

# Büro- und Verwaltungsgebäude thermisch optimieren - bei minimalem Energiebedarf <sup>1</sup>

Detlef Hennings,  
Institut Wohnen und Umwelt  
Darmstadt.

## 1. Was bedeutet 'thermisch optimieren' ?

Das thermische Innenklima ist ein zentraler Faktor der Nutzungsqualität eines Gebäudes. Die meiste Zeit des Jahres wünschen wir im Gebäudeinneren einen vom Außenklima abweichenden Zustand. Dieser läßt sich in unzeitgemäßer Weise mit hohem Energieeinsatz herstellen oder indem man das Gebäude auf intelligente Weise konstruiert und dann mit wesentlich geringerem Energieaufwand zum Ziel gelangt.

In jedem Gebäude stellt sich das Innenklima als Gleichgewichtszustand zwischen den Wärmeverlusten (durch Transmission, Lüftung und ggf. Kühlung) und den Wärmege-  
winnen (solare und innere Gewinne, zeitweise Heizung) bei der jeweiligen Wetter-  
situation ein.



*Bild 1 Vollverglaste Fassaden sind 'in',  
thermisch sind sie aber eher  
problematisch  
(alle Photos: D. Hennings)*

Die Kunst des thermischen Optimie-  
rens besteht nun darin, das Gebäude  
so zu planen, daß es bei seiner vorge-  
sehenen Nutzung an einer großen  
Zahl von Tagen im Jahr ohne Zutun  
von Heizung oder Kühlung von sich  
aus ein behagliches Innenklima ein-  
stellt. Je weiter dies gelingt, umso ge-  
ringer wird der Energieaufwand für  
Heizen und Kühlen.

In den letzten Jahren hat es zahlreiche  
Versuche gegeben, dieses Ziel mit  
filigranen, weitgehend transparenten  
Konstruktionen zu erreichen, deren  
Außenhülle sich abhängig vom Wetter  
und vom Innenzustand selbsttätig  
verändern und so die Gewinne und  
Verluste nach Bedarf steuern soll.  
Diese Methode erfordert eine detail-  
lierte Vorhersage des Gebäudever-  
haltens, eine präzise Dimensionierung  
der Gebäudetechnik und eine fehler-  
freie Funktion einer komplexen  
Steuerungs- und Regelungstechnik.  
Abweichungen von vorherberechneten  
Planwerten oder Betriebsstörungen  
quittiert ein solches Gebäude meist  
mit extremen Innenklima-Zuständen  
oder einem hohen Energieverbrauch  
oder gar mit beidem. Diese Schwierig-  
keiten können an gebauten Versuchen  
studiert werden (vgl. z. B. [4]).

<sup>1</sup> Dies ist eine aktualisierte und ergänzte Fassung des Artikels der erstmals in Heft 3 / 1998 der 'Deutschen Bauzeitung' (db) veröffentlicht wurde.



**Bild 2** *Lochfassaden erleichtern es, Bürogebäude thermisch und energetisch zu optimieren.*

Der andere, hier beschriebene Weg der thermischen Optimierung beruht darauf, das Gebäude selbst relativ unempfindlich gegenüber den Einflüssen des Außenklimas zu gestalten. Dies wird erreicht, indem man die winterlichen Wärmeverluste minimiert und die sommerlichen Wärmegewinne auf ein sinnvolles, der Nutzung angemessenes Maß begrenzt. Darüber hinaus wird thermische Speichermasse eingesetzt, um Schwankungen des Wetters (Sonnenstrahlung) oder der nutzungsbedingten Wärme (Personen, elektrische Geräte) auszugleichen. Ein solches Gebäude reagiert gutmütig auf Schwankungen aller Art und neigt weder zu extremer Überhitzung noch zu schnellem Auskühlen. Störungen der Gebäudetechnik haben deshalb in der Regel auch nicht die sofortige Unbenutzbarkeit zur Folge.

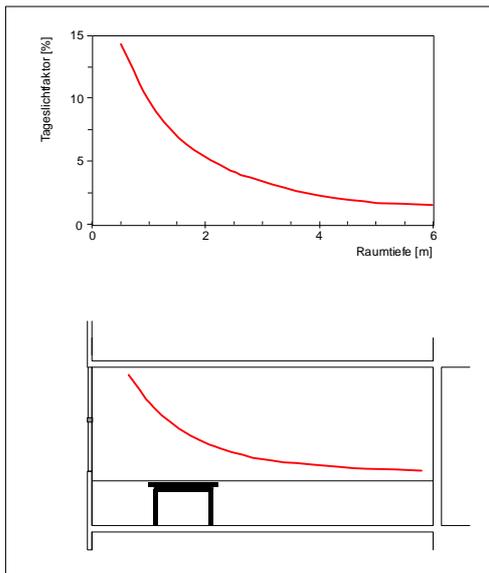
## 2. Mit dem Tageslicht beginnen

Bei Tageslicht zu arbeiten ist angenehmer als bei Kunstlicht; dies allein ist Grund genug, Arbeitsplätze nach dem Tageslicht orientiert anzuordnen. Darüber hinaus ist die Nutzung des Tageslichts eng verknüpft mit den thermischen und energetischen Gebäude-Eigenschaften, denn das Licht - Sonnenstrahlung - ist zugleich eine

Wärmequelle. Es ist also überhaupt nicht möglich, die Tageslictheigenschaften eines Gebäudes zu planen ohne das thermische Verhalten zu beeinflussen. Deshalb ist es von Vorteil, die thermische Optimierung mit dem Tageslicht zu beginnen.

