



## Energieeffiziente Bürogebäude



**1** Bürogebäude der Fa. Lamparter. Es zeichnet sich aus durch erhöhten Wärmeschutz, intensive Tageslichtnutzung, passive Kühlung, Wärmerückgewinnung, Erdwärme-/Erdkältenutzung und aktive Solartechnik.

*Mit heutigen Planungswerkzeugen, Baustoffen und fortschrittlicher Gebäudetechnik werden Gebäude realisierbar, in denen sich der gewünschte Raumkomfort weitgehend von selbst einstellt, die technischen Anlagen also nur noch phasenweise korrigierend eingreifen müssen. Hierfür existieren unterschiedliche Lösungsansätze, die kostengünstige Gebäude mit zugleich hoher Nutzungsqualität ermöglichen, d. h. geringen Energieverbrauch, „gutmütiges“ thermisches Verhalten und hohe thermische wie visuelle Behaglichkeit.*

**D**ie energetische Situation von Bürogebäuden ist gekennzeichnet von speziellen Anforderungen, die sie von Wohngebäuden unterscheiden. So sind Bürogebäude dichter mit Personen belegt und mit Wärme abgebenden Bürogeräten ausgestattet. Für die Büroarbeit werden zudem besondere Anforderungen an Beleuchtung, Raumtemperatur und Luftqualität gestellt. Diese speziellen Bedingungen müssen in der Planung berücksichtigt werden, damit Gebäude entstehen, die sowohl einen geringen Heizenergie- als auch einen geringen Stromverbrauch aufweisen. Der Energiebedarf in Bürogebäuden wird größtenteils durch zwei Faktoren bestimmt: Einerseits direkt durch den Stromverbrauch der verwendeten Arbeitshilfen, wie PCs oder Kopierer. Andererseits indirekt, jedoch sehr planungsrelevant, durch den gewünschten Raumkomfort, also Temperatur, Lichtverhältnisse oder Luftqualität.

Voraussetzung für ein gutes Planungsergebnis ist, dass die gegenseitigen Abhängigkeiten zwischen Baukörper, Heizung, Lüftung, Klimatisierung, Beleuchtung, usw. von Anfang an bedacht werden. Dafür ist es wichtig, dass die Fachplaner der einzelnen Gewerke bereits frühzeitig am Planungsprozess teilhaben und im Austausch stehen („Integrale Planung“). So kann das Gebäude bereits in der Planung als das funktionale Ganze behandelt werden, das es in der Realisierung werden soll.

Bei der Planung müssen neben den energetischen andere, vielfältige Anforderungen berücksichtigt und teils gegeneinander abgewogen werden. Um die Komplexität zu reduzieren, soll in dieser Information der Schwerpunkt auf die energetische Optimierung gelegt werden. Neben wichtigen Planungsaspekten wird in der Folge die Simulation als Hilfsmittel für die Planung erläutert. Ergänzt wird dies durch die Präsentation einiger Bürogebäude mit beispielhaftem Energiekonzept, die im Rahmen des Förderprogramms „SolarBau“ des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) kostenbewusst geplant, gebaut und jetzt im Betrieb wissenschaftlich ausgewertet werden.

# Grundlagen und Planung

Für die Planung energieeffizienter Bürogebäude gibt es erprobte Konzepte, Instrumente und Vorgehensweisen.

## Standort und Geometrie

Ausgangspunkt jeder Planung ist der Standort und Bauplatz. Die Gebäude-Geometrie muss darauf bezogen sein. Diese wiederum bestimmt zusammen mit der Umgebung die äußeren Lichtverhältnisse am Gebäude und damit die Versorgung der Räume mit Tageslicht. Deshalb ist bereits bei der Bauplatzwahl eine Vorstudie zur Geometrie und Tageslichtversorgung sinnvoll.

Die Raumaufteilung, insbesondere die Raumtiefe im Zusammenhang mit der lichten Raumhöhe und der Fensteranordnung haben großen Einfluss auf die Tageslichtqualität; auch eine geeignete Verteilung und Anordnung von Arbeitsplätzen ist hierbei zu beachten.

Da eine kompakte Bauweise zu geringeren winterlichen Wärmeverlusten führt, eine gute Tageslichtversorgung aber geringe Raumtiefen bedingt, muss eine individuell optimierte Lösung gesucht werden. Ein hoher Wärmedämmstandard erlaubt - ohne wesentliche Erhöhung des Wärmebedarfs - eine geringere Kompaktheit zugunsten der Tageslichtversorgung.

## Planungsmethodik

1. Zuerst gilt es, gewünschte Eigenschaften und Nutzungsanforderungen für das Gebäude festzulegen, beispielsweise in einem Zielkatalog oder Pflichtenheft. Aus energetischer Sicht sind hier Anforderungen an den Primärenergiebedarf, an das Innenklima und an die Beleuchtung von besonderer Bedeutung. In diesem Stadium sollten die Lösungswege noch offen bleiben.

2. Daran schließt sich die Suche nach Lösungen an, die mit Rücksicht auf alle relevanten Zusammenhänge die vorgegebenen Ziele soweit möglich erreichen. Mit fortschreitendem Planungsstand steigt dabei der Grad der Detaillierung.

3. Nach jedem größeren Planungsschritt gilt es, die Ergebnisse anhand der Zielvorgaben zu bewerten und gegebenenfalls verschiedene Varianten zu vergleichen. Aufgrund dieser Bewertung wird über das weitere Vorgehen entschieden; also beispielsweise ob die gefundenen Lösungen umgesetzt werden sollen oder ob eine bessere Lösung gesucht werden muss. In besonderen Fällen kann auch eine Revision der Zielvorgaben erforderlich sein.

Werden diese drei Planungsebenen klar unterschieden, so steigt die Transparenz von Entscheidungen. In großen Projekten kann es hilfreich sein, die Aufgaben personell zu trennen.

## Tageslicht

Mit einer sorgfältig geplanten Tageslichtnutzung können Innenräume attraktiv gestaltet und gute Sehbedingungen erreicht werden. Zudem kann damit der Strombedarf für Beleuchtung erheblich gesenkt werden. In Büroräumen kann das Tageslicht bis über 80% des Lichtbedarfs decken, vorausgesetzt elektrisches Licht wird nur eingesetzt, soweit es tatsächlich nötig ist (2). Die künstliche Beleuchtung wird dazu tageslicht- und bedarfsabhängig geregelt und vollständig abgeschaltet, sobald sie nicht mehr benötigt wird. Dies funktioniert nur dann, wenn die Lichtsensoren individuell eingestellt werden (2). Da Sonnenlicht zugleich eine Wärmequelle ist, wird mit der Festlegung der Tageslichteigenschaften auch das thermische Gebäudeverhalten beeinflusst. Folgerichtig beginnt eine thermische Gebäudeoptimierung mit dem Tageslicht.

Der in Mitteleuropa häufig vorherrschende „bedeckte Himmel“ ist bedeutsam für die Planung. Denn die Versorgung mit Tageslicht sollte gerade auch in der dunkleren Jahreszeit funktionieren. In (3) ist zu erkennen, wie bei bedecktem Himmel der Tageslichtquotient auf der Arbeitsebene - als Maß für die Verfügbarkeit des Tageslichtes an einem Ort im Raum - mit steigender Entfernung vom Fenster abnimmt. Die Räume sollten möglichst nicht tiefer als maximal 4 bis 5 m sein und die Arbeitsplätze in Fensternähe angeordnet werden.

Als wichtiger Anhaltspunkt für den Nutzungsgrad des Tageslichtes kann die Größe des Himmelsausschnitts gelten, der von der Arbeitsfläche aus sichtbar ist (4). Dieser wird insbesondere vergrößert, wenn die Fenster sturzfrei bis unter die Decke reichen und keine Überstände den Lichteinfall behindern. Erheblichen Einfluss hat auch die den Fenstern gegenüberliegende Bebauung. Nicht rückziehbare Sonnen- oder Blendschutzeinrichtungen verdunkeln die Räume zusätzlich. Bei in das Innere von Atrien gerichteten Fenstern kommt noch die Verdunklung des an der Verglasung des Atriums notwendigen Sonnenschutzes hinzu.

Um hohe Wärmeeinträge infolge starker Sonneneinstrahlung zu vermeiden, ist es empfehlenswert, Fenster nicht größer zu bemessen als für die Tageslichtnutzung notwendig. Insbesondere Fensterflächen unterhalb der Arbeitsebene tragen zur Beleuchtung nicht nennenswert bei.

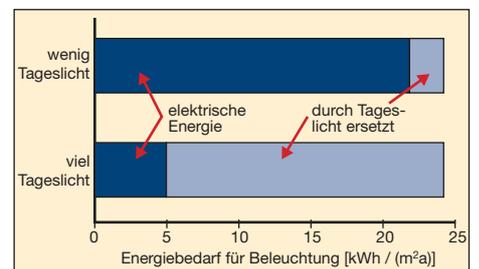
## Sonnenschutz, Blendschutz und Lichtlenkung

In der Fensterebene kann die Intensität der Sonneneinstrahlung und die Lichtausbreitung beeinflusst werden. Sonnenschutzein-

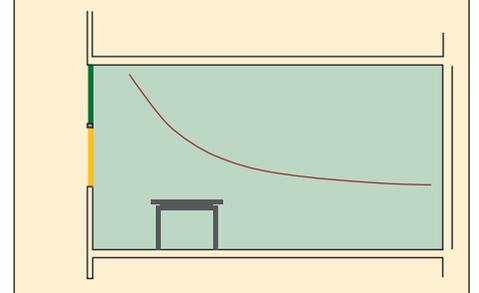
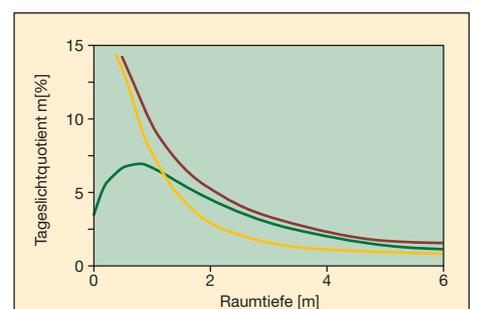
richtungen an Fenstern übernehmen dabei folgende Funktionen:

- Vermeidung störender Lichtreflexe auf Computermonitoren
- Direktes Sonnenlicht, heller Himmel oder hell beleuchtete Flächen sollen nicht blenden
- Schutz vor Überwärmung der Menschen durch direkte Sonneneinstrahlung
- Eine zu starke Erwärmung der Räume durch hohe Wärmezufuhr infolge der Sonneneinstrahlung soll vermieden werden

Um die letztgenannte Funktion gut erfüllen zu können, sollte die Sonnenschutzeinrichtung auf der Außenseite der Fenster angebracht sein. Dies ist in der Regel an allen ost-, süd- und west-orientierten Fenstern notwendig. Insbesondere aus Osten und Westen tritt im Sommer intensive Sonneneinstrahlung bei niedrigerem Sonnenstand auf. Hilfreich für die Planung sind Sonnenstands-Diagramme, mit denen ablesbar ist, welche Sonnenstände zu verschiedenen Jahres- und Tageszeiten auftreten (10).



