheit. Der konsequente Einsatz emissionsarmer Materialien ermöglicht geringere notwendige Luftvolumenströme.

### 5. Effiziente Lüftungsanlagen

Wesentliche Voraussetzung für einen niedrigen Energieverbrauch bei guter Luftqualität sind hohe Rückwärmehzahlen von Wärmetauschern ( $\geq 75$  %) und hocheffiziente Ventilatoren (0,15 W/(m<sup>3</sup>/h) bei Abluftanlagen, 0,4 W/(m<sup>3</sup>/h) bei Zu-/Abluftanlagen). Ein weiteres wesentliches Qualitätsmerkmal ist die Luftdichtheit der Gebäudehülle ( $n_{50} \leq 1$  h<sup>-1</sup> bzw. 0,6 h<sup>-1</sup> bei Passivhäusern).



**6. Effizientes Raumklimakonzept und Minimierung innerer und äußerer Wärmelasten**

Der Erfolg passiver Kühlung – anstelle von konventioneller Klimatechnik – wird ganz wesentlich von geringen externen (solaren) und internen Wärmelasten bestimmt (insgesamt < 250 Wh/d). Hierzu gehören moderate Verglasungsanteile (s. o.), ein effektiver Sonnenschutz (g-Wert von Fenster und Sonnenschutz  $\leq 0,15$ ), eine hohe Tageslichtverfügbarkeit sowie energieeffiziente Bürogeräte. Das Gebäude muss über Bauteile mit hoher Wärmekapazität verfügen, die großflächig an die Raumluft ange koppelt sind. Am wirksamsten sind freiliegende Betondecken.

**7. Nutzung von Tageslicht mit angepasstem architektonischem Entwurf**

Eine hohe Tageslichtverfügbarkeit in Büroräumen wird über einen möglichst sturzf freien Einbau der Fenster sowie moderate Raumtiefen (5 bis max. 6 m) erreicht. Externe Verbauungen oder tiefe Fassaden (Glasdoppelfassaden) verringern den Lichteintrag bei diffusem Himmel z. T. erheblich. Bei der Auswahl von Sonnen- und Blendschutzsystemen sind der Ausblick nach draußen sowie gleichzeitige Tageslichtnutzung zu berücksichtigen. Im Einzelfall können auch Lichtlenksysteme zum Einsatz kommen.

**8. Effiziente künstliche Beleuchtung**

Eine wichtige Voraussetzung ist die Auswahl von Leuchtmitteln mit hoher Lichtausbeute ( $\geq 80$  lm/Watt) und Leuchten mit entsprechendem Leuchtenbetriebswirkungsgrad ( $> 70$  %). Eine automatisierte Abschaltung bei Abwesenheit sowie tageslichtabhängiges Dimmen verringern den Energieverbrauch zusätzlich; für eine hohe Akzeptanz sollte der Nutzer die Automatik jedoch überstimmen können.

**9. Wärme- und Kältebereitstellung mit minimalen Primärenergiekennwerten**

Bei Systemdesign und -dimensionierung sind hohe Jahresnutzungsgrade/-arbeitszahlen anzustreben, wobei insbesondere der Teillastbetrieb berücksichtigt werden muss. Regenerative Energieträger sowie natürliche Wärmequellen und -senken weisen die günstigsten Primärenergiefaktoren auf. Einen besonders hohen Synergieeffekt besitzen Systeme, die Erdsonden/Grundwasser für Flächenkühlung bzw. -heizung in Kombination mit einer Wärmepumpe nutzen.

**10. Energie-Monitoring und Betriebsoptimierung**

Eine systematische Erfassung und Analyse der wesentlichen Energieflüsse und Raumklimadaten sichert den Vergleich mit den geplanten Energiekennzahlen und unterstützt eine zielgerichtete energetische Betriebsoptimierung der Gebäudetechnik, insbesondere in der „Einfahrphase“ des Gebäudes. Damit lassen sich Einsparpotenziale zwischen 5 und 30 % erschließen.

# 1. Anforderungen und Kennzeichen zukunftsfähiger Büro- und Verwaltungsgebäude

## Energieeinsparverordnung EnEV

Als Fortschreibung der Wärmeschutzverordnung 1995 wurde die Energieeinsparverordnung EnEV 2002 eingeführt, die Anforderungen an Gebäudehülle und technische Anlagen miteinander verknüpft. Dies geschieht über einen Primärenergiekennwert, der die Energiemengen zur Bereitstellung von Heizwärme und Trinkwarmwasser einschließlich der dazu erforderlichen elektrischen Hilfsenergien beinhaltet. Über Primärenergiefaktoren werden dabei die Prozessketten der einzelnen Energieträger für Förderung, Umwandlung und Transport bis zum Gebäude berücksichtigt.

Auf Basis der EU-Richtlinie zur Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden wurde der Bilanzrahmen nochmals erweitert. Mit Fortschreibung der EnEV werden in Nichtwohngebäuden seit Oktober 2007 zusätzlich die Verbrauchssektoren Klimatisierung und Beleuchtung erfasst. Damit ist die Grundlage für eine ganzheitliche Bewertung für den Energieverbrauch durch technische Gebäudeausrüstung geschaffen. Im Rahmen künftiger Novellierungen der EnEV sind weitere erhebliche materielle Verschärfungen geplant.

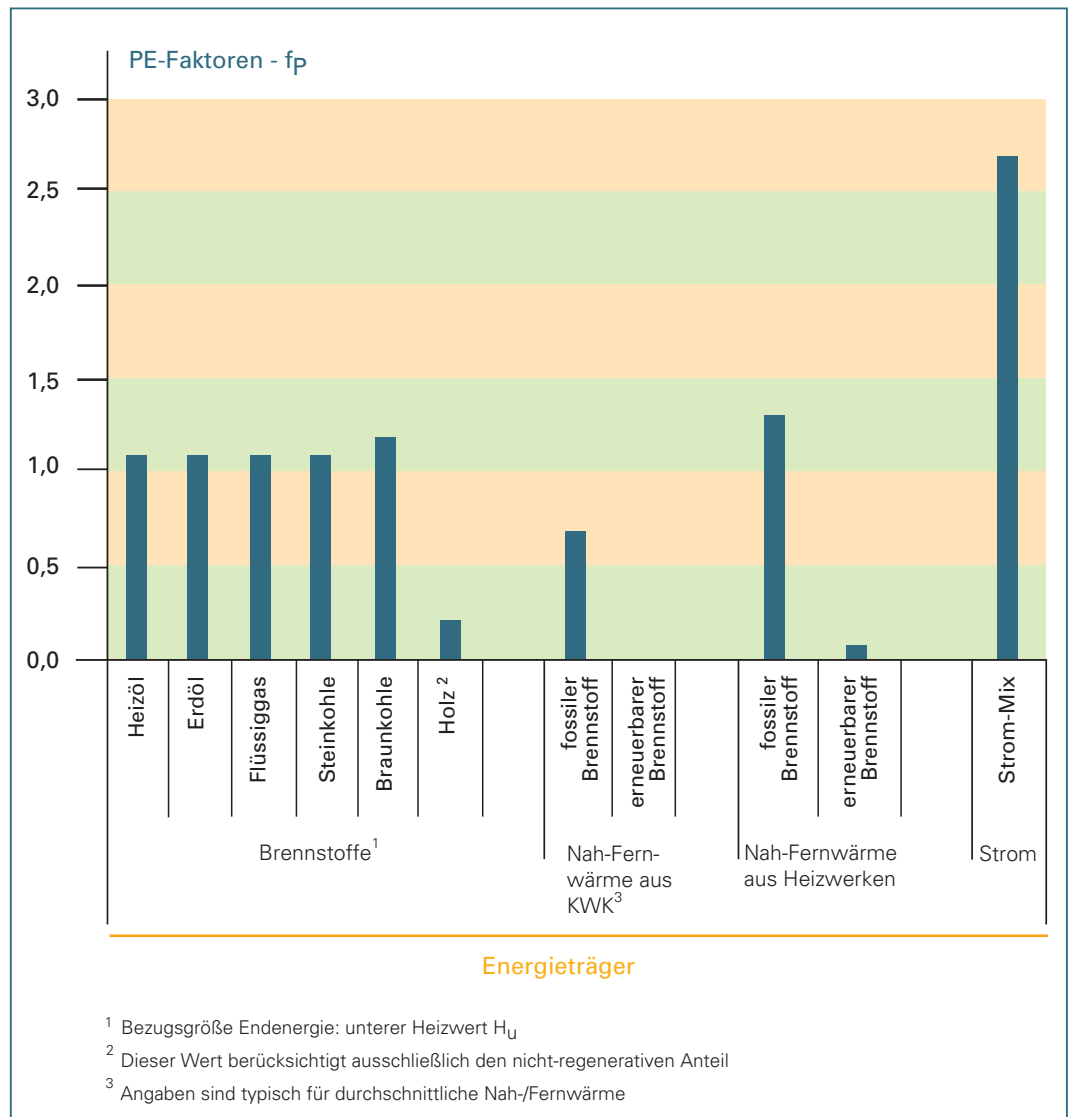


Abb. 01\_01:  
 Primärenergiefaktoren für verschiedene Energieträger. Der Primärenergiefaktor gibt das Verhältnis von einzusetzender Primärenergie zu nutzbarer Endenergie wieder.  
 [Quelle: DIN V 4701-10]

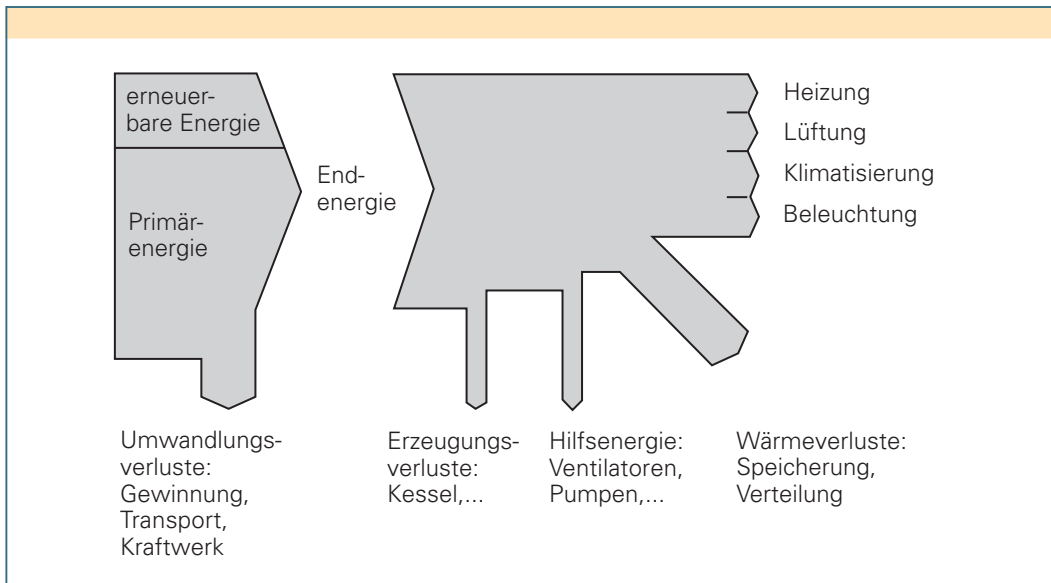


Abb. 01\_02:  
Bilanzraum für die Bilanzierung von Energieströmen in Nichtwohngebäuden nach der neuen EU-Gebäude-richtlinie bzw. EnEV 2007.  
[Quelle: nach EnBau: MONITOR]

Durch die zukünftige Berücksichtigung des Stromverbrauchs für die technische Gebäudeausrüstung werden

- der sommerliche Wärmeschutz/die passive Kühlung,
- die Lüftung und
- die Tageslichtnutzung

neben dem baulichen Wärmeschutz eine deutlich höhere Bedeutung bei der Planung von Bürogebäuden erlangen. Über den Bezug der einzelnen Energiedienstleistungen auf Primärenergie wird dem tatsächlichen Ressourcenverbrauch und der Klimawirkung der vorgesehenen Energieträger Rechnung getragen. Die Vorteile erneuerbarer Energiequellen werden somit schon in der Planung ersichtlich und quantifizierbar.

### **DIN V 18599 – Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung**

Die DIN V 18599 stellt ein Verfahren zur Bewertung der Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden zur Verfügung. Dieses erlaubt die Beurteilung aller Energiemengen, die zur bestimmungsgemäßen Beheizung, Warmwasserbereitung, raumlufttechnischen Konditionierung und Beleuchtung von Gebäuden notwendig sind. Das Verfahren beruht auf dem sogenannten „Referenzgebäudeverfahren“, bei dem der berechnete Jahres-Primärenergiebedarf des tatsächlich geplanten Gebäudes mit dem eines Referenzgebäudes gleicher Geometrie, Nettogrundfläche, Ausrichtung, Nutzung und vorgegebener technischer Ausrüstung verglichen wird.

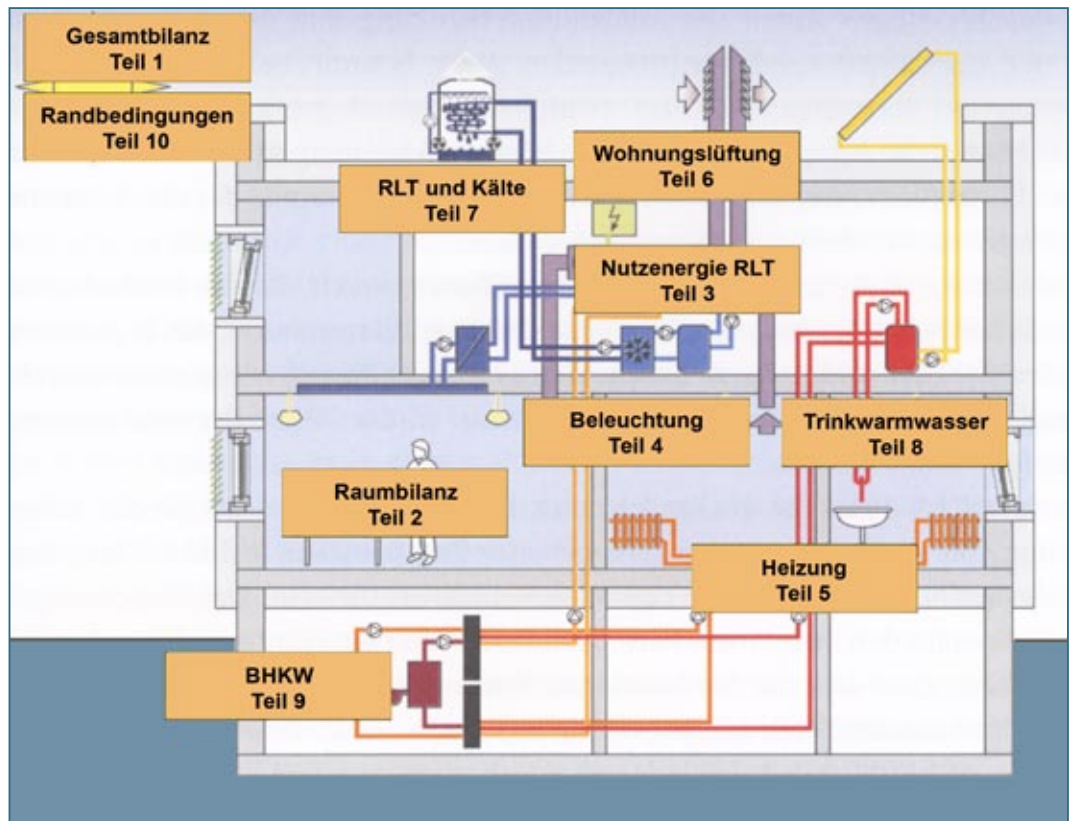


Abb. 01\_03:  
Darstellung der einzelnen Bereiche der DIN V 18599, nach denen sich auch die Berechnung des Gesamtprimärenergiebedarfs von Nichtwohngebäuden gliedert.  
[Quelle: nach Fraunhofer IRB]

David, de Boer, et al.:  
Heizen, Kühlen, Belüften & Beleuchten – Bilanzierungsgrundlagen zur DIN V 18599 – Fraunhofer IRB

### Grenz-/Zielwerte für den Primärenergiebedarf

Gesetzliche Vorgaben zu Grenzwerten für den Primärenergiebedarf basieren auf allgemein eingeführten Technologien. Auf Basis des aktuell(st)en Stands der Technik sind jedoch Primärenergiekennwerte erzielbar, die deutlich unter den gesetzlichen Vorgaben liegen. Beispielhaft ist der über den Heizwärmebedarf von maximal 15 kWh/(m<sup>2</sup>a) definierte Passivhaus-Standard, der im Wohnungsbausektor bereits am Markt etabliert ist.

Für energieeffiziente Bürogebäude sollte als maximal zulässiger Gesamt-Primärenergiekennwert der frühere Zielwert des Forschungsförderprogramms „Energie optimiertes Bauen EnOB-EnBau“ für Neubauten von 100 kWh/(m<sup>2</sup>a) herangezogen werden.

Forschungsförderprogramm „Energie optimiertes Bauen“ des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie: [www.enob-info.de](http://www.enob-info.de)

Achtung! Beim Vergleich von Energiekennzahlen sind einheitliche Bezugsgrößen zu verwenden.

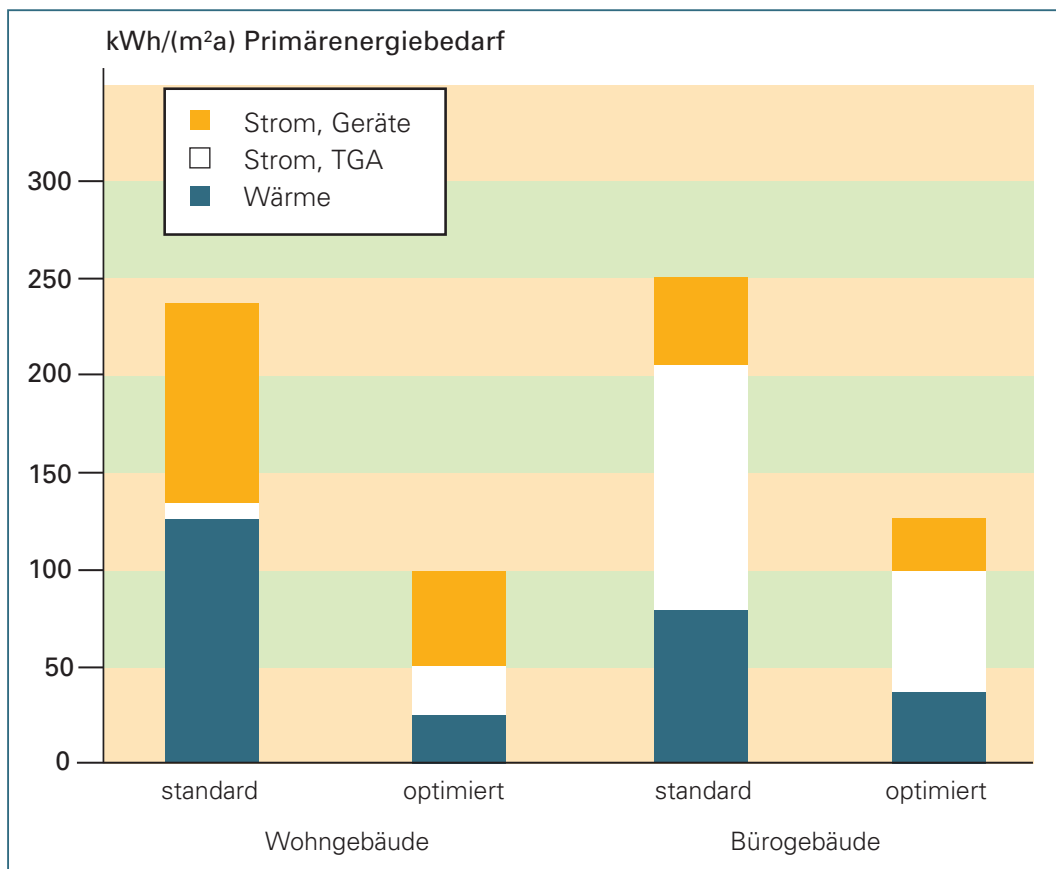


Abb. 1\_04:  
Optimierungspotenzial für Primärenergiekennwerte von Wohn- und Bürogebäuden. Die primärenergiebezogene Bewertung (vgl. Abb01\_01) zeigt, dass bei der Planung von Bürogebäuden dem Stromverbrauch für die Gebäudetechnik (Lüftung, Klimatisierung, Beleuchtung) eine hohe Bedeutung beigemessen werden muss. Der Zielwert von 100 kWh/(m²a) für Bürogebäude kann nur erreicht werden, wenn auf eine flächendeckende konventionelle Kühlung verzichtet wird; er kann andererseits bei verbessertem Wärmeschutz (Passivhaus-Standard: 15 kWh/(m²a) für Heizwärme) noch deutlich unterschritten werden.  
[Quelle: nach EnBau: MONITOR]

### Aufenthaltsqualität in Gebäuden – Bewertungskriterien nach der Vornorm prEN 15251

Die Innenraumbedingungen beeinflussen maßgeblich Behaglichkeit, Gesundheit und Produktivität von Gebäudenutzern. Die Vernachlässigung des thermischen, visuellen und akustischen Komforts oder der Luftqualität kann zu Folgekosten führen, welche die Energiekosten bei weitem übertreffen.

Aus diesem Grund müssen Kriterien für das Innenraumklima festgelegt werden, die beim Entwurf und bei Energiebedarfsberechnungen sowie im Betrieb von Gebäuden anzuwenden sind. Die prEN 15251 legt dafür Wirkungsmechanismen und Kriterien für das Innenraumklima fest. Weiterhin enthält sie Angaben dazu, wie diese zu verwenden sind, um der Anwendung der europäischen Richtlinie zur „Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden“ zu entsprechen.

In der Vornorm prEN 15251 wird erstmals für Gebäude ohne Klimaanlage ein adaptives Komfortmodell zur Festlegung von Raumtemperaturen in Abhängigkeit von der Außentemperatur eingeführt (vgl. auch Kapitel 4 Kühlen). Dieses Modell ist eine wesentliche Basis zur Planung und Bewertung passiv gekühlter und natürlich gelüfteter Gebäude. Außerdem werden in der Norm die notwendigen Luftmengen zur Sicherung der Luftqualität in Abhängigkeit des Ausbaustandards und damit der gebäudebedingten Luftbelastung angegeben (vgl. auch Kapitel 3 Lüften). Damit können Bauherr und Planer sehr früh über eine (energie)optimierte Lüftungsstrategie entscheiden.

- Europäischer Normenvorschlag prEN 15251 „Bewertungskriterien für den Innenraum einschließlich Temperatur, Raumluftqualität, Licht und Lärm“.

### Flächenbezug als Basis für den Vergleich von Energiekennwerten

In der neuen EnEV 2007 wird der Jahres-Primärenergiebedarf von Nichtwohngebäuden nicht mehr auf das beheizte Bruttovolumen, sondern auf die Nettogrundfläche (NGF) bezogen. Damit werden auch unbeheizte Zonen eines Gebäudes in die Energiekennzahl eingerechnet. In dem Forschungsförderprogramm „Energie optimiertes Bauen EnOB-EnBau“ wurde bislang z. B. nur die beheizte Nettogrundfläche berücksichtigt. In der VDI 3807 und der SIA 380 (einschlägige Norm in der Schweiz) wird die Bruttogrundfläche zugrunde gelegt.

### Kosteneffizienz und Wirtschaftlichkeit

Energieeffiziente Gebäude sind dann kosteneffizient, wenn Ziele und Maßnahmen für eine energiegerechte Bauweise möglichst früh verbindlich festgelegt und im weiteren Planungsablauf immer wieder geprüft werden. Die Auswertung von Baukosten der in dem o. g. Förderprogramm EnOB-EnBau (vgl. auch Kapitel 9 Beispielgebäude) hat gezeigt, dass insbesondere die Flächeneffizienz, d. h. die rationelle Umsetzung des Raumprogramms (Raumaufteilung bezogen auf die Nutzung) einen wesentlichen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit hat.

Schlanke Gebäudetechnikkonzepte tragen weiterhin zur Kosteneffizienz bei. Wenn bereits der Gebäudeentwurf selbst den Energiebedarf zu einem wesentlichen Anteil reduziert, verringern sich Investitions- und Betriebskosten für technische Gebäudeausrüstung deutlich. Hierbei werden die Energiekosten zukünftig aufgrund steigender Preise für Öl und Gas eine immer größere Rolle spielen.

#### Zielwerte setzen!

Zu Beginn der Planung sollten Bauherrn, Planer und die weiteren Partner des Planungsteams gemeinsam verbindliche Zielwerte festlegen. Beachten Sie, dass Änderungen zugunsten eines energieeffizienteren Gebäudes in späteren Planungsphasen kostenintensiv und in vielen Fällen gar nicht mehr realisierbar sind.