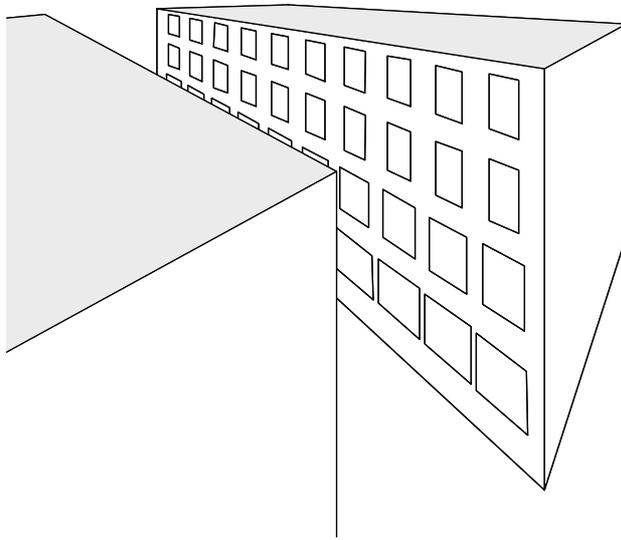
Für eine weitgehende Nutzung des Tageslichtes ist die Situation mit bedecktem Himmel entscheidend, denn diese ist gerade in der dunkleren Jahreszeit besonders häufig. In Bild 3 ist zu erkennen, wie bei bedecktem Himmel der Tageslichtfaktor auf der Arbeitsebene - als Maß für die Helligkeit des Tageslichtes - mit der Entfernung vom Fenster abnimmt.

Es ist offensichtlich, wie vorteilhaft es ist, die Arbeitsplätze in unmittelbarer Fensternähe anzuordnen. Dieses Ziel hat auch Konsequenzen für die Geometrie des Gebäudes. Wenn ein großer Teil der Arbeitsplätze Tageslicht erhalten soll, ist eine große Raumtiefe in der Regel nicht sinnvoll.



**Bild 3** *Abnahme des Tageslichtes mit der Raumtiefe*

Als wichtiger Anhaltspunkt für die Nutzung des Tageslichtes kann die Größe des Himmelsausschnitts gelten, der von der Arbeitsfläche aus sichtbar ist. Dieser wird insbesondere vergrößert, wenn die Fenster sturzfrei bis unter die Decke reichen. Die Höhe der Fenster ist wirkungsvoller für die Tageslichtversorgung als deren Breite (aus dem gleichen Grund ist auch ein Überstand über den Fenstern als Sonnenschutz nicht zu empfehlen). Fensterflächen unterhalb der Arbeitsebene tragen zum Licht im Innenraum nicht nennenswert bei.

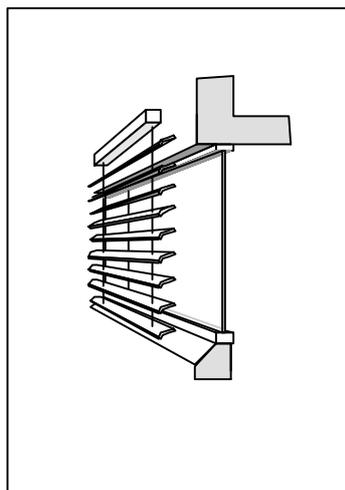


**Bild 4:** Ein teilweiser Ausgleich des geringeren Tageslicht-Einfalls in den unteren Stockwerken durch größere Fenster (schematisch dargestellt).

Große Fensterflächen können infolge ihrer Solarkollektoreigenschaft an sonnigen Tagen in den Sommermonaten oder sogar in der Übergangszeit schwer zu bewältigende Wärmegewinne einbringen. Um die Abhängigkeit von technischen Einrichtungen wie beweglichem Sonnenschutz oder technischer Kühlung gering zu halten bzw. zu vermeiden, ist es vorteilhaft die Fenster in ihrer Größe und Anordnung vorwiegend nach dem Tageslicht zu bemessen - insbesondere nicht wesentlich größer als notwendig.

Erheblichen Einfluß auf den sichtbaren Himmelsausschnitt und somit auf die Tageslichtversorgung hat oft die den Fenstern gegenüberliegende Bebauung. Die zu den unteren Etagen hin größere Abschattung des Himmelslichtes kann teilweise durch nach unten zunehmende Fensterflächen kompensiert werden, wie in Bild 4 skizziert ist.