Elektrischer Energiebedarf für Beleuchtung, abhängig von der Tageslichtnutzung



Abnahme des Tageslichtes auf der Arbeitsebene mit der Raumtiefe (rote Kurve). Die obere Hälfte des Fensters trägt besonders zur Beleuchtung in die Raumtiefe bei (grüne Kurve), während das Licht aus der unteren Fensterhälfte schnell abnimmt (gelbe Kurve)

Der Sonnenschutz an Fenstern soll verstellbar oder rückziehbar sein, so dass an Tagen mit bedecktem Himmel die Tageslichtversorgung nicht beeinträchtigt wird. Zudem sollte er den Sichtkontakt zur Umgebung soweit wie möglich erhalten.

Nach Möglichkeit sollten die Arbeitsplätze auch bei geschlossenem Sonnenschutz ausreichend mit Tageslicht versorgt werden. Dies kann auf einfache Weise realisiert werden, indem bei einer (hell gefärbten) Jalousie im Oberlichtbereich die Lamellen in einem anderen Winkel angestellt werden, als im unteren Fensterbereich. So kann ein Teil der Sonneneinstrahlung an die (ebenfalls helle) Raumdecke gelenkt werden, um den Raum indirekt zu beleuchten **5**.

Es können auch aufwändigere, lichtlenkende Tageslichtsysteme in den Oberlichtern angebracht werden, wobei der Sonnenschutz unterhalb der Oberlichter platziert ist.

Solange lichtlenkende Systeme mit ihren Eigenschaften nicht standardisiert sind, muss eine Optimierung individuell mittels Simulation von Beleuchtung und thermischem Verhalten durchgeführt werden.

Tageslichtsysteme sollten den Einfall diffusen Himmelslichts bei bedecktem Himmel möglichst nicht beeinträchtigen, da anderenfalls die Tageslichtbeleuchtung insgesamt vermindert wird. Hierbei ist zu beachten, dass reflektierende Elemente nicht zu stark verschmutzen.

## Thermische Speicherung

In Bürogebäuden hat die Speicherung von Wärme im Tag-Nacht-Zyklus eine größere Bedeutung als in Wohnbauten. Die Büronutzung hat zur Folge, dass alle Wärmequellen im Gebäude - Menschen, elektrische Geräte und Sonneneinstrahlung - nahezu ausschließlich am Tage auftreten und nachts meist komplett entfallen. Die Überhitzungsgefahr tagsüber kann vermindert werden, indem im Innenraum freiwerdende Wärme tagsüber in Wände, Decken und Einrichtungsgegenständen eingespeichert und nachts wieder entladen wird. Wird zusätzlich in der Nacht mit kühler Außenluft gelüftet, so kann ein Kühleffekt für die Tagesstunden erreicht werden. Sonnenschutzmaßnahmen sind dennoch notwendig.

Damit die thermische Speichermasse im Raum wirksam ist, müssen die zur Speicherung vorgesehenen Bauteile folgende Anforderungen erfüllen **6**:

- Geeignete Materialien mit hoher Wärmeleitfähigkeit und guter Wärmespeicherefähigkeit (Beton, schweres Mauerwerk, usw. - entscheidend für die Wirkung sind die raumseitig obersten 10 cm)
- Große Oberflächen zum Innenraum (Decke, Fußboden, große Wandflächen)
- Raumseitig offen zugängliche Oberflächen (d. h. keine abgehängten Decken, aufgeständerte Böden, Möbel vor speicherfähigen Wänden, usw.)

## Winterlicher Wärmeschutz

Auch wenn der Heizenergiebedarf bei Bürogebäuden meist einen geringeren Anteil des Gesamtenergiebedarfs ausmacht als bei Wohnhäusern, ist ein guter winterlicher Wärmeschutz dennoch notwendig.

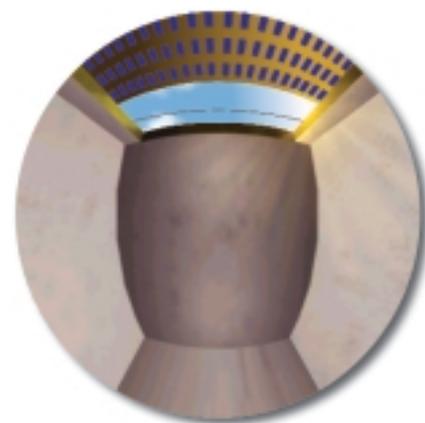
Die Wärmedämmung kann wie bei Wohngebäuden dimensioniert werden. In **7** sind typische U-Werte samt resultierenden Dämmstoffstärken für Außenbauteile angegeben. Diese Werte dienen zur Orientierung, können eine genaue Wärmebilanz jedoch nicht ersetzen. Einzelne Konstruktionen und Details zur Vermeidung von Wärmebrücken werden ausführlich in der Literatur zu Niedrigenergie- und Passivhäusern behandelt (z. B. /4/).

Als „Nebenwirkung“ verbessert ein guter winterlicher Wärmeschutz die thermische Behaglichkeit, denn es entfallen im Winter kalte Innenoberflächen an Außenbauteilen, so dass die Räume uneingeschränkt bis nahe an die Außenwände und Fenster genutzt werden können. Auch erlauben warme Innenoberflächen ein leichtes Absenken der Lufttemperatur bei gleicher Behaglichkeit. Dies wiederum reduziert die Gefahr zu trockener Luft („trockene Heizungsluft“).

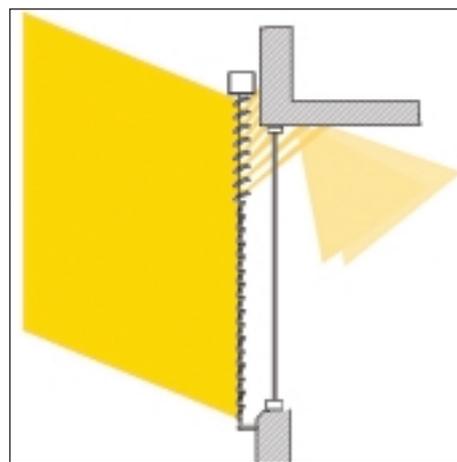
## Lüftung

### Die Funktion der Lüftung

Mit dem Lüften wird die „verbrauchte“ Luft des Innenraums durch 'frische' Außenluft ersetzt. Genauer heißt das, die mit ausgeatmetem CO<sub>2</sub>, Luftfeuchtigkeit, Gerüchen und eventuell auch mit Schadstoffen angereicherte Innenluft wird mit der Außenluft verdünnt. Zwischen der Anreicherung der Luft durch die Nutzung und der Verdünnung durch das Lüften stellt sich ein Gleichgewicht ein. Der Lüftungsbedarf ist diejenige Frischluftmenge, bei der die verbleibenden Konzentrationen der Luftbeimengungen zu keiner nennenswerten Beeinträchtigung führen.



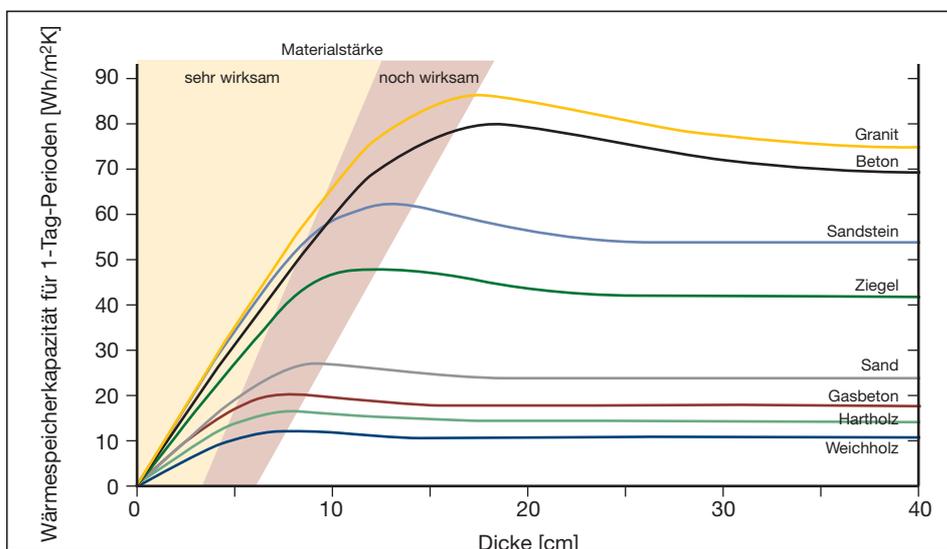
**4** Aus der Perspektive einer Schreibtischoberfläche sichtbarer Himmelsausschnitt in simulierter Darstellung. Von der gegenüberliegenden Bebauung sind 3 Stockwerke sichtbar. Ein Fenstersturz - markiert durch die graue Linie - würde den Bereich des sichtbaren Himmels deutlich verkleinern (nach D. Hennings).



**5** Ein außenliegender zweigeteilter Sonnenschutz mit lichtlenkender Wirkung im Oberlichtbereich

### Lüftungsbedarf

Bei normaler Bürotätigkeit liegt der menschliche Frischluftbedarf in der Heizperiode bei 20-30 m<sup>3</sup>/h pro Person (Anlagen müssen auf 40 m<sup>3</sup>/h pro Person ausgelegt sein). In den kalten Wintermonaten kann der Luftaus-



**6** Spezifische Wärmespeicherkapazität verschiedener Baumaterialien für den Tag-Nacht-Ausgleich, abhängig von der Einbaustärke. Die Wärmespeicherkapazität ist ein Maß für die Wirksamkeit der Wärmespeicherung. Gut eignen sich schwere Baustoffe und wirksame Bauteilstärken von etwa 10 cm (nach Balcomb).

