

Das Passiv-Bürogebäude

Energiespartechniken um 70 % gegenüber einer konventionellen Ausführung gesenkt werden. Aber auch für den Investor ist ein derartig energieeffizientes Gebäude interessant. Durch den hohen Effizienz-Standard kann auf bestimmte Komponenten wie z.B. die Klimaanlage verzichtet werden. Eine Wirtschaftlichkeitsrechnung zeigt, dass das "Passiv-Bürogebäude" in dem untersuchten Fall betriebswirtschaftlich rentabel ist.

Doch nicht nur die Umwelt profitiert von einem solchen primär-energetisch optimierten Bürogebäude - im Weiteren als Passiv-Bürogebäude bezeichnet. Auch für den Investor ist ein derartiges Objekt interessant. Der Grund: Durch den hohen Effizienz-Standard kann auf bestimmte Komponenten, wie z. B. die Klimaanlage, verzichtet werden. Eine Wirtschaftlichkeitsberechnung zeigt, dass die Ausführung des hier betrachteten Beispielgebäudes als Passiv-Bürogebäude nicht nur ökologisch sinnvoll, sondern auch betriebswirtschaftlich rentabel ist.

Im Bereich der Wohngebäude wurde bereits im Jahr 1991 mit dem Bau des ersten Passivhauses in Mitteleuropa die Machbarkeit einer entscheidenden Energieeinsparung aufgezeigt [1; 2]. Bis heute sind bereits über 200 Passiv-Wohneinheiten mit Erfolg errichtet worden.

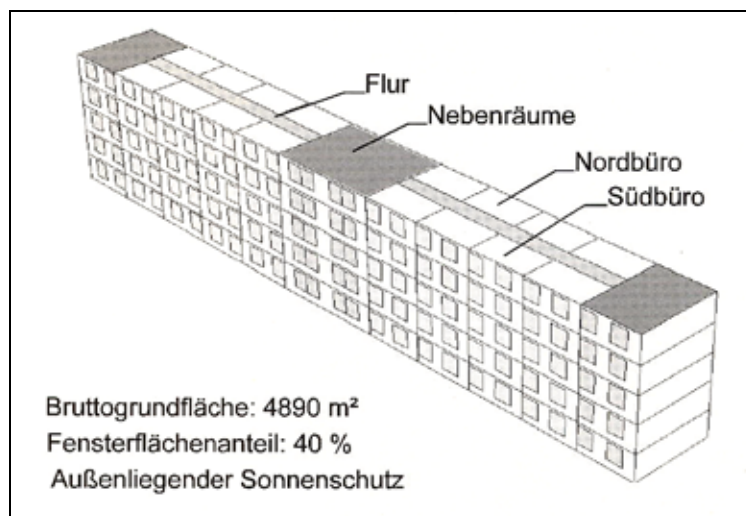


Bild 1 Skizze des untersuchten Beispielgebäudes

In der hier vorgestellten Studie [3] wird untersucht, ob eine derartige Effizienzsteigerung auch bei Büro- und Verwaltungsgebäuden realisierbar ist und welche Auswirkungen sich auf Energiebedarf und Kosten ergeben. Hierzu wird der Energiebedarf eines Beispielgebäudes (Bild 1) für fünf unterschiedliche energetische Ausführungsvarianten berechnet. Zwei der fünf untersuchten Varianten werden im Folgenden vorgestellt:

- Das Standard-Bürogebäude^{klim} (klim. = klimatisiert) entspricht im Bereich des Baukörpers den Mindestanforderungen der Wärmeschutzverordnung 1995. Maßnahmen zum rationellen Stromeinsatz werden nicht ergriffen.
- Das Passiv-Bürogebäude weist in den energierelevanten Punkten die besten heute auf dem Markt verfügbaren Effizienz-Standards auf.

Das Beispielgebäude hat einen einfachen Rechteckgrundriss mit innen liegendem Flur. Für die Berechnung wird zwischen den Bereichen Nord-Büro, Süd-Büro, Flur und Nebenräume unterschieden (Bild 1). Die jeweiligen Flächenanteile entsprechen den mittleren Werten für Verwaltungsgebäude nach VDI 3807 Teil 1. Die nach Norden und Süden orientierten Hauptfassaden weisen einen Fensterflächenanteil von 40 % auf. Bei Bedarf können die Fenster über einen außen liegenden Sonnenschutz verschattet werden.

Die wichtigsten energierelevanten Kenndaten sind in **Tabelle 1** für das Passiv-Bürogebäude und das Standard-Bürogebäude^{klim} zusammengestellt. Differenzen ergeben sich im Bereich des Baukörpers, der Nutzung und der Anlagentechnik.

	Standard-Bürogebäude^{klim.}	Passiv-Bürogebäude
Baukörper		
Dämmung Außenwand	6 cm	30 cm
Dämmung Dach	12 cm	40 cm
Dämmung Kellerdecke	4 cm	30 cm
Fenster-k-Wert	1,8 W/(m ² K)	0,78 W/(m ² K)
g-Wert Verglasung	0,63	0,49
abgehängte Decke	ja	nein
Dichtheit der Gebäudehülle	normal	sehr dicht
Nutzung in den Büros (innerhalb/außerhalb der Betriebszeit)		
Minimale Raumtemperatur	22°C/15°C	22°C/15°C
Maximale Raumtemperatur	26°C	unbegrenzt
Minimale relative Feuchte	30 %	unbegrenzt
Maximale absolute Feuchte	11,5 g/kg	unbegrenzt
Abwärme in den Büros (Maximale Leistungsaufnahme)		
Beleuchtung	27,1 W/m ²	6,2 W/m ²
Arbeitshilfen	14,5 W/m ²	2,6 W/m ²
Personen	5,7 W/m ²	5,7 W/m ²
Summe	47 W/m²	14 W/m²
Anlagentechnik		
Anlagen-Luftwechsel (Büro)	1,3 h ⁻¹	1,3 h ⁻¹ – 3 h ⁻¹
Wärmerückgewinnung	keine	Wärme- und Feuchte
Erdreichwärmetauscher	keiner	2 mal 90 Meter
aktive Kühlung	Kühldecke	keine
Befeuchtung	Dampfbefeuchter	keine
Entfeuchtung	Entfeuchtungskühler	keine

Tabelle 1 Zusammenstellung der wichtigsten energetischen Kenndaten des Standard-Bürogebäudes^{klim} und des Passiv-Bürogebäudes

Die Temperaturen und Feuchtezustände in den Büros, Fluren und Nebenräumen sowie der Energiebedarf wird mit Hilfe von Simulationsrechnungen bestimmt. Verwendet wird das dynamische Gebäude- und Anlagensimulationsprogramm TAS. Die in TAS benutzten Modelle zur Berechnung des thermischen Verhaltens von Gebäuden sind in [4] und [5] dokumentiert. Die Zuverlässigkeit des Programms wurde in [6] durch den Vergleich der Simulationsergebnisse mit unter gleichen Randbedingungen gemessenen Temperaturen belegt.

