



mit Sonderteil
"10 Gebote"
für energieeffiziente
Bürogebäude

Effiziente Energienutzung in Bürogebäuden

Planungsleitfaden



Zukunft
Bauen
Bayern



Oberste Baubehörde
im Bayerischen Staatsministerium des
Innern

**Klima schützen –
Kosten senken**



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



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



Effiziente Energienutzung in Bürogebäuden

Planungsleitfaden

Impressum

Effiziente Energienutzung in Bürogebäuden Planungsleitfaden

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

Herausgeber:

Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160
86179 Augsburg
Tel.: (0821) 9071-0
Fax: (0821) 9071-5556
E-Mail: poststelle@lfu.bayern.de
Internet: 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:

aiorange - büro für gestaltung, Augsburg

Druck:

Pauli Offsetdruck e. K., Am Saaleschloßchen 6, 95145 Oberkotzau
Gedruckt auf Papier aus 100 % Altpapier.

Stand:

2. inhaltlich unveränderte Auflage, Juni 2010

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

Zehn Gebote für die Planung energieeffizienter Bürogebäude	6-7
1. Anforderungen und Kennzeichen zukunftsfähiger Büro- und Verwaltungsgebäude	8-12
- 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
2. Heizen	13-21
- 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
3. Lüften	22-29
- 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
4. Kühlen	30-39
- 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
5. Beleuchten	40-47
- 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
6. Zukunftsfähige Energieversorgung	48-51
- Brennwertechnik	48
- Heizen mit Biomasse	48
- Erdwärme-/Grundwasserwärmenutzung mit Wärmepumpe	48
- Solarenergie	50
- Kraft-Wärme-Kopplung	51
7. Monitoring	52-53
8. Besonderheiten der Sanierung	54-57
9. Beispielgebäude	59-64

Vorwort

Der Schutz des Klimas ist eine der größten Herausforderungen für die Menschheit im 21. Jahrhundert. Experten sind sich einig, dass die Erderwärmung auf maximal 2° C begrenzt werden muss, um die Auswirkungen des Klimawandels gerade noch beherrschbar zu halten. Wenn der CO₂-Ausstoß nicht reduziert wird, könnte die globale Durchschnittstemperatur bis zum Ende des 21. Jahrhunderts um bis zu 6° C steigen. Um die CO₂-Emissionen zu vermindern, ist der intelligente Umgang mit Energie ohne Alternative. Er ist auch unabdingbar für die ökonomische und ökologische Wertschöpfung der Zukunft. Die Auswirkungen des Klimawandels wären viel teurer als konsequente Gegenmaßnahmen.

Bayern steht für eine intelligente Klima- und Energiepolitik. Die Bayerische Staatsregierung hat mit dem „Klimaprogramm Bayern 2020“ ein klares Signal für Klimaverantwortung gesetzt und dabei der Energieeffizienz einen hohen Stellenwert eingeräumt. 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 und in besonderem Maß vernetztes Handeln verlangt. Wirtschaft, Staat und Kommunen sind ebenso gefordert wie jeder einzelne Bürger. Besonders wichtig ist es, ein Bewusstsein für das Thema Klimaschutz zu schaffen sowie Handlungsmöglichkeiten aufzuzeigen.

Eine erfolgreiche Klima- und Energiepolitik muss dort ansetzen, wo die großen Einsparpotenziale liegen und diese besonders wirtschaftlich und nachhaltig erschlossen werden können. Besondere Bedeutung hat der Bereich der Gebäude, sowohl Wohn- als auch Gewerbegebäude. 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 und Gesundheit 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 und energieeffizient hergestellt und betrieben werden können. Der vorliegende gemeinsame Planungsleitfaden fasst diese und die aus dem bundesweiten Forschungsprojekt zu Energieoptimiertem Bauen (EnOB) gewonnenen Erfahrungen zusammen. Er zeigt die Anforderungen auf, die an zukunftsfähige Gebäude zu stellen sind.



Dr. Markus Söder, MdL
Staatsminister
für Umwelt und Gesundheit



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 m² 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/(m²a) 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/(m²a) sollte nicht überschritten werden. Der Passivhaus-Standard mit ≤ 15 kWh/(m²a) 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/(m²K), 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/-sammlung – 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 (≥ 75 %) und hocheffiziente Ventilatoren (0,15 W/(m³/h) bei Abluftanlagen, 0,4 W/(m³/h) bei Zu-/Abluftanlagen). Ein weiteres wesentliches Qualitätsmerkmal ist die Luftdichtheit der Gebäudehülle ($n_{50} \leq 1$ h⁻¹ bzw. 0,6 h⁻¹ 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 angekoppelt sind. Am wirksamsten sind freiliegende Betondecken.

7. Nutzung von Tageslicht mit angepasstem architektonischem Entwurf

Eine hohe Tageslichtverfügbarkeit in Büroräumen wird über einen möglichst sturzfreien 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 (≥ 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.