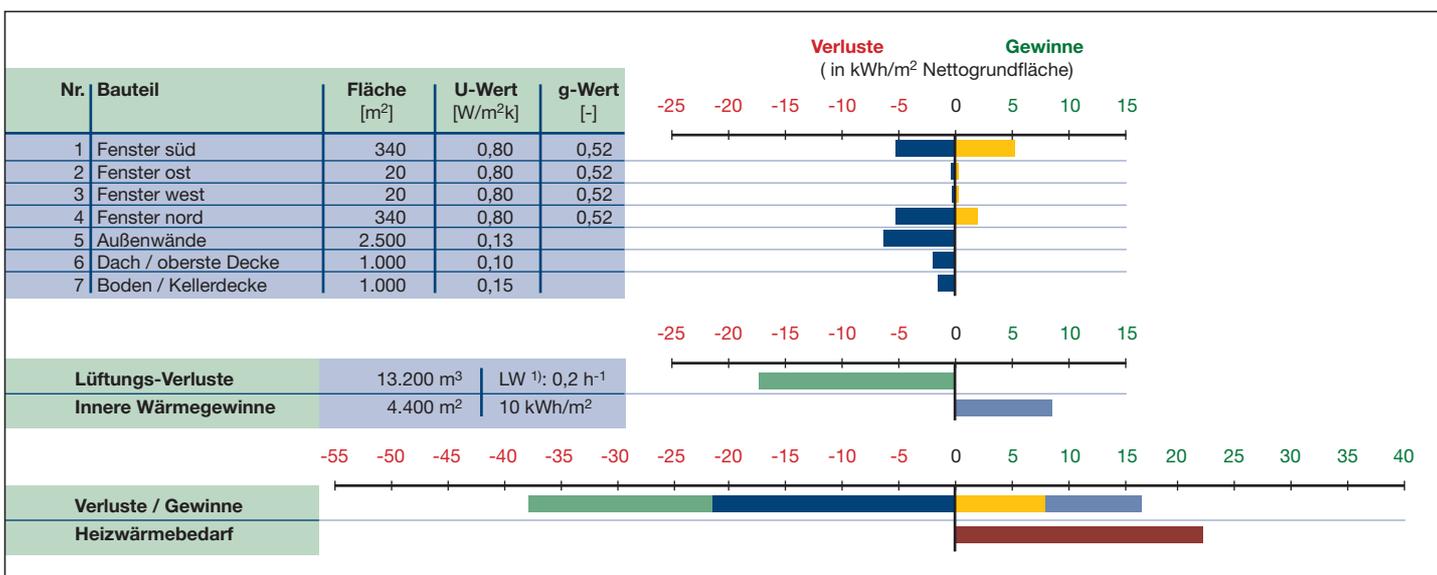
Mit den „guten“ Werten (Neubau) ist in der Regel ein Niedrigenergiehaus-Standard erreichbar. Die „sehr guten“ Werte liegen im Grenzbereich zum Passivhaus-Standard. Zu den U-Werten ist jeweils die erforderliche Dämmstoffstärke bei WLK 040 angegeben.

Bauteil	Sanierung Altbau	Neubau - „gut“	Neubau - „sehr gut“
Außenwände	0,33 .. 0,25 W/m <sup>2</sup> K (12 .. 16 cm)	0,25 .. 0,20 W/m <sup>2</sup> K (16 .. 20 cm)	< 0,16 W/m <sup>2</sup> K (25 .. > 30 cm)
Fenster (inkl. Rahmen)	1,8 .. 1,3 W/m <sup>2</sup> K	1,5 .. 1,3 W/m <sup>2</sup> K	< 1,0 W/m <sup>2</sup> K
Dach *)	0,25 .. 0,20 W/m <sup>2</sup> K (16 .. 20 cm)	0,20 .. 0,16 W/m <sup>2</sup> K (20 .. 25 cm)	< 0,11 W/m <sup>2</sup> K (35 .. > 40 cm)
Kellerdecke **)	0,50 .. 0,33 W/m <sup>2</sup> K (8 .. 12 cm)	0,40 .. 0,33 W/m <sup>2</sup> K (10 .. 12 cm)	< 0,20 W/m <sup>2</sup> K ( > 20 cm)

\*) Bei Dächern ist ein vom Holzanteil abhängiger Zuschlag in der Dämmstoffstärke erforderlich, wenn zwischen den Sparren gedämmt wird.

\*\*) Diese Werte gelten auch für den Kellerboden bei beheiztem Keller und für Trennwände zwischen beheizten und unbeheizten Innenräumen.

## 7 Orientierungswerte für den winterlichen Wärmeschutz (U-Werte)



8 **Wärmebilanz eines sehr gut wärmedämmten Bürogebäudes mit Wärmeverlusten und -gewinnen der einzelnen Bauteile unter Berücksichtigung von Lüftungswärmeverlusten und inneren Wärmegewinnen. Unten erfolgt die Bilanz mit dem Heizwärmebedarf als Differenz zwischen gesamten Verlusten und Gewinnen.**  
 1) Über die Heizperiode gemittelter, energetisch wirksamer Luftwechsel unter Berücksichtigung der Wärmerückgewinnung. Der Luftwechsel während der Nutzungszeit liegt deutlich höher. (Grafik: D. Hennings)

tausch etwas geringer sein, denn dann wird die Innenluft nicht so trocken. In den Übergangszeiten und besonders im Sommer erfordert dagegen die Feuchteabfuhr einen etwas höheren Luftaustausch.

### Luftqualität

Eine hohe Luftqualität wird in erster Linie dadurch erreicht, dass luftverunreinigende Quellen vermieden werden. Bei Materialien des Innenausbau und bei Einrichtungsgegenständen muss auf Emissionsarmut geachtet werden. Das Rauchen stellt eine besonders intensive Luftbelastung dar, die sich durch Lüften, sprich Verdünnen, nicht auf ein für Nichtraucher akzeptables Maß senken lässt. Hier hilft nur eine systematische Trennung von Raucher- und Nichtraucherzonen, wobei in den Raucherzonen eine vergleichsweise hohe Schadstoffkonzentration toleriert wird.

### Lüftungsstrategien

Für Bürogebäude kommen drei unterschiedliche Lüftungsarten in Betracht:

■ **Fensterlüftung:** Vorteile sind die Einfachheit und die Tatsache, dass der Nutzer direkt die Luftqualität seiner Umgebung beeinflussen kann. Allerdings ist es schwierig, den Luftwechsel mit dem Fenster per Hand richtig einzustellen.

■ **Abluftanlagen:** Das Gebäude wird aufgeteilt in Zuluft- und Abluft-Zonen. Die Zuluftzonen bestehen aus Aufenthaltsräumen (Büroräumen), in welche die Zuluft über Luftdurchlässe von außen einströmt. Durch Überströmöffnungen gelangt die Luft in Abluftzonen (WCs, Kopierer-Räume, Raucherzonen, evtl. auch Flure), aus denen die Luft über die Abluftanlage abgesaugt wird. Mit solchen Anlagen lässt sich der richtige Luftwechsel relativ gut einstellen.

■ Ein sehr niedriger Energiebedarf (z. B. Passivhaus-Standard) ist nur mit einer Zu- und Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung erreichbar. Eine solche Lüftungsanlage kann auch aus anderen Gründen sinnvoll sein, etwa wegen Lärm oder Schadstoffen infolge der Verkehrsbelastung außerhalb des Gebäudes. Damit eine Lüftungsanlage effizient arbeiten kann, müssen Kanalnetz und Anlagenkomponenten strömungsgünstig geplant (große Querschnitte, gute Anpassung), die Wärmerückgewinnung hochwirksam, die Ventilatoren effizient und die Gebäudehülle dicht sein. Aus hygienischer Sicht ist eine regelmäßige Wartung nötig. Bei allen Lüftungslösungen, bei denen Luft von Raum zu Raum strömt, muss der Brandschutz beachtet werden und ggf. mit der Feuerwehr abgestimmt werden.

## Erdreichwärmetauscher

Mit einem Erdreichwärmetauscher kann man sich die über den Jahresverlauf gleichmäßige Temperatur des Erdreichs für die passive Klimatisierung zunutze machen. Bereits in 2 m Tiefe liegen Temperaturen von etwa 10°C vor, die im Jahresverlauf kaum noch variieren.

Die einfachste Form ist ein Luft-Erdreichwärmetauscher, durch den die Zuluft bei Bedarf geführt wird. Auf diese Weise kann die Zuluft im Winter vorgewärmt, und im Sommer vorgekühlt werden. Voraussetzung ist ein zentrales Zuluftsystem. Eine auf die individuelle Situation angepasste Dimensionierung des Erdreichwärmetauschers (Länge, Querschnitt, Strömungsgeschwindigkeit) und die Beachtung hygienischer Aspekte (Filter am Eingang, Inspektions-Öffnungen, Ablauf für Kondensat) sind notwendig. Über einen By-Pass soll auch eine Zuluftführung unter Umgehung des Erdreichwärmetauschers möglich sein.

Insbesondere bei größeren Gebäuden kann ein Wasser-Erdreichwärmetauscher sinnvoll sein, wobei die Wärme bzw. Kälte mit einem weiteren Wärmetauscher an die Luft übergeben wird. Hier werden lange Luft-Transportwege vermieden. Das Wasser aus dem Erdreichwärmetauscher kann auch direkt zur Bauteilkühlung (insbesondere der Decken) eingesetzt werden. Allerdings entfällt dann die Möglichkeit der Luftvorwärmung im Winter.

## Klimatisierung

Im mitteleuropäischen Klima ist für gut geplante Büroräume in der Regel keine technische Klimatisierung über die beschriebenen passiven Maßnahmen hinaus erforderlich, um ein angenehmes Raumklima im Gebäude zu erreichen /5/.

Eine Kühlung bzw. Luftvorbehandlung kann erforderlich sein für Räume, in denen nutzungsbedingt hohe thermische Lasten auf-

treten, etwa in Versammlungs- und Veranstaltungsräumen oder in hoch technisierten Räumen wie EDV-Zentralen oder Labors.

## Elektrischer Energiebedarf

Neben der Beleuchtung und der technischen Gebäudeausrüstung spielen in Bürogebäuden auch die Bürogeräte, insbesondere Computer und deren Peripherie eine merkbare Rolle für den Energiebedarf.

Der Strombedarf für PCs lässt sich gegenüber herkömmlichen Computern um ca. 30% reduzieren, indem sie mit TFT-Displays bzw. einer Bildschirmabschaltung ausgerüstet werden. Um ca. 75% verringert sich der Strombedarf bei Umstellung der Büro-Arbeitsplätze auf Notebook-Computer. Hiermit wird auch die innere Wärmelast gesenkt, was sich positiv auf das thermische Innenklima auswirkt. Weitere Informationen zum elektrischen Energiebedarf finden sich z. B. in /2/, /6/.

## Bewertung

Mit Bewertung ist der systematische Vergleich des Planungsergebnisses mit den Zielvorgaben gemeint. Von besonderem Interesse sind hier die quantitativen energetischen Vorgaben.

Für eine quantitative Bewertung muss dreierlei festgelegt werden:

- Die Kriterien und Maßstäbe für die Bewertung, z. B. ein Primärenergie-Kennwert.
- Grenzwerte, die auf jeden Fall eingehalten werden sollen, und ggf. Zielwerte, die angestrebt werden sollen.
- Methoden, mit denen die zu prüfenden Werte ermittelt werden, z. B. Rechenverfahren, Normen oder Simulationssoftware.

## Primärenergiebedarf

Als zentrales Kriterium für die Bewertung der energetischen Qualität von Bürogebäuden eignet sich der gesamte Jahres-Primärenergiebe-

darf für den Gebäudebetrieb (also einschließlich aller Verluste der Energiebereitstellung). Nach derzeitigem Stand der Technik kann man für Bürogebäude die Grenz- und Zielwerte des Primärenergiebedarfs-Kennwerts für Heizung, Beleuchtung, Lüftung, ggf. Kühlung und übriger Haustechnik etwa folgende Werte ansetzen:

$$\begin{aligned} \text{Grenzwert} &= 100 \text{ kWh}_{\text{prim}}/(\text{m}^2\text{a}) \\ \text{Zielwert} &= 75 \text{ kWh}_{\text{prim}}/(\text{m}^2\text{a}) \end{aligned}$$

Dabei kann der Heizenergiebedarf nach DIN EN 832 oder nach /7/ und der Energiebedarf der elektrischen Verbraucher nach /2/ ermittelt werden, wo auch die Umrechnung auf Primärenergie beschrieben ist. Als Bezugsfläche des Kennwerts dient die beheizte Nettogrundfläche (NGF). Bei einer Nutzungsdichte von 4 Personen pro 100 m<sup>2</sup><sub>NGF</sub> entsprechen die obigen Werte etwa 2.000 - 2.500 kWh<sub>prim</sub>/(Pers•a).