Als Klimarandbedingung für die Berechnung werden die Wetterdaten des Testreferenzjahres Nr. 6 (Frankfurt am Main) verwendet.

Definition der Primärenergiekennwerte

Für die energetische Optimierung müssen die Abhängigkeiten und Rückkopplungen im Gebäude, insbesondere zwischen Baukörper und Anlagentechnik berücksichtigt werden. Dies erfordert eine gemeinsame Bewertung des Brennstoff- und des Strombedarfs über Primärenergiekennwerte. Primärenergiekennwerte berücksichtigen neben der direkt im Gebäude verbrauchten Endenergie auch den Energieaufwand zur Bereitstellung der Energieträger (Strom, Brennstoff). Betrachtet wird dabei die gesamte vorgelagerte Prozesskette, d.h. Gewinnung, Wandlung und Transport. Dies ist insbesondere bei Strom von Bedeutung, da dieser in Kraftwerken mit relativ hohen Verlusten (etwa 60 %) aus Brennstoffen wie z. B. Kohle oder Gas erzeugt (besser: gewandelt) wird. Rechnerisch geschieht die Umrechnung von End- auf Primärenergie durch Primärenergiefaktoren. Die verwendeten Faktoren sind in Tabelle 2 angegeben. Sie wurden mit dem Programm Gemis [7] ermittelt.

	Gas	Strom-Mix
Primärenergiefaktor $\text{kWh}_{\text{Prim}}/\text{kWh}_{\text{End}}$	1,07	2,97

Tabelle 2 Verwendete Primärenergiefaktoren nach [7]

Der gesamte Energiebedarf eines Gebäudes setzt sich aus einer Vielzahl von unterschiedlichen Einzelpositionen zusammen. Um die Verbrauchsstruktur darzustellen, werden die einzelnen Positionen entsprechend den Empfehlungen des Schweizerischen Ingenieur- und Architekten-Vereins SIA 380/4 zusammengefasst. Die Systematik wurde in Deutschland durch den Leitfaden Elektrische Energie [8] vom Hessischen Umweltministerium eingeführt und wird u. a. bei den Bundesbauvorhaben in Berlin angewendet. Der gesamte Energiekennwert des Gebäudes wird danach in die in Tabelle 3 dargestellten Teilenergiekennwerte untergliedert. Die Untergruppen werden dabei als Energiedienstleistungssysteme bezeichnet.

Energiedienstleistungssystem		Untergruppen	
Heizung	P_H	–	
Warmwasser	P_{ww}	–	
Diverse Technik	P_{DT}	<ul style="list-style-type: none"> • Hilfsenergie Heizung/Warmwasser • Transport (ein Lift je 1500 m²) • Verluste (Transformatoren, ...) • Kommunikation (Telefonzentrale) 	$P_{DT,H}$ $P_{DT,T}$ $P_{DT,V}$ $P_{DT,K}$
Beleuchtung	P_{BL}	Beleuchtungsanlage	
Arbeitshilfen	P_{AH}	Computer, Drucker, Kopierer, etc.	
Außenluftzufuhr	P_{AL}	<ul style="list-style-type: none"> • Luftförderung • Hilfsbetriebe, Bereitschaftsverbrauch 	$P_{AL,L}$ $P_{AL,H}$
Raumkonditionierung	P_{KO}	<ul style="list-style-type: none"> • Luftförderung freie Kühlung, Nachtlüftung • Hilfsbetriebe, Bereitschaftsverbrauch • Kälteerzeugung • Befeuchtung • Entfeuchtung 	$P_{KO,L}$ $P_{KO,H}$ $P_{KO,K}$ $P_{KO,BF}$ $P_{KO,EF}$
Zentrale Dienste	P_{ZD}	EDV-Zentrale, etc.	

Tabelle 3 Definition der verwendeten Energiekennwerte

In dem hier untersuchten Beispielgebäude setzt sich der Brennstoffbedarf aus dem Aufwand zur Heizung und Erzeugung des *Warmwassers* zusammen.

Während der Heizenergiebedarf über Simulationsrechnungen bestimmt wird, wird der Energiebedarf zur Warmwassererzeugung als konstanter Wert entsprechend der SIA 380/1 angesetzt und im Folgenden nicht weiter optimiert.

Unter der Rubrik *Diverse Technik* wird der Strombedarf von haustechnischen Komponenten zusammengefasst, die nicht gesondert ausgewiesen werden. Hierzu zählt der Stromverbrauch der Heizungspumpen und -regelung, der Strombedarf der Aufzüge, die Verluste in den Transformatoren und Kabeln sowie der Strombedarf der Telefonanlage. Die Werte werden entsprechend den einfachen Berechnungsansätzen der SIA 380/4 (1992) festgesetzt und ebenfalls in der hier durchgeführten Berechnung nicht weiter optimiert.

Der Strombedarf der Beleuchtung und der Arbeitshilfen wird auf der Grundlage konkreter Systeme und empirisch ermittelter Volllaststunden bestimmt. Er wird in den Simulationsrechnungen über Tagesprofile abgebildet, die die tageszeitlichen und saisonalen Schwankungen berücksichtigen.

Der Energieaufwand zur Außenluftförderung wird im Rahmen der Anlagensimulation ermittelt. Das Gleiche gilt für den Strombedarf zur Raumkonditionierung. Unter der letztgenannten Position wird der Energiebedarf zur freien Kühlung, zur Nachtlüftung, zur Kälteerzeugung, zur Be- und Entfeuchtung sowie der Energiebedarf der erforderlichen Hilfsantriebe zusammengefasst.

Ein Strombedarf für Zentrale Dienste (z.B. EDV-Zentrale) wird in dem hier untersuchten Fall nicht angenommen.