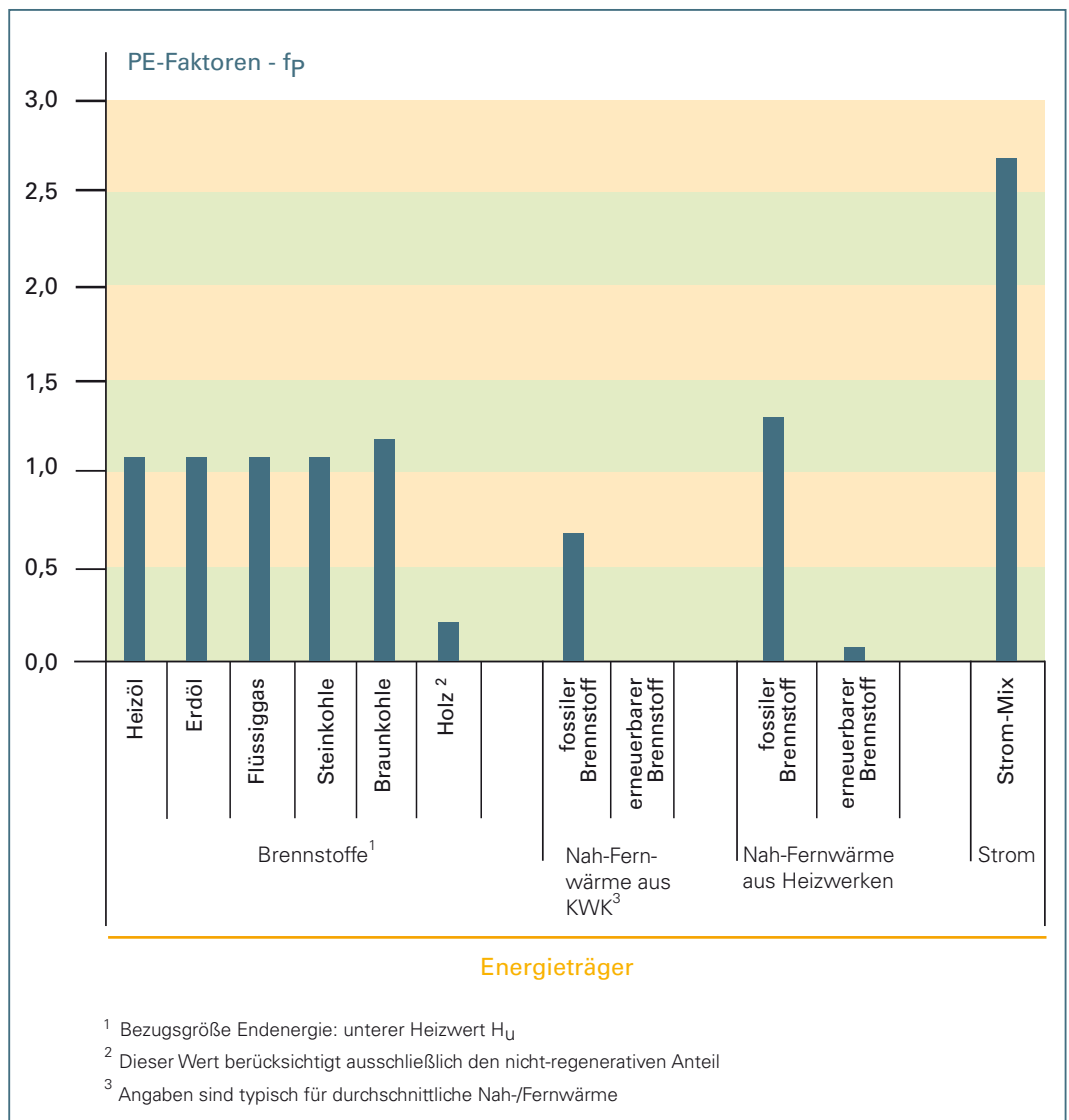


Abb. 01_01:
 Primärenergiefaktoren für verschiedene Energieträger. Der Primärenergiefaktor gibt das Verhältnis von einzusetzender Primärenergie zu nutzbarer Endenergie wieder.
 [Quelle: DIN V 4701-10]

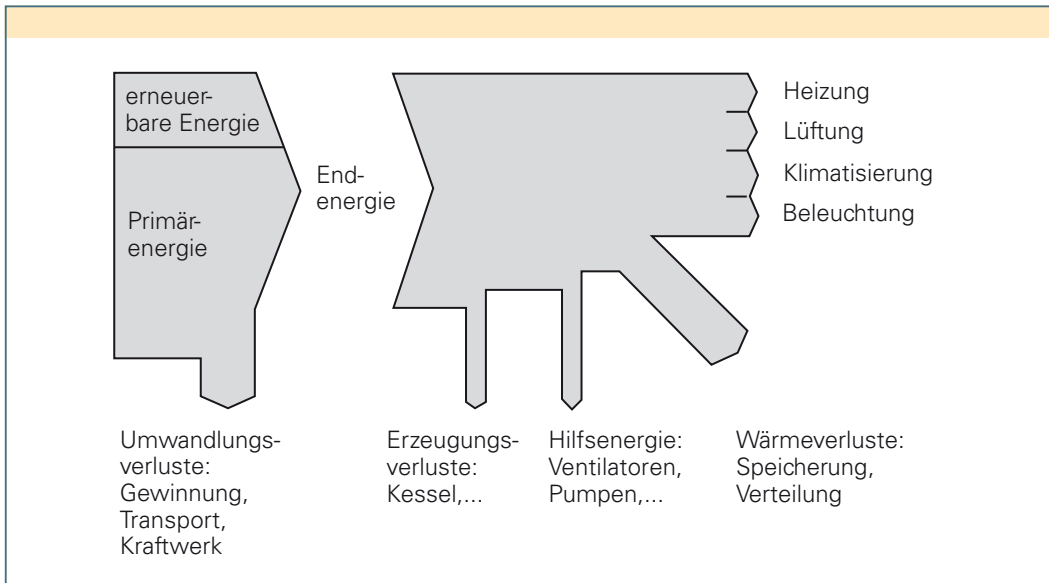


Abb. 01_02:
Bilanzraum für die Bilanzierung von Energieströmen in Nichtwohngebäuden nach der neuen EU-Gebäude-richtlinie bzw. EnEV 2007.
[Quelle: nach EnBau: MONITOR]

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, raumluftechnischen 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.

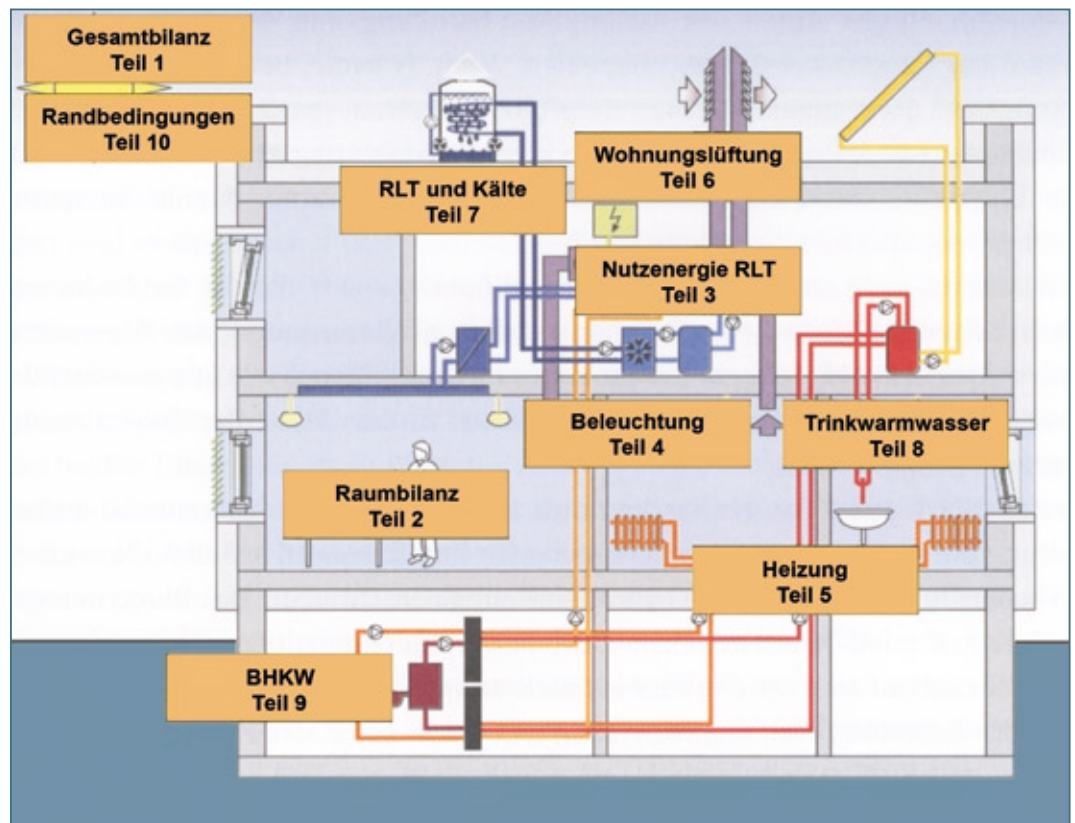


Abb. 01_03:
Darstellung der einzelnen Bereiche der DIN V 18599, nach denen sich auch die Berechnung des Gesamtprimärenergiebedarfs von Nichtwohngebäuden gliedert.
[Quelle: nach Fraunhofer IRB]

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/(m²a) 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/(m²a) herangezogen werden.