### 3. Wirksamer sommerlicher Wärmeschutz



**Bild 5:** Eine wirksame Sonnenschutz-Einrichtung: außen, beweglich, hinterlüftet

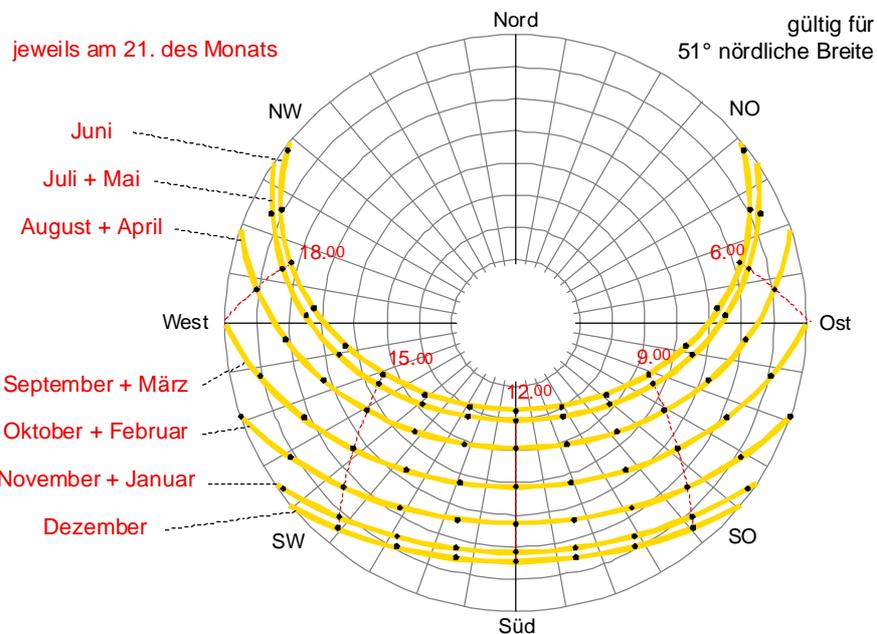
Ziel des sommerlichen Wärmeschutzes ist es, nach Möglichkeit ohne technische Klimatisierung das Innenklima an warmen und sonnigen Tagen im behaglichen Bereich zu halten.

Dies geschieht in erster Linie indem Wärmequellen reduziert werden, die eine Erwärmung über die Außentemperatur hinaus bewirken können. Diese Wärmequellen sind sowohl die eingestrahelte Sonnenenergie als auch innere Quellen wie die Menschen und elektrische Geräte.

Aus dem in Bild 6 dargestellten Sonnenstandsdiagramm läßt sich ablesen, daß in den Sommermonaten an allen Fassaden, die nicht nach Norden gerichtet sind, mit starker Sonneneinstrahlung gerechnet werden muß.

Eine Sonnenschutzeinrichtung soll, um ihren Zweck gut erfüllen zu können, nach Möglichkeit (vgl. Bild 5):

- außen vor dem Fenster angebracht,
- dem jeweiligen Bedarf entsprechend einstellbar
- und mit einer Hinterlüftung zur Wärmeabfuhr versehen sein.



**Bild 6.** Sonnenstandsdiagramm für 51°N (Köln, Erfurt, Dresden). An anderen Orten Deutschlands weichen die Sonnenpositionen maximal um etwa 3° von dem Diagramm ab. Für jeden Monat und jede Tagesstunde (in lokaler Sonnenzeit) ist die Himmelsrichtung und Höhe über Horizont der Sonne ablesbar

#### 4. Der Nutzen des winterlichen Wärmeschutzes

Über den winterlichen Wärmeschutz ist im Zusammenhang mit der Entwicklung des Niedrigenergiehaus-Standards und der ersten Passivhäuser in den letzten Jahren vieles publiziert worden (z.B. [1], [2], [5]), so daß hier auf eine Darstellung weitgehend verzichtet werden kann.

Es soll jedoch erwähnt werden, daß ein guter winterlicher Wärmeschutz nicht nur bei Wohn-, sondern auch bei Bürogebäuden sowohl den Energiebedarf erheblich senkt als auch den thermischen Komfort verbessert. Gelegentlich vernehmbare Befürchtungen, der winterliche Wärmeschutz wirke sich im Sommer negativ auf das Innenklima aus, entbehren dagegen jeder sachlichen Grundlage. Im Gegenteil: Ein richtig geplantes Niedrigenergiehaus weist auch im Sommer ein sehr angenehmes Innenklima auf. Ist das nicht der Fall, dann liegen in der Regel Mängel des sommerlichen Wärmeschutzes vor.

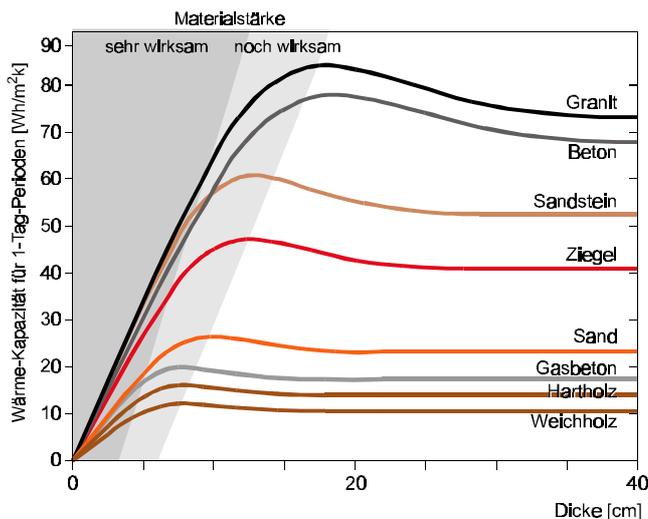
Für die Planung des winterlichen Wärmeschutzes sind in der Checkliste am Ende des Textes einige Orientierungswerte angegeben. Detailliertere Anleitungen sind in der angeführten Literatur zu finden.

## 5. Ausgleich durch thermische Speicher

Thermische Speicherprozesse haben in Bürogebäuden eine größere Bedeutung als in Wohnbauten. Die Büronutzung hat zur Folge, daß alle Wärmequellen im Gebäude - Menschen, elektrische Geräte und Sonneneinstrahlung - synchron am Tage auftreten, und ebenso synchron Nachts entfallen. Die tagsüber wirkenden Wärmequellen können in der warmen Jahreszeit leicht eine Überhitzung des Gebäudeinneren bewirken.

