

# Energieeffiziente Büro- und Verwaltungsgebäude

## Hinweise zur primär- energetischen und wirtschaftlichen Optimierung

Autor: Dipl.-Ing. Jens Knissel

Reprotechnik: Dipl.-Ing. Reda Hatteh

ISBN-Nr.: 3-932074-35-1

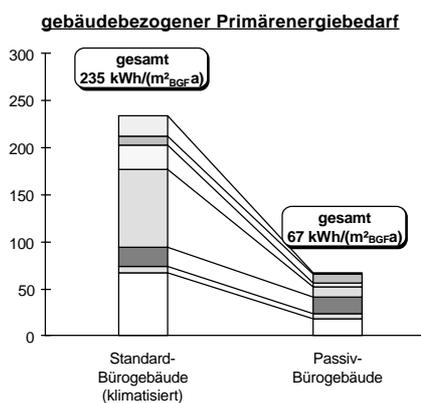
IWU-Bestellnummer: 10/99

1. Auflage; 15.12.1999

Institut Wohnen und Umwelt

Annastraße 15

64285 Darmstadt



## Inhaltsverzeichnis

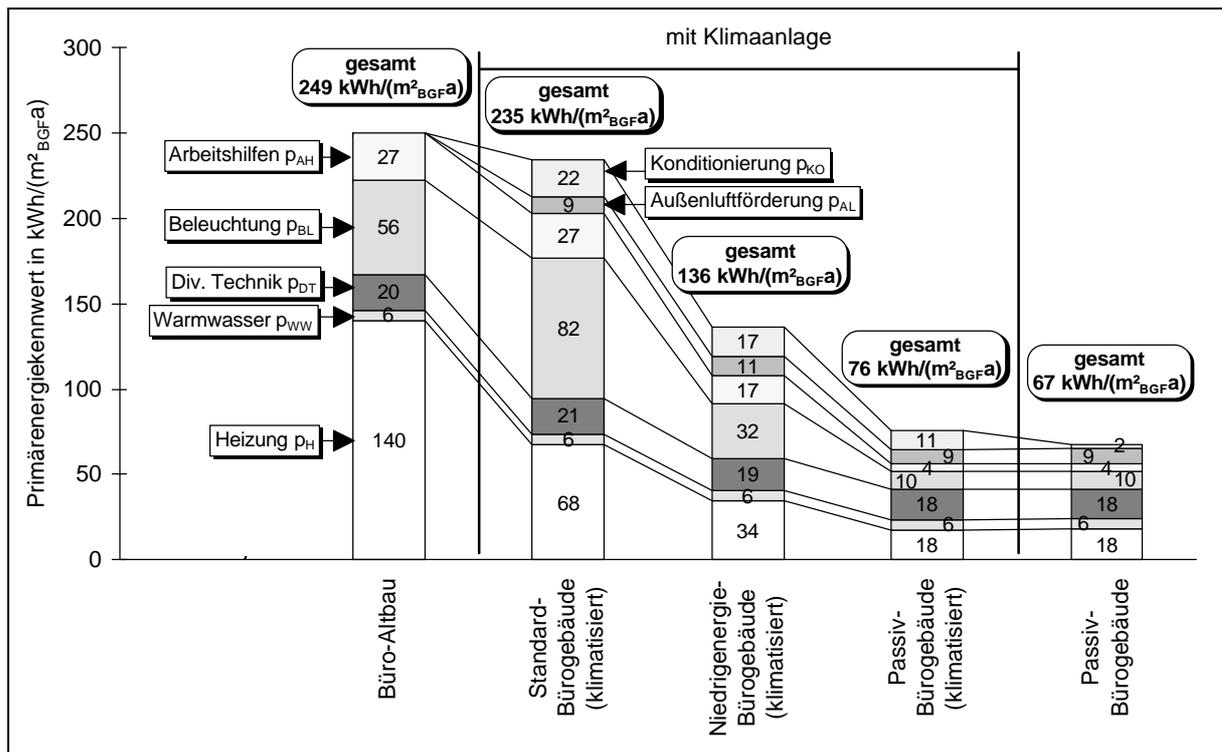
<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>1</b>
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>3</b>
<b>2 Vorgehensweise .....</b>	<b>4</b>
2.1 Definition der verwendeten Energiekennwerte .....	6
2.2 Beschreibung des Beispielgebäudes .....	9
<b>3 Schrittweise Reduktion des Primärenergiebedarfs .....</b>	<b>10</b>
3.1 Büro-Altbau .....	10
3.1.1 Vergleich mit realen Gebäuden .....	14
3.2 Standard-Bürogebäude (klimatisiert) .....	16
3.3 Niedrigenergie-Bürogebäude (klimatisiert) .....	20
3.3.1 Vergleich mit den Grenz- und Zielwerten der SIA 380 .....	23
3.3.2 Vergleich mit einem realen Gebäude .....	25
3.4 Passiv-Bürogebäude (klimatisiert) .....	29
3.4.1 Vergleich mit einem realen Gebäude .....	34
<b>4 Detailliertere Betrachtung des Primärenergiekennwertes Konditionierung ....</b>	<b>36</b>
<b>5 Das Passiv-Bürogebäude ohne Klimaanlage .....</b>	<b>38</b>
5.1 Primärenergiekennwert und CO <sub>2</sub> -Emissionen .....	39
5.2 Raumkomfort .....	41
5.3 Abschätzen der investiven Mehr- bzw. Minderausgaben .....	44
5.3.1 Baukörper .....	45
5.3.2 Beleuchtung .....	46
5.3.3 Arbeitshilfen .....	48
5.3.4 Heizungs-, Lüftungs- und Klimaanlage (HLK-Anlage) .....	48
5.4 Einsparung an Energie- und Wartungskosten .....	52
5.5 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung .....	53
5.5.1 Selbstgenutzte Immobilie .....	55
5.5.2 Vermietete Immobilie .....	56
5.5.3 Diskussion der berechneten Kapitalwerte .....	57

---

5.6 Variation einiger Gebäudeparameter .....	59
5.6.1 Personenbelegungsdichte .....	59
5.6.2 Orientierung der Hauptfassaden .....	61
5.6.3 Fensterflächenanteil der Hauptfassaden.....	62
5.6.4 Höhe des Außenluftwechsels .....	66
<b>6 Konkrete Planungshinweise .....</b>	<b>70</b>
<b>7 Ausblick.....</b>	<b>72</b>
<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>73</b>
<b>Anhang.....</b>	<b>77</b>

## Zusammenfassung

In der vorliegenden Studie wird untersucht, wie weit und mit welchen Maßnahmen der Primärenergiebedarf von Büro- und Verwaltungsgebäuden gesenkt werden kann und welche Auswirkungen dies auf die Wirtschaftlichkeit hat. Hierzu wird die energetische Ausführungsqualität eines einfachen Beispielgebäudes schrittweise verbessert und die Veränderung des Primärenergiekennwertes ermittelt. Abb. 1-1 zeigt die gebäudebezogenen Primärenergiekennwerte sowie deren Zusammensetzung für die untersuchten Ausführungsvarianten.



**Abb. 1-1: Primärenergiekennwerte des Beispielgebäudes bei unterschiedlichen energetischen Ausführungsqualitäten**

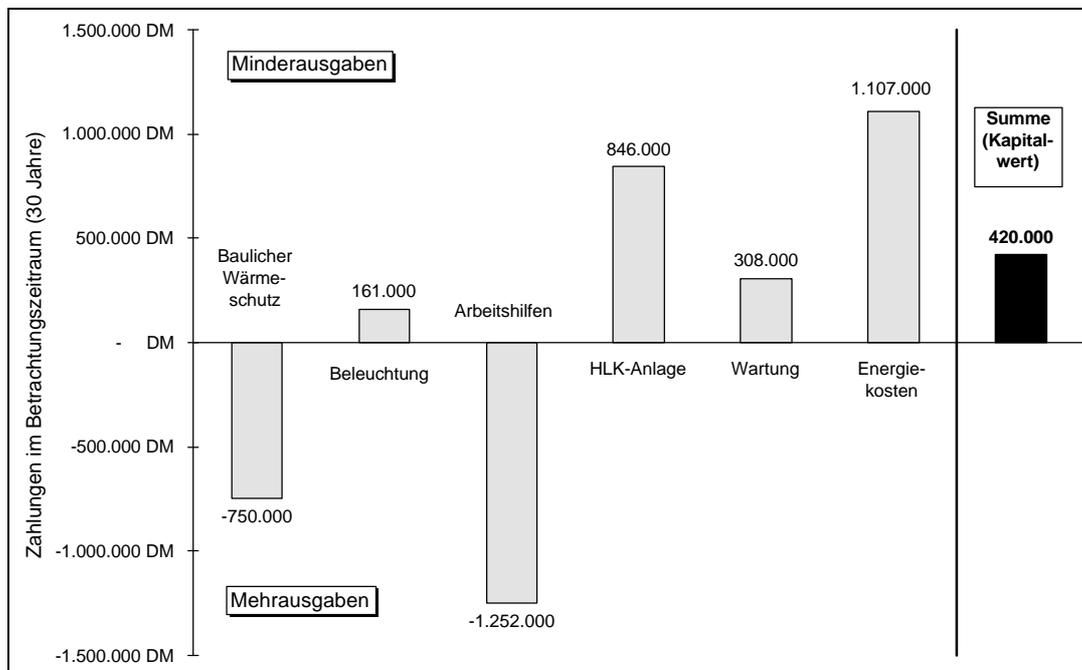
Der Primärenergiebedarf des Büro-Altbaus beträgt  $249 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{BGFa}})$ . Er wird entscheidend von dem Aufwand zur Beheizung und Beleuchtung bestimmt. Bei Modernisierungsmaßnahmen ist diesen Bereichen besondere Beachtung zu schenken.

Das Standard-Bürogebäude<sup>klim.</sup> (klim. = klimatisiert) stellt einen Büroneubau dar, der ohne Engagement in energiesparende Techniken errichtet wurde. Der Primärenergieaufwand zur Beheizung kann durch die Verbesserung des Wärmeschutzes und der Heizungsanlage deutlich gegenüber dem Büro-Altbau gesenkt werden. Im Bereich der Beleuchtung steigt der Energiekennwert hingegen an, da die Beleuchtungsstärke in den Büros aufgrund der aktuellen Normen von 300 Lux auf 500 Lux erhöht werden muss. Das Gebäude ist - wie die folgenden beiden Varianten - aus systematischen Gründen mit einer Klimaanlage ausgerüstet. Hierdurch wird sichergestellt, dass sich die Effizienzsteigerung ausschließlich im Energiekennwert äußert. Der Primärenergiebedarf zur Außenluftförderung und Konditionierung beträgt  $21 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{BGFa}})$ . In Summe liegt der gebäudebezogene Primärenergiekennwert des Standard-Bürogebäudes<sup>klim.</sup> mit  $235 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{BGFa}})$  nur wenig unter dem des Büro-Altbaus.

Der Primärenergiekennwert des Niedrigenergie-Bürogebäudes<sup>klim.</sup> ist mit 136 kWh/(m<sup>2</sup><sub>BGFa</sub>) deutlich geringer. Erreicht wird dies durch einen noch einmal verbesserten Wärmeschutz, eine Wärmerückgewinnung, eine effiziente Beleuchtungsanlage und stromsparende Arbeitshilfen.

Eine Primärenergieeinsparung über das Niveau des Niedrigenergie-Bürogebäudes hinaus ist möglich und aus Klimaschutzgründen nötig. Welche Einsparungen mit heute am Markt verfügbaren Techniken zu erreichen sind, zeigt das Passiv-Bürogebäude. Selbst mit Klimaanlage liegt der Primärenergiekennwert bei nur noch 76 kWh/(m<sup>2</sup><sub>BGFa</sub>). Wird auf die Klimaanlage verzichtet - was hier ohne nennenswerte Komforteinbuße möglich ist -, ergibt sich ein Primärenergiekennwert von nur noch 67 kWh/(m<sup>2</sup><sub>BGFa</sub>). Erreicht wird die Primärenergieeinsparung neben dem sehr guten Wärmeschutz durch eine Zonierung der Beleuchtungsstärke, den Einsatz von Notebooks als EDV-Arbeitshilfen und einen Erdreichwärmetauscher. Gegenüber dem Standard-Bürogebäude<sup>klim.</sup> beträgt die Primärenergieeinsparung über 70 %.

Um Aussagen zur Wirtschaftlichkeit machen zu können, werden die Mehr- bzw. Minderausgaben sowie die Einsparung an Energie- und Wartungskosten für das Passiv-Bürogebäude im Vergleich zum Standard-Bürogebäude<sup>klim.</sup> ermittelt. Mehrausgaben ergeben sich im Bereich des Baukörpers und der Arbeitshilfen. Minderausgaben berechnen sich für die HLK-Anlage (Heizung, Lüftung, Klima), die Beleuchtungsanlage sowie die Energie- und Wartungskosten. Bei Berücksichtigung aller Zahlungen ergibt sich über einen Zeitraum von 30 Jahren gerechnet ein positiver Kapitalwert, d. h. die im Passiv-Bürogebäude ergriffenen Maßnahmen zur Effizienzsteigerung sind wirtschaftlich. Mit dem Passiv-Bürogebäude können somit Energie- und Kosteneinsparung in idealer Weise kombiniert werden. Diese Option sollte bei jedem Neubau geprüft werden.



**Abb. 1-2: Mehr- bzw. Minderausgaben für das Passiv-Bürogebäude gegenüber dem Standard-Bürogebäude<sup>klim.</sup>**

## 1 Einleitung

Zur Stabilisierung unseres Klimas muss der CO<sub>2</sub>-Ausstoß in den Industrieländern bis zur Mitte des nächsten Jahrhunderts um mindestens 80 % gesenkt werden [Enquete-Kommission 1995]. Eine wichtige Rolle kommt dabei der Energieeinsparung im Gebäudebereich zu. So werden etwa 30 % des gesamten Endenergiebedarfs in Deutschland allein für die Beheizung von Gebäuden aufgewendet. Das wirtschaftliche Einsparpotential liegt je nach Energiepreisentwicklung bei bis zu 50 % [Ebel 1996].

Im Bereich der Wohngebäude sind mit dem Niedrigenergie- und Passivhaus die Möglichkeiten für eine entscheidende Reduktion des Heizwärmebedarfs von Neubauten aufgezeigt worden. An der Einführung und Umsetzung dieser Standards in Deutschland war das Institut Wohnen und Umwelt durch seine theoretischen Arbeiten und betreuten Modellprojekte entscheidend beteiligt [Hinz 1992], [Loga 1997], [Eicke-Hennig 1997], [Feist et al. 1997], [Feist 1996].

Die vorliegende Studie beschäftigt sich mit der Energieeinsparung bei Büro- und Verwaltungsgebäuden. Eine einfache Übertragung der für Wohngebäuden gewonnenen Erkenntnisse ist nicht möglich. So sind Büro- und Verwaltungsgebäude dichter mit Personen und den jeweiligen EDV-Arbeitshilfen belegt. Zudem werden für die Büroarbeit besondere Anforderungen an die Beleuchtung, die Raumtemperatur und die Raumlufffeuchte gestellt. Diese Aspekte machen eine gesonderte Untersuchung erforderlich, die neben der effizienten Beheizung insbesondere die Reduktion des Strombedarfs umfassen muss.

Derzeit werden Ansätze zur energetischen Optimierung von Büro- und Verwaltungsgebäuden weitgehend durch einzelne energieeffiziente Gebäude demonstriert. Systematische Untersuchungen beschränken sich in der Regel auf einzelne Komponenten wie z. B. die Beleuchtung oder die Lüftungsanlage oder auf exemplarische Räume. Eine Darstellung und Bewertung des Energiebedarfs für das gesamte Gebäude ist jedoch wünschenswert, da hierdurch:

- die Aufteilung des Energiebedarfs des Gebäudes auf die einzelnen Verbraucher deutlich wird und so die in der Praxis immer begrenzten Finanzmittel gezielt im Bereich der dominierenden Verbraucher eingesetzt werden können,
- ein Bewertungsmaßstab für Gebäude-Energiekennwerte gegeben wird, der es ermöglicht, bestehende Gebäude über ihren gemessenen Energieverbrauch grob zu klassifizieren,
- die bestehenden Abhängigkeiten und Rückkopplungen im Gebäude insbesondere zwischen Baukörper und Haustechnik berücksichtigt werden können und so einseitige Optimierungen vermieden werden.

In der vorliegenden Studie wird aufgezeigt, wie weit und mit welchen Maßnahmen der Primärenergiebedarf eines einfachen Beispielgebäudes reduziert werden kann und welche Auswirkungen dies auf die Wirtschaftlichkeit hat. Hierzu werden gebäudebezogene Primärenergiekennwerte für unterschiedliche Effizienz-Standards ermittelt.

## 2 Vorgehensweise

Der Primärenergiebedarf des in Abschnitt 2.2 beschriebenen Beispielgebäudes wird mit Hilfe von Simulationsrechnungen sowie einfachen Berechnungsansätzen nach [SIA 380/4] und [LEE] bestimmt. Das Beispielgebäude weist einen einfachen Grundriss und eine reine Büronutzung auf.

Im Rahmen der dynamischen Simulationsrechnungen wird das Gebäude im Computer abgebildet und unter Berücksichtigung des Baukörpers, der Nutzungssituation und der Heizungs- und Lüftungsanlage bei vorgegebenen Wetterdaten für jede Stunde des Jahres die Raumtemperaturen und -feuchten sowie Brennstoff- und Strombedarf ermittelt. Als Klima-Randbedingung wird das Testreferenzjahr Nr. 6 (Frankfurt a. M.) angesetzt. Die Simulationsrechnungen werden mit dem Gebäude- und Anlagensimulationsprogramm TAS durchgeführt. Das Programm TAS ermöglicht die gekoppelte Simulation von Gebäude, Anlagentechnik und Gebäudedurchströmung (z. B. bei Fensterlüftung). Die bei der Gebäudesimulation von TAS verwendeten physikalischen Modelle sind in [Kamps 1996] dokumentiert. Eine stichwortartige Zusammenstellung der physikalischen Modelle ist im Anhang zu finden. Validierungsrechnungen in [Knissel 1998] zeigen gute Übereinstimmung der Simulationsergebnisse mit unter gleichen Randbedingungen gemessenen Temperaturverläufen.

Die energetische Ausführungsqualität des untersuchten Beispielgebäudes wird ausgehend vom Altbau-Standard schrittweise verbessert. Um möglichst eindeutige Aussagen treffen zu können, wird der Raumkomfort in drei Neubauvarianten durch eine Klimaanlage konstant gehalten. Die Effizienzsteigerung äußert sich in dem Fall ausschließlich im Energiekennwert. Der Einbau einer Klimaanlage hat an dieser Stelle systematische Gründe und stellt keine Planungsempfehlung dar. Ein sinnvoll geplantes Büro- und Verwaltungsgebäude kann in der Regel ohne Klimaanlage betrieben werden. Zur Verdeutlichung sind die mit einer Klimaanlage ausgestatteten Varianten mit einem hochgestellten <sup>klim.</sup> für „klimatisiert“ gekennzeichnet.

Im Folgenden werden folgende Varianten betrachtet:

1. Büro-Altbau: repräsentiert ein charakteristisches bestehendes Bürogebäude mit einem Baujahr zwischen 1952 und 1977 [Gierga 1994].
2. Standard-Bürogebäude<sup>klim.</sup>: entspricht im Bereich des Baukörpers den Mindestanforderungen der Wärmeschutzverordnung (1995). Ein Engagement in Bezug auf eine effiziente Stromnutzung wird nicht unterstellt. Das Gebäude ist mit einer Klimaanlage ausgestattet.
3. Niedrigenergie-Bürogebäude<sup>klim.</sup>: stellt einen aus energetischer Sicht heute üblichen effizienten Standard dar, wobei aus systematischen Gründen eine Klimaanlage vorgesehen ist.
4. Passiv-Bürogebäude<sup>klim.</sup>: repräsentiert einen heute bereits möglichen sehr hohen Effizienzstandard, wobei auch hier aus systematischen Gründen noch eine Klimaanlage vorgesehen ist.
5. Passiv-Bürogebäude: repräsentiert einen heute bereits möglichen sehr hohen Effizienzstandard ohne Klimaanlage.

Für jede Ausführungsvariante wird der Energiekennwert des gesamten Gebäudes sowie dessen Aufgliederung in die folgenden Teilbereiche bestimmt:

- Heizung
- Warmwasser
- Diverse Technik
- Beleuchtung
- Arbeitshilfen
- Außenluftförderung
- Konditionierung.

Die Energiekennwerte werden als Mittelwert für das gesamte Gebäude angegeben, d. h. der berechnete Energiebedarf wird auf die gesamte beheizte Brutto-Grundfläche bezogen. Bestimmt werden Primärenergiekennwerte, da nur hierdurch der Brennstoff- und Strombedarf des Gebäudes gemeinsam bewertet und ein wirkliches Optimum gefunden werden kann (siehe Abschnitt 2.1). Dabei soll der Energiebedarf des Gebäudes in dem Simulationsmodell möglichst realistisch und umfassend abgebildet werden. Um dies zu überprüfen, werden die berechneten Primärenergiekennwerte mit Verbrauchskennwerten realer Gebäude mit ähnlichem Effizienz-Standard verglichen.

Für das Passiv-Bürogebäude werden weitere Untersuchungen durchgeführt. So wird der Raumkomfort untersucht, der sich in den nach Süden orientierten Büros beim Verzicht auf eine Klimaanlage einstellt. Die zum Erreichen des hohen Effizienz-Standards erforderlichen Mehr- und Minderausgaben werden bestimmt und unter Berücksichtigung der Betriebskosteneinsparung, die Wirtschaftlichkeit abgeschätzt. Zuletzt werden einige wichtige Gebäudeparameter variiert und deren Sensitivität auf den Primärenergiekennwert des Gebäudes ermittelt. Dies gibt einen Anhaltspunkt, ob ein Passiv-Bürogebäude auch unter anderen als den hier gewählten Randbedingungen realisiert werden kann.

Mit der Studie werden Anhaltspunkte für eine energetische Optimierung „normaler“ Bürobauten gegeben. Die Untersuchung ersetzt nicht die sorgfältige energetische Optimierung des Gebäudes im Einzelfall. Quantitativ gelten die hier dargestellten Ergebnisse selbstverständlich nur für die bei der Berechnung zugrunde gelegten Randbedingungen und können im Einzelfall erheblich abweichen. Dies gilt insbesondere für Gebäude mit großen Glasfassaden. Hier muss in der Regel mit einer deutlichen Verschlechterung des sommerlichen Temperaturverhaltens bzw. einem Anstieg des Kältebedarfs gerechnet werden.

## 2.1 Definition der verwendeten Energiekennwerte

Der Vergleich der unterschiedlichen Gebäudevarianten geschieht über Energiekennwerte. Dabei wird der jährliche Energiebedarf für eine Energiedienstleistung, z. B. Heizung oder Beleuchtung, auf die beheizte Brutto-Grundfläche bezogen. Die Definition der Brutto-Grundfläche entspricht dabei den Vorgaben der [VDI 3807] Batt 1.

$$\text{Energiekennwert} = \text{Energiebedarf/beheizte Brutto-Grundfläche.}$$

Zum Umrechnen der in der Simulation verwendeten Netto-Grundfläche auf die Brutto-Grundfläche wird der in der [SIA 380/4] angegebene Faktor von 0,9 verwendet. Dieser steht in guter Übereinstimmung mit dem in der VDI 3807 Teil 1 angegebenen Wert von 0,87.

$$\text{Netto-Grundfläche} = \text{Brutto-Grundfläche} \cdot 0,9.$$

Allgemein wird je nach Bilanzgrenze zwischen Nutzenergie-, Endenergie- und Primärenergiekennwerten unterschieden. In dieser Studie werden Primärenergiekennwerte bestimmt, da diese die gemeinsame Bewertung des Brennstoff- und Stromverbrauchs mit nur einer Kennzahl erlauben. Entsprechend werden auch nur diese nachfolgend genauer erläutert. Trotzdem soll auch auf die anderen Kennwerte kurz eingegangen werden.

Nutzenergiekennwerte benennen die Energiemenge, die unter idealen Bedingungen erforderlich ist, um eine bestimmte Energiedienstleistungen, z. B. die Beheizung eines Gebäudes, zu erbringen. Die Verluste der technischen Systeme werden nicht berücksichtigt.

Die Endenergiekennwerte unterscheiden sich von den Nutzenergiekennwerten dadurch, dass der Wirkungs- bzw. Nutzungsgrad der technischen Systeme (z. B. Heizkessel, Heizungsverteilungen, Regelung) mit berücksichtigt werden. Sie geben damit an, wie viel Brennstoff und/oder Strom benötigt wird, um die gewünschte Energiedienstleistungen zu erfüllen. Der Bilanzraum dieser Kennwerte umfasst das gesamte Gebäude und die technischen Anlagen.

Der Bilanzraum von Primärenergiekennwerten ist noch weitreichender. Er umfasst neben der Endenergie den gesamten energetischen Aufwand zur Bereitstellung des Brennstoffs oder des Stroms in dem Gebäude. Berücksichtigt wird dabei der Energieverbrauch für Gewinnung, Wandlung und Transport. Dies ist insbesondere bei Strom von Bedeutung, da dieser mit relativ hohen Verlusten (etwa 60 %) in Kraftwerken aus Brennstoffen wie z. B. Kohle, Gas, ... erzeugt werden muss. Eine Kilowattstunde Strom entspricht in etwa drei Kilowattstunden an Primärenergie, d. h. eingesetztem Brennstoff. Primärenergiekennwerte geben damit an, wie viel endliche Energieträger für die Erbringung einer Energiedienstleistung insgesamt eingesetzt werden müssen.

Berechnet werden die Primärenergiekennwerte durch Multiplikation der Endenergiekennwerte mit Primärenergiefaktoren. Die hier berücksichtigten Faktoren sind in Tab. 2-1 angegeben. Sie wurden mit dem Programm Gemis 3.01 [Gemis] bestimmt.

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

**Tab. 2-1: Primärenergie - Emissionsfaktoren  
nach Gemis 3.01**

Die Definition der nachfolgenden Kennwerte richtet sich nach der in der Schweiz üblichen Systematik der SIA 380/4, Elektrische Energie im Hochbau. In Deutschland wurde diese Systematik durch den [LEE 1995] und [IPH] eingeführt. Sie wird u. a. bei den Bundesbauvorhaben in Berlin angewendet. Entsprechend dieser Systematik werden die einzelnen Endenergieverbraucher zu Energiedienstleistungssystemen zusammengefasst, für die Teilenergiekennwerte definiert werden. Aus der Summe der Teilenergiekennwerte ergibt sich der Gebäude-Energiekennwert.

Die Definition der Teilenergiekennwerte sowie die jeweiligen Bezeichnungen sind in Tab. 2-2 zusammenfassend dargestellt. Da es sich um Primärenergiekennwerte handelt wird als Bezeichnung ein „p“ gewählt. Die Verbrauchsposition wird über einen tiefgestellten Indize gekennzeichnet. In der Tabelle wird zudem angegeben, ob der jeweilige Energiebedarf sich aus der Simulationsrechnung ergibt oder wie er bestimmt wird.

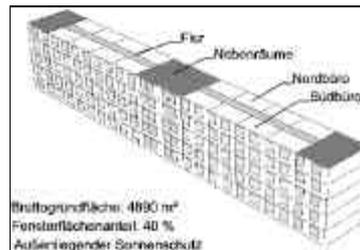
Energiedienstleistungssystem	Verbraucher	Berechnungsmethode	Bemerkung / Quelle	
Heizung	$p_H$	-	Simulationsergebnis	
Warmwasser	$p_{WW}$	-	[SIA 380/1, D1-1]	
Diverse Technik	$p_{DT}$	Hilfsenergie Heizung /Warmwasser $p_{DT,H}$ Transport (ein Lift je 1500 m <sup>2</sup> mit 3000 kWh/a) $p_{DT,T}$ Verluste (Transformatoren, ...) $p_{DT,V}$ Kommunikation (Telefonzentrale) $p_{DT,K}$	$p_{DT,H} = (p_H + p_{WW}) \cdot 0,01$ $p_{DT,T} = 2 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a}) \cdot P_{f\text{Strom}}$ $p_{DT,V} = (p_{DT} + p_{AL} + p_{KO} + p_{BL} + p_{ZD}) \cdot 0,025$ $p_{DT,K} = 3,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a}) \cdot P_{f\text{Strom}}$	sehr guter Wert nach [SIA 380/4 1992] nach [SIA 380/4 1992] nach [SIA 380/4 1992] konstant nach [SIA 380/4 1992, Beispiel]
Außenluftzufuhr	$p_{AL}$	Mindestaussenluftförderung $p_{AL,L}$ Hilfsbetriebe, Bereitschaftsverbrauch $p_{AL,H}$	$p_{AL,H} = P_{\text{max},V,AL} \cdot 0,03 \cdot P_{f\text{Strom}}$ $P_{\text{max},V,AL}$ : max. Ventilatorleistung zur hygienischen Mindestluftförderung	Simulationsergebnis nach [SIA 380/4 1992]
Raumkonditionierung	$p_{KO}$	Luftförderung freie Kühlung, Nachtlüftung $p_{KO,L}$ Hilfsbetriebe, Bereitschaftsverbrauch $p_{KO,H}$ Wasserförderung $p_{KO,W}$ Kälteerzeugung $p_{KO,K}$ Befeuchtung $p_{KO,BF}$ Entfeuchtung $p_{KO,EF}$	$p_{KO,H} = P_{\text{max},V,KO} \cdot 0,03 \cdot P_{f\text{Strom}}$ $P_{\text{max},V,KO}$ : max. Ventilatorleistung zur Luftförderung für Kühlung $p_{KO,W} = p_{KO,K} \cdot 0,01 \cdot P_{f\text{Strom}}$	Simulationsergebnis nach [SIA 380/4 1992] abweichend von [SIA 380/4 1992]; analog $p_{DT,H}$ Simulationsergebnis Simulationsergebnis Simulationsergebnis
Beleuchtung	$p_{BL}$		Simulationsrandbedingung	
Arbeitshilfen	$p_{AH}$		Simulationsrandbedingung	
Zentrale Dienste	$p_{ZD}$	EDV-Zentrale, etc.	nicht implementiert	

**Tab. 2-2: Definition und Bezeichnung der verwendeten Primärenergiekennwerte**

## 2.2 Beschreibung des Beispielgebäudes

Die Parameterstudie wird an einem exemplarischen Verwaltungsgebäude mit zweibündigem Rechteckgrundriss durchgeführt. Bei dem Verwaltungsgebäude handelt es sich um ein 5-stöckiges Gebäude der Dimension 90 m x 11 m x 16,5 m (L x B x H) mit 4.400 m<sup>2</sup> Netto-Grundfläche. Die Geschosshöhe beträgt 3,30 m. Das Gebäude ist in Massivbauweise mit Lochfenstern ausgeführt. Nebennutzflächen wie Garderobe, WC, Teeküchen usw. sind in einem zentralen Kernbereich und an den Stirnseiten angeordnet. Der Keller ist unbeheizt. Abb. 2-1 zeigt eine schematische Ansicht und eine Skizze vom Grundriss.