Forschungsförderprogramm „Energie optimiertes Bauen“ des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie: www.enob-info.de

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

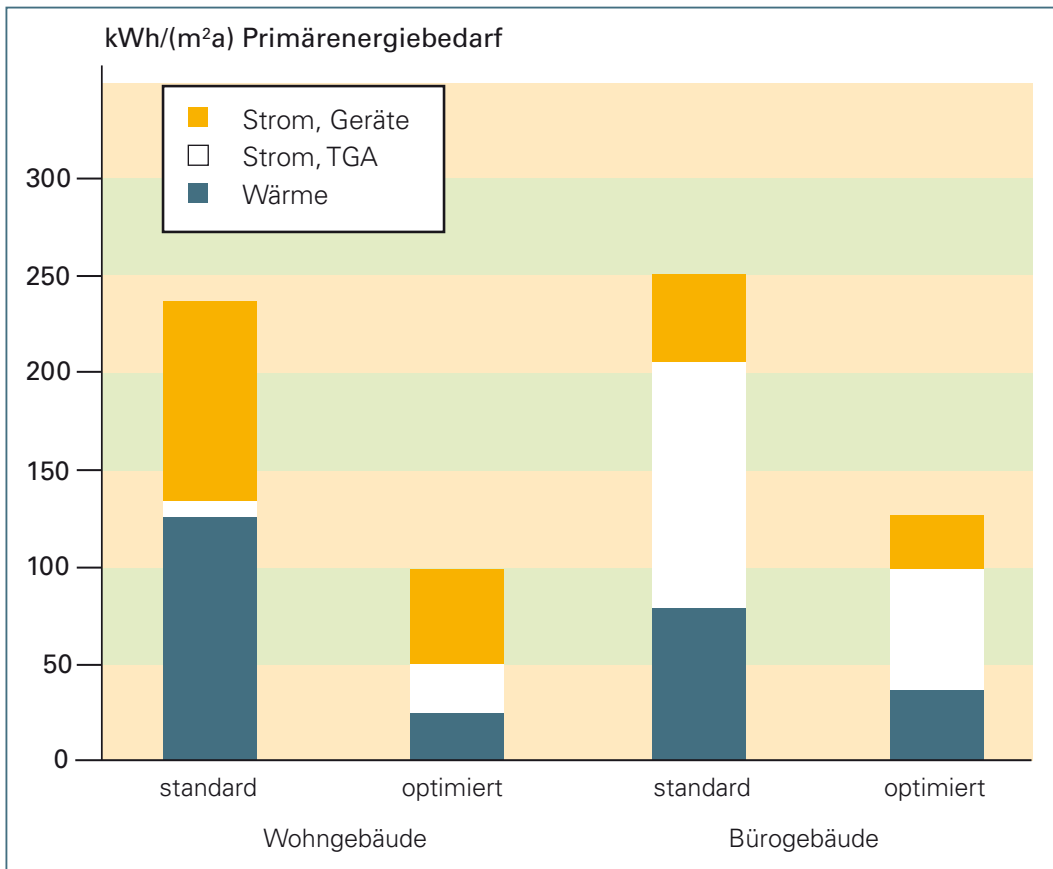


Abb. 1_04:
Optimierungspotenzial für Primärenergiekennwerte von Wohn- und Bürogebäuden. Die primärenergiebezogene Bewertung (vgl. Abb01_01) zeigt, dass bei der Planung von Bürogebäuden dem Stromverbrauch für die Gebäudetechnik (Lüftung, Klimatisierung, Beleuchtung) eine hohe Bedeutung beigemessen werden 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.

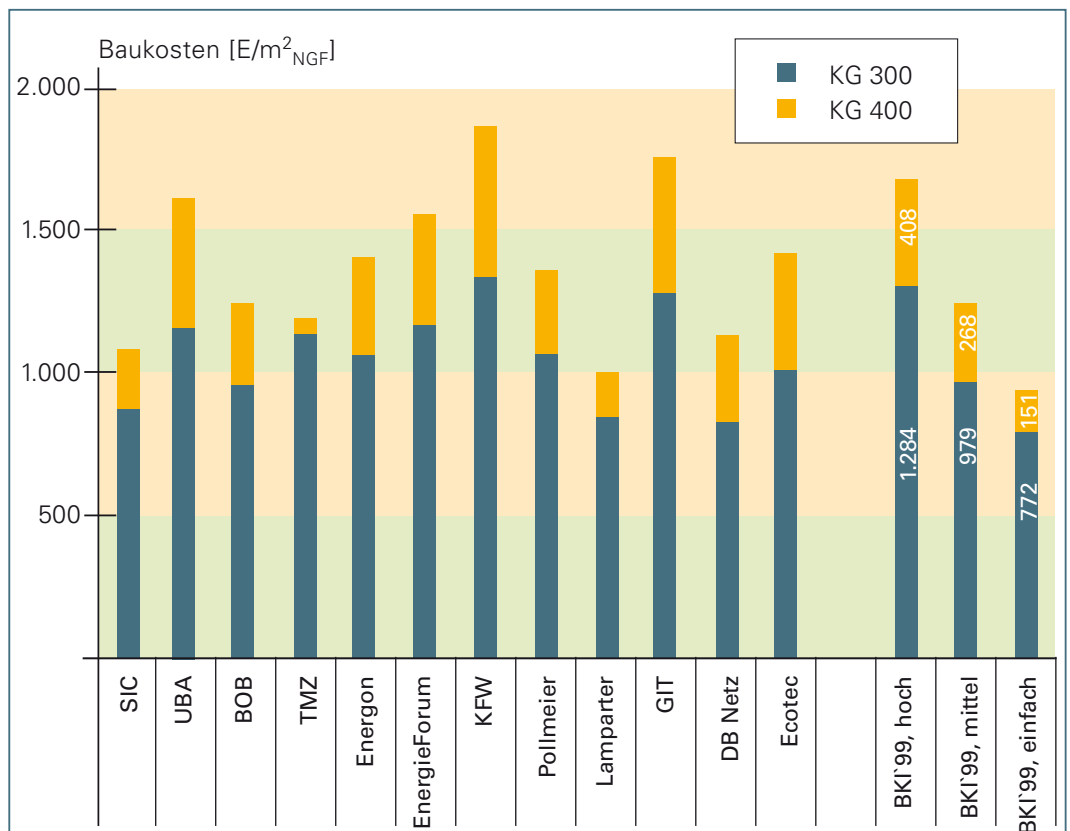


Abb. 01_05:
Baukosten der im Förderprogramm EnOB-EnBau errichteten Gebäude, aufgeteilt nach den Kostengruppen 300 und 400. Der Vergleich mit dem Baukostenindex 1999 zeigt, dass energieeffiziente Gebäude nicht teurer als konventionelle Gebäude sein müssen. [Quelle: nach EnBau: MONITOR]

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 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 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 Geschosshöhe 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.