Um dies zu verhindern ist als erstes der schon beschriebene sommerliche Wärmeschutz erforderlich. Dieser kann die Sonneneinstrahlung auf das als Tageslicht benötigte Maß begrenzen. Darüber hinaus können die elektrischen Wärmequellen reduziert werden. Diese beiden Maßnahmen reduzieren in vielen Fällen die Wärmequellen soweit, daß das Innenklima im Sommer passiv, d.h. ohne Klimaanlage, im thermisch behaglichen Bereich gehalten werden kann.

Die Funktion der Speichermasse beruht darauf, am Tage einen Teil der im Innenraum freiwerdenden Wärme einzuspeichern und diese nachts wieder zu entladen. Dies bewirkt einen Ausgleich der Raumtemperatur zwischen Tag und Nacht. Wird zusätzlich in der Nacht mit kühler Außenluft gelüftet, so kann auf diese Weise ein Kühleffekt für die Tagstunden bewirkt werden.



**Bild 7** Die spezifische Wärmekapazität verschiedener Baumaterialien für den Tag-Nacht-Ausgleich, in Abhängigkeit von der Einbaustärke dargestellt. Die Wärmekapazität ist ein Maß für die Wirksamkeit der Wärmespeicherung. Gut erkennbar ist die Eignung schwerer Baustoffe und die optimale Bauteilstärke von etwa 10 cm. (nach Balcomb, vgl. [1])

Voraussetzung für den thermischen Tag-Nacht-Ausgleich ist, daß die thermische Speichermasse im Raum *wirksam* ist. Dazu ist notwendig, daß die als thermische Speicher vorgesehenen Bauteile

- aus geeignetem Material mit hoher Wärmeleitfähigkeit und guter Wärmespeicherfähigkeit bestehen (Beton, schweres Mauerwerk, usw.). Entscheidend für die Wirkung sind die raumseitig obersten 10 cm.
- große Oberflächen zum Innenraum aufweisen (Decke, Fußboden, große Wandflächen).
- die Oberflächen raumseitig offen zugänglich sind (d.h. keine abgehängten Decken, aufgeständerten Böden, usw).

Die Wirkung der thermischen Speichermasse auf das sommerliche Innenklima ist in Bild 10 gezeigt.

## 6. Strom rationell nutzen lohnt sich dreifach

Was bedeutet 'Strom rationell nutzen' ? Es gilt unter Einsatz eines Minimums von elektrischer Energie ein Maximum an Nutzen (an 'Energiedienstleistung') zu erhalten.

Und wie erreicht man dies ? Zunächst - das ist trivial - indem man energetisch effiziente Stromverbraucher auswählt und einsetzt (Beleuchtung, Computer, andere Bürogeräte, Haustechnik, usw., vgl. [8]).

Der zweite, im Planungsverlauf des Gebäudes aber der erste Weg ist es, einen möglichst großen Nutzen bereits ohne Stromverbrauch zu erreichen.



*Bild 8 Die Treppe als einladende Alternative zum Aufzug*

Ein willkürlich ausgewähltes Beispiel dazu:

In vielen Gebäuden ist die Treppe hinter dem Aufzug versteckt und ganz offensichtlich nur für den Brandfall vorgesehen. Der normale Weg von Etage zu Etage geht per Aufzug, die Nutzer kennen zum Teil die Treppe nicht einmal.

Man kann aber auch die Treppe zentral anordnen, vor dem Aufzug. Mancher Nutzer wird dann feststellen, daß der Weg über die Treppe schneller und bequemer sein kann als per Aufzug. Und mancher Schreibtisch-geschädigte Angestellte wird entdecken, daß die Bewegung auch dem eigenen Wohlbefinden dienlich ist. Und ganz nebenbei wird elektrische Energie für den Aufzug nicht verbraucht (= 'eingespart').

Wird dazu der Treppenraum noch über ein Oberlicht mit Tageslicht versorgt, dann steigt die Attraktivität und das elektrische Licht kann einen großen Teil des Tages ausgeschaltet bleiben.

Es gibt zahlreiche derartige Möglichkeiten Strom nicht zu verbrauchen und es ist unmöglich, alle hier aufzuzählen. Sie aufzuspüren und geschickt zu nutzen bleibt der Kreativität des Architekten und seines Energieberaters überlassen. Die am Ende aufgeführte Literatur kann dabei hilfreich sein.

Und nun zum dreifachen Nutzen des nicht verbrauchten Stroms :

Zunächst gibt es (selbstverständlich) einen ökologischen Nutzen. Strom ist eine 'hochwertige' Energieform, die für nahezu jede Anwendung geeignet ist. Strom wird aber auch sehr ineffizient erzeugt. Für nahezu jede (in Deutschland) verbrauchte Kilowattstunde (kWh) Strom werden drei Kilowattstunden Primärenergie (Gas, Kohle, Uran) eingesetzt, wovon zwei kWh als thermische Umweltverschmutzung die Flüsse erwärmen oder Nebelschwaden erzeugen und nur eine kWh in der Steckdose ankommt (Ausgenommen davon ist nur der bisher prozentual geringe Anteil des in

Kraft-Wärme-Kopplung oder regenerativ erzeugten Stroms<sup>2</sup>). Umgekehrt erspart jede nicht verbrauchte kWh Strom drei kWh Primärenergie und zwei kWh Abwärme.