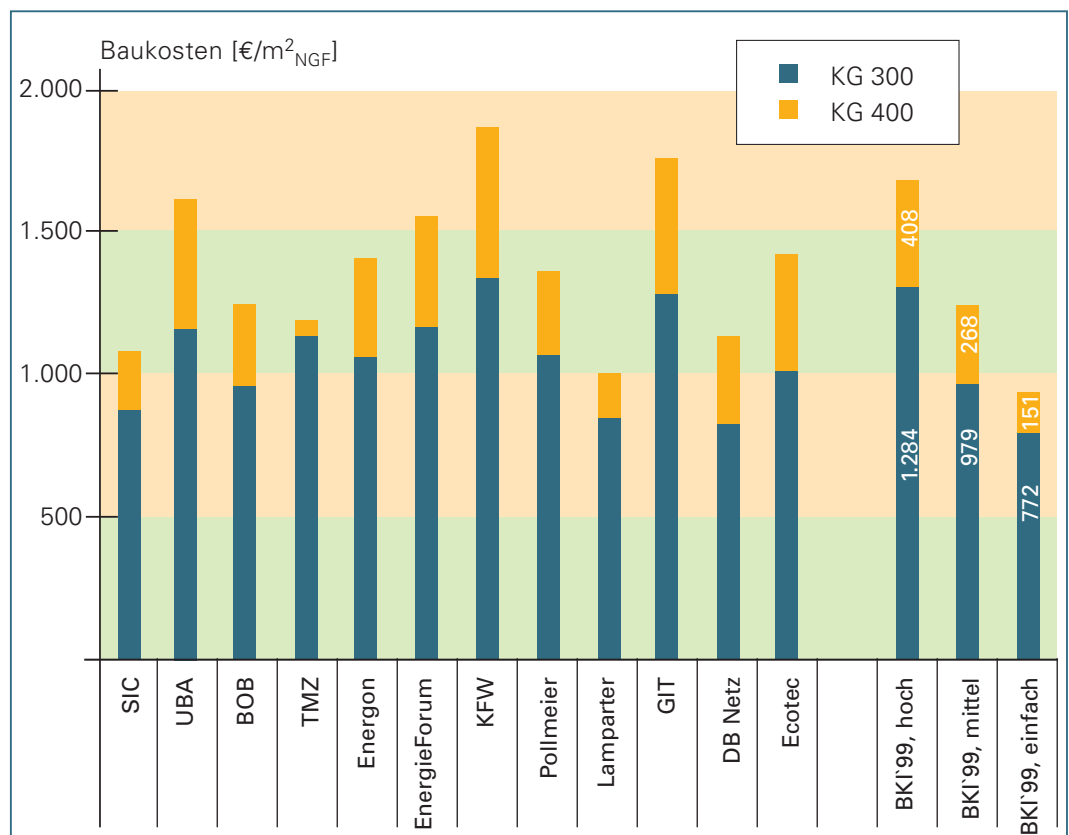


Abb. 01\_05: Baukosten der im Förderprogramm EnOB-EnBau errichteten Gebäude, aufgeteilt nach den Kosten- gruppen 300 und 400. Der Vergleich mit dem Baukostenindex 1999 zeigt, dass energieeffiziente Gebäude nicht teurer als konventionelle Gebäude sein müssen. [Quelle: nach EnBau: MONITOR]

## 2. Heizen

### Konzept für den Wärmeschutz

Ein hochwertiger winterlicher Wärmeschutz zur Minimierung der Wärmeverluste über die Gebäudehülle führt nicht nur zu niedrigen Heizenergiekennwerten, sondern trägt auch entscheidend zur Erhöhung des thermischen Komforts im Innenraum – insbesondere in Fassadennähe – bei.

Als wesentliche Merkmale des Wärmeschutzes sind zu nennen:

- gute Wärmedämmung
- kompakte Bauweise
- Vermeiden von Wärmebrücken
- luftdichte Gebäudehülle

Zudem ist ein gut ausgeführter baulicher Wärmeschutz eine wesentliche Voraussetzung zum langfristigen Schutz des Bauwerks vor Schimmelpilzbildung und Bauschäden durch kondensierende Feuchte.

Für zukunftsfähige Bürogebäude ist hinsichtlich des Heizenergiebedarfs der Passivhaus-Standard anzustreben:

- maximale Heizlast  $10 \text{ W/m}^2$
- Heizwärmebedarf  $\leq 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$
- Gebäudedichtheit:  $n_{50}$ -Wert  $< 0,6 \text{ h}^{-1}$
- Wärmerückgewinnung aus Lüftungsanlage  $> 75 \%$

### Thermischer Komfort im Winter

Die operative (empfundene) Raumtemperatur in Innenräumen (vgl. Kapitel 4 Kühlen) hängt bei heutigem Wärmedämmstandard im Neubau in erster Linie von der Qualität der Verglasungen ab. Entscheidende Einflussgröße ist die mittlere Oberflächentemperatur der Glasfläche, die auch für eine eventuelle Strahlungstemperatur-Asymmetrie zwischen Fenster(n) und warmer Innenwand sowie Kaltluftabfall in Fensternähe verantwortlich ist. Hochwertige Verglasungen ( $U$ -Wert  $\leq 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ) sichern einen hohen thermischen Komfort für fensternahe Arbeitsplätze. Bei hohem Dämmstandard der Außenfassade (inkl. Fenster) kann die Raumlufttemperatur ohne Komforteinbuße etwas niedriger gewählt werden.

### Kompakte Bauweise

Die wärmeabgebende Oberfläche des Gebäudekörpers sollte so gering wie möglich sein, so dass sich ein günstiges Verhältnis von äußerer wärmeschützender Hülle zum beheizten Gebäudevolumen ergibt. Vorteile einer kompakten Bauweise sind neben einem verbesserten Wärmeschutz auch geringere Baukosten durch:

- weniger  $\text{m}^2$  zu erstellende Außenfläche
- weniger Planungsaufwand für Anschlussdetails
- ein günstigeres Verhältnis von Nutz- zu Konstruktionsfläche, insbesondere bei Vermeidung vieler Vor- und Rücksprünge in der Fassade.

**Definition:**

Der Formfaktor  $A/V_e$  beschreibt das Verhältnis von Wärme übertragender Umfassungsfläche zum beheizten Gebäudevolumen. Diese Größe ist bezeichnend für den Grad der Kompaktheit eines Gebäudes. Für Gebäude mit geringer Kompaktheit wird nach EnEV ein höherer Wärmeschutz eingefordert. Die Wärme übertragende Umfassungsfläche  $A$  ist nach DIN EN ISO 13789 die äußere Begrenzung einer abgeschlossenen beheizten Zone einschließlich außen liegender Dämmungen.

Typische kompakte Formen für energieeffiziente Bürogebäude sind Riegel, Kammstruktur, Atriumhaus, Scheibenhochhaus und Punkthochhaus. Zu beachten ist, dass bei Hochhäusern die Kosten mit zunehmender Geschosszahl steigen (Statik, Brandschutz, technische Gebäudeausrüstung). Die Möglichkeit zur Realisierung einer bestimmten Gebäudestruktur ist vom städtebaulichen Kontext abhängig.

- Gebäude mit großen Nutzflächen sollten so aufgegliedert werden, dass möglichst viele Arbeitsplätze Außenbezug sowie den Zugang zur Fensterlüftung haben.
- Atriumhäuser mit Lichthof stellen einen Spezialfall dar. Hier ist darauf zu achten, dass überwiegend solche Räume zum Atrium angeordnet werden, die weniger Tageslicht benötigen. Dies gilt insbesondere für die unteren Geschosse. Der Vorteil der Kompaktheit von Atriumgebäuden darf nicht durch erhöhte Kosten konterkariert werden – Mehrkosten für Dachkonstruktion, Belüftung und Brandschutz müssen durch Minderkosten für interne Fassaden kompensiert werden.
- Anbauten haben eine geringere wärmeabgebende Außenfläche und besitzen einen besonders niedrigen Formfaktor. Vorteilhaft sind hier weiterhin gemeinsam nutzbare Verkehrsflächen und Infrastruktur.

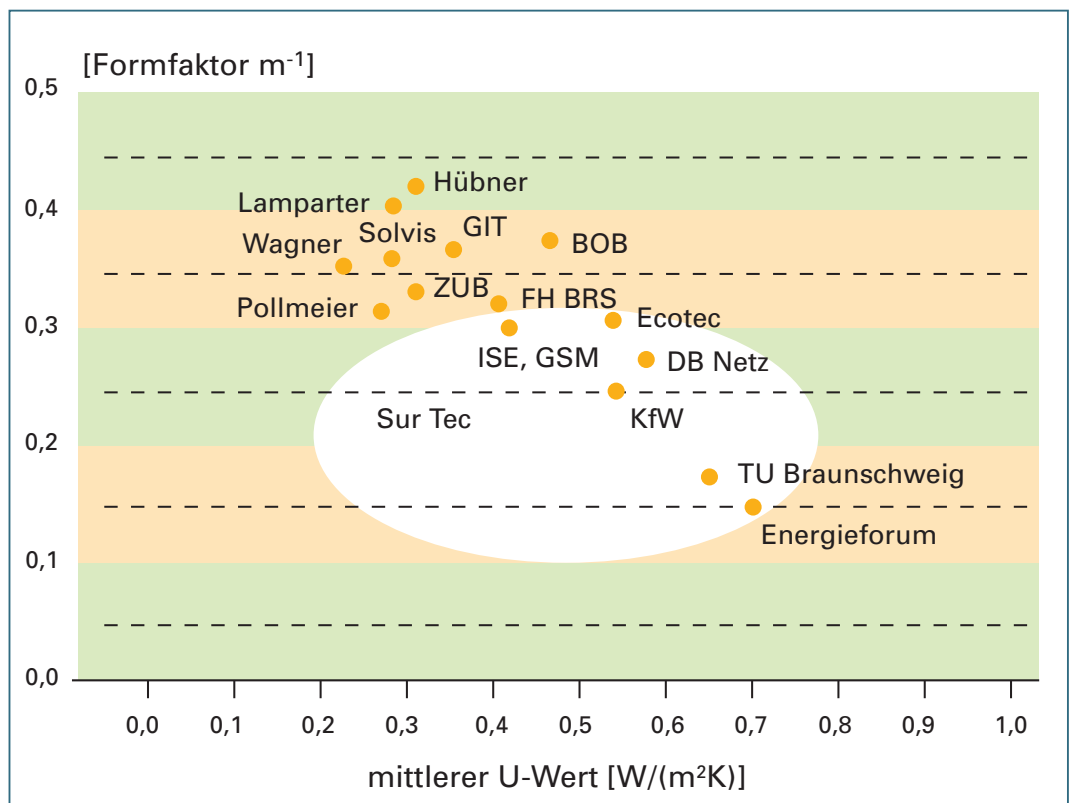


Abb. 02\_01:  
Formfaktor und mittlerer U-Wert von Gebäuden mit sehr niedrigem Energiebedarf aus dem Förderprogramm des BMWi EnBau: MONITOR. Gekennzeichnet sind die Gebäude mit Atrien, die eine besonders gute Kompaktheit erreichen.  
[Quelle: nach EnBau: MONITOR]



### Baulicher Wärmeschutz:

Der bauliche Wärmeschutz stellt die wichtigste Maßnahme für einen niedrigen Heizenergiebedarf dar. Eine frühzeitige Planung des Wärmeschutzkonzepts führt zu wirtschaftlich günstigen Lösungen. Von Vorteil sind beispielsweise schlanke Konstruktionen sowie die Trennung von tragender und hüllender/wärmedämmender Funktion. Der mittlere U-Wert der Außenhülle wird maßgeblich durch den Fensterflächenanteil bestimmt. Selbst bei hochwertigen Verglasungen trägt er in der Regel zu mehr als 50 % zu den gesamten Transmissionswärmeverlusten bei.

Das Dämmen von großflächigen Primärbauteilen wie Außenwänden und Dächern weist das beste Kosten-Nutzen-Verhältnis auf. Der Aufwand hinsichtlich der Wärmedämmung von Sonderbauteilen, wie z. B. Oberlichtern, und Anschlussdetails kann in vielen Fällen begrenzt werden, solange keine bauphysikalischen Probleme wie Kondensation entstehen.

### Besonderes Augenmerk ist auf die Planung von Glas- bzw. Fensterflächen zu richten:

- Fenster tragen in hohem Maße zu Wärmeverlusten bei.
- Fenster sind – insbesondere bei hohem Dämmstandard – kostenintensive Bauteile.
- Der Nutzen passiver solarer Gewinne ist im Nichtwohnungsbau von untergeordneter Bedeutung (s. u.).
- Der Einfluss von Glasflächen auf den sommerlichen Wärmeschutz ist beträchtlich.

Die Glasflächenanteile der Fassade sollten moderat (nicht zu groß) und auf die Optimierung der Tageslichtnutzung ausgelegt sein.



Abb. 02\_02:  
Fassade des Bürogebäudes Energon in Ulm (Projektsteckbrief: siehe Kapitel 9) während der Bauphase: die komplett vorgefertigten Holz-Fassadenelemente in Passivhaus-Standard werden an die Geschossplatten gehängt. Pro Geschoss gibt es einen Elementtyp.  
[Quelle: Architekt Stefan Oehler]

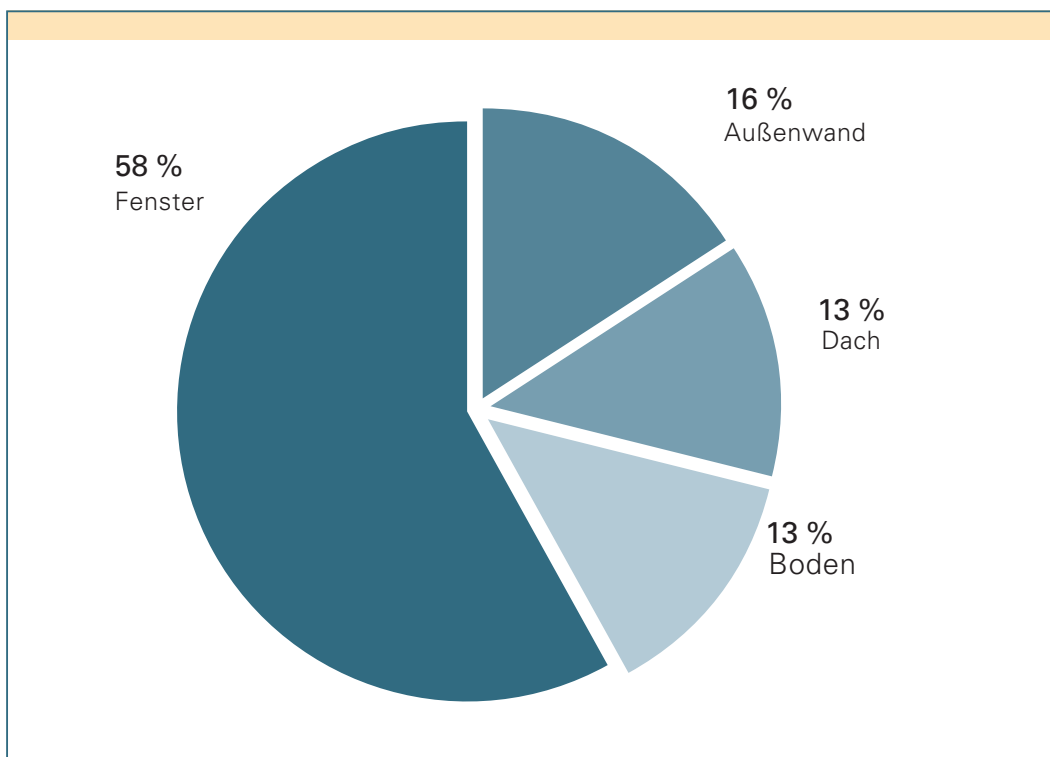


Abb. 02\_03:  
Transmissionswärmeverluste energieeffizienter Bürogebäude aus dem Programm EnBau:MONITOR. Trotz des Einsatzes sehr gut gedämmter Fenster ist deren Anteil an den Wärmeverlusten prozentual am höchsten. [Quelle: nach EnBau:MONITOR]

Richtwerte für U-Werte der Primärbauteile (NEH: Niedrigenergiehaus-Standard, PH: Passivhaus-Standard):

Bauteil	Richtwert NEH [W/(m <sup>2</sup> K)]	Richtwert PH [W/(m <sup>2</sup> K)]
Außenwand	0,25	0,10 - 0,15
Fenster	1,1	0,8
Dachfläche	0,2	0,10 - 0,15
Kellerdecke	0,25	0,15
Boden gegen Erdreich	0,3	0,15

Für eine einwandfrei funktionierende Außenhülle sollte die wärmedämmende Schicht möglichst durchgehend sein, also wenig Durchdringungen aufweisen. Kritische Punkte können sich im Zusammenhang mit der Tragkonstruktion, bei Lüftungszentralen außerhalb beheizter Zonen, Tiefgaragen oder Atrien ergeben. Fenster müssen in der Dämmebene liegen. Auf diese Weise werden Wärmebrücken und Undichtigkeiten in der Gebäudehülle vermieden.

**Definition Wärmebrücken:**

Wärmebrücken sind Zonen der Außenbauteile, in denen gegenüber der sonstigen Fläche ein besonders hoher Wärmeverlust auftritt. Neben geometrischen (z. B. Außenecke eines Gebäudes) gibt es konstruktive Wärmebrücken an Bauteilanschlüssen mit unterschiedlichen Materialien. In diesen Bereichen treten ein mehrdimensionaler Wärmetransport und damit ein höherer Wärmefluss an die Umgebung auf. Dies führt zu niedrigen lokalen raumseitigen Oberflächentemperaturen - mit der Gefahr eventueller Kondensat- und Schimmelpilzbildung.

Geometrische Wärmebrücken spielen bei dem heutzutage geforderten Dämmstandard für Neubauten eine vernachlässigbare Rolle. Zur Vermeidung konstruktiver Wärmebrücken sind Detailpunkte nach den anerkannten Regeln der Technik bzw. nach Vorschriften oder Normen zu planen und auszuführen. Grundsätzlich wichtig ist eine stets tauwasserfreie, d. h. bauphysikalisch einwandfreie Konstruktion.

Der Einfluss konstruktiver Wärmebrücken auf den Heizenergiebedarf ist bei großen Gebäuden eher gering. Die Vermeidung bzw. „Entschärfung“ von Wärmebrücken tritt besonders bei der Altbausanierung in den Vordergrund. Für die energetische Berücksichtigung kann nach EnEV der U-Wert der gesamten Außenbauteile pauschal erhöht oder eine detaillierte Berechnung durchgeführt werden.

- ▶ DIN 4108, Teil 2 – „Mindestanforderungen an den Wärmeschutz“
- ▶ DIN 4108, Beiblatt 2 – „Wärmebrücken, Planungs- und Ausführungsbeispiele“

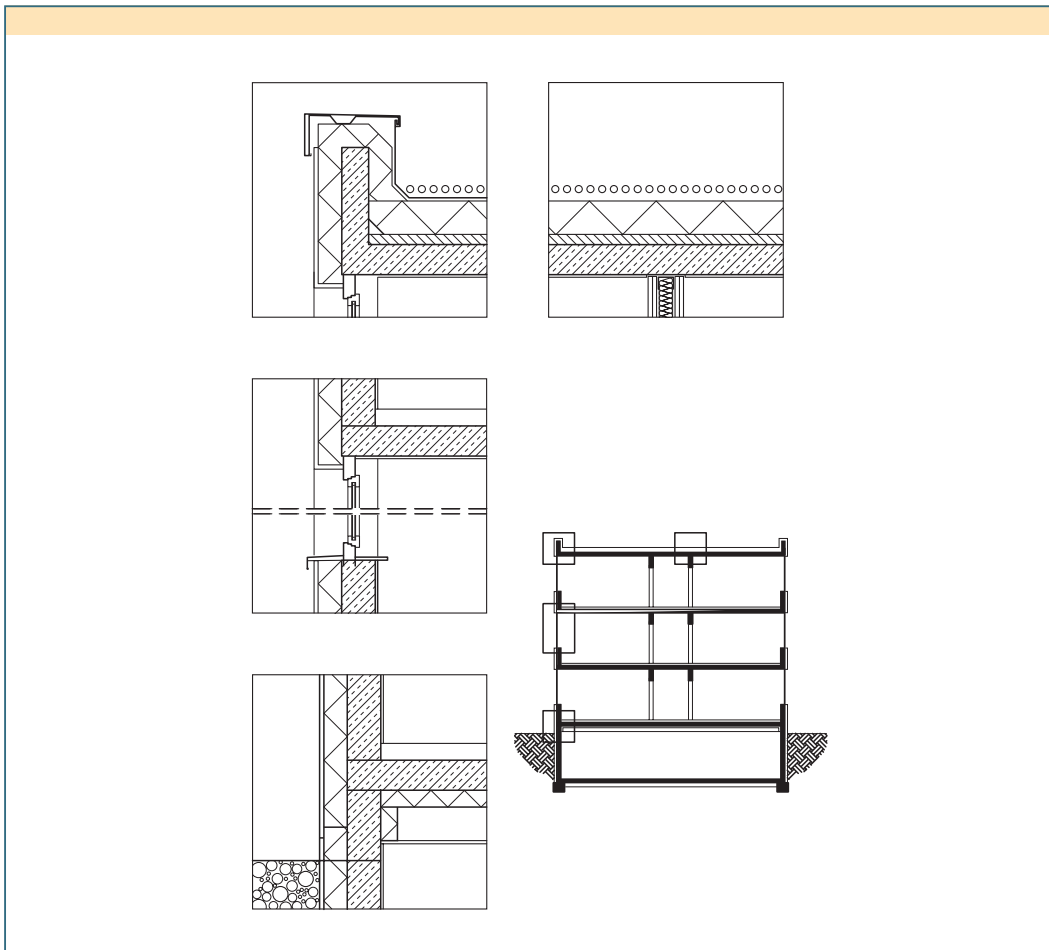


Abb. 02\_04:  
Typische an einem Gebäude  
auftretende Wärmebrücken.  
Diese Detailpunkte sind  
stets mit besonderer Sorg-  
falt auszuführen.  
[Quelle: fbta, Uni Karlsruhe]

### Luftdichtheit der Gebäudehülle

Durch eine luftdichte Gebäudehülle werden unkontrollierte Lüftungswärmeverluste nahezu ausgeschlossen. Zudem werden Zuglufterscheinungen sowie mögliche Kondensation in der Gebäudehülle vermieden. Undichte Stellen treten in der Regel an Bauteilanschlüssen wie beispielsweise zwischen Fenster und Außenwand oder in Pfosten-Riegel-Konstruktionen auf. Massivbauten sind baukonstruktiv einfacher zu beherrschen. Zur Gewährleistung einer möglichst luftdichten Gebäudehülle sind im Prinzip die gleichen Anforderungen wie bei der durchgängigen Dämmhülle zu erfüllen.

#### Dämmhülle und Luftdichtheit:

- frühzeitiges Gesamtkonzept bzgl. der Detailpunkte für Durchdringungen und Anschlüsse erstellen
- geometrisch einfache Fügungen entwickeln
- aus dem Handwerk heraus entwickelte Detaillösungen, die auf dem Bau umsetzbar sind, anwenden
- gewerkespezifische Toleranzen berücksichtigen

### Passive Solargewinne:

Passive solare Gewinne spielen bei Bürogebäuden wegen der höheren internen Wärmegewinne eine deutlich geringere Rolle. Anders als im Wohnungsbau ist auch eine Südorientierung der Hauptfassade aus ökonomischen und städtebaulichen Gründen oft nicht realisierbar. Für den Blendschutz notwendige Verschattungssysteme mindern solare Einträge in der Heizperiode zusätzlich. Da zu hohe (nicht nutzbare) solare Gewinne das Raumklima in Bürogebäuden schon in den Übergangszeiten maßgeblich beeinträchtigen können, sind große verglaste Flächen und zusätzliche Solargewinnflächen – z. B. Solarfassaden mit transparenter Wärmedämmung – zu vermeiden.

Mittlere interne Wärmelast in

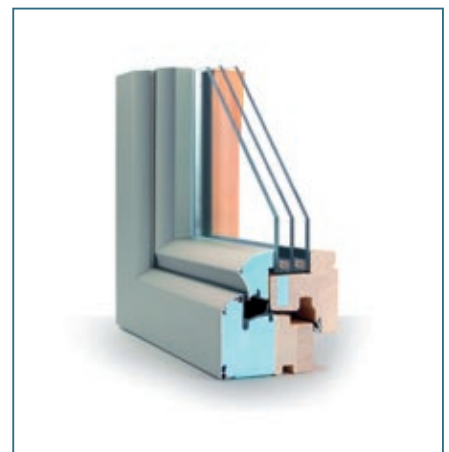
- Wohngebäuden: 2,2 bis 3,4 W/m<sup>2</sup>
- Bürogebäuden: 4,0 bis 7,8 W/m<sup>2</sup>

[Quelle: K. Voss, et al.: Bürogebäude mit Zukunft]

### Heizungsanlage – Wärmeübergabe und -verteilung im Gebäude

Die Wärmeübergabe an den Raum erfolgt je nach Ausführung der Heizkörper/-flächen anteilig per Strahlung und/oder Konvektion. Wärmeabgabe per Strahlung ist die behaglichste Form der Wärmeübertragung im Raum. Sie erfordert jedoch große Übergabeflächen mit höheren Investitionskosten im Vergleich zu konventionellen Heizkörpern. Systeme mit Ankopplung an die Gebäudemasse (Fußbodenheizung, Betonkernaktivierung) können aufgrund ihrer Trägheit schlechter geregelt werden. Wird die Wärme per Konvektion übertragen, so erhält man eine hohe Heizleistung bei guter Regelbarkeit, jedoch führt die entstehende Luftbewegung zu einer erhöhten Staubbelastung der Raumluft sowie bei hohen Luftgeschwindigkeiten häufig zu Zugerscheinungen.