Primärenergie- und CO₂-Einsparung

Unter Verwendung der erläuterten Randbedingungen wird für das Beispielgebäude mit Hilfe von Simulationsrechnungen der jährliche Primärenergiebedarf bestimmt. Den Primärenergiekennwert für beide Gebäudevarianten sowie die Aufteilung auf die entsprechenden Teilenergiekennwerte zeigt Bild 2.

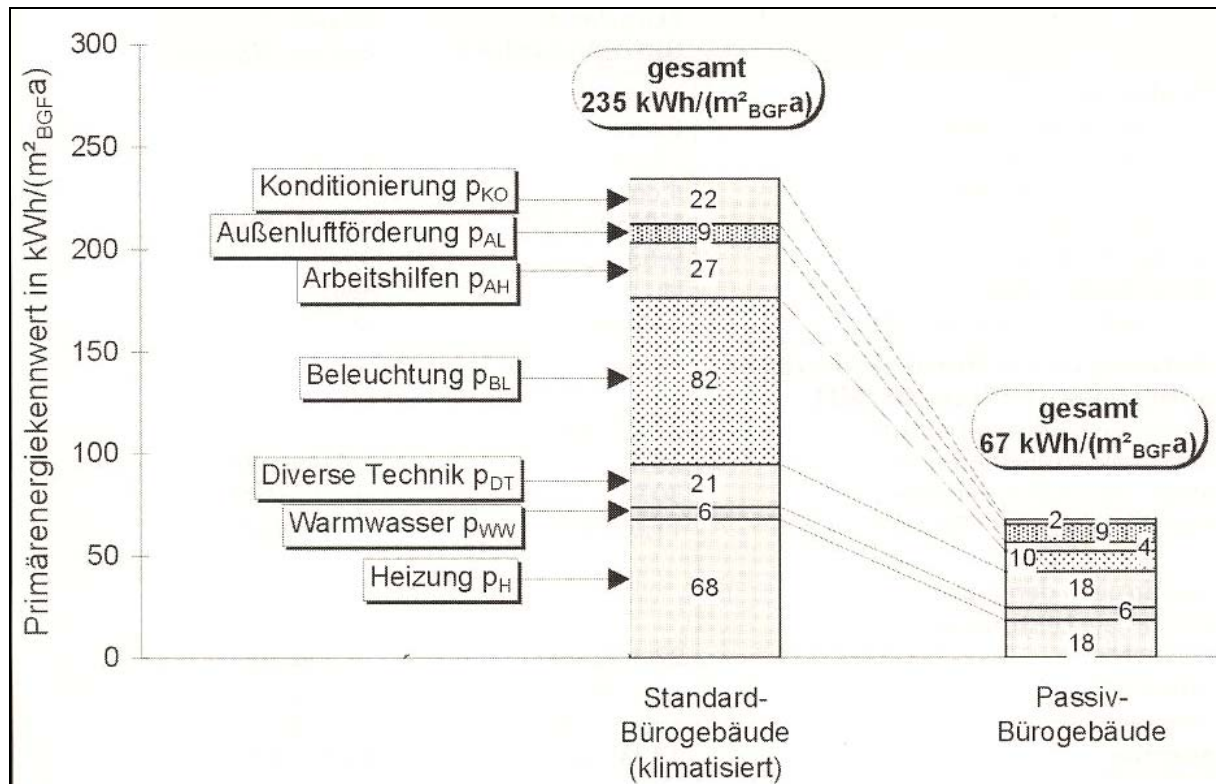


Bild 2 Primärenergiekennwerte für das Standard- und das Passiv-Bürogebäude

Der Primärenergiebedarf kann für das untersuchte Beispielgebäude von 235 kWh/(m²a) auf 67 kWh/(m²a) gesenkt werden. Dies entspricht einer Reduktion um etwa 70 %. Im Folgenden wird kurz skizziert, wie die Einsparungen erreicht werden. Eine ausführliche Darstellung findet sich in [3].

Heizung

Der Primärenergiebedarf zur Beheizung des Passiv-Bürogebäudes beträgt nur noch 18 kWh/(m²_{BGFA}). Ein derart niedriger Wert wird durch den Einbau von Dämmstoffdicken zwischen 30 cm bis 40 cm, die Verwendung von 3-fach-Wärmeschutzverglasung in entsprechend hochwertigen Fensterrahmen und eine Lüftungsanlage mit effizienter Wärmerückgewinnung und vorgeschaltetem Erdreichwärmetauscher erreicht. Erforderlich ist zudem eine hohe Dichtheit der Gebäudehülle und die Vermeidung von Wärmebrücken. Diese Konstruktionsmerkmale entsprechen weitgehend den in [1] für Wohngebäude beschriebenen Anforderungen an ein Passivhaus. Gegenüber dem Standard-Bürogebäude^{klim} reduziert sich der Primärenergiekennwert Heizung um ca. 80 %.

Warmwasser

Der Warmwasserbedarf wird an dieser Stelle nicht weiter untersucht, da er in Bürogebäuden eine untergeordnete Rolle spielt. Für beide Varianten wird ein konstanter Wert von 6 kWh/(m² BGFa) angenommen. In konkreten Projekten sollte untersucht werden, ob auf eine Warmwasserversorgung nicht komplett verzichtet oder der Energiebedarf über eine thermische Solaranlage reduziert werden kann.

Diverse Technik

Auch diese Verbrauchsposition wird nicht weiter optimiert. Die leichte Reduktion ergibt sich durch einen geringeren Stromverbrauch der Heizungsumwälzpumpen sowie die Reduktion der elektrischen Verluste in den Transformatoren und Stromleitungen. Während die Position "Diverse Technik" beim Standard-Bürogebäude^{klim} noch eine untergeordnete Bedeutung hat, nimmt sie beim Passiv-Bürogebäude mit einem Anteil von über 25 % am gesamten Primärenergiekennwert eine relevante Größenordnung an. Bei der Umsetzung konkreter Bauprojekte sollte auch dieser Bereich unter Energiegesichtspunkten optimiert werden. So kann der Stromverbrauch der Aufzüge beispielsweise reduziert werden, indem ein einladendes, zentral gelegenes Treppenhaus vorgesehen wird.

Beleuchtung

Im Bereich der Beleuchtung werden etwa 50 % der gesamten Primärenergieeinsparung erzielt. Erreicht wird der geringe Primärenergiebedarf zum einen durch den Einsatz eines effizienten Beleuchtungssystems. Es kommen hochglanz-eloxierte Spiegelrasterleuchten mit elektronischem Vorschaltgerät und Leuchtstofflampen in Stabform zum Einsatz. Eine Beleuchtungssteuerung schaltet die Lampen beim Überschreiten der Normbeleuchtungsstärke aus.