Zweitens ist Strom eine teure Energieform. Bei vielen Stromverbrauchern sind die Energiekosten über die Lebensdauer deutlich höher als die Anschaffungskosten. Ein einfaches Beispiel : ein 300 W-Halogen-Deckenfluter kostet in der Anschaffung rund 100 DM. Bis zum ersten Austausch der Halogen-Lampe (2000 Betriebsstunden) fallen bereits 150 DM Stromkosten an. Wird die gleiche Lichtmenge mit Leuchtstofflampen bereitgestellt, dann betragen die Stromkosten für 2000 Betriebsstunden nur etwa 50 DM. Dies Beispiel steht für viele Fälle, wo zusätzliche Investitionen zum Senken des Stromverbrauchs sich relativ schnell amortisieren. Das Nachrechnen lohnt sich (vgl. dazu [3], [6]).

Als Drittes gibt es einen thermischen Nutzen nicht verbrauchten Stroms. Denn fast jede in einem Gebäude verbrauchte kWh Strom endet zu nahezu 100% als Wärme im Raum. Dies mag, oberflächlich betrachtet, im Winter als willkommene Zusatz-Heizung erscheinen. Aber diese Art der 'Heizung' ist nicht nur energetisch ineffizient und teuer (siehe oben), sondern zudem nicht nach dem Heizbedarf steuerbar. Denn sie ist ja von einem Stromverbraucher abhängig, der eigentlich einem anderen Zweck dient. Vielfach bleiben diese 'inneren Wärmequellen' auch im Sommer bestehen und sind dann Mit-Ursache eines zu warmen Innenklimas oder gar Grund für eine Klimaanlage. Mit weiterem Stromverbrauch ...

## 7. Lüften nach Bedarf

Es ist nützlich, sich zunächst die Funktionen zu vergegenwärtigen, die das Lüften erfüllen soll, um dann den Lüftungsbedarf zu bestimmen und eine Lüftungs-Strategie festzulegen.

Die primäre Funktion des Lüftens ist natürlich, die 'verbrauchte' Luft des Innenraums durch 'frische' Außenluft zu ersetzen. Genauer heißt das, die mit ausgeatmetem CO<sub>2</sub>, Luftfeuchtigkeit und mit Gerüchen angereicherte Innenluft wird mit der Außenluft verdünnt. Zwischen der Anreicherung der Luft durch die Nutzung und der Verdünnung

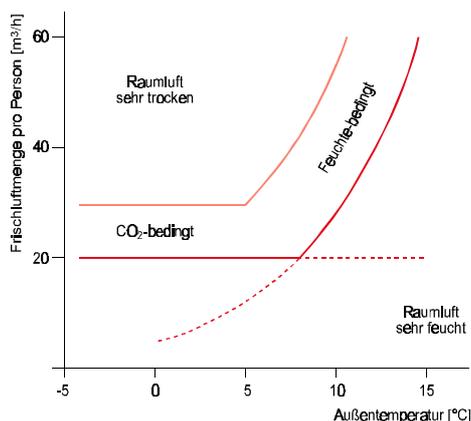


Bild 9. Der Frischluftbedarf einer Person bei Büro-tätigkeit, in Abhängigkeit von der Außenluft-temperatur. (nach Werner, vgl. [1]).

durch das Lüften stellt sich ein Gleichgewicht ein. Der Lüftungsbedarf ist diejenige Frischluftmenge, bei der die verbleibenden Konzentrationen der Luftbeimengungen zu keiner nennenswerten Beeinträchtigung der Nutzer führen.

Bei normaler Bürotätigkeit liegt der menschliche Frischluftbedarf in der Heizperiode bei 20-30 m<sup>3</sup>/h pro Person. In den kalten Wintermonaten kann der Luftaustausch etwas geringer sein, in den Übergangszeiten und besonders im Sommer sollte er dagegen etwas höher gewählt werden, da die Feuchteabfuhr in diesen Zeiten mehr Frischluft erfordert.

<sup>2</sup> Bei Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) wird ein großer Teil der bei der Stromerzeugung aus Brennstoffen zwangsläufig entstehenden Abwärme genutzt, z.B. zum Heizen. Dies kann lokal mit einem Blockheizkraftwerk (BHKW) oder für ganze Stadtbezirke mit Fernwärme geschehen. Mit KWK läßt sich der Ausnutzungsgrad des Brennstoffs gegenüber der reinen Stromerzeugung etwa verdoppeln.

Eine besonders intensive Luftbelastung stellt das Rauchen dar. Da aufgrund des beschriebenen Verdünnungsprinzips bei vertretbaren Lüftungsraten keine für Nichtraucher akzeptable Luftqualität erreichbar ist, läßt sich diese Schadstoffquelle nur durch eine systematische Trennung von Raucher- und Nichtraucherzonen eindämmen, wobei in den Raucherzonen eine vergleichsweise hohe Schadstoffkonzentration toleriert wird.

In vielen Gebäuden stellen Baustoffe des Innenausbaus oder Einrichtungsgegenstände zusätzliche Schadstoff- oder Geruchsquellen dar. Ähnlich wie beim Tabakrauch ist auch in diesen Fällen das verstärkte Lüften keine geeignete Methode um diese Luftbelastungen zu beseitigen. Hier hilft nur die Quellen zu beseitigen, bzw. nicht als Baustoff zu verwenden. Das bedeutet, daß insbesondere lösungsmittelhaltige und ausgasende Materialien in Innenräumen nach Möglichkeit nicht verwendet werden sollen.