Die Aufteilung der Flächen auf Büro-, Flur- und Nebenflächen entspricht den in der VDI 3807 angegebenen mittleren Flächenverhältnissen für Verwaltungsgebäude. Die Brutto-Grundfläche des Gebäudes beträgt 4890 m<sup>2</sup>. 49 % hiervon sind Hauptnutzfläche, der Rest setzt sich aus Nebennutz-, Verkehrs-, Funktions- und Konstruktionsflächen zusammen. Die Größe der einzelnen Teilflächen zeigt Tab. 2-3.



**Abb. 2-1: Skizze des untersuchten Beispielgebäudes**

Brutto-Grundfläche (BGF)	NGF+KF	4890 m <sup>2</sup>	100 % <sub>BGF</sub>
Netto-Grundfläche (NGF)	Büro, Flur, Nebenräume	4400 m <sup>2</sup>	90 % <sub>BGF</sub>
Nebennutzfläche (NNF) + Funktionsfläche (FF)	Nebenräume	1400 m <sup>2</sup>	28 % <sub>BGF</sub>
Verkehrsfläche (VF)	Flur	600 m <sup>2</sup>	12 % <sub>BGF</sub>
Hauptnutzfläche (HNF)	Büro	2400 m <sup>2</sup>	50 % <sub>BGF</sub>
Konstruktionsfläche (KF)		490 m <sup>2</sup>	10 % <sub>BGF</sub>

**Tab. 2-3: Flächenaufteilung im untersuchten Beispielgebäude**

Die Büros haben lichte Abmaße von 7,5 m x 4 m x 3 m (L x B x H) und sind mit jeweils zwei Personen besetzt. Der Fensterflächenanteil beträgt 40 % bezogen auf die Innenfläche der Außenwand, bzw. 0,3 m<sup>2</sup> pro m<sup>2</sup> Hauptnutzfläche. Die Verschattung der Fenster erfolgt über einen außen liegenden Sonnenschutz.

Weitere Einzelheiten sind im Anhang dokumentiert.

### 3 Schrittweise Reduktion des Primärenergiebedarfs

Nachfolgend wird die energetische Qualität des in Abschnitt 2.2 skizzierten Beispielgebäudes ausgehend von dem Niveau eines Büro-Altbaus schrittweise bis zu dem heute möglichen maximalen Effizienz-Standard verbessert. Für jeden Energiestandard wird der Primärenergiekennwert des Gebäudes sowie die einzelnen Teilenergiekennwerte nach Abschnitt 2.1 ausgewiesen. Untersucht werden in diesem Abschnitt folgende Ausführungsvarianten:

- Büro-Altbau
- Standard-Bürogebäude<sup>klim.</sup>
- Niedrigenergie-Bürogebäude<sup>klim.</sup>
- Passiv-Bürogebäude<sup>klim.</sup>

Das Passiv-Bürogebäude ohne Klimaanlage wird in Abschnitt 5 gesondert behandelt.

#### 3.1 Büro-Altbau

Die Konstruktionsmerkmale der Variante Büro-Altbau sind so gewählt, dass ein üblicher, mittlerer Effizienz-Standard abgebildet wird. Die k-Werte der Gebäudehülle entsprechen der Baualtersgruppe B (1952 bis 1977) der „Gebäudetypologie für Nichtwohngebäude in Westdeutschland“ [Gierga 1994]. Die Baualtersgruppe B umfasst ca. 35 % der beheizten Nutzfläche aller westdeutschen Nichtwohngebäude. Ca. 55 % der Nutzfläche ist in Gebäuden mit schlechterem und ca. 10 % in Gebäuden mit besserem wärmetechnischen Zustand zu finden.

Es wird davon ausgegangen, dass die Beleuchtung in den letzten Jahren modernisiert wurde. Die neue Beleuchtungsanlage wurde dabei unter dem Gesichtspunkt geringer Investitionskosten ohne Anforderungen an den Energieverbrauch ausgewählt. Als Beleuchtungsstärke wird in den Büros 300 Lux angesetzt, was den früheren Normanforderungen für tageslichtorientierte Arbeitsplätze entspricht.

Auch die Arbeitshilfen (Computer, Drucker, Kopierer, Faxgeräte, ...) sind unter dem Gesichtspunkt geringer Investitionskosten angeschafft worden. Fragen der energetischen Effizienz spielten dabei keine Rolle. Der Stromverbrauch der Geräte beträgt 150 % der Grenzwerte für stromsparende Geräte, die von der Gemeinschaft Energielabel Deutschland für das Jahr 1998 definiert wurden [GED 1998]. Die Grenzwerte werden jährlich neu festgelegt und sind so gewählt, dass sie etwa von 25 % der am Markt verfügbaren Produkte erreicht bzw. unterschritten werden.

Der Büro-Altbau besitzt keine Lüftungs- bzw. Klimaanlage. Die Räume werden über das Öffnen der Fenster belüftet. Die Höhe des Luftwechsels wird in der Simulation abhängig von der Windgeschwindigkeit, der Windrichtung, der Lage des Fensters im Gebäude und der jeweils aktuellen Fensteröffnungsstellung bestimmt. Eine Querlüftung zwischen den Büros wird dabei ausgeschlossen. Eine detaillierte Beschreibung der zugrunde gelegten Lüftungsstrategie findet sich im Anhang. Dort sind auch die in Tab. 3-1 zusammengefassten Gebäudekenndaten ausführlich dokumentiert und erläutert.

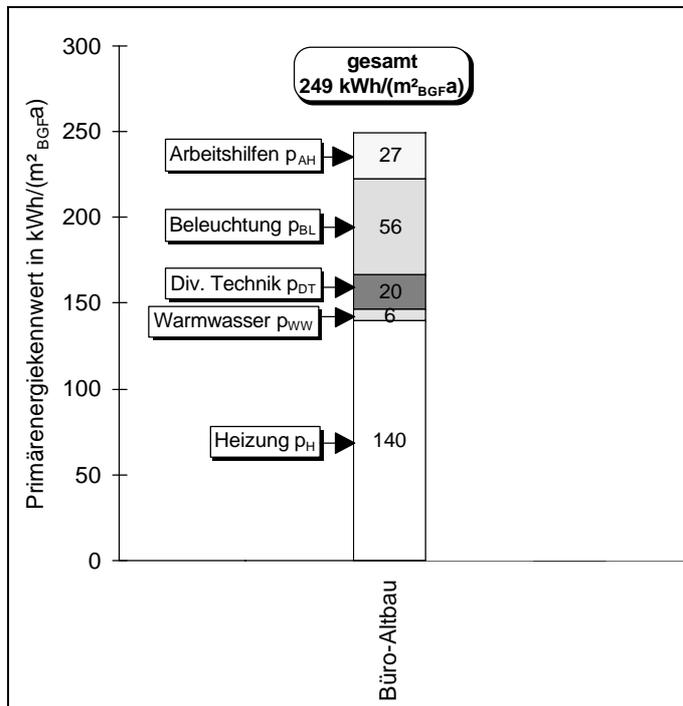
<b>Baukörper: Büro-Altbau</b>				
	Außenw.	Dach	Kellerdecke	Fenster
Dämmstoffstärke [cm]	-	-	-	$g_v=0,74^*$
U-Wert [W/(m <sup>2</sup> K)]	1,56	1,0	1,0	$u_f=2,8$
Sonnenschutz	Außen liegende Aluminiumlamellen; geschlossen ab Einstrahlung von 300 Watt pro m <sup>2</sup> Fensterfläche und Außentemperaturen über 15 °C			
Luftdichtheit der Gebäudehülle: undicht; mittlerer Luftwechsel über Undichtigkeiten $n_U = 0,3 \text{ h}^{-1}$				
Zugängliche Speichermassen: Außenwand, Fußboden				
*) zusätzliche Reduktionsfaktoren: Verschmutzung = 0,9; Rahmen = 0,7; Verschattung = 0,84				

<b>Nutzung: Büro-Altbau</b>								
Betriebszeit: Werktags 6.30 bis 20.30 Uhr				Nutzungszeit: Werktags 7.30 bis 18.30 Uhr				
	<b>Raumklima</b>							
	Raumtemp. in °C				Feuchte			
	während Betriebszeit		außerhalb Betriebszeit		während Betriebszeit		außerhalb Betriebszeit	
Büro	22		15		-		-	
Flur	20		15		-		-	
Nebenträume	20		15		-		-	
	<b>Interne Wärmelasten (Maximale Leistung   Vollbetriebsstunden)</b>							
	Beleuchtung		Arbeitshilfe		Personen		gesamt	
	W/m <sup>2</sup>	h/a	W/m <sup>2</sup>	h/a	W/m <sup>2</sup>	h/a	W/m <sup>2</sup>	h/a
Büro	16,3	1650	14,5	1150	5,7	2200	36,4	1550
Flur (innenliegend)	7,3	2750	0	-	0	-	7,3	2750
Nebenträume	7,3	1650	0	-	0	-	7,3	1650
<ul style="list-style-type: none"> <li>ineffiziente Beleuchtung mit spezifischer Anschlussleistung von 5,4 Watt/(m<sup>2</sup>·100 Lux); Beleuchtungsstärke 300 Lux; Vollbetriebszeitfaktor nach [LEE 1995] <math>b_v = 0,6</math></li> <li>Stromverbrauch der Arbeitshilfen: 150 % der Grenzwerte [GED 1998], Stromverbrauch der Computer entsprechend VDI 2078</li> <li>Personenbelegungsdichte: 15 m<sup>2</sup> pro Person</li> </ul>								

<b>Anlagentechnik: Büro-Altbau</b>					
Heizung:	Gas-Konstanttemperaturkessel				
Lüftung:	Fensterlüftung				
Luftwechsel in h <sup>-1</sup>	Büro		Flur		Nebenträume
<ul style="list-style-type: none"> <li>während Nutzungszeit</li> <li>außerhalb Nutzungszeit (Undichtigkeiten)</li> </ul>	Fe.-lüft.** +0,3 0,3		Fe.-lüft. + 0,3 0,3		Fe.-lüft. + 0,3 0,3
**) von Oktober bis März stellt sich über die Fensterlüftung ein mittlerer Luftwechsel während der Nutzungszeit von $n = 1,2 \text{ h}^{-1}$ ein					
Klima:	Kälte: nicht vorhanden				
	Entfeuchtung: nicht vorhanden				
	Befeuchtung: nicht vorhanden				

Tab. 3-1: Wichtigste Kenndaten des Büro-Altbaus

Die sich unter diesen Randbedingungen ergebenden Primärenergiekennwerte zeigt Abb. 3-1.



**Abb. 3-1: Primärenergiekennwerte für den Büro-Altbau**

Der Primärenergiebedarf des Gebäudes liegt bei 249 kWh/(m²<sub>BGFa</sub>). Dabei muss etwa die Hälfte des Primärenergiebedarfs beim Büro-Altbau für die Beheizung aufgewendet werden (140 kWh/(m²<sub>BGFa</sub>)). Dies ist eine Folge des geringen Wärmeschutzes und der alten Heizungsanlage. Dass der Energiekennwert im Vergleich zu Wohngebäuden dennoch relativ gering ist, liegt an der vergleichsweise langen Nacht- und Wochenendauslenkung, die in Büro- und Verwaltungsgebäuden realisiert werden kann.

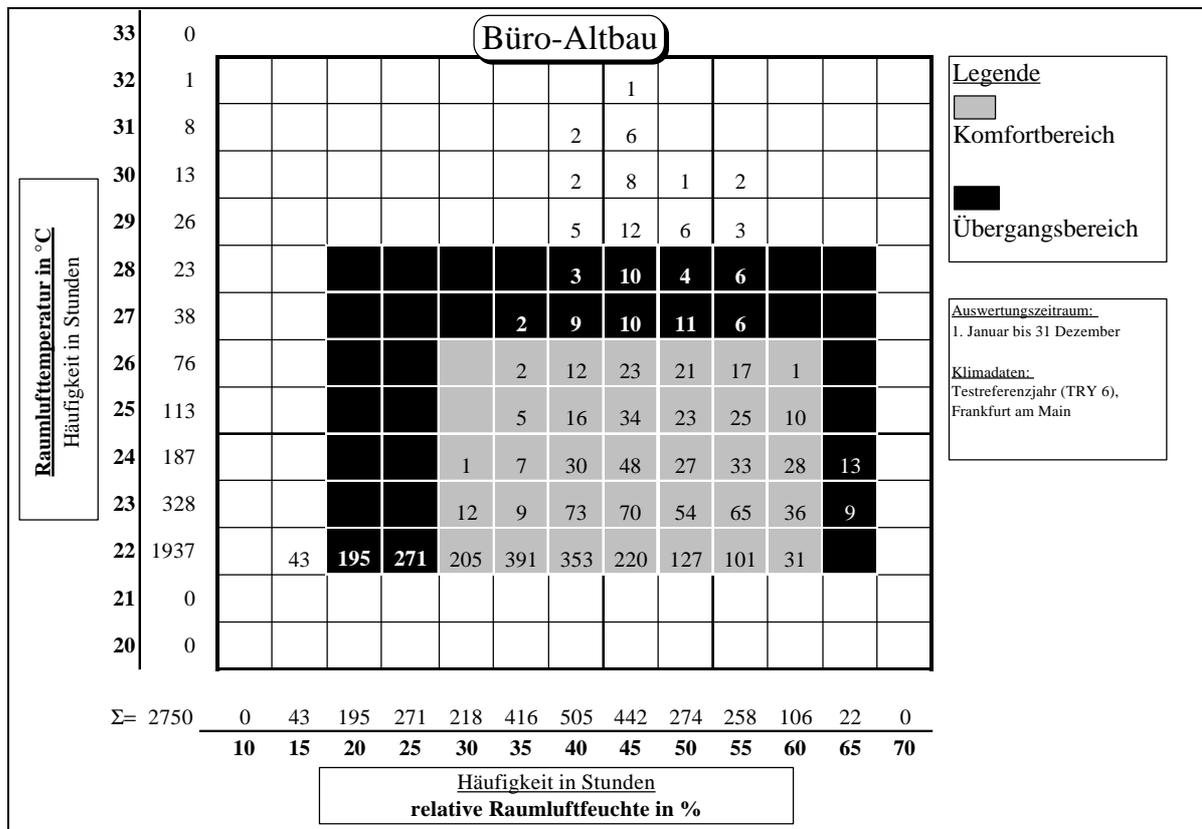
Der Primärenergiekennwert Beleuchtung beträgt 56 kWh/(m²<sub>BGFa</sub>). Verantwortlich

für den hohen Strombedarf ist das eingebaute ineffiziente Beleuchtungssystem und die fehlende Beleuchtungssteuerung. Dies hat zur Folge, dass auch bei ausreichendem Tageslichtangebot die Beleuchtung von den Nutzern häufig nicht ausgeschaltet wird und sich so lange Einschaltzeiten ergeben. Auch im Bereich der Arbeitshilfen äußert sich die eingesetzte ineffiziente Technik in einem hohen Primärenergiebedarf von 27 kWh/(m²<sub>BGFa</sub>).

Der Aufwand für die Außenluftförderung und Konditionierung entfällt, da keine RLT-Anlage vorgesehen ist. Die Belüftung des Gebäudes geschieht über das Öffnen von Fenstern. Der über das Winterhalbjahr gemittelte Luftwechsel durch geöffnete Fenster beträgt für die Büros ca. 1,2 h<sup>-1</sup>, wobei der Luftwechsel bei Außentemperaturen unter 0 °C tendenziell unter, bei Außentemperaturen über 0 °C tendenziell über dem Mittelwert liegt. In allen Fällen addiert sich ein mittlerer Luftwechsel über Fugenundichtigkeiten von 0,3 h<sup>-1</sup>.

Bei der Bewertung des Primärenergiebedarfs dieser Gebäudevariante ist zu beachten, dass der Raumkomfort in den Büros im Vergleich zu den Varianten mit Klimaanlage schlechter ist. Die Komfortprobleme können sich in Zugerscheinungen im Bereich der Fenster, in zu geringen Werten der relativen Feuchte im Winter oder in zu hohen Raumlufttemperaturen im Sommer äußern. Zur Quantifizierung der Komforteinbuße ist in Abb. 3-2 die Häufigkeit gewisser Temperatur- und Feuchtesituationen dargestellt. Ausgewertet ist der Raumkomfort in den Südbüros während der Nutzungszeit. Um die Bewertung der Ergebnisse zu erleichtern, ist ein Komfortbereich eingetragen, der in Anlehnung an die Vorgaben der DIN 1946 definiert ist. Hieran schließt ein Übergangsbereich an, der Zustände erfasst, die je nach Randbedingungen

noch den Anforderungen der DIN 1946 genügen (z. B. gleitende Raumtemperaturanhebung bei hohen Außentemperaturen) oder kurzzeitig ohne Probleme toleriert werden können.



**Abb. 3-2: Raumkomfort in den Süd-Büros des Büro-Altbaus während der Nutzungszeit**

Unter den hier definierten Randbedingungen ergeben sich in den Südbüros im Sommer an 109 Stunden Temperaturen über 26°C, an 48 Stunden sogar über 28 °C. Im Winter liegt die relative Raumluftfeuchte während der Nutzungszeit an 509 Stunden unter 30 % an 43 Stunden sogar unter 20 %.

Diese Komforteinbußen müssen gegen die Kosteneinsparungen im Bereich der RLT-Anlage abgewogen werden. Hierbei ist allerdings auch zu bedenken, dass die subjektiven Komfortansprüche vieler Mitarbeiter im Falle der Fensterlüftung sinken. Der individuelle Entscheidungsfreiraum, den die Fensterlüftung bietet, wird vom Nutzer als positiv bewertet. Zudem ergibt sich ein zusätzlicher Kühleffekt durch die zum Teil höheren Luftgeschwindigkeiten bei geöffneten Fenstern, was als bewegte, kühle Luft empfunden wird.

Bei der Interpretation der sommerlichen Temperaturen ist zu beachten, dass in der Simulation ein sehr positives Lüftungsverhalten angenommen wurde (siehe Anhang), welches in der Realität nur mit einer Regelung und Stellmotoren an den Fenstern umgesetzt werden kann. So werden z. B. die Fenster sofort geschlossen, sobald die Außentemperatur die Raumtemperatur übersteigt. Außerdem weist das Gebäude einen effizienteren außen liegenden Sonnenschutz auf, der bei zu hoher Einstrahlung geschlossen wird. Wird auf einen derartigen Sonnenschutz verzichtet, würde dies zu einem deutlichen Anstieg der Überhitzungen führen.

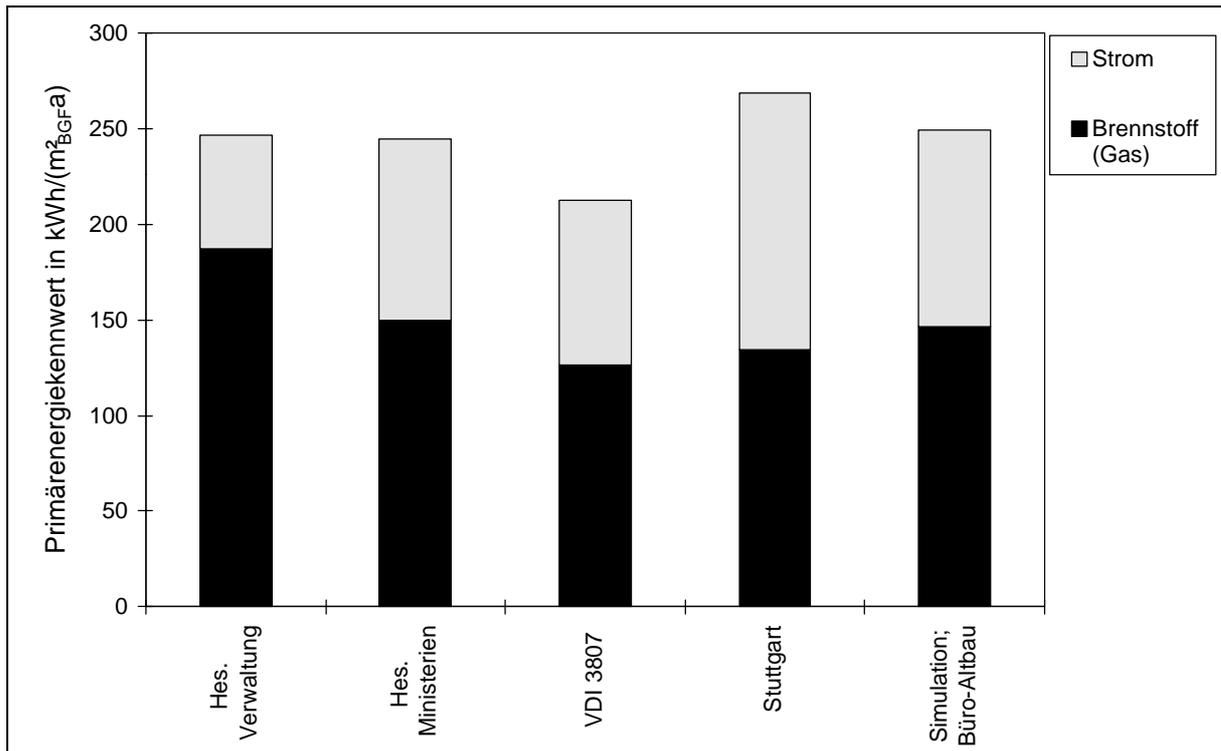
Auch im Winter wird in der Simulation ein optimales Fensteröffnungsverhalten unterstellt. Die Fenster werden nur so lange und so weit geöffnet, dass ein Luftwechsel von ca.  $1 \text{ h}^{-1}$  realisiert wird. In der Realität besteht die Gefahr, dass der Primärenergieaufwand für die Beheizung durch ständig gekippte Fenster deutlich ansteigt. Dies kann verhindert werden indem entweder die Heizkörper bei geöffnetem Fenster abgeschaltet oder die Fenster nach einer gewissen Zeit über Fenstermotoren automatisch geschlossen werden. Fenstermotoren ermöglichen zudem eine Verbesserung des sommerlichen Komforts durch die Realisierung einer Nachtlüftung. Hierzu werden alle Fenster zu gewissen Nachtstunden automatisch geöffnet und die Büros durch kalte Nachtluft gekühlt.

### 3.1.1 Vergleich mit realen Gebäuden

Um zu bewerten, ob die theoretisch berechneten Primärenergiekennwerte des Büro-Altbaus den mittleren Verbrauch bestehender Bürogebäude in etwa abbilden, werden die berechneten Energiekennwerte mit Verbrauchskennwerten einer größeren Anzahl realer Gebäude verglichen. Ausgewertet werden die in Tab. 3-2 aufgeführten Studien.

Kürzel	Beschreibung	Zeitraum	Anzahl	Quelle
Hess. Verwaltung	Hessische Landesliegenschaften: Verwaltung	1993	599	[Knissel 1996]
Hess. Ministerien	Hessische Landesliegenschaften: Obere Bundes- und Landesbehörden	1993	16	[Knissel 1996]
VDI 3807	Untersuchung zu VDI-3807, Blatt 2: Verwaltung (arith. Mittel);	1992 bis 1994	800	[Zeine 1996]
Stuttgart	Kommunale Liegenschaften in Stuttgart: Verwaltungsgebäude	1996	93	[Energiebericht 1996]

**Tab. 3-2: Ausgewertete Studien zu Energiekennwerten von Büro- und Verwaltungsgebäuden**



**Abb. 3-3: Vergleich der Primärenergiekennwerte des Büro-Altbaus mit Verbrauchskennwerten von realen Gebäuden**

Der gesamte Primärenergiekennwert für Brennstoff und Strom liegt bei allen Studien in der Größenordnung von ca. 250 kWh/(m²<sub>BGFa</sub>). Dies wird von dem Simulationsmodell gut wiedergegeben. Unterschiede zwischen den Studien zeigen sich bei der Aufteilung zwischen Strom und Brennstoff. Hier spielt vermutlich die Ausrüstung mit EDV-Arbeitshilfen eine wichtige Rolle. So haben die „Hessischen Ministerien“ einen höheren Ausstattungsgrad und damit Stromverbrauch als die Summe aller Verwaltungsgebäude des Landes Hessen (Hes. Verwaltung). Bei den in Stuttgart untersuchten Verwaltungsgebäude war im Jahr 1993 ein deutlicher Anstieg des Stromverbrauches festzustellen, der sich als Folge einer verstärkten Ausrüstung mit EDV-Arbeitshilfen ergab. Vor diesem Zeitpunkt waren die Kennwerte weitgehend deckungsgleich mit den Untersuchungen zur VDI 3807. Der Primärenergiekennwert des simulierten Büro-Altbaus entspricht damit relativ gut den Verhältnissen eines mittlerweile mit EDV-Arbeitshilfen ausgerüsteten Gebäudes.

### 3.2 Standard-Bürogebäude (klimatisiert)

Bei dem Standard-Bürogebäude<sup>klim.</sup> handelt es sich, wie bei allen nun folgenden Ausführungsvarianten, um einen Büro-Neubau. Für die Definition der Ausführungsqualität wurde angenommen, dass in Bezug auf die energierelevanten Punkte die gesetzlichen Mindestanforderungen eingehalten werden, darüber hinaus aber keine besonderen Energiesparmaßnahmen vorgesehen sind.

Der Dämmstandard der Gebäudehülle entspricht den Anforderungen der Wärmeschutzverordnung 1995.

Die Beleuchtungsanlage und die Arbeitshilfen gleichen den im Büro-Altbau eingesetzten Systemen. Es handelt sich damit um Produkte, die unter dem Gesichtspunkt geringer Investitionskosten ohne Anforderungen an die Energieeffizienz ausgewählt wurden. Als mittlere Beleuchtungsstärke wird in den Büros ein Wert von 500 Lux angenommen. Dieser Wert entspricht dabei den voraussichtlichen Grenzwerten des europäischen Normentwurfes für Einzelbüros. Es wird unterstellt, dass die gesamte Bürofläche mit dieser Normbeleuchtungsstärke ausgeleuchtet wird.

Das Standard-Bürogebäude<sup>klim.</sup> ist mit einer Klimaanlage ausgerüstet. Eine schematische Darstellung der HLK-Anlage ist im Anhang zu finden. Die Anlage versorgt die Büros mit dem aus hygienischen Gründen erforderlichen Mindestluftwechsel (konstanter Volumenstrom). Zudem sorgt sie dafür, dass die Raumluftfeuchte in den von der DIN 1946 geforderten Behaglichkeitsgrenze bleibt (siehe Tab. 3-3). Die Kühlung der Büros erfolgt über Kühldecken.

Eine zusammenfassende Darstellung der Gebäudeparameter gibt Tab. 3-3, eine ausführliche Dokumentation der Randbedingungen enthält der Anhang.