Zum anderen werden die Einsparungen über eine Zonierung der Beleuchtungsstärke erreicht [9]. Während im Standard-Bürogebäude^{klim} die gesamte Bürofläche mit 500 Lux ausgeleuchtet wird, ist in den Büros des Passiv-Bürogebäudes lediglich eine Grundausleuchtung mit 220 Lux vorgesehen. Die auf der Arbeitsfläche erforderliche Beleuchtungsstärke von 500 Lux können die Mitarbeiter je nach individuellen Erfordernissen über Arbeitsplatzleuchten realisieren. Mit einer derartigen Zonierung können sowohl der Strombedarf als auch die Investitionskosten gesenkt werden. Ein solches Konzept geht konform mit den Vorgaben des europäischen Normentwurfs E-DIN 5034-2; 1996-06, und ist besonders für Bildschirmarbeitsplätze geeignet [10].

Arbeitshilfen

Als Computer werden im Passiv-Bürogebäude Notebooks eingesetzt. Diese haben wegen des LCD-Bildschirms und der eingesetzten effizienten Komponenten einen geringen Stromverbrauch. Aber auch die anderen Bürogeräte weisen eine hohe Energieeffizienz auf. Für Kopierer, Drucker und Fax wird ein Stromverbrauch angenommen, der 75 % der GED-Grenzwerte von 1998 [11] entspricht. Zur Erläuterung: Die Gemeinschaft Energielabel Deutschland "GED" erstellt jährlich eine Liste von Produkten, die gewisse Effizienzvorgaben erfüllen.

Die geforderten Verbrauchsgrenzwerte sind dabei so gewählt, dass sie von 25 % aller ausgewerteten Produkte erreicht bzw. unterschritten werden. Durch den Einsatz der stromsparenden Geräte kann der Primärenergiekennwert von 27 kWh/(m²_{BGFA}) beim Standard-Bürogebäude^{klim} auf 4 kWh/(m²_{BGFA}) reduziert werden.

Außenluftförderung

Der Primärenergieaufwand zur Außenluftförderung unterscheidet sich zwischen den beiden Varianten nur wenig. So entfallen zwar beim Passiv-Bürogebäude die Strömungswiderstände der Heiz- und Kühlregister, es kommen aber mit dem Erdreichwärmetauscher und der Wärmerückgewinnung weitere Strömungswiderstände hinzu. Entscheidenden Einfluss auf den Stromverbrauch der Ventilatoren hat im vorliegenden Fall die Dimensionierung der Lüftungstechnischen Komponenten. Die Konstantvolumenstromanlage des Standard-Bürogebäudes^{klim} ist auf den Luftwechsel in den Büros von $n = 1,3 \text{ h}^{-1}$ ausgelegt. Im Passiv-Bürogebäude sind die Lüftungstechnischen Komponenten entsprechend dem maximal möglichen 3-fachen-Luftwechsel (Büros) größer dimensioniert. Da aber auch im Passiv-Bürogebäude in der Regel nur der Mindestluftwechsel von $n = 1,3 \text{ h}^{-1}$ gefördert wird, läuft diese Anlage überwiegend im Teillastbetrieb. Hieraus resultieren geringe Strömungsgeschwindigkeiten, was sich positiv auf den Stromverbrauch der Ventilatoren auswirkt.

Konditionierung

Im Standard-Bürogebäude^{klim} ist ein Primärenergieaufwand von 23 kWh/ (m²_{BGFA}) zur Be- und Entfeuchtung sowie zur Kühlung der Raumluft in den Büros erforderlich. Im Passiv-Bürogebäude kann auf diese Luftbehandlungsfunktionen verzichtet werden, da hier der Raumkomfort auch ohne anlagentechnische Maßnahmen weitgehend im gewünschten Bereich bleibt (siehe Bild 3).

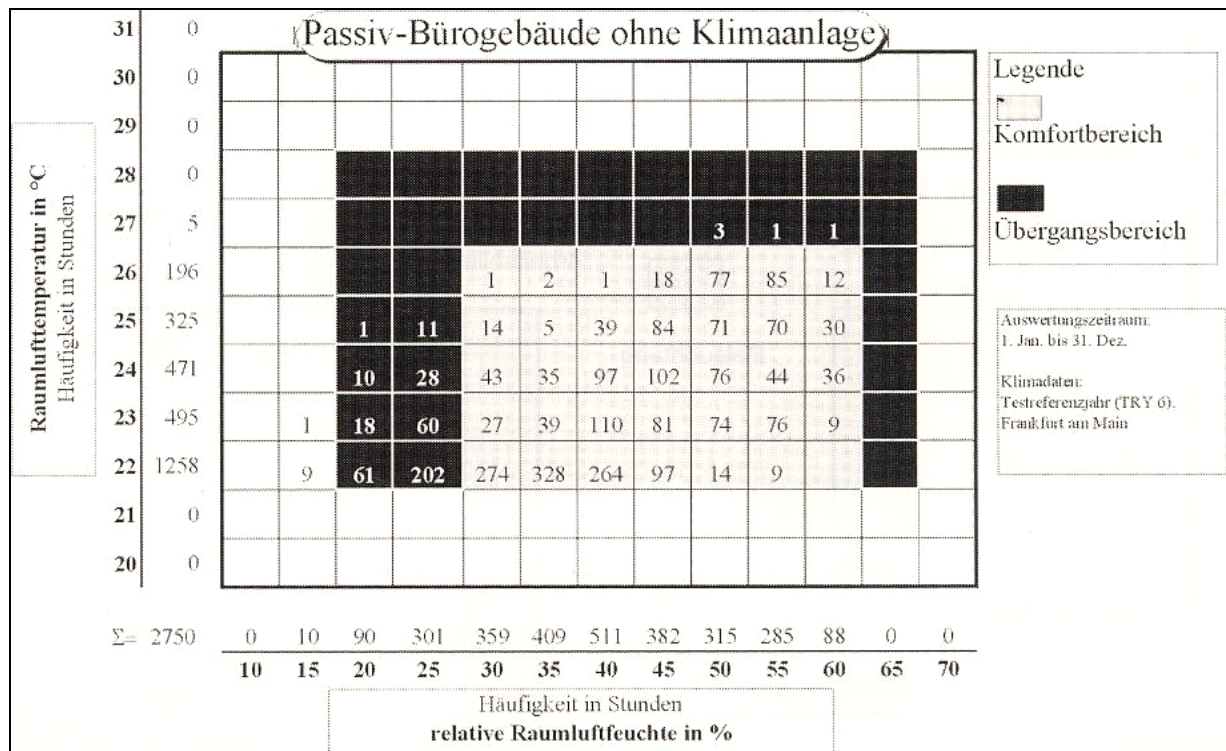


Bild 3 Raumkomfort während der Nutzungszeit in den Südbüros des Passiv-Bürogebäudes