Der Einsatz von energieeffizienter Energieversorgung (z. B. mit gekoppelter Strom- und Wärmeerzeugung) oder die Nutzung regenerativer Energien (z. B. aktive Solartechnik) trägt dazu bei, den Primärenergiebedarf weiter zu verringern.

## Weitere Kriterien

Zusätzliche Anforderungen an die Wärmeschutz-Qualität des Baukörpers sind zu erwägen, da dessen Lebensdauer meist deutlich höher ist als diejenige aller technischen Einrichtungen. Mit heutiger Technik erreichbar ist hier etwa der Wärmeschutzstandard von Passivhäusern.

Als Kriterium für das thermische Innenklima kann eine Statistik der zu erwartenden Innentemperaturen dienen, insbesondere die Anzahl der Übertemperaturstunden pro Jahr, in denen eine Grenztemperatur von beispielsweise 26°C überschritten wird (s. 12). Eine Übersicht über die verschiedenen Methoden und Werkzeuge für die Bewertung ist in 9 zusammengestellt.

Werkzeug	Methode	Art der Ergebnisse	typische Anwendungen
DIN EN 832, SIA 380/1, LEG und Software dazu	Stationäre Wärmebilanz auf Jahres- oder Monatsbasis, teilw. Effizienzberechnung des Heizsystems	Heizwärmebedarf, jährlich oder monatlich, ggf. Endenergiebedarf für Heizung / Warmwasser	Beurteilen des Wärmedämmstandards, ggf. Beurteilen des Heizungssystems
Leitfaden Elektrische Energie (LEE), SIA 380/4	Energiematrix-Verfahren für elektrische Energie (stationär)	Elektrischer Energiebedarf nach Zonen und Dienstleistungen differenziert, zusammen mit LEG Primärenergiebedarf	Beurteilen aller elektrischen Energieverbraucher in Bürogebäuden
Thermische Gebäudesimulations-Software (BSim2000, DOE-2, ESP, TAS, TRNSYS, usw.)	Zeitabhängige (stündliche) Simulation des thermischen Gebäudeverhaltens, z. T. auch Anlagentechnik, Tageslicht, Strömung, usw.	Zeitliche Verläufe von Temperaturen, Feuchte, Heiz- und Kühlbedarf usw.	Beurteilen des thermischen Innenklimas, Optimieren der passiven Klimatisierung
DIN 5034	Näherungsweise Berechnung der Beleuchtungsstärke	Beleuchtungsstärke oder Tageslichtquotient	Beurteilen der Helligkeit am Arbeitsplatz
Tageslicht-Simulationssoftware (Adeline, Radiance, usw.)	Berechnung der Lichtausbreitung, z. T. photorealistisch	Lichtverteilungen, synthetische Photos, Kopplung mit künstlichem Licht	Beurteilen der gesamten Beleuchtungssituation

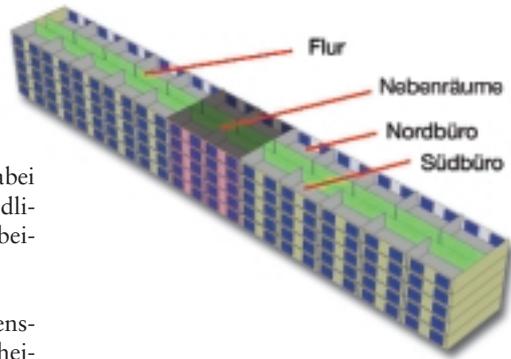
# Beispiel Simulation

Mit Simulationsrechnungen lässt sich der zukünftige Energiebedarf und das Temperaturverhalten eines Gebäudes bereits in der Planungsphase vorhersagen. Per Variantenvergleich kann so die energetisch wie ökonomisch interessanteste Lösung gefunden werden.

Aufgabe bei der Planung ist es, die im vorigen Abschnitt zusammengestellten qualitativen Planungsleitgedanken in konkrete Entscheidungen umzusetzen. Dabei muss immer wieder zwischen unterschiedlichen Aspekten abgewogen werden, wie beispielsweise:

- Wird durch eine Vergrößerung der Fensterfläche die Tageslichtnutzung so entscheidend verbessert, dass die höheren Raumtemperaturen im Sommer akzeptiert werden sollten?
- Kann bei Realisierung eines Erdreichwärmetauschers auf eine aktive Kühlung verzichtet werden?

Die Antworten auf diese Fragen hängen von den konkreten Randbedingungen ab und müssen für jedes Gebäude individuell gefunden werden. Nützlich sind dabei Simulationsrechnungen, mit denen unterschiedliche Varianten durchgespielt und die jeweils optimale Lösung identifiziert werden kann. Im Folgenden werden beispielhaft die Möglichkeiten einer Planungsunterstützung durch Simulationsrechnungen aufgezeigt. Bei den Ausführungen handelt es sich um eine Zusammenfassung der Studie /5/. Vorgestellt werden vier Ausführungsvarianten eines einfachen Beispielgebäudes (10), die hinsichtlich Primärenergiebedarf betrachtet und verglichen werden.



70 % auf  $75 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{NGFA}})$  gesenkt werden (im Unterschied zur Studie werden die Kennwerte hier mit der beheizten Nettogrundfläche gebildet). Im Folgenden wird kurz skizziert, wie die Einsparungen bei dem primärenergetisch optimierten Bürogebäude im Vergleich zum Standard-Bürogebäude erreicht werden. Erläuterungen zu den beiden anderen Ausführungsvarianten sind in der Studie nachzulesen.

10 Skizze des Beispielgebäudes.  
 Nettogrundfläche:  $4.400 \text{ m}^2$   
 Bruttogrundfläche:  $4.890 \text{ m}^2$   
 Fensterflächenanteil: 40%  
 Außenliegender Sonnenschutz

**Büro-Altbau:** repräsentiert ein bestehendes Bürogebäude mit einem Baujahr zwischen 1952 und 1977.

**Standard-Bürogebäude:** entspricht im Bereich des Baukörpers den Mindestanforderungen der Wärmeschutzverordnung 1995. Maßnahmen zum rationellen Stromeinsatz werden nicht ergriffen.

**Niedrigenergie-Bürogebäude:** stellt einen aus energetischer Sicht heute üblichen effizienten Standard dar.

**Primärenergetisch optimiertes Bürogebäude:** weist in den energierelevanten Punkten die besten heute auf dem Markt verfügbaren Effizienz-Standards auf (in /5/ als Passiv-Bürogebäude bezeichnet). Wie (11) zeigt, kann der Primärenergiebedarf durch die energetische Optimierung um über

## Heizung

Der Primärenergiebedarf zur Beheizung kann von  $75$  auf  $20 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{NGFA}})$  gesenkt werden. Erreicht wird dies durch den Einbau von Dämmstoffdicken zwischen  $30$  bis  $40 \text{ cm}$  und 3-fach Wärmeschutzverglasung in entsprechend hochwertigen Fensterrahmen. Belüftet wird das Gebäude über eine Zu- und Abluftanlage mit effizienter Wärmerückgewinnung und vorgeschaltetem Erdreichwärmetauscher. Vorausgesetzt wird in der Berechnung eine hohe Dichtigkeit der Gebäudehülle und die weitgehende Vermeidung von Wärmebrücken. Die Maßnahmen entsprechen damit den bei Passivhäusern üblichen Konstruktionsmerkmalen /10/.

## Warmwasser / Diverse Technik

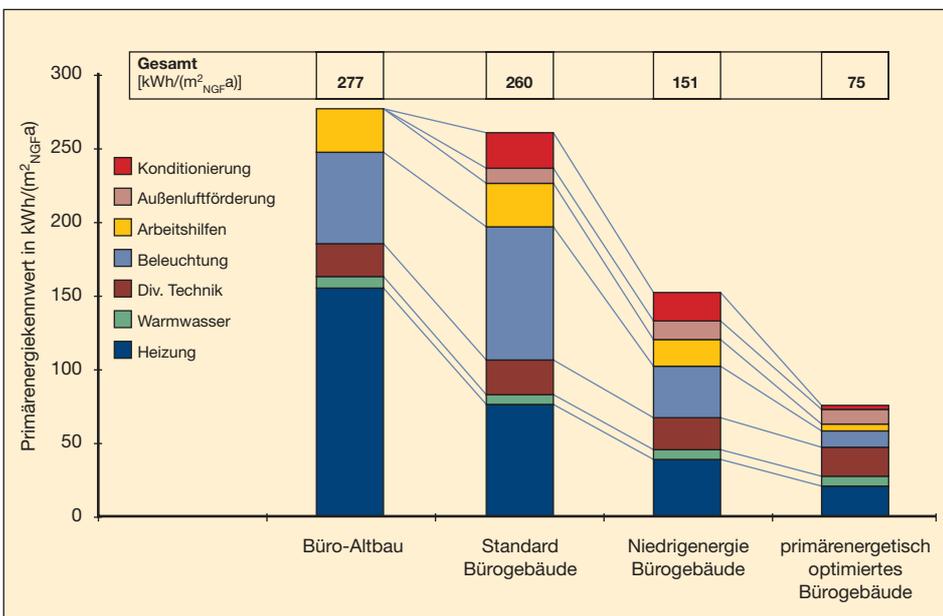
Diese beiden Positionen werden in den hier skizzierten Simulationsrechnungen nicht weiter betrachtet. In konkreten Projekten sollten jedoch diese Punkte in die Optimierung mit einbezogen werden. So kann z. B. der unter „diverse Technik“ verbuchte Stromverbrauch der Aufzüge durch ein einladendes, zentral im Gebäude angeordnetes Treppenhaus verringert werden /10/.

## Beleuchtung

Das Beispielgebäude weist bereits gute Tageslichteigenschaften auf. Erreicht wird dies durch

- sturzfreie Fenster,
- geringe Raumtiefen von  $4 \text{ m}$  und
- einen außen liegenden Sonnenschutz, der auch im geschlossenen Zustand ausreichend Tageslicht in die Büros lässt.

Diese Tageslichteigenschaften werden in der Simulation nicht verändert. Die Primärenergieeinsparung im Bereich der Beleuchtung beruht somit auf Verbesserungen beim Kunstlicht. Während im Standard-Bürogebäude ein kostengünstiges aber ineffizientes System eingesetzt wird, kommen bei der primärenergetisch optimierten Variante hochglanz-eloxierte Spiegelrasterleuchten mit elektronischem Vorschaltgerät in Kombination



11 Primärenergiekennwerte der untersuchten Ausführungsvarianten. Die ausführlichen Zahlenangaben sind /5/ zu entnehmen

mit Arbeitsplatzleuchten zum Einsatz. Eine Beleuchtungssteuerung schaltet die Deckenleuchten beim Überschreiten der Normbeleuchtungsstärke aus.