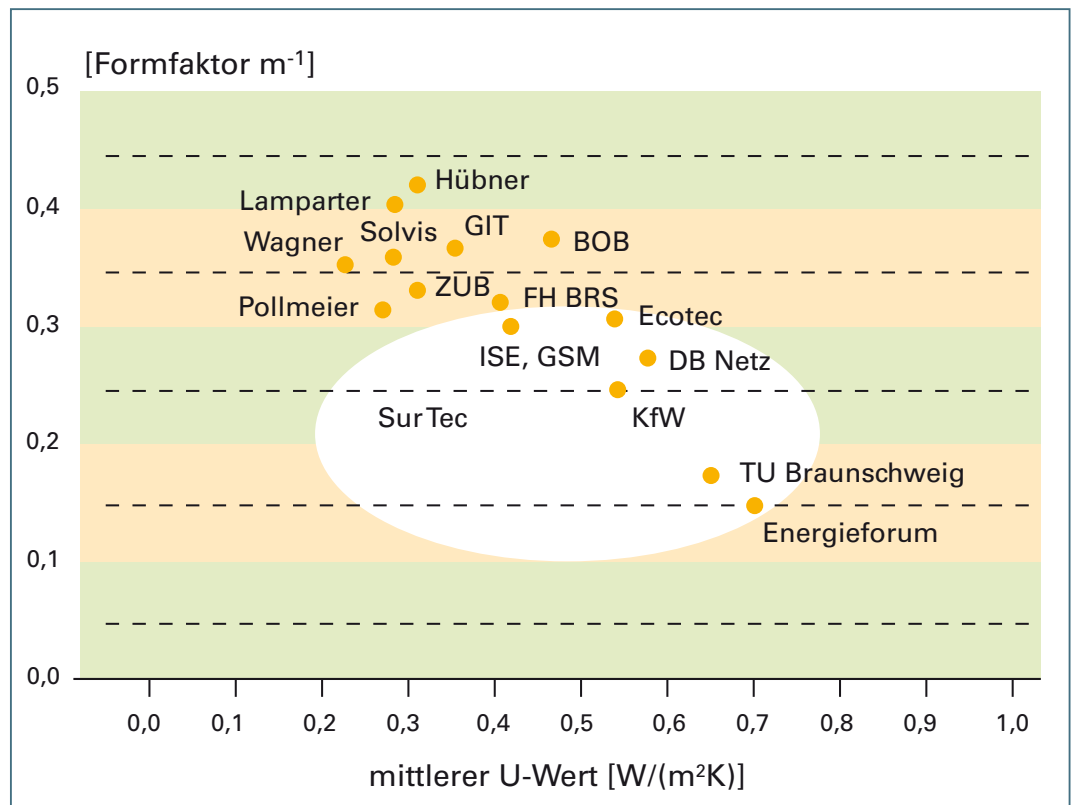


Abb. 02_01:
Formfaktor und mittlerer U-Wert von Gebäuden mit sehr niedrigem Energiebedarf aus dem Förderprogramm des BMWi EnBau: MONITOR. Gekennzeichnet sind die Gebäude mit Atrien, die eine besonders gute Kompaktheit erreichen.
[Quelle: nach EnBau: MONITOR]

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]

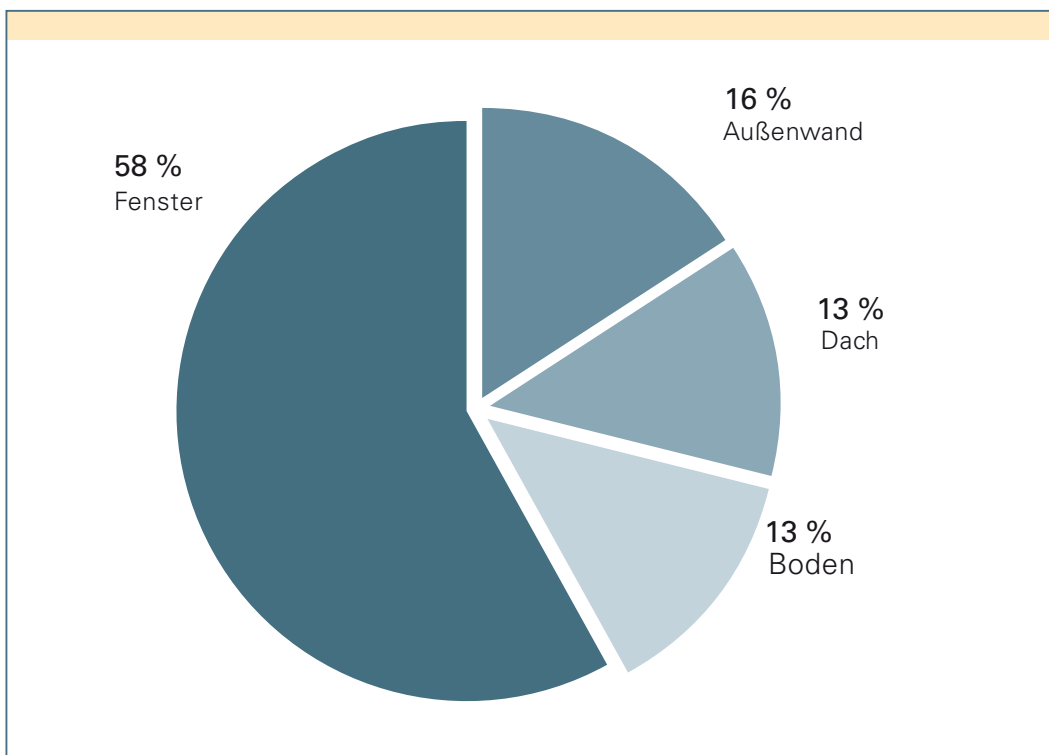


Abb. 02_03:
Transmissionswärmeverluste energieeffizienter Bürogebäude aus dem Programm EnBau:MONITOR. Trotz des Einsatzes sehr gut gedämmter Fenster ist deren Anteil an den Wärmeverlusten prozentual am höchsten. [Quelle: nach EnBau:MONITOR]

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

Bauteil	Richtwert NEH [W/(m ² K)]	Richtwert PH [W/(m ² 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“

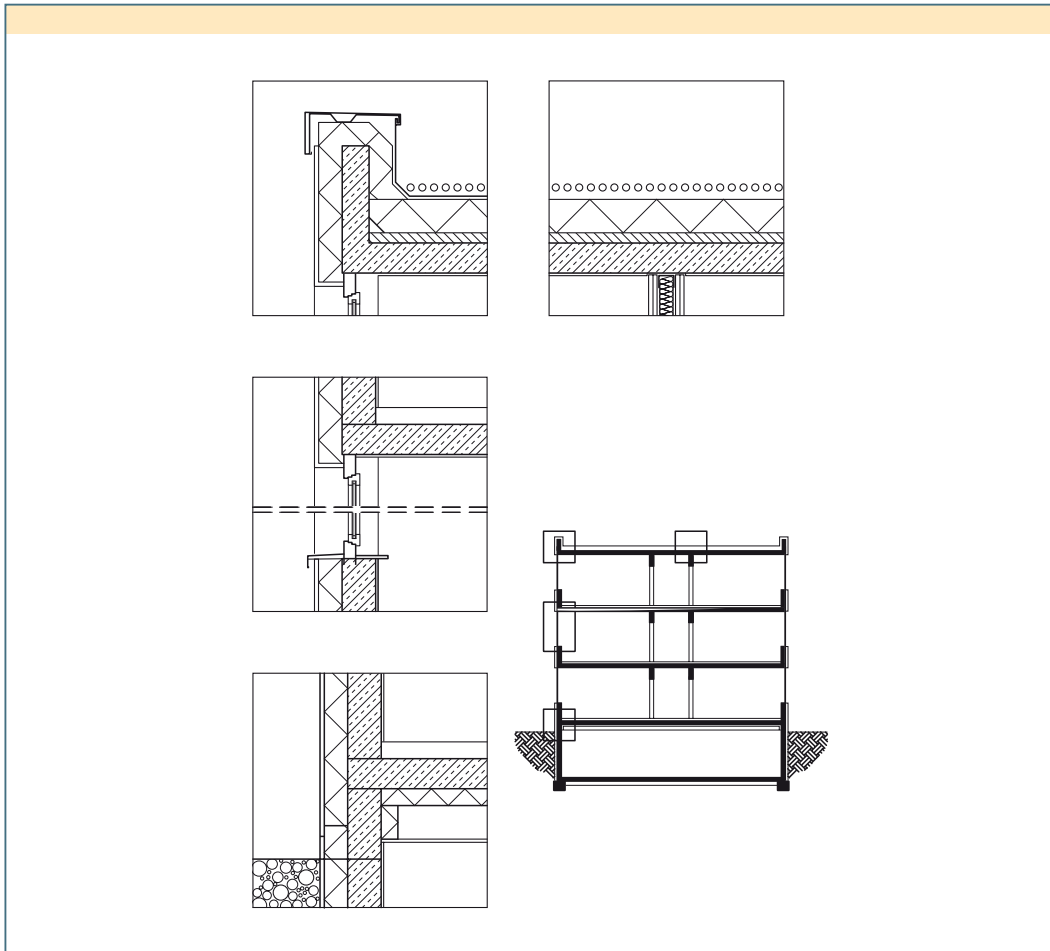


Abb. 02_04:
 Typische an einem Gebäude
 auftretende Wärmebrücken.
 Diese Detailpunkte sind
 stets mit besonderer Sorg-
 falt auszuführen.
 [Quelle: fbta, Uni Karlsruhe]

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 Dämnhülle zu erfüllen.