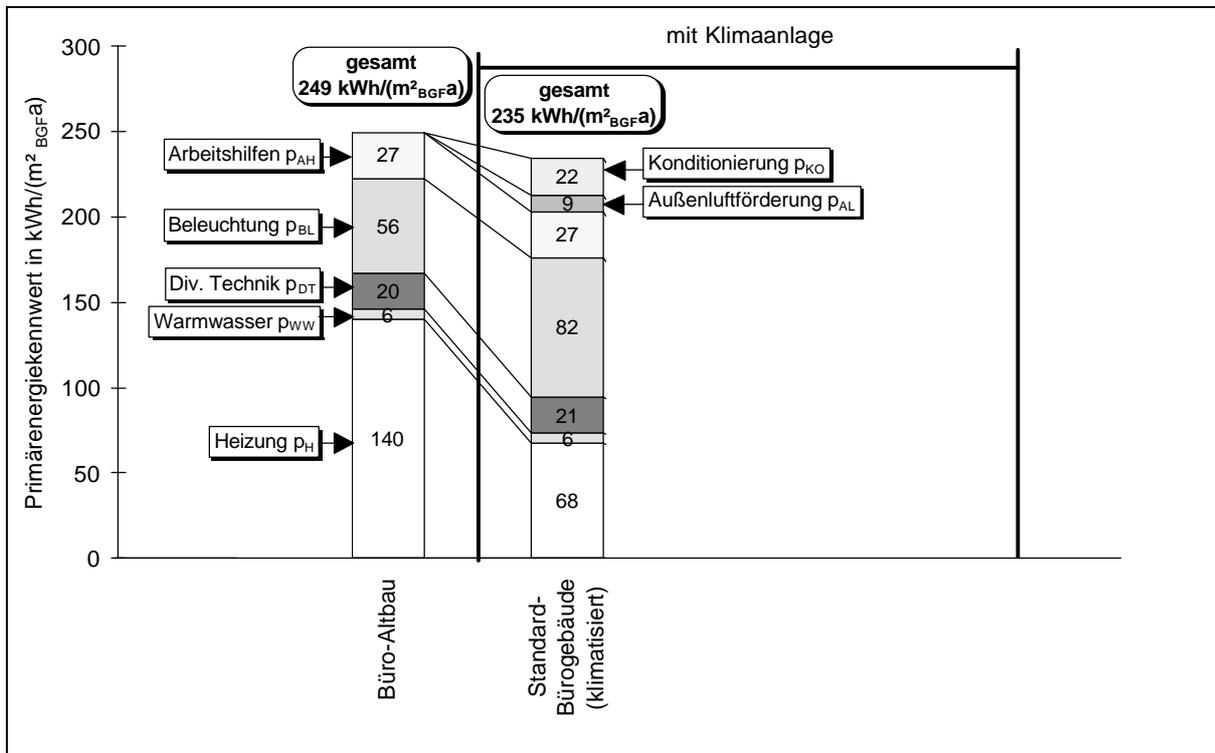
<b>Baukörper:</b> Standard-Bürogebäude <sup>klim.</sup>				
	Außenw.	Dach	Kellerdecke	Fenster
Dämmstoffstärke [cm]	6	12	4	$g_v=0,63$ *
U-Wert [W/(m <sup>2</sup> K)]	0,54	0,3	0,64	$u_F=1,8$
Sonnenschutz	Außen liegende Aluminiumlamellen; geschlossen ab 300 Watt pro m <sup>2</sup> Fensterfläche und Außentemperaturen über 15 °C			
Luftdichtheit der Gebäudehülle: normal; mittlerer Luftwechsel über Undichtigkeiten $n_U = 0,2 \text{ h}^{-1}$				
Zugängliche Speichermassen: Außenwand, Fußboden				
*) zusätzliche Reduktionsfaktoren: Verschmutzung = 0,9; Rahmen = 0,7; Verschattung = 0,84				

<b>Nutzung:</b> Standard-Bürogebäude <sup>klim.</sup>									
Betriebszeit: Werktags 6.30 bis 20.30 Uhr		Nutzungszeit: Werktags 7.30 bis 1830 Uhr							
	<b>Raumklima</b>								
	Raumtemp. in °C min. / max.		Feuchte min. / max.						
	während Betriebszeit	außerhalb Betriebszeit	während Betriebszeit	außerhalb Betriebszeit					
	Büro	22   26	15	30 %   11,5 g/kg					
Flur	20   -	15							
Nebenr.	20   -	15							
	<b>Interne Wärmelasten</b> (Maximale Leistung   Vollbetriebsstunden)								
	Beleuchtung		Arbeitshilfe		Personen		gesamt		
	W/m <sup>2</sup>	h/a	W/m <sup>2</sup>	h/a	W/m <sup>2</sup>	h/a	W/m <sup>2</sup>	h/a	
	Büro	27,1	1650	14,5	1155	5,7	2200	47,3	1560
Flur (innenliegend)		7,3	2750	0	-	0	-	7,3	2750
Nebenräume		7,3	1650	0	-	0	-	7,3	1650
<ul style="list-style-type: none"> <li>ineffiziente Beleuchtung mit spezifischer Anschlussleistung von 5,4 Watt/(m<sup>2</sup>·100 Lux); Beleuchtungsstärke 500 Lux; Vollbetriebszeitfaktor nach [LEE 1995] <math>b_v = 0,6</math></li> <li>Stromverbrauch der Arbeitshilfen: 150 % der Grenzwerte [GED 1998], Stromverbrauch der Computer entsprechend VDI 2078</li> <li>Personenbelegungsdichte: 15 m<sup>2</sup> pro Person</li> </ul>									

<b>Anlagentechnik:</b> Standard-Bürogebäude <sup>klim.</sup>				
Heizung:	Gasbrennwertkessel			
Lüftung:	mech. Lüftungsanlage für hygienischen Mindestaußenluftwechsel Pressung der Ventilatoren: Abluftseite 300 Pa, Zuluftseite 530 Pa			
Luftwechsel in h <sup>-1</sup>		Büro	Flur	Nebenräume
• während Betriebszeit		1,3 + 0,2	0,4 + 0,2	0,4 + 0,2
• außerhalb Betriebszeit (Undichtigkeiten)		0,2	0,2	0,2
Klima:	Kälte:	Kühldecke		
	Entfeuchtung:	Entfeuchtungskühler		
	Befeuchtung:	Dampfbefeuchter		

Tab. 3-3: Wichtigste Kenndaten des Standard-Bürogebäudes<sup>klim.</sup>

Abb. 3-4 zeigt die Primärenergiekennwerte aufgeteilt nach Energiedienstleistungsfunktionen.



**Abb. 3-4: Primärenergiekennwerte des Standard-Bürogebäudes<sup>klim.</sup> im Vergleich zum Büro-Altbau**

Der Primärenergiekennwert des Standard-Bürogebäudes<sup>klim.</sup> liegt mit 235 kWh/(m²<sub>BGFa</sub>) nur um 14 kWh/(m²<sub>BGFa</sub>) unter dem Wert des Büro-Altbaus. Grund für die geringe Primärenergieeinsparung ist die Zunahme des Primärenergieaufwandes für die Beleuchtung. Hierdurch wird die Primärenergieeinsparung bei der Beheizung weitgehend kompensiert.

Der Aufwand zur Beheizung des Standard-Bürogebäudes<sup>klim.</sup> reduziert sich durch den besseren Dämmstandard der Gebäudehülle, die luftdichtere Gebäudehülle und den durch die Lüftungsanlage sichergestellten gleichmäßigeren Luftwechsel erheblich. Zudem wird ein Teil des Heizwärmebedarfs durch die zusätzliche Abwärme der Beleuchtungsanlage gedeckt. Ein derartiges „Heizen mit der Beleuchtung“ ist jedoch sowohl aus energetischer wie aus ökonomischer Sicht ungünstig. Es führt zu einem Anstieg des Primärenergiebedarfs und der Betriebskosten.

Konstant bleibt der Primärenergieaufwand zur Warmwasserbereitung. Er beträgt für alle untersuchten Varianten 6,1 kWh/(m²<sub>BGFa</sub>). Eine denkbare Reduktion dieser Position durch eine thermischen Solaranlage wird in dieser Studie nicht berücksichtigt. Da diese Position für alle Varianten konstant ist, wird sie im Weiteren nicht mehr diskutiert.

Der Primärenergieaufwand für „diverse Technik“ liegt im Standard-Bürogebäude<sup>klim.</sup> etwas höher. Der Grund sind die größeren elektrischen Verluste in den Leitungen und der Transformatorstation, die sich als Folge des höheren Strombedarfs der Beleuchtung ergeben.

Der Primärenergiebedarf zur Beleuchtung liegt mit  $82 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{BGFa}})$  deutlich höher als der Aufwand zur Beheizung. Gründe für den hohen Primärenergiekennwert Beleuchtung sind

- die Beleuchtungsstärke von 500 Lux über die gesamte Bürofläche,
- die fehlende Beleuchtungssteuerung,
- die nicht energie-effiziente Beleuchtungsanlage.

Keine Änderung ergibt sich im Bereich der elektrischen Arbeitshilfen. Das Standard-Bürogebäude<sup>klim.</sup> ist mit der gleichen leider noch ineffizienten Technik ausgerüstet wie der Büro-Altbau.

Aufgrund der vorhandenen Klimaanlage tritt im Standard-Bürogebäude<sup>klim.</sup> ein Strombedarf für die Außenluftförderung von  $9 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{BGFa}})$  und für die Konditionierung von  $22 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{BGFa}})$  auf. 2/3 des Primärenergieaufwandes zur Konditionierung entfallen dabei auf die Befeuchtung der Raumluft, 1/3 auf die Kühlung. Die von den Kühldecken abgeführte maximale Kühlleistung beträgt in den Südbüros ca.  $60 \text{ W}/\text{m}^2_{\text{HNF}}$ . Für die Entfeuchtung im Sommer wird nur ein vernachlässigbar kleiner Primärenergiebedarf von  $0,6 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{BGFa}})$  aufgewendet. Eine detailliertere Darstellung der Einzelpositionen findet sich in Abschnitt 4.

Bei der Interpretation der Ergebnisse ist zu beachten, dass sich

- durch die Klimaanlage zwar ein höherer Stromverbrauch aber auch ein verbesserter Raumkomfort in den Büros ergibt und
- der Primärenergieaufwand zur Kühlung durch den moderaten Fensterflächenanteil von 40 % und den richtig bedienten außen liegenden Sonnenschutz in dem hier untersuchten Gebäude relativ gering ausfällt.

### 3.3 Niedrigenergie-Bürogebäude (klimatisiert)

Vor dem Hintergrund der sich verschärfenden Klimaprobleme aber auch der hohen Betriebskosten stellt der Energiebedarf des Standard-Bürogebäudes<sup>klim.</sup> keine befriedigende Lösung dar. Werden bei der Planung energetische Gesichtspunkte berücksichtigt, kann der Energiebedarf des Gebäudes mit heute am Markt befindlichen Komponenten deutlich gesenkt werden. Dies soll im Folgenden an dem Beispielgebäude dargestellt werden. Das Niedrigenergie-Bürogebäude<sup>klim.</sup> weist gegenüber dem Standard-Bürogebäude<sup>klim.</sup> folgende Verbesserungen auf:

- verbesserter Dämmstandard der Gebäudehülle
- luftdichtere Ausführung der Gebäudehülle
- Verzicht auf abgehängte Decken
- effizientes Beleuchtungssystem mit Beleuchtungssteuerung
- stromsparende Arbeitshilfen entsprechend den Grenzwerten [GED 1998]
- Wärmerückgewinnung aus der Abluft.

Der Dämmstandard der Gebäudehülle entspricht den bei Niedrigenergie-Wohngebäuden üblichen Dämmstoffdicken. Die Luftdichtheit wird derart verbessert, dass beim Drucktest mit dem Blower-Door Testverfahren ein Luftwechsel von etwa  $n_{50} = 1 \text{ h}^{-1}$  erreicht wird. Auf eine abgehängte Decke wird in den Büros verzichtet und damit die thermische Speichermasse vergrößert.

Als Beleuchtungsanlage wird ein energie-effizientes System eingesetzt, auch wenn hierdurch die Kosten je Leuchte ansteigen. Zum Einsatz kommen hochglanz-eloxierte Spiegelrasterleuchten mit elektronischen Vorschaltgeräten und Leuchtstofflampen in Stabform. Die Beleuchtung wird beim Überschreiten der Normbeleuchtungsstärke über eine Beleuchtungssteuerung ausgeschaltet. Als Normbeleuchtungsstärke wird für die gesamte Bürofläche ein Wert von 500 Lux angenommen (siehe auch Abschnitt 3.2).

Als Arbeitshilfen (Computer, Drucker, Kopierer, Fax-Geräte) kommen energie-effiziente Produkte zum Einsatz. Sie entsprechen den Grenzwerten der Gemeinschaft Energielabel Deutschland für 1998 [GED 1998] (siehe auch Abschnitt 3.2).

Das Niedrigenergie-Bürogebäude<sup>klim.</sup> ist mit einer Klimaanlage ausgestattet, die das Raumklima in den Büros in dem von der DIN 1946 definierten Behaglichkeitsbereich hält. Die Klimaanlage gleicht weitgehend der des Standard-Bürogebäudes<sup>klim.</sup>. Sie besitzt jedoch zusätzlich eine Wärmerückgewinnungsanlage, mit der die thermische Energie aus der Abluft auf die Zuluft übertragen wird. Die Rückwärmzahl beträgt 60 % (ohne Wärmegewinne der Ventilatoren). Eine schematische Darstellung der HLK-Anlage sowie eine ausführliche Dokumentation der Gebäudekenndaten ist im Anhang zu finden. Eine zusammenfassende Beschreibung der wichtigsten Größen gibt Tab. 3-4.

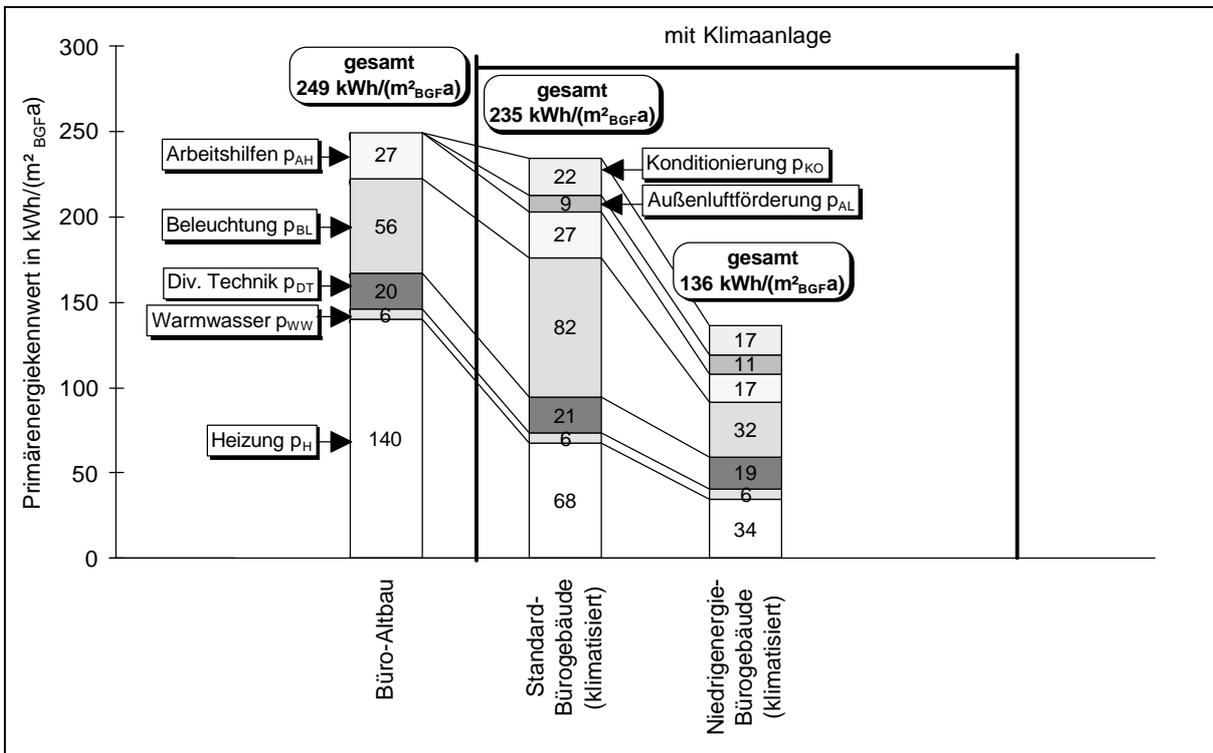
<b>Baukörper: Niedrigenergie-Bürogebäude<sup>klim.</sup></b>				
	Außenw.	Dach	Kellerdecke	Fenster
Dämmstoffstärke [cm]	18	22	14	$g_v=0,53^*$
U-Wert [W/(m <sup>2</sup> K)]	0,21	0,17	0,25	$u_f=1,4$
Sonnenschutz	Außen liegende Aluminiumlamellen; geschlossen ab 300 Watt pro m <sup>2</sup> Fensterfläche und Außentemperaturen über 15 °C			
Luftdichtheit der Gebäudehülle: hoch, mittlerer Luftwechsel über Undichtigkeiten $n_{U}=0,1\text{ h}^{-1}$				
Zugängliche Speichermassen: Außenwand, Decke, Fußboden				
*)zusätzliche Reduktionsfaktoren: Verschmutzung = 0,9; Rahmen = 0,7; Verschattung = 0,84				

<b>Nutzung: Niedrigenergie-Bürogebäude<sup>klim.</sup></b>								
Betriebszeit: Werktags 6.30 bis 20.30 Uhr		Nutzungszeit: Werktags 7.30 bis 18.30 Uhr						
	<b>Raumklima</b>							
	Raumtemp. in °C min. / max.		Feuchte min. / max.					
	während Betriebszeit	außerhalb Betriebszeit	während Betriebszeit	außerhalb Betriebszeit				
	Büro	22 / 26	15	30 % / 11,5 g/kg				
Flur	20 / -	15						
Nebenr.	20 / -	15						
	<b>Interne Wärmelasten</b> (Maximale Leistung   Vollbetriebsstunden)							
	Beleuchtung		Arbeitshilfe		Personen		gesamt	
	W/m <sup>2</sup>	h/a <sup>2</sup>	W/m <sup>2</sup>	h/a	W/m <sup>2</sup>	h/a	W/m <sup>2</sup>	h/a
Büro	12,5	1375	8,8	1155	5,7	2200	26,9	1480

<b>Anlagentechnik: Niedrigenergie-Bürogebäude<sup>klim.</sup></b>				
Heizung:	Gasbrennwertkessel			
Lüftung:	mechanische Lüftungsanlage für hygienischen Mindestaußenluftwechsel mit Wärmerückgewinnung (Rückwärmzahl = 60 %), Pressung der Ventilatoren: Abluftseite 400 Pa, Zuluftseite 630 Pa			
Luftwechsel in h <sup>-1</sup>		Büro	Flur	Nebenräume
• während Betriebszeit		1,3 + 0,1	0,4 + 0,1	0,4 + 0,1
• außerhalb Betriebszeit (Undichtigkeiten)		0,1	0,1	0,1
Klima:	Kälte: Kühldecke			
	Entfeuchtung: Entfeuchtungskühler			
	Befeuchtung: Dampfbefeuchter			

**Tab. 3-4: Wichtigste Kenndaten des Niedrigenergie-Bürogebäudes<sup>klim.</sup>**

Abb. 3-5 zeigt die berechneten Primärenergiekennwerte für ein derart definiertes Gebäude, aufgeteilt nach einzelnen Energiedienstleistungsfunktionen.



**Abb. 3-5: Primärenergiekennwerte des Niedrigenergie-Bürogebäude<sup>klim.</sup> im Vergleich zu den anderen Ausführungsvarianten**

Wird der energetische Standard des Beispielgebäudes auf Niedrigenergieniveau verbessert, sinkt der Primärenergiekennwert entscheidend. Das Niedrigenergie-Bürogebäude<sup>klim.</sup> weist einen Primärenergiebedarf von nur noch 136 kWh/(m²<sub>BGFa</sub>) auf, was einer Reduktion gegenüber dem Standard-Bürogebäude<sup>klim.</sup> um etwa 45 % entspricht.

Hauptverantwortlich für den geringen Primärenergiebedarf sind die Einsparungen bei der Beleuchtung, der Heizung und den Arbeitshilfen. An der gesamten Primärenergieeinsparung haben diese Positionen folgenden Anteil:

- effiziente Beleuchtungsanlage inkl. Beleuchtungssteuerung 50 %,
- verbesserter Wärmeschutz und Wärmerückgewinnung 35 %
- effiziente Arbeitshilfen 10 %

Der geringe Primärenergiekennwert Heizung von 34 kWh/(m²<sub>BGFa</sub>) wird durch den guten Dämmstandard der Gebäudehülle sowie durch die Wärmerückgewinnung aus der Abluft erreicht.

Aufgrund des geringeren Stromverbrauchs reduzieren sich beim Niedrigenergie-Bürogebäude<sup>klim.</sup> die in der Position „diverse Technik“ zusammengefassten elektrischen Verluste. Zudem bedingt der geringere Heizenergiebedarf eine Reduktion der für die Beheizung erforderlichen Hilfsenergien.

Der Primärenergieaufwand für die Beleuchtung kann im Vergleich zum Standard-Bürogebäude<sup>klim.</sup> um 50 kWh/(m<sup>2</sup><sub>BGFa</sub>) gesenkt werden. Erreicht wird dies über das oben beschriebene effiziente Beleuchtungssystem und die Beleuchtungssteuerung.

Da die Wärmerückgewinnung einen zusätzlichen Strömungswiderstand darstellt, erhöht sich der Aufwand zur Außenluftförderung von 9 auf 11 kWh/(m<sup>2</sup><sub>BGFa</sub>).

Der Primärenergiebedarf zur Konditionierung beträgt 17 kWh/(m<sup>2</sup><sub>BGFa</sub>). Hiervon entfallen ca. 2/3 auf die Befeuchtung der Räume im Winter und 1/3 auf Nachtlüftung bzw. aktive Kühlung. Die maximale von der Kühldecke abgeführte Kühlleistung beträgt in den Südbüros ca. 44 W/m<sup>2</sup><sub>HNF</sub>.

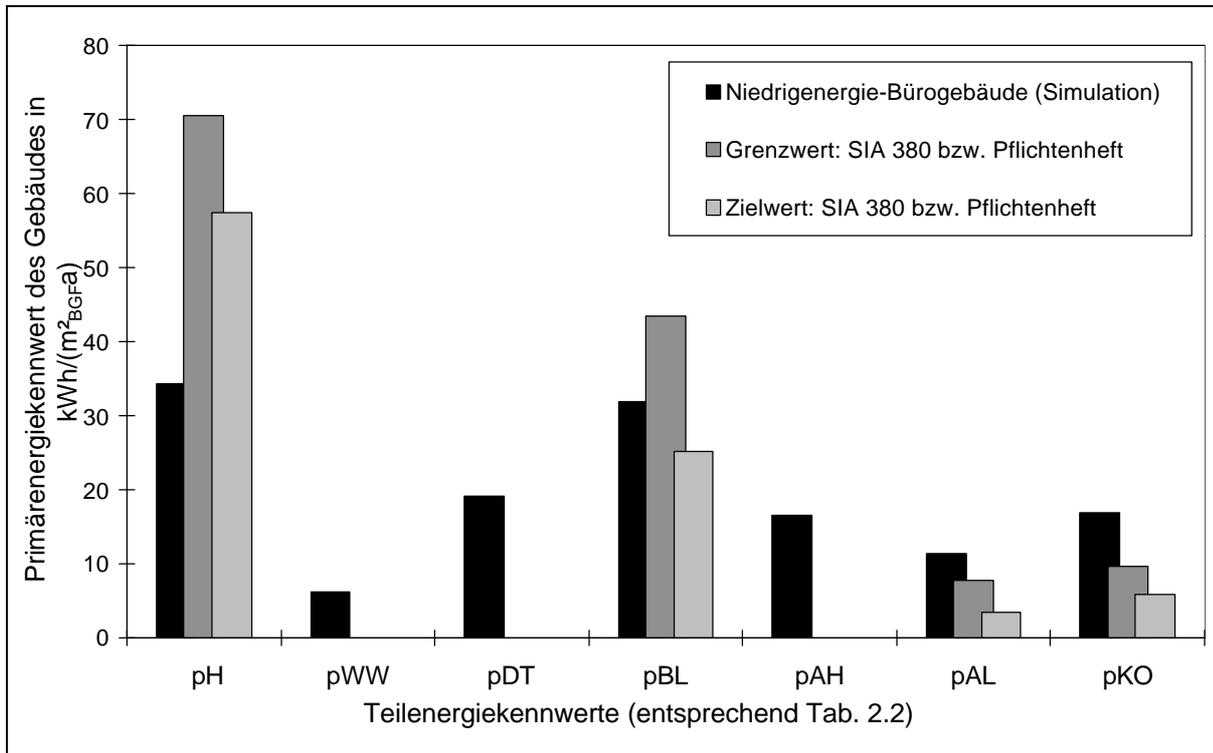
Wie die Untersuchungen zeigen, ist der Effizienz-Standard des Niedrigenergie-Bürogebäudes<sup>klim.</sup> ohne größere Anstrengungen zu erreichen. Der erhöhte Dämmstandard des Baukörpers ist in Wohngebäuden schon vielfach realisiert. Die technischen sowie konstruktiven Fragestellungen können als gelöst angesehen werden [Feist et al. 1997], [Eicke-Hennig 1995]. Die effizienten Arbeitshilfen und Beleuchtungssysteme werden standardmäßig auf dem Markt angeboten und Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung sind in Bürogebäuden weit verbreitet. Das Niedrigenergie-Bürogebäude<sup>klim.</sup> kann somit heute schon als Stand der Technik bezeichnet werden.

### 3.3.1 Vergleich mit den Grenz- und Zielwerten der SIA 380

Um die Größenordnung des berechneten Primärenergiebedarfs zu überprüfen, werden die Teilenergiekennwerte des Niedrigenergie-Bürogebäudes<sup>klim.</sup> den energetischen Anforderungen der in der Schweiz gültigen Norm (Empfehlung) SIA 380 gegenübergestellt. Die Simulationsergebnisse für Heizung und Warmwasser werden dabei mit den Grenz- und Zielwerten der SIA 380/1, der simulierte Strombedarf mit den Grenz- und Zielwerten der SIA 380/4 verglichen. In Deutschland sind die Anforderungen der SIA 380/4 im Pflichtenheft [Pflichtenheft 1996] und dem Leitfaden Elektrische Energie [LEE 2000] des Hessischen Umweltministeriums weitgehend übernommen. Das Pflichtenheft weist im Unterschied zur SIA 380/4 gesonderte Teilenergiekennwerte für Außenluftförderung und Konditionierung aus. Diese werden als Vergleichsmaßstab herangezogen.

Die Grenz- und Zielwerte der SIA 380/4 sind für unterschiedliche Nutzungszonen definiert. Um hieraus Gebäudekennwerte zu ermitteln, werden die Flächenanteile (Büro, Verkehrsfläche, Nebenfläche) des Beispielgebäudes zugrunde gelegt.

Abb. 3-6 zeigt die spezifischen Primärenergiekennwerte für das Niedrigenergie-Bürogebäude<sup>klim.</sup> im Vergleich zu den Planungs-Kennwerten.



**Abb. 3-6: Vergleich der Primärenergiekennwerte des Niedrigenergie-Bürogebäude<sup>klim.</sup> mit den Grenz- und Zielwerten der SIA bzw. des Pflichtenheftes (Gebäudekennwerte, bezogen auf die Brutto-Grundfläche)**

Der Primärenergiekennwert Raumheizung pH liegt deutlich unter den Werten der SIA 380/1. Gründe sind u. a. die Berücksichtigung der Wärmerückgewinnung und einer Nacht- und Wochenendabsenkung in den Simulationsläufen. Wird auf beides verzichtet, ergibt sich in der Simulation ein Primärenergiekennwert für die Beheizung von 67 kWh/(m<sup>2</sup><sub>BGFa</sub>) was in etwa dem Grenzwert der SIA 380/1 entspricht. Grund für den in diesem Fall recht hohe Energiekennwert ist die in der Simulation angenommene Mindesttemperatur in den Büros von 22 °C. Die SIA 380/1 geht von einer mittleren Raumlufttemperatur von 20 °C aus.

Der Primärenergiekennwert Beleuchtung liegt zwischen Grenzwert und Zielwert der SIA 380/4. Der Zielwert wird trotz des effektiven Beleuchtungssystems nicht erreicht, da die in der Simulation angenommenen Vollbetriebsstunden von 1375 Stunden pro Jahr über dem in der SIA 380/4 angenommenen Wert von 1 100 Stunden pro Jahr liegt.

Im Bereich der Außenluftförderung übersteigt der Primärenergiekennwert sogar den Grenzwert des Pflichtenheftes (SIA-380/4). Grund für den hohen Wert trotz effizienter Technik ist die von der DIN 1946 geforderte hygienische Mindestaußenluftmenge. Sie beträgt bei dem Beispielgebäude 60 m<sup>3</sup>/(Person · h) während im Pflichtenheft sowie in der SIA-380/4 von nur 25 bis 30 m<sup>3</sup>/(Person · h) ausgegangen wird. Zudem ist die in der Simulation angesetzte Laufzeit der Lüftungsanlage mit 14 Stunden pro Tag höher als die Annahme der SIA 380/4 von 11 Stunden pro Tag. Da die Lüftungsanlage wenigstens eine Stunde vor Nutzungsbeginn einge-

schaltet werden muss und auch für länger anwesende Mitarbeiter und Reinigungspersonal noch ein gewisser Nachlauf erforderlich ist, scheinen 14 Stunden als Betriebszeit jedoch gerechtfertigt.

Auch der im Niedrigenergie-Bürogebäude<sup>klim.</sup> berechnete Primärenergiekennwert Konditionierung liegt über dem Grenzwert des Pflichtenheftes (SIA-380/4). Grund ist der hohe Energieaufwand zur Befeuchtung der Raumluft. Ein Energieaufwand zur Be- bzw. Entfeuchtung der Raumluft ist im Grenz- bzw. Zielwert des Pflichtenheftes nicht berücksichtigt, wodurch sich die niedrigeren Werte erklären.

Die Teilenergiekennwerte des Niedrigenergie-Bürogebäudes<sup>klim.</sup> stehen damit in plausiblen Zusammenhang zu den Planungswerten der SIA 380 bzw. dem Pflichtenheft. Die vorhandenen Differenzen können durch die unterschiedlichen Randbedingungen erklärt werden.

### 3.3.2 Vergleich mit einem realen Gebäude

Als weitere Plausibilitätsüberprüfung wird der berechnete Primärenergiebedarf des Niedrigenergie-Bürogebäudes<sup>klim.</sup> dem gemessenen Verbrauch eines realen Gebäudes mit entsprechend hoher energetischer Qualität gegenübergestellt.

Bei dem Vergleichsgebäude handelt es sich um den Neubau des Verwaltungsgebäudes der Deutschen Bundesstiftung Umwelt. Das Gebäude wurde im Jahr 1995 fertiggestellt und bezogen. Abb. 3-7 zeigt eine Ansicht des Gebäudes. Als Grundrissform wurden fünf miteinander verbundene Zylinder gewählt.



**Abb. 3-7: Verwaltungsgebäude der Deutschen Bundesstiftung Umwelt in Osnabrück**

Die Planungsziele werden in [Deutsche Bundesstiftung Umwelt 1995] wie folgt beschrieben: „Es wurde großer Wert auf einen schonenden Umgang mit dem Boden und seiner Vegetation gelegt. Der Energiebedarf wurde minimiert. Die ressourcenschonende Baustoffauswahl und die recyclinggerechte Konstruktion war Planungsprinzip. Gleichzeitig bestand der Anspruch, zum Ende des 20. Jahrhunderts einen außergewöhnlichen städtebaulichen Akzent zu setzen. Das neue Verwaltungsgebäude sollte architektonisch und ökologisch zukunftsweisend sein.“

Die wichtigsten energetischen Kenndaten sind in Tab. 3-5 zusammengefasst.