Dieses effiziente Beleuchtungssystem wird kombiniert mit einer Zonierung der Beleuchtungsstärke. So wird im primärenergetisch optimierten Gebäude über die Deckenleuchten lediglich eine Grundausleuchtung der Räume vorgenommen. Die auf der Arbeitsfläche erforderliche Beleuchtungsstärke von 500 Lux können die Mitarbeiter individuell über Arbeitsplatzleuchten realisieren. Mit einer derartigen Zonierung werden sowohl der Strombedarf als auch die Investitionskosten gesenkt. Sie ist insbesondere für Bildschirmarbeitsplätze geeignet.

### Arbeitshilfen

Die Primärenergieeinsparung wird durch effiziente Kopierer, Drucker und Fax sowie den Einsatz von Notebook-Computern mit TFT-Bildschirmen statt der heute noch üblichen Röhren-Monitore erreicht. In der Praxis kann zur Beschaffung stromsparender EDV-Arbeitshilfen die von der Gemeinschaft Energieclub Deutschland erstellte Produktliste /8/ herangezogen werden, in der Geräte aufgeführt sind, die gewisse Effizienzvorgaben erfüllen.

### Außenluftförderung

Der Primärenergieaufwand zur Außenluftförderung ist in beiden Varianten gering. Dies wird erreicht durch einen

- bedarfsgerechten Luftwechsel,
- ein Abschalten der Anlage außerhalb der Betriebszeit,
- einen geringen Strömungswiderstand des Kanalnetzes und
- effiziente Ventilatoren.

### Konditionierung

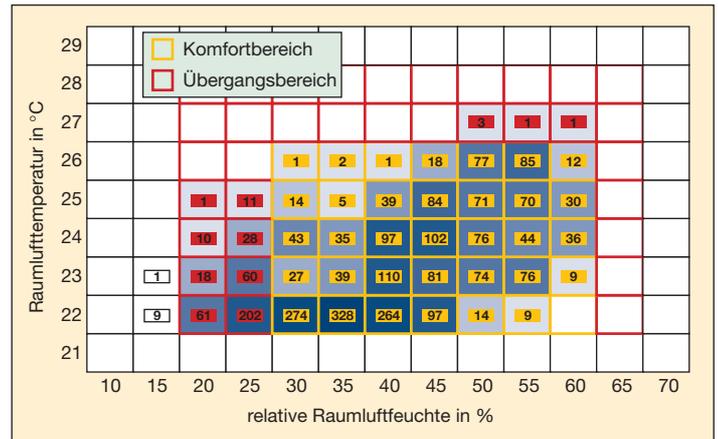
Im Standard-Bürogebäude ist ein Primärenergieaufwand von 24 kWh/(m<sup>2</sup><sub>NGFa</sub>) zur Be- und Entfeuchtung sowie zur Kühlung der Raumluft in den Büros erforderlich. Im primärenergetisch optimierten Gebäude wird auf eine Klimaanlage verzichtet. Trotzdem ist der Primärenergiekennwert Konditionierung nicht Null, da unter dieser Position auch der Aufwand zur Nachtlüftung und freien Kühlung verbucht wird.

Der Verzicht auf eine Klimaanlage hat Auswirkungen auf den Raumkomfort. Um diesen zu bewerten, werden die im Rahmen der Simulation für jede Stunde des Jahres berechneten Raumlufttemperaturen und Feuchtezustände statistisch ausgewertet. 12 zeigt die Stundenhäufigkeit unterschiedlicher Lufttemperatur-Feuchte-Paare in den Südbüros des primärenergetisch optimierten Gebäudes während der Nutzungszeit. Der Komfortbereich (gelb) ist in Anlehnung an die Anforderungen der DIN 1946-2 definiert. An ihn grenzt ein Übergangsbereich (rot), der Raumzustände umfasst, die kurzfristig akzeptiert werden können.

Aus 12 wird deutlich, dass der Komfort in den Südbüros weitgehend dem von klimatisierten Gebäuden entspricht. Zustände außerhalb des Übergangsbereiches treten nur an deutlich unter 1 % der Nutzungsstunden auf. Abweichungen vom engen Komfortbereich (gelb) ergeben sich überwiegend durch

zu geringe Werte der relativen Feuchte im Winter. Im Büroalltag wird die Feuchte durch Blumen oder Pflanzen in den Büros und die saisonale Feuchtespeicherung in den Bauteilen positiv beeinflusst.

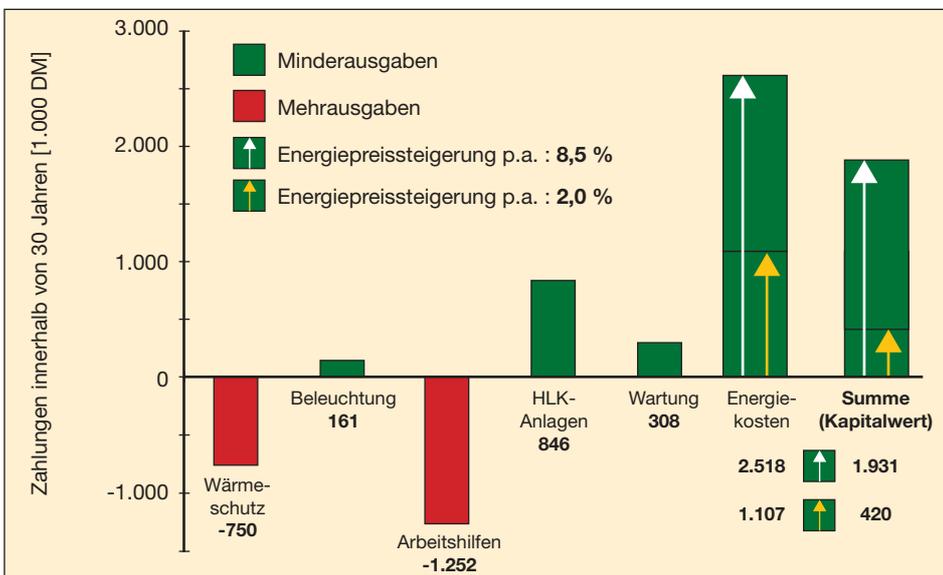
Überhitzungen in den Büros sind trotz des Verzichts auf eine aktive Kühlung nicht zu erwarten. Erreicht wird dies durch



12 Stundenhäufigkeit von Temperatur-Feuchte-Zuständen in den Südbüros des primärenergetisch optimierten Bürogebäudes (ohne Klimaanlage). Je dunkler die blauen Flächen umso größer ist die Stundenhäufigkeit.

- gute Tageslichtnutzung und ein effizientes Beleuchtungssystem,
- stromsparende EDV-Geräte,
- einen moderaten Fensterflächenanteil mit außen liegendem Sonnenschutz und
- große thermisch wirksame Speichermassen durch Verzicht auf abgehängte Decken.

Unter diesen günstigen Randbedingungen reicht die freie Kühlung über den Erdreichwärmetauscher sowie die Nachtlüftung aus, die Raumtemperaturen auch im Sommer insgesamt nur an fünf Stunden über 26°C ansteigen zu lassen. Der Verzicht auf eine Klimaanlage ist damit bei diesem hocheffizienten Gebäude ohne Komforteinbuße möglich.



13 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für das primärenergetisch optimierte Bürogebäude im Vergleich mit Standard-Bürogebäude. Betrachtungszeitraum 30 Jahre; Inflationsrate 2 % p.a.; Energiepreissteigerung 2 / 8,5 % p.a. (nominal); Steigerung Wartungskosten 2 % p.a. (nominal); Kalkulationszins 6 % p.a. (nominal); Strompreis 0,26 DM/kWh; Gaspreis 0,043 DM/kWh

### Ökonomische Bewertung

Neben der Frage der Energie und Ökologie spielen die Kosten für die Umsetzung eine entscheidende Rolle. Zur ökonomischen Bewertung werden die Mehr- bzw. Minderkosten der primärenergetisch optimierten Ausführungsvariante abgeschätzt. Hieraus wird unter Berücksichtigung der Ersatzbeschaffung und der Betriebskosteneinsparung der Kapitalwert für einen Zeitraum von 30 Jahren berechnet 13.

Wird die Summe über alle Zahlungen gebildet, ergeben sich in dem hier betrachteten Fall deutliche Minderausgaben. Diese liegen im Betrachtungszeitraum von 30 Jahren je nach Energiepreisentwicklung zwischen 400.000 DM und 2 Mio. DM. Die Umsetzung des primärenergetisch optimierten Standards ist damit für die hier getroffenen Annahmen nicht nur ökologisch sondern auch ökonomisch die bessere Variante.

# Demonstrationsgebäude

Inzwischen gibt es einige erfolgreiche energieeffiziente Bürogebäude. Im Rahmen des Förderprogramms SolarBau wird Planung, Bau und Betrieb dieser Gebäude wissenschaftlich begleitet.

## Förderprogramm Solar optimiertes Bauen (SolarBau)

Die Möglichkeiten und Vorteile einer primärenergetisch optimierten Planung müssen an konkreten Modellprojekten aufgezeigt werden. Hierzu hat das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie das Forschungsprogramm „Solar optimiertes Bauen“ gestartet. Im seinem Teilkonzept 3 werden Modellprojekte gefördert, in denen sowohl konventionelle Energiesparmaßnahmen als auch solare Techniken und besondere anlagentechnische Konzepte erprobt und demonstriert werden.

Die geförderten Gebäude müssen gewisse energetische Anforderungen erfüllen. So darf

der Heizwärmebedarf 40 kWh/(m<sup>2</sup>a) nicht überschreiten. Der spezifische Primärenergieaufwand für Heizung, Licht, Lüftung und Klima muss unter 100 kWh/(m<sup>2</sup><sub>NGF</sub> a) liegen.

Bei der Planung der Gebäude soll der Ansatz der integralen Planung umgesetzt und soweit möglich das im Kapitel „Beispiel Simulation“ gezeigte Optimierungsverfahren mittels Simulationsrechnungen und Variantenvergleich angewandt werden.

Nach Fertigstellung wird das Betriebsverhalten der Gebäude 2 Jahre lang messtechnisch erfasst. Auf diese Weise sollen praktische Erfahrungen mit dem Betrieb derart hocheffizienter Gebäude und den eingesetzten innovativen Techniken gewonnen werden.

Mit dem Begleitvorhaben SolarBau-Monitor wird ein Vergleich der einzelnen Gebäude ermöglicht. Hier werden Informationen aus allen Modellprojekten zentral gesammelt, wichtige Kenngrößen bestimmt, analysiert und dokumentiert. Die Erkenntnisse aus den Modellprojekten werden didaktisch aufbereitet und stehen den Hochschulen als Lehrmaterial aber auch interessierten Fachleuten für die eigene Weiterbildung zur Verfügung.

Drei Gebäude werden auf den weiteren Seiten detaillierter vorgestellt. Die Kurzdarstellung basiert dabei u.a. auf den im Rahmen von SolarBau-Monitor erstellten Projektportraits.