Die statt der Dampfbefeuchtung eingesetzte Feuchterückgewinnung erzeugt keinen zusätzlichen Energiebedarf, da der Druckverlust des Rotationswärmetauschers bereits unter der Position Außenluftförderung berücksichtigt ist. Trotz des Verzichts auf eine Klimaanlage ist der Primärenergiekennwert Konditionierung beim Passiv-Bürogebäude nicht Null, da unter dieser Position auch der Aufwand zur Nachtlüftung und freien Kühlung verbucht wird.

Die Primärenergieeinsparung bewirkt eine Entlastung der Umwelt von CO₂-Emissionen sowie anderen klimarelevanten Gasen wie z. B. Methan oder Lachgas. Eine gemeinsame Bewertung des Treibhauspotentials dieser unterschiedlichen Emissionen ist über das CO₂-Äquivalent möglich. Hierbei wird die Schädlichkeit aller klimarelevanten Gase auf die Schädlichkeit von CO₂ umgerechnet. Durch Summenbildung ergibt sich eine CO₂-Emission, die in Bezug auf den Treibhauseffekt der Wirkung aller klimarelevanten Gase entspricht. Die angenommenen CO₂-Faktoren [7] sowie die Einsparung zeigt Tabelle 4.

	End-Energiebedarf kWh _{End} /a		CO ₂ -Äquivalent Faktor kg/kWh _{End}	CO ₂ -Äquivalent Emissionen kg _{CO₂-Äquivalent} /a	
	Standard-BG	Passiv-BG		Standard-BG	Passiv-BG
Gas	337.341	107.558	0,232	78.000	25.000
Strom	268.895	73.335	0,669	180.000	49.000
Summe ca.				258.000	74.000
vermiedene jährliche CO₂-Äquivalent Emissionen beim Passiv-Bürogebäude				184.000	

Tabelle 4 Vermiedene jährliche äquivalente CO₂-Emissionen

Im vorliegenden Fall wird die Umwelt durch das Passiv-Bürogebäude von 184 Tonnen CO₂-Emissionen pro Jahr entlastet.

Raumkomfort im Passiv-Bürogebäude

Wird im Passiv-Bürogebäude auf eine aktive Kühlung, Be- und Entfeuchtung verzichtet, ergeben sich Auswirkungen auf den Raumkomfort. Um diese zu bewerten, werden die im Rahmen der Simulation für jede Stunde des Jahres berechneten Raumlufttemperaturen und Feuchtezustände statistisch ausgewertet. Bild 3 zeigt die Stunden-Häufigkeit unterschiedlicher Lufttemperatur-Feuchte-Paare in den Südbüros während der Nutzungszeit.

Um die Bewertung der Ergebnisse zu erleichtern, sind in Bild 3 unterschiedliche Behaglichkeitsbereiche eingetragen. Der Komfortbereich wurde in Anlehnung an die Anforderungen der DIN 1946-2 definiert. An ihn grenzt ein Übergangsbereich. Dieser umfasst Raumzustände, die aufgrund der differenzierten Definition der Behaglichkeitskriterien in der DIN 1946 Teil 2 (z. B. gleitende Raumtemperatur für hohe Außentemperaturen) je nach Randbedingungen innerhalb oder knapp außerhalb des Komfortbereichs liegen, aber auf jeden Fall kurzfristig akzeptiert werden können.

Der Komfort in den Südbüros entspricht weitgehend den Anforderungen an ein klimatisiertes Gebäude. Zu 75 % der Zeit liegen die Raumluftzustände in dem Komfortbereich, zu 25 % im Übergangsbereich. Zustände außerhalb des Übergangsbereiches treten nur an wenigen Stunden auf. Der Anteil an der gesamten Nutzungszeit liegt

deutlich unter 1 %. Abweichungen vom Komfortbereich ergeben sich hauptsächlich durch zu geringe Werte der relativen Feuchte im Winter. Auch durch die Feuchterückgewinnung kann die relative Feuchte nicht in jedem Fall in dem gewünschten Bereich gehalten werden.

In der Realität wird die feuchtetechnische Situation im Winter durch Blumen oder Pflanzen in den Büros und die saisonale Feuchtespeicherung in den Bauteilen positiv beeinflusst. Beide Effekte sind in der Simulation nicht berücksichtigt, so dass die hier dargestellten Ergebnisse als konservative Berechnung angesehen werden können.

Überhitzungen ergeben sich in den Büros des Passiv-Bürogebäudes trotz des Verzichts auf eine aktive Kühlung nicht. Erreicht wird dies durch den Einsatz eines effizienten Beleuchtungssystems, stromsparende EDV-Arbeitshilfen, einen moderaten Fensterflächenanteil und einen außen liegenden Sonnenschutz. Mit diesen Maßnahmen wird die in den Büros freigesetzt Abwärme insbesondere im Sommer auf ein Minimum reduziert. Positiv wirkt sich zudem aus, dass in den Büros auf eine abgehängte Decke verzichtet wird. Hierdurch vergrößert sich die thermisch aktive Speichermasse und Temperaturspitzen können abgepuffert werden. Unter diesen günstigen Randbedingungen reicht die freie Kühlung über den Erdreichwärmetauscher sowie die Nachtlüftung aus, die Raumtemperaturen auch im Hochsommer nur an fünf Stunden über 26 °C ansteigen zu lassen. Die Raumtemperaturen im Passiv-Bürogebäude entsprechen damit weitgehend den Anforderungen an ein klimatisiertes Gebäude.

Ökonomische Bewertung

Zur ökonomischen Bewertung des Passiv-Bürogebäudes wird der Kapitalwert für

- die investiven Mehr- und Minderausgaben einschließlich der Ersatzinvestitionen nach Ablauf der jeweiligen Lebensdauer,
- die Energiekosteneinsparung und
- die verringerten Wartungskosten bestimmt.