Deutsche Bundesstiftung Umwelt in Osnabrück					
<b>allgemein</b>	Baujahr: 1995 Grundriss: fünf verbundene Zylinder, 3 Geschosse Brutto-Grundfläche: 4 550 m <sup>2</sup> ; Netto-Grundfläche: 3 490 m <sup>2</sup> ; Belegung: ca. 100 Pers.				
<b>Baukörper:</b>	Deutsche Bundesstiftung Umwelt				
	Außenw.	Dach	Kellerdecke	Verglasung	Rahmen
Dämmstoffstärke [cm]	10	12	12	g ≈ 0,4	
U-Wert [W/(m <sup>2</sup> K)]	ca. 0,35	ca. 0,25	ca. 0,25	k = 0,8	k = 1,0
Sonnenschutz	durch umgebende Bäume, Rankgerüst und außenliegenden Blendschutz				
Sonstiges	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A/V-Verhältnis: 0,41</li> <li>• keine abgehängte Decke</li> <li>• Luftdichtheit: Blowerdoor Messung ergab n<sub>50</sub> = 0,92</li> </ul>				
<b>Nutzung:</b>	Deutsche Bundesstiftung Umwelt				
Hauptsächlich Büronutzung, Belegungsdichte ca. 20 m <sup>2</sup> <sub>HNF</sub> pro Person daneben: Kasino + Küche 90 m <sup>2</sup> sowie Konferenzraum 100 m <sup>2</sup> (beide mechanisch belüftet) Nutzungszeit: Werktags 8.00 bis 17.00 Uhr <sup>0</sup>					
Raumtemperatur	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Während der Nutzungszeit: 20 °C bis 22 °C</li> <li>• Nachtabsenkung: 17 °C</li> <li>• Wochenendabsenkung: von Fr 19.00 bis Mo 5.00 Uhr auf 10 °C</li> </ul>				
Feuchte	nicht begrenzt				
Beleuchtung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• weitgehende Tageslichtnutzung in Büros und Verkehrsflächen</li> <li>• Stehleuchten (2x36 W) in den Büros</li> </ul>				
Arbeitshilfen	keine besonderen Anforderungen				
<b>Anlagentechnik:</b>	Deutsche Bundesstiftung Umwelt				
Regelung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Einzelraumtemperaturregelung</li> <li>• Europäischer Installationsbus (EIB)</li> </ul>				
Heizung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gasbrennwertkessel</li> </ul>				
Lüftung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Büros: Fensterlüftung mit automatischer Solltemperaturabsenkung bei geöffnetem Fenster auf 15 °C</li> <li>• Konferenzräume und Kasino: Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung</li> </ul>				
Klima	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kälte: nicht vorhanden</li> <li>• Entfeuchtung: nicht vorhanden</li> <li>• Befeuchtung: nicht vorhanden</li> </ul>				

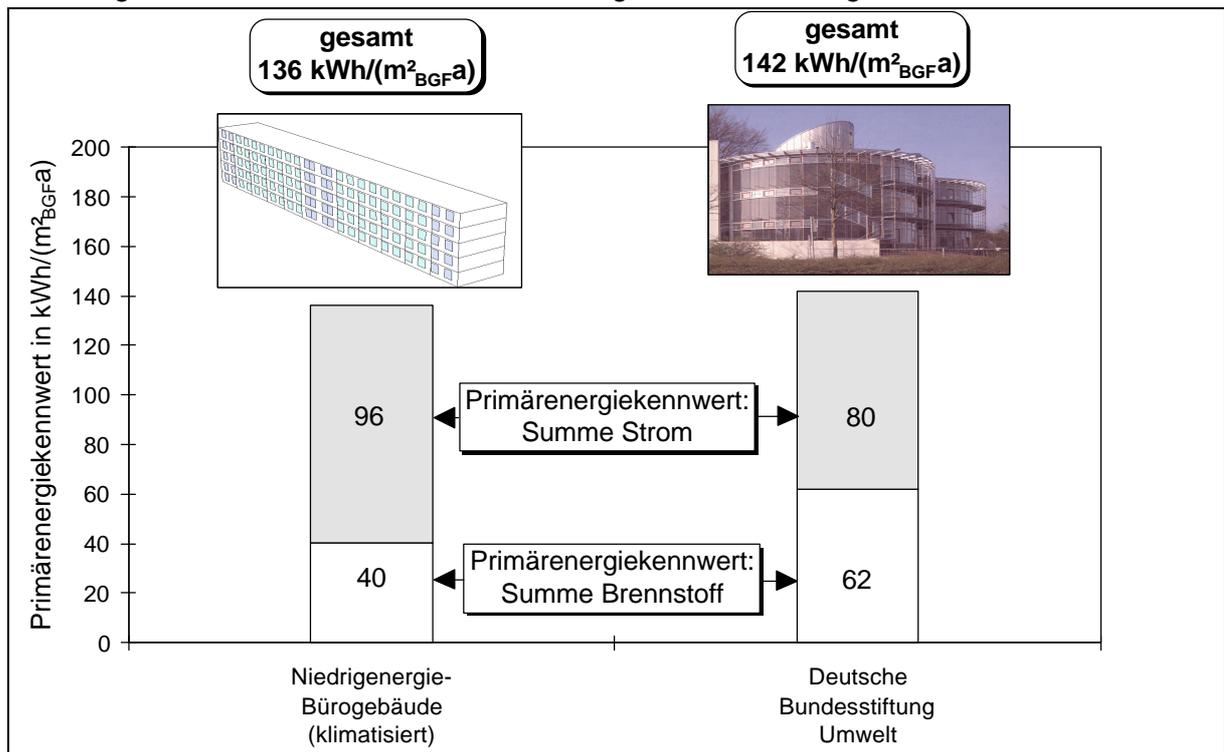
**Tab. 3-5: Wichtigste energetische Kenndaten des Verwaltungsgebäudes der Deutschen Bundesstiftung Umwelt aus Osnabrück**

Für die Beheizung des Gebäudes wurde in der Heizperiode 1996/1997 ein Gasverbrauch von  $64 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{NGFA}})$  gemessen. Der Stromverbrauch betrug im Jahr 1997 etwa  $30 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{NGFA}})$ . Beide Verbrauchskennwerte werden mit dem Faktor 0,9 auf die Bruttogrundfläche und über die Faktoren aus Tab. 2-1 auf Primärenergie umgerechnet.

Damit ergeben sich die folgenden gebäudebezogenen Primärenergiekennwerte:

$$\begin{aligned} \text{Gas: } & 64 \text{ kWh}_{\text{End}}/(\text{m}^2_{\text{NGFA}}) \cdot 0,9 \text{ m}^2_{\text{BGF}}/\text{m}^2_{\text{BGF}} \cdot 1,07 \text{ kWh}_{\text{Prim}}/\text{kWh}_{\text{End}} = & 62 \text{ kWh}_{\text{Prim}}/(\text{m}^2_{\text{BGFa}}) \\ \text{Strom: } & 30 \text{ kWh}_{\text{End}}/(\text{m}^2_{\text{NGFA}}) \cdot 0,9 \text{ m}^2_{\text{BGF}}/\text{m}^2_{\text{BGF}} \cdot 2,97 \text{ kWh}_{\text{Prim}}/\text{kWh}_{\text{End}} = & 80 \text{ kWh}_{\text{Prim}}/(\text{m}^2_{\text{BGFa}}) \end{aligned}$$

Den Vergleich mit den berechneten Primärenergiekennwerten zeigt Abb. 3-8.



**Abb. 3-8: Vergleich der berechneten Primärenergiekennwerte des Niedrigenergie-Bürogebäudes<sup>klim.</sup> mit Verbrauchskennwerten des Verwaltungsgebäudes der Deutschen Bundesstiftung Umwelt in Osnabrück (1996/1997)**

Der Primärenergiekennwert für die Beheizung des Verwaltungsgebäudes der Deutschen Bundesstiftung Umwelt ist mit  $62 \text{ kWh}_{\text{Prim}}/(\text{m}^2_{\text{BGFa}})$  höher als im simulierten Niedrigenergie-Bürogebäude<sup>klim.</sup>. Die Abweichungen können in folgenden Punkten begründet sein:

- Unterschiedliche Wetterrandbedingungen: während das Niedrigenergie-Bürogebäude<sup>klim.</sup> mit dem Testreferenzjahr Frankfurt (TRY 6) simuliert wurde, liegt dem Verbrauchskennwert des DBU-Gebäudes das reale Wetter der Heizperiode 1996/1997 in Osnabrück zugrunde. Da der Winter 1996/1997 relativ kalt war, ist ein überdurchschnittlich hoher Gasverbrauch erklärbar.
- Unterschiedliche Lüftungsstrategien: Während das Gebäude der DBU über Fensterlüftung belüftet wird, ist das Niedrigenergie-Bürogebäude<sup>klim.</sup> mit einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung ausgerüstet. Insbesondere durch die Wärmerückgewinnung werden im

Niedrigenergie-Bürogebäude<sup>klim.</sup> die Lüftungswärmeverluste vermindert und der Heizenergiebedarf reduziert.

- Unterschiedliche Dämmstoffdicken: Der Dämmstandard der Gebäudehülle ist beim Niedrigenergie-Bürogebäude<sup>klim.</sup> deutlich besser, wodurch sich ein niedriger Heizenergiebedarf ergibt.

Die Primärenergiekennwerte für den Stromverbrauch stimmen relativ gut überein. Während das DBU-Gebäude im Jahr 1997 einen Primärenergiekennwert Strom von  $80 \text{ kWh}_{\text{Prim}}/(\text{m}^2_{\text{BGFa}})$  aufwies, berechnet sich der Primärenergiekennwert für das Niedrigenergie-Bürogebäude<sup>klim.</sup> zu  $96 \text{ kWh}_{\text{Prim}}/(\text{m}^2_{\text{BGFa}})$ . Trotz der Übereinstimmung gibt es Unterschiede bei der Stromnutzung:

- Unterschiedliche Lüftungs- und Klimatisierungsstrategien: Das DBU-Gebäude wird überwiegend über Fenster belüftet und nicht klimatisiert, während das Niedrigenergie-Bürogebäude<sup>klim.</sup> mit einer Klimaanlage ausgerüstet ist. Dadurch ergibt sich ein zusätzlicher Primärenergieaufwand zur Außenluftförderung und Konditionierung.
- Unterschiedliche Personenbelegungsdichten: Die Personenbelegung ist mit  $20 \text{ m}^2_{\text{HNF}}$  pro Person geringer als in dem Niedrigenergie-Bürogebäude<sup>klim.</sup> ( $15 \text{ m}^2_{\text{HNF}}$  pro Person). Dadurch reduziert sich die Anzahl der Computer bzw. Arbeitshilfen, was einen geringeren Stromverbrauch zur Folge hat.
- Unterschiedlicher Stromverbrauch der Arbeitshilfen: Im DBU-Gebäude werden keine besonderen Anforderungen an die Energie-Effizienz der Arbeitshilfen gestellt, wodurch ein erhöhter Stromverbrauch zustande kommen kann.
- Unterschiedliche Nutzung: Im DBU-Gebäude gibt es ein Kasino mit Küche. Je nach Nutzungsintensität liegt der Stromverbrauch für diesen Bereich höher als bei einer Büronutzung.
- Unterschiedliche Beleuchtungskonzepte: Durch versetzbare Stehleuchten wird in dem DBU Gebäude eine arbeitsplatzorientierte Beleuchtung realisiert. Durch diese Zonierung der Beleuchtungsstärke sinkt der Strombedarf der Beleuchtung.

Trotz der Unterschiede liegen die Primärenergiekennwerte der beiden Gebäude sehr nah beieinander. Der Vergleich verdeutlicht, dass der theoretisch berechnete Primärenergiekennwert des Niedrigenergie-Bürogebäudes<sup>klim.</sup> in der Realität von einem energetisch gut geplanten Gebäude erreicht werden kann.

### 3.4 Passiv-Bürogebäude (klimatisiert)

Eine Verbesserung der Energieeffizienz über das Niveau des Niedrigenergie-Bürogebäudes ist heute bereits möglich und aus Klimaschutzgründen dringend nötig. Bei der nächsten Variante wird die energetische Qualität des Beispielgebäudes noch einmal gesteigert, so dass in allen Bereichen weitgehend die heute maximal mögliche Effizienz erreicht wird. Dabei wird weiterhin darauf geachtet, dass nur Produkte eingesetzt werden, die heute bereits auf dem Markt erhältlich sind, und dass die gesetzlichen Vorschriften eingehalten werden.

Die im Folgenden untersuchte hocheffiziente Ausführungsvariante wird als Passiv-Bürogebäude bezeichnet. Dieser Name wurde gewählt, da viele konstruktive Gemeinsamkeiten zu dem bei Wohngebäuden bereits eingeführten Passivhaus-Standard [Feist 1996] bestehen. So ist auch beim Passiv-Bürogebäude das vorrangige Planungsziel die Energie-Bedarfsminimierung. Nur der verbleibende Restenergiebedarf wird aktiv durch Brennstoff, Strom oder regenerative Energieträger gedeckt. Die Energie-Bedarfsminimierung wird dabei überwiegend durch passive Maßnahmen erreicht, wie z. B. eine verstärkte Wärmedämmung, passive Solarenergienutzung oder eine effiziente Beleuchtungsanlage. „Passiv“ bedeutet in diesem Zusammenhang jedoch nicht, dass keine aktiven Komponenten eingesetzt werden. So sind z. B. die Lüftungsanlage und der Rotationswärmetauscher wichtige aktive Komponenten, die zum Erreichen des Effizienz-Standards benötigt werden.

Mit der hier gewählten Namensgebung soll keine Definition des Begriffs „Passiv-Bürogebäudes“ vorgenommen werden. Für eine solche Festlegung sind weitere Untersuchungen notwendig. Ein entsprechender energetischer Standard muss letztlich über die Festlegung eines maximalen Primärenergiekennwertes definiert werden.

Die in diesem Abschnitt betrachtete Ausführungsvariante des Passiv-Bürogebäudes weist aus systematischen Gründen noch eine Klimaanlage auf. Wie bei den bisherigen Neubauvarianten wird dies durch ein hochgestelltes<sup>klim.</sup> gekennzeichnet. Das Passiv-Bürogebäude ohne Klimaanlage wird in Abschnitt 5 vorgestellt.

Vom Niedrigenergie-Bürogebäude<sup>klim.</sup> unterscheidet sich das Passiv-Bürogebäude<sup>klim.</sup> in folgenden Punkten:

- Dämmstandard der Gebäudehülle
- Luftdichtheit der Gebäudehülle
- Beleuchtungskonzept
- Strombedarf von Kopierer, Drucker, Fax und Computern
- Aufbau der Klimaanlage.

Der Dämmstandard des Baukörpers entspricht den bei Passiv-Wohngebäuden üblichen Dämmstoffdicken von 30 cm bis 40 cm. Als Fenster werden 3-fach Wärmeschutzverglasungen in hochwärmegedämmten Fensterrahmen eingesetzt. Der Fenster-U-Wert beträgt in der Simulation 0,78 W/(m<sup>2</sup>K).

Die Büros sind mit extrem effizienten elektrischen Geräten ausgerüstet. Der Strombedarf von Kopierern, Druckern und Faxgeräten beträgt nur noch 75 % der Grenzwerte [GED 1998]. Als Computer werden Notebooks eingesetzt. Diese haben bei vergleichbarer Performance einen deutlich geringeren Stromverbrauch, insbesondere für die Bildschirmanzeige.

Das Beleuchtungskonzept der Büros weicht beim Passiv-Bürogebäude<sup>klim.</sup> von der bisher angenommenen gleichmäßigen Ausleuchtung des gesamten Raumes ab. Es wird von einer Grundausleuchtung der Büros über Deckenleuchten mit einer Beleuchtungsstärke von 220 Lux ausgegangen. Die Normbeleuchtungsstärke auf dem Arbeitsplatz von 500 Lux wird durch zusätzliche Arbeitsplatzleuchten realisiert. Die Mitarbeiter können so individuell die Beleuchtungsstärke erhöhen und an die jeweilige Sehaufgabe anpassen. Dieses Konzept entspricht dem europäischen Normentwurf E-DIN 5035-2; 1996-06 und ist besonders für Bildschirmarbeitsplätze geeignet.

Als Lüftungs- und Klimaanlage kommt eine Anlage mit variablem Volumenstrom, Erdreichwärmetauscher und hocheffizienter Wärmerückgewinnung zum Einsatz. Die Komfortanforderungen der DIN 1946 werden in den Büros zu jeder Zeit eingehalten. Eine schematische Darstellung der HLK-Anlage ist im Anhang zu finden.

Tab. 3-6 gibt eine zusammenfassende Beschreibung der wichtigsten Gebäudekenndaten. Ausführlich ist das der Berechnung zugrunde liegende Gebäudemodell im Anhang dokumentiert.

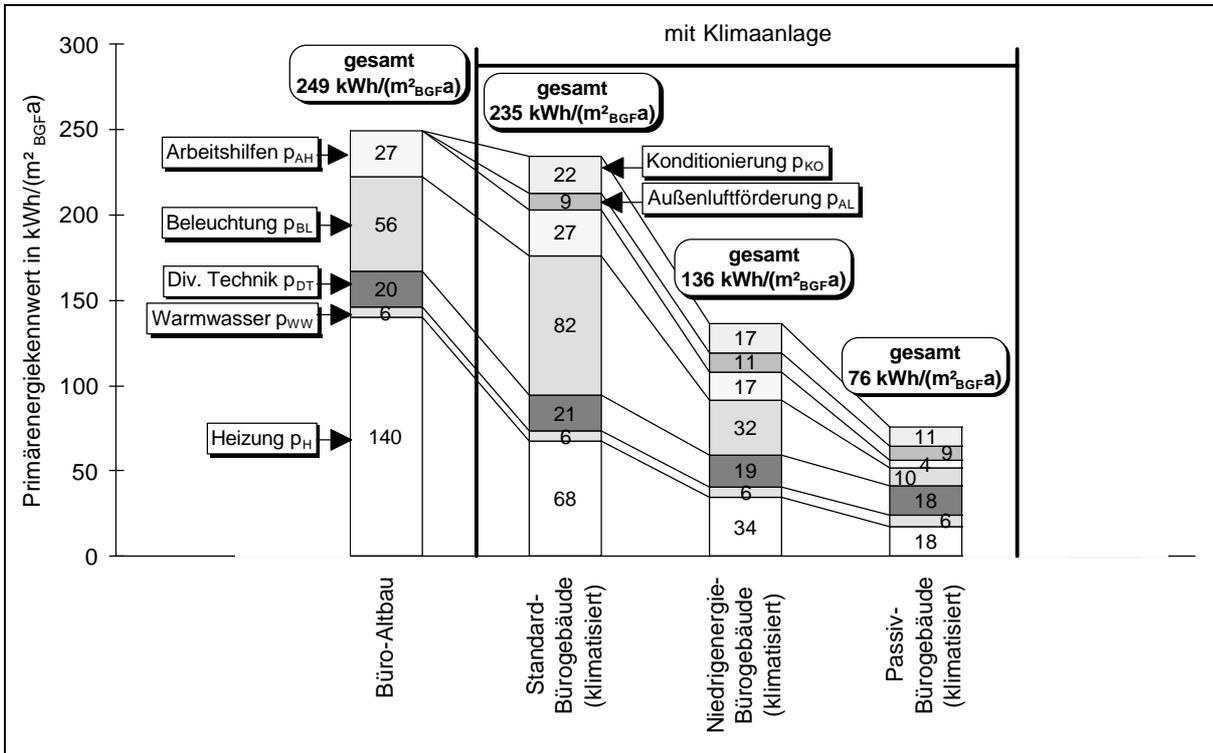
<b>Baukörper:</b> Passiv-Bürogebäude <sup>klim.</sup>				
	Außenw.	Dach	Kellerdecke	Fenster
Dämmstoffstärke [cm]	30	40	30	$g_v=0,49^*$
U-Wert [W/(m <sup>2</sup> K)]	0,13	0,1	0,12	$u_F=0,78$
Sonnenschutz	Außen liegende Aluminiumlamellen; geschlossen ab 300 Watt pro m <sup>2</sup> Fensterfläche und Außentemperaturen über 15 °C			
Luftdichtheit der Gebäudehülle: sehr hoch, mittel. Luftwechsel über Undichtigkeiten $n_{U}=0,05\text{ h}^{-1}$				
Zugängliche Speichermassen: Außenwand, Decke, Fußboden				
*) zusätzliche Reduktionsfaktoren: Verschmutzung = 0,9; Rahmen = 0,7; Verschattung = 0,84				

<b>Nutzung:</b> Passiv-Bürogebäude <sup>klim.</sup>								
Betriebszeit: Werktags 6.30 bis 20.30 Uhr			Nutzungszeit: Werktags 7.30 bis 18.30 Uhr					
	<b>Raumklima</b>							
	Raumtemp. in °C min. / max.		Feuchte min. / max.					
	während Betriebszeit	außerhalb Betriebszeit	während Betriebszeit	außerhalb Betriebszeit				
Büro	22 / 26	15	30 % / 1,5 g/kg	-				
Flur	20 / -	15	-	-				
Nebenr.	20 / -	15	-	-				
	<b>Interne Wärmelasten (Maximale Leistung   Vollbetriebsstunden)</b>							
	Beleuchtung		Arbeitshilfe		Personen		gesamt	
	W/m <sup>2</sup>	h/a	W/m <sup>2</sup>	h/a	W/m <sup>2</sup>	h/a	W/m <sup>2</sup>	h/a
Büro	6,2	740	2,6	1100	5,7	2200	14,4	1380
Flur (innenliegend)	1,7	2750	0	-	0	-	1,7	2750
Nebenräume	1,7	825	0	-	0	-	1,7	825
<ul style="list-style-type: none"> <li>effiziente Beleuchtung mit spezifischer Anschlussleistung von 2,5 Watt/(m<sup>2</sup>·100 Lux), Grundbeleuchtungsstärke von 220 Lux mit Tageslichtsteuerung und Arbeitsplatzleuchten, Vollbetriebszeitfaktor nach [LEE 1995]: <math>b_v=0,27</math></li> <li>Stromverbrauch der Arbeitshilfe: 75 % des Grenzwertes [GED 1998], Computer: Notebooks</li> <li>Personenbelegungsdichte: 15 m<sup>2</sup> pro Person</li> </ul>								

<b>Anlagentechnik:</b> Passiv-Bürogebäude <sup>klim.</sup>				
Heizung:	Gasbrennwertkessel			
Lüftung:	mechanische Lüftungsanlage mit variablem Volumenstrom, Wärmerückgewinnung (Rückwärmzahl = 75 %) Erdreichwärmetauscher: Länge: 2 x 90 m, Durchmesser: 0,8 m, Verlegetiefe: 3 m Pressung der Ventilatoren: Abluftseite 440 Pa, Zuluftseite 1 170 Pa			
Luftwechsel in h <sup>-1</sup>		Büro	Flur	Nebenräume
<ul style="list-style-type: none"> <li>während Betriebszeit</li> <li>außerhalb Betriebszeit (Undichtigkeiten)</li> </ul>		1,3 + 0,05	0,4 + 0,05	0,4 + 0,05
		0,05	0,05	0,05
Klima:	Kälte: Zuluftkühlung, maximale Untertemperatur 8 Kelvin			
	Entfeuchtung: Entfeuchtungskühler			
	Befeuchtung: Dampfbefeuchter			

Tab. 3-6: Wichtigste Kenndaten des Passiv-Bürogebäudes<sup>klim.</sup>

Abb. 3-9 zeigt die Primärenergiebilanz für das Passiv-Bürogebäude<sup>klim.</sup> im Vergleich zu den anderen Ausführungsvarianten des Beispielgebäudes.



**Abb. 3-9: Primärenergiekennwerte des Passiv-Bürogebäudes<sup>klim.</sup> im Vergleich zu den anderen Ausführungsvarianten**

Wird die energetische Qualität des Beispielgebäudes auf das derzeit maximale Effizienzniveau verbessert, reduziert sich der Primärenergiekennwert auf 76 kWh/(m²<sub>BGFa</sub>). Gegenüber dem Standard-Bürogebäude<sup>klim.</sup> bedeutet dies eine Einsparung von etwa 70 %. Verglichen mit dem Niedrigenergie-Niveau ergibt sich eine Reduktion um etwa 45 %. Die Einsparungen gegenüber dem Niedrigenergie-Bürogebäude<sup>klim.</sup> teilt sich wie folgt auf:

- 36 % durch die Verbesserung der Effizienz der Beleuchtung
- 25 % im Bereich der Heizung
- 20 % durch Verbesserung der Effizienz der Arbeitshilfen
- 10 % im Bereich der Konditionierung.

Die einzelnen Positionen sollen der Reihe nach kurz erläutert werden.

Der Teilenergiekennwert Heizung liegt mit einem Primärenergiebedarf von ca. 18 kWh/(m²<sub>BGFa</sub>) in dem für Passiv-Wohngebäude üblichen Bereich. Die Reduktion im Bereich der Heizung ist Folge des verbesserten Wärmeschutzstandards sowie der höheren Rückwärmzahl der Wärmerückgewinnung und des Erdreichwärmetauschers.

Der Primärenergiebedarf für diverse Techniken fällt bei diesem hocheffizienten Standard deutlich ins Gewicht. Maßgeblich sind dabei die Stromverbräuche von Fahrstuhl und Telefonanlage. Hier sind im Rahmen der Simulationsrechnungen keine Optimierungen vorgenommen worden.

In real ausgeführten Passiv-Bürogebäuden müssen aber auch diese Punkte mit berücksichtigt werden. Um den Stromverbrauch der Fahrstühle zu reduzieren ist es z. B. sinnvoll, ein einladendes, exponiert angeordnetes Treppenhaus vorzusehen.

Der Stromverbrauch der Beleuchtung wird gegenüber dem Niedrigenergie-Bürogebäude<sup>klim.</sup> noch einmal um 2/3 auf einen Primärenergiekennwert von  $10 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{BGFa}})$  reduziert. Erreicht wird dies durch die oben bereits erwähnte bedarfsorientierte Zonierung der Beleuchtungsstärke.

Der Primärenergiekennwert der Arbeitshilfen beträgt beim Passiv-Bürogebäude<sup>klim.</sup> nur noch  $4 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{BGFa}})$ . Neben den stromsparenden Kopierern, Druckern und Faxgeräten ist hierfür der Einsatz von LCD-Bildschirmen statt üblicher Röhrenbildschirme und Rechner mit Notebook-Technik verantwortlich.

Der Primärenergiebedarf zur Außenluftförderung ist geringer als bei der Niedrigenergievariante, obwohl zuluftseitig der Druckverlust des Erdreichwärmetauschers mit überwunden werden muss. Dies liegt u. a. daran, dass die Lüftungskomponenten und Kanäle im Passiv-Bürogebäude<sup>klim.</sup> auf den maximalen Luftwechsel von  $n_l = 3 \text{ h}^{-1}$  ausgelegt und damit größer dimensioniert sind. In den meisten Fällen wird jedoch nur der hygienische Außenluftwechsel von  $n_l = 1,3 \text{ h}^{-1}$  gefördert. Damit arbeitet die Lüftungsanlage häufig im Teillastbetrieb, was niedrigere Strömungsgeschwindigkeiten und einen geringeren Strombedarf der Ventilatoren zur Folge hat.

Mit einem Primärenergiebedarf von  $11 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{BGFa}})$  trägt die Konditionierung einen wesentlichen Anteil zum Gesamtbedarf bei. Mit  $9 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{BGFa}})$  ist die Befeuchtung der Raumluft der dominierende Verbrauchsfaktor bei der Konditionierung. Aktive Kühlung, Nachtlüftung oder freie Kühlung ist kaum noch erforderlich. Dies deutet auf ein sehr gutes sommerliches Temperaturverhalten des Passiv-Bürogebäudes<sup>klim.</sup> hin.

### 3.4.1 Vergleich mit einem realen Gebäude

Derzeit existiert bereits ein Gebäude, das bezüglich des energetischen Standards dem hier simulierten Passiv-Bürogebäude<sup>klim.</sup> bzw. dem weiter unten vorgestellten Passiv-Bürogebäude ähnelt. Es handelt sich dabei um das neue Verwaltungsgebäude der Firma Wagner & Co in Cölbe (bei Marburg). Das Gebäude weist einen Rechteckgrundriss mit einer abgerundeten Stirnseite und drei Vollgeschossen auf (siehe Abb. 3-10). Es beherbergt neben den Büroarbeitsplätzen, die in der Regel mit PCs ausgestattet sind, den Versand sowie eine Kantine mit Küche. Das Gebäude wurde im Jahr 1998 fertig gestellt und bezogen.

Der theoretisch berechnete Heizenergiebedarf des Gebäudes liegt unter  $10 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  [Schweizer 1999]. Ein umfangreiches Messprogramm soll u. a. überprüfen, ob dieser projektierte Wert im realen Betrieb auch erreicht wird.



**Abb. 3-10: Ansicht der Verwaltungsgebäudes des Firma Wagner & Co in Cölbe bei Marburg**

Im Gegensatz zu dem hier vorgestellten Gebäudekonzept erfolgt die Heizwärmeverteilung in dem Gebäude der Firma Wagner & Co nicht über Heizkörper (Radiatoren) sondern über die Lüftungsanlage. Zudem wird ein Teil der Energie für Heizung und Warmwasser regenerativ über thermische Sonnenkollektoren erzeugt und in einem zentral im Gebäude aufgestellten saisonalen Speicher für die winterliche Heizzeit zwischengespeichert. Als Zusatzheizung ist ein Blockheizkraftwerk installiert. Die anfallende Überschusswärme wird an ein Nachbargebäude abgeführt.

Auch wenn es noch keine endgültigen Messergebnisse vorliegen, bestätigen die ersten Erfahrungen die positiven Erwartungen in Bezug auf Komfort und Energieeinsparung.