Weiterführende Informationen zu den Modellprojekten, vergleichende Darstellungen der Gebäude untereinander, Lehrmaterialien sowie weitere Hinweise zu dem Förderprogramm sind unter [www.solarbau.de](http://www.solarbau.de) zu finden oder bei BINE erhältlich /1/.

Das Forschungsprogramm „Solar optimiertes Bauen“ läuft noch bis zum Jahr 2005. Es soll um weitere interessante Projekte ergänzt werden.

## Geförderte Projekte in SolarBau



### Bürogebäude ECOTEC in Bremen

- Nettogrundfläche: 3.436 m<sup>2</sup>
- Fertig gestellt: 1997 ECOTEC 1  
1998 ECOTEC 2
- teilweise vermietet



### Bürogebäude DB Netz in Hamm, Westfalen

- Nettogrundfläche: 5.974 m<sup>2</sup>
- Fertig gestellt: 1999
- vermietet



### Informatikzentrum der TU Braunschweig

- Nettogrundfläche: 9.415 m<sup>2</sup>
- In Bau
- selbst genutzt



### Verwaltungsgebäude Wagner Solartechnik in Cölbe bei Marburg

- Nettogrundfläche: 1.948 m<sup>2</sup>
- Fertig gestellt: 1998
- selbst genutzt



### Fachhochschule Bonn-Rhein-Sieg in St. Augustin

- Nettogrundfläche: 26.987 m<sup>2</sup>
- Fertig gestellt: 1999
- selbst genutzt



### Produktions- und Verwaltungsgebäude der Firma SurTec in Zwingenberg

- Nettogrundfläche: 4.423 m<sup>2</sup>
- Fertig gestellt: 2000
- selbst genutzt



### Produktionshalle der Fa. Hübner in Kassel-Waldau

- Nettogrundfläche: 2.122 m<sup>2</sup>
- Fertig gestellt: 1998
- selbst genutzt



### Büro- und Laborgebäude der Gesellschaft für Innovation und Transfer in Siegen

- Nettogrundfläche: 3.300 m<sup>2</sup>
- In Planung
- selbst genutzt/  
vermietet



### Institutsgebäude des Zentrums für umweltgerechtes Bauen in Kassel

- Nettogrundfläche: 1.108 m<sup>2</sup>
- In Bau
- selbst genutzt



### Institutsgebäude Fraunhofer ISE in Freiburg

- Nettogrundfläche: 14.001 m<sup>2</sup>
- In Bau
- selbst genutzt



### Bürogebäude Lamparter in Weilheim

- Nettogrundfläche: beheizt: 1.000 m<sup>2</sup>
- Fertig gestellt: 1999
- selbst genutzt

## Verwaltungsgebäude Wagner & Co. Solartechnik GmbH

Das neue Verwaltungsgebäude der Firma Wagner & Co Solartechnik wurde im Herbst 1998 fertig gestellt und bezogen. Es weist eine beheizte Netto-Grundfläche von 1.948 m<sup>2</sup> auf und wird überwiegend als Büro genutzt. Dem Gebäudekonzept liegt die Idee des Passivhauses zugrunde. In der Planung wurde in einem ersten Schritt der Energiebedarf des Gebäudes soweit wie möglich reduziert. Im zweiten Schritt wurde dafür gesorgt, dass die noch benötigte Energie über möglichst effiziente Technik bereitgestellt wird.

Um den Energieaufwand zur Beheizung zu senken, weist das Gebäude Dämmstoffdicken von 30 bis 40 cm sowie Fenster mit 3-fach Wärmeschutzverglasung in hochgedämmten Rahmen auf. Die Frischluftversorgung geschieht über eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung und vorgeschaltetem Erdreichwärmetauscher. Der noch verbleibende Heizwärmebedarf von 11 kWh/(m<sup>2</sup>a) wird durch ein Blockheizkraftwerk und eine thermische Solaranlage sehr effizient gedeckt. Die große Solaranlage ist dabei auch Teil der Produktpräsentation des Bauherrn. Für

geringe Stromverbräuche sorgt eine gute Tageslichtausleuchtung, der Einsatz einer stromsparenden Beleuchtungsanlage sowie effiziente Lüftungstechnik. Sommerliche Überhitzungen können durch Nachtlüftung in Verbindung mit zugänglichen Speichermassen und dem Erdreichwärmetauscher weitgehend vermieden werden.

### ■ Planungsverfahren

Es wurde bereits frühzeitig ein Planungsteam aus Bauherrn, Architekt, TGA-Fachplaner und Energiespezialist gebildet (integrale Planung). Thermische Simulationen unterstützten die Entscheidungsfindung. Im Lauf der Planungsphase wurde die energetische Qualität des Gebäudes vom Niedrigenergie- bis auf Passivhaus-Niveau verbessert.

### ■ Betriebserfahrung

Das Gebäude wird seit Ende 1998 genutzt. Die bisherigen Erfahrungen sind sehr positiv. Die Mitarbeiter loben die gute Luft (Lüftungsanlage), die hellen Räume (Tageslichtausleuchtung) und die angenehm kühlen Temperaturen im Sommer. Die Firmenleitung ist erfreut über das positive Interesse der Öffentlichkeit, da hiermit ein Werbeeffekt für die Firma verbunden ist.

Die Auswertung der Messdaten ist noch

nicht abgeschlossen. Erste Bilanzen zeigen aber, dass die projektierten Werte weitgehend erreicht werden. Der gemessene Heizwärmeverbrauch von 12,5 kWh/(m<sup>2</sup><sub>NGFa</sub>) stimmt mit dem berechneten Wert von 11 kWh/(m<sup>2</sup><sub>NGFa</sub>) gut überein. Der Stromverbrauch der Lüftungsanlage wurde mit 5,8 kWh/(m<sup>2</sup><sub>NGFa</sub>) gemessen.

Bei der Inbetriebnahme des Gebäudes wurde deutlich, dass die Einstellung der frei programmierbaren DDC-Regelung eine gewisse Zeit in Anspruch nimmt. Die Standardprogramme der Hersteller konnten für den besonderen Anwendungsfall nur bedingt übernommen werden. Anpassungen waren z. B. im Bereich der Leistungsregelung der Heizregister erforderlich. Sorgfalt wurde zudem auf die Einstellung der Beleuchtungsregelung gelegt. Der Sollwert wurde für jeden Sensor je nach Positionierung und Raumsituation individuell eingestellt.

### ■ Bauwerkskosten

Trotz des hohen energetischen Standards und zusätzlicher Komponenten liegen die spezifischen Kosten unter einem für Bürogebäude mit mittlerer Ausstattung typischen Wert von 2.800 DM/m<sup>2</sup><sub>NGFa</sub> (BKI, /10/).

## Energetischer Gebäudesteckbrief

■ Standort	Zimmermannstr. 12, 35091 Cölbe (Marburg)
■ Architektur	Architekt Stamm, Schweinsberg
■ Energiekonzept	Passivhaus-Institut, Darmstadt
■ Ansprechpartner	Herr Schweitzer, Fa. Wagner & Co, Cölbe
■ Monitoring	Universität Marburg, Fachbereich Physik
■ Baujahr	1998
■ beh. Nettogrundfläche	1.948 m <sup>2</sup>
■ A/V	0,36 m <sup>-1</sup>
■ Ergebnis Drucktest	n <sub>50</sub> = 0,4 h <sup>-1</sup>
■ zugängliche Speichermassen	Decke, Fußboden, Innenwände
■ Sonnenschutz	außen

Bauteil	Dämmstoffstärke	U-Wert
Außenwand	30 cm	0,13 W/m <sup>2</sup> K
Dach	40 cm	0,11 W/m <sup>2</sup> K
Bodenplatte	30 cm	0,14 W/m <sup>2</sup> K
Fenster	g = 0,46	0,80 W/m <sup>2</sup> K

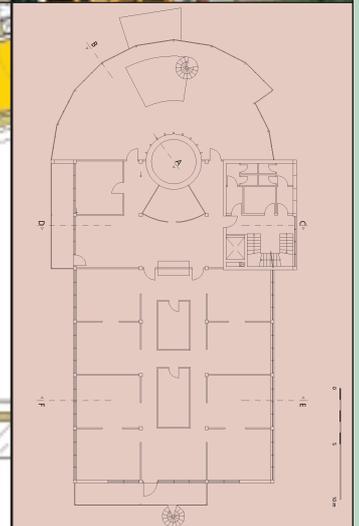
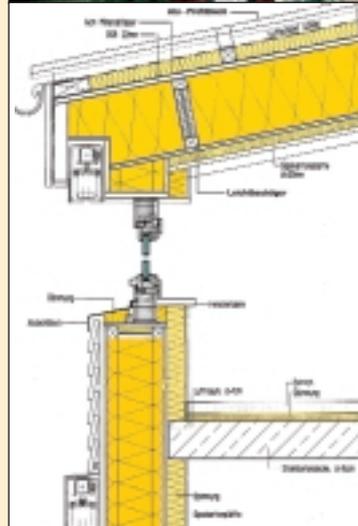
**Tageslicht:** Deckenbündiges Oberlichtband, teiltransparente Türen zum Flur

**Kunstlicht:** Spiegelrasterleuchten mit EVG, tageslichtabhängige Dimmung auf 500 Lux (Arbeitsfläche)

**Heizung:** Blockheizkraftwerk (12 kW<sub>therm.</sub>, 5 kW<sub>elektrisch</sub>), thermische Solaranlage (65 m<sup>2</sup>) mit Saison-Speicher (85 m<sup>3</sup>), Wärmeverteilung über Lüftungsanlage

**Lüftung:** Konstantvolumenstromanlage, Luftwechsel 0,3 - 1 h<sup>-1</sup>, Unterscheidung zwischen Zuluft-, Überström- und Ablufträumen, Wärmerückgewinnung mit 80%. Erdreichwärmetauscher: 4 Rohre mit je 32 m Länge. Nachtauskühlung: freie Auftriebslüftung (Fensteröffnungsmotoren)

**Regelung:** DDC-Anlage und Bussystem zur Regelung von Lüftungsanlage, Solaranlage, Heizregister, BHKW, Beleuchtung, Sonnenschutz und Nachtlüftung



Kosten *	
KG 300	1.970 DM/m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub>
** KG 400	490 DM/m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub>
KG 300 + 400	2.460 DM/m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub>

\* KG nach DIN 276; brutto  
\*\* Die Kosten für die technische Anlage (KG 400) umfassen u. a. die thermischen Solaranlage und das BHKW.