Es wird ein Betrachtungszeitraum von 30 Jahren angenommen. Die Vorzeichen der Investitionsbeträge werden dabei wie folgt festgelegt:

- Minderausgaben: positiver Zahlenwert,
- Mehrausgaben: negativer Zahlenwert.

In den Geldbeträgen ist die gesetzliche Mehrwertsteuer nicht enthalten, d. h. sie sind als Netto-Beträge zu interpretieren.

Der Kapitalwert ist die Summe aller Zahlungen in einem Betrachtungszeitraum (Einnahmen sowie Ausgaben). Dabei werden die einzelnen Zahlungen nicht mit ihrem Nominalbetrag berücksichtigt, sondern mit dem Kapitalzins auf den Anfangszeitpunkt zurückgerechnet (diskontiert). Ist der Kapitalwert positiv, ist die Investition rentabel, ist er negativ, ist sie unrentabel.

Um die Transparenz zu erhöhen, werden bei der Bewertung der Wirtschaftlichkeit des Passiv-Bürogebäudes die einzelnen Kostenpositionen (z. B. baulicher Wärmeschutz oder jährliche Energieeinsparung) getrennt bestimmt und erst am Schluss durch Summenbildung der Kapitalwert der Gesamtinvestition ermittelt.

Betrachtungszeitraum	30 Jahre
Inflationsrate	2 % p.a.
Energiepreissteigerung	2 % p.a. (nominal)
Steigerung der Wartungskosten	2 % p.a. (nominal)
Kalkulationszins	6 % p.a. (nominal)
Strompreis	0,26 DM/kWh
Gaspreis	0,043 DM/kWh

Tabelle 5 Randbedingungen der Wirtschaftlichkeitsrechnung

Die Randbedingungen der Wirtschaftlichkeitsberechnung können der Tabelle 5 entnommen werden. Es sei darauf hingewiesen, dass die Energiepreise lediglich analog der Inflationsrate ansteigen. Dies ist für einen Betrachtungszeitraum von 30 Jahren eine konservative Annahme, da durch eine Energiesteuer oder die zumindest langfristig zu erwartende Verknappung der Ressourcen ein realer Anstieg der Energiepreise sehr wahrscheinlich ist.

Mehr- bzw. Minder-Investitionen im ersten Jahr		
	DM	Lebensdauer
Baulicher Wärmeschutz	-750.000	30
Beleuchtung	103.000	15
Arbeitshilfen	-320.000	5
HLK-Anlage*	542.000	15
Summe	-425.000	

* Heizungs-, Lüftungs- und Klima-Anlage

jährliche Minderausgaben	
	DM/a
Stromkosten	51.000
Gaskosten	10.000
Wartungskosten	17.000
Summe	78.000

Tabelle 6 Mehr- bzw. Minderausgaben für Passiv-Bürogebäude

Die investiven Mehr- bzw. Minderausgaben werden in [3] über Kostenschätzungen quantifiziert. zeigt die Ergebnisse dieser Kostenschätzungen sowie die jeweils angenommene Lebensdauer. Nach Ablauf der Lebensdauer müssen Ersatzinvestitionen in Höhe der Investitionskosten (real) aufgebracht werden.

Die jährlich eingesparten Strom-, Brennstoff- und Wartungskosten zeigt Tabelle 6. Die Wartungskosten werden dabei analog der VDI 2067 mit 2,5 % der Investitionskosten berücksichtigt.

Eine grafische Darstellung der sich unter diesen Randbedingungen für einen Betrachtungszeitraum von 30 Jahren berechnenden Zahlungen sowie den Kapitalwert der Gesamtinvestition zeigt Bild 4.

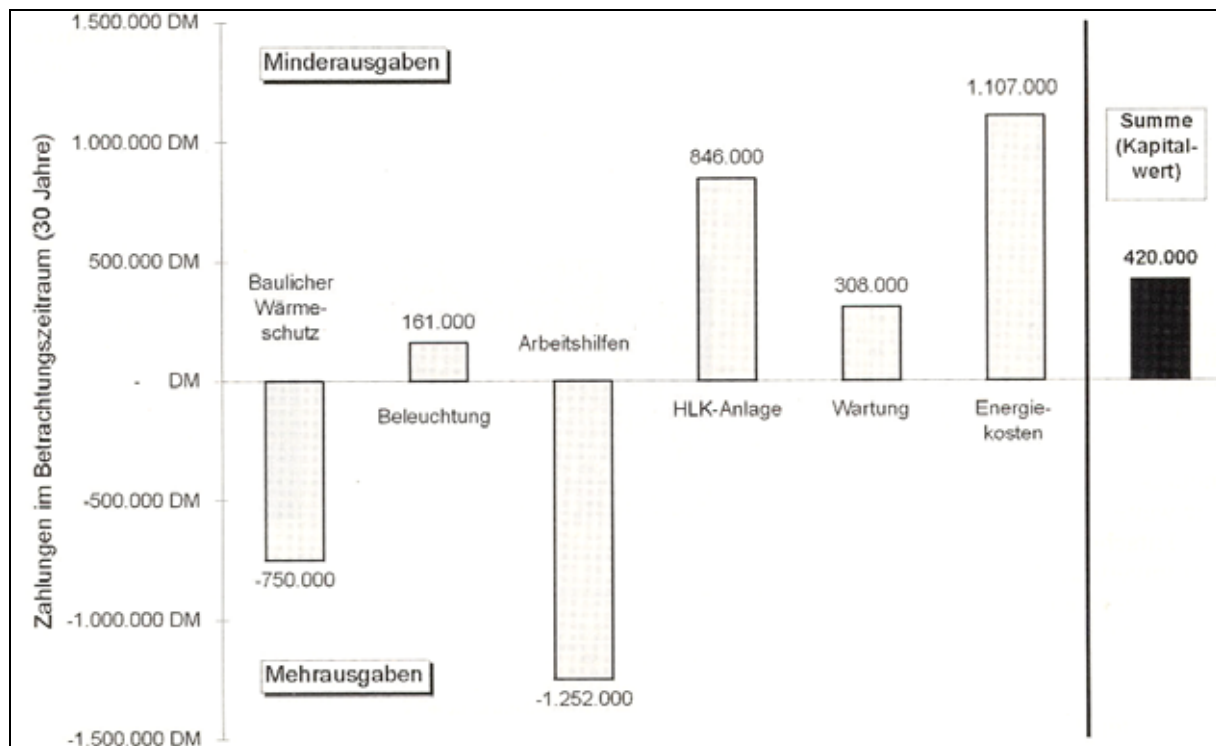


Bild 4 Mehr- bzw. Minderausgaben im Betrachtungszeitraum von 30 Jahren beim Bau eines Passiv-Bürogebäudes

Aus dem Kapitalwert können Aussagen zur Wirtschaftlichkeit abgeleitet werden. Aufgrund der unterschiedlichen Randbedingungen wird zwischen dem Fall der selbstgenutzten und der vermieteten Immobilie unterschieden (Tabelle 7).