Verwaltungsgebäude der Firma Wagner & Co				
<u>allgemein</u>		Baujahr: 1998 Grundriss: Reckteckgrundriss mit einer abgerundeten Stirnseite Brutto-Grundfläche: 2180 m <sup>2</sup> ; Netto-Grundfläche: 1948 m <sup>2</sup>		
<u>Baukörper:</u> Verwaltungsgebäude der Firma Wagner & Co.				
	Außenw.	Dach	Kellerdecke	Fenster
Dämmstoffstärke [cm]	30	40	24	$g_v \approx 0,42$
U-Wert [W/(m <sup>2</sup> K)]	ca. 0,13	ca. 0,1	ca. 0,14	$u_F = 0,8$
Sonnenschutz	durch außen liegende Verschattung			
Sonstiges	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A/V-Verhältnis: 0,36</li> <li>• keine abgehängte Decke</li> <li>• Luftdichtheit: sorgfältige Ausführung des Dichtheitskonzeptes, <math>n_{50} = 0,4</math></li> </ul>			
<u>Nutzung:</u> Verwaltungsgebäude der Firma Wagner & Co.				
Hauptsächlich Büronutzung, Belegungsdichte ca. 15 m <sup>2</sup> <sub>HNF</sub> pro Person daneben: Versandbereich ca. 250 m <sup>2</sup> , Speisesaal mit Küche ca. 350 m <sup>2</sup> ; Ausstellungsfläche im EG Nutzungszeit: Werktags von 7.00 bis 18.00 Uhr				
Raumtemperatur	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Während der Nutzungszeit: 22 °C (in den Büros)</li> <li>• keine Nacht- bzw. Wochenendabsenkung</li> </ul>			
Feuchte	nicht begrenzt			
Beleuchtung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• über tageslichtgeführtes Dimmsystem kontinuierlich geregelt</li> <li>• Spiegelrasterleuchten mit elektronischem Vorschaltgeräten</li> </ul>			
Arbeitshilfen	handelsübliche Geräte			
<u>Anlagentechnik:</u> Verwaltungsgebäude der Firma Wagner & Co.				
Regelung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• DDC-Regelung und Daten-Bussystem zur Regelung von: Lüftungsanlage, Solaranlage, Heizregister, Heiz-Kraft-Anlage, Sonnenschutz-Jalousien, Beleuchtung und Nachtlüftung (Fenstermotoren)</li> </ul>			
Heizung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• thermische Solaranlage: Kollektorfläche 65 m<sup>2</sup>, Speicher 85 m<sup>3</sup>,</li> <li>• Blockheizkraftwerk: 12 kW thermisch, 5 kW elektrisch</li> <li>• Wärmeverteilung im Gebäude über die Zuluft</li> </ul>			
Lüftung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zu- und Abluftanlage mit Erdreichwärmetauscher und Wärmerückgewinnung</li> <li>• Wärmerückgewinnung: vier Kreuzstromwärmetauscher, <math>\phi=0,8</math></li> <li>• Luftwechsel: Maximalwert 1-fach h<sup>-1</sup>, Durchschnittswert 0,5-fach h<sup>-1</sup> (bezogen auf das gesamte Gebäudevolumen).</li> <li>• Erdreichwärmetauscher: Länge = 35 m, Durchmesser = 0,5 m, Tiefe = 1,5 m, vier parallele Rohre</li> <li>• Nachtlüftung über Schwerkraft durch motorisch öffnbare Fenster und Abluftöffnungen im Dachbereich</li> </ul>			
Klima	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kälte: nicht vorhanden</li> <li>• Entfeuchtung: nicht vorhanden</li> <li>• Befeuchtung: nicht vorhanden</li> </ul>			

Tab. 3-7: Wichtigste Kenndaten des Verwaltungsgebäudes der Firma Wagner &amp; Co.

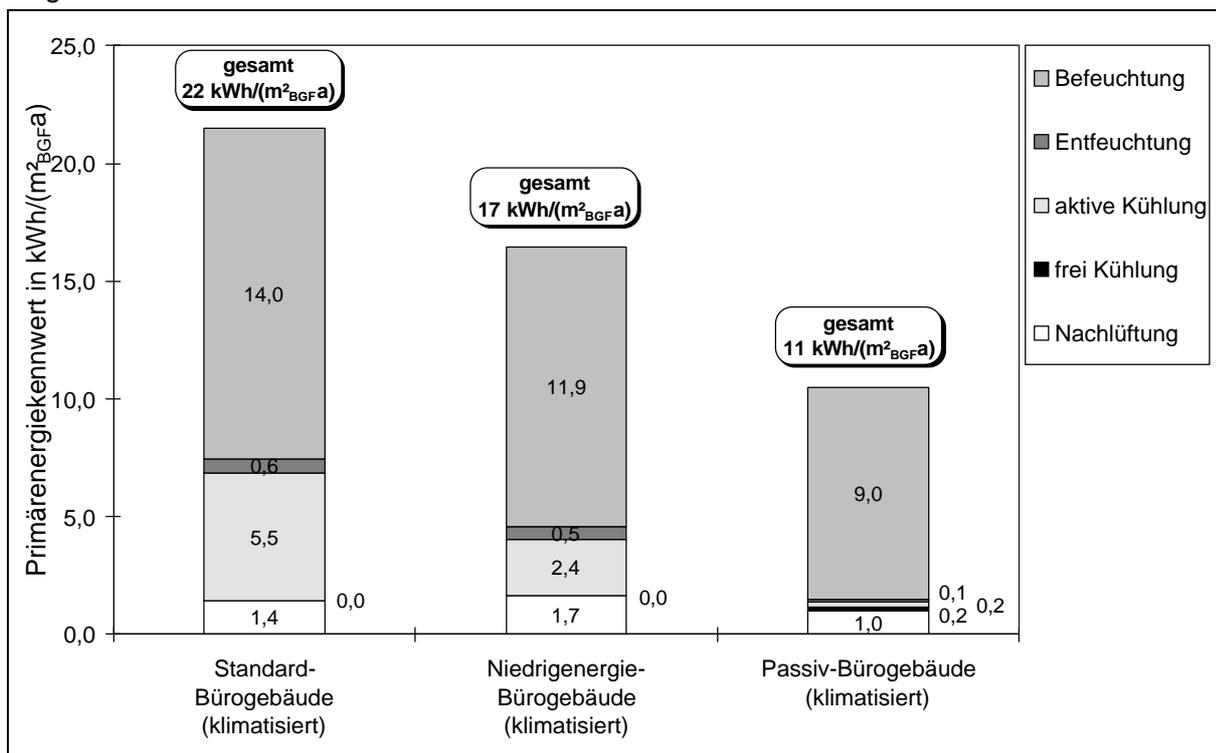
## 4 Detailliertere Betrachtung des Primärenergiekennwertes Konditionierung

Die Berechnungen zeigen, dass der Primärenergieaufwand zur Konditionierung mit zunehmender energetischer Effizienz des Gebäudes immer geringer wird. In den bisherigen Darstellungen wurde der Primärenergiekennwert Konditionierung lediglich als Summenwert ausgewiesen. Er setzt sich jedoch aus folgenden Anteilen zusammen (siehe Tab. 2-2):

- Befeuchtung
- Entfeuchtung
- aktive Kühlung
- freie Kühlung
- Nachlüftung.

Im Folgenden wird der Primärenergiekennwert Konditionierung genauer betrachtet. Dies ist insbesondere im Zusammenhang mit der Frage interessant, ob in einem Passiv-Bürogebäude auf eine Klimaanlage verzichtet werden kann.

Abb. 4-1 zeigt die Aufteilung des Kennwertes Konditionierung auf die einzelnen Luftbehandlungsfunktionen.



**Abb. 4-1: Zusammensetzung des Primärenergiekennwertes Konditionierung für die drei Neubau-Varianten**

Der Primärenergieaufwand zur Konditionierung sinkt mit zunehmender energetischen Effizienz. Während im Standard-Bürogebäude<sup>klim.</sup> noch 22 kWh/(m²<sub>BGF</sub>·a) an Primärenergie zur Konditio-

nierung aufgewendet werden müssen, sind es im Passiv-Bürogebäude<sup>klim.</sup> Gebäude nur noch 11 kWh/(m<sup>2</sup><sub>BGFa</sub>).

Die Reduktion des Aufwandes zur Nachtlüftung sowie der aktiven und freien Kühlung deutet auf eine Verbesserung des sommerlichen Temperaturverhaltens hin. Die Verbesserung ergibt sich infolge einer Reduktion der internen Wärmelasten durch den Einbau einer effizienten Beleuchtungsanlage und effizienter Arbeitsgeräte. Zudem wird beim Niedrigenergie- und beim Passiv-Bürogebäude<sup>klim.</sup> auf eine abgehängte Decke verzichtet. Neben dem Fußboden und den Außenwänden, steht hierdurch auch die Decke als thermische Speichermasse zur Verfügung. In Verbindung mit den geringen solaren Einträge durch einen moderaten Fensterflächenanteil von 40 % und einem guten außen liegenden Sonnenschutz können Überhitzungen weitgehend vermieden werden.

Für die Entfeuchtung der Raumluft im Sommer ist bei allen Ausführungsvarianten nur ein unbedeutender Primärenergieaufwand notwendig.

Der dominierende Anteil des Primärenergiebedarfs muss für die Befeuchtung der Raumluft im Winter aufgewendet werden. Die hohen Werte ergeben sich, da nach der DIN 1946 Teil 2 bei Raumtemperaturen von 22 °C und dem im vorliegenden Fall erforderlichen Außenluftwechsel von 60 m<sup>3</sup>/h pro Person eine Mindestfeuchte von 30 % jederzeit gehalten werden muss. Der Primärenergieaufwand zur Befeuchtung sinkt mit zunehmender energetischer Qualität des Gebäudes. Verantwortlich hierfür sind - wie auch beim sommerlichen Temperaturverhalten - die abnehmenden internen Wärmelasten sowie vergrößerte thermisch aktive Speichermasse. Durch diese Konstruktionsmerkmale wird auch im Winter ein möglicher Temperaturanstieg begrenzt. Das heißt, je besser die energetische Effizienz des Gebäudes, desto seltener steigen die Raumtemperaturen im Winter über dem Sollwert von 22 °C an. Diese tieferen Temperaturen wirken sich günstig auf den Primärenergieaufwand zur Befeuchtung aus, da bei sonst gleichen Bedingungen niedrigere Raumtemperaturen höhere Werte der relativen Feuchte zur Folge haben. Das heißt, bei geringeren Raumtemperaturen muss die Zuluft weniger befeuchtet werden. Hinzu kommt, dass beim Passiv-Bürogebäude<sup>klim.</sup> für die Flure und Nebenräume eine gesonderte Lüftungsanlage vorgesehen ist und somit gezielt auf eine Be- und auch Entfeuchtung dieser Bereiche verzichtet werden kann.

## 5 Das Passiv-Bürogebäude ohne Klimaanlage

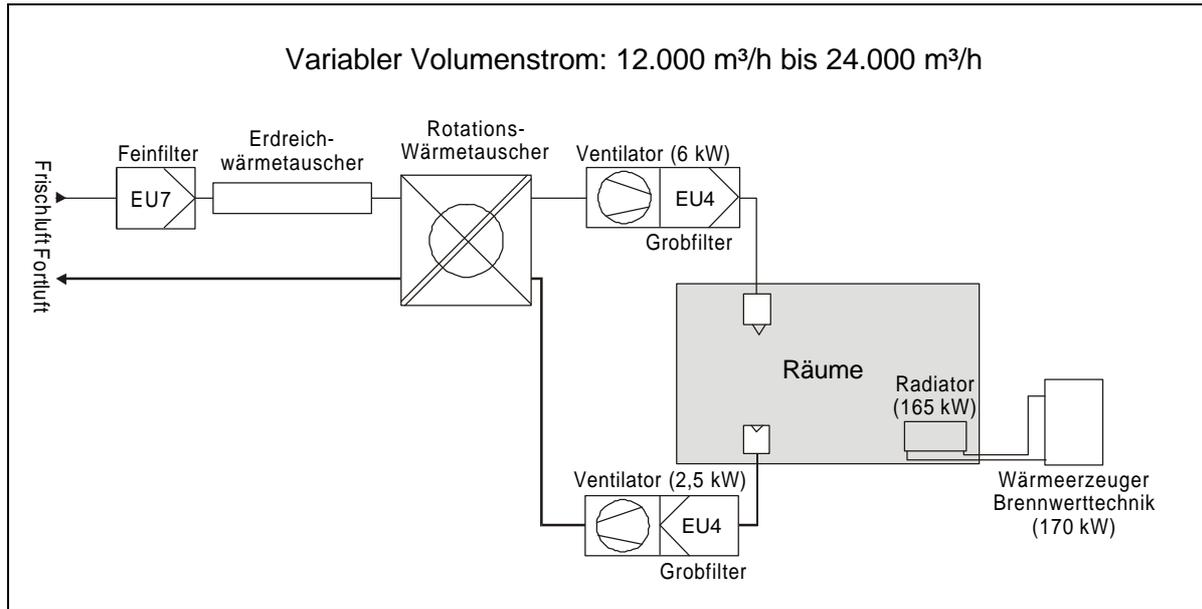
Aus den in Abb. 4-1 dargestellten Energiekennwerten ist ersichtlich, dass die Raumluft im Passiv-Bürogebäude<sup>klim.</sup> nur noch in geringem Umfang von der Klimaanlage korrigiert werden muss. Wird neben der Wärme- auch eine Feuchterückgewinnung eingebaut, ist es vorstellbar, beim Passiv-Bürogebäude ohne nennenswerte Komforteinbuße auf die Klimaanlage zu verzichten. Hierdurch würden die Investitions-, Betriebs- und Wartungskosten für die Haustechnik sinken, und mit den eingesparten Kosten können Mehrkosten in anderen Bereichen kompensiert werden.

Im Folgenden werden die Auswirkungen des Verzichts auf eine aktive Kühlung, Be- und Entfeuchtung genauer untersucht. In einem ersten Schritt werden die Veränderung des Primärenergiekennwertes und die Auswirkung auf den Raumkomfort in den Büros bestimmt. Danach werden die Mehr- bzw. Minderkosten ermittelt und hieraus die Wirtschaftlichkeit abgeschätzt. Zuletzt wird im Rahmen einer Parameterstudie untersucht, ob dieses Gebäudekonzept auch unter anderen Randbedingungen realisiert werden kann.

Die Ausführungsvariante des Beispielgebäudes mit hoher energetischer Effizienz aber ohne Klimaanlage wird im Gegensatz zum Passiv-Bürogebäude<sup>klim.</sup> einfach als „Passiv-Bürogebäude“ bezeichnet. Gegenüber dem in Tab. 3-6 definierten Passiv-Bürogebäude<sup>klim.</sup> weist das Passiv-Bürogebäude folgende Modifikationen auf:

<p><b>Baukörper</b> keine</p>
<p><b>Nutzung</b> die Soll-Raumtemperatur für die freie Kühlung wird entsprechend der DIN 1946 Teil 2 ab Außentemperaturen von 29 °C gleitend von 26°C auf 27 °C erhöht.</p>
<p><b>Anlagentechnik</b> Folgende Komponenten werden entfernt</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Luftkühler und Entfeuchungskühler</li> <li>• Nachheizregister</li> <li>• Dampfbefeuchter.</li> </ul> <p>Es wird ein Rotationswärmetauscher zur Wärme- und Feuchterückgewinnung eingesetzt. Die Rückwärmzahl beträgt weiterhin 75 %, der Feuchtwirkungsgrad wird mit 70 % angenommen.</p>

Eine schematische Darstellung der Heizungs- und Lüftungsanlage des Passiv-Bürogebäudes zeigt Abb. 5-1.

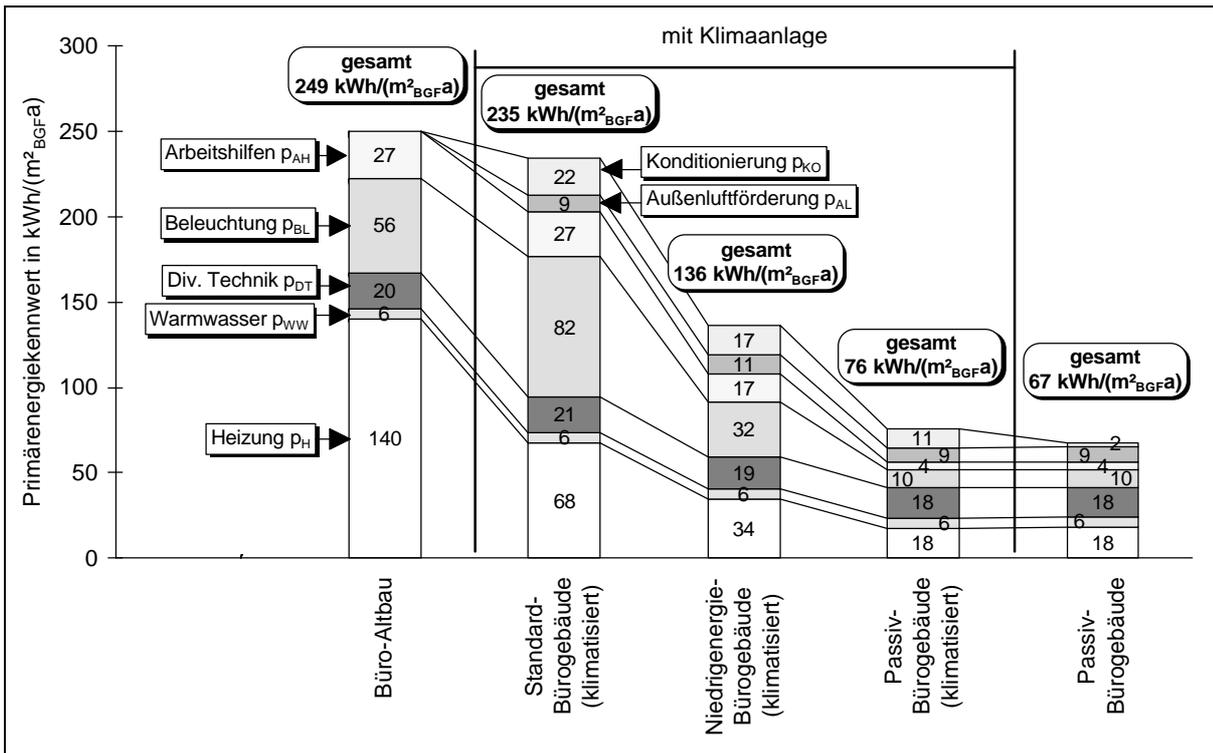


**Abb. 5-1: Schematische Darstellung der Heizungs- und Lüftungsanlage des Passiv-Bürogebäudes**

### 5.1 Primärenergiekennwert und CO<sub>2</sub>-Emissionen

Der Verzicht auf eine Klimaanlage hat Auswirkungen auf den Primärenergiekennwert und den Raumkomfort. In diesem Abschnitt sollen zunächst die energetischen Auswirkungen dargestellt werden. Die Veränderung des Raumkomforts wird in Abschnitt 5.2 aufgezeigt.

Den Primärenergiekennwert des Passiv-Bürogebäudes ohne Klimaanlage im Vergleich zu den anderen Ausführungsvarianten zeigt Abb. 5-2.



**Abb. 5-2: Primärenergiekennwert für das Passiv-Bürogebäude ohne Klimaanlage im Vergleich zu den anderen Ausführungsvarianten**

Der Verzicht auf eine Klimaanlage führt nur zu einer geringen Reduktion des Primärenergiekennwertes um 9 kWh/(m²<sub>BGFa</sub>) auf 67 kWh/(m²<sub>BGFa</sub>). Die geringe Veränderung im Primärenergiekennwert war zu erwarten, da der Primärenergieaufwand für die Konditionierung beim Passiv-Bürogebäude<sup>klim.</sup> bereits gering war. Der Primärenergieaufwand Konditionierung wird nicht zu Null, da entsprechend der Definition der SIA 380/4 unter dieser Position der Stromverbrauch der Ventilatoren zur Nachtlüftung und freien Kühlung verbucht wird (siehe Tab. 2-2).

Die Primärenergieeinsparung beim Passiv-Bürogebäude bewirkt eine Entlastung der Umwelt von CO<sub>2</sub>-Emissionen sowie anderen klimarelevanten Gasen wie z. B. Methan oder Lachgas. Eine gemeinsame Bewertung des Treibhauspotentials dieser unterschiedlichen Emissionen ist über das CO<sub>2</sub>-Äquivalent möglich. Es berücksichtigt alle klimarelevanten Emissionen, die durch den Verbrauch einer Kilowattstunde Endenergie entstehen. Die Klimaschädlichkeit der Einzelgase wird dabei auf das Treibhauspotential von CO<sub>2</sub> umgerechnet. Als Betrachtungszeitraum werden 100 Jahre angenommen. Durch Summenbildung ergibt sich eine äquivalente CO<sub>2</sub>-Emission, die in Bezug auf die Klimaschädlichkeit den tatsächlichen Emissionen entspricht. Die gegenüber dem Standard-Bürogebäude<sup>klim.</sup> jährlich vermiedenen äquivalenten CO<sub>2</sub>-Emissionen zeigt Tab. 5-1.

	End-Energiebedarf kWh <sub>End</sub> /a		CO <sub>2</sub> -Äquivalent Faktor kg/kWh <sub>End</sub>	CO <sub>2</sub> -Äquivalent Emissionen kg <sub>CO<sub>2</sub>-Äquivalent</sub> /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
<b>vermiedene jährliche CO<sub>2</sub>-Äquivalent Emissionen beim Passiv-Bürogebäude</b>				<b>184.000</b>	

**Tab. 5-1: Jährlich eingesparte CO<sub>2</sub>-Emissionen (äquivalent) durch das Passiv-Bürogebäude im Vergleich zum Standard-Bürogebäude<sup>klim</sup>**

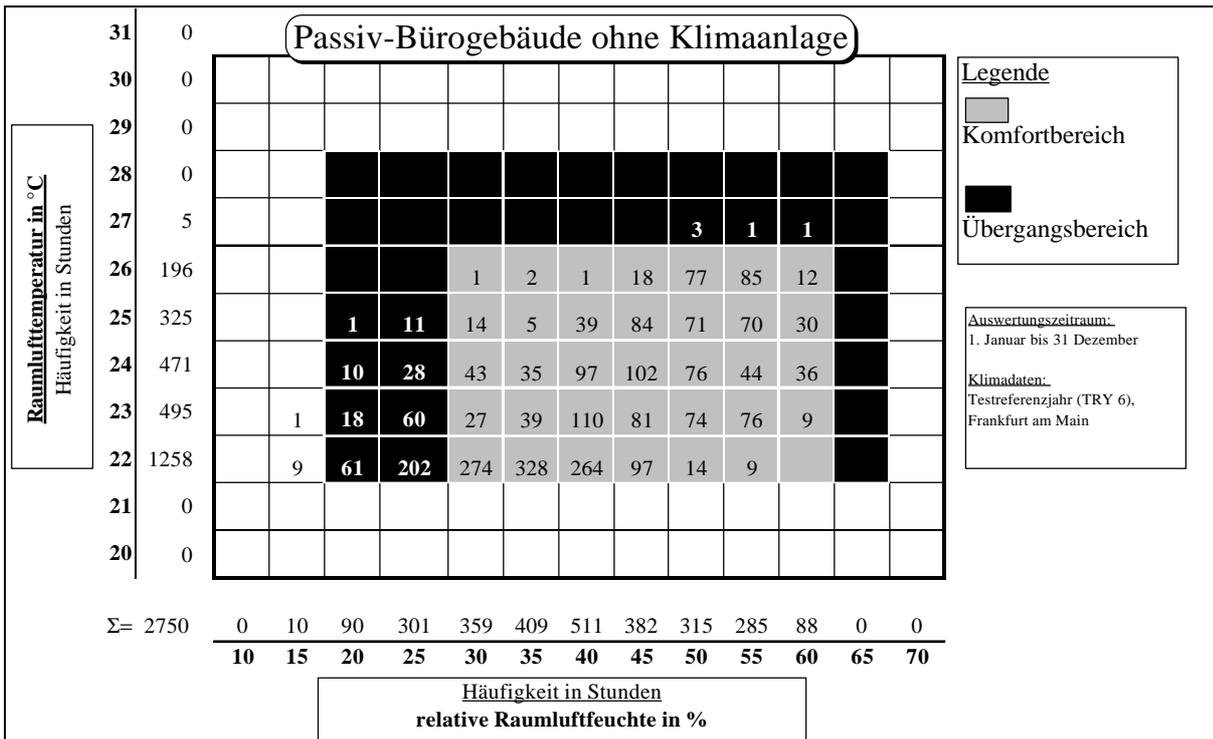
Wird ein Büroneubau statt in Standard-Bauweise als Passiv-Bürogebäude errichtet, wird die Umwelt von 184 Tonnen CO<sub>2</sub>-Emissionen (äquivalent) pro Jahr entlastet.

## 5.2 Raumkomfort

Von entscheidender Bedeutung ist die Frage, wie sich der Raumkomfort beim Verzicht auf eine Klimaanlage entwickelt. Um dies zu beurteilen, werden die Simulationsergebnisse für die Süd-Büros statistisch ausgewertet. Bestimmt wird die Häufigkeit, mit der gewisse Temperatur-Feuchte-Paare während der Nutzungszeit auftreten.

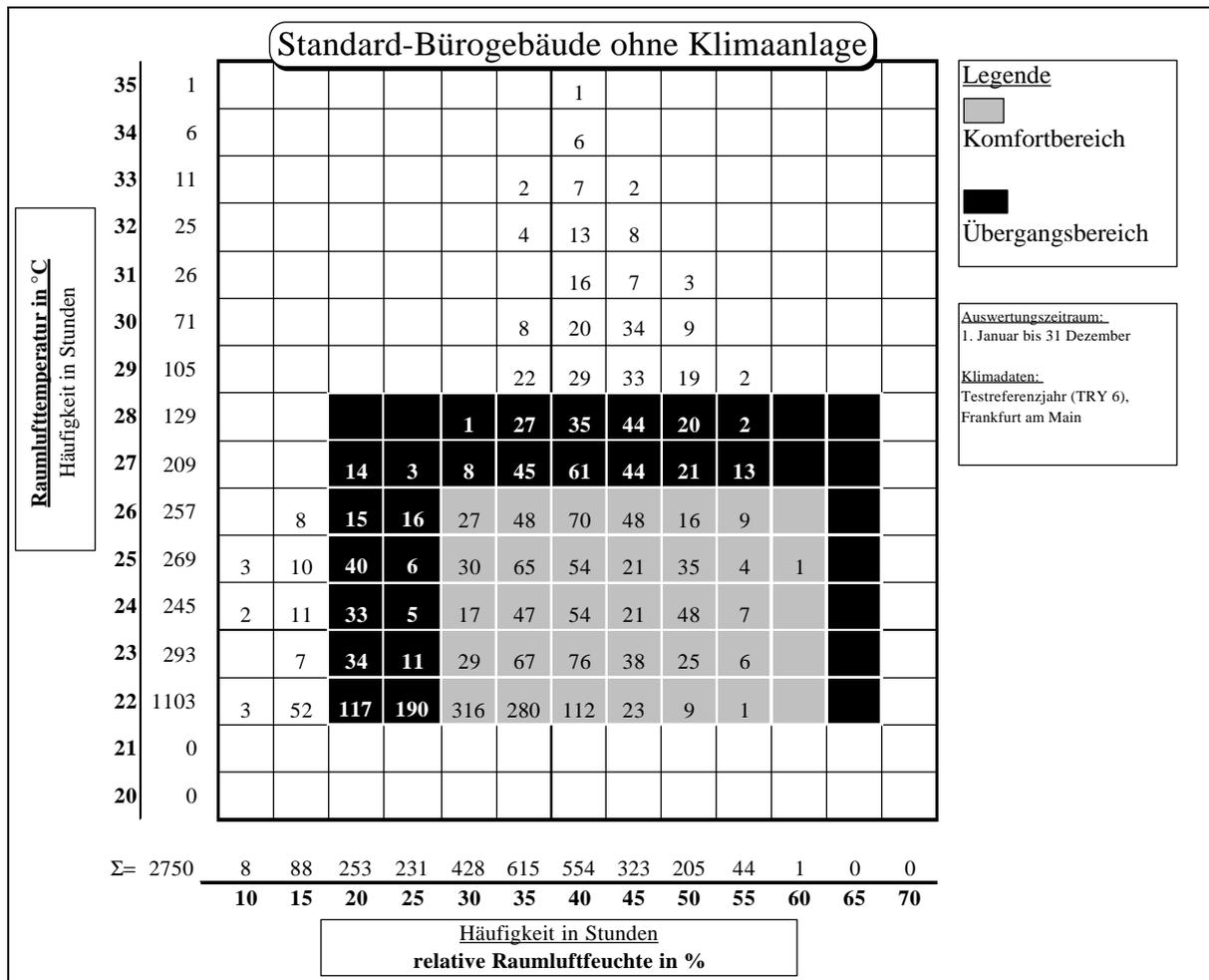
In Abb. 5-3 ist die Entwicklung der relativen Feuchte und der Raumlufttemperatur in den Südbüros des Passiv-Bürogebäudes ohne Klimaanlage dargestellt. Die Auswertung umfasst das gesamte Jahr, wobei nur die Stunden innerhalb der Nutzungszeit betrachtet werden. Die Bezeichnung der Häufigkeitsklassen entspricht dem Mittelwert der Intervallgrenzen.

Um die Bewertung der Ergebnisse zu erleichtern, sind in das Diagramm unterschiedliche Komfortzonen eingezeichnet. Der Komfortbereich ist in Anlehnung an die Kriterien der DIN 1946 Teil 2 definiert. Hieran grenzt ein Übergangsbereich. Dieser umfasst Zustände, die aufgrund der differenzierten Definition der Behaglichkeitskriterien in DIN 1946 (z. B. gleitende Raumtemperaturanhebung bei hohen Außentemperaturen) innerhalb oder knapp außerhalb des Behaglichkeitsbereiches liegen, aber auf jeden Fall kurzfristig akzeptiert werden können.