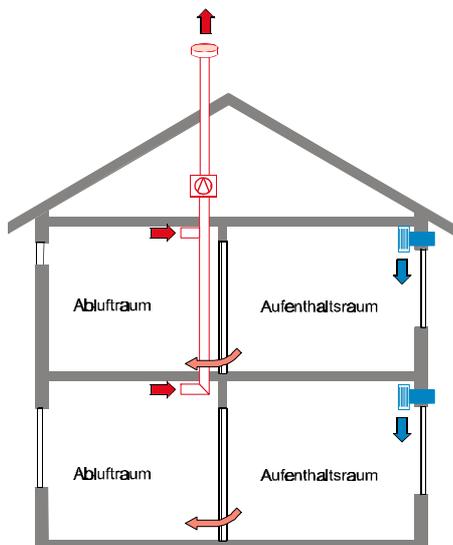


Bild 10. Gebäude mit Abluftanlage (schematische Darstellung)

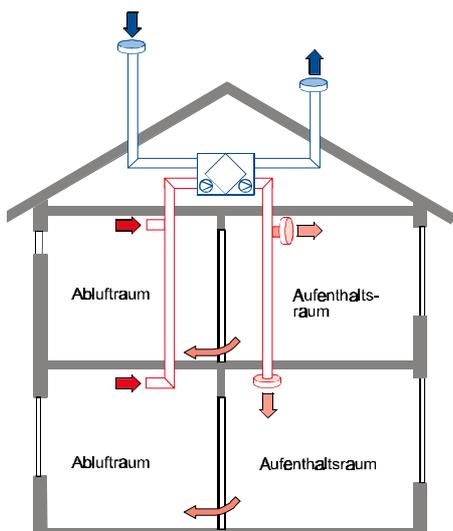


Bild 11. Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung in einem Gebäude (schematische Darstellung)

Die einfachste und verbreitetste Lüftungsstrategie ist die vom Nutzer getätigte Fensterlüftung. Vorteile dieser Lüftungsart sind die Einfachheit und die Tatsache, daß der Nutzer direkt die Luftqualität seines Raums beeinflussen kann. Nachteilig ist, daß es selbst Fachleuten kaum gelingt, den Luftwechsel per Hand und Fenster nach Bedarf (siehe oben) richtig einzustellen. Folglich ist die Regel, daß entweder zu wenig (mit schlechter Luft als Folge) oder zu viel (mit Verschwendung von Heizenergie) gelüftet wird.

Eine vorteilhafte Lösung stellt die Lüftung mit Hilfe einer Abluftanlage dar ([1], [2]), bei der die Luft aus 'Abluft-Räumen' abgesaugt wird und in die Aufenthaltsräume (Büroräume) über einstellbare Ventile Frischluft von außen zuströmt. Als Ablufträume eignen sich in Bürogebäuden Flure, Raucherzonen und WC-Räume.

Eine derartige Abluftanlage erhält die Einflußmöglichkeit der Nutzer, erleichtert aber das Einstellen des richtigen Luftwechsels, so daß dies auch für technische Laien leicht erlernbar ist.

Eine Abluftanlage, die zudem auf niedrigen Stromverbrauch ausgelegt ist (vgl. [2]), kann als optimierte einfache Technik angesehen werden.

Im Fall einer vollständig mechanischen Lüftung (Zu- und Abluft), z.B. wegen Verkehrsbelastung außerhalb des Gebäudes, sind im Interesse des niedrigen Energiebedarfs eine strömungsgünstige Planung des Kanalnetzes, eine wirksame Wärmerückgewinnung, effiziente Ventilatoren und eine dichte Gebäudehülle erforderlich (vgl.[2]). Aus hygienischer Sicht

ist regelmäßige Reinigung der Zuluftwege (Zugänglichkeit!) und der Filterwechsel bedeutsam.

## 8. Was bringt's ?

Nach dieser sehr kompakten Darstellung baulicher Maßnahmen soll nun beispielhaft gezeigt werden, welche Ergebnisse sich in Bezug auf das Innenklima und den Energiebedarf erzielen lassen.

Zu diesem Zweck dienen Bewertungsmaßstäbe, die eine Beurteilung der thermischen und energetischen Qualität von Gebäuden erlauben.

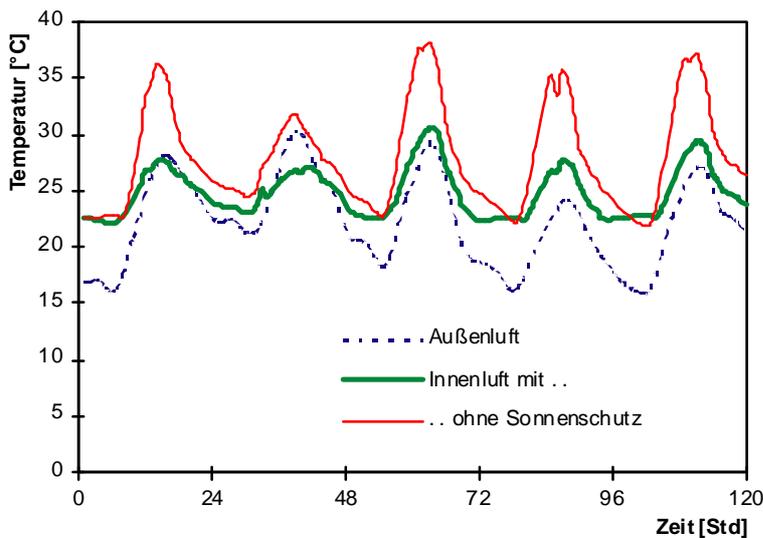


Bild 12. Sommerliche Temperaturschwankungen in einem süd-orientierten Büroraum mit und ohne außenliegendem Sonnenschutz.