Im Falle einer selbst genutzten Immobilie muss der Bauherr die Investitionen tätigen, ihm kommen aber auch die Energie- und Wartungskosteneinsparung zugute. In diesem Fall können die in Bild 4 dargestellten Zahlungen addiert werden. Das Ergebnis ist in Bild 4 als schwarze Säule eingezeichnet. Über den Betrachtungszeitraum von 30 Jahren ergeben sich Minderausgaben für den selbstnutzenden Eigentümer von etwa 420 000 DM. Gleichmäßig auf die 30 Jahre aufgeteilt entsprechen diese etwa 14 000 DM pro Jahr. Der Bau des Bürogebäudes ist somit nicht nur unter ökologischen, sondern auch aus ökonomischen Gesichtspunkten für den selbst nutzenden Investor die günstigere Variante.

Selbstnutzender Eigentümer	
Baulicher Wärmeschutz	-750.000 DM
Beleuchtung	161.000 DM
Arbeitshilfen	-1.252.000 DM
HLK-Anlage	846.000 DM
Wartung	308.000 DM
Energieeinsparung	1.107.000 DM
Summe (Kapitalwert)	420.000 DM

Tabelle 7 Kapitalwert des Passiv-Bürogebäudes im Falle des selbst nutzenden Investors

Wird das Gebäude vermietet, ergeben sich die gleichen Mehr- bzw. Minderausgaben. Sie müssen jedoch von unterschiedlichen Parteien beglichen werden, bzw. kommen ihnen zugute. So profitiert der Mieter von der Energieeinsparung und den reduzierten Wartungskosten. Er hat allerdings auch die Mehrkosten für die energieeffizienten Arbeitshilfen (Notebooks) zu tragen. Unter Berücksichtigung der alle fünf Jahre erforderlichen Ersatzinvestitionen ergeben sich für den Mieter Minderausgaben innerhalb der 30 Jahre von etwa insgesamt 160 000 DM (Tabelle 8).

Mieter	
Arbeitshilfen	-1.252.000 DM
Wartung	308.000 DM
Energieeinsparung	1.107.000 DM
Summe (Kapitalwert)	163.000 DM
Vermieter	
Baulicher Wärmeschutz	-750.000 DM
Beleuchtung	161.000 DM
HLK-Anlage	846.000 DM
Summe (Kapitalwert)	257.000 DM

Tabelle 8 Kapitalwerte des Passiv-Bürogebäudes im Falle einer vermieteten Immobilie

Auch der Vermieter hat über 30 Jahre gerechnet geringere Ausgaben als bei dem Bau eines Standard-Bürogebäudes^{klim}. Werden die Kosten für die Ersatzbeschaffungen nach Ablauf der Lebenszeit berücksichtigt, so liegen die Minderausgaben im Bereich der Beleuchtung und der Klimaanlage über den Mehrausgaben für den verbesserten Wärmeschutz des Baukörpers (siehe Tabelle 8). Über den gesamten Betrachtungszeitraum von 30 Jahren betragen die Minderausgaben für den Vermieter etwa 260 000 DM. Noch nicht berücksichtigt ist dabei, dass der Vermieter für ein Passiv-Bürogebäude je nach aktueller Marktlage eine höhere Nettomiete erzielen und so einen Teil der Minderausgaben des Mieters abschöpfen kann.

Einfluss unterschiedlicher Gebäudeparameter

Zum Schluss soll die Frage beantwortet werden, ob ein solches Passiv-Bürogebäude auch unter anderen Randbedingungen gebaut werden kann, als in der Simulation angenommen. Hierzu werden in [3] einige wichtige Gebäudeparameter variiert. Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Eine Variation der *Personen-Belegungsdichte* zwischen 10 und 20 m² Bürofläche pro Person hat keinen relevanten Einfluss auf Energiekennwert und Raumkomfort.
- Ebenfalls keinen merklichen Einfluss hat die *Orientierung der Hauptfassaden*.
- Die *Größe der Fensterfläche* der Hauptfassaden kann zwischen 20 % und 60 % variiert werden, ohne dass sich nennenswerte Veränderungen beim Energiekennwert oder Raumkomfort zeigen. Wird der Fensterflächenanteil über 60 % erhöht, verschlechtern sich sowohl Raumkomfort als auch Energiekennwert zunehmend.
- Der *Luftwechsel in den Büros* kann erhöht werden, ohne das Konzept des Passiv-Bürogebäudes zu gefährden. Zur Begrenzung des Strombedarfs der Lüftung ist es dabei ratsam, die Lüftungstechnischen Komponenten großzügig zu dimensionieren. Eine Erhöhung des Luftwechsels wird jedoch nicht empfohlen, da dies

den Raumkomfort verschlechtert und einen Anstieg des Primärenergiekennwertes des Gebäudes zur Folge hat.

Die hier dargestellte Ausführungsvariante des Passiv-Bürogebäudes ist nur eine von vielen Realisierungsmöglichkeiten. Je nach individuellen Randbedingungen und gestalterischen Gesichtspunkten können die Schwerpunkte bei der Energieeinsparung unterschiedlich gesetzt werden. Die Parametervariation zeigt, dass ein Passiv-Bürogebäude auch unter anderen Randbedingungen als hier angenommen realisiert werden kann. Erforderlich ist lediglich die hohe energetische Qualität der jeweiligen Komponenten in Verbindung mit einem schlüssigen Gebäudekonzept.

Ausblick

Nachdem in der hier vorgestellten theoretischen Untersuchung gezeigt wurde, dass eine deutliche Energieeinsparung bei Büro- und Verwaltungsgebäuden möglich ist und diese sogar wirtschaftlich umgesetzt werden kann, müssen die Ergebnisse in konkreten Modellprojekten verifiziert und demonstriert werden. Neben der realisierten Primärenergieeinsparung sollten dabei auch die Mehr- bzw. Minderkosten ermittelt und nachvollziehbar dargestellt werden.