**Abb. 5-3: Raumkomfort in den Südbüros des Passiv-Bürogebäudes beim Verzicht auf eine Klimaanlage**

Zum Vergleich zeigt Abb. 5-4 die Häufigkeitsstatistik für den Fall, dass im Standard-Bürogebäude<sup>klim.</sup> auf eine aktive Kühlung sowie Be- und Entfeuchtung verzichtet wird. Bei der Interpretation dieser Ergebnisse ist zu beachten, dass die Büros über die mechanische Lüftungsanlage nur mit dem Mindestaußenluftwechsel von  $n_1 = 1,3 \text{ h}^{-1}$  versorgt werden. In der Realität werden die Mitarbeiter bei erhöhten Raumtemperaturen die Fenster zusätzlich öffnen, wodurch die Überhitzungen im Standard-Bürogebäude<sup>klim.</sup> in gewissem Umfang reduziert werden können.



**Abb. 5-4: Raumkomfort in den Südbüros des Standard-Bürogebäudes<sup>klim.</sup> beim Verzicht auf eine Klimaanlage**

Der Vergleich von Abb. 5-3 und Abb. 5-4 verdeutlicht die Verbesserung des Raumkomforts durch die energetische Optimierung. Im Standard-Bürogebäude ohne Klimaanlage liegt die Raumlufthemperatur an 245 Stunden im Jahr über 28 °C und es treten Temperaturen bis zu 35 °C auf. Im Passiv-Bürogebäude kann die Raumtemperatur hingegen durch die freie Lüftung in Verbindung mit dem Erdreichwärmetauscher nahezu vollständig im Komfortbereich gehalten werden. Nur an fünf Stunden im Jahr steigt die Raumlufthemperatur auf 27 °C an. Der sommerliche Raumkomfort im Passiv-Bürogebäude entspricht damit weitgehend dem eines aktiv gekühlten Gebäudes.

Auch im Winter herrscht im Passiv-Bürogebäude ein deutlich besserer Komfort. Durch die Feuchterückgewinnung ergeben sich nur noch an 10 Stunden im Jahr relative Luftfeuchten unter 20 %. Im Standard-Bürogebäude ist mit derartigen unkomfortablen Zuständen an 96 Stunden zu rechnen. Hier treten sogar relative Feuchten von 10 % auf.

Bei der Bewertung der relativen Feuchte ist zu bedenken, dass über die erforderliche Mindestfeuchte keine gesicherten Erkenntnisse vorliegen [DIN 1946 Teil 2]. Einen Sensor zum Bestimmen der relativen Feuchte besitzt der Mensch nicht, so dass auch bei niedrigen relativen Feuchten keine direkte Komforteinbuße eintritt. Die DIN 1946 legt trotzdem eine Mindest-

feuchte fest, um den indirekten Komfortproblemen entgegenzuwirken: der verstärkten Aufwirbelung von Staub, dem Austrocknen der Schleimhäute und den vermehrten elektrostatischen Aufladungen.

Zudem berücksichtigt das Simulationsprogramm TAS in der Feuchtebilanz keine Sorptions- und Speichervorgänge in den Bauteiloberflächen und Einrichtungsgegenständen. Wie die Untersuchungen in [Otto 1995] zeigen, werden die täglichen Schwankungen der relativen Raumluftfeuchte in der Realität jedoch entscheidend durch Sorptionsvorgänge in den Raumbooberflächen gedämpft. Um dem Rechnung zu tragen, werden die berechneten Werte der Raumluftfeuchte vor der statistischen Auswertung entsprechend korrigiert. Die simulierte Tagesamplitude der relativen Feuchte wird um einen Wert von 80 % gegenüber dem Tagesmittelwert gedämpft. Dies entspricht nach [Otto 1995] dem Verhalten eines Raumes mit mittlerer hygrischer Speicherkapazität.

Die jährlichen Feuchteschwankungen äußern sich in einem unterschiedlichen Feuchtegehalt der Bauteile im Sommer und im Winter. Durch diese Sorptions- und Speichervorgänge wird die relative Raumluftfeuchte im Sommer reduziert und im Winter erhöht, was sich positiv auf den Raumkomfort auswirkt. Die quantitative Bewertung dieser saisonalen Dämpfung ist jedoch sehr aufwendig. Sie ist in den Simulationsergebnissen nicht berücksichtigt. Die berechneten Werte der relativen Feuchte können deswegen als eine konservative Abschätzung betrachtet werden.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass das Passiv-Bürogebäude auch bei dem Verzicht auf eine Klimaanlage einen hohen Raumkomfort aufweist. Überhitzungen im Sommer treten nicht auf. Abweichungen vom anvisierten Komfortbereich ergeben sich lediglich im Winter durch zu geringe Werte der relativen Luftfeuchte.

### 5.3 Abschätzen der investiven Mehr- bzw. Minderausgaben

Durch eine konsequente energetische Optimierung kann der Primärenergiebedarf des untersuchten Beispielgebäudes um 70 % reduziert werden. Um diese energetische Qualität zu erreichen, sind finanzielle Mehraufwendungen in einigen Bereichen wie z. B. dem Baukörper erforderlich. Dem stehen Minderkosten bei der Haustechnik insbesondere der Klimatechnik gegenüber. Zudem ergeben sich bei dem optimierten Gebäude Einsparungen bei den Betriebs- und Wartungskosten. Im Folgenden soll abgeschätzt werden, wie sich die Wirtschaftlichkeit für das Passiv-Bürogebäude im Vergleich zum Standard-Bürogebäude<sup>klim.</sup> darstellt.

Die folgende Betrachtung beschränkt sich auf eine Darstellung der betriebswirtschaftlichen Kosten. Vernachlässigt werden dabei die indirekten Kosten des Energieverbrauchs, die z. B. durch Gesundheitsschäden aufgrund von Luftschadstoffen oder Treibhauseffekt entstehen. Diese so genannten externen Kosten werden heute noch von der Allgemeinheit beglichen. Für eine korrekte monetäre Bewertung müssten sie dem Energieverbrauch jedoch zugeordnet und damit in die Wirtschaftlichkeitsberechnung mit einbezogen werden. Da die quantitative Bestimmung der externen Kosten sehr aufwendig ist und sie bei der Entscheidungsfindung in der

Praxis eine untergeordnete Rolle spielen, werden sie auch an dieser Stelle nicht weiter berücksichtigt.

Die angegebenen Kosten entsprechen dem Preisniveau von 1996. Die gesetzliche Mehrwertsteuer ist nicht enthalten. Die Vorzeichen werden entsprechend der betriebswirtschaftlichen Betrachtungsweise wie folgt definiert:

- Mehrausgaben werden als negative Beträge
- Minderausgaben werden als positive Beträge angegeben.

### 5.3.1 Baukörper

Bauliche Mehrausgaben ergeben sich durch den erhöhten Wärmeschutz bei Außenwand, Fenster, Dach und Kellerdecke. In [Knissel/Loga 1996] werden entsprechende Berechnungen für unterschiedliche Typen von Wohngebäuden durchgeführt. Bestimmt wurden die investiven Mehrkosten des Niedrigenergie-Standards gegenüber der Wärmeschutzverordnung von 1995. Aufbauend auf die in dieser Studie ermittelten Kostenannahmen werden die baulichen Mehrkosten für das untersuchte Beispielgebäude abgeschätzt. Eine zusammenfassende Darstellung der Berechnung zeigt Tab. 5-2. Der Berechnungsvorgang soll am Beispiel der Außenwand erläutert werden.

Im vorliegenden Beispiel wird der Wärmeschutz der Außenwand über ein außen liegendes Wärmedämmverbundsystem aus Polystyrol realisiert. Die Dämmstoffdicken liegen bei 6 cm für das Standard-Bürogebäude<sup>klim.</sup> bzw. 30 cm für das Passiv-Bürogebäude. Als Kosten je cm zusätzlicher Dämmstoffdicke werden 3,10 DM je m<sup>2</sup> Bauteilfläche angenommen. Dieser Wert beinhaltet neben den Materialkosten des Dämmstoffs auch den Mehraufwand bei der Verarbeitung sowie sonstige Mehrkosten wie z. B. tiefere Fensterbänke und Sockelschienen. Er wird bestimmt indem der in [Eicke-Hennig 1995] für die Preisbasis 1990 ermittelte Wert über den Baupreisindex [Statistisches Bundesamt 1998] auf die Preisbasis 1996 umgerechnet wird.

Die Mehrausgaben für 24 cm zusätzliche Dämmstoffdicke betragen damit 74 DM je m<sup>2</sup> Bauteilfläche (BTF). Durch Multiplikation dieses Wertes mit der Außenwandfläche des Beispielgebäudes ergeben sich absolute Mehrausgaben von 152.000 DM. Um einen Vergleich mit anderen Bürogebäuden zu ermöglichen, wird dieser Absolutwert auf die Brutto-Grundfläche des Gebäudes (nach VDI 3807) bezogen. Die derart definierten spezifischen Mehrausgaben für die Außenwanddämmung betragen 31 DM/m<sup>2</sup><sub>BGF</sub>.

Der gleiche Berechnungsvorgang wird für die zusätzlichen Dämmstoffdicken beim Dach und der Kellerdecke durchgeführt. Die Fenster bestehen im Passiv-Bürogebäude aus einer Dreifach-Wärmeschutzverglasung und einem hoch wärme gedämmten Rahmen. Die Mehrausgaben hierfür werden mit 350 DM/m<sup>2</sup> Fensterfläche angesetzt.

	Dämmstoffdicke (WLG 040)		Mehrkosten	Mehrkosten	Bauteilfläche m <sup>2</sup> <sub>BTf</sub>	Mehrkosten	Mehrkosten
	Standard-BG cm	Passiv-BG cm	je cm Dämmstoff DM/(m <sup>2</sup> <sub>BTf</sub> ·cm)	je m <sup>2</sup> Bauteilfläche DM/m <sup>2</sup> <sub>BTf</sub>		absolut DM (ca.)	je m <sup>2</sup> BGF DM/m <sup>2</sup> <sub>BGF</sub>
Außenwand (Polystyrol)	6	30	-3,1	-74	2043	-152.000	-31
Dach	12	40	-1,9	-52	916	-48.000	-10
Fenster	k=1,8 W/(m <sup>2</sup> K)	k=0,8 W/(m <sup>2</sup> K)		-350	1056	-370.000	-76
Kellerdecke	4	30	-5,0	-129	916	-118.000	-24
<b>Summe bauliche Mehrkosten (netto)</b>						<b>-688.000</b>	<b>-141</b>
Planungs-Mehrkosten mit 9% der baulichen Mehrkosten berücksichtigt						-62.000	-13
<b>Summe bauliche Mehrkosten gesamt (netto)</b>						<b>ca. -750.000</b>	<b>-154</b>

**Tab. 5-2: Investive Mehrausgaben für den besseren Wärmeschutz der Gebäudehülle im Passiv-Bürogebäude**

Die gesamten baulichen Mehrausgaben inklusive der Planungsmehrkosten addieren sich zu 154 DM/m<sup>2</sup><sub>BGF</sub>.

### 5.3.2 Beleuchtung

Die Kostendifferenz zwischen dem effizienten Beleuchtungssystem des Passiv-Bürogebäudes und dem kostengünstigen System des Standard-Bürogebäudes<sup>klim.</sup> wird über die unterschiedlichen Leuchtenpreise quantifiziert. Angesetzt werden dabei 80 % des Listenpreises. Dieser Wert beinhaltet neben der Leuchte auch die Kosten für die Lampe und die Verkabelung. Es wird davon ausgegangen, dass die Planungskosten in beiden Fällen identisch sind.

Das Beleuchtungssystem des Passiv-Bürogebäudes besteht aus Deckenleuchten zur Grundausleuchtung des Raumes (220 Lux) und individuellen Arbeitsplatzleuchten. Als Deckenleuchten kommen hochglanzeloxierte, offene Spiegelrasterleuchten mit elektronischen Vorschaltgeräten zum Einsatz. Ausgerüstet sind sie mit 58 Watt Leuchtstofflampen in Stabform. Für die Kostenschätzung wird ein Preis je Deckenleuchte von 500 DM angesetzt (Listenpreis [Siteco 1998]).

Die Deckenbeleuchtung wird über eine Steuereinrichtung beim Erreichen eines gewissen Sollwertes der Beleuchtungsstärke ausgeschaltet. Die Kosten für den Lichtsensor werden mit 35 DM pro Stück angenommen [Siteco]. Für die Verkabelung zum Schaltschrank werden eine mittlere Länge von 20 Metern und Verkabelungskosten von 5 DM je Meter angenommen. Damit ergeben sich Mehrausgaben für die Beleuchtungssteuerung je Büro von

$$35 \text{ DM} + (20 \text{ m} \cdot 5 \text{ DM/m}) = 135 \text{ DM.}$$

Die erforderliche Beleuchtungsstärke auf der Arbeitsfläche wird durch individuell zu bedienende Arbeitsplatzleuchten erreicht. Die Arbeitsplatzleuchten bestehen aus einem Leuchtenarm mit dreh- und kippbarem Leuchtenkopf. Sie sind mit Stromsparlampe 20 Watt und elektronischem Vorschaltgerät ausgerüstet. Der Listenpreis beträgt 100 DM [Osram 1998] pro Stück.

Verglichen wird dieses System mit dem im Standard-Bürogebäude<sup>klim.</sup> realisierten Beleuchtungssystem. Eingesetzt werden hier 3-flammige Leuchten mit 18 Watt Leuchtstofflampen in Stabform. Die Leuchten besitzen ein weißes Raster und sind mit einem verlustarmen Vorschaltgerät ausgerüstet. Für die Kostenschätzung wird ein Preis von 250 DM pro Stück angesetzt (Listenpreis [Siteco 1998]). Eine Beleuchtungssteuerung ist nicht vorhanden.

Die wichtigsten Kenndaten der beiden Beleuchtungssysteme zeigt Tab. 5-3.

	Standard-BG	Passiv-BG
Beleuchtungsstärke in Lux	500	220 + 30 = 250
Raumindex	1,2	1,2
Raumwirkungsgrad	0,65	0,65
Leuchtenwirkungsgrad	0,7	0,9
Leistung Lampe in Watt	3 x 18	58
maximale Anschlussleistung in W/m <sup>2</sup>	27,1	6,2
Beleuchtungssteuerung	nein	automatisch aus
Vollbetriebszeitfaktor	0,6	0,27
Vollbetriebsstunden in h/a	1650	740

**Tab. 5-3: Wichtigste Kenngrößen der betrachteten Beleuchtungssysteme**

Tab. 5-4 stellt die Kosten für die Systeme zusammen.

<b>Passiv-Bürogebäude</b>	<b>Büro</b>		<b>Verkehrs- und Nebenflächen</b>
	Arbeitsplatz	Decke	Decke
Leuchtenkosten (80% des Listenpreises)	80 DM	400 DM	400 DM
Leuchtenanzahl	160 Stück	240 Stück	60 Stück
Koste für Beleuchtungssteuerung je Regelkreis	-	135 DM	-
Anzahl Regelkreise	-	80 Stück	-
Summe	12.800 DM	106.800 DM	24.000 DM
<b>Gesamtkosten</b>		<b>ca.</b>	<b>144.000 DM</b>
<b>Standard-Bürogebäude</b>	<b>Büro</b>		<b>Verkehrs- und Nebenflächen</b>
	Arbeitsplatz	Decke	Decke
Leuchtenkosten (80% des Listenpreises)	-	194 DM	194 DM
Leuchtenanzahl	-	1040 Stück	233 Stück
Summe	-	201.760 DM	45.202 DM
<b>Gesamtkosten</b>		<b>ca.</b>	<b>247.000 DM</b>
<b>Minderausgaben für das Passiv-Bürogebäude</b>			<b>103.000 DM</b>

**Tab. 5-4: Investitionskosten der eingesetzten Beleuchtungssysteme**

Obwohl die im Passiv-Bürogebäude eingesetzten Leuchten einen etwa doppelt so hohen Stückpreis aufweisen und Mehrausgaben für die Beleuchtungssteuerung sowie die Arbeitsplatzleuchten anfallen, ergeben sich Minderausgaben von etwa 100.000 DM. Diese resultieren aus der geringeren Anzahl von Leuchten, die im Passiv-Bürogebäude aufgrund der niedrigeren Beleuchtungsstärke und des höheren Leuchtenwirkungsgrades benötigt werden.

### 5.3.3 Arbeitshilfen

Bei Kopierern, Faxgeräten und Druckern besteht keine Kopplung zwischen Energieeffizienz und Verkaufspreis. Mehrausgaben für die energiesparenden Geräte werden entsprechend nicht berücksichtigt.

Als Computer werden im Passiv-Bürogebäude Notebooks eingesetzt. Die Mehrkosten eines Notebooks gegenüber einem konventionellen Tischgerät betragen bei gleicher Ausstattung etwa 2.000 DM. Werden alle 160 Arbeitsplätze derart ausgerüstet, belaufen sich die Mehrausgaben für das gesamte Gebäude auf:

$$2.000 \text{ DM} \cdot 160 = 320.000 \text{ DM}$$

### 5.3.4 Heizungs-, Lüftungs- und Klimaanlage (HLK-Anlage)

Um die Mehr- bzw. Minderausgaben bei der HLK-Anlage zu bestimmen, wurden für die in Abb. 16-1 (Anhang) und Abb. 5-1 schematisch dargestellten Anlagen von dem Ingenieurbüro Engels und Jung (Bergisch-Gladbach) Kostenschätzungen erstellt.

Die Kosten der einzelnen Positionen sind in Tab. 5-5 und Tab. 5-6 dokumentiert.

<b>Standard-Bürogebäude (klim.)</b>			
<b>RLT-Anlage: Konstantvolumenstromanlage mit 12.000 m³/h</b>			
	max. Luftmenge	max. Leistung	Kosten
	kg/s	kW	DM (netto)
Kühlregister Entfeuchtung	4	60	5.000
Heizregister	4	115	3.000
Dampfbefeuchter	4	65	4.000
Luftleitungen	4		60.000
Klappen (FS + Regelung)	4		24.000
Wärmedämmung	4		30.000
Schalldämpfer	4		24.000
Luftdurchlässe	4		30.000
Grobstaubfilter, EU4	4		3.000
Feinstaubfilter, EU 7	4		3.000
Ventilator, konstant, Zuluft	4	3,2	8.000
Ventilator, konstant, Abluft	4	2	8.000
Dampferzeuger		65	5.000
	<b>Summe RLT</b>		<b>207.000</b>
	spez. Kosten		17 DM/m³
<b>Heizung</b>			
		max. Leistung	Kosten
		kW	DM (netto)
Wärmeerzeuger		430	107.500
Wärmeverteilung		290	116.000
Heizkörper		290	174.000
	<b>Summe Heizung</b>		<b>397.500</b>
<b>Kühlung</b>			
	gekühlte Fläche	max. Leistung	Kosten
	m²	kW	DM (netto)
Kühldecke	2000	140	600.000
Kompressions-Kälteanlage		220	136.400
	<b>Summe Kühlung</b>		<b>736.400</b>
<b>Zusammenfassung</b>			
	Summe RLT-Anlage		207.000 DM
	Summe Heizung		397.500 DM
	Summe Kühlung		736.400 DM
	<b>Summe gesamt</b>		<b>1.341.000 DM</b>

**Tab. 5-5: Kostenschätzung für das Heizungs-, Lüftungs- und Klimasystems des Standard-Bürogebäudes<sup>klim.</sup>**

<b>Passiv-Bürogebäude (klim.)</b>			
<b>RLT-Anlage: Variabel-Volumenstromanlage mit 12.000 bis 24.000 m³/h</b>			
	max. Luftmenge	max. Leistung	Kosten
	kg/s	kW	DM (netto)
Wärme- und Feuchterückgewinnung	8		86.400
Luftleitungen	8		120.000
Klappen (FS + Regelung)	8		72.000
Wärmedämmung	8		72.000
Schalldämpfer	8		48.000
Luftdurchlässe	8		84.000
Grobstaubfilter, EU4	8		5.000
Feinstaubfilter, EU 7	8		5.000
Ventilator, variabel, Abluft	8	2,5	20.000
Ventilator, variabel, Zuluft	8	6,0	20.000
	<b>Summe RLT</b>		<b>532.400</b>
	spez. Kosten		22 DM/m³
	<b>max. Leistung</b>		
	kW		
Wärmeerzeuger	170		42.500
Wärmeverteilung	165		66.000
Heizkörper	165		100.000
	<b>Summe Heizung</b>		<b>208.500</b>
	Verlegelänge	spez. Kosten	Kosten
	m	DM/m	DM (netto)
Erdreichwärmetauscher	180	325	58.500
<b>Zusammenfassung</b>	<b>Summe RLT-Anlage</b>		<b>532.400 DM</b>
	<b>Summe Heizung</b>		<b>208.500 DM</b>
	<b>Summe gesamt</b>		<b>740.900 DM</b>

**Tab. 5-6: Kostenschätzung für das Heizungs- und Lüftungssystem des Passiv-Bürogebäudes**

Die Kosten des Erdreichwärmetauschers waren nicht Bestandteil der Kostenschätzung des Ingenieurbüros Engels und Jung. Aus diesem Grund werden diese im Folgenden gesondert ermittelt. Zugrunde gelegt wird dabei die in der Simulation angenommene Realisierungsvariante. Eine Skizze des eingesetzten Erdreichwärmetauschers ist im Anhang zu finden. Der Erdreichwärmetauscher besteht aus Stahlbetonrohren DN 800, die in 3 Meter Tiefe und mit 3 Meter Abstand zur Kellerwand im Arbeitsbereich der Baugrube verlegt werden. Um den Abstand von 3 Metern von der Kelleraußenwand einzuhalten, muss der in der Regel 0,6 m breite Arbeitsbereich um 2,4 m verbreitert werden. Bei einem Böschungswinkel von 60° (Bodenklasse 5) müssen je Meter Erdrohr 0,7 m³ Mutterboden und 6,5 m³ Erdreich zusätzlich bewegt werden. Die Kosten für den zusätzlichen Aushub sowie das Verfüllen und Verdichten betragen für das Jahr 1996 entsprechend [Schulz 1996]

Mutterboden abtragen (mit Großgerät)	12 DM/m <sup>3</sup>
Aushub (Bodenklasse 5, mit Großgerät)	5 DM/m <sup>3</sup>
Stahlbetonrohre DN 800 mit Glockenmuffe und Gleitringdichtung, anliefern und verlegen	125 DM/m
Druckprüfung der Rohr	8,50 DM/m
Verfüllen und Verdichten (mit mittlerem Gerät)	17 DM/m <sup>3</sup>
Mutterboden andecken (mit mittlerem Gerät)	19 DM/m <sup>3</sup>

Die Kosten je laufendem Meter Erdreichwärmetauscher lassen sich damit wie folgt abschätzen:

Position	Beschreibung	mittlere Kosten
1	Mutterboden abtragen	8,5 DM/m
2	Aushub (Bodenklasse 5)	32,5 DM/m
3	Stahlbetonrohre DN 800, liefern und verlegen	150 DM/m
4	Druckprüfung	10 DM/m
5	Verfüllen und Verdichten (Bodenklasse 5)	110,5 DM/m
6	Mutterboden andecken	13,5 DM/m
<b>Summe</b>		<b>325 DM/m</b>

**Tab. 5-7: Kosten je Meter Erdreichwärmetauscher**

Bei der im Simulationsmodell angenommenen Länge des Erdreichwärmetauschers von 180 Metern betragen die Gesamtkosten für den Erdreichwärmetauscher

$$325 \text{ DM/m} \cdot 180 \text{ m} = 58.500 \text{ DM.}$$

Die Kosten für die gesamte HLK-Anlage des Passiv-Bürogebäudes einschließlich des Erdreichwärmetauschers belaufen sich auf etwa 800.000 DM. Damit ergeben sich Minder Ausgaben im Vergleich zum Standard-Bürogebäude<sup>klim.</sup> von etwa 550.000 DM.

## 5.4 Einsparung an Energie- und Wartungskosten

Die im Passiv-Bürogebäude erzielte Energiekosteneinsparung zeigt Tab. 5-8. Sie ergibt sich durch den im Vergleich zum Standard-Bürogebäude<sup>klim.</sup> sehr guten Wärmeschutz der Gebäudehülle und den Einsatz effizienter Technik. Die Gas- und Strompreise sind dem kommunalen Energiepreisvergleich von 1996 entnommen [KE 1996]. Sie entsprechen einem Mittelwert über 18 Kommunen. Die durch die Liberalisierung des Strommarktes ausgelöste Reduktion des Strompreises wird durch einen Abschlag von 10 % berücksichtigt.

	End-Energiebedarf kWh/a		Energieträgerkosten DM/kWh (netto)	Endenergiekosten DM/a (netto)	
	Standard-BG	Passiv-BG		Standard-BG	Passiv-BG
Gas	337.341	107.558	0,043	15.000	5.000
Strom	268.895	73.335	0,26	70.000	19.000
Summe ca.				85.000	24.000
<b>Energiekosteneinsparung beim Passiv-Bürogebäude</b>					<b>61.000</b>

**Tab. 5-8: Jährliche Energiekosteneinsparung beim Passiv-Bürogebäude**

Jährlich können im Passiv-Bürogebäude etwa 60.000 DM an Energiekosten eingespart werden. Dies entspricht einer Reduktion gegenüber dem Standard-Bürogebäude<sup>klim.</sup> um ca. 70 %.

Wird auf eine Klimaanlage verzichtet, reduzieren sich neben den Investitionskosten auch die Bedienungs-, Wartungs- und Inspektionskosten. Diese werden entsprechend VDI 2067 für raumluftechnische Anlagen in Verwaltungsgebäuden mit 2,5 % der (eingesparten) Investitionskosten angesetzt.

Da im Passiv-Bürogebäude weniger Leuchten erforderlich sind, sinken auch die jährlichen Wartungskosten für die Beleuchtungsanlage. Diese werden ebenfalls mit 2,5 % der Investitionskosten angenommen. Insgesamt können Wartungskosten in Höhe des in Tab. 5-9 dargestellten Betrages jährlich eingespart werden.

Anteil der Wartungskosten	Eingesparte Investitionskosten	Eingesparte Wartungskosten	
2,5 %/a	542.000,00 DM	14.000 DM/a	Heizungs- Lüftung- und Klimaanlage
2,5 %/a	103.000,00 DM	3.000 DM/a	Beleuchtung
<b>Minderausgaben Wartung im Passiv-BG</b>			<b>17.000 DM/a</b>
			<b>Summe</b>

**Tab. 5-9: Eingesparte Wartungskosten pro Jahr beim Passiv-Bürogebäude**

Zusammenfassend sind die ermittelten Mehr- (negativ) bzw. Minderinvestitionen (positiv) sowie die eingesparten Energie- und Wartungskosten in Tab. 5-10 dargestellt.

Mehr- bzw. Minder-Investitionen im ersten Jahr		
	DM	Lebensdauer
Baulicher Wärmeschutz	-750.000	30
Beleuchtung	103.000	15
Arbeitshilfen	-320.000	5
Klimaanlage	542.000	15
<b>Summe</b>	<b>-425.000</b>	

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

**Tab. 5-10: Mehr- (negativ) bzw. Minderausgaben (positiv) beim Passiv-Bürogebäude**

## 5.5 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Nachdem die einzelnen Kostenpositionen quantifiziert sind, soll nun untersucht werden, wie sich die Wirtschaftlichkeit für ein Passiv-Bürogebäude darstellt. Dabei wird nur eine betriebswirtschaftliche Betrachtung angestellt, d. h. die externen Kosten werden vernachlässigt (siehe Abschnitt 5.3).

Zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit wird der Kapitalwert der Maßnahme „Verbessern des Effizienz-Standards auf das Niveau des Passiv-Bürogebäudes“ bestimmt. Betrachtet werden hierzu die Kostendifferenzen zwischen dem Standard- und dem Passiv-Bürogebäude. Bei den jährlichen Zahlungen werden Mehrausgaben rechnerisch wie Ausgaben, Minderausgaben wie Einnahmen behandelt. Das Gleiche gilt für die Investitionen. Auch hier werden nur die Differenzen von Standard- zu Passiv-Bürogebäude betrachtet.

Der Kapitalwert  $K_0$  einer Maßnahme ergibt sich, indem die Mehr- bzw. Minderinvestitionen  $I_0$  vom Barwert  $B_0$  subtrahiert werden.

$$K_0 = B_0 - I_0$$

Ist der Kapitalwert positiv, dann ist die Maßnahme wirtschaftlich, ist er negativ, ist sie unwirtschaftlich.