Abb. 02\_05a und 02\_05b:  
Beispiel für 3-fach Wärme-  
schutzverglasung mit  
Passivhaus-Zertifizierung  
[Quelle: Firma Interpane,  
Lauenförde] und ein zerti-  
fiziertes Passivhaus-Fenster  
[Quelle: Internorm]



Bei hohem Dämmstandard kann u. U. auf Heizkörper unter dem Fenster verzichtet werden. Ausführungen, bei denen die Heizkörper an den Innenwänden liegen, sind aufgrund geringerer Leitungslängen oft kostengünstiger.

Entscheidende Einflussfaktoren hierfür sind:

- U-Wert der Verglasung
- Größe, insbesondere die Höhe des Fensters (Strahlungskälte, abfallende Kaltluft)
- Aufenthaltsort relativ zum Fenster
- Außenluftdurchlass in der Außenfassade (z. B. für Abluftanlagen) und der damit verbundene Kaltluftstrom (siehe Kapitel 3 Lüften)

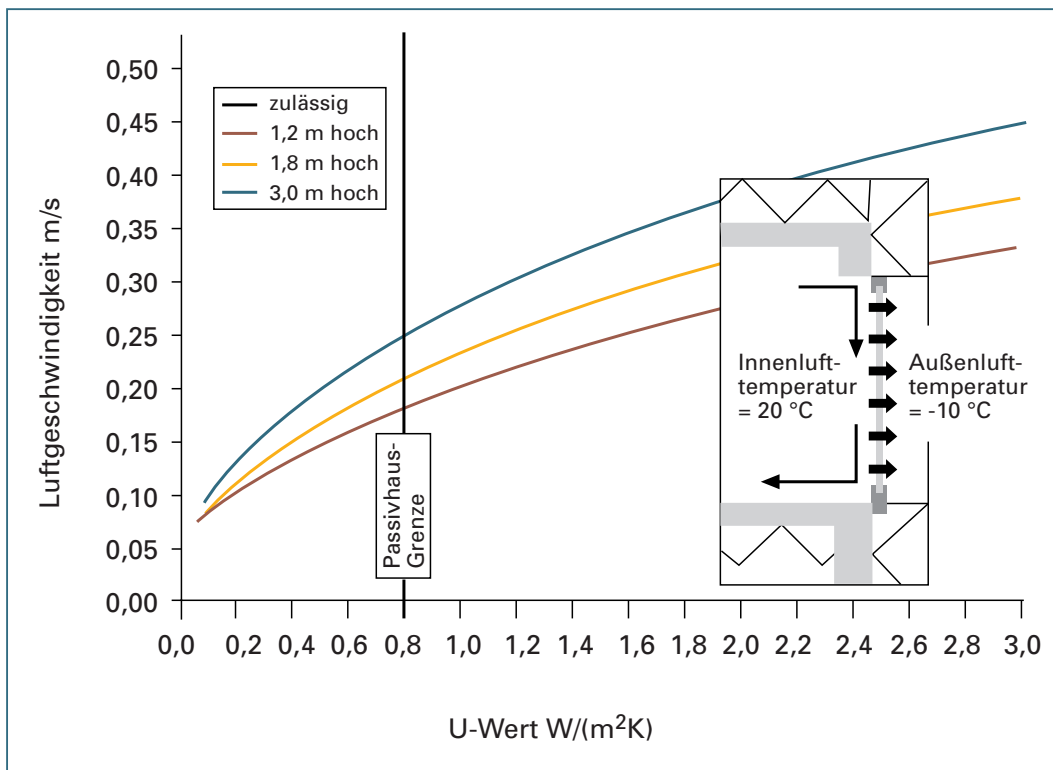


Abb. 02\_06:  
Mittlere Geschwindigkeit  
des am Fenster abfallenden  
Kaltluftstroms in Abhän-  
gigkeit des U-Wertes.  
Luftgeschwindigkeiten von  
mehr als 2 m/s erhöhen das  
Zugluftisiko.  
[Quelle: W. Feist, Passiv-  
haus-Institut]

Aufgrund der extrem niedrigen maximalen Heizlast von Passivhäusern können diese über die sowieso vorhandene Lüftungsanlage beheizt werden. Der für den hygienischen Luftwechsel notwendige Luftvolumenstrom reicht aus, um die notwendige Heizleistung sicherzustellen; auf eine Warmwasserheizung kann verzichtet werden. Besondere Beachtung ist Räumen mit erhöhter Heizlast (z. B. zwei Außenfassaden mit hohem Fensteranteil) zu schenken – hier ist gegebenenfalls eine zusätzliche Heizung (z. B. Heizkörper) erforderlich.

Ein hoher Dämmstandard bietet sehr gute Voraussetzungen für den Einsatz von Flächenheizungen. Es sind nur geringe Übertemperaturen (Differenz zwischen mittlerer Heizkörpertemperatur und Raumtemperatur) erforderlich, was sich günstig auf den Nutzungsgrad des gesamten Heizsystems auswirkt. Bei geringen Übertemperaturen können neben der Fußbodenheizung auch Deckenheizungen eingesetzt werden. Damit ergeben sich Synergien mit der Kühlung durch Betonkernaktivierung. Durch lange Reaktionszeiten (ca. 3 bis 4 Stunden) sind solche Systeme aber nur eingeschränkt regelbar.

System	Systemtemperatur	Anmerkungen
Heizkörper	bis 70/50 °C	Heizbedarf > 100 W/m <sup>2</sup> Kühlung unüblich Preiswertes System, einfache Regelung
Gebälsekonvektoren	bis 70/50 °C	Heizbedarf > 100W/m <sup>2</sup> Kühlung > 50 W/m <sup>2</sup> Problematisch: erhebliche Zugerscheinungen bei hohem Kühlbedarf, hoher Strombedarf durch Gebläse
Fußbodenheizung	bis 50/45 °C	Heizbedarf < 50 W/m <sup>2</sup> Kühlung < 25 W/m <sup>2</sup> Bei hoher Heizleistung eingeschränkter Komfort.
Deckenheizung	bis 40/35 °C	Heizbedarf < 50 W/m <sup>2</sup> Kühlung < 80 W/m <sup>2</sup> Durch niedrige Systemtempera- turen geringe Wärmeverluste bei hoher Behaglichkeit
Betonkernaktivierung	30/28 °C	Heizbedarf < 40 W/m <sup>2</sup> Kühlung < 40 W/m <sup>2</sup> Durch niedrige Systemtem- peraturen geringe Wärmever- luste bei hoher Behaglichkeit, Einzelraumregelung stark eingeschränkt
Lüftungsanlage	bis 70/50 °C	Heizbedarf < 30 W/m <sup>2</sup> Kühlung < 20 W/m <sup>2</sup> Bei ohnehin erforderlichem Lüftungssystem geringe Mehrkosten von ca. 5 €/m <sup>2</sup>
Umluftheizsysteme	bis 70/50 °C	Heizbedarf < 100 W/m <sup>2</sup> Kühlung < 100 W/m <sup>2</sup> Problematisch: erheblich Zug- erscheinungen bei hohem Kühlbedarf, hoher Strombedarf durch Gebläse

Tabelle 02\_02: Heiz- und  
Kühlsysteme im Vergleich.  
[Quelle: nach K. Voss, et al.:  
Bürogebäude mit Zukunft]

### Wärmeverteilverluste

Wärmeverteilverluste können je nach gewählten Systemtemperaturen bis zu 30 % des Gesamtwärmebedarfs ausmachen. Aus Gründen der Energieeinsparung sollte eine mittlere Übertemperatur von 40 K nicht überschritten werden. Besonders günstig sind wegen der geringen Übertemperaturen Flächenheizungen. Bei Lüftungsanlagen können die Wärmeverteilverluste aufgrund der großen Kanaloberflächen extrem hoch sein. Eine dezentrale Anordnung der Heizregister in der Nähe der Luftauslässe sowie eine gute Dämmung hinter dem Heizregister erweist sich als günstig. Letzteres gilt für ebenso für das gesamte Zuluftsystem, wenn über die Lüftung auch gekühlt werden soll.

**Um die Verteilverluste zu minimieren sollten folgende Punkte beachtet werden:**

- Verteilnetz so kurz und kompakt wie möglich halten
- Systemtemperaturen so niedrig wie möglich halten
- alle Leitungen und Installationen in die warme Gebäudehülle integrieren
- ausreichende Dämmung für alle Leitungen vorsehen

### Elektrischer Energiebedarf – Hilfsenergie

Entscheidenden Einfluss auf den Hilfsenergiebedarf hat die Auswahl des Wärmeabgabesystems. Da Luft als Wärmeträgermedium aufgrund ihrer geringen Dichte gegenüber Wasser eine deutlich niedrigere Wärmekapazität besitzt, benötigt man zur Förderung der gleichen erforderlichen Wärmeleistung eine deutlich höhere elektrische Leistung. Die besten Kennwerte ergeben sich für außentemperaturgeführte Warmwasserheizungen mit Heizkörpern oder Flächenheizungen.



Abb. 02\_07:  
Der Einsatz hocheffizienter Pumpen mit EC-Motor und automatischer Leistungsanpassung sichert einen geringen Hilfsenergieeinsatz für die Wärmeverteilung.

### 3. Lüften

Primäres Ziel der Lüftung ist es, über eine ausreichende Frischluftzufuhr eine hohe Luftqualität sicherzustellen. Dabei sind die Anforderungen an den thermischen Komfort, vorwiegend in Form von Lufttemperatur und -bewegung in der Nähe von Personen, zu berücksichtigen. Bei mechanischer Lüftung trägt der Lufttransport zum elektrischen Energiebedarf eines Gebäudes bei. Dieser kann zusätzlich wachsen, wenn Luft anstelle von Wasser als Transportmedium zum Heizen oder Kühlen verwendet wird. Gemäß der neuen EnEV 2007 (vergleiche Kapitel 1 Anforderungen) muss der elektrische Energiebedarf für den Lufttransport und die Raumklimatisierung nun Primärenergie bezogen nachgewiesen werden. Dadurch wird die Bedeutung der Lüftung und Klimatisierung für den Gesamtenergiebedarf in der (frühen) Planung eines Gebäudes evident, was sich u. a. auch in der Ausprägung der Fassade widerspiegelt.

Bei der Entscheidung für ein Lüftungskonzept – freie/mechanische Lüftung oder Mischform (hybride Lüftung) – spielen neben der Wirtschaftlichkeit Fragen des Brandschutzes, des Schallschutzes, der Sicherheit (z. B. Fensteröffnen während Nichtnutzungszeiten) und der Regelbarkeit eine wichtige Rolle.

#### Luftqualität

Ein wesentlicher Indikator für die personenbezogene Luftbelastung ist der CO<sub>2</sub>-Gehalt der Raumluft. Weitere Luftbelastungen entstehen durch Emissionen aus Innenausbau, Mobiliar, Bürogeräten und Putzmitteln. Der Feuchteeintrag in Bürogebäude wird im Wesentlichen über den Feuchtegehalt der Außenluft bestimmt. Bei hohen notwendigen Luftwechselraten, die auf Basis sämtlicher Verunreinigungsquellen festgelegt werden, besteht im Winter die Gefahr zu trockener Raumluft, während im Sommer zeitweise zu hohe Raumluftfeuchten bei gleichzeitig erhöhten Wärmelasten auftreten können, wenn die Außentemperatur über der Innentemperatur liegt.

#### Definition Luftwechsel:

Der Luftwechsel ist ein Maß dafür, welcher Anteil des Luftvolumens eines Raumes/ eines Gebäudes in einer Stunde durch Frischluft ersetzt wird.

Wenn sich in einem Raum außer Personen keine weiteren wesentlichen Belastungsquellen befinden, sollte mit mechanischen Lüftungsanlagen ein variabler, von der Jahreszeit abhängiger Luftvolumenstrom gefahren werden. Mit Luftvolumenströmen zwischen 15 m<sup>3</sup>/(Pers.h) im Winter und 40 m<sup>3</sup>/(Pers.h) in der Übergangszeit und im Sommer können sowohl eine hohe Luftqualität und weitgehend angenehme Raumluftfeuchten eingehalten werden. Bei Außentemperaturen von deutlich über 26 °C sollte – zumindest über weite Zeiträume – auf den Mindestvolumenstrom von 15 m<sup>3</sup>/(Pers.h) reduziert werden, um Wärme- und Feuchteinträge möglichst gering zu halten.

#### Strategie zur Reduzierung des Aufwandes bzw. des Energiebedarfs für den Lufttransport:

- Verunreinigungsquellen minimieren, damit geringere Luftvolumenströme in der Planung angesetzt werden können
- möglichst keine zu hohen Belegungsdichten in den Räumen
- Rauchen nur außerhalb des Gebäudes oder in speziellen geschlossenen Raucherzonen
- Auswahl emissionsarmer Innenausbauaterialien und Möbel
- Auslagern von Bürogeräten mit höheren Emissionen aus Büroräumen in zentrale Bereiche
- Einsatz umweltfreundlicher Putzmittel



Vorgaben für anzusetzende Luftvolumenströme in unterschiedlich belasteten Räumen und Raumtypen findet man in der europäischen Vornorm prEN 15251.

- ▶ prEN 15251 Vornorm „Bewertungskriterien für den Innenraum einschließlich Temperatur, Raumluftqualität, Licht und Lärm“
- ▶ DIN EN 13779 „Lüftung von Nichtwohngebäuden – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen an Lüftungs- und Klimaanlage“

Nachfolgende Tabelle enthält die empfohlenen Lüftungsraten nach prEN 15251 in Liter pro Sekunde und m<sup>2</sup> für Nichtwohngebäude bei Standardbelegungsdichte für zwei Kategorien der Luftbelastung durch das Gebäude selbst (umweltfreundliche/nicht umweltfreundliche Gebäude). Für den Fall, dass Rauchen gestattet ist, gibt die letzte Spalte die zusätzlich geforderte Lüftungsrate an. Die Kategorien A, B, C definieren den Anforderungsgrad an ein Gebäude bzw. die Luftqualität (Kategorie A: höchste Anforderungen, Kategorie C: niedrigste Anforderung):

Gebäude- bzw. Raumtyp	Kategorie	Grundfläche m <sup>2</sup> pro Person	l/sm <sup>2</sup> für Belegung bzw. Nutzung	q <sub>B</sub> l/sm <sup>2</sup> für umweltfreundliche Gebäude	q <sub>A</sub> l/sm <sup>2</sup> für nicht umweltfreundliche Gebäude	q <sub>tot</sub> l/sm <sup>2</sup> für umweltfreundliche Gebäude	q <sub>tot</sub> l/sm <sup>2</sup> für nicht umweltfreundliche Gebäude	Zugabe, falls Rauchen gestattet ist l/sm <sup>2</sup>
Einzelbüro	A	10	1,0	1,0	2,0	2,0	3,0	0,7
	B	10	0,7	0,7	1,4	1,4	2,1	0,5
	C	10	0,4	0,4	0,8	0,8	1,2	0,3
Großraumbüro	A	15	0,7	1,0	2,0	1,7	2,7	0,7
	B	15	0,5	0,7	1,4	1,2	1,9	0,5
	C	15	0,3	0,4	0,8	0,7	1,1	0,3
Konferenzraum	A	2	0,5	1,0	2,0	6,0	7,0	5,0
	B	2	3,5	0,7	1,4	4,2	4,9	3,6
	C	2	2,0	0,4	0,8	2,4	2,8	2,0

#### Luftdichte Gebäudehülle

Je nach Art der Belüftung werden verschieden hohe Anforderungen an die Luftdichtheit der Gebäudehülle gestellt, welche in Normen und Verordnungen beschrieben werden.

##### Definition:

Der  $n_{50}$ -Wert ist definiert als der Luftwechsel, der sich bei einer Druckdifferenz von 50 Pa zwischen innen und außen einstellt, wenn sämtliche Fenster und Türen geschlossen sind. Der Differenzdruck wird mit einer Blower Door (in eine Tür- oder Fensteröffnung eingebauter drehzahl geregelter Ventilator) eingestellt.

##### Vorgaben für die Luftdichtheit von Gebäuden nach DIN 4108-7 und EnEV 2007:

- Gebäude mit natürlicher Lüftung (Fensterlüftung)  
 $n_{50} \leq 3 \text{ h}^{-1}$
- Gebäude mit raumlufthechnischen Anlagen (auch Abluftanlagen)  
 $n_{50} \leq 1,5 \text{ h}^{-1}$

Insbesondere bei Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung ist eine deutliche Unterschreitung des oben angegebenen Grenzwertes sinnvoll (DIN 4108-7).

- Anzustreben aufgrund energetischer Gesichtspunkte:  
 $n_{50} \leq 1 \text{ h}^{-1}$ .
- Grenzwert für Passivhäuser (gemäß Passivhaus Institut)  
 $n_{50} \leq 0,6 \text{ h}^{-1}$



Abb. 03\_01:  
Durchführung eines "Blower Door Tests" zur Untersuchung der Luftdichtheit der Gebäudehülle.  
[Quelle: [www.luftdicht.de](http://www.luftdicht.de)]

- ▶ DIN EN 13829 „Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden - Bestimmung der Luftdurchlässigkeit von Gebäuden – Differenzdruckverfahren“
- ▶ DIN 4108-7 „Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 7: Luftdichtheit von Gebäuden – Anforderungen, Planungs- und Ausführungsempfehlungen sowie -beispiele“

## Freie Lüftung

Freie Lüftung bedeutet Lüftung ohne Zuhilfenahme von raumlüftungstechnischen Anlagen. Voraussetzung sind kleinere Büroräume mit geringer Personenbelegung. In größeren Räumen mit mehreren Nutzern führt freie Lüftung zu unbefriedigender Luftqualität und eingeschränktem thermischem Komfort.

Der Luftaustausch erfolgt bei freier Lüftung durch den Auftriebseffekt aufgrund von Temperatur- und damit Druckdifferenzen zwischen Innen- und Außenraum. Zusätzlichen Antrieb erhält man durch Winddruck auf den Außenfassaden, welche die Auftriebslüftung unterstützen, ihr in ungünstigen Fällen aber auch entgegenwirken können. Als Auslegungsfall für den erforderlichen Luftvolumenstrom wird die ausschließlich auftriebsbedingte Lüftung herangezogen. Zur Auslegung der erforderlichen Lüftungsöffnungen in der Gebäudehülle und zwischen gebäudeinternen Zonen sind jedoch die Winddrücke auf den Außenfassaden zu berücksichtigen. Erforderlich für eine hohe Planungssicherheit sind möglichst standortnahe Klimadaten (stündliche Temperaturen und richtungsbezogene Windgeschwindigkeiten).

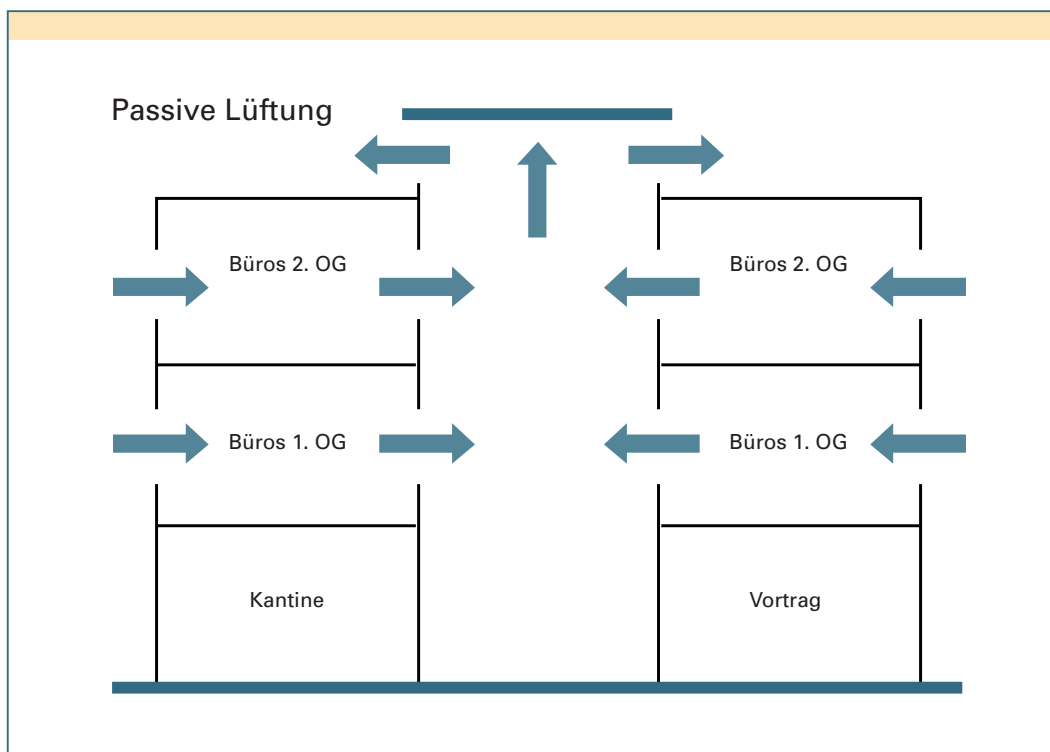


Abb. 03\_02:  
Schema der freien Lüftung im Hauptgebäude des Fraunhofer ISE (Freiburg) über ein Atrium. Grundsätzlich kann auch ein Treppenhaus oder ein anderer Luftraum für den notwendigen Luftauftrieb sorgen. Die Luftauslassöffnungen müssen ca. eine Geschosshöhe oberhalb des obersten zu belüftenden Raumes liegen. [Quelle: nach EnBau: MONITOR]

#### Lüftungsarten bei freier Lüftung

Bei freier Lüftung unterscheidet man zwischen einseitiger Fensterlüftung und der Querlüftung eines Raumes. Letztere kann entweder über ein zweites Fenster an einer gegenüberliegenden Fassade realisiert werden oder über den Anschluss des Raumes an einen größeren Luftraum wie beispielsweise ein Treppenhaus oder ein Atrium. Eine solche Konfiguration bewirkt einen deutlich stärkeren Auftrieb wegen der größeren nutzbaren Höhendifferenz zwischen Luftein- und -auslässen. Aufgrund der dann komplexeren Luftwege durch das Gebäude greift das Lüftungskonzept stärker in die Gebäudestruktur ein und muss im Rahmen des Brandschutz- und Schallschutzkonzeptes früh berücksichtigt werden.

#### Wesentliche Größen, die den Luftwechsel bei freier Lüftung beeinflussen:

- Temperaturdifferenz zwischen innen und außen
- Höhendifferenzen zwischen Luftein- und -auslässen
- Größe und Form (effektive Öffnungsfläche) von Luftein- und -auslässen
- Strömungswiderstände entlang der Luftwege durch ein Gebäude (die treibende Druckdifferenz ist in der Regel kleiner als 20 Pa)

#### Regelung

Der Luftwechsel im Raum wird über manuelle Lüftung sichergestellt. Aus diesem Grund ist das Lüftungskonzept auf kleine Räume mit wenigen Nutzern beschränkt. Eine einfache aber sehr wirkungsvolle Steuerung - das automatische Schließen von Heizkörperventilen während der Fensteröffnungszeit durch Kontaktschalter – verhindert im Winter erhöhte Wärmeverluste nach außen und sorgt für angemessene Lüftungszeiten. Im Sommer ist der mögliche Wärmeeintrag durch angepasste Lüftungsintervalle zu begrenzen. Automatisch zu öffnende Fenster für Quer- und Auftriebslüftung – in der Regel kippbare Oberlichter, die auch für die Nachtlüftung eingesetzt werden (siehe Kapitel 4 Kühlen) – sind bereits sehr aufwändig. Hier ist ein Schließen der Fenster bei Regen, bei zu starkem Wind oder aus Sicherheitsgründen vorzusehen. Die Kosten für die komplexe Mess-, Steuer- und Regeltechnik können in den Bereich einfacher mechanischer Lüftungssysteme steigen. Eine genaue Kosten-Nutzen-Analyse für das vorgesehene Lüftungskonzept ist für die Entscheidungsfindung durchzuführen.