Dämnhülle 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.

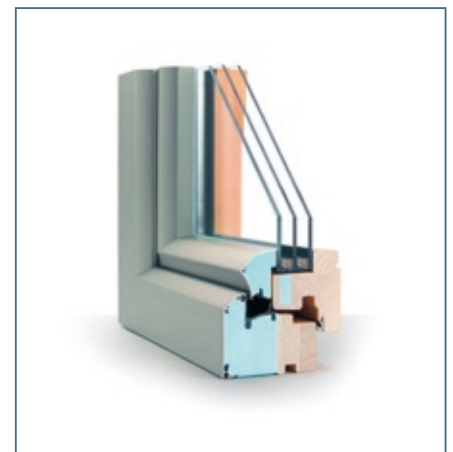
Mittlere interne Wärmelast in

- Wohngebäuden: 2,2 bis 3,4 W/m²
 - Bürogebäuden: 4,0 bis 7,8 W/m²
- [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 Wärmeschutzverglasung mit Passivhaus-Zertifizierung
[Quelle: Firma Interpane, Lauenförde] und ein zertifiziertes 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)

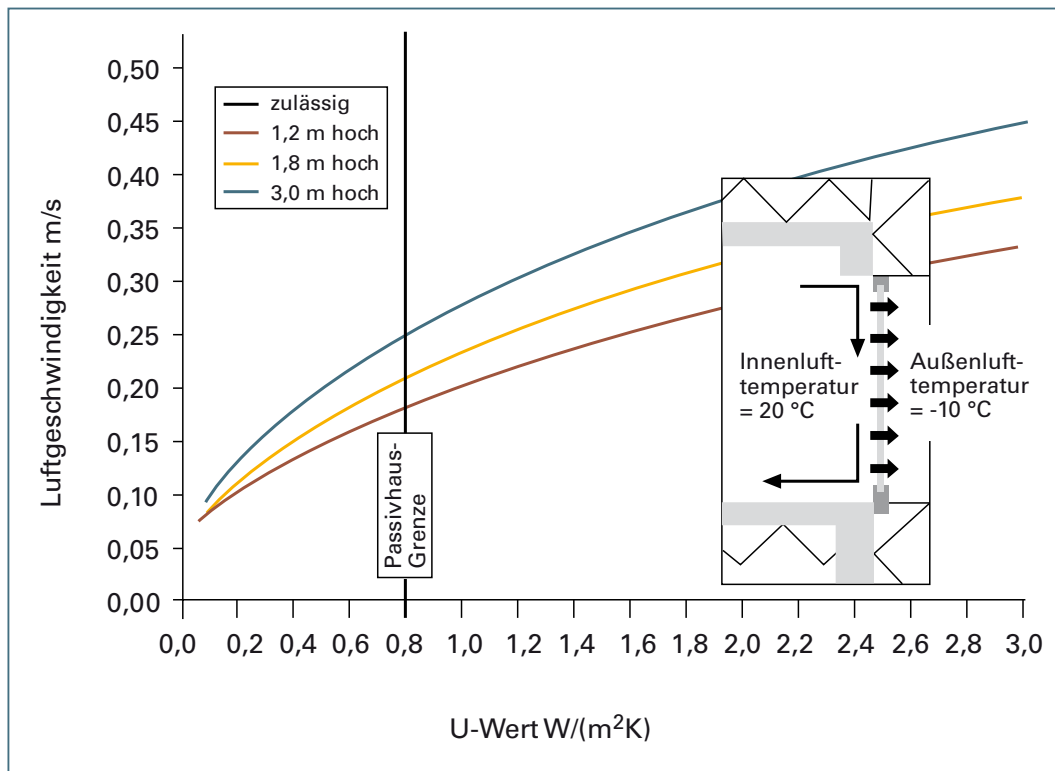


Abb. 02_06:
Mittlere Geschwindigkeit
des am Fenster abfallenden
Kaltluftstroms in Abhän-
gigkeit des U-Wertes.
Luftgeschwindigkeiten von
mehr als 2 m/s erhöhen das
Zugluftrisiko.
[Quelle: W. Feist, Passiv-
haus-Institut]

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 ² Kühlung unüblich Preiswertes System, einfache Regelung
Gebläsekonvektoren	bis 70/50 °C	Heizbedarf > 100W/m ² Kühlung > 50 W/m ² Problematisch: erhebliche Zugerscheinungen bei hohem Kühlbedarf, hoher Strombedarf durch Gebläse
Fußbodenheizung	bis 50/45 °C	Heizbedarf < 50 W/m ² Kühlung < 25 W/m ² Bei hoher Heizleistung eingeschränkter Komfort.
Deckenheizung	bis 40/35 °C	Heizbedarf < 50 W/m ² Kühlung < 80 W/m ² Durch niedrige Systemtempera- turen geringe Wärmeverluste bei hoher Behaglichkeit
Betonkernaktivierung	30/28 °C	Heizbedarf < 40 W/m ² Kühlung < 40 W/m ² Durch niedrige Systemtem- peraturen geringe Wärmever- luste bei hoher Behaglichkeit, Einzelraumregelung stark eingeschränkt
Lüftungsanlage	bis 70/50 °C	Heizbedarf < 30 W/m ² Kühlung < 20 W/m ² Bei ohnehin erforderlichem Lüftungssystem geringe Mehrkosten von ca. 5 €/m ²
Umluftheizsysteme	bis 70/50 °C	Heizbedarf < 100 W/m ² Kühlung < 100 W/m ² 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 CO₂-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 m³/(Pers.h) im Winter und 40 m³/(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 m³/(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 Innenausb Baumaterialien 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 m² für Nichtwohngebäude bei Standardbelegungsichte 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 ² pro Person	l/sm ² für Belegung bzw. Nutzung	q _B l/sm ² für umweltfreundliche Gebäude	q _A l/sm ² für nicht umweltfreundliche Gebäude	q _{tot} l/sm ² für umweltfreundliche Gebäude	q _{tot} l/sm ² für nicht umweltfreundliche Gebäude	Zugabe, falls Rauchen gestattet ist l/sm ²
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 raumluftechnischen 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]

- ▶ 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 raumlufttechnischen 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).