Der Barwert  $B_0$  ist die Summe aller Zahlungen  $Z(t)$  (Einnahmen sowie Ausgaben), die in einem Betrachtungszeitraum anfallen, jedoch ohne die Mehr- bzw. Minderinvestitionen. Zur Bestimmung des Barwertes werden die einzelnen Zahlungen nicht mit ihrem Nominalbetrag berücksichtigt, sondern mit dem Betrag, den man zum Anfangszeitpunkt  $t_0$  auf der Bank hätte anlegen müssen, um die späteren Kosten bezahlen zu können (Diskontierung). Der Barwert ist damit der zum Kalkulationszins  $p$  anzulegende Gesamtbetrag, der zusammen mit den Zinsen alle

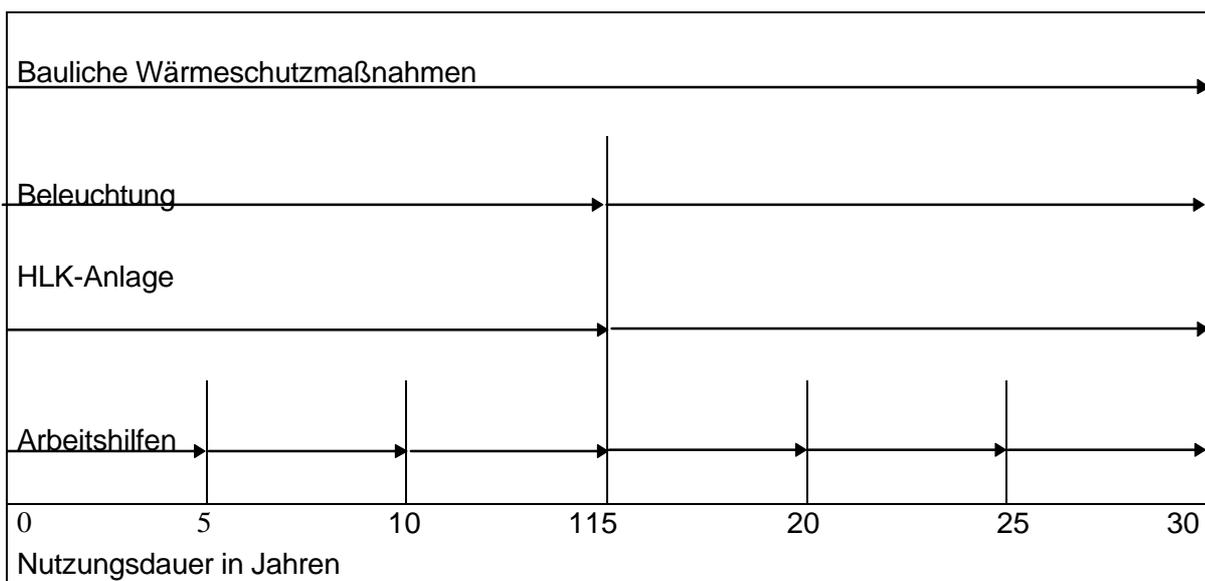
laufenden Zahlungen deckt, wobei die jährliche Teuerungsrate  $s$  berücksichtigt wird [LEG 1995].

$$B_0 = \sum_{t=0}^n Z(t) \cdot \frac{(1+s)^t}{(1+p)^t}$$

Als Betrachtungszeitraum zur Ermittlung des Barwertes werden im vorliegenden Fall 30 Jahre angenommen. Da Systeme mit Lebensdauern unter 30 Jahren in der Berechnung mit einbezogen werden (Beleuchtung, HLK-Anlage, Arbeitshilfen), müssen die entsprechenden Ersatzinvestitionen berücksichtigt werden. Die Mehr- bzw. Minderinvestitionen  $I_0$  setzen sich somit aus den Erstinvestitionen  $E(t=0)$  und den diskontierten Ersatzinvestitionen  $E_0(t=n)$  zusammen. Die Ersatzinvestitionen werden mit folgender Formel auf den Anfangszeitpunkt  $t_0$  diskontiert.

$$E_0(t=n) = E(t=0) \cdot \frac{(1+s)^n}{(1+p)^n}$$

Die Zeitpunkte der Ersatzinvestitionen zeigt Abb. 5-5.



**Abb. 5-5: Zeitpunkte der Ersatzinvestitionen während der Nutzungsdauer von 30 Jahren**

Um die Transparenz zu erhöhen, werden bei der Berechnung der Wirtschaftlichkeit die Barwerte der Energie- und Wartungskosteneinsparung sowie die Mehr- bzw. Minderinvestitionen  $I_0$  getrennt bestimmt und ausgewiesen. Da sich die Mehr- bzw. Minderinvestitionen - mit Ausnahme des baulichen Wärmeschutzes - ebenfalls aus zeitlich verteilten Zahlungen zusammensetzen, werden sie im Folgenden auch als Barwerte bezeichnet. Der Kapitalwert der Gesamtmaßnahme wird durch Summenbildung aus den Einzelpositionen ermittelt.

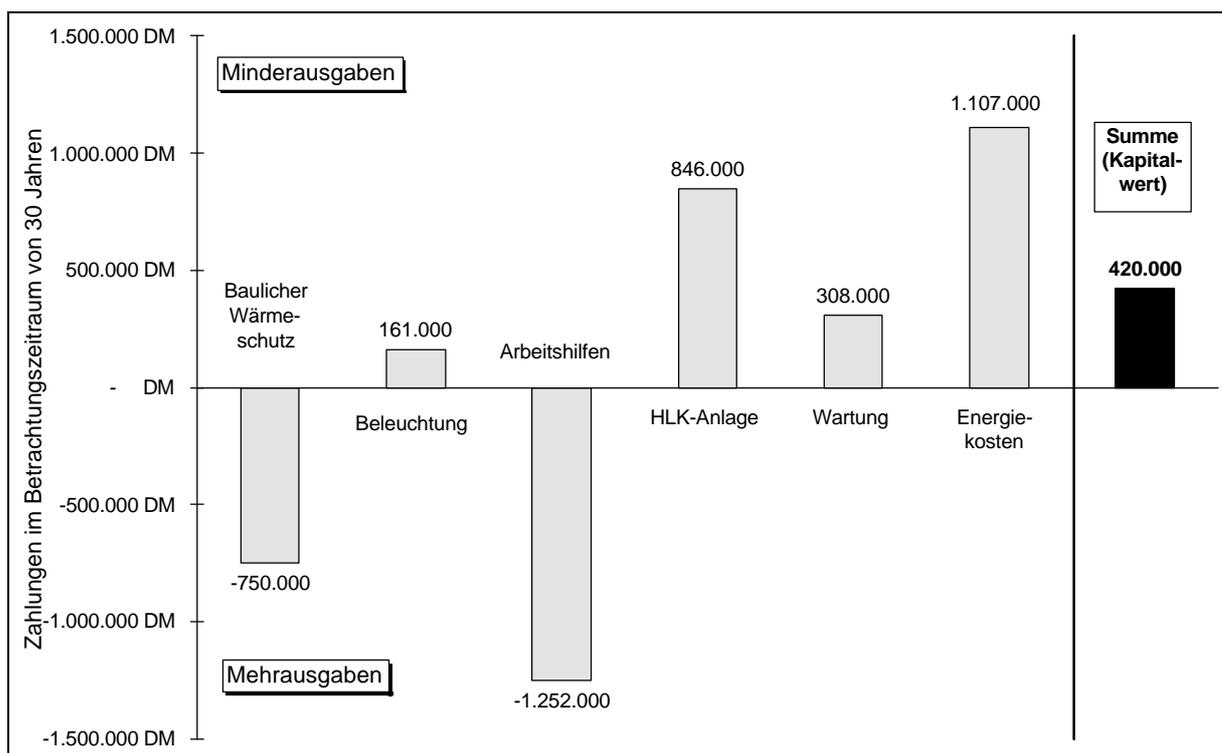
Folgende weitere Annahmen liegen der Wirtschaftlichkeitsberechnung zugrunde:

- Inflationsrate  $s = 2\%$  p. a.
- Kalkulationszins (nominal)  $p = 6\%$  p. a.
- Energiepreissteigerung = Inflationsrate
- Steigerung der Wartungskosten = Inflationsrate

Bei der hier durchgeführten Abschätzung wird nicht zwischen Eigen- und Fremdkapital, d. h. zwischen Haben- und Soll-Zins, unterschieden, sondern es wird mit einem einheitlichen Kalkulationszins gerechnet. Steuerliche Vor- und Nachteile sowie mögliche Fördermittel werden nicht berücksichtigt.

### 5.5.1 Selbstgenutzte Immobilie

In selbstgenutzten Immobilien kommen die Minderausgaben bei Energie- und Wartungskosten direkt dem Investor zugute. Ihm fallen aber auch die Mehr- bzw. Minderinvestitionen zu. Zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit können in dem Fall somit alle Barwerte addiert werden. Den sich berechnenden Kapitalwert zeigt Abb. 5-6.



**Abb. 5-6: Barwerte sowie Kapitalwert für den selbstnutzenden Investor**

Der Kapitalwert ist positiv, d. h. der Bau eines Passiv-Bürogebäudes ist für den Investor wirtschaftlich. Investiert der selbstnutzende Investor in den Bau eines Passiv-Bürogebäudes, hat er in einem Zeitraum von 30 Jahren Minderausgaben von ca. 420.000 DM. Dies entspricht einem mittleren jährlichen Betrag von etwa 25.000 DM. Aus ökonomischer Sicht ist es für den

selbstnutzenden Investor unbedingt sinnvoll, sich für den Bau eines Passiv-Bürogebäudes zu entscheiden.

**5.5.2 Vermietete Immobilie**

Anders stellt sich die Situation in vermieteten Immobilien dar. Zwar berechnen sich hier die gleichen Mehr- bzw. Minderausgaben, jedoch müssen sie entweder vom Vermieter oder vom Mieter bezahlt werden bzw. kommen ihm zugute.

- Der Vermieter bzw. Investor trägt die Kosten für die Herstellung des Gebäudes inklusive der Haustechnik. Er ist auch für die erforderlichen Ersatzinvestitionen in diesem Bereich verantwortlich, wobei er hierfür in der Regel Rücklagen aus den Mietzahlungen bildet.
- Die Ausrüstung der Arbeitsplätze mit energiesparenden Arbeitshilfen fällt in den Verantwortungsbereich des Mieters. Ihm kommen auf der anderen Seite die eingesparten Energiekosteneinsparung zugute. Ebenso profitiert der Mieter von den Einsparungen bei den Wartungskosten, da er die Wartungskosten in der Regel im Rahmen der Betriebskostenabrechnung voll zu tragen hat.

Unter diesen Randbedingungen ergeben sich die in Tab. 5-11 dargestellten Barwerte und Kapitalwerte für Vermieter und Mieter.

Sowohl für den Vermieter als auch für den Mieter ergeben sich positive Kapitalwerte, d. h. für beide Parteien ist die Maßnahme wirtschaftlich.

Den vom Vermieter aufzubringenden Mehrausgaben für den besseren baulichen Wärmeschutz stehen Minderausgaben im Bereich der Beleuchtung und Klimaanlage gegenüber. Wird berücksichtigt, dass die geringeren Kosten auch bei der Ersatzinvestitionen nach 15 Jahren zu Buche schlagen, ergeben sich über 30 Jahre gerechnet Minderausgaben in der Größenordnung von ca. 257.000 DM.

<u>Vermieter</u>	
Baulicher Wärmeschutz	- 750.000 DM
Beleuchtung	161.000 DM
Klimaanlage	846.000 DM
<b>Summe (Kapitalwert)</b>	<b>257.000 DM</b>
<u>Mieter</u>	
Arbeitshilfen	- 1.252.000 DM
Wartung	308.000 DM
Energieeinsparung	1.107.000 DM
<b>Summe (Kapitalwert)</b>	<b>163.000 DM</b>

**Tab. 5-11: Barwerte sowie Kapitalwert für Vermieter und Mieter beim Bau eines Passiv-...**

Ein möglicher Anstieg der Mieteinnahmen ist bei dieser ersten Abschätzung noch nicht berücksichtigt. Natürlich ist es denkbar, dass je nach Marktlage der Vermieter einen Anteil der eingesparten Energiekosten über eine höhere Nettomiete abschöpfen kann.

Der Mieter hat für die Ausrüstung mit stromsparenden Arbeitshilfen, hier speziell für die Anschaffung von Notebooks zu sorgen. Die Mehrausgaben hierfür sind selbst bei Berücksichtigung der alle fünf Jahre erforderlichen Ersatzinvestitionen geringer als die Einsparungen an Energie- und Wartungskosten. Über einen Zeitraum von 30 Jahren betrachtet, ergeben sich für den Mieter Minderausgaben von ca. 163.000 DM.

### 5.5.3 Diskussion der berechneten Kapitalwerte

Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zeigt, dass der Bau eines Passiv-Bürogebäude sowohl für den selbstnutzenden wie auch für den vermietenden Investor betriebswirtschaftlich rentabel ist. Die berechneten Kapitalwerte gelten natürlich nur für die hier getroffenen Annahmen und die angesetzten Mehr- bzw. Minderausgaben. Im Folgenden werden einige Aspekte qualitativ diskutiert, durch die der Kapitalwert negativ oder positiv beeinflusst wird.

Die Wirtschaftlichkeit wird im vorliegenden Fall durch den Vergleich zweier Ausführungsvarianten bestimmt. Sowohl der Ausgangs- wie auch der Endzustand (hier: Standard-Bürogebäude<sup>klim.</sup> > Passiv-Bürogebäude) haben entscheidenden Einfluss auf die Rentabilität. Wird als Ausgangszustand ein Bürogebäude angenommen, welches in Bezug auf die energetische Effizienz nicht dem Standard- sondern eher dem Niedrigenergie-Bürogebäude<sup>klim.</sup> entspricht, kann in der Regel bereits hier auf eine Klimaanlage verzichtet werden. Die Minderausgaben bei der Klimaanlage können in dem Fall nicht mehr dem Passiv-Bürogebäude zugerechnet werden, was die Wirtschaftlichkeit verschlechtert.

Aber auch durch Änderungen im Endzustand wird die Wirtschaftlichkeit beeinflusst. Kostenreduktionen sind beim Passiv-Bürogebäude noch an mehreren Stellen möglich. So ist es unter Umständen vorstellbar, anstelle von Notebooks konventionelle Rechner mit Energiesparschaltung und LCD-Bildschirmen einzusetzen. Hierdurch würden sich die Mehrausgaben reduzieren. Da die Rechner alle fünf Jahre ersetzt werden müssen, wirken sich geringere Mehrausgaben in diesem Bereich sehr positiv auf die Wirtschaftlichkeit des Passiv-Bürogebäudes aus. Auch ist es vorstellbar, beim Passiv-Bürogebäude den Restheizwärmebedarf über die Zuluft in die unterschiedlichen Räume einzubringen. In dem Fall könnte auf den Einbau von Heizkörpern und Heizungsrohren verzichtet werden. Hierdurch würden sich zusätzliche Einsparungen ergeben, was die Wirtschaftlichkeit verbessert.

Neben dem verglichenen Anfangs- und Endzustand wird der Kapitalwert - und damit die Rentabilität - von den Parametern der Wirtschaftlichkeitsberechnung beeinflusst. So ist der hier zugrunde gelegte Anstieg der Energiepreise in Höhe der Inflationsrate (inflationsbereinigter Anstieg = 0 %) eine konservative Annahme. In einem Zeitraum von 30 Jahren ist jedoch mit einer realen, d. h. inflationsbereinigten Verteuerung der Energiekosten aufgrund der einsetzenden Verknappung der Rohstoffe zu rechnen. Zudem ist der Einstieg in eine Energiesteuer mittlerweile erfolgt und es ist zu erwarten, dass aus Gründen des Klimaschutzes und der Finanzknappheit des Staates eine schrittweise Erhöhung erfolgen wird. Die für die nächsten vier Jahre bereits beschlossene jährliche Erhöhung der Ökosteuer für Strom von 0,5 Pf/kWh entspricht einem Preisanstieg von etwa 2 % pro Jahr. Wird in der Berechnung eine mittlere Energiepreissteigerung von real 1 % pro Jahr angesetzt, steigt der Kapitalwert für den selbstnutzenden Eigentümer von 420.000 DM auf 550.000 DM. Wird von einer hohen Energiepreissteigerung entsprechend dem Hochpreisszenario der Enquete-Kommision zum Schutz der Erdatmosphäre von real 6,5 % ausgegangen, berechnet sich der Kapitalwert zu etwa 2.000.000 DM. Die Energiepreisentwicklung hat somit einen entscheidenden Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit des Passiv-Bürogebäudes.

Neben der rein betriebswirtschaftlichen Rentabilität sollten bei der Entscheidung für oder gegen den Bau eines Passiv-Bürogebäudes weitere Aspekte bedacht werden.

- Das Gebäude weist durch höhere Oberflächentemperaturen eine gesteigerte thermische Behaglichkeit auf. Hiervon profitiert der selbstnutzende Investor direkt, durch eine angenehme Atmosphäre in seinem Gebäude. Aber auch für den vermietenden Investor ist dies ein positives Argument bei der Vermietung seiner Immobilie.
- Einen entscheidenden Vorteil hat der Vermieter durch die geringen Energiekosten des Passiv-Bürogebäudes. Diese eröffnen ihm die Möglichkeit, flexibel auf die aktuelle Marktsituation zu reagieren. Werden Büroflächen stark nachgefragt, kann er einen Teil der Einsparungen bei Energie- und Wartungskosten durch eine höhere Nettomiete abschöpfen und so seine Mieteinnahmen steigern. Ist die Nachfrage nach Bürofläche gering, kann er die niedrigen Energie- und Wartungskosten als Wettbewerbsvorteil bei der Vermietung nutzen. Hierdurch vermeidet er Leerstände und sichert die langfristige Vermietbarkeit seines Gebäudes.
- Da weniger Technik vorhanden ist, gibt es in einem nicht klimatisierten Passiv-Bürogebäude weniger Probleme mit Betriebsstörungen.
- Der Besitzer bzw. Bewohner eines Passiv-Bürogebäudes zeigt das moderne und ökologische Image seiner Firma.
- Durch den Bau eines Passiv-Bürogebäudes wird ein wichtiger Beitrag zum Klimaschutz geleistet.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass auch wenn Wirtschaftlichkeitsrechnungen immer mit gewissen Unsicherheiten behaftet sind das Passiv-Bürogebäude eine ökonomisch interessante Variante darstellt. Insbesondere in Zusammenhang mit der Umweltentlastung sollte diese Option bei jedem Neubau geprüft werden.

## 5.6 Variation einiger Gebäudeparameter

Im Folgenden wird untersucht, ob die beim Passiv-Bürogebäude erzielten Energieeinsparungen auch unter anderen, als den bisher angenommenen Randbedingungen realisiert werden können. Dazu werden einige wichtige Gebäudeparameter variiert und deren Auswirkung auf den Primärenergiekennwert und den Raumkomfort in den Südbüros dargestellt. Im Rahmen der hier begonnenen Parameterstudie können aus Zeitgründen nicht alle wichtigen Gebäudeparameter untersucht werden. Es ist geplant, den Einfluss wichtiger fehlender Parameter in einer Folgeuntersuchung darzustellen.

### 5.6.1 Personenbelegungsdichte

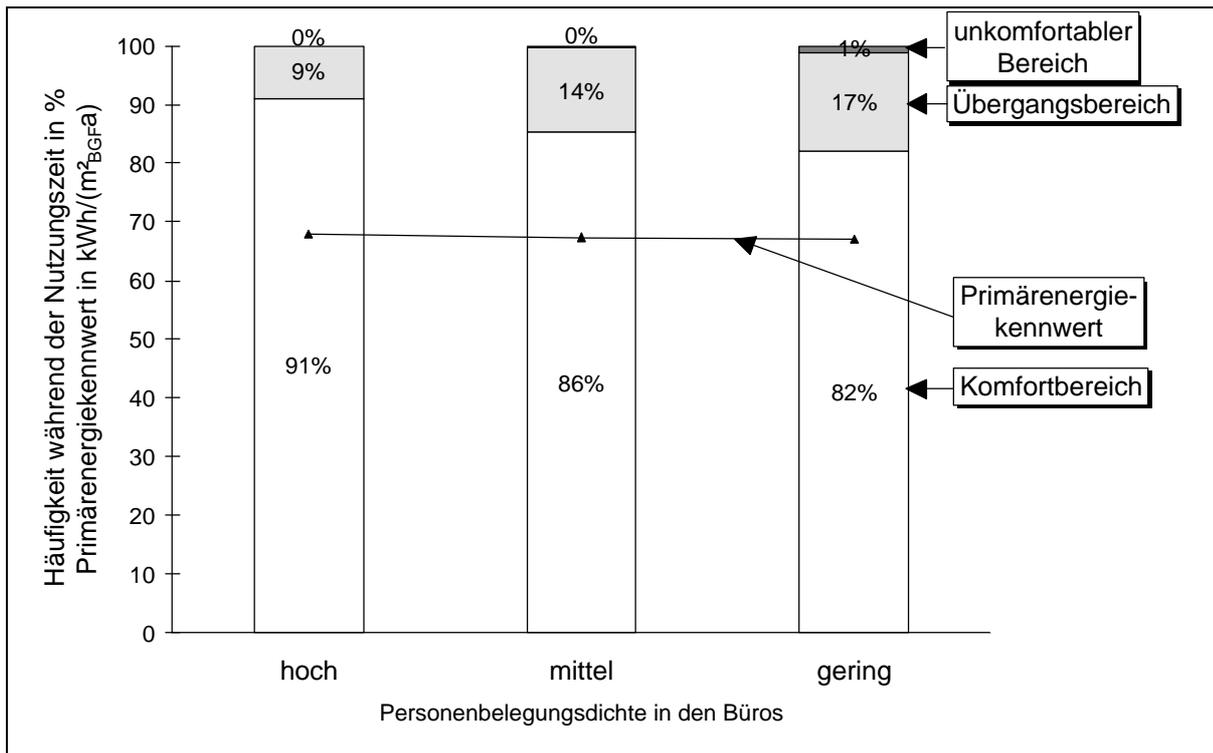
In den bisherigen Simulationsläufen wurde in den Büros eine mittlere Personenbelegungsdichte von 15 m<sup>2</sup> Bürofläche pro Person angesetzt. Nachfolgend wird untersucht, ob die geringen Primärenergiekennwerte des Passiv-Bürogebäudes auch bei anderen Personenbelegungsdichten realisiert werden können. Als hohe Personenbelegungsdichte wird dabei die nach den Arbeitsstättenrichtlinien maximal zulässige Belegungsdichte von 10 m<sup>2</sup> Bürofläche pro Person angenommen. Im Fall der geringen Personenbelegungsdichte stehen jeder Person 20 m<sup>2</sup> Bürofläche zur Verfügung.

Tab. 5-12 zeigt, wie sich die internen Wärmelasten in den Büros bei der unterschiedlichen Belegungsdichte verändern. Dargestellt sind die maximale Wärmeabgabe während der Nutzungszeit und die Vollbetriebsstunden.

Personenbelegungsdichte	m <sup>2</sup> <sub>HNF</sub> pro Person	10 (hoch)	15 (mittel)	20 (gering)	Vollbetriebsstunden
Beleuchtung	W/m <sup>2</sup> <sub>HNF</sub>	6,2	6,2	6,2	740 h/a
Personen sensibel	W/m <sup>2</sup> <sub>HNF</sub>	8,5	5,7	4,2	2200 h/a
Arbeitshilfen	W/m <sup>2</sup> <sub>HNF</sub>	3,9	2,6	2,0	1100 h/a
<b>Summe</b>	<b>W/m<sup>2</sup><sub>HNF</sub></b>	<b>18,6</b>	<b>14,5</b>	<b>12,4</b>	

**Tab. 5-12: Interne Wärmelasten in den Büros bei unterschiedlicher Personenbelegungsdichte**

Die Personenbelegungsdichte hat Auswirkungen auf den Primärnergiekennwert des Gebäudes sowie auf den Raumkomfort in den Büros. Die Veränderung dieser Größen in Abhängigkeit der Personenbelegungsdichte zeigt Abb. 5-7. Der Primärenergiekennwert wird durch die Linie mit Dreiecken symbolisiert. Die Auswirkung auf den Raumkomfort wird durch die Säulengrafik dargestellt. Angegeben ist die Häufigkeit in Prozent, mit der die Raumluft während der jährlichen Nutzungszeit innerhalb der in Abb. 5-3 definierten Komfortzonen (Komfortbereich, Übergangsbereich, unkomfortabler Bereich) liegt. Untersucht werden die Südbüros, da hier im Sommer die höchsten Raumtemperaturen erwartet werden.



**Abb. 5-7: Einfluss der Personenbelegungs-dichte auf Raumkomfort und Primärenergiekennwert im Passiv-Bürogebäude**

Der Primärenergiekennwert des Gebäudes wird durch die Personenbelegungs-dichte kaum beeinflusst. Er variiert zwischen  $67,1 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{BGFA}})$  und  $68,0 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{BGFA}})$ . Der bei höherer Personenbelegung zu verzeichnende Anstieg des Stromverbrauchs der Arbeitshilfen (Computer) ist wegen der eingesetzten effizienten Technik gering. Zudem wird der Anstieg des Primärenergiebedarfs der Arbeitshilfen durch die Reduktion des Primärenergieaufwand zur Beheizung zum Teil kompensiert. Nimmt die Belegungs-dichte zu, kann wegen der steigenden Anzahl anwesender Personen ein größerer Anteil der Wärmeverluste des Gebäudes von der Personen-Abwärme gedeckt werden. In Summe ergibt sich die hier dargestellte vernachlässigbare Beeinflussung des Primärenergiekennwertes von der Personenbelegungs-dichte.

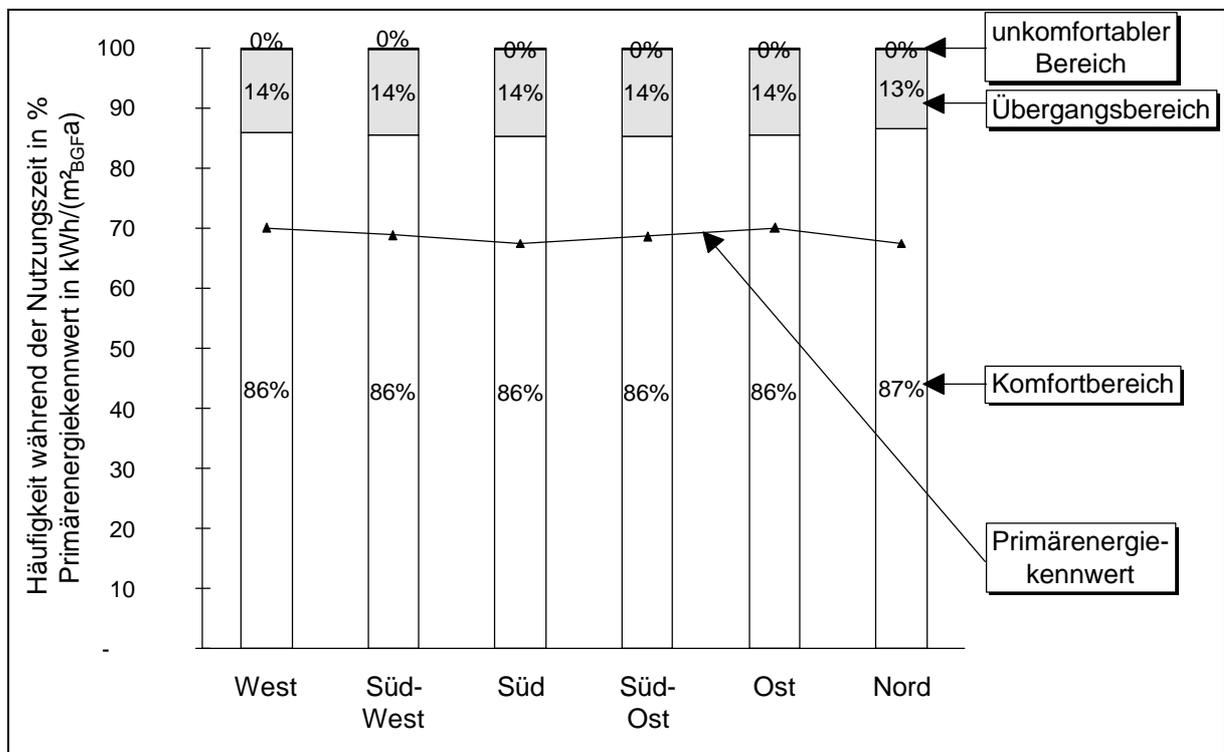
Auch der Einfluss der Personenbelegungs-dichte auf die Behaglichkeit in den Büros ist gering. Interessant ist, dass sich der Raumkomfort in den Büros mit zunehmender Personenbelegungs-dichte verbessert. Bei der hohen Belegungs-dichte von  $10 \text{ m}^2$  pro Person treten Zustände aus dem Übergangsbereich nur noch an 9 % der Nutzungszeit auf. Unkomfortable Zustände stellen sich nicht mehr ein. Die Verbesserung des Raumkomforts ergibt sich durch einen Anstieg der Raumlufftfeuchte im Winter aufgrund der Feuchteabgabe der zusätzlichen Personen. Da Abweichungen vom Komfortbereich im Passiv-Bürogebäude primär durch zu geringe Werte der relativen Feuchte im Winter hervorgerufen werden, bewirkt dieser Feuchteanstieg die Verbesserung in der Häufigkeitsstatistik.

Sommerliche Überhitzungen treten auch bei hoher Belegungs-dichte nicht auf. Selbst bei der maximalen Belegungs-dichte von  $10 \text{ m}^2$  pro Person ergeben sich Raumluffttemperaturen über  $26^\circ\text{C}$  in dem Beispielgebäude nur an 9 Stunden im Jahr. Temperaturen über  $27^\circ\text{C}$  stellen sich unter den hier gewählten Randbedingungen in den Büros nicht ein.

### 5.6.2 Orientierung der Hauptfassaden

Bei der Realisierung von Passiv-Bürogebäuden kann nicht in jedem Fall die in den bisherigen Simulationsläufen angenommene Nord-Süd-Orientierung der Hauptfassaden eingehalten werden. Im Folgenden wird untersucht, wie sich der Raumkomfort und der Primärenergiekennwert des Gebäudes bei unterschiedlichen Ausrichtungen verändern. Hierzu wird das Beispielgebäude in die entsprechenden Himmelsrichtungen gedreht.

Da das Gebäude symmetrisch aufgebaut ist, entspricht der Primärenergiekennwert des Gebäudes bei Nord-Süd-Ausrichtung dem bei Süd-Nord-Ausrichtung. Für die Behaglichkeitsstatistik gilt diese Symmetrie nicht, da hier nur die Büros einer Fassadenseite ausgewertet werden. Wird das Gebäude um 180° gedreht, werden die Süd-Büros zu Nord-Büros, weswegen sich die Häufigkeitswerte unterscheiden. Die Ergebnisse der Variation zeigt Abb. 5-8.



**Abb. 5-8: Einfluss der Fassaden-Orientierung auf den Primärenergiekennwert und den Raumkomfort im Passiv-Bürogebäude**

Der Einfluss der Orientierung ist gering. Der Primärenergiekennwert variiert zwischen 67 kWh/(m²<sub>BGFa</sub>) für die Nord-Süd-Orientierung und 70 kWh/(m²<sub>BGFa</sub>) für die Ost-West-Orientierung der Hauptfassaden. Aus energetischer Sicht müssen unter den hier gewählten Randbedingungen keine besonderen Anforderungen an die Ausrichtung der Hauptfassaden gestellt werden.