#### Bauliche Voraussetzungen für freie Lüftung:

- Zellenbüros mit wenigen Nutzern
- an das Lüftungskonzept angepasste Gebäudestruktur, früher Abgleich mit Brand- und Schallschutzkonzept
- sinnvolle Zonierung der Grundrisse – Querlüftung nicht über mehrere benachbarte Arbeitsräume
- Raumtiefe für einseitige Fensterlüftung maximal das 2,5-fache der Raumhöhe
- zur Erzielung höherer Luftwechsel geeigneten Luftraum (Atrium, Treppenhaus oder gesonderter Lüftungskamin/-schacht) für den thermischen Auftrieb in mehrgeschossigen Gebäuden nutzen
- den (zentralen) Fortluftauslass etwa eine Geschosshöhe über das letzte Geschoss legen, damit für sämtliche Räume eine Versorgung mit Frischluft von außen sichergestellt wird
- Abgleich aller Luftwege hinsichtlich der Strömungswiderstände, um gleiche Volumenströme für sämtliche Räume im Gebäude zu erhalten

## Mechanische Lüftung

Ist eine genaue Regelung der Luftvolumenströme oder die Konditionierung der Zuluft zur Herstellung eines bestimmten Raumlufzustands gefordert, sind raumluftechnische Anlagen einzusetzen. Dies trifft insbesondere für Gebäude mit größeren (und tieferen) Räumen sowie hoher Belegungsdichte oder bei grundsätzlich strengeren Anforderungen an die Luftqualität zu. Weitere Gründe für eine mechanische Lüftung sind hohe Schallschutzanforderungen an die Fassade bzw. schadstoffbelastete Außenluft. Neben den Funktionen Lüften, Heizen, Kühlen, Be- und Entfeuchten kann eine Wärmerückgewinnung realisiert werden. Abhängig von den zu erfüllenden Funktionen ist ein entsprechendes System auszuwählen, wobei zu berücksichtigen ist, dass Luft gegenüber Wasser eine deutlich geringere Wärmekapazität aufweist und somit für Heizen (Ausnahme: Passivhaus) und Kühlen deutlich höhere Volumenströme erforderlich sind.

## Abluftanlagen

Einfache Abluftsysteme können bereits die Luftqualität – unabhängig vom Nutzerverhalten – wesentlich verbessern. Es ist nur ein Kanalnetz zur Luftabfuhr notwendig, was geringe Investitionskosten für den Ausbau und wenig Raumbedarf bedeutet. Eine Luftkonditionierung ist nicht möglich und Wärmerückgewinnung kann nur indirekt (über eine Wärmepumpe) realisiert werden, d. h. sie dient nicht der Vorwärmung der Zuluft.

Prinzip: Angesaugt durch die Abluftanlage strömt die Luft von außen über Luftdurchlässe in die Aufenthaltsbereiche – Büro- und Kommunikationsräume an der Fassade – und zieht die belastete Innenluft durch Überströmöffnungen oder geöffnete Türen in die Abluftzonen (WCs, Kopiererräume, ggf. Raucherzonen oder zentrale Atrien bzw. Treppenhäuser). Zur Vermeidung von kalter Zugluft muss der Positionierung der Außendurchlässe erhöhte Aufmerksamkeit gewidmet werden. Schalldämmende Luftdurchlässe erlauben einen Schutz gegen Außenlärm.

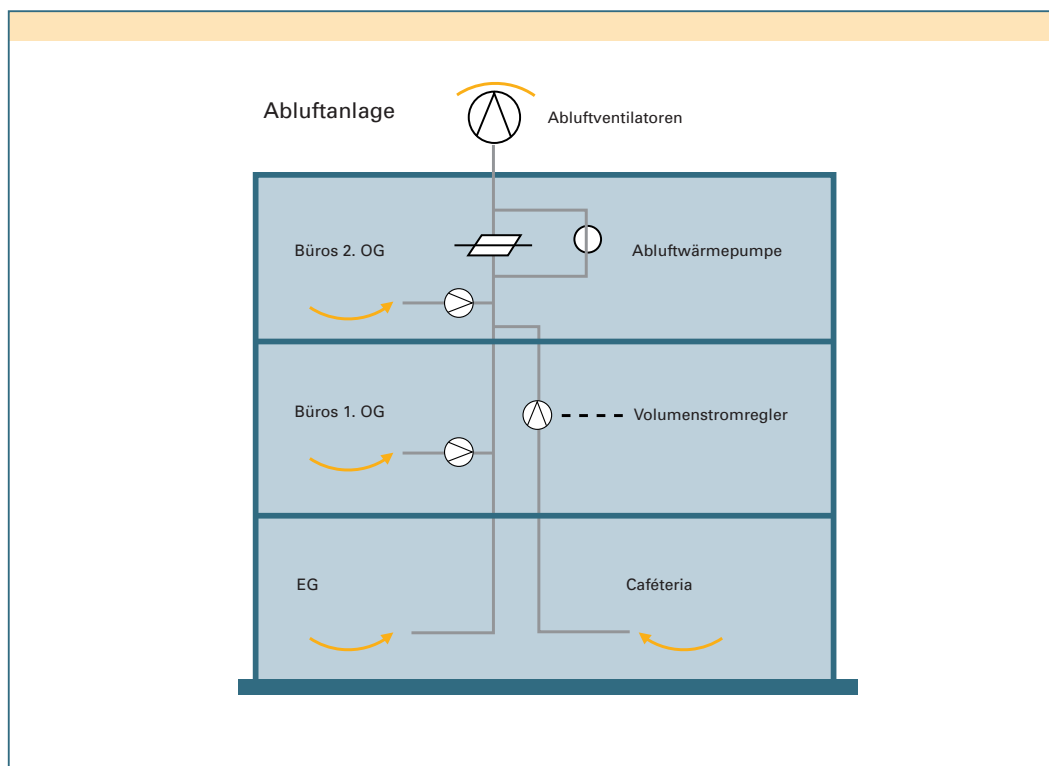


Abb. 03\_03:  
Schema einer Abluftanlage mit indirekter Wärmerückgewinnung durch eine Wärmepumpe im Gebäude Pollmeier. Die Wärme wird dem Pufferspeicher des Heizsystems zugeführt.  
[Quelle: nach EnBau: MONITOR]

#### Positionierung von Außenluftdurchlässen:

Die Position von Außenluftdurchlässen (ALD) in der Fassade ist entscheidend für den thermischen Komfort am Arbeitsplatz. Bei fensternahen Arbeitsplätzen und ALD in Form von Schlitzen über dem Fenster (oder in Fensterrahmen integriert) kann dauerhafte Zugfreiheit nur über zusätzliche Maßnahmen gegen die sich ausbildende Fallströmung erreicht werden. Geeignet sind z. B. Deckensegel, die bis an das Fenster heranreichen. Einen höheren Komfort erreicht man, wenn die durch die Außenfassade geführte Zuluft hinter dem Heizkörper oder bei Fußbodenheizungen an der Kante des Fußbodens entlang strömt. Es muss allerdings gewährleistet sein, dass der Heizkörper bei niedrigen Außenlufttemperaturen auch in Betrieb ist.



Abb. 03\_04:  
Zuluft-Box im Bürogebäude  
Amstein und Walther in  
Zürich. Die einströmende  
Zuluft (Hygiene-Grundlüf-  
tung) kann im Winter über  
einen eigenen, an das Heiz-  
system angeschlossenen  
Lufterhitzer vorgewärmt  
werden. Die eigentliche  
Raumheizung erfolgt über  
Betonkernaktivierung.  
[Quelle: Amstein und  
Walther]

#### Zu-/Abluftanlagen mit Wärmerückgewinnung

Zu-/Abluftanlagen ermöglichen eine gezielte Luftkonditionierung und Wärmerückgewinnung. Die Wärmerückgewinnungsgrade liegen derzeit bei etwa 80 bis 90 % (im Einzelfall auch darüber) für Gegenstrom-Plattenwärmetauscher oder Rotationswärmetauscher (erhöhter Platzbedarf). Kreislaufverbundsysteme (KVS) haben einen geringeren Wärmerückgewinnungsgrad von etwa 70 %. Sie kommen zum Einsatz, wenn Luftströme aus baulichen Gründen oder aus Gründen der Lufthygiene getrennt werden müssen. Zu-/Abluftanlagen benötigen ein doppeltes Kanalnetz, das höhere Druckverluste aufweist. Neben anlagenbedingten Investitionskosten steigt auch der Raumbedarf. Bei Gebäudesanierungen bieten sich oft Konzepte mit dezentralen Lüftungsanlagen an.

Prinzip: Die Zonierung erfolgt wie bei reinen Abluftanlagen, nur dass Zuluftzonen nicht mehr zwangsläufig an der Fassade angeordnet sein müssen. Für hohen Komfort sollten die Zuluftauslässe so angeordnet sein, dass in der unmittelbaren Nähe von Personen geringe Luftgeschwindigkeiten und Turbulenzen herrschen. Besonders geeignet sind Quellluftsysteme mit Zuluftauslässen, die sich möglichst in der Nähe der Fenster in der Außenfassade befinden.

#### Richtwerte für energieeffiziente Lüftungsanlagen:

- der Wärmerückgewinnungsgrad sollte mindestens 75 % betragen, möglich sind über 90 %.
- die spezifische elektrische Leistung von Ventilatoren sollte maximal  $0,15 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{h})$  bei Abluftanlagen betragen, bei Zu- und Abluftanlagen  $0,4 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{h})$ .

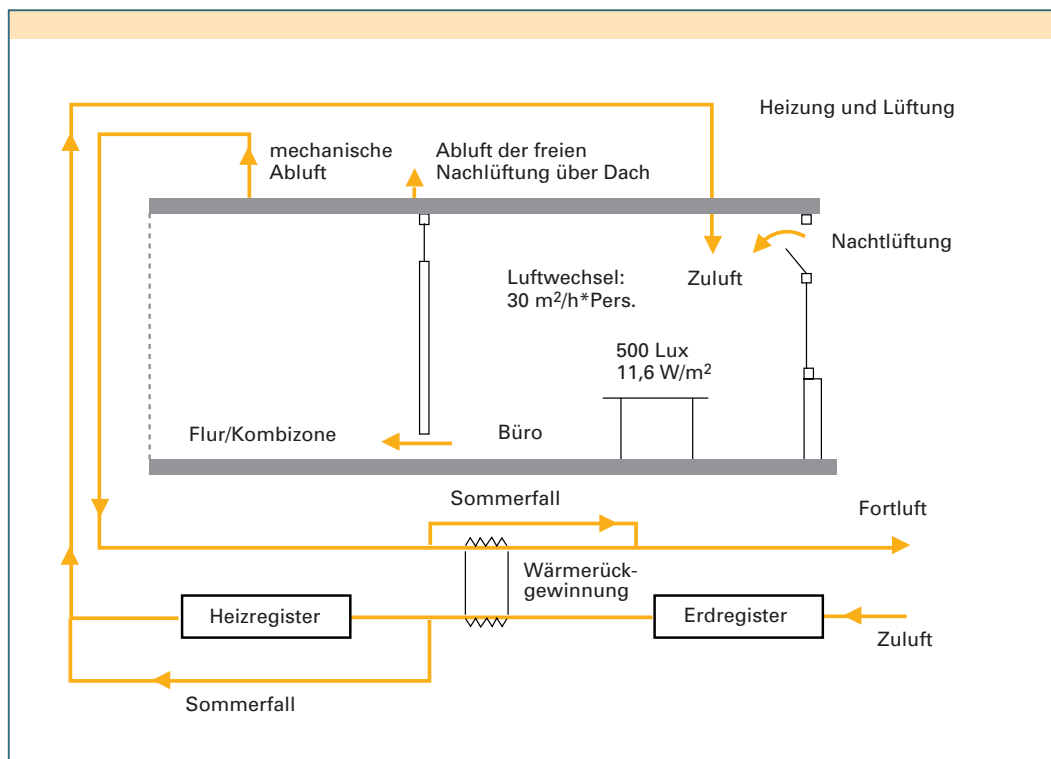


Abb. 03\_05:  
 Schema der Zu-/Abluftanlage  
 mit Wärmerückgewinnung  
 im Bürogebäude Lamparter  
 in Weilheim (Projektsteck-  
 brief: siehe Kapitel 9). Im  
 Sommer wird die Lüftungs-  
 anlage nur an sehr heißen  
 Tagen in Betrieb genom-  
 men – sie dient dann zur Vorküh-  
 lung der Zuluft im Erdreich-  
 wärmetauscher.  
 [Quelle: EnBau:MONITOR]

## Regelung

Mechanische Lüftungsanlagen in Bürogebäuden können nach dem  $\text{CO}_2$ -Gehalt der Abluft geregelt werden (variabler Volumenstrom). Entscheidend für die Luftqualität in den Räumen ist der Messpunkt: bei Messung im zentralem Abluftkanal weisen stärker belegte Räume u. U. zu geringe Volumenströme auf. Eine Einzelraumregelung ist jedoch sehr kostenaufwändig. Eine einfachere Variante bei Abluftanlagen stellt ein konstanter Volumenstrom als Grundlüftung zusammen mit einer bedarfsabhängigen Fensterlüftung dar. Grundsätzlich sollte im Sommerhalbjahr soweit wie möglich auf die mechanische Lüftung zugunsten von manueller Fensterlüftung verzichtet werden, wenn das Gebäude vom Grundriss und der Nutzung dafür geeignet ist.

Außenluftdurchlässe bei Abluftanlagen sollten im Winter außerhalb der Betriebszeiten geschlossen werden, um erhöhte Infiltrationsverluste zu vermeiden. Eine feuchtegeführte Regelung des Volumenstroms im Winter vermeidet zu trockene Raumluft.

Planerische Maßnahmen für energieeffiziente Lüftungsanlagen:

- möglichst kurze und geradlinige Kanalnetze
- Auslegung der Netze auf Strömungsgeschwindigkeit von 3 bis 5 m/s bei Nennvolumenstrom
- Luftführung durch Nutzung der Gebäudestruktur anstelle von Kanälen (z. B. Atrien und Verkehrsflächen als Zuluftverteiler oder Abluftsammler)
- möglichst geringe Strömungswiderstände von Außenluftdurchlässen, Überströmöffnungen sowie Einbauten im Kanalnetz (Filter, Klappen etc.)
- für eine langfristig hohe Lufthygiene müssen Lüftungsanlagen regelmäßig gewartet werden! Vorgaben dazu finden sich in der VDI Richtlinie 6022.

► VDI Richtlinie 6022 „Hygienische Anforderungen an raumluftechnische Anlagen“  
 DIN EN 13779 „Lüftung von Nichtwohngebäuden – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen an Lüftungs- und Klimaanlage“

### 4. Kühlen

Die Höhe und das zeitliche Aufkommen von Wärmelasten in Gebäuden entscheiden darüber, wie und mit welchem Aufwand diese abgeführt werden müssen, um den thermischen Komfort außerhalb der Heizperiode zu gewährleisten. Wärmelasten sind:

- Solarstrahlung durch Fenster
- Wärmeeinträge über die Gebäudehülle
- Wärmeeinträge über die Zuluft von außen
- interne Wärmelasten durch Geräte, Beleuchtung und Personen

Eine konventionelle Kühlung erfolgt sehr häufig über Kompressions-Kältemaschinen. Wegen der erforderlichen elektrischen Antriebsenergie ist sie mit hohem Primärenergieverbrauch verbunden. Gelingt es, die Wärmelasten auf ein Maß zu begrenzen, dass sie von der Gebäudemasse ohne zu starke Temperaturerhöhung im Gebäudeinneren zwischengespeichert werden können, dann ist die Aktivierung natürlicher Wärmesenken möglich. Über die Außenluft oder das Erdreich/Grundwasser kann die gespeicherte Wärme zeitversetzt mit minimalem Energieaufwand aus dem Gebäude abgeführt werden.

Passive Kühlung bedingt eine konsequente integrale Planung von Gebäude und technischen Anlagen, wobei der wesentliche Schwerpunkt bei den baulichen Maßnahmen liegt. Wichtigste Anforderung: Minimierung der Wärmelasten, d. h. maßvolle Glasflächenanteile, effektiver Sonnenschutz, tageslichtoptimierte Grundrisse sowie hocheffiziente Beleuchtung und elektrische Geräte. Für die erfolgreiche Planung von passiven Kühlkonzepten müssen spezielle Planungswerkzeuge (dynamische Gebäudesimulation) eingesetzt werden – der Nachweis für den sommerlichen Wärmeschutz nach DIN 4108-2 liefert nur einen ersten Anhaltswert und ist für Nichtwohngebäude zu ungenau.

#### Sommerlicher Komfort in Innenräumen

Die bisher in Deutschland angewandten Normen und Richtlinien zur Bewertung des Raumklimas beziehen sich ausschließlich auf Gebäude mit raumluftechnischen Anlagen zur Kühlung und Klimatisierung und sehen feste Obergrenzen für die Raumtemperatur (im Sommer) vor. Der Normenvorschlag prEN 15251 berücksichtigt erstmals auch explizit natürlich gelüftete und passiv gekühlte Gebäude und schafft für diese eine eigene Grundlage zur Bewertung. Basis dafür ist das sogenannte „adaptive Komfortmodell“. Es sagt aus, dass Menschen in Gebäuden ohne Kühlung/Klimatisierung aufgrund von Adaption höhere Raumtemperaturen akzeptieren und dass der akzeptierte Temperaturbereich mit einer über den Zeitraum der letzten Tage bzw. Wochen gemittelten Außentemperatur zusammenhängt.

Ein weiterer Einflussfaktor zur Erhaltung eines behaglichen Raumklimas ist die Luftgeschwindigkeit. In den Sommermonaten werden bei höheren Raumtemperaturen höhere Luftgeschwindigkeitswerte als im Winter akzeptiert bzw. als angenehm empfunden. Dies ist ein wichtiger Aspekt, um bei hohen (Raum-) Temperaturen über lokale Zuglufteinwirkung (z. B. Tischventilator) ein höheres Komfortempfinden zu erreichen.



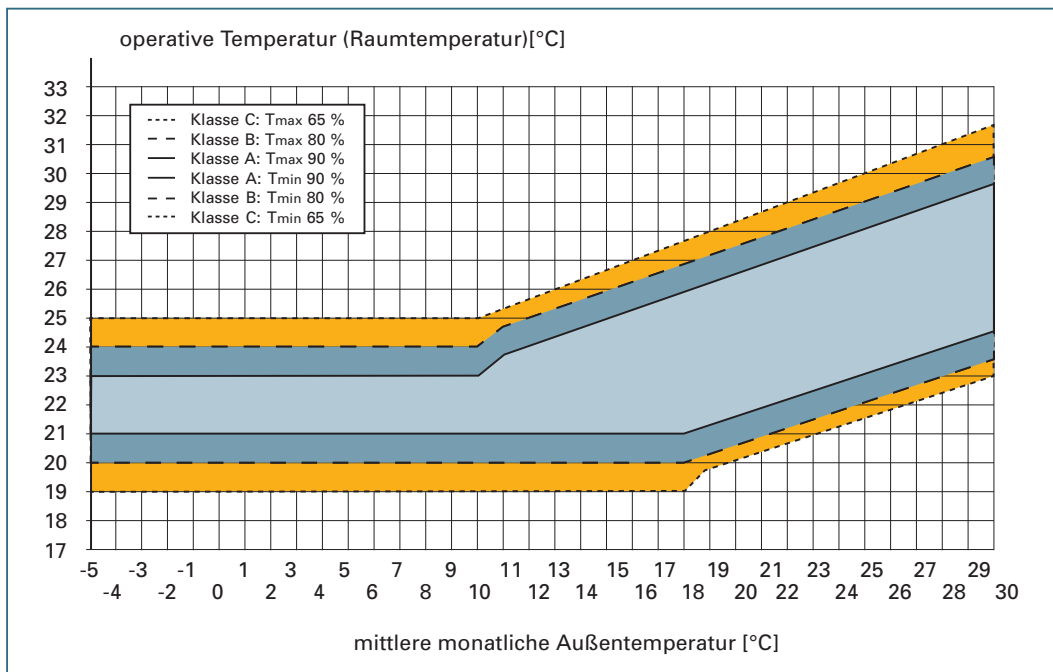


Abb. 04\_01:  
 Empfohlene Innentemperaturen für den Entwurf von natürlich gelüfteten und passiv gekühlten Gebäuden nach prEN 15251. Die Kategorien A, B, C definieren den Anforderungsgrad an das Gebäude bzw. den thermischen Komfort (Kategorie A: höchste Anforderungen, Kategorie C: niedrigste Anforderung)

#### Definition:

Der in den Normen verwendete Begriff „Raumtemperatur“ steht für die „operative Temperatur“. Sie ist die vom Menschen empfundene Temperatur und berechnet sich aus dem Mittel von Raumlufttemperatur und mittlerer Strahlungstemperatur sämtlicher Raumumschließungsflächen.

Kühlere Oberflächen, z. B. einer Decke, erlauben im Sommer etwas höhere Lufttemperaturen ohne negativen Einfluss auf den thermischen Komfort. Umgekehrt kann im Winter die Lufttemperatur bei erhöhten Oberflächentemperaturen leicht abgesenkt werden. Dies macht man sich bei Flächenkühlung/-heizung zunutze (vgl. auch Kapitel 2 Heizen).

#### Vorgaben für maximale Raumtemperaturen in Büroräumen finden sich in:

- ▶ Arbeitsstättenrichtlinie ASR
- ▶ DIN 4108-2 „Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Mindestanforderungen an den Wärmeschutz“, sommerlicher Wärmeschutz
- ▶ DIN EN ISO 7730 „Ergonomie der thermischen Umgebung – Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und des PPD-Indexes und Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit“
- ▶ DIN EN 13779 „Lüftung von Nicht-Wohngebäuden – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen an Lüftungs- und Klimaanlage“
- ▶ prEN 15251 „Bewertungskriterien für den Innenraum einschließlich Temperatur, Raumluftqualität, Licht und Lärm“
- ▶ Bielefelder Urteil 2003 - (LG Bielefeld AZ: 3 O 411/01 v. 16.04.2003)

**Relevante Außenklimafaktoren**

**Außentemperatur:** Das Überprüfen eines passiven Kühlkonzeptes erfordert neben den üblichen statistischen Mittelwerten auch Extremwetterdaten. Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass das Mikroklima in bebauter Umgebung – je nach Grad der Oberflächenversiegelung, der Bebauungsdichte und Strahlungsabsorption an Gebäudeoberflächen – oft bis zu 5 K höhere Temperaturen aufweist. Für die Abschätzung des Kühlpotenzials durch Nachtlüftung sind die Stunden mit nächtlichen Außenlufttemperaturen unter 21 °C von Bedeutung.

**Solarstrahlung:** Zur Einschätzung der Wärmelasten durch Solarstrahlung sind die je nach Tages- und Jahreszeit unterschiedlichen Einstrahlungswerte auf Fassaden verschiedener Orientierung sowie auf horizontale Flächen zu beachten. Außerdem müssen Verschattungen durch umliegende Bebauung o. ä. in Berechnungen entsprechend berücksichtigt werden.

Achtung: Die eingestrahelte Sonnenenergie auf Ost- und Westfassaden ist in den Sommermonaten etwa genauso hoch wie auf einer Südfassade, obwohl die Besonnungszeiten kürzer sind! Auf eine Westfassade erfolgt die Einstrahlung im Sommer zur Zeit der Tageshöchsttemperaturen, d. h. maximale externe Wärmelasten am Nachmittag ohne die Möglichkeit zur Kühlung durch Lüften! Aufgrund des Sonnenstandes benötigen besonders Ost- und Westfassaden einen parallel zur Fensterebene angeordneten und verfahrbaren Sonnenschutz.

Horizontale Flächen weisen im Sommer die höchsten Einstrahlungssummen auf – der Verschattung von Atriumdächern muss besondere Beachtung geschenkt werden.

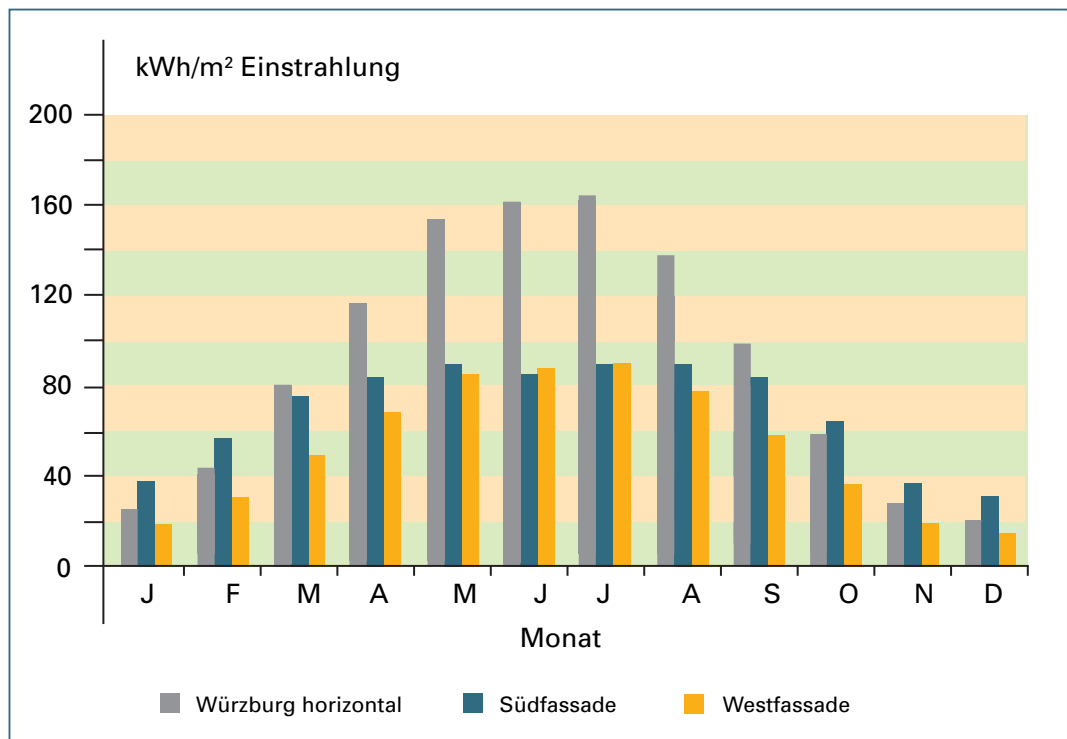


Abb. 04\_02:  
 Monatliche Einstrahlungssummen auf vertikale und horizontale Flächen für den Standort Würzburg.  
 [Quelle: EnBau:MONITOR]

**Datenquellen für Klimadaten:**

- ▶ TRY – Testreferenzjahre für Deutschland und extreme Klimaverhältnisse, Deutscher Wetterdienst, Offenbach 2004 – [www.dwd.de/TRY](http://www.dwd.de/TRY)
- ▶ MeteoNorm – Bezug: MeteoTest, CH-Bern – [www.meteotest.ch](http://www.meteotest.ch)
- ▶ Müller, J.; Hennings, D.: Global Climate Data Atlas – Bezug: [www.climate1.com](http://www.climate1.com)

Das Konzept der passiven Kühlung besteht darin,

- die meist gleichzeitig auftretenden externen solaren Lasten sowie interne Wärmelasten soweit wie möglich zu begrenzen,
- diese Wärmelasten zeitlich zu verteilen, d. h. Zwischenspeichern in thermisch trägen Bauteilen, damit die Raumtemperaturen nicht zu stark ansteigen,
- die Wärmelasten durch Nutzung natürlicher Wärmesenken abführen.