## Passiv-Bürohaus Lamparter

Das Passiv-Bürohaus Lamparter wurde im Winter 1999 fertig gestellt. Die beheizte Netto-Grundfläche des Gebäudes beträgt 1.000 m<sup>2</sup>. Auch diesem Gebäude liegt die Idee des Passivhauses zugrunde. So sind Dämmstoffdicken von 24 bis 35 cm realisiert und die Fenster mit 3-fach Wärmeschutzverglasungen ausgerüstet, wobei konventionelle Holzrahmen verwendet wurden. In Verbindung mit einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung und vorgeschaltetem Erdreichwärmetauscher unterschreitet der berechnete Heizwärmebedarf den zulässigen Wert der Wärmeschutzverordnung um 51%. Die Verteilung der Heizwärme geschieht über die Lüftungsanlage, so dass auf Heizkörper verzichtet werden konnte. Zur guten Tageslichtausleuchtung sind die Fenster mit einem deckenbündigen Oberlichtband ausgerüstet. In Verbindung mit an die Belichtungssituation angepassten Bürotiefen und einem außen liegenden Sonnenschutz, dessen Lamellenstellung im Bereich des Oberlichtbandes gesondert gewählt werden kann, können die Büros tagsüber weitgehend ohne zusätzliches Kunstlicht genutzt werden. Neben einem angenehmen Arbeits-

klima werden hierdurch geringe Einschaltzeiten der Beleuchtung erreicht. In Verbindung mit einem effektiven Beleuchtungssystem und einer tageslichtgeführten Beleuchtungsregelung wird ein geringer Stromverbrauch für die Beleuchtung sicher gestellt.

Das Gebäude ist mit einer kleinen thermischen Solaranlage für Warmwasser und einer Photovoltaikanlage ausgerüstet. Die Photovoltaikanlage deckt etwa 50% des Stromverbrauchs von Beleuchtung und Lüftung. Ein derart hoher Deckungsanteil ist möglich, da in einem ersten Schritt der entsprechende Stromverbrauch so weit wie möglich gesenkt wurde.

### Planungserfahrung

Der Planung ging ein Wettbewerb voraus, in dem der Passivhausstandard als Anforderung gestellt wurde. So wurden von Anfang an die Weichen für einen hohen energetischen Standard, geringe Kosten und einen hohen Nutzungskomfort gestellt.

Bereits in der Entwurfsphase zog der Architekt den Statiker und Fachplaner für die technische Gebäudeausrüstung hinzu (integrale Planung). Auch hier wurden die Planungsentscheidungen durch thermische Simulationsrechnungen unterstützt.

Das realisierte Konzept zur Nachtauskühlung im

Sommer warf Fragen des Brandschutzes auf, die zur Nachrüstung einer Sprinkleranlage führten.

### Betriebserfahrung

Das Gebäude wird seit Dezember 1999 genutzt. Die Mitarbeiter sind mit dem Gebäude zufrieden. Die Messungen erlauben eine erste Hochrechnung des Stromverbrauchs: Beleuchtung etwa 5 kWh/(m<sup>2</sup><sub>NGF</sub> a), mechanische Lüftung etwa 6 kWh/(m<sup>2</sup><sub>NGF</sub> a). Damit wird ein sehr effizienter Standard erreicht.

Bei der Einstellung der Regelung waren die aufgezeichneten Messdaten hilfreich. So wurde z. B. festgestellt, dass Heizung und Nachtlüftung gegeneinander arbeiteten. Wenn in einer Hitzeperiode am Morgen die Temperatur in den Büros aufgrund einer erfolgreichen Nachtlüftung kurzzeitig unter dem Sollwert lagen, sprang die Heizung an und führte dem Gebäude unerwünscht Wärme zu. Einmal erkannt, konnte dies sehr einfach vermieden werden.

### Kosten

Aufgrund des rationellen Projektcontrollings des Bauherrn liegen die Kosten trotz des verbesserten energetischen Standards und der aktiven Solartechnik in einem sehr günstigen Bereich.

## Energetischer Gebäudesteckbrief

■ Standort	Bahnhofstraße 4, 73235 Weilheim a. d. Teck
■ Architektur	Werkgemeinschaft Maier, Weinbrenner, Single; Nürtingen
■ Energiekonzept	Fraunhofer ISE, Gruppe Solares Bauen, Freiburg
■ Ansprechpartner	Herr Kuckluck-Rothfuß, Ingenieur- und Vermessungsbüro Hans Lamparter GbR, Weilheim a. d. Teck
■ Monitoring	Fachhochschule für Technik, Stuttgart, Fachbereich Bauphysik
■ Baujahr	1999
■ beh. Nettogrundfläche	1.000 m <sup>2</sup>
■ A/V	0,30 m <sup>-1</sup>
■ Ergebnis Drucktest	n <sub>50</sub> = 0,4 h <sup>-1</sup>
■ zugängliche Speichermassen	Decke, Fußboden
■ Sonnenschutz	außen

Bauteil	Dämmstoffstärke	U-Wert
Außenwand	24 cm	0,15 W/m <sup>2</sup> K
Dach	35 cm	0,10 W/m <sup>2</sup> K
Kellerdecke	18 cm	0,16 W/m <sup>2</sup> K
Fenster	g = 0,6	1,1 W/m <sup>2</sup> K

### Tageslicht:

Deckenbündiges Oberlichtband, zweigeteilter Sonnenschutz, Lichtschwert außen, Oberlichtband zwischen Büro und Flur, Atrium mit Dachfenster

### Kunstlicht:

Pendelleuchten mit Spiegelraster und EVG, Tageslichtabhängige Dimmung auf 500 Lux (Arbeitsfläche)

### Heizung:

Gasbrennwertgerät mit 18 kW, Wärmeverteilung über Lüftungsanlage

### Lüftung:

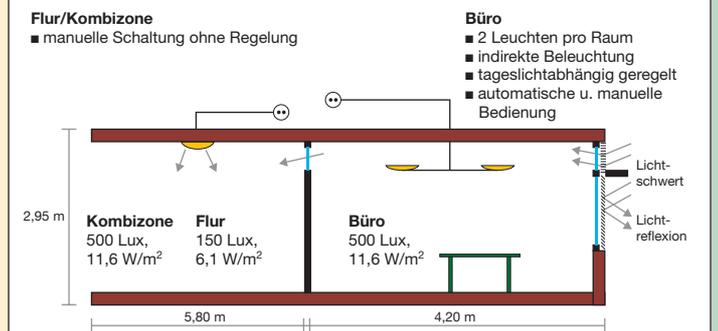
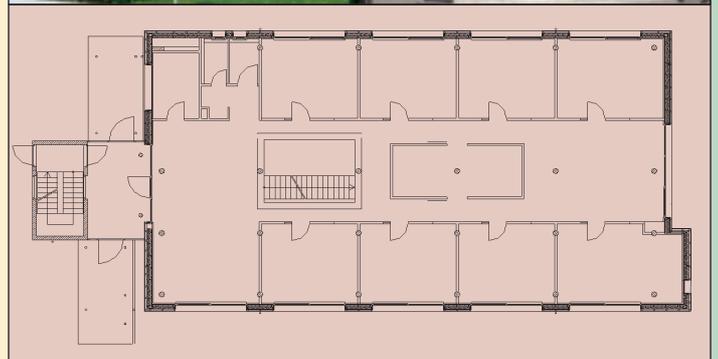
Konstantvolumenstromanlage, Luftwechsel 2000 m<sup>3</sup>/h, Aufteilung in Zuluft-, Überström- und Ablufträume, Wärmerückgewinnung mit 85%, Erdreichwärmetauscher: 2 Rohre mit je 90 m Länge, Nachtauskühlung über freie Auftriebslüftung

### Regelung:

EIB für Sonnenschutz, Beleuchtung; DDC für Lüftungsanlage, Nachtlüftung, Heizung

### Besonderheit:

PV-Anlage (Solarstrom) mit 8 kW<sub>p</sub>, kleine thermische Solaranlage (4 m<sup>2</sup>) für Warmwasser



Kosten *	
KG 300	1.675 DM/m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub>
KG 400	280 DM/m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub>
KG 300 + 400	1.955 DM/m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub>

\* KG nach DIN 276; brutto

## Verwaltungsgebäude der Deutschen Bahn Netz AG

Das Verwaltungsgebäude der Deutschen Bahn Netz AG wurde im Winter 1999 fertig gestellt. Die beheizte Netto-Grundfläche beträgt 5.974 m<sup>2</sup>. Der energetische Planungsansatz für das Gebäude hatte zum Ziel, eine weitgehend natürliche Beleuchtung und Belüftung zu ermöglichen.

Die Belüftung der außenliegenden Büros und der Büros zum Atrium geschieht im Regelfall durch manuelles Öffnen der Fenster. Im Atrium sorgen automatisch geregelte Klappen für den erforderlichen Luftaustausch. Falls im Sommer die Gefahr von Überhitzungen besteht, können Büros und Atrium sowohl tags wie auch nachts über die Lüftungsanlage mit kühler Zuluft versorgt werden. Die Abluft wird in dem Fall über die Fenster oder die Atriumsklappen abgeführt. Die Kühlung der Zuluft geschieht über den 1,8 km langen Erdreichwärmetauscher. In Verbindung mit ausreichenden Speichermassen sowie geringen internen (Licht) und externen (Sonne) Wärmelasten können zu warme Temperaturen im Sommer weitgehend vermieden werden.

Um eine gute natürliche Beleuchtung zu erreichen, sind die Raumtiefen auf die entsprechenden Tageslichtverhältnisse angepasst. Die Lamellenstellung des außen liegenden Sonnenschutzes kann in zwei Bereichen getrennt eingestellt werden, so dass auch im geschlossenen Zustand natürliches Licht in die Büros gelangt.

Die Tageslichtversorgung der an das Atrium grenzenden Büros wird verbessert, indem als Verglasung für das Atriumdach ein Sonnenschutzglas mit hoher Lichttransmission gewählt und die Galerien im Atrium als Gitterroste ausgeführt sind.

Der Dämmstandard der Gebäudehülle liegt über den Anforderungen der Wärmeschutzverordnung. In Verbindung mit der kompakten Bauweise und einer Wärmerückgewinnung kann der berechnete Heizwärmebedarf unter den erforderlichen Grenzwert von 40 kWh/(m<sup>2</sup><sub>NGF</sub>a) gesenkt werden.

### Planungserfahrung

Besonders hervorzuheben ist die Organisationsform, in der das Gebäude geplant und gebaut wurde. Das Grundstück inklusive einer ersten Vorplanung wurde von der DB Immobilien AG an einen Investor verkauft, der den Bau des Gebäudes übernahm. Seit Fertigstellung vermietet der Investor das Gebäude an die DB Netz AG. In der Planungsphase nahm der spätere Nutzer/Mieter die Bauherrenaufgabe wahr und sicherte gewisse energetische Standards. Dabei wurden die erforderlichen Planungsentscheidungen durch thermische und Tageslichtsimulationen unterstützt. In der Ausführungsphase hatten energetische Aspekte hingegen einen geringeren Stellenwert. Hier stand die Einhaltung des Kosten- und Zeitplanes im Vordergrund. Deutlich wurde, dass bei einer solchen Planungskonstellation das Interesse des Nutzers an geringen Betriebskosten mit dem

Interesse des Generalübernehmers an geringen Investitionskosten und einem ungestörten Bauablauf kollidieren kann. Nachträgliche Änderungen sind in der Ausführungsphase wegen der hierdurch hervorgerufenen Zeitverzögerung nur sehr schwer durchzusetzen - insbesondere wenn sie allein energetisch motiviert sind. So wurden in den Außenbüros Fenster mit dicken und dunklen Rahmen eingebaut, obwohl dies die Tageslichtsituation verschlechtert. Nachteilig war auch die Kombination von indirekt strahlenden Pendelleuchten mit der grauen Sichtbetondecke.