Auch auf die Behaglichkeit in den Büros hat die Orientierung keinen entscheidenden Einfluss. Unkomfortable Zustände treten nur in Ausnahmesituationen auf. Hervorgerufen werden sie durch zu geringe Werte der relativen Luftfeuchtigkeit im Winter. Eine Überschreitung der Raumlufttemperatur von 28 °C tritt in keinem Fall auf. Die Stunden mit Raumlufttemperaturen über 26°C sind selten. Der Maximalwert tritt bei einer Ost-Ausrichtung auf. Hier liegt die Raumtemperatur an 12 Stunden im Jahr über 26°C. Dies liegt in erster Linie daran, dass die Lüftungsanlage erst um 6.00 Uhr eingeschaltet wird und der Sonnenschutz erst bei Beginn der Nutzungszeit um 7.00 Uhr geschlossen wird. Die Büros können sich entsprechend in den Morgenstunden aufheizen.

### 5.6.3 Fensterflächenanteil der Hauptfassaden

Die Größe der Fensterfläche hat neben dem Erscheinungsbild Einfluss auf das energetische Verhalten eines Gebäudes. Nachfolgend wird untersucht, welche Veränderungen sich beim Primärenergiekennwert des Gebäudes sowie beim Raumkomfort in den Südbüros ergeben, wenn die Fensterfläche im Passiv-Bürogebäude von 0 % auf 100 % vergrößert wird.

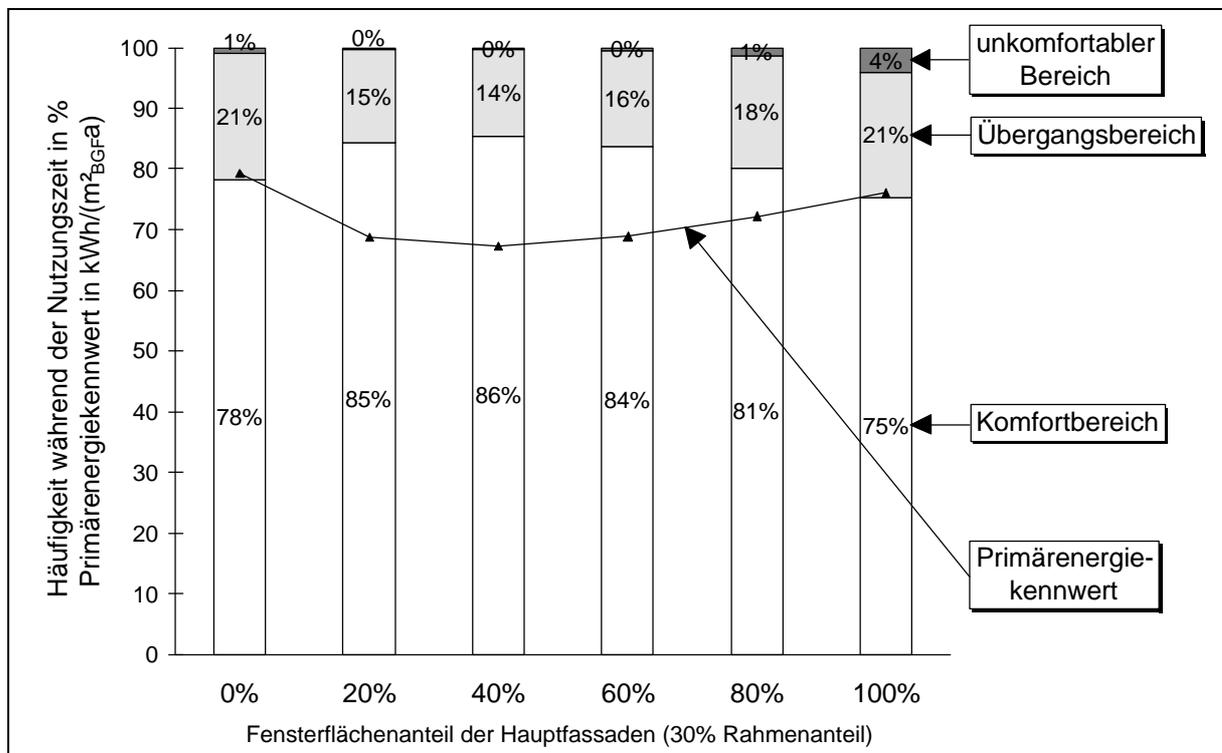
Während die thermischen Auswirkungen eines veränderten Fensterflächenanteils mit Hilfe der thermischen Gebäude- und Anlagensimulation sehr genau bestimmt werden können, ist die direkte Einbindung einer Tageslichtsimulation in dem derzeitigen Entwicklungsstand des Simulationsprogramms TAS (Version 8.0) nicht möglich. Der Einfluss unterschiedlicher Fensterflächenanteile auf den Strombedarf der Beleuchtung muss entsprechend über ein einfaches Berechnungsmodell angenähert werden. Dabei wird zuerst für den jeweiligen Fensterflächenanteil der Tageslichtquotienten in den Büros nach DIN 5034 Teil 3 berechnet und auf dieser Grundlage der Vollbetriebszeitfaktors der Beleuchtungsanlage nach [LEE 1995] ermittelt. Durch die Multiplikation des Vollbetriebszeitfaktors mit der maximalen Leistungsaufnahme des spezifizierten Beleuchtungssystems und der Nutzungszeit ergibt sich der jährliche Strombedarf. Dieser wird in der Simulation abgebildet, indem Tagesprofile definiert werden, die die täglichen und saisonalen Schwankungen berücksichtigen (siehe Anhang).

Die bei den Simulationsläufen angenommenen Fenstergeometrien sowie der sich daraus ergebende Tageslichtquotient bzw. Vollbetriebszeitfaktor sind in Tab. 5-13 zusammengefasst. Die Fensterfläche (Verglasung inkl. 30 % Rahmenanteil) ist dabei auf die Innenfläche der Außenwand bezogen.

Fensterflächenanteil		0 %	20 %	40 %	60 %	80 %	100 %
Fensterhöhe	m	0	1,6	2,1	2,1	2,4	3
Fensterbreite	m	0	1,4	2,14	3,21	3,75	3,75
Tageslichtquotient / DIN 5034 T3		0	2,4	4,3	5,4	6,6	7,7
Vollbetriebszeitfaktor der Beleuchtungsanlage [LEE 1995]		1	0,42	0,27	0,22	0,21	0,21

**Tab. 5-13: Berücksichtigte Fenstergeometrie und lichttechnische Größen**

Abb. 5-9 zeigt das Ergebnis der Simulationsrechnungen.



**Abb. 5-9: Einfluss des Fensterflächenanteils auf Raumkomfort und Primärenergiekennwert im Passiv-Bürogebäude**

Wird der Fensterflächenanteil von 0 % ausgehend vergrößert, verbessern sich zunächst sowohl der Primärenergiekennwert des Gebäudes als auch die Behaglichkeit in den Südbüros. Bei einem Fensterflächenanteil von 40 % wird für beide Größen ein Optimum erreicht. Steigt der Fensterflächenanteil über diesen Wert hinaus an, verschlechtert sich die Situation wieder. Im Folgenden sollen die Gründe für diesen Verlauf aufgezeigt werden, wobei zuerst die Behaglichkeit und anschließend der Primärenergiekennwert diskutiert wird.

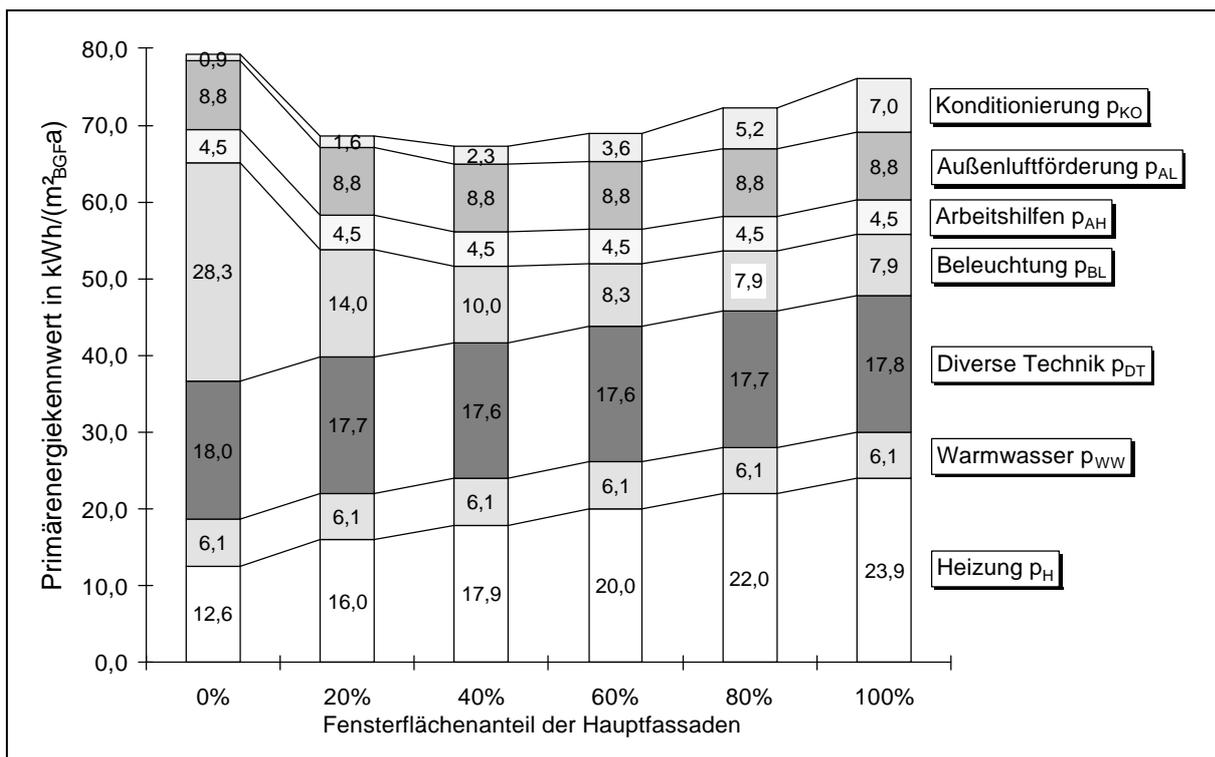
Ausgangspunkt für die Diskussion der Behaglichkeit ist ein Fensterflächenanteil von 0 %. Stunden außerhalb des Komfortbereichs treten bei dieser Variante vergleichsweise häufig auf. Verantwortlich dafür sind die hohen Werte der relativen Feuchte im Sommer. Wegen der fehlenden solaren Einträge (keine Fenster) liegen die Raumlufttemperaturen in den Büros bei dieser Variante im Sommer vergleichsweise niedrig. Bei gleicher absoluter Feuchte (Luftwechsel und Feuchteproduktion sind in allen Varianten gleich) bedingen niedrigere Raumlufttemperaturen jedoch höhere Werte der relativen Feuchte.

Wird der Fensterflächenanteil erhöht, sinkt die relative Feuchte im Sommer und der Komfort in den Südbüros steigt an. Der optimale Raumkomfort tritt bei einem Fensterflächenanteil von 40 % auf. Hier liegt das Raumklima an 86 % der jährlichen Nutzungszeit in dem in Abb. 5-3 definierten engen Komfortbereich. Wird der Fensterflächenanteil weiter vergrößert, verschlechtert sich der Raumkomfort in den Südbüros wieder. Verantwortlich hierfür sind die nun

häufiger auftretenden niedrigen Werte der relativen Feuchten im Winter und von Temperaturen über 26°C.

Insbesondere die zunehmenden Überhitzungen (nicht nur im Sommer) führen dazu, dass bei einem Fensterflächenanteil von 100 % der geringste Raumkomfort zu verzeichnen ist. Selbst der gute und richtig bediente Sonnenschutz kann die solaren Einträge bei einem derart großen Fensterflächenanteil nicht mehr im erforderlichen Umfang reduzieren. Raumlufttemperaturen über 26°C ergeben sich in dem Fall sogar bei niedrigen Außentemperaturen. Steigen die Außentemperaturen an, treten Raumtemperaturen von über 29 °C auf. Dabei ist das Temperaturverhalten des hier untersuchten primärenergetisch optimierten Gebäudes noch vergleichsweise positiv. Durch die geringen internen Wärmelasten (Arbeitshilfen und Beleuchtung), den Kühleffekt durch den Erdreichwärmetauscher, die zugänglichen Speichermassen und den guten Sonnenschutz bleibt das Gebäude trotz hohem Fensterflächenanteil in Grenzen nutzbar. Ohne diese Eigenschaften würden die Temperaturen noch deutlich höher liegen.

Neben dem Raumkomfort wird durch die Größe des Fensterflächenanteils aber auch der Primärenergiekennwert des Gebäudes beeinflusst. Für eine Diskussion der Zusammenhänge ist in Abb. 5-10 der Primärenergiebedarf aufgeteilt nach Teilenergiekennwerten dargestellt.



**Abb. 5-10: Primärenergiekennwerte für das Passiv-Bürogebäude bei unterschiedlichem Fensterflächenanteil der Hauptfassaden**

Steigt der Fensterflächenanteil von 0 % an, sinkt der Primärenergiekennwert des Gebäudes zunächst ab, um dann bei einem Fensterflächenanteil von 40 % wieder anzusteigen. Diese Veränderung des Primärenergiekennwerts des Gebäudes ergibt sich als Summe der unterschiedlichen Teilenergiekennwerte. Relevante Veränderungen treten in folgenden Bereichen auf:

- Beleuchtung
- Heizung und
- Konditionierung

Diese Punkte werden kurz diskutiert.

Sind keine Fenster in dem Gebäude vorhanden (Fensterflächenanteil 0 %), ergibt sich ein hoher Primärenergieaufwand für die Beleuchtung. Aus diesem Grund stellt sich diese - ohnehin nur theoretisch interessante - Variante primärenergetisch ungünstig dar. Steigt die Fensterfläche an, kann immer mehr des in den Büros und Nebenräumen erforderlichen Lichtbedarfs über Tageslicht gedeckt werden. Die Einschaltzeiten der Beleuchtung sinken und entsprechend reduziert sich der Primärenergiekennwert Beleuchtung. Die wesentlichen Einsparungen treten dabei im Bereich geringer Fensterflächenanteile auf. Ab einem Fensterflächenanteil von etwa 60 % wird durch die Vergrößerung der Fensterfläche keine nennenswerte Stromeinsparung bei der Beleuchtung mehr erzielt.

Im Bereich der Heizung führt ein Anstieg der Fensterfläche zu einem Anstieg des entsprechenden Primärenergiekennwertes. Dieses Ergebnis überrascht zunächst, da aus anderen Untersuchungen bekannt ist, dass Fenster mit einem sehr guten U-Wert über das Jahr betrachtet eine positive Energiebilanz aufweisen, also mehr Heizenergie durch einfallende Solarstrahlung eingespart werden kann, als durch Wärmeverluste über das Fenster verloren geht. Dies gilt aber nur für unverschattete Südfenster. Im vorliegenden Fall werden neben den Südfenstern auch die Nordfenster vergrößert und es ist ein Verschattungsfaktor von 0,84 berücksichtigt. Diese beiden Faktoren führen dazu, dass die Jahres-Energiebilanz im Mittel über alle Fenster negativ ist und der Heizenergiekennwert des Gebäudes mit zunehmender Fensterfläche ansteigt.

Der Primärenergiekennwert Konditionierung setzt sich bei der vorliegenden Ausführungsvariante aus dem Strombedarf der Ventilatoren zur freien Kühlung und Nachtlüftung zusammen. Er steigt mit zunehmender Fensterfläche an, da die vermehrten solaren Einträge über einen erhöhten Außenluftvolumenstrom weggelüftet werden müssen. Der Luftvolumenstrom in den Büros kann bis auf einen dreifachen Außenluftwechsel erhöht werden. Entsprechend steigt der Strombedarf der Ventilatoren und damit der Primärenergiekennwert an. Positiv für die freie Kühlung wirkt sich dabei aus, dass die Außenluft beim Durchströmen des Erdreichwärmetauschers abgekühlt wird. So kann aus den Büros mehr Wärme abgeführt werden, als wenn die Zuluft mit Außentemperatur eingeblasen würde.

Aus energetischer Sicht sind bei dem vorliegenden Beispielgebäude Fensterflächenanteile zwischen 20 % und 60 % zu empfehlen, wobei das Optimum bei 40 % liegt. Hier ist die Tageslichtausleuchtung bereits gut und die solaren Einträge führen noch nicht zu Überhitzungen. Dieser optimale Fensterflächenanteil gilt zunächst nur für die hier gewählten Randbedingungen. Er kann sich für andere Gebäude in gewissen Grenzen verschieben. Veränderungen können sich ergeben z. B.

- bei anderer Ausrichtung des Gebäudes
- bei unterschiedlichen Fensterflächenanteilen in der Süd- und Nordfassade
- unterschiedlichem Transmissionsgrad der Verglasung
- bei unterschiedlicher Beleuchtungsstärke und Effizienz des Beleuchtungssystems
- bei unterschiedlichen U-Werten von Fenster und/oder Außenwand
- Bei unterschiedlicher Regelung und Effizienz der Ventilatoren

Trotzdem liegen sinnvolle Fensterflächenanteile fast immer in dem hier aufgezeigten Bereich.

#### 5.6.4 Höhe des Außenluftwechsels

Die DIN 1946 definiert einen personen- und einen flächenbezogenen Mindestaußenluftstrom für unterschiedliche Nutzungssituationen. Für die hier untersuchten Einzelbüros beträgt der Mindestaußenluftstrom  $4 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \text{ h})$ . Dies entspricht einem 1,3-fachen Luftwechsel in den Büros. Dieser Wert wurde in den bisherigen Simulationen zugrunde gelegt. Er reicht aus, um die von Personen abgegebenen Schadstoffe abzuführen und so eine ausreichende Luftqualität sicherzustellen. Kommen weitere Schadstoffquellen durch Raucher oder überdurchschnittliche hohe Emissionen aus Baustoffen und Einrichtungsgegenständen hinzu, ist ein höherer Luftwechsel zu empfehlen.

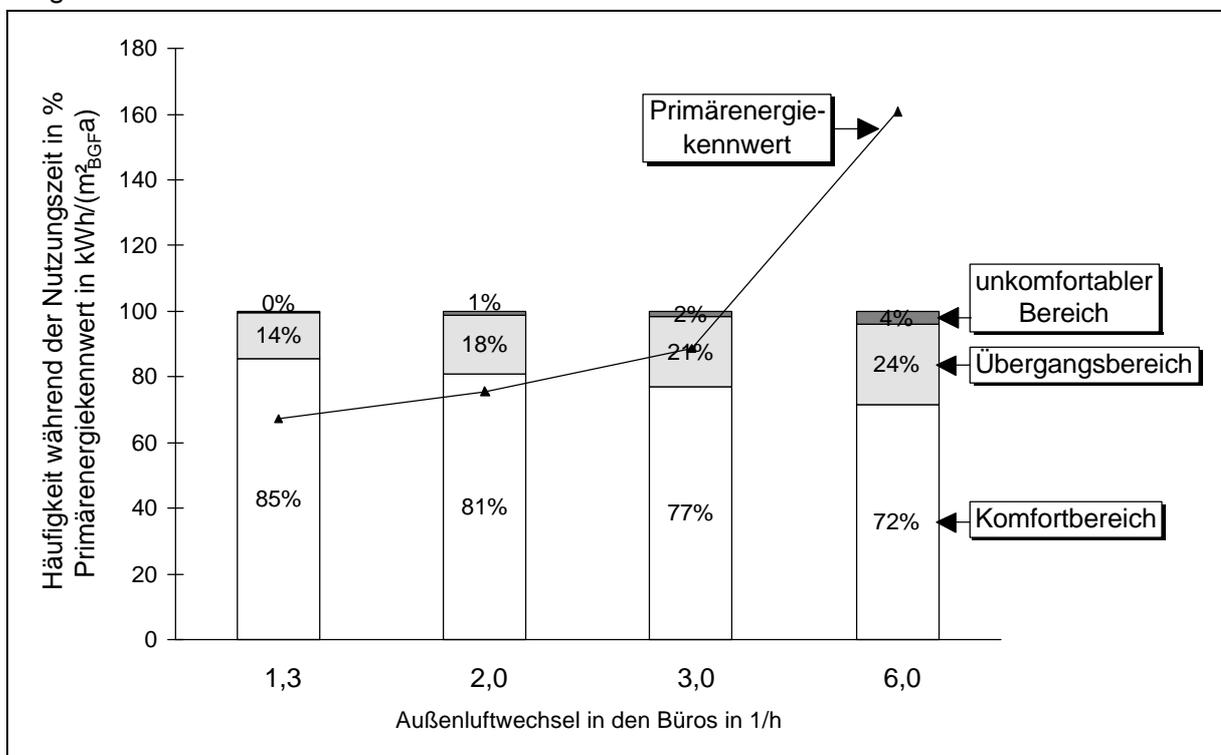
Welcher Luftwechsel in dem jeweiligen Einzelprojekt erforderlich ist, muss anhand der konkreten Randbedingungen entschieden werden. Dabei sollte der Beseitigung der Ursachen - d. h. Vermeiden von Schadstoffemissionen - der Vorrang vor der Bekämpfung der Symptome - z. B. durch Erhöhen des Luftwechsels - gegeben werden. In der Planung sollten Maßnahmen zur Vermeidung von Schadstoffemissionen möglichst weitgehend ausgeschöpft werden. Hierzu zählen z. B. die Einrichtung von Raucherbereichen oder die Verwendung von Baustoffen und Einrichtungsgegenständen mit möglichst geringer Schadstoffemission.

Welchen Einfluss der Außenluftwechsel auf den Primärenergiekennwert des gesamten Gebäudes und auf die Behaglichkeit in den Südbüros hat, wird im Folgenden dargestellt. Dabei wird der minimale und der maximale Luftwechsel in den Büros schrittweise erhöht. Der Luftwechsel in den Fluren und Nebenräumen wird im gleichen Verhältnis angehoben wie der Mindestluftwechsel in den Büros. Die in der Simulation angenommenen Luftwechselzahlen sind in Tab. 5-14 dokumentiert.

Variantenbezeichnung		$n_i = 1,3$	$n_i = 2$	$n_i = 3$	$n_i = 6$
		Luftwechsel in $h^{-1}$			
Büro	Min	1,3	2	3	6
	Max	3	4	6	6
Flur		0,4	0,6	0,9	1,8
Nebenträume		0,4	0,6	0,9	1,8

**Tab. 5-14: In den Berechnungen angenommener Luftwechsel**

Die Veränderung des Primärenergiekennwertes des Gebäudes und des Raumkomforts in den Südbüros zeigt Abb. 5-11. Die Häufigkeit unterschiedlicher Komfortzustände (siehe Abb. 5-3) ist als Säulengrafik, die Höhe des Primärenergiekennwertes als Linie mit Dreieckssymbolen dargestellt.



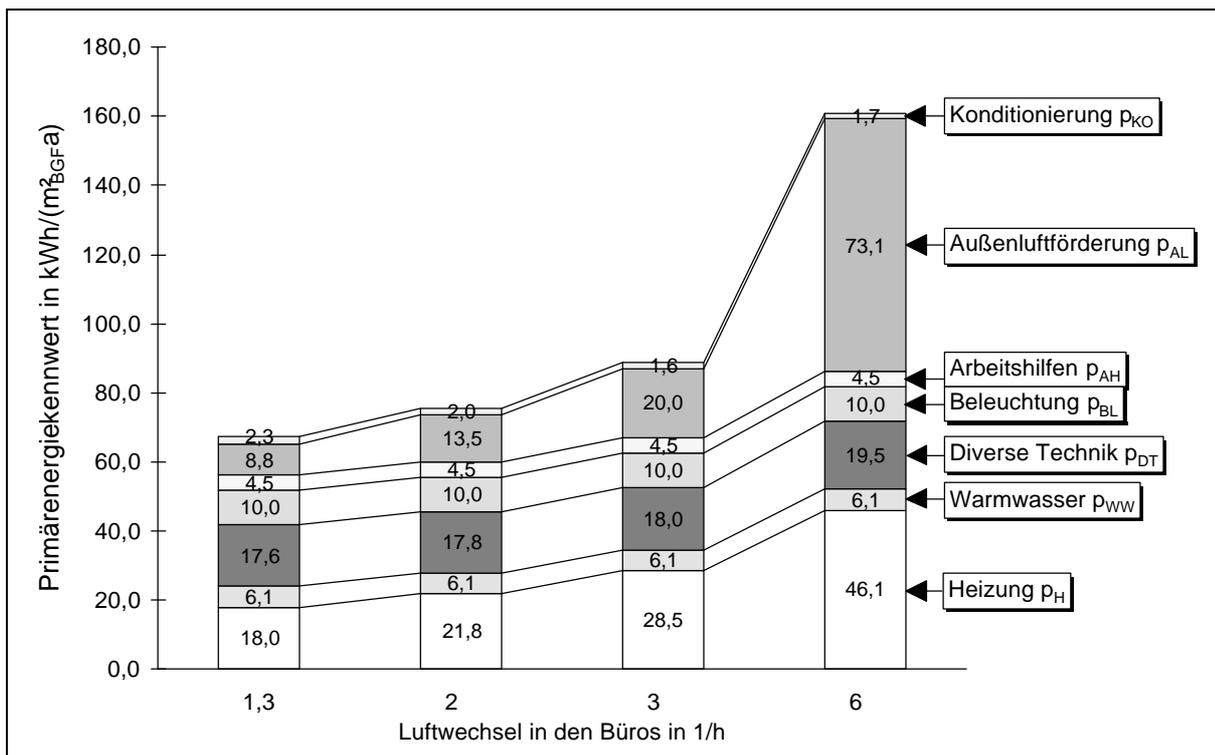
**Abb. 5-11: Einfluss des Luftwechsels auf Raumkomfort und Primärenergiekennwert im Passiv-Bürogebäude**

Es zeigt sich, dass eine Erhöhung des Luftwechsels in den Büros zu einer Verschlechterung des Primärenergiekennwertes des Gebäudes sowie der Behaglichkeit in den Südbüros führt. Zunächst sollen kurz die Gründe für die Verschlechterung der Behaglichkeit genannt werden. Der Anstieg des Primärenergiekennwertes wird weiter unten anhand der Abb. 5-12 diskutiert.

Verantwortlich für Zustände außerhalb des Komfortbereiches sind zu geringe Werte der relativen Feuchte im Winter und zu hohe Werte im Sommer. Beides wird durch eine Erhöhung des Luftwechsels verstärkt.

So sinkt die relative Feuchte im Winter bei ansteigendem Luftwechsel, da die Raumluft über die erhöhte Zufuhr von trockener Außenluft stärker entfeuchtet wird. Im Sommer steigen hingegen die Werte der relativen Feuchte mit zunehmendem Luftwechsel an. In dieser Jahreszeit enthält die Außenluft häufig mehr Feuchte (Wasserdampf) als die Raumluft. Eine Erhöhung des Luftwechsels führt deswegen im Sommer zu einer Befeuchtung der Büros, was nicht erwünscht ist. Positiv auf die Feuchtesituation wirkt sich dabei die Entfeuchtung der Zuluft im Erdreichwärmetauscher aus. Ein Teil der Außenluftfeuchte kondensiert beim Durchströmen der Erdrohre aus und wird so den Büros nicht mehr zugeführt (um eventuelle Verkeimungen beheben zu können, muss der Erdreichwärmetauscher mit Revisionsöffnungen ausgestattet sein). Negativ auf die Raumluftfeuchte wirkt sich die vorkühlende Wirkung des Erdreichwärmetauschers aus. Da die Raumtemperaturen bei erhöhtem Luftwechsel im Sommer weniger stark ansteigen, ergeben sich bei gleicher absoluter Feuchte höhere Werte der relativen Feuchte. Die in Abb. 5-11 dargestellte Situation ergibt sich aus der Überlagerung der unterschiedlichen Effekte.

Neben der Behaglichkeit hat eine Erhöhung des Luftwechsels Auswirkungen auf den Primärenergiebedarf des Gebäudes. Die Veränderung der einzelnen Teilenergiekennwerte zeigt Abb. 5-12.



**Abb. 5-12: Einfluss des Luftwechsels auf den Primärenergiebedarf des Passiv-Bürogebäudes**

Die Erhöhung des Luftwechsels führt zu einer deutlichen Erhöhung des Primärenergiebedarfs. Liegt der Primärenergiekennwert des Gebäudes in der Basisvariante ( $n_l = 1,3$ ) bei  $67 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{BGFA}})$  steigt er bei einem 6-fachen Luftwechsel in den Büros ( $n_l = 6$ ) auf einen Wert von  $160 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{BGFA}})$  an. Verantwortlich hierfür ist in erster Linie der Anstieg des Primärenergiebedarfs für Heizung und Außenluftförderung.

Der Primärenergiekennwert Heizung nimmt mit größer werdendem Luftwechsel zu, da die Lüftungswärmeverluste ansteigen. Dieser Anstieg wird im vorliegenden Fall durch den vorgeschalteten Erdreichwärmetauscher und die Wärmerückgewinnung mit einer Rückwärmzahl von 75 % deutlich reduziert. Ohne diese beiden Komponenten läge der Primärenergiekennwert Heizung bei der Variante  $n_l=6$  über  $150 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{BGFa}})$ .

Ein deutlicher Anstieg ist bei dem Primärenergiekennwert Außenluftförderung, d. h. bei dem Strombedarf der Ventilatoren, zu verzeichnen. Auffällig ist dabei die überproportionale Zunahme bei einer Erhöhung des Mindest-Luftwechsels in den Büros von  $3 \text{ h}^{-1}$  auf  $6 \text{ h}^{-1}$ . Verantwortlich hierfür ist neben dem Anstieg des zu fördernden Luftvolumenstroms die Dimensionierung des Kanalnetzes. Die Strömungsgeschwindigkeit im System wird durch den Querschnitt der Kanäle und den Volumenstrom bestimmt. Wird die Anlage im Teillastbetrieb gefahren, sinkt der Volumenstrom und damit die Strömungsgeschwindigkeit. Dies hat eine überproportionale Reduktion der Druckverluste und des Stromverbrauchs der Ventilatoren zur Folge. Unter Berücksichtigung der hier gewählten elektronischen Regelung der Ventilatoren ergibt sich etwa eine quadratische Abnahme des Stromverbrauchs mit der Strömungsgeschwindigkeit.

Im Simulationsmodell