Alle drei Maßnahmen sind sehr eng mit dem Gebäudeentwurf und der Baukonstruktion verbunden:

- Fassadenplanung, Grundrissdisposition: externe/interne Lasten
- Baukonstruktion/Materialien: Wärmespeicherung
- Gebäudestruktur (Lüftungskonzept), Schnittstellen zur technischen Gebäudeausrüstung hinsichtlich Wärmeabfuhr

**Abzuführende Wärmelasten (interne und externe Kühllasten)****Interne Lasten**

Die gesamte interne Wärmelast verteilt sich bei ausreichendem Tageslichtangebot (Sommer) auf die einzelnen Einflussgrößen wie folgt:

- Arbeitshilfen/Bürogeräte ca. 70 %
- anwesende Personen ca. 20 %
- Beleuchtung ca. 10 %

Für die Bestimmung interner Wärmelasten müssen Anwesenheitszeiten von Personen (ca. 5 bis 8 Stunden/Tag) und Nutzungszeiten von Arbeitshilfen/Geräten und Beleuchtung möglichst genau abgeschätzt werden. Bei Bürogeräten entfallen nur etwa 30 % des Energieverbrauchs auf die aktive Gerätenutzung, die übrigen 70 % benötigen die Modi „Standby“ und „Aus“. Bei geringem Tageslichtangebot (Winter, schlechte Tageslichtplanung) erhöht sich der Anteil der Beleuchtung an der Gesamtwärmelast entsprechend.

**Minimierung von internen Lasten**

- Arbeitshilfen/Bürogeräte:  
Die Gerätenutzung ist dahingehend zu optimieren, dass nicht genutzte Geräte komplett abgeschaltet werden. Weiterhin sind Geräte mit niedrigem Energiebedarf (z. B. Flachbildschirme) einzusetzen und allgemein zu nutzende Geräte in bestimmten Gebäudezonen zu konzentrieren.
- Personen:  
Interne Lasten durch Personen können aufgrund der vom Bauherrn angestrebten Gebäudeausnutzung nur bedingt reduziert werden. Trotzdem sollten in der Planung möglichst geringe Belegungsdichten angestrebt werden (Zellen anstelle von Großraumbüros).
- Beleuchtung:  
Hoher Tageslichtanteil und effiziente Beleuchtungssysteme mit tageslichtabhängiger Regelung reduzieren den Wärmeeintrag durch künstliche Beleuchtung (siehe auch Kapitel 5 Beleuchten).

- ▶ VDI 2078 – Berechnung der Kühllast klimatisierter Räume (VDI-Kühllastregeln)
- ▶ SIA 382/2 Steinemann, U. et al: SIA Empfehlung V 382/2 „Kühlleistungsbedarf von Gebäuden“
- ▶ Energieeffiziente Bürogeräte: [www.office-topten.de](http://www.office-topten.de), [www.energystar.at](http://www.energystar.at), [www.energieeffizienz-im-service.de](http://www.energieeffizienz-im-service.de), [www.energyagency.at/projekte/eebuero.htm](http://www.energyagency.at/projekte/eebuero.htm)

**Externe Lasten:**

Die maßgeblichen Planungsgrößen für die Bewertung der externen Wärmeeinträge sind:

- der Fensterflächenanteil
- die Orientierung der verglasten Flächen
- optische Qualität von Verglasungen und Sonnenschutzsystem

Hinzu kommen der Wärmeschutzstandard (Transmissionswärme) und das Lüftungsregime (Wärmeeintrag durch die Außenluft).

Die Fensterflächen von Büroräumen sind auf das für die Tageslichtnutzung optimale Maß zu dimensionieren. Glasflächenanteile von 30 bis max. 50 % bezogen auf die von innen sichtbare Fläche der Außenwand sind hierzu völlig ausreichend! Verglaste Brüstungen verbessern nicht die Belichtungssituation, erhöhen aber maßgeblich die Kühllast.

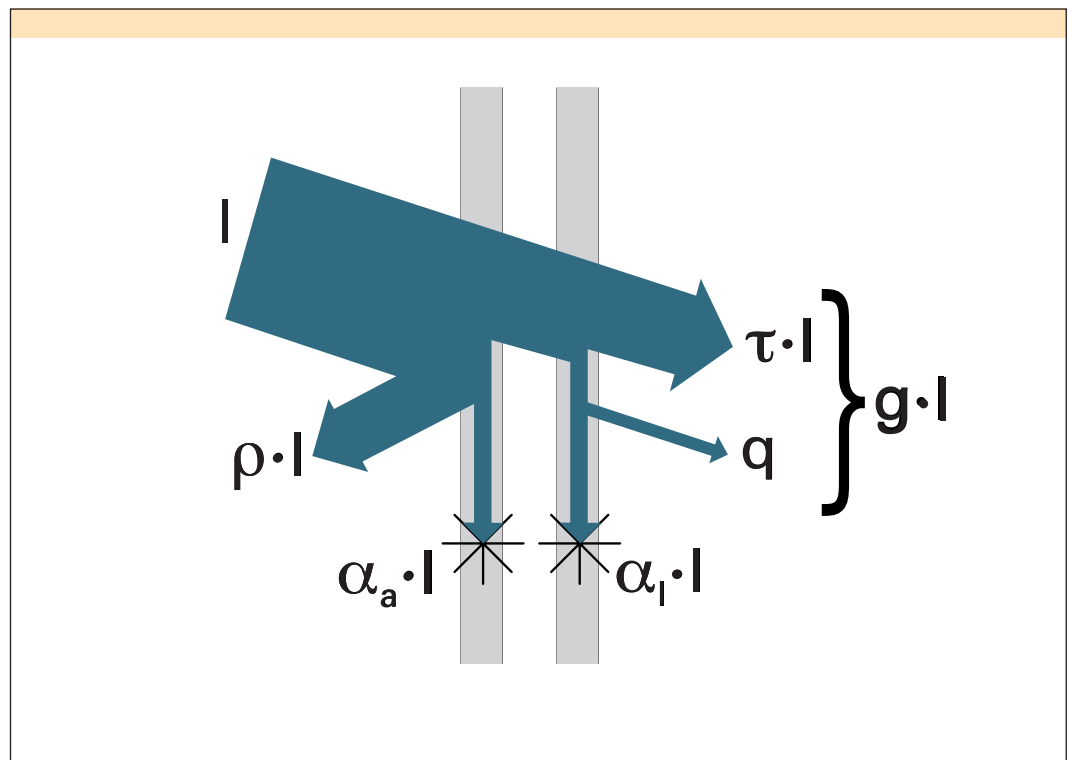


Abb. 04\_03:  
Quantifizierung der optischen Qualität von Verglasungen durch den Gesamtenergiedurchlassgrad.  
[Quelle: nach EnBau: MONITOR]

Verglasungen für Bürogebäude sollten niedrige Ug-Werte ( $\leq 0,8$  (W/m<sup>2</sup>K)) kombiniert mit niedrigen g-Werten = Gesamt-Energiedurchlass ( $\leq 0,4$ ) aber gleichzeitig hohen Lichttransmissionswerten ( $\geq 0,6$ ) aufweisen.

- ▶ Wagner, A.: Energieeffiziente Fenster und Verglasungen, BINE-Infopaket

## Sonnenschutz

Ein Sonnenschutz soll den Wärmeeintrag in ein Gebäude möglichst stark reduzieren, die direkte Besonnung von Personen vermeiden und im geschlossenen Zustand keine Wärme nach innen abstrahlen (thermische Behaglichkeit). Gleichzeitig soll aber der Blick nach außen über lange Zeiten gewährleistet und die Möglichkeit der Tageslichtnutzung gegeben sein. Außerdem ist ein blendungsfreies Arbeiten am Platz gefordert. Diese Anforderungen sind zum Teil nur schwer gleichzeitig miteinander vereinbar. Je nach System werden sie mehr oder weniger zufriedenstellend gelöst.

Hinweis: Die Anforderungen an Sonnen- und Blendschutzsysteme sind in prEN 14501 (Abschlüsse – Thermischer und visueller Komfort/Leistungsanforderungen und Klassifizierung) in Form von Leistungsmerkmalen zusammengefasst. Damit ist eine einheitliche Beschreibung und vergleichende Bewertung unterschiedlicher Produkte möglich.

► DIN EN 14501: Abschlüsse - Thermischer und visueller Komfort - Leistungsanforderungen und Klassifizierung.

System	Wirkung
Horizontale feststehende Auskrugung über dem Fenster	Funktioniert nur an südlich orientierten Fassaden, nicht regelbar, reduziert je nach Bauart den diffusen Tageslichteintrag im Winterhalbjahr mehr oder weniger stark
Außen liegende Jalousie	Gute einstellbare Sonnenschutzwirkung Ausblick möglich, Windwächter erforderlich
Außen liegende Jalousie mit unterschiedlichen Anstellwinkeln im unteren und oberen Fensterbereich	Verbesserte Tageslichtversorgung durch Lichtlenkung (verschmutzungsabhängig), Windwächter erforderlich
Außen liegende Jalousie am unteren Fenster, Lichtlenkung im Oberlicht	Verbesserte Tageslichtversorgung durch Lichtlenkung, Windwächter erforderlich
Innen liegende Jalousie	Als Blendschutz geeignet, als Sonnenschutz nur bei sehr hochwertigen Systemen
Jalousie zwischen den Scheiben	Wirksamkeit zwischen innen- und außenliegender Jalousie
Markisen	Tageslichtversorgung und Ausblick weniger gut als bei Jalousien
Markisen am unteren Fenster, Lichtlenkung im Oberlicht	Verbesserte Tageslichtversorgung durch Lichtlenkung
Vertikale Lamellen	Nur bei seitlichem Sonneneinfall sinnvoll, muss entfernbar sein

*Tabelle 04\_01:  
Übersicht über verschiedene Sonnenschutzsysteme.  
[Quelle: nach D. Hennings,  
Thermisch optimierte Büro-  
und Verwaltungsgebäude]*

**Kriterien zur Auswahl von Sonnenschutzsystemen:**

- Orientierung der Fassaden und Sonnenbahnen im Sommer beachten.
- Der Sonnenschutz sollte die Verfügbarkeit von Tageslicht aus dem Zenit in Jahreszeiten mit mehr bedecktem Himmel möglichst wenig einschränken.
- Ein g-Wert für das Gesamtsystem Fenster-Verschattung von 0,15 darf nicht überschritten werden, anzustreben ist ein g-Wert von 0,1. Am besten dafür geeignet sind außenliegende Lamellen-Jalousien.
- Automatische Steuerung nach Einstrahlung auf die jeweilige Fassade, Möglichkeit des Eingriffs durch Nutzer muss gegeben sein. Spezielle Beachtung muss auch der Sollwerteeinstellung für Windwächter geschenkt werden, damit der Sonnenschutz nicht schon bei kleinen Windgeschwindigkeiten nach oben fährt und damit wirkungslos wird.



Abb. 04\_04:  
Innenansicht des Sonnenschutzes im Bürogebäude Lamparter in Weilheim. Die horizontale Lamellenstellung im Oberlichtbereich sorgt durch Lichtumlenkung für eine ausreichende Tageslichtversorgung bei gleichzeitigem Sonnen- und Blendschutz.  
[Quelle: EnBau: MONITOR]

Beispiel: Abschätzung des gesamten Wärmeeintrags in einen Büroraum an einem Sommertag [Quelle: nach D. Hennings, Thermisch optimierte Büro- und Verwaltungsgebäude]

2-Personen-Büro, 24 m<sup>2</sup> Grundfläche, 6 m<sup>2</sup> Sonnenschutz-Verglasung (65/35), außen liegende Jalousie in cut-off-Stellung

Wärmequelle	Wärmeleistung	Wirkungsdauer	Wärmemenge/Tag
2 Personen	2 x 100 W	8 h	1600 Wh
2 Notebook-PCs	2 x 50 W	8 h	800 Wh
Tageslicht bedingte Wärme	400 Wh/m <sup>2</sup> Verglasung x 6 m <sup>2</sup> Verglasung		2400 Wh
Summe			4800 Wh

Das ergibt bezogen auf die Fläche eine Wärmemenge von 200 Wh/m<sup>2</sup> pro Tag. Vergleiche dazu auch abführbare Wärmemengen durch Nachtlüftung bzw. Betonkernaktivierung am Ende des Kapitels 4.

- ▶ Sonnenschutz im Büro, Broschüre der Verwaltungs-Berufsgenossenschaft, Schriftenreihe Prävention SP 2.5 (BGI 827)
- ▶ VDI 2078 – Berechnung der Kühllast klimatisierter Räume (VDI-Kühllastregeln)

### Aktivierbare Speichermasse

Um eine zu große Erwärmung des Gebäudes zu Zeiten des Wärmeeintrags (tagsüber) zu vermeiden, versucht man die aufgenommene Wärmemenge zwischenspeichern, damit sie an natürliche Wärmesenken abgegeben werden kann. Wesentliche Parameter sind dabei

- eine hohe spezifische Wärmekapazität der Baustoffe
- eine gute Wärmeleitfähigkeit
- eine große Fläche der speichernden Bauteile, die einen ungehinderten Wärmeübergang durch Konvektion (Raumluft) und Wärmestrahlung (Wärmeaustausch mit anderen Flächen des Raums) ermöglichen.

Die wirksamsten Speicher in Büroräumen sind freiliegende, nicht abgehängte Betondecken. Es muss allerdings geprüft werden, ob raumakustische Kompensationsmaßnahmen (Teppichböden oder besser Wandabsorber) getroffen werden müssen, um angemessene Nachhallzeiten einzuhalten. Alternativ können Leichtbauelemente mit Phasenwechselmaterialien (z. B. Paraffin) eingesetzt werden.

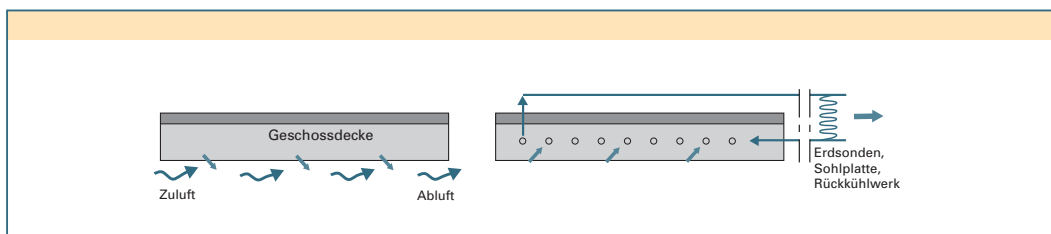


Abb. 04\_05:  
Entladung der Speichermassen durch Nachtlüftung oder Betonkernaktivierung.  
[Quelle: EnBau:MONITOR]

Vereinfachte Ermittlung der Wirkung von Speichermassen:

- ▶ DIN 4108, Teil 2, 4 und 6
- ▶ DIN EN ISO 13786

### Wärmeabfuhr aus dem Gebäude

Die Idee der passiven Kühlung ist, die Wärme in der Gebäudemasse im Tageszyklus mit möglichst geringem Energieaufwand abzuführen. Erfolgt dies nicht, würde sich das Gebäude bei weiterem Wärmeeintrag an den Folgetagen merklich erwärmen, da die Pufferkapazität erschöpft ist.

Als natürliche Wärmesenken können genutzt werden:

- die Außenluft, wenn die Temperatur geringer als die Innenraumtemperatur ist (Nachtlüftung, zeitversetzt)
- das Erdreich bzw. das Grundwasser (Betonkernaktivierung, gleichzeitig oder zeitversetzt).

Nachtlüftung: Für eine wirksame Nachtlüftung ist ein ausreichender Luftaustausch in den einzelnen Räumen sicherzustellen; es kann entweder der freie Auftrieb aufgrund der Temperatur- bzw. Druckdifferenz zwischen innen und außen genutzt werden oder eine mechanische Abluftanlage (vgl. Kapitel 3 Lüften).

Bei höheren Lasten ist auch eine Kombination mit einem Erdreich-Wärmetauscher (EWT) möglich, um zu Zeiten direkten Wärmeeintrags einen zusätzlichen Kühleffekt zu erzielen (vgl. Abb. 03\_05, Kapitel 3). Hierfür ist in der Regel eine mechanische Lüftung notwendig. Beim Betrieb eines EWT sind dessen Regenerationszeiten zu beachten. In der Heizperiode kann er zur Vorwärmung der Zuluft bzw. vornehmlich zur Sicherung der Eisfreiheit von Wärmetauschern verwendet werden. Die Wirtschaftlichkeit eines EWT muss im Einzelfall geprüft werden.

**Einfache Regeln zur Nachtlüftung:**

- Die Räume müssen tags und nachts gut zu lüften sein:
  - tagsüber ist ein erhöhter Luftwechsel (Definition vgl. Kapitel 3 Lüften) sinnvoll, solange die Lufttemperatur außen unter der Innenraumlufttemperatur liegt.
  - nachts soll ein Luftwechsel von mindestens 2 h<sup>-1</sup>, besser 4 h<sup>-1</sup> möglich sein.
- Eine wirksame Nachtlüftung muss über große Teile der Nacht bei genügend tiefer Temperatur erfolgen, mindestens 5 h bei Außentemperaturen unter 21 °C.
- Freie Lüftung erfordert, dass das Gebäude in allen notwendigen Bereichen mit möglichst geringem Druckverlust durchströmt werden kann. Anderenfalls ist eine mechanische Lüftung erforderlich.
- Zielkonflikte zwischen Gebäudedurchströmung, Brandschutz und Sicherheit (Öffnen von Fenstern nachts) müssen früh identifiziert und gelöst werden!

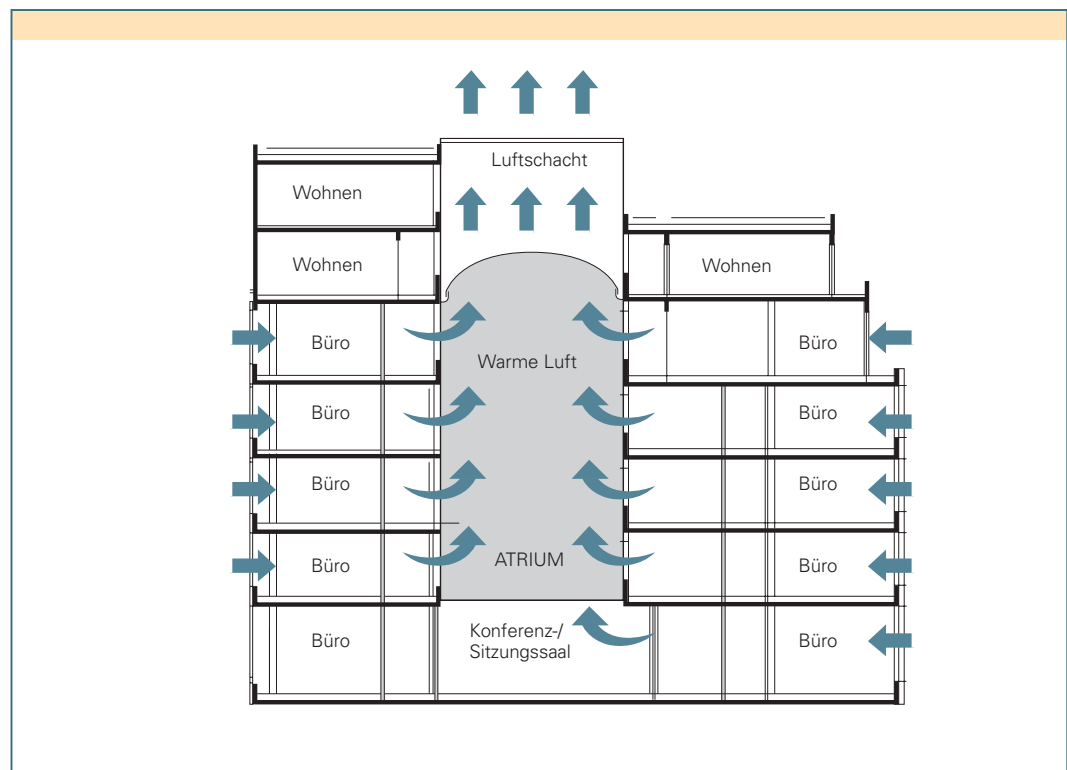


Abb. 04\_06:  
 Nachtlüftungskonzept zur passiven Kühlung im Gebäude KfW-Ostarkade in Frankfurt. Das zentrale Atrium mit aufgesetztem Luftschacht sorgt für eine freie Auftriebslüftung. Die Zuluft gelangt über automatisch gesteuerte Oberlichter in die Büroräume.  
 [Quelle: ip5 Karlsruhe]

**Betonkernaktivierung/Bauteiltemperierung:**

Die Abfuhr der Wärme aus den Speichermassen des Gebäudes erfolgt über ein in die Decken (Fußböden) integriertes Kunststoffrohrsystem. Als Wärmesenke dient das Grundwasser oder das Erdreich. Bei der Verwendung von Grundwasser als Wärmesenke besteht die größte Unabhängigkeit vom Außenklima, während beim Erdreich (Sonden bis ca. 100 m Länge) eine Regeneration berücksichtigt werden muss. Das System Betonkernaktivierung reagiert träge. Der Taupunkt der Raumluft limitiert die Kühlleistung (Wassertemperatur in der Decke). Räume mit erhöhter Kühllast (z. B. zwei Außenfassaden mit Fenstern) müssen u. U. zusätzlich über ein weiteres System (z. B. Zuluftkühlung über Grundwasser/Erdreich) konditioniert werden.

In Kombination mit einer Wärmepumpe ist das System auch als Heizung im Winter einsetzbar, die Decken (Fußböden) dienen dann als Strahlungsheizflächen auf niedrigem Temperaturniveau (vgl. Kapitel 2 Heizen).





Abb. 04\_07:  
Geschossdecke des Bürogebäudes Energon in Ulm vor dem Betonieren. Die Rohrschlangen werden an den Bewehrungsmatten fixiert und mit Wasser (oder Druckluft) zur Kontrolle der Dichtheit gefüllt. [Quelle: ebök Tübingen]

Bei passiver Kühlung, d. h. der Aktivierung der Gebäudespeichermasse, ist nicht die Kühlleistung, sondern die an einem Tag anfallende und damit abzuführende Wärmemenge aus externen und internen Lasten entscheidend (vgl. auch Berechnungsbeispiel Seite 36). Mit Hilfe von Nachtlüftung kann eine Wärmemenge von etwa  $150 \text{ Wh}/(\text{m}^2\text{d})$  bis max.  $200 \text{ Wh}/(\text{m}^2\text{d})$  abgeführt werden, mit einem Erdreich-Wärmetauscher etwa  $200 \text{ Wh}/(\text{m}^2\text{d})$  und über Betonkernaktivierung bis ca.  $250 \text{ Wh}/(\text{m}^2\text{d})$ .