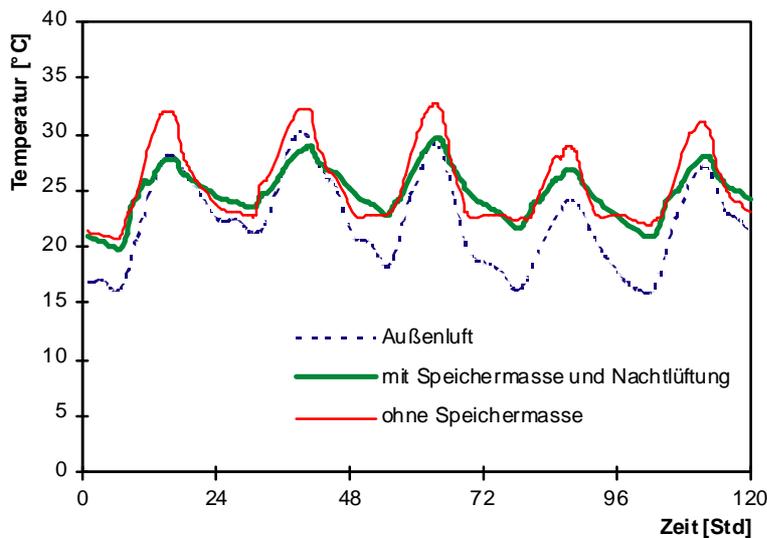


Bild 13. Sommerliche Temperaturschwankungen in einem Büroraum bei mittelschwerer Bauweise ('mit Speichermasse') und bei Leichtbauweise ('ohne Speichermasse'), jeweils mit Sonnenschutz.

Exemplarisch für die thermische Qualität zeigen die Bilder 12 und 13 Temperaturverläufe über fünf sehr warme Sommertage bei verschiedenen Gebäudeausführungen. Die hier gezeigten Temperaturkurven sind Ergebnisse aus thermischen Gebäudesimulationen.

In Bild 12 ist die Auswirkung des außenliegenden Sonnenschutzes dargestellt. Während ohne Sonnenschutz die Innentemperatur auf Werte über 35°C steigt, bleibt sie bei gutem Sonnenschutz meist deutlich unter 30°C.

Bild 13 zeigt die Wirkung von thermischer Speichermasse und Nachtlüftung. Mittels Speicherwirkung läßt sich die Innentemperatur tagsüber um 3 bis 5 Grad reduzieren, wobei die maximale Temperatur innen teilweise unter derjenigen außen liegt. Man kann mit recht von 'passiver Nachtkühlung' sprechen.

Relativ präzise Prognosen über den Heizenergiebedarf können ebenfalls aus Simulationsrechnungen abgeleitet werden. In vielen Fällen reicht allerdings bereits ein wesentlich einfacheres Energiebilanzverfahren, wie es zum Beispiel im Leitfaden

Energiebewußte Gebäudeplanung [5] dargestellt ist. Ergebnis dieses einfachen Rechenverfahrens ist ein auf die Nutzfläche bezogener Energiekennwert, ein Maß für die Qualität des Gebäudes bezüglich der Heizenergie.

In ähnlicher Weise lassen sich auch Kennwerte für den elektrischen Energiebedarf bilden [6]. Gemeinsam ist allen derartigen Kennwerten: Je niedriger der Kennwert, umso höher ist die energetische Qualität des Gebäudes.

Für eine Beurteilung des gesamten Energiebedarfs für den Gebäudebetrieb, also der Summe aus Heizenergie, ggf. Kühlenergie und dem Bedarf an elektrischer Energie müssen zusätzlich alle Anteile auf Primärenergie umgerechnet werden, d.h. alle dem Energieverbrauch vorgelagerten Verluste (z.B. Abwärme der Stromproduktion) müssen eingerechnet werden.

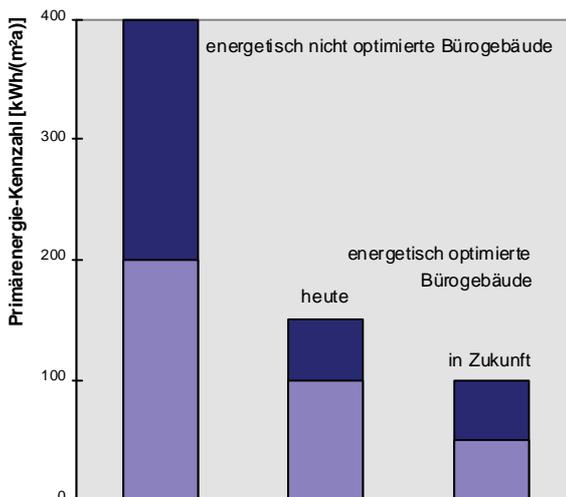


Bild 14. Primärenergie-Kennzahlen für Heizung, Lüftung, Klimatisierung und Beleuchtung von Bürogebäuden unterschiedlicher energetischer Qualität.