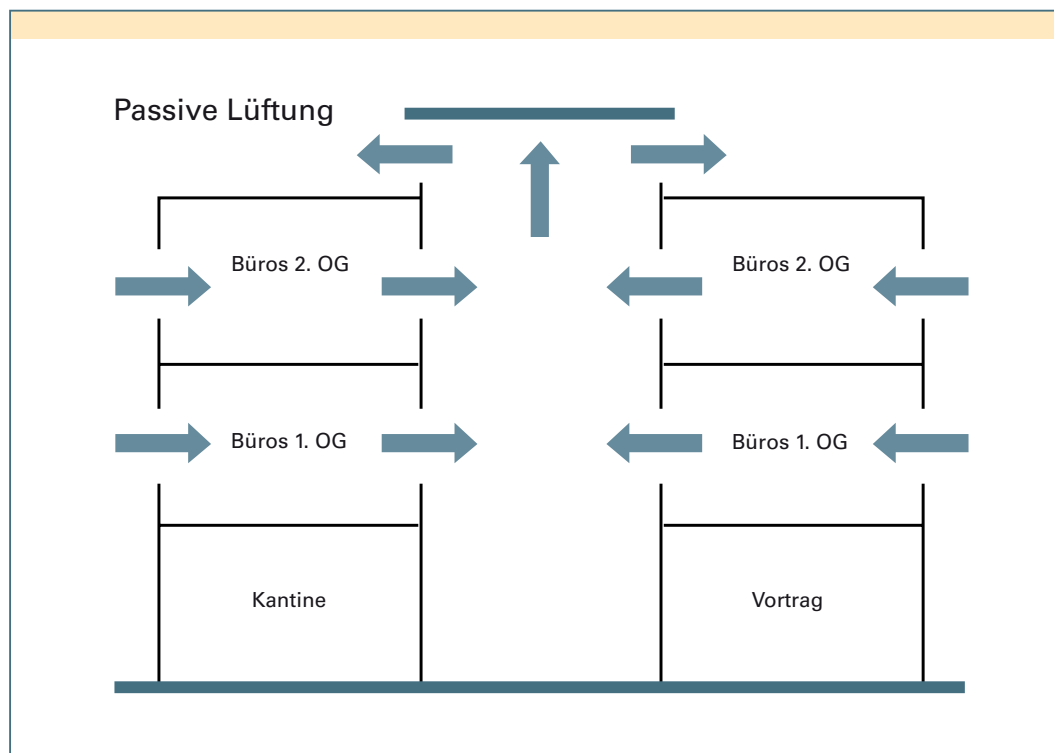


Abb. 03_02:
Schema der freien Lüftung
im Hauptgebäude des
Fraunhofer ISE (Freiburg)
über ein Atrium. Grundsätz-
lich kann auch ein Treppen-
haus oder ein anderer Luft-
raum für den notwendigen
Luftauftrieb sorgen. Die
Luftauslassöffnungen müs-
sen ca. eine Geschosshöhe
oberhalb des obersten zu
belüftenden 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 Raumluftzustands 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.

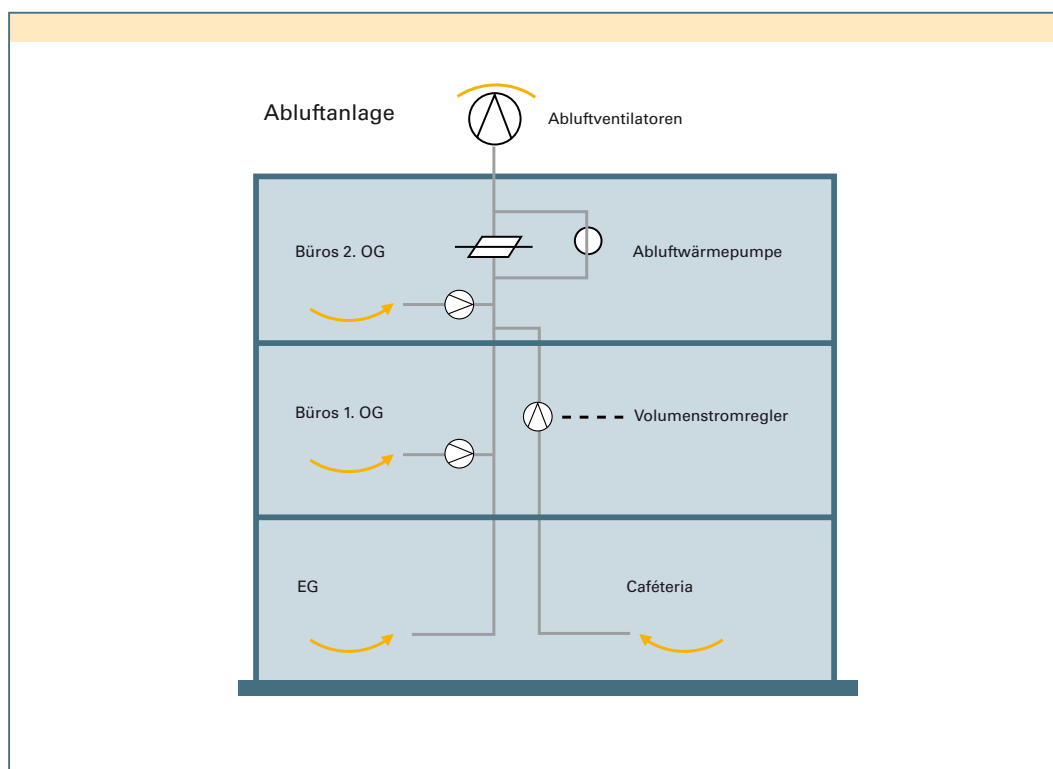


Abb. 03_03:
Schema einer Abluftanlage mit indirekter Wärmerückgewinnung durch eine Wärmepumpe im Gebäude Pollmeier. Die Wärme wird dem Pufferspeicher des Heizsystems zugeführt.
[Quelle: nach EnBau: MONITOR]

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 Walthert 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
Walthert]



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 W/(m³/h) bei Abluftanlagen betragen, bei Zu- und Abluftanlagen 0,4 W/(m³/h).

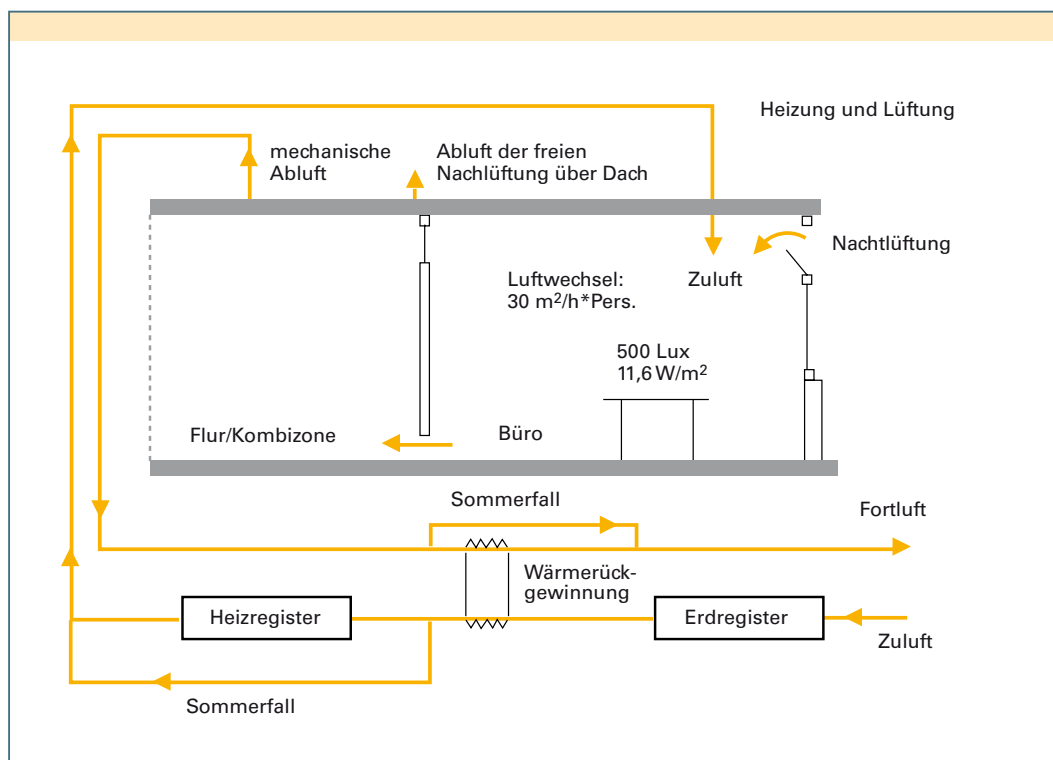


Abb. 03_05:
 Schema der Zu-/Abluftanlage
 mit Wärmerückgewinnung
 im Bürogebäude Lamparter
 in Weilheim (Projektsteck-
 brief: siehe Kapitel 9). Im
 Sommer wird die Lüftungs-
 anlage nur an sehr heißen
 Tagen in Betrieb genommen
 – sie dient dann zur Vorküh-
 lung der Zuluft im Erdreich-
 wärmetauscher.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

Regelung

Mechanische Lüftungsanlagen in Bürogebäuden können nach dem 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 Ablufthubler)
- 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 raumlufttechnische 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 raumlufttechnischen 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.