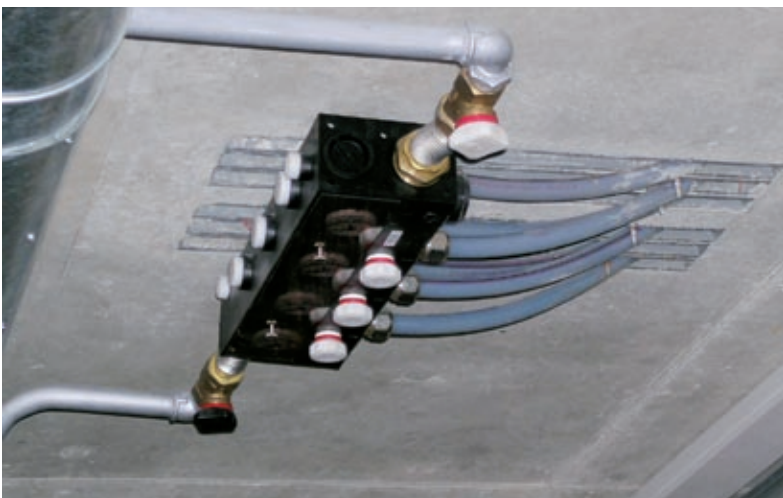


Abb. 04\_08:  
Verteiler der Betonkernaktivierung des Bürogebäudes BOB in Aachen (Projektsteckbrief siehe Kapitel 9). [Quelle: fbta, Uni Karlsruhe]

- ▶ Handbuch der passiven Kühlung, Hrsg. M. Zimmermann, EMPA Zürich 1999  
K. Voss, et al. (Hrsg.): Bürogebäude mit Zukunft

### 5. Beleuchten

Licht bzw. die richtige Beleuchtung von Räumen und Arbeitsplätzen hat entscheidenden Einfluss auf das Wohlbefinden und die Konzentrationsfähigkeit von Menschen. Da wir immer mehr Zeit in Gebäuden verbringen, kommt dem Tageslicht dabei aufgrund seiner vielfältigen positiven Wirkung auf den Organismus eine besondere Rolle zu. Seine große Dynamik im Tages- und Jahresgang darf andererseits nicht zur Beeinträchtigung von Tätigkeiten an (fensternahen) Arbeitsplätzen führen – heute zum größten Teil Computerarbeit in Bürogebäuden. Das „Nicht-Nutzen“ von Tageslicht, also der Einsatz künstlicher Beleuchtung aufgrund unzulänglicher Tageslichtplanung, kann in Bürogebäuden bis zu 30 % des Primärenergieverbrauchs für die Gebäudetechnik ausmachen. Hinzu kommt die sekundäre Wirkung als Kühllast - die Lichtausbeute künstlicher Lichtquellen ist im Vergleich zum Tageslicht um mindestens 30 % geringer!

#### Definition Lichtausbeute:

Verhältnis des Lichtstroms einer Lichtquelle zur aufgewendeten elektrischen Leistung

#### Anforderungen an die Beleuchtung von Arbeitsplätzen

Die Anforderungskriterien an die Qualität der Beleuchtung an Arbeitsplätzen sind vielfältig. In den entsprechenden Normen werden dazu verschiedene Größen definiert und über diese Anforderungen an die Beleuchtung von Innenräumen durch Tageslicht und künstliche Beleuchtung formuliert. Die wichtigsten Größen und Merkmale, die momentan zur Bewertung herangezogen werden, sind die Beleuchtungsstärke, der Tageslichtquotient, die Leuchtdichte von Flächen im Bereich des Sichtfeldes sowie die Qualität der Farbwiedergabe.

In der Regel sind in Normen und Richtlinien nur Mindestwerte vorgegeben, so dass die Einhaltung der Vorschriften noch nicht automatisch zu einer optimalen Beleuchtungssituation führt.

#### Normen und Richtlinien zur Lichtplanung:

- ▶ DIN EN 12464-1 „Licht und Beleuchtung – Beleuchtung von Arbeitsstätten, Teil 1: Arbeitsstätten in Innenräumen“
- ▶ DIN 5034 „Tageslicht in Innenräumen“, Teile 1-6
- ▶ DIN EN ISO 9241-6 „Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten - Teil 6: Leitsätze für die Arbeitsumgebung (ISO 9241)“
- ▶ DIN EN ISO 9241-7 „Ergonomische Anforderungen an Bürotätigkeiten an Bildschirmgeräten – Teil 7: Anforderungen an visuelle Anzeigen bezüglich Reflexionen“
- ▶ VDI 6011-Blatt 1:2002-08 „Optimierung von Tageslichtnutzung und künstlicher Beleuchtung – Grundlagen“
- ▶ Sonnenschutz im Büro, Broschüre der Verwaltungs-Berufsgenossenschaft, Schriftenreihe Prävention SP 2.5 (BGI 827)

#### Tageslicht

Tageslichtplanung ist eng mit dem architektonischen Entwurf verknüpft, d. h. bereits in einer sehr frühen Planungsphase werden – bewusst oder unbewusst – wesentliche Entscheidungen bzgl. der Verfügbarkeit von Tageslicht getroffen. Tageslichtplanung bezieht sich auf die Geometrie eines Gebäudes, seine Raumstrukturen einschließlich der Materialisierung und die Fassade. Letztere steht in engem Zusammenhang mit der Vermeidung zu hoher solarer Einträge in das Gebäude.

Geht man von Büroräumen aus, die an einer Außenfassade liegen, so ist ein wichtiges Anliegen ein möglichst hoher Tageslichtquotient in der Raumtiefe. Zur Bewertung wird dabei ein bedeckter Himmel angesetzt, der die Himmelslichtsituation über weite Teile des Winterhalbjahres in Mittel- und Nordeuropa widerspiegelt und somit den kritischsten Auslegungsfall für die Tageslichtversorgung darstellt.

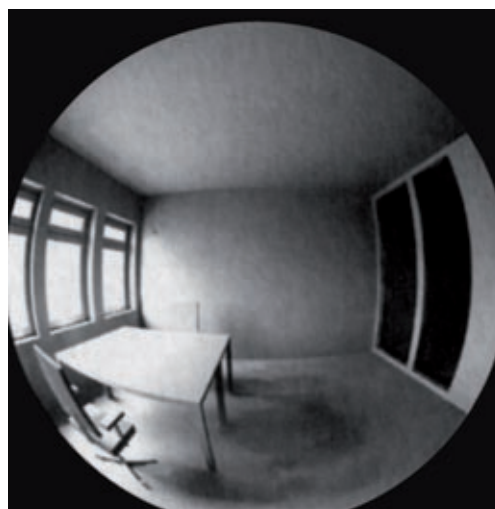
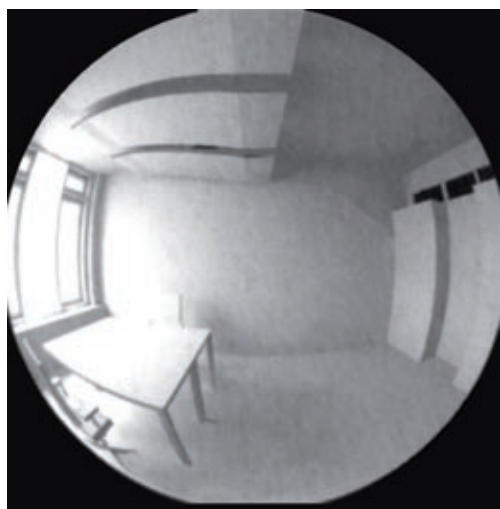


Abb. 05\_01:  
Eine auf hohe Tageslichtnutzung ausgerichtete Raumplanung gewährleistet niedrigen Energieverbrauch für Beleuchtung und Kühlung (aufgrund der Wärmelasten durch Leuchten). Das linke Beispiel weist eine sturzfreie Fensterfront und helle Raumbooberflächen auf; der mittlere Tageslichtquotient ist mehr als doppelt so hoch (3,8 %) wie im rechten Beispiel (1,6 %).  
[Quelle: fbta, Universität Karlsruhe]

#### Definition Tageslichtquotient:

Die Helligkeit in Innenräumen wird über den Tageslichtquotienten bestimmt. Er ist als Verhältnis der Beleuchtungsstärke auf einer horizontalen Fläche des Innenraums zur gleichzeitig vorhandenen Beleuchtungsstärke auf einer horizontalen Fläche im Freien unter unverbautem Himmel definiert. Der Tageslichtquotient wird für einen vollkommen bedeckten Himmel bestimmt.

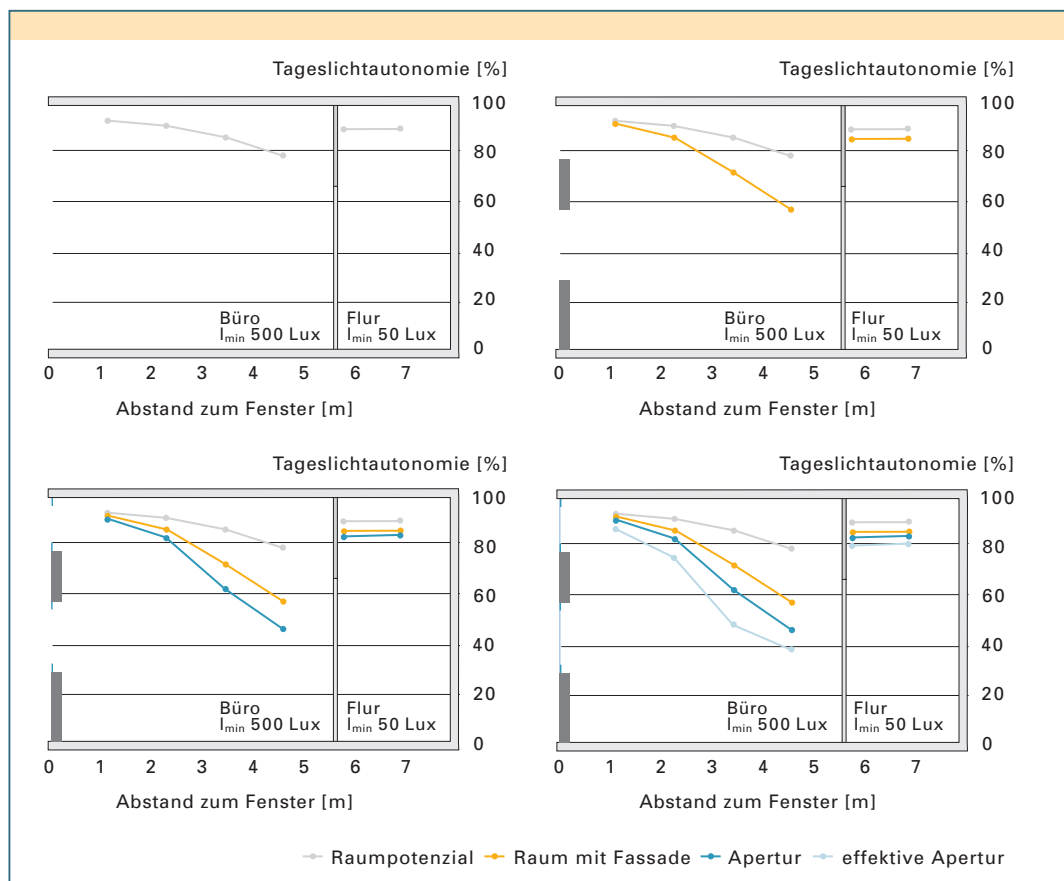


Abb. 05\_02:  
Innenansicht eines Büroraums im Gebäude KfW-Ostarkade in Frankfurt (Projektsteckbrief: siehe Kapitel 9). Sturzfreie Fenster, eine geringe Raumtiefe, eine helle Deckenoberfläche und speziell geformte Deckensegel zur Lichtumlenkung tragen zu einer sehr guten Tageslichtausleuchtung des gesamten Raumes bei.  
[Quelle: Architekten RKW Rhode Kellermann Wawrowsky]

### Planerische Maßnahmen zur Optimierung der Tageslichtausleuchtung von Räumen:

- Abstände zu benachbarten Gebäuden beachten (soweit möglich).
- Orientierung der Büroräume in Abstimmung mit Anforderungen an Blendung und Überhitzung auswählen (soweit unter den Randbedingungen des Standortes und der Nutzung möglich). Dabei ist der Sonnenstand in Bezug auf die Fassade in den verschiedenen Jahreszeiten zu beachten. Nach Norden orientierte Räume kombinieren die geringsten polaren Lasten mit einer hohen Tageslichtverfügbarkeit und (fast) dauerhaftem Ausblick!
- Bei kompakten Gebäuden darauf achten, dass auch bei innen liegenden Räumen (z. B. an Atrien grenzende Büros) viel Himmelslicht die Fassaden erreicht. Die Raumtiefe bei einseitiger Beleuchtung durch Fenster sollte nicht größer als 5 m sein.
- Lage und Größe der Fenster:  
Der Oberlichtbereich eines Fensters ist für die Tageslichtversorgung besonders wichtig. Sturzfreie Fassaden sorgen für die Tageslichtversorgung von raumtiefen Arbeitsplätzen. Der Bereich von etwa Schreibtischhöhe bis 2 m Höhe ist wichtig für die Sichtbeziehung nach außen, die in der Arbeitsstättenverordnung auch explizit vorgeschrieben ist. Der Brüstungsbereich hat für die Nutzung des Tageslichts so gut wie keine Bedeutung. Eine Verglasung in diesem Bereich würde zwar den Sichtbezug nach außen vergrößern, führt aber in hohen Gebäuden oft zu Unbehagen bei den Nutzern. Gravierender Nachteil ist die Erhöhung der solaren Lasten durch diesen zusätzlichen Verglasungsanteil.
- Hinsichtlich der optischen Qualität der Verglasung ist auf einen hohen Transmissionsgrad für das sichtbare Licht zu achten.
- Helle Innenraumflächen – insbesondere Decken – unterstützen die Ausleuchtung der Raumtiefe mit Tageslicht.
- Oberlichte in Trennwänden zwischen Büro- und Flurzone reduzieren den erforderlichen Kunstlichteinsatz im Flur.

Abb. 05\_03:  
Tageslichtautonomie (Anteil der Nutzungszeit ohne zusätzlichen Kunstlichtbedarf bei vorgegebener Beleuchtungsstärke) auf einer Arbeitsebene in Abhängigkeit der Distanz zur Fassade am Beispiel des Gebäudes Fraunhofer ISE in Freiburg. Deutlich zu erkennen ist der starke Einfluss der Fassadengestaltung (offene/geschlossene Bereiche, Rahmenanteile, Leibungen) und der Glasqualität.  
[Quelle: nach EnBau: MONITOR]



## Blendschutz

Zur Vermeidung von Blendung durch die Sonne oder durch hohe Leuchtdichten in der Fensterebene bzw. an Oberflächen benachbarter Gebäude wird ein Blendschutz benötigt. Aus wirtschaftlichen Gründen wird dieser meist in Kombination mit dem Sonnenschutz ausgeführt.

### Wichtige Anforderungen an diese Systeme sind:

- geringe Leuchtdichte im Sichtfeld, z. B. auch keine Reflexblendung an (halb) geöffneten Lamellen. Weiterhin muss darauf geachtet werden, dass die Systeme seitlich lichtdicht an den Fensterrahmen anschließen.
- bei gleichzeitigem Blend-/Sonnenschutz über einen weiten Zeitraum möglichst gute Sicht nach draußen.
- bei gleichzeitigem Blend-/Sonnenschutz möglichst gute Tageslichtnutzung.
- möglichst geringe Veränderung in der Farbwiedergabe.

Auf dem Markt stehen dafür unterschiedliche Produkte zur Verfügung. Der wirksamste gleichzeitige Sonnenschutz wird mit außen liegenden Systemen erzielt. Leistungsmerkmale für die Auswahl von Sonnen- und Blendschutzsystemen sind in der prEN 14501 gegeben (vgl. Kapitel 4 Kühlen).



Abb. 05\_04:  
Unterschiedliche Sonnen-/Blendschutzsysteme  
links: Horizontaljalousien – links oben der außen liegende Edelstahlbehang „s\_enn“ der Firma Claussen, der durch sein Profil selektiv bestimmte Bereiche des Himmels ausblendet und dadurch eine gute Durchsicht erlaubt. Die Profilierung vermeidet Reflexblendung an den Lamellenoberflächen. Links unten die innen liegende „Genius-Lamelle“ der Firma Warema, deren Geometrie speziell auf die diffus reflektierenden Oberflächen abgestimmt ist. Dadurch wird eine gute Kombination von Sonnen-/Blendschutz und Durchsicht erreicht. [Quellen: Fa. Claussen Markisen, Fa. Warema]  
Rechts: Im Scheibenzwischenraum liegendes Rollosystem der Firma Agero am Gebäude der Firma Solvis in Braunschweig. Das beschichtete Rollo wird von unten nach oben zugefahren und gewährleistet somit bei aktiviertem Blendschutz noch Tageslichteintrag in den Raum im Überkopfbereich. [Quelle: Ortsmeyer, Braunschweig]

### **Einfluss des Blendschutzes auf den Energieverbrauch der Beleuchtung**

Vorteilhaft auf den Energieverbrauch wirkt sich aus, wenn je einem Arbeitsplatz ein Blendschutzsystem zugeordnet werden kann. Wird ein Blendschutz mehreren Arbeitsplätzen zugeordnet, und liegt einer der Arbeitsplätze auch noch in einem weiteren Abstand zur Fassade, so sind Tageslichteintrag und Blendung derart unterschiedlich, dass niemals beide Büronutzer den gleichen Nutzen an dem Blendschutz bzw. am Tageslicht haben werden. Während der Fensterplatz verhältnismäßig früh den Blendschutz verwendet, kommt es an dem vom Fenster abgelegenen Arbeitsplatz häufig zu einer nicht mehr ausreichenden Lichtsituation. Elektrische Beleuchtung muss zum Einsatz kommen. Ganz besonders ist dies der Fall bei Blendschutzsystemen, die auf die gesamte Fassade gleichzeitig wirken.

### **Lichtumlenkung**

Tageslichtlenkende Systeme innerhalb einer Verglasung bringen über Reflexion der direkten Solarstrahlung an die Decke Licht in die hintere Zone eines Raumes. Die außen zur Verfügung stehende Lichtmenge bleibt jedoch grundsätzlich dieselbe; die im Raum zur Verfügung stehende Tageslichtmenge verringert sich deshalb eher durch Verluste am Tageslichtsystem selbst und an der Decke. Zur Beurteilung eines Tageslicht lenkenden Systems ist unbedingt dessen Wirksamkeit bei bedeckten Himmelszuständen zu untersuchen. Hierzu sind Transmissionswerte für diffuse Strahlung bei den Herstellern anzufordern. Außerdem sind störende Einflüsse in Form von Farbänderungen durch spektrale Veränderungen in der Zusammensetzung des Tageslichtes zu prüfen.

Tageslichtlenkende Verglasungen sind sehr kostenaufwändig und ihre Wirksamkeit ist im Wesentlichen auf sonnige Tage begrenzt. Bei einer guten Tageslichtplanung kann auf sie verzichtet werden. Dagegen ermöglichen Sonnen-/Blendschutzsysteme mit Licht lenkenden Eigenschaften Tageslichtnutzung bei deutlich reduzierten solaren Lasten (s. o.); sie sollten wetterabhängig verfahrbar sein.

### **Das Atrium – ein Sonderfall**

Atrien als „lichtdurchflutete Räume“ zu bezeichnen, kann nur für die Atrien selbst gelten, nicht aber für die Räume, die an die Atrien angrenzen. Besonders gilt dies für Büroarbeitsplätze, die mit Tageslicht versorgt werden sollen. Während die oberen Etagen zeitweise vielleicht noch ausreichend mit Tageslicht versorgt werden können, nimmt das Tageslichtangebot mit zunehmender Entfernung von der Lichteintrittsfläche rapide ab. Wesentliche Einflussfaktoren sind die Geometrie des Atriums, die Dachkonstruktion des Atriums, die Art des horizontalen Sonnenschutzes und die Oberflächenbeschaffenheit der Innenfassaden im Atrium.

## Künstliche Beleuchtung

Um sowohl die Nutzeransprüche zu befriedigen als auch den Energieverbrauch gering zu halten, muss die Planung der künstlichen Beleuchtung mit großer Sorgfalt durchgeführt werden. Eine Abstimmung der Lichtanlage auf das Tageslichtkonzept ist entscheidend für das Einsparpotential an elektrischer Energie.

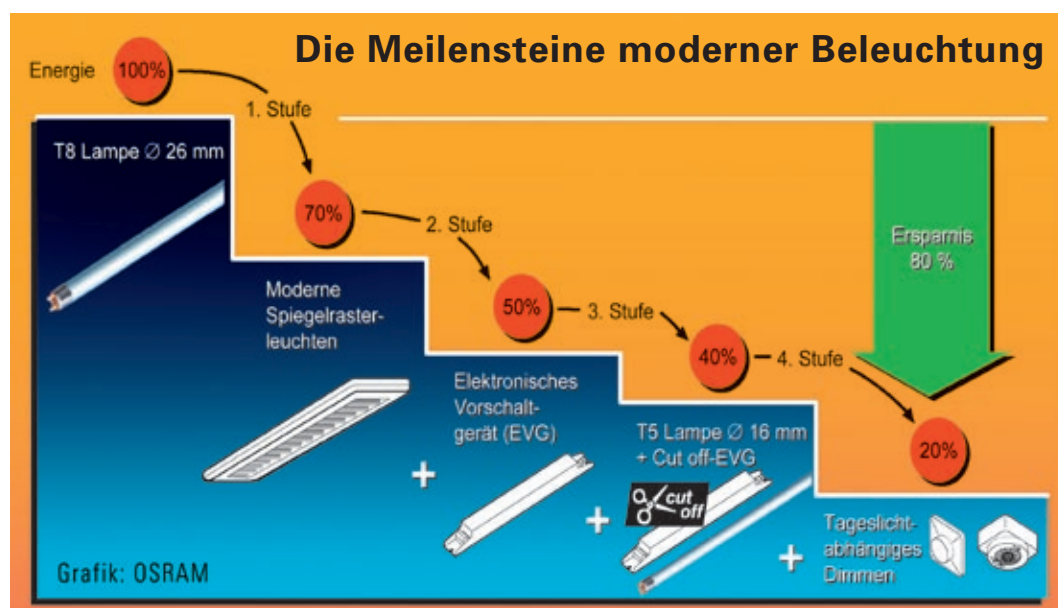


Abb. 05\_05:  
Meilensteine moderner  
Beleuchtung.

Zukünftig werden als  
Leuchtmittel vermehrt auch  
Leuchtdioden zum Einsatz  
kommen, die in vielen  
Bereichen zu deutlich ge-  
ringerem Energieverbrauch  
führen werden.

[Quelle: Fa. Osram]

### Planerische Maßnahmen zur Optimierung der künstlichen Beleuchtung:

- Auswahl von Leuchtmitteln mit hoher Lichtausbeute, z. B. T5 Leuchtstoffröhre mit ca. 100 lm/W.
- Leuchtenbetriebswirkungsgrad von mindestens 70, besser 80 % einhalten.
- Das Verhältnis von spezifischer installierter Leistung zur Beleuchtungsstärke auf der Arbeitsebene sollte etwa 2 Watt pro m<sup>2</sup> und pro 100 Lux betragen (Annahme für Wartungsfaktor 0,8).

Der Leuchtenbetriebswirkungsgrad fasst die optische Qualität einer Leuchte (Lichtverteilung, Qualität des Reflektors, Lichtauskopplung) und die des Vorschaltgerätes zusammen.

### weitergehende Informationen zu den Begriffen:

- ▶ DIN EN 12464-1 „Licht und Beleuchtung – Beleuchtung von Arbeitsstätten, Teil 1: Arbeitsstätten in Innenräumen“

### Steuerung/Regelung

Die einfachste Maßnahme zur Optimierung des elektrischen Energieverbrauchs besteht in der Trennung der Stromkreise für fensternahe und fensterferne Beleuchtung. Dies ermöglicht einen bedarfsabhängigen Betrieb, der von den sehr unterschiedlichen Randbedingungen unabhängig ist. Die Steuerung/Regelung kann manuell oder automatisch erfolgen. Für die automatisierte Kontrolle gibt es zwei grundsätzliche Strategien, die auch miteinander kombiniert werden können: die präsenzabhängige und die tageslichtabhängige Regelung.

Grundsätzlich erfahren automatisierte Systeme weniger Nutzerakzeptanz. Daher sollten am Arbeitsplatz immer Eingriffsmöglichkeiten für den Nutzer zur Verfügung stehen. In öffentlichen Bereichen eines Gebäudes wird die Automatisierung der Lichtsteuerung akzeptiert, zum Teil sogar erwartet.

Das tatsächlich erzielbare energetische Einsparpotenzial hängt sehr stark vom Nutzerverhalten ab.

Besonderes Augenmerk muss Konferenz- oder Vortragsräumen geschenkt werden. Hier sollte die Beleuchtung über ein Zeitprogramm gesteuert werden, damit nach Ende der Nutzungszeit die Beleuchtung nicht weiter in Betrieb bleibt. Wenn möglich, sollten auch solche Räume mit Tageslicht versorgt werden können und eine Verdunklung nur bei Bedarf aktiviert werden.

Automatisierungsstrategien:

- manuelles Einschalten der Raumbeleuchtung
- automatische Abschaltung bei Abwesenheit
- automatisches Dimmen bei entsprechendem Tageslichtangebot, um Nennbeleuchtungsstärke (als Summe aus Tageslicht und künstlicher Beleuchtung) zu erreichen
- für fensternahe und -ferne Arbeitsplätze ist eine tageslichtabhängige Regelung aufgrund der relativ konstanten Beleuchtungsverhältnisse in der Regel unwirtschaftlich!

► Leitfaden Elektrische Energie im Hochbau LEE, [www.iwu.de](http://www.iwu.de)  
 ► Voss, K. et al.: Bürogebäude mit Zukunft. 2. Aufl. 2006; TÜV-Verlag.