Erste Hinweise auf die praktische Realisierbarkeit des hier vorgestellten Konzeptes gibt der Neubau des Verwaltungsgebäudes der Firma Wagner & Co in Cölbe. Dieses Gebäude stimmt in vielen Konstruktionsmerkmalen mit dem hier definierten Passiv-Bürogebäude überein [12].

Das Verwaltungsgebäude der Firma Wagner & Co zeigt auch, dass der Bau von Passiv-Bürogebäuden kein unkalkulierbares Risiko darstellt. Die erforderlichen Komponenten sind bereits heute auf dem Markt verfügbar und in ihren jeweiligen individuellen Einsatzbereichen erprobt.

So sind die Möglichkeiten zur Verbesserung des Wärmeschutzes des Baukörpers aus den Passiv-Wohngebäuden bekannt und in einer größeren Anzahl von Gebäuden umgesetzt. Dämmstoffdicken von 30 bis 40 cm sowie Fenster mit Dreifach-Wärmeschutzverglasung und hochwertigem Fensterrahmen werden von mehreren Firmen angeboten. Möglichkeiten zur Realisierung der wärmebrückenfreien Ausführung und der Luftdichtigkeit der Gebäudehülle sind in Veröffentlichungen dargestellt [1; 13; 14] und es existieren konkrete Erfahrungen mit den einzelnen Konstruktionen.

Stromsparende Arbeitshilfen (Computer, Drucker, Kopierer, ...) werden ebenfalls von unterschiedlichen Herstellern angeboten. Erleichtert wird deren Beschaffung durch die von der Gemeinschaft Energielabel Deutschland (GED) erstellte Produktliste von stromsparenden Geräten. Die Umsetzung der energieeffizienten Beleuchtung ist heute Stand der Technik und erfordert lediglich entsprechende Planungserfahrung. Das Gleiche gilt für Lüftungsanlagen mit einem geringen Stromverbrauch.

Erdreichwärmetauscher sind im Bereich der Büro- und Verwaltungsgebäude in einer Reihe von Projekten realisiert. Auch wenn hier noch ein gewisser Forschungsbedarf besteht, ist deren Einsatz bereits heute möglich.

Eine wichtige Voraussetzung für den Bau eines Passiv-Bürogebäudes liegt in der Vernetzung der einzelnen Komponenten zu einem schlüssigen Gebäudekonzept. Diese Vernetzung erfordert einen integralen Planungsansatz, bei dem die energeti-

schen Zielvorstellungen frühzeitig formuliert und regelmäßig überprüft werden. Ein übersichtliches Verfahren für ein planungsbegleitendes Energie-Controlling für den Strombereich enthält der Leitfaden Elektrische Energie [8] vom Hessischen Umweltministerium. Erfahrungen mit der vernetzten integralen Planung gibt es in der Schweiz und zunehmend auch in Deutschland. Dieses Wissen kann aufgegriffen und entsprechend genutzt werden.

Wie gezeigt, sind die Voraussetzungen für den Bau von Passiv-Bürogebäuden im Prinzip bereits heute gegeben. Gefragt sind jetzt engagierte und innovative Investoren, die dieses Konzept - zu ihrem eigenen Vorteil und zum Nutzen der Umwelt - in die Praxis umsetzen.

Literatur

- [1] Feist, W.: Grundlagen der Gestaltung von Passivhäusern; Verlag das Beispiel, Darmstadt 1996
- [2] Feist, W., J. Werner : Energiekennwerte im Passivhaus Darmstadt-Kranichstein; Institut Wohnen und Umwelt; Darmstadt 1994
- [3] Knissel, Jens: Energieeffiziente Büro- und Verwaltungsgebäude – Hinweise zur primär-energetischen und wirtschaftlichen Optimierung; Institut Wohnen und Umwelt; Darmstadt 1999
- [4] Kamps, Oliver: Beschreibung und Bewertung der im integrierten Simulationsprogramm TAS verwendeten mathematischen und physikalischen Berechnungsmodelle; Diplomarbeit am Institut für Energietechnik, Technische Universität Berlin 1996
- [5] Gough, Martin: TAS theory manual; Environmental Design Solutions Limited; 13/14 Cofferidge Close; Stony Stratford; Milton Keynes; MK11 1By; England 1996
- [6] Knissel, Jens: Validierung des Simulationsprogramms TAS – Vergleich mit Messergebnissen aus dem Passivhaus Darmstadt-Kranichstein; Institut Wohnen und Umwelt; Darmstadt 1998
- [7] Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Jugend, Familie und Gesundheit / Öko-Institut: Gesamt-Emissions-Modell integrierter Systeme (Version 3.01); Wiesbaden 1997
- [8] Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie und Bundesangelegenheiten / Institut Wohnen und Umwelt: Leitfaden Elektrische Energie; 1. Auflage, Wiesbaden 1995
- [9] Hofmann, H.: Energieverbrauch drosseln – Akzeptanz erhöhen, Tendenzen einer zukunftsorientierten Beleuchtungsplanung; Tagungsbeitrag "Impuls + VDI Kongress 98"; Impulsprogramm Hessen, Annastr. 16, 64285 Darmstadt 1998
- [10] Impulsprogramm Hessen (Hrsg.): Besseres Licht mit weniger Strom; Annastr. 16, 64285 Darmstadt., 1998
- [11] Liste stromsparender Geräte 4/98; Gemeinschaft Energielabel Deutschland (GED), c/o Impulsprogramm Hessen; Annastr. 16, 64285 Darmstadt
- [12] Schweizer, Klaus: "Neubau eines Verwaltungsgebäudes mit Passivhaus-Standard"; Schlussbericht zum Förderprogramm Solaroptimiertes Bauen, Projekt: BEO43/00335006D; Wagner & Co Solartechnik; Cölbe b. Marburg 1999
- [13] Wärmedämmung, Wärmebrücken, Luftdichtheit; Protokollband Nr. 2 des Arbeitskreises kostengünstige Passivhäuser; Passivhaus Institut; Darmstadt 1996
- [14] Wärmebrückenfreies Konstruieren; Protokollband Nr. 16 des Arbeitskreises kostengünstige Passivhäuser; Passivhaus Institut; Darmstadt 1999

aus: HLH 3/2000