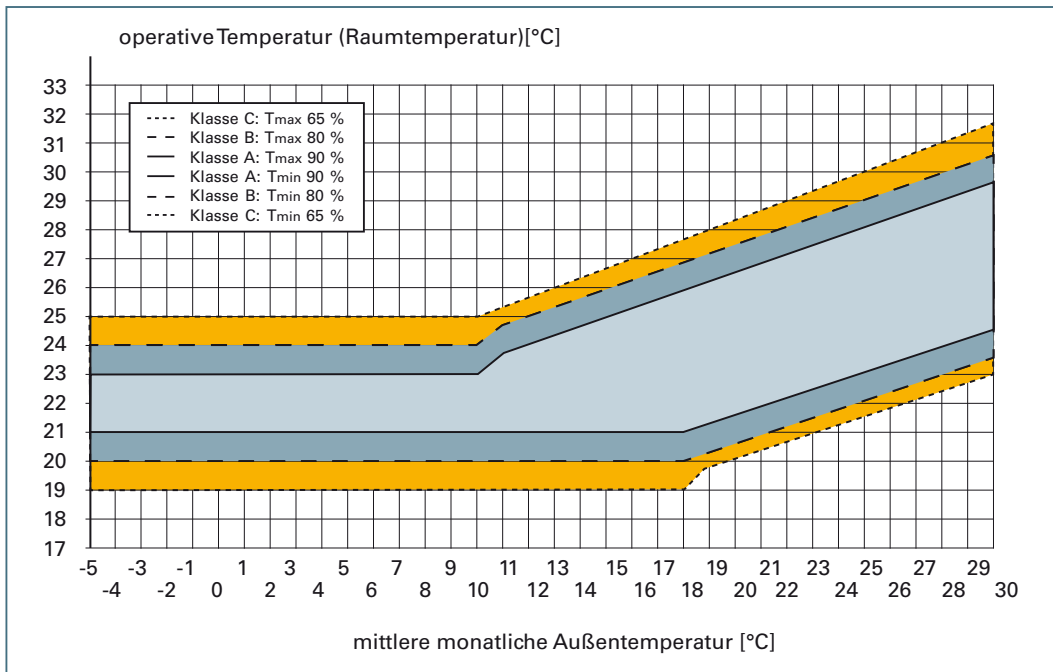


Abb. 04_01:
Empfohlene Innentemperaturen für den Entwurf von natürlich gelüfteten und passiv gekühlten Gebäuden nach prEN 15251. Die Kategorien A, B, C definieren den Anforderungsgrad an das Gebäude bzw. den thermischen Komfort (Kategorie A: höchste Anforderungen, Kategorie C: niedrigste Anforderung)

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 eingestrahlte 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.

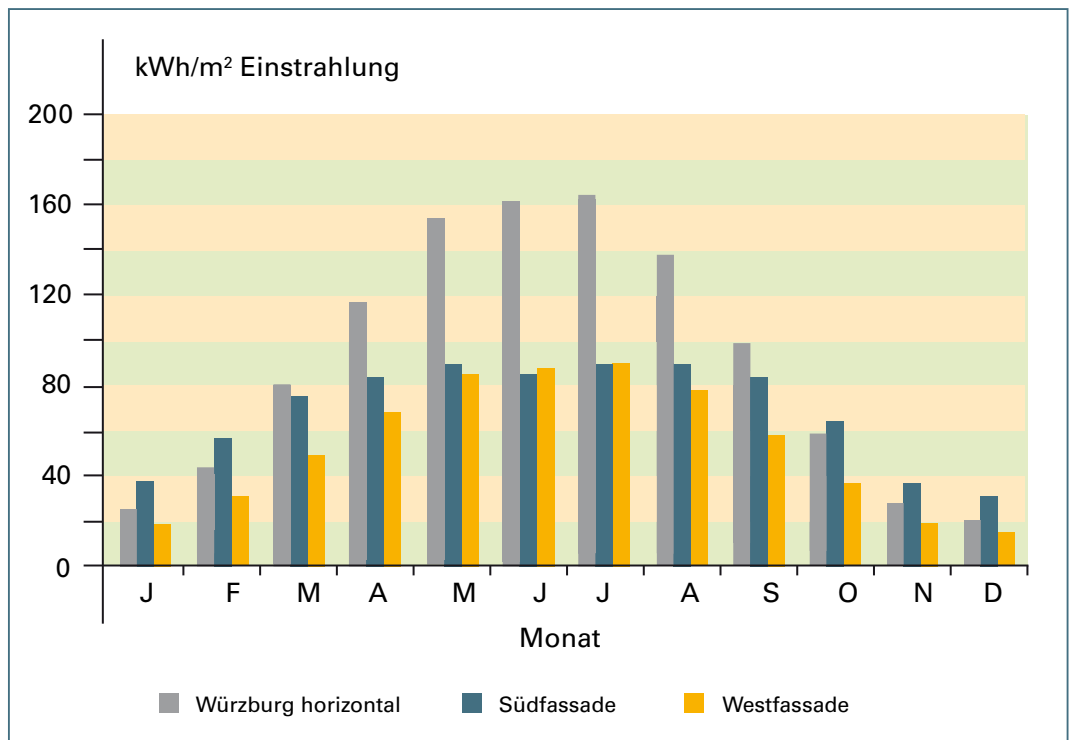


Abb. 04_02:
 Monatliche Einstrahlungssummen auf vertikale und horizontale Flächen für den Standort Würzburg.
 [Quelle: EnBau:MONITOR]

Datenquellen für Klimadaten:

- ▶ TRY – Testreferenzjahre für Deutschland und extreme Klimaverhältnisse, Deutscher Wetterdienst, Offenbach 2004 – www.dwd.de/TRY
- ▶ MeteoNorm – Bezug: MeteoTest, CH-Bern – www.meteotest.ch
- ▶ Müller, J.; Hennings, D.: Global Climate Data Atlas – Bezug: 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, www.energystar.at, www.energieeffizienz-im-service.de, 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.