So bestimmte Primärenergie-Kennzahlen geben Aufschluß über die energetische Qualität des jeweiligen Gebäudes und können für Vergleiche von Gebäuden untereinander oder zu einer Referenz verwendet werden.

In Bild 14 sind zur Orientierung Bereiche typischer Primärenergie-Kennzahlen von Bürobauten unterschiedlicher energetischer Qualität gezeigt. Energetisch nicht optimierte Bauten überschreiten durchweg 200 kWh/m²a. Bei thermisch ungünstig konstruierten Gebäuden mit Klimaanlage bis weit über 500 kWh/m²a möglich. Heutige optimierte Gebäude liegen im Bereich um 100 bis 150 kWh/m²a. Bei konsequenter Weiterentwicklung können in Zukunft auch Kennzahlen unter 100 kWh/m²a erreicht werden (vgl. [4], [9]).

## 9. Zusammenfassende Checkliste

- Tageslicht-orientiert planen :
  - Himmelslicht auf der Arbeitsfläche
  - Fenster von der Oberkante Schreibtisch bis (sturzfrei) unter die Decke (die Höhe ist wichtiger als die Breite)
  - geringe Raumtiefe (max. 4 - 5 m)
  - Verglasung mit hoher Licht-Transmission wählen
  - keine Überstände über den Fenstern
- Gute Wärmedämmung der Gebäudehülle
  - wirkt sich positiv auf das Innenklima und auf den Energiebedarf aus
  - Orientierungswerte Dämmstoffstärke bei  $\lambda = 0.04 \text{ W/mK}$ :
 

Wand :	gut: 15 - 18 cm	sehr gut: 25 - 30 cm
Dach :	gut: 25 - 30 cm	sehr gut: 35 - 40 cm
Kellerdecke :	gut: 12 - 15 cm	sehr gut: 20 - 25 cm
  - Fenster mit geringem k-Wert wählen :  $k_F < 1.5 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,  
bei großflächiger Verglasung :  $k_F < 1.1 \text{ W/m}^2\text{K}$   
bei sehr hohem Dämmstandard :  $k_F < 0.8 \text{ W/m}^2\text{K}$   
( $k_F$  jeweils einschließlich Rahmen)
  - Wärmebrücken vermeiden.

- Guter sommerlicher Wärmeschutz
  - Innere Wärmequellen minimieren (Stromverbraucher)
  - Wärmegevinne durch solare Einstrahlung begrenzen
  - außenliegenden, vom Nutzer einstellbaren Sonnenschutz anbringen (an Ost-, West- und Südfenstern)
- Thermische Speichermassen mit großer Oberfläche zu den Innenräumen vorsehen (vorwiegend Decken und Böden)
  - Materialien mit hoher Wärmespeicherfähigkeit und hoher Wärmeleitfähigkeit sind geeignet (z.B. Beton, schweres Mauerwerk)
  - die obersten 10 cm auf der Raumseite sind wirksam.
- Strombedarf senken
  - Beleuchtungs-Schaltkreise nach Tageslichtzonen planen
  - ggf. Beleuchtung tageslicht- und präsenz-abhängig steuern
  - Haustechnik elektrisch optimieren
  - elektrisch effiziente Büroausstattung wählen
- Bedarfsgerecht Lüften
  - pro Person 25 - 30 m<sup>3</sup>/h Frischluft (Lüftungsanlagen müssen auf 40 m<sup>3</sup>/h ausgelegt werden)
  - Schadstoff-Emissionen in Innenräumen senken (Emissionen aus Baumaterialien, Einrichtung, Geräten)
  - mechanische Lüftung: nach Bedarf regeln, auf niedrigen Strombedarf achten
  - für sehr niedrigen Energiebedarf (Passivhaus-Niveau) ist eine Lüftungsanlage mit sehr effizienter Wärmerückgewinnung Voraussetzung; auf dichte Gebäudehülle achten; Lüftungsanlage auf geringen Druckverlust auslegen.

## 10. Literatur

- [1] Bundesarchitektenkammer (Hrsg.): Energiegerechtes Bauen und Modernisieren, Basel, Berlin, 1996.
- [2] W. Feist (Hrsg.): Das Niedrigenergiehaus. 4.Aufl., Heidelberg, 1997
- [3] O. Humm, F. Jehle: Strom optimal nutzen. Staufen bei Freiburg, 1996.
- [4] W. Eicke-Hennig, M. Jäkel: Mehr Gebäudequalität mit weniger Energie. Ein Vergleich zweier Bürogebäude. BBauBl 1997, Heft 11, S. 788 - 791.
- [5] LEG: Leitfaden Energiebewußte Gebäudeplanung, Hrsg.: Hessisches Umweltministerium, Wiesbaden.
- [6] LEE: Leitfaden elektrische Energie, Hrsg.: Hessisches Umweltministerium.
- [7] IMPULS-COMPACT: Dokumentation des Schweizer Impulsprogramms auf CD-ROM mit mehreren hundert (!) Publikationen zum Energie-optimierten Bauen. Bundesamt für Konjunkturfragen, Bern, 1997.
- [8] Liste stromsparender Geräte im Internet unter: [www.impulsprogramm.de](http://www.impulsprogramm.de)
- [9] J. Knissel: Energieeffiziente Büro- und Verwaltungsgebäude; Hinweise zur primärenergetischen und wirtschaftlichen Optimierung. Darmstadt : IWU, 1999.