### Betriebserfahrung

Das Gebäude wird seit Dezember 1999 genutzt. Aussagen über den gemessenen Energieverbrauch liegen noch nicht vor.

Die Inbetriebnahme des Gebäudes, insbesondere die Einstellung der Regelung stellte auch bei diesem Projekt einen nennenswerten Aufwand dar. So wurde z. B. das Atrium, obwohl als Pufferraum vorgesehen, in den ersten Monaten auf 20°C geheizt. Der Heizenergieverbrauch lag entsprechend höher.

Sehr hilfreich für die Einstellung der Regelung sind die in dem Gebäude laufenden Messungen. Hierdurch können die Auswirkungen der aktuellen Regelstrategie im Zeitverlauf analysiert und die entsprechenden Optimierungen vorgenommen werden. Die Messdaten sowie weitere Angaben zum Gebäude sind im Internet zugänglich unter [www.fbta.uni-karlsruhe.de/dbhamm](http://www.fbta.uni-karlsruhe.de/dbhamm).

### Energetischer Gebäude Steckbrief

■ Standort	Wilhelmstr. 4; 59067 Hamm	
■ Architektur	Architrav Architekten, Karlsruhe	
■ Energiekonzept/ Monitoring	TH Karlsruhe, Fachgebiet Bauphysik und Technischer Ausbau	
■ Ansprechpartner	Herr Ahrens, DB Netz AG, Duisburg	
■ Baujahr	1999	■ beh. Nettogrundfläche 5.974 m <sup>2</sup>
■ A/V	0,24 m <sup>-1</sup>	■ Ergebnis Drucktest liegt noch nicht vor
■ zugängliche Speichermassen	Decke, Fußboden, Innenwände	
■ Sonnenschutz	außen und innen	

Bauteil	Dämmstoffstärke	U-Wert
Außenwand	15 cm	0,25 W/m <sup>2</sup> K
Dach	27 cm	0,14 W/m <sup>2</sup> K
Kellerdecke	8 cm	0,52 W/m <sup>2</sup> K
Fenster	g = 0,62	1,3 W/m <sup>2</sup> K

### Tageslicht:

Geringe Raumtiefen von 4 m; Zweigeteilter Sonnenschutz; Belichten der innenliegenden Büros über Atrium. Atrium mit Sonnenschutzglas. Gitterroste als Galerien im Atrium.

### Kunstlicht:

Leuchtstofflampen mit EVG, tageslichtabhängige Dimmung in den Atrium-Büros, tageslichtabhängiges Schalten in außen liegenden Büros

### Heizung:

Gasbrennwertgerät mit 460 kW, Wärmeeinbringung über Heizkörper

### Lüftung:

Kombination von Fenster- und mechanischer Lüftung, Wärmerückgewinnung (Kreislaufverbundsystem), Erdreichwärmetauscher: 26 Rohre, insgesamt 1.800 m, Nachtauskühlung über mechanische Lüftung (Zuluft)

### Regelung:

EIB-Anlage für Sonnenschutz, Beleuchtung, und Luftklappen, DDC-Anlage für Regelung von Lüftung, Heizung, Kühlung, Messdatenerfassung



Kosten *	
KG 300	1.520 DM/m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub>
KG 400	690 DM/m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub>
KG 300 + 400	2.210 DM/m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub>

\* KG nach DIN 276; brutto

# Fazit

Energetisch optimierte Bürogebäude mit einem Primärenergiekennwert unter  $100 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{NGF}} \text{ a})$  können mit heute am Markt verfügbarer und in der Praxis erprobter Technik gebaut werden. Bei sorgfältiger Planung entstehen Gebäude mit hohem Nutzungskomfort und geringen Betriebskosten.

Die Modellprojekte des Förderprogramms „Solar optimiertes Bauen“ und andere erfolgreiche Demonstrationsgebäude zeigen, dass auch bei hohem energetischen Standard niedrige Bauwerkskosten realisiert werden können. Werden die Einsparungen bei Wartungs- und Energiekosten mit berücksichtigt, sind diese hocheffizienten Gebäude konventionellen Gebäuden wirtschaftlich überlegen.

Notwendig für den Bau solcher Gebäude ist ein kooperativer und integraler Planungsansatz, bei dem Bauherr, Architekt und Fachingenieure bereits in einem frühen Stadium ein engagiertes Planungsteam bilden. Zu Beginn der Planung sollten energetische Ziele definiert werden. Die konkreten Planungsentscheidungen müssen in Bezug auf ihre energetische Auswirkungen bewertet und regelmäßig mit den Zielen verglichen werden.

Ein ökonomisch und ökologisch sinnvolles Vorgehen bei der Planung besteht darin, zunächst den Energiebedarf des Gebäudes

möglichst weitgehend zu reduzieren (z. B. Tageslichtnutzung, Dämmung, passive Solarenergienutzung, kompakte Bauform) und dann in einem zweiten Schritt den verbleibenden Bedarf möglichst effizient bereitzustellen (z. B. effiziente Beleuchtung, Heizung, Lüftung). Ist ein effizienter Standard erreicht, kann die Einbindung von regenerativen Energien eine sinnvolle Ergänzung zur weiteren Reduktion des Primärenergieverbrauchs darstellen. Die Erfahrung zeigt, dass thermische oder lichttechnische Simulationsrechnungen energetische Planungsentscheidungen gut vorbereiten und untermauern können.

Nach Fertigstellung des Gebäudes muss sichergestellt werden, dass die Konzepte aus der Planung auch im praktischen Betrieb des Gebäudes umgesetzt werden. Insbesondere das Einstellen der Regelung ist wichtig. Die messtechnische Erfassung und Dokumentation des Betriebsverhaltens (Energie-Controlling) ist dabei ein nützliches Hilfsmittel um eventuelle Probleme erkennen und beheben zu können.

## Projektdokumentation

/1/ Ein 80-seitiges Journal zu den inhaltlichen Fragestellungen und mit ausführlicher und praxisnaher Darstellung der Projekte des Förderprogramms SolarBau ist für DM 28,- gegen Rechnung bei BINE erhältlich.

## Literaturverzeichnis

- /2/ Hessisches Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft und Forsten, Wiesbaden (Hrsg.): Leitfaden Elektrische Energie im Hochbau (LEE). 2000. 112 S. + CD ROM.
- /3/ Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie; Planungs-Büro Schmitz, Aachen: Energiegerechtes Bauen und Modernisieren. Grundlagen und Beispiele für Architekten, Bauherren und Bewohner. Hrsg.: Bundesarchitektenkammer. Basel (Schweiz) : Birkhäuser, 1996. 216 S. + CD ROM.
- /4/ Feist, W.; Borsch-Laaks, R.; Werner, J.: Das Niedrigenergiehaus. Energiesparkonzept im Wohnungsbau. Heidelberg : C. F. Müller, 1998. 240 S.
- /5/ Knissel, J.: Energieeffiziente Büro- und Verwaltungsgebäude. Hinweise zur primärenergetischen und wirtschaftlichen Optimierung. Hrsg.: Institut Wohnen und Umwelt GmbH, Darmstadt, Dez. 1999. 125 S.
- /6/ Walthert, R.; Bush, E.; Humm, O.: Strom rationell nutzen. Umfassendes Grundlagenwissen und praktischer Leitfaden zur rationellen Verwendung von Elektrizität. Zürich (Schweiz) : Verlag der Fachvereine, 1992. 312 S.
- /7/ Loga, T.; Imkeller-Benjes, U.: Energiepass Heizungs-Warmwasser. Energetische Qualität von Baukörper und Heizungssystem. Hrsg.: Institut für Wohnen und Umwelt GmbH, Darmstadt, 1997. 75 S.
- /8/ Gemeinschaft Energielabel Deutschland (Hrsg.): Liste stromsparender Geräte. Vertrieb: Gemeinschaft Energielabel Deutschland c/o Impulsprogramm Hessen, Annastr. 16, 64285 Darmstadt.
- /9/ Wagner, A.: Energieeffiziente Fenster und Verglasungen. Ein BINE-Informationspaket. Hrsg.: Fachinformationszentrum Karlsruhe GmbH. Köln: TÜV Verlag, Dez. 2000. 120 S.

## Ergänzende Informationen

/10/ Weitere Informationen, Adressen und eine Linkliste zum Thema sind bei BINE oder im Internet unter <http://bine.fiz-karlsruhe.de> (Service/InfoPlus) abrufbar

## Projektorganisation

### Förderung der Vorhaben

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi),  
Villemombler Straße 76, 53123 Bonn

### Projektbegleitung im Auftrag des BMWi

Projekträger Biologie, Energie, Umwelt (BEO)  
Forschungszentrum Jülich GmbH  
Dr. Hans-Georg Bertram, 52425 Jülich

### Projektadressen SolarBau MONITOR

INTERNET  
[www.solarbau.de](http://www.solarbau.de)

KOORDINATION, DOKUMENTATION  
UND ANALYSE  
Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme,  
Dr. Karsten Voss, Oltmannsstr. 5,  
79100 Freiburg

KOMMUNIKATION  
solidar Architekten und Ingenieure, Dr. Löhnert,  
Forststr. 30, 12163 Berlin

LEHRE, AUS- UND WEITERBILDUNG  
TU Karlsruhe, Fachgebiet Bauphysik und  
Technischer Ausbau, Prof. Andreas Wagner,  
Englerstr. 7, 76128 Karlsruhe

### Förderkennzeichen

0335006D, 0335006 J, L, R

## Impressum

### ISSN

1436-2066

### Herausgeber

Fachinformationszentrum Karlsruhe,  
Gesellschaft für wissenschaftlich-technische  
Information mbH,  
76344 Eggenstein-Leopoldshafen

### Nachdruck

Nachdruck des Textes nur zulässig mit vollständiger Quellenangabe und gegen Zusendung eines Belegexemplares. Nachdruck der Abbildungen nur mit Zustimmung des jeweils Berechtigten.

### Autoren

Dr. Detlef Hennings und Jens Knissel,  
Institut Wohnen und Umwelt (IWU), Darmstadt

### Redaktion

Johannes Lang

### Kontakt

Weitere Informationen zu diesem Thema erhalten Sie bei BINE. Wenden Sie sich an die untenstehende Adresse, wenn Sie vertiefende Informationen, spezielle Auskünfte, Adressen etc. benötigen, oder wenn Sie allgemeine Informationen zum energie- und umweltgerechten Planen und Bauen wünschen.



# BINE

Informationsdienst

Fachinformationszentrum Karlsruhe  
Meckenstraße 57, 53129 Bonn  
Tel. 0228 / 9 23 79 0  
Fax 0228 / 9 23 79 29  
eMail [bine@fiz-karlsruhe.de](mailto:bine@fiz-karlsruhe.de)  
Internet: <http://www.bine.info>