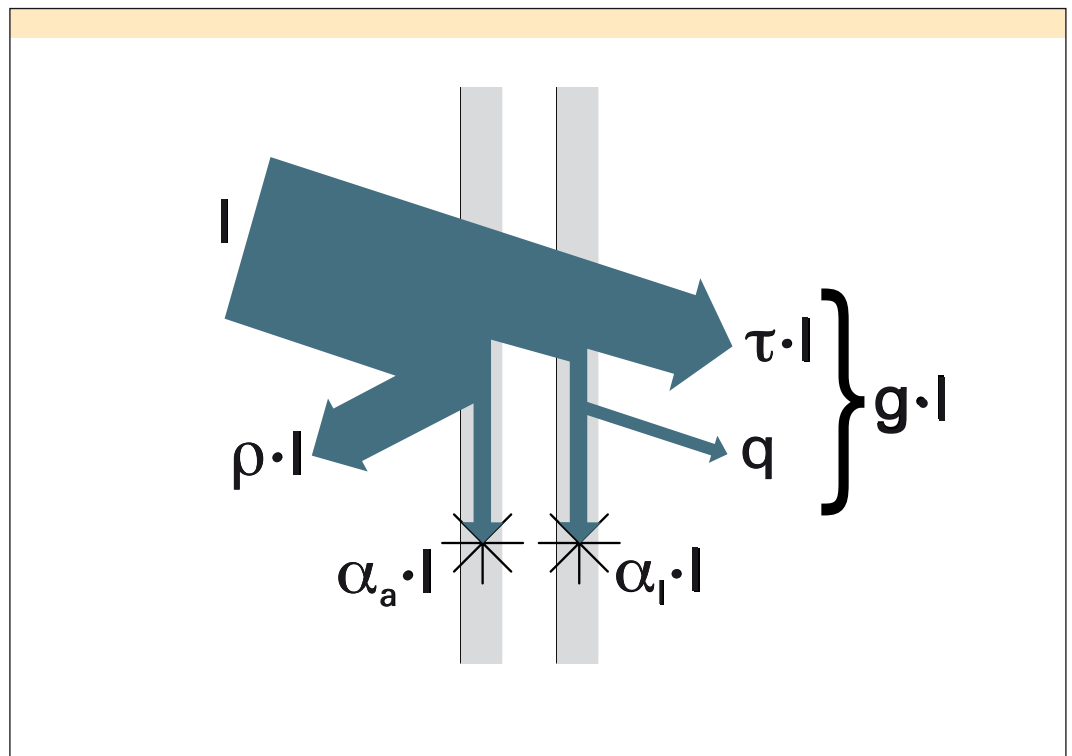


Abb. 04_03:
Quantifizierung der optischen Qualität von Verglasungen durch den Gesamenergiedurchlassgrad.
[Quelle: nach EnBau: MONITOR]

Verglasungen für Bürogebäude sollten niedrige Ug-Werte ($\leq 0,8$ (W/m²K)) kombiniert mit niedrigen g-Werten = Gesamte-nergiedurchlass ($\leq 0,4$) aber gleichzeitig hohen Lichttransmissionswerten (J 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 Auskragung 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 SollwertEinstellung 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 m² Grundfläche, 6 m² 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 ² Verglasung x 6 m ² Verglasung		2400 Wh

Summe 4800 Wh

Das ergibt bezogen auf die Fläche eine Wärmemenge von 200 Wh/m² 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.

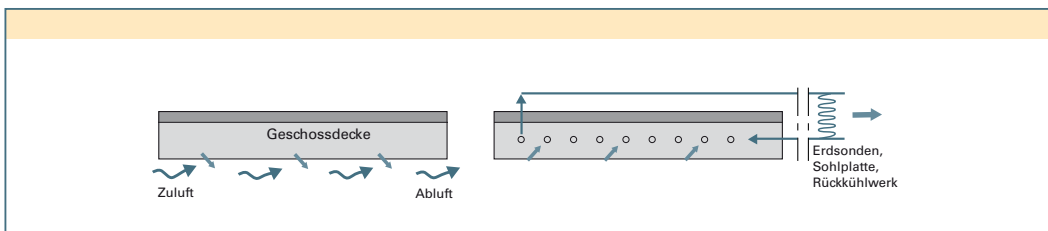


Abb. 04_05:
Entladung der Speichermassen durch Nachtlüftung oder Betonkernaktivierung.
[Quelle: EnBau:MONITOR]

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^{-1} , besser 4 h^{-1} 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!

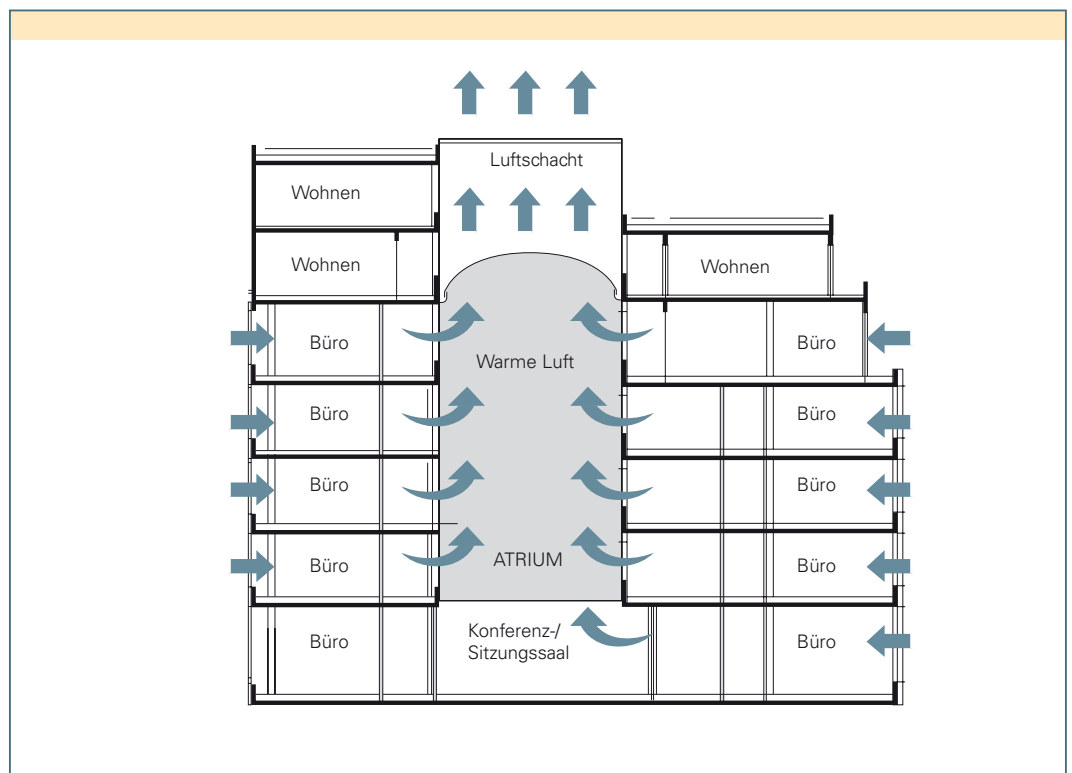


Abb. 04_06:
 Nachtlüftungskonzept zur passiven Kühlung im Gebäude KfW-Ostarkade in Frankfurt. Das zentrale Atrium mit aufgesetztem Luftschacht sorgt für eine freie Auftriebslüftung. Die Zuluft gelangt über automatisch gesteuerte Oberlichter in die Büroräume.
 [Quelle: ip5 Karlsruhe]

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. $250 \text{ Wh}/(\text{m}^2\text{d})$.

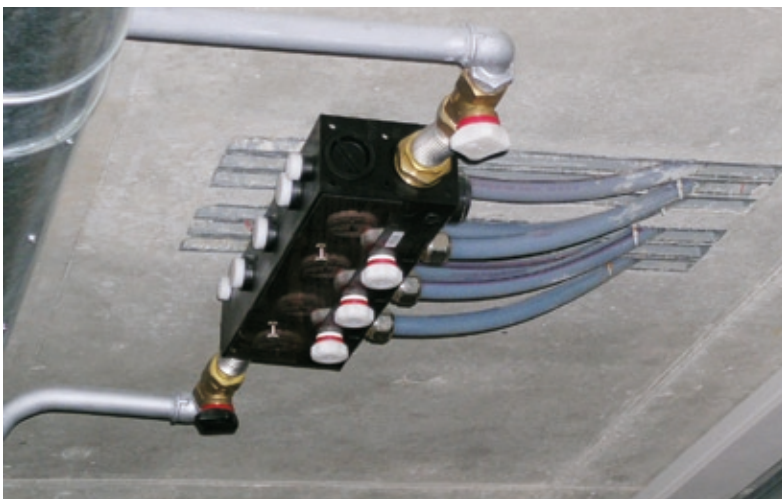


Abb. 04_08:
Verteiler der Betonkernaktivierung des Bürogebäudes BOB in Aachen (Projektsteckbrief siehe Kapitel 9). [Quelle: fbta, Uni Karlsruhe]

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