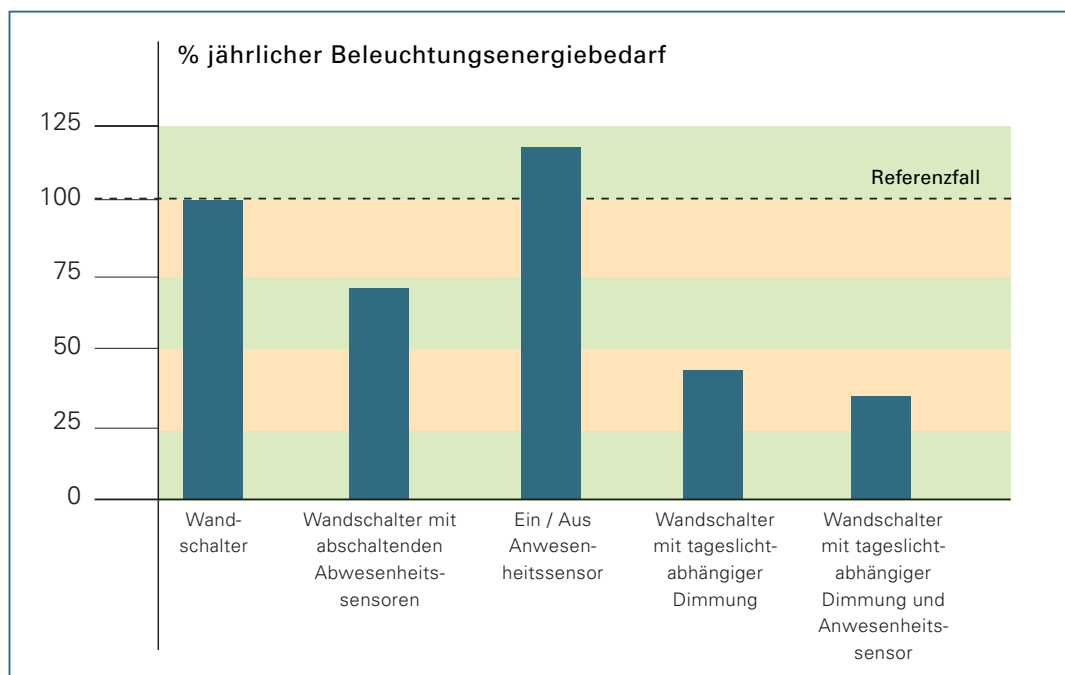


Abb. 05\_06:  
 Simulierter Energieverbrauch für ein Einzelbüro mit manuell bedienbarer Jalousie bei verschiedenen Kontrollstrategien für die künstliche Beleuchtung. Aufgrund der hohen Tageslichtautonomie zeigt das tageslichtabhängige Dimmen die höchsten Einsparpotenziale.  
 [Quelle: nach EnBau: MONITOR]



### Berechnung des Jahresenergiebedarfes für Beleuchtung

Der Energiebedarf für die Beleuchtung ergibt sich aus der installierten Leistung, der Betriebszeit (in Abhängigkeit des Tageslichtangebotes im Raum über das gesamte Jahr) und des Nutzerverhaltens. Eine genaue Berechnung ist sehr komplex und kann nur mit entsprechenden Simulationsprogrammen durchgeführt werden. Für eine überschlägige Berechnung steht in der DIN V 18599 (vgl. Kapitel 1) ein vereinfachtes Berechnungsverfahren zur Verfügung, mit dem sich der Aufwand an elektrischer Energie für Beleuchtungszwecke unter Berücksichtigung des Tageslichtes sowie von Beleuchtungskontrollsystemen (Präsenzdetektion und tageslichtabhängige Beleuchtungskontrolle) ermitteln lässt.

Planungswerkzeuge für die Beurteilung der Nutzungsmöglichkeiten von Tages- und Kunstlicht:

- ▶ Leitfaden Elektrische Energie im Hochbau LEE – vereinfachtes Berechnungsverfahren, [www.iwu.de](http://www.iwu.de)
- ▶ DIN V 18599 Teil 4 „Nutz- und Endenergiebedarf für Beleuchtung“
- ▶ DL\_frac – Rechenmodul, berechnet die Tages- und Kunstlichtanteile mit einem einfachen für frühe Planungsphasen geeigneten Modell, [www.eclim.de](http://www.eclim.de)
- ▶ Relux – Radiosity-Software für Licht und Beleuchtung, [www.relux.biz](http://www.relux.biz)
- ▶ Radiance – Raytracing-Software für Licht und Beleuchtung, <http://radsite.lbl.gov>
- ▶ DaySim – zur Berechnung der Tageslichtautonomie, [www.daysim.com](http://www.daysim.com)

### 6. Zukunftsfähige Energieversorgung

Neben der Ausschöpfung aller Maßnahmen zur Minimierung des Energiebedarfs sowie der effizienten Energieverwendung kommt der Bereitstellung von Energie eine wesentliche Rolle im Zusammenhang mit Energieeffizienz in Gebäuden zu. Entscheidungskriterien für die Auswahl von Energieträgern sind u.a. die Wirtschaftlichkeit (Investitions- und langfristige Betriebskosten), die Versorgungssicherheit und die Umweltbelastung.

Im Rahmen dieses Leitfadens werden nur Systeme zur Wärme- und Stromerzeugung vorgestellt, da die konventionelle Kühlung in richtig geplanten Bürogebäuden auf (kleinere) Sonderbereiche beschränkt ist und ansonsten mit den in Kapitel 4 vorgestellten Maßnahmen zur passiven Kühlung ein hoher Komfort an Arbeitsplätzen erzielt werden kann.

#### Vorgehensweise zur Verminderung des Energieverbrauchs:

1. Minimierung des Energiebedarfs für Heizen, Lüften, Kühlen und Beleuchten im Rahmen des Gebäudeentwurfs
2. Maximierung der Nutzungseffizienz in der Gebäudetechnik (energetische Betriebsoptimierung) und von nutzungsbedingten Geräten
3. bestmögliche Ausnutzung von Energieträgern – z. B. Brennwerttechnik oder Kraft-Wärme-Kopplung im Verbund (Fern- und Nahwärme)
4. Einsatz regenerativer Energieträger zur Wärme- und Stromerzeugung bzw. Nutzung natürlicher Wärmesenken zur Gebäudekühlung

#### Brennwerttechnik

Als Mindest-Standard für die Versorgung mit Heizwärme muss laut Energieeinsparverordnung die Brennwert- oder die Niedertemperatur-Technik zum Einsatz kommen. Mit Brennwerttechnik ist die effizienteste Ausnutzung konventioneller Energieträger (im Neubau in der Regel Gas) gewährleistet. Bei Altbausanierungen ist zu beachten, dass eine Brennwertnutzung nur dann stattfindet, wenn die Heizkreistemperatur entsprechend niedrig ist. Brennwertkessel bzw. -thermen sind fast über den gesamten Leistungsbereich modulierbar und somit als alleinige Wärmeerzeuger einsetzbar.

#### Heizen mit Biomasse

Beim Einsatz von Biomasse weist Holz in Form von Pellets oder Hackschnitzeln zur Zeit den größten Anteil auf. Die Versorgung mit dem Brennstoff Holz sollte über möglichst geringe Versorgungswege erfolgen (< 100 km), damit der ökologische Vorteil des Systems nicht durch hohen Treibstoffverbrauch beim Transport zunichte gemacht wird. Holzkessel weisen ein schlechteres Teillastverhalten auf; für den Sommerbetrieb (und Spitzenlasten) sollte ein ergänzendes System (Gasbrennwertkessel) und/oder ein großer Pufferspeicher eingeplant werden.

#### Erdwärme-/Grundwasserwärmenutzung mit Wärmepumpe

Mit Wärmepumpen lässt sich Wärme aus dem Untergrund effizient nutzen. Voraussetzung ist, dass aufgrund eines hohen Wärmeschutzes die Betriebstemperaturen des Heizsystems nicht über 55 °C, möglichst aber deutlich darunter liegen, da die Jahresarbeitszahl von Wärmepumpen umso höher ist, je geringer die Temperaturdifferenz zwischen Wärmequelle und Wärmesenke (Heizkreis) ist.

Für die Grundwassernutzung ist die ganzjährige Verfügbarkeit notwendige Voraussetzung; je nach Grundwasserstand sind u. U. aufwändige Brunnenbauwerke erforderlich. Das Erdreich wird als Wärmequelle über Erdsonden erschlossen, die bis zu 200 m in die Tiefe reichen können. Synergieeffekte ergeben sich bei einer Pfahlgründung des Gebäudes, da die Sonden dann in die Pfähle eingegossen werden können.

In Verbindung mit Betonkernaktivierung in Gebäuden können das Erdreich und das Grundwasser im Sommer auch direkt als Wärmesenken zur Kühlung eingesetzt werden. Damit ergibt sich für Heizen und Kühlen ein sehr niedriger Primärenergiebedarf, obwohl als Energieträger elektrischer Strom eingesetzt wird. Gute Beispiele dafür sind die Gebäude Handwerkskammer-Akademie in Augsburg und Bürogebäude BOB in Aachen (siehe Kapitel 9).

Die Arbeitszahl einer Wärmepumpe beschreibt das Verhältnis von Nutzenergie zu aufgewendeter Endenergie. Die Jahresarbeitszahl berücksichtigt dabei den tatsächlichen Betrieb einer Wärmepumpe über ein ganzes Jahr – auch unter Teillast –, während die auf dem Prüfstand ermittelten Arbeitszahlen (Herstellerangaben) über kurze Zeiten mit normierten konstanten Randbedingungen gemessen werden.



Abb. 06\_01:  
Einbringen einer Erdsonde in das Bohrloch beim Neubau des Bürogebäudes BOB in Aachen. Die Erdsonden reichen bis in eine Tiefe von 45 m und sorgen in Verbindung mit einer Wärmepumpe und einer Betonkernaktivierung in den Geschosdecken für die Wärme- und Kältebereitstellung.  
[Quelle: VIKA Ingenieure]

Auch zur Bewertung von Wärmepumpen werden Primärenergiefaktoren herangezogen. Für eine Elektro-Wärmepumpe, die ihren Strom aus einem Kraftwerk mit durchschnittlich 35 % Wirkungsgrad bezieht, ergibt sich bei einer Jahresarbeitszahl von 3 ein Primärenergiefaktor von nur knapp über 1. Aus diesem Grund sollten Wärmepumpen eine Jahresarbeitszahl von mindestens 4 bis 5 aufweisen, um gegenüber fossilen Energieträgern zur Wärmeerzeugung einen wirklichen Vorteil zu besitzen.

Voraussetzungen für hohe Jahresnutzungsgrade/-arbeitszahlen von Heizsystemen:

- Heizkreistemperaturen möglichst niedrig halten (Flächenheizungen) maximale Heizleistungen nicht über 40 W/m<sup>2</sup> bei reiner Heizwärmeversorgung
- Wärmeerzeuger nicht überdimensionieren
- Wärmeverteilverluste so gering wie möglich halten (gut gedämmte Leitungen, kurze Verteilwege, Leitungsführung innerhalb der gedämmten Gebäudehülle, Abschaltzeiten)



Abb. 06\_02:  
Wärmepumpe in der Handwerkskammer-Akademie in Augsburg (Projektsteckbrief siehe Kapitel 9). Das Aggregat hat eine Wärmeleistung von 47 kW und nutzt das Grundwasser als Wärmequelle.

[Quelle: Handwerkskammer-Akademie in Augsburg]

### Solarenergie

Solare Wärmeerzeugung für Brauchwasser in Bürogebäuden ist auf zentrale Abnehmer wie z. B. Kantinen beschränkt. Die Dimensionierung von Kollektoranlagen sollte auf den sommerlichen Bedarf abgestimmt werden. Mit dezentralen solaren Systemen ist ein autarker Sommerbetrieb möglich. Während dieser Zeit können zentrale Versorgungssysteme (mit hohen Verteilverlusten) vollständig außer Betrieb gehen.

Photovoltaik ist aufgrund des Erneuerbare-Energie-Gesetzes (EEG) eine zur Zeit wirtschaftlich interessante Variante der Solarenergienutzung. Durch die Einspeisung von Solarstrom in das öffentliche Stromnetz kann mit einer Photovoltaikanlage auch ein nennenswerter Anteil des Primärenergiebezugs ausgeglichen werden. Beim Bürogebäude Lamparter (siehe Kapitel 9) werden z. B. durch die Photovoltaikanlage etwa 37 % des gesamten Primärenergiebezugs gedeckt. Im Sinne eines zukunftsfähigen Gesamtkonzepts sollten jedoch andere Maßnahmen zur Minimierung des Primärenergiebedarfs bzw. des elektrischen Energiebedarfs an erster Stelle stehen, die ein deutlich besseres Kosten-/Nutzenverhältnis im Sinne der CO<sub>2</sub>-Vermeidung aufweisen.

### Kraft-Wärme-Kopplung

Die zeitgleiche Erzeugung von elektrischem Strom und Wärme sichert die beste Ausnutzung von Energieträgern; je nach System werden Gesamtwirkungsgrade bis zu 85 % erreicht. Neben der Nutzung von Fern- oder Nahwärme aus Kraft-Wärme-Kopplung können kleinere motorisch angetriebene Blockheizkraftwerke (BHKW) direkt in Gebäuden zur Wärmeenerzeugung aufgestellt werden. Voraussetzung dafür ist jedoch ein ausreichend hoher und über das Jahr einigermaßen gleichförmig anfallender Wärmebedarf, um einen wirtschaftlichen Betrieb zu gewährleisten. Zukünftig sollen Brennstoffzellen als BHKW zum Einsatz kommen, die einen höheren Stromwirkungsgrad aufweisen. Vision ist eine emissionsfreie Wärme- und Stromerzeugung auf Basis regenerativ erzeugten Wasserstoffs.

Aufgrund der bei hoch gedämmten Bürogebäuden deutlich verkürzten Heizperiode und dem oft nur sehr geringen Trinkwarmwasserbedarf lässt sich ein BHKW nur selten wirtschaftlich darstellen, da die erforderlichen Betriebsstunden (> 4500 h/Jahr) nicht erreicht werden. Sondernutzungen im Gebäude mit kontinuierlichem Wärmebedarf, z. B. eine große Kantine, können die Situation verbessern. Wird ein regenerativer Brennstoff wie z. B. Biogas oder Rapsöl zum Betrieb eines BHKW eingesetzt, kann über das EEG (siehe Solaranlagen) ein erhöhter Erlös für die Stromeinspeisung erzielt werden. In der Planung muss auf alle Fälle projektspezifisch eine detaillierte Gesamtkostenrechnung durchgeführt werden.

- ▶ K. Voss, et al.: Bürogebäude mit Zukunft
- ▶ BINE-Info: F.-M. Baumann, et al.: Heizen mit Wärmepumpen
- ▶ BINE-Info: Wolfgang Suttor: Blockheizkraftwerke
- ▶ BINE-Info: Ralf Haselhuhn: Photovoltaik - Gebäude liefern Strom

## 7. Monitoring

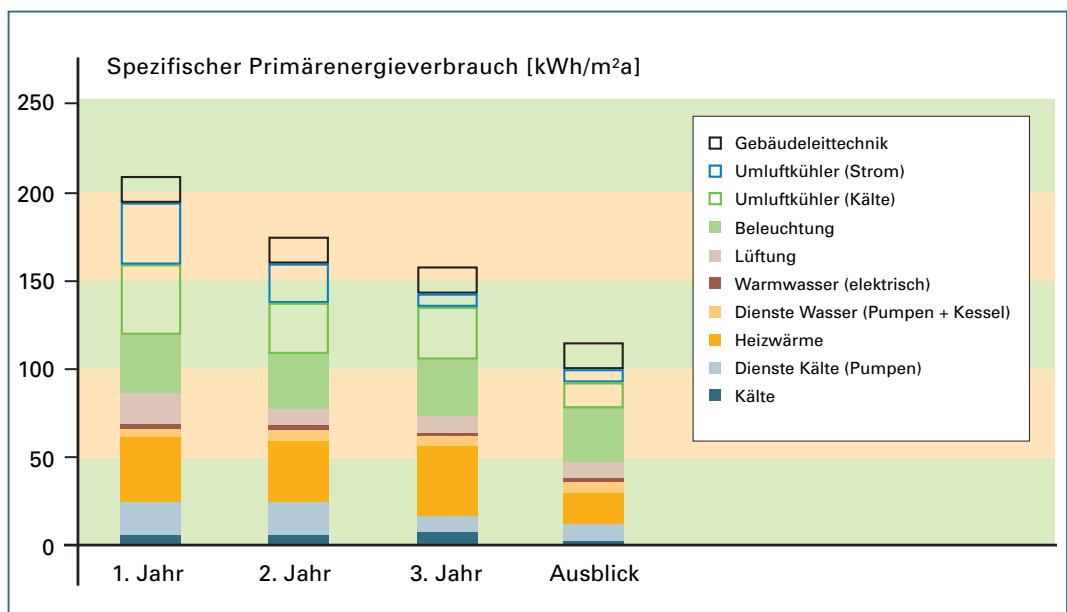
Zu Beginn der Planung werden, wie eingangs im Leitfaden erwähnt, Zielwerte für den Energiebedarf vereinbart, die den energetischen Standard eines Gebäudes verbindlich festlegen. Diese Vorgaben bilden den Rahmen für sämtliche weitere planerische Maßnahmen in Bezug auf die bauliche und technische Umsetzung. Ist die Planung abgeschlossen, liegen für das Gebäude Daten vor, welche den voraussichtlichen Energieverbrauch unter standardisierten Randbedingungen (= Energiebedarf) dokumentieren.

Unter Monitoring versteht man die systematische und kontinuierliche Erfassung, Auswertung und Dokumentation des tatsächlichen Gesamtenergieverbrauchs bzw. einzelner Teilverbräuche eines Gebäudes während seiner Nutzungsphase. Hinzu können weitere systemspezifische Größen einzelner Anlagen kommen.

Durch Monitoring kann geprüft werden, ob der in der Planung dokumentierte Energiestandard auch unter realen Bedingungen tatsächlich erreicht wird. Weiterhin erhält man eine verlässliche Datengrundlage für die energetische Betriebsoptimierung einzelner technischer Anlagen. Eine solche Dienstleistung wird bislang im Rahmen des üblichen Facility Managements in der Regel nicht erbracht. Messergebnisse und Erfahrungen aus vielen Gebäuden belegen jedoch, dass das Potenzial für Energieeinsparungen sowie die Erhöhung der Nutzerzufriedenheit erheblich ist und oft mit geringem Aufwand erschlossen werden kann.

Für ein zielführendes Monitoring bzw. die energetische Betriebsoptimierung müssen schon während der Planungsphase Entscheidungen getroffen werden, in welchem Umfang die Datenerfassung zur Ermittlung von Energieverbräuchen durchgeführt werden soll. Wesentliches Kriterium ist dabei die Zählerstruktur für die Auflösung in einzelne Teilverbräuche. Ein entsprechendes Monitoring-Konzept ist im Rahmen der MSR-Planung (Messen, Steuern, Regeln) zu erstellen und in der Ausschreibung zu dokumentieren.

Abb. 07\_01:  
Gemessene Energieverbrauchs-  
werte des Büro-  
gebäudes KfW-Ostarkade  
in Frankfurt über mehrere  
Jahre. Die Differenz zwi-  
schen dem ersten und  
dritten Jahr zeigt das große  
Potenzial auf, das mit einem  
systematischen Monitoring  
erschlossen werden kann.  
Der Ausblick berücksichtigt  
weitere Optimierungsmaß-  
nahmen, die auf Basis der  
Bewertung der Performance  
einzelner technischer An-  
lagen vorgeschlagen wurden.  
[Quelle: fbta, Universität  
Karlsruhe]



Zweckmäßig für die Darstellung der Energieverbräuche ist die Orientierung an der Systematik der DIN V EN 18599 „Energetische Bewertung von Gebäuden“: Heizen - Lüften - Kühlen – Beleuchten (vgl. Kapitel 1). Hilfsstrom fließt dabei in die Primärenergiekennzahl der einzelnen Energiedienstleistungen mit ein. Eine entsprechende Zählerstruktur muss demnach sämtliche Energiewandler (Kessel, Kältemaschinen) sowie Antriebsaggregate (Pumpen, Ventilatoren) erfassen.

Eine weitere Auflösung von einzelnen Systemen (z. B. einzelne Heizkreise) ist insbesondere bei größeren Gebäuden notwendig, da hier oft unterschiedliche Regelungsanforderungen bestehen. Außerdem besteht dann die Möglichkeit einer auf einzelne Nutzungseinheiten bezogenen Datenerfassung und -auswertung oder der Zuordnung von Verbräuchen zu Zonen der Hauptnutzfläche (HNF) und Nebennutzfläche (NNF).

Datenpunkte für das Monitoring sind in der Planung und Ausschreibung genau zu spezifizieren. Synergien mit der Sensorik der Gebäudeleittechnik sind zu nutzen. Ergänzend müssen teilweise temporäre Messungen in einzelnen Räumen oder an technischen Anlagen durchgeführt werden.

- ▶ Forschungsförderprogramm „Energie optimiertes Bauen ENOB: „Leitfaden für das Monitoring der Demonstrationsbauten im Förderkonzept EnBau und EnSan“.

#### Anforderungen an ein Gebäude-Leittechnik (GLT)-System für Gebäude-Monitoring:

- Genauigkeit der Sensoren
- frei wählbare Zeitintervalle bei der Datenerfassung
- automatische Plausibilitätsprüfung der Daten vor der automatischen Ablage in eine Datenbank
- Möglichkeit des Exports der Daten in spezifiziertem Datei-Format oder sichere Langzeit-Datenhaltung auf dem GLT-Rechner
- Weiterverarbeitung/Visualisierung der Daten gemäß individuellen Nutzeranforderungen

#### Interessante Berichte zum Gebäude-Monitoring von Büro- und Verwaltungsgebäuden:

- ▶ [www.enob.info](http://www.enob.info)
- ▶ [www.enerkenn.de](http://www.enerkenn.de)
- ▶ [www.ages-gmbh.de](http://www.ages-gmbh.de)
- ▶ [www.buildingeq-online.net](http://www.buildingeq-online.net)

### 8. Besonderheiten der Sanierung

Die Anzahl der bestehenden Büro- und Verwaltungsgebäude in Deutschland, die sanierungsbedürftig sind, ist immens. Heutige Ansprüche an Komfort und Energieverbrauch werden bei weitem nicht mehr erfüllt und je nach Baualter und -ausführung kommen unter Umständen Bauschäden oder -mängel hinzu. Über anstehende Sanierungen sollten unbedingt Synergieeffekte genutzt werden, indem energetische Verbesserungen gleichzeitig mit bautechnischen Ertüchtigungen durchgeführt werden. Daneben müssen auch veränderte funktionale Anforderungen und ggf. notwendige Neuorganisationen von Räumlichkeiten in die Planung einbezogen werden, um zu einer möglichst wirtschaftlichen Gesamtlösung zu gelangen.

Tipp: Bei anstehenden Sanierungen oder Umbaumaßnahmen sind energetische Verbesserungen unbedingt frühzeitig einzuplanen. Das spart zusätzliche Kosten durch nutzbare Synergieeffekte (z. B. Gerüstkosten).

Die grundsätzlichen Anforderungen an den Komfort sind die gleichen wie die in einem Neubau. Die jeweiligen Randbedingungen bestimmen die notwendige bzw. mögliche Eingriffstiefe und das erzielbare Ergebnis hinsichtlich der Energiekennzahlen.

Wichtige Aspekte sind:

- die existierende Fassadenkonstruktion (auch Denkmalschutz),
- die Raumhöhen (abgehängte Decken),
- die Zonierung und Organisation des Gebäudes,
- die Aktivierbarkeit der Speichermasse und
- der Brandschutz.

Oft schafft das Entfernen der alten – meist überdimensionierten – Gebäudetechnik Potenziale hinsichtlich besserer Raumausleuchtung und passiver Kühlung (Gewinn an Raumhöhe, Ankopplung der Speichermasse).

Im Sinne eines in den bisherigen Kapiteln beschriebenen Gesamtenergiekonzeptes für Gebäude sollten Erneuerungen im Bereich der Gebäudetechnik eng mit den baulichen Erneuerungen einhergehen. Dies betrifft zum einen Anpassungen bei den Leistungen der einzelnen Systeme und der Regelung, aber je nach Eingriffstiefe auch funktionale und strukturelle Veränderungen, z. B. Dezentralisierung von Anlagen oder einzelnen Komponenten bei einer Umnutzung des Gebäudes. Die Ertüchtigung der Gebäudehülle steht dabei an erster Stelle, um eine Überdimensionierung von technischen Systemen zu vermeiden.

Im Folgenden sind die unter energetischen Gesichtspunkten betrachteten Mängel an Bürogebäuden, die bei einer Sanierung beseitigt werden können, stichwortartig beschrieben. Viele Beispiele zeigen, dass mit geeigneten Maßnahmen (paketen) Energiekennwerte erreicht werden können, die deutlich unter den nach EnEV geltenden Vorgaben für Sanierungen liegen.

► [www.enob.info](http://www.enob.info) – Dokumentationen über sanierte Bürogebäude im Förderprogramm EnSan



**Sachlage 01: Wärmeschutz im Winter**

Unzureichender Wärmeschutz der Gebäudehülle – Zugerscheinungen im Winter, hoher Heizenergieverbrauch.

Mögliche Maßnahmen:

Verbesserung des Dämmstandards, Austausch der Fenster (U-Werte, g-Werte, Lichtdurchlassgrade der Scheibe beachten!), Minimierung der Undichtheiten und Wärmebrücken. Dabei muss für die jeweilige Fassadenkonstruktion eine stimmige Gesamtlösung unter Einbezug aller Bauteile erarbeitet werden. Ambitionierte Beispielprojekte zeigen, dass auch im Rahmen einer energetischen Sanierung der Passivhaus-Standard erreicht werden kann.

Im Zuge der thermischen Optimierung der Gebäudehülle kommt neben der Verbesserung von Einzelbauteilen der Fügung und der Ausbildung der Übergänge zwischen den Bauteilen erhöhte Bedeutung zu. Für den Fenstereinbau betrifft dies den Übergang vom Fensterrahmen zur Außenwand. Intakte Einfachfenster können im Einzelfall zu Doppelfenstern aufgerüstet werden, die einen guten Kompromiss zwischen den technischen Möglichkeiten und den heutigen Anforderungen an Wärmeschutz und Komfort darstellen.

► Wagner, A.: Energieeffiziente Fenster und Verglasungen, BINE-Infopaket

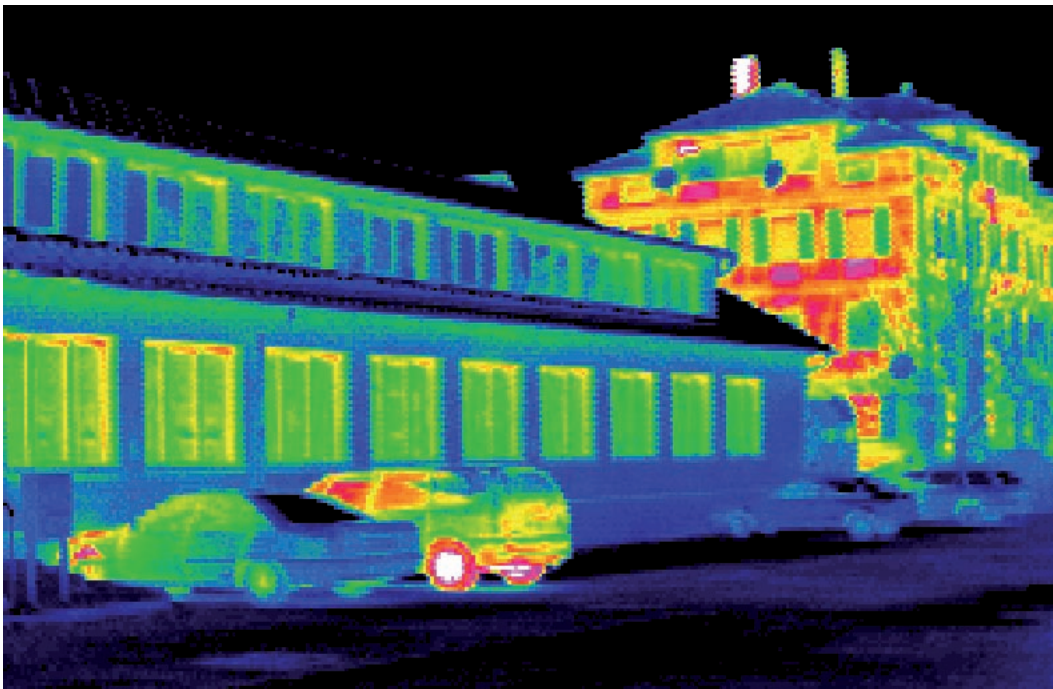


Abb. 08\_01:  
Thermografie des sanierten Bürogebäudes von ebök in Tübingen (Projektsteckbrief: siehe Kapitel 9). Die Aufnahme zeigt, dass die Gebäudehülle nahezu wärmebrückenfrei ist und deutlich geringere Transmissionswärmeverluste aufweist als das unsanierte Nachbargebäude. [Quelle: ebök Ingenieurbüro]

### Sachlage 02: Wärmeschutz im Sommer

Zu hohe Innenraumtemperaturen in Gebäuden ohne aktive Kühlung.

Mögliche Maßnahmen:

- Verglasungen anpassen (niedriger g-Wert bei hoher Lichttransmission)
- (außen liegende) Sonnenschutzsysteme einsetzen oder verbessern
- Nächtliche Lüftung in Verbindung mit Wärmespeicherefähigkeit der Gebäudemasse einsetzen
- Nachrüsten von Leichtbauteilen mit Phasenwechselmaterialien zur Erhöhung der Wärmespeicherefähigkeit (Putzsysteme, Leichtbauplatten)
- Wärmedämmung der Außenwände
- Interne Wärmelasten niedrig halten

### Sachlage 03: Bestehende Klimaanlage

Unzulängliche und unregelmäßige Wartung als Ursache für gesundheitliche Beeinträchtigungen der Nutzer. Nutzer können Raumklimaregelung nicht selbst beeinflussen, hoher Energieverbrauch.

Mögliche Maßnahmen:

- Umbau zu einer reinen Lüftungsanlage, wenn möglich mit Wärmerückgewinnung; in Verbindung mit Maßnahmen der passiven Kühlung kann ein angenehmes Raumklima bei wesentlich niedrigeren Betriebskosten erreicht werden.

Die hier aufgeführten Maßnahmen sind in den vorhergehenden Kapiteln näher beschrieben und sind grundsätzlich auch für die Gebäudesanierung gültig.

### Außendämmung – Innendämmung

Mit einer Außendämmung kann auch nachträglich eine weitgehend ununterbrochene und damit wärmebrückenfreie Dämnhülle und damit ein sehr guter Wärmeschutz erzielt werden. Oft darf in der Praxis die Baugrenze jedoch nicht überschritten werden oder Gebäude unterliegen dem Denkmalschutz, was den Einsatz einer Außendämmung weitestgehend ausschließt. Wenngleich die Innendämmung mehrere Nachteile aufweist – höherer Flächenverlust, Abkopplung von der Speichermasse der Außenwand, vermehrt unvermeidbare oder nur teilweise entschärfte konstruktive Wärmebrücken –, kann auch auf diesem Weg der Wärmeschutz deutlich verbessert werden.

Bei der Ausführung muss dem sorgfältigen Einbau der raumseitigen Dampfbremse/-sperre große Beachtung geschenkt werden. Ansonsten kann durch Undichtheiten beim Wandabschluss zum Raum hin eine große Menge feuchter Raumluft konvektiv in die Dämmebene gelangen und dort zu Kondensatproblemen größeren Ausmaßes führen.

Alternativ zu einem Wandaufbau mit Innendämmung und Dampfbremse/-sperre können Kalziumsilikat-Platten eingesetzt werden. Sie adsorbieren Wasserdampf in der Winterperiode und geben im Sommer die gespeicherte Feuchte wieder (an die Raumluft) ab. Ihre Dämmwirkung ist aufgrund der geringeren Schichtdicke kleiner als bei einer konventionellen Innendämmung, der Einsatz sollte deshalb auf baukonstruktiv schwierige Wandaufbauten und Baukonstruktionen beschränkt werden. Eine weitere Alternative stellen Innendämmsysteme mit feuchteadaptiven Dampfsperren dar.

Sind in der Gebäudehülle unzugängliche Hohlräume vorhanden, kommt auch das Einblasen von losem Dämmmaterial in Frage.

Neuartige Vakuum-Dämmpaneele mit einer zehnfach geringeren Wärmeleitfähigkeit im Vergleich zu herkömmlichen Dämmstoffen können sowohl Flächenverluste verringern als auch problematische Anschlussdetails (z. B. mit Höhenversprüngen) entschärfen. Die heute in der Regel noch mit Folien verschweißten hochporösen Materialien müssen beim Einbau durch konstruktive Maßnahmen (meist weitere Schichten) entsprechend geschützt werden, um ihre Dämmwirkung auf lange Zeit zu erhalten. Integrierte Bauteillösungen sind momentan in der Entwicklung.



Abb. 08\_02:  
Innendämmung des Fußbodens eines denkmalgeschützten Gebäudes mit Vakuum-Dämmpaneelen  
[Quelle: [http://www.vip-bau.de/demoobjekte/schaffhausen\\_d.htm](http://www.vip-bau.de/demoobjekte/schaffhausen_d.htm)]

Bei einer Gebäudesanierung müssen, im Vergleich zu einem Neubau, teilweise gewisse Kompromisse hinsichtlich des Komforts und erzielbarer Energiekennzahlen in Kauf genommen werden. Allerdings ist der Erhalt bestehender Substanz oftmals aus weitreichenderen Gesichtspunkten erstrebenswert. Allein aus Sicht des kumulierten Energieaufwandes für die Erstellung von Gebäuden bzw. der Gesamtbelastung für die Umwelt ergeben sich für Sanierungen in den meisten Fällen Vorteile gegenüber einem Neubau nach vorangegangenem Abriss.

Viele Beispiele zeigen, dass eine hohe Energieeffizienz auch im Denkmalschutz erreicht werden kann – wichtig ist auch hier die Betrachtung des Gesamtenergiebedarfs, der neben dem Heizwärmebedarf auch das Einsparpotenzial in den Bereichen Lüften, Kühlen und Beleuchten adressiert. BOB (Balanced Office Building), Aachen Bezug: 2001



Abb. 08\_03a und  
Abb. 08\_03b:  
Energetische Sanierung  
und Umbau der städtischen  
Entsorgungsbetriebe in  
Remscheid. Durch die neue  
Fassade konnten Wärme-  
schutz und Gestaltung nach-  
haltig verbessert werden.  
[Quelle: Architektur Contor  
Müller Schlüter]

## 9. Beispielgebäude

BOB (Balanced Office Building), Aachen  
Bezug: 2001



### Planungsteam

**Bauherr:** Bauherrengemeinschaft Schurzelterstraße  
**Architektur:** Hahn Helten Architekten  
**Energiekonzept:** VIKA Ingenieure GmbH  
**Techn. Gebäudeausrüstung:** VIKA Ingenieure GmbH

[Quelle: Jörg Hempel, Aachen]

### Kennwerte

NGF	2.151 m <sup>2</sup>
BRI	7.675 m <sup>3</sup>
A/V	0,37 m <sup>-1</sup>
U-Wert (Mittel)	0,48 W/(m <sup>2</sup> K)
Kosten:	KG 300: 770 €/m <sup>2</sup> NGF KG 400: 355 €/m <sup>2</sup> NGF
Gesamt-Primär- energieverbrauch TGA:	73 kWh/(m <sup>2</sup> a)

### Gebäudekonzept/Technologien:

Hoher Dämmstandard, Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung, passive Kühlung (Bauteiltemperierung), Erdsonden, Wärmepumpe, Tageslichtoptimierung, Gebäudeautomation

### ebök – Bürogebäude, Tübingen

Saniertes Verwaltungsbau aus den 50er Jahren

Bezug: September 2003



#### Planungsteam:

**Bauherr:** ebök Planung und Entwicklung GmbH

**Architektur:** AB Cramer (Entwurf), AB Maier-Linden (Bauleitung)

**Energiekonzept:** Ingenieurbüro ebök GbR

**Techn. Gebäudeausrüstung:** Ingenieurbüro ebök, GbR

[Quelle: ebök Ingenieurbüro]

#### Kennwerte

---

NGF	839 m <sup>2</sup>
BRI	3.724 m <sup>3</sup>
A/V	0,49 m <sup>-1</sup>
U-Wert (Mittel)	0,2 W/(m <sup>2</sup> K)
Kosten:	KG 300: 799 €/m <sup>2</sup> NGF
	KG 400: 183 €/m <sup>2</sup> NGF

Gesamt-Primär-  
energieverbrauch TGA: 43 kWh/(m<sup>2</sup>a)

#### Gebäudekonzept/Technologien:

Standard nach der Sanierung: Passivhaus (zertifiziert), Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung, Möglichkeit zur sommerlichen Nachtkühlung mit Phasenwechselmaterial, Brennwerttherme mit NT-Heizkörpern, Beleuchtungsregelung mit Tageslicht- und Anwesenheitssensoren

**Bürogebäude Energon, Ulm**

Fertigstellung: 2002

**Planungsteam:****Bauherr:** Software AG - Stiftung**Architektur:** oehler & archkom**Energiekonzept:** ebök Ingenieurbüro**Techn. Gebäudeausrüstung:** ebök Ingenieurbüro

[Quelle: Oehler Architekten archkom]

**Kennwerte**

NGF	6.911 m <sup>2</sup>
BRI	32.223 m <sup>3</sup>
A/V	0,22 m <sup>-1</sup>
U-Wert (Mittel)	keine Daten verfügbar
Kosten:	KG 300: 1.054 €/m <sup>2</sup> NGF
	KG 400: 345 €/m <sup>2</sup> NGF
Gesamt-Primär- energieverbrauch TGA:	76 kWh/(m <sup>2</sup> a) bei Teilbelegung

**Gebäudekonzept/Technologie:**

Passivhaus (zertifiziert), Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung und Erdreich-Wärmetauscher, Passive Kühlung (Bauteiltemperierung), Erdsonden, Tageslichtoptimierung, Gebäudeautomation, Solarstrom

### Ostarkade Frankfurt/Main

Fertigstellung: 2002



#### Planungsteam:

**Bauherr:** KfW Bankengruppe

**Architektur:** Architekten RKW Rhode Kellermann Wawrowsky

**Energiekonzept:** ip5 Ingenieurpartnerschaft

**Techn. Gebäudeausrüstung:** Reuter & Rührgarten/ZWP

[Quelle: Architekten RKW Rhode Kellermann Wawrowsky]

#### Kennwerte

---

NGF	8.762 m <sup>2</sup> (ohne Wohnungen und Tiefgarage)
BRI	67.052 m <sup>3</sup> (inkl. Tiefgaragen, davon 6.750 m <sup>3</sup> Wohnungen)
A/V	0,25 m <sup>-1</sup>
U-Wert (Mittel)	0,54 W/m <sup>2</sup> K
Kosten:	KG 300: 1.290 €/m <sup>2</sup> NGF KG 400: 572 €/m <sup>2</sup> NGF
Gesamt-Primär- energieverbrauch TGA:	155 kWh/(m <sup>2</sup> a)

#### Gebäudekonzept/Technologie:

Guter Dämmstandard, Fensterlüftung in Standardbüros, Passive Kühlung (Nachtlüftung), Tageslichtoptimierung, tageslicht- und präsenzabhängige Kunstlichtregelung, Gebäudeautomation, Holzpellet-Kessel



**Bürogebäude Lamparter, Weilheim**

Fertigstellung: 1999

**Planungsteam:****Bauherr:** Frau Rotfuß**Architektur:** weinbrenner.single, ArchitektenWerkgemeinschaft**Energiekonzept:** Fraunhofer ISE

Techn. Gebäudeausrüstung: Laux, Kaiser + Partner

[Quelle: Lamparter]

**Kennwerte**

NGF	1.488 m <sup>2</sup>
BRI	5.540 m <sup>3</sup>
A/V	0,40 m <sup>-1</sup>
U-Wert (Mittel)	0,30 W/m <sup>2</sup> K
Kosten:	KG 300: 842 €/m <sup>2</sup> NGF
	KG 400: 141 €/m <sup>2</sup> NGF
Gesamt-Primär- energieverbrauch TGA:	50 kWh/(m <sup>2</sup> a)

**Gebäudekonzept/Technologie:**

Passivhaus, Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung und Erdreich-Wärmetauscher,  
 Passive Kühlung (Nachtlüftung, Erdkanal), Tageslichtoptimierung, Solarstrom

Akademie der Handwerkskammer Schwaben, Augsburg  
Bezug: 2003



**Planungsteam:**

**Bauherr:** Handwerkskammer Schwaben

**Architektur:** Eberle, Augsburg

**Energiekonzept:** Büro Bauer, München

**Techn. Gebäudeausrüstung:** Büro Seibold, Kempten

[Quelle: Handwerkskammer Schwaben]

Gebäudekonzept/Technologie:

**Kennwerte**

---

NGF	3.599 m <sup>2</sup>
BRI	15.529 m <sup>3</sup>
A/V	0,33 m <sup>-1</sup>
U-Wert (Mittel)	0,44 W/m <sup>2</sup> K
Kosten:	KG 300: 539 €/m <sup>2</sup> NGF
	KG 400: 946 €/m <sup>2</sup> NGF
Gesamt-Primär- energieverbrauch TGA:	50 kWh/(m <sup>2</sup> a)

Betonkernaktivierung; Wärmepumpe (Grundwasser) in der Grundlast,  
Spitzenlastabdeckung über Nahwärmenetz (Holz-Hackschnitzel);  
Zentrale Be- und Entlüftung mit CO<sub>2</sub>-Sensor und Wärmerückgewinnung;  
Kühlung mit Grundwasser über Betonkernaktivierung

## Deutsche Normen und Vornormen

- DIN 4108-2 (07-2003) Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz
- DIN 4108, Beiblatt 2 (03-2006) – Wärmebrücken, Planungs- und Ausführungsbeispiele
- DIN V 4108, Teil 4 (07-2004) – Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 4: Wärme- und feuchteschutztechnische Bemessungswerte.
- DIN 4108, Teil 6 (06-2003) - Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 6: Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarfs
- DIN 4108-7 (08-2001) - Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 7: Luftdichtheit von Gebäuden – Anforderungen, Planungs- und Ausführungsempfehlungen sowie -beispiele
- DIN 5034 Tageslicht in Innenräumen, Teile 1-6
- DIN V 18599 (07-2005) – Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung - Teil 4: Nutz- und Endenergiebedarf für Beleuchtung
- DIN V 4701 (08-2003) – Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen - Teil 10: Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung

## Europäische Normen und Vornormen

- DIN EN 12464 (03-2003) – Licht und Beleuchtung – Beleuchtung von Arbeitsstätten – Teil 1: Arbeitsstätten in Innenräumen
- DIN EN 13779 (Entwurf 07-2005) – Lüftung von Nichtwohngebäuden – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen an Lüftungs- und Klimaanlage
- DIN EN 13829 (02-2001) – Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Bestimmung der Luftdurchlässigkeit von Gebäuden – Differenzdruckverfahren
- DIN EN 14501 (02-2006) – Abschlüsse – Thermischer und visueller Komfort – Leistungsanforderungen und Klassifizierung
- prEN 15251 (Entwurf 07-2005) - Bewertungskriterien für den Innenraum einschließlich Temperatur, Raumlufqualität, Licht und Lärm

## Europäische ISO-Normen

- DIN EN ISO 7730 (03-2006) – Ergonomie der thermischen Umgebung – Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und des PPD-Indexes und Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit
- DIN EN ISO 13786 (Entwurf 04-2005) – Wärmetechnisches Verhalten von Bauteilen – Dynamisch-thermische Kenngrößen – Berechnungsverfahren
- prEN ISO 13790 (2005) – Berechnung des Energiebedarfs für Heizung und Kühlung
- DIN EN ISO 9241 (02-2002) – Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten – Teil 6: Leitsätze für die Arbeitsumgebung (ISO 9241)
- DIN EN ISO 9241(02-2002) – Ergonomische Anforderungen an Bürotätigkeiten an Bildschirmgeräten – Teil 7: Anforderungen an visuelle Anzeigen bezüglich Reflexionen

## VDI-Richtlinien

- VDI 2078 (07-1996) – Berechnung der Kühllast klimatisierter Räume (VDI-Kühllastregeln)
- VDI 6011 – Blatt 1 (08-2002) – Optimierung von Tageslichtnutzung und künstlicher Beleuchtung – Grundlagen
- VDI Richtlinie 6022 – Blatt 1 (04-2006) – Hygienische Anforderungen an raumluftechnische Anlagen

### Weitere Vorschriften und Richtlinien

- Arbeitsstättenrichtlinie ASR – Staatliches Gewerbeaufsichtsamt
- SIA (Schweiz) 382/2 Steinemann, U. et al: SIA Empfehlung V 382/2 „Kühlleistungsbedarf von Gebäuden“
- Sonnenschutz im Büro, Broschüre der Verwaltungs-Berufsgenossenschaft, Schriftenreihe Prävention SP 2.5 (BGI 827)

### Bücher, Veröffentlichungen, Dokumentationen

- David, de Boer, Erhorn, Reiß, Rouvel, Schiller, Weiß, Wenning: Heizen, Kühlen, Belüften & Beleuchten – Bilanzierungsgrundlagen zur DIN V 18599 – Fraunhofer IRB Verlag – 2006 ISBN: 3-8167-7024-X
- Haselhuhn, Ralf: Photovoltaik: Gebäude liefern Strom – Hrsg. Fachinformationszentrum Karlsruhe, BINE-Bürgerinformation Neue Energietechniken. - 5., völlig überarb. Aufl. - Köln: TÜV-Verlag, 2005. (BINE - Informationspaket) – ISBN: 3-8249-0854-9
- Kruse, Horst; Rudolf Heidelck: Heizen mit Wärmepumpen: Ein Informationspaket – Hrsg. Fachinformationszentrum, Karlsruhe, Gesellschaft für Wissenschaftlich-Technische Information mbH. - 3., erw. und völlig überarb. Aufl. - Köln: TÜV-Verlag, 2002. (BINE - Informationspaket) – ISBN: 3-8249-0641-4
- Suttor, Wolfgang: Blockheizkraftwerke: ein Leitfaden für den Anwender - 6., aktualisierte. Aufl. - Köln: TÜV-Verlag, 2005. (BINE - Informationspaket) – ISBN: 3-8249-0939-1
- Voss, K.; Löhnert, G.; Herkel, S.; Wagner, A.; M. Wambsganß (Hrsg.): Bürogebäude mit Zukunft: Konzepte, Analysen, Erfahrungen [BINE-Informationdienst, FIZ-Büro Bonn]. - 2. überarb. Aufl. - Köln: TÜV-Verlag, 2007 – ISBN: 3-934595-59-6
- Wagner, Andreas: Energieeffiziente Fenster und Verglasungen: ein Informationspaket - Hrsg. Fachinformationszentrum Karlsruhe. 3. Aufl. - Köln: TÜV-Verlag, 2007 – ISBN: 3-8249-0608-2
- Zimmermann, Mark: Handbuch der passiven Kühlung, Hrsg. M. Zimmermann, EMPA Zürich 1999, Stuttgart: Fraunhofer-IRB-Verlag, 2003 – ISBN: 3-8167-6267-0

### Infobroschüren

Forschungsförderprogramm „Energie optimiertes Bauen ENOB“: Leitfaden für das Monitoring der Demonstrationsbauten im Förderkonzept EnBau und EnSan. Zu beziehen über den Projektträger Jülich.

### Planungswerkzeuge

- DaySim – zur Berechnung der Tageslichtautonomie. [www.daysim.com](http://www.daysim.com)
- DL\_frac – Rechenmodul, berechnet die Tages- und Kunstlichtanteile mit einem einfachen für frühe Planungsphasen geeigneten Modell. [www.eclim.de](http://www.eclim.de)
- ESP-r – dynamisches Mehrzonen-Gebäudesimulationsprogramm zur Optimierung der Energieperformance von Gebäuden. [www.esru.strath.ac.uk](http://www.esru.strath.ac.uk)
- Leitfaden Elektrische Energie im Hochbau LEE – vereinfachtes Berechnungsverfahren. [www.iwu.de](http://www.iwu.de)
- Leitfaden Elektrische Energie im Hochbau LEE, [www.iwu.de](http://www.iwu.de) (im Downloadbereich)
- Parasol – dynamisches Einzonen-Gebäudesimulationsprogramm zur thermischen Optimierung von Fassaden. [www.parasol.se](http://www.parasol.se)
- Radiance – Raytracing-Software für Licht und Beleuchtung. <http://radsite.lbl.gov>
- Relux – Radiosity-Software für Licht und Beleuchtung. [www.relux.biz](http://www.relux.biz)
- Therm – zur Berechnung von 2-dimensionalen Wärmebrückeneffekten. <http://windows.lbl.gov/software/therm/therm.html>
- Window 5 – zur Berechnung von U- und g-Werten von Fenstern. <http://windows.lbl.gov/software/window/window.html>

Weitere nützliche Informationen über Planungswerkzeuge und Simulationsprogramme zur energetischen Gebäudeoptimierung findet man unter [www.eere.energy.gov/buildings/tools\\_directory/alpha\\_list.cfm](http://www.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/alpha_list.cfm)

### **Datenquellen für Klimadaten**

MeteoNorm – Bezug: MeteoTest, CH-Bern – [www.meteotest.ch](http://www.meteotest.ch)

Müller, J.; Hennings, D.: Global Climate Data Atlas – Bezug: [www.climate1.com](http://www.climate1.com)

TRY – Testreferenzjahre für Deutschland und extreme Klimaverhältnisse, Deutscher Wetterdienst, Offenbach 2004 – [www.dwd.de/TRY](http://www.dwd.de/TRY)

### **Adressen im Internet**

[www.ages-gmbh.de](http://www.ages-gmbh.de)

[www.enob.info](http://www.enob.info) - Forschungsförderprogramm „Energie optimiertes Bauen“ des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie

[www.enerkenn.de](http://www.enerkenn.de)

### **Energieeffiziente Bürogeräte:**

[www.energieeffizienz-im-service.de](http://www.energieeffizienz-im-service.de)

[www.office-topten.de](http://www.office-topten.de)

[www.energystar.at](http://www.energystar.at)

[www.energyagency.at/projekte/eebuero.htm](http://www.energyagency.at/projekte/eebuero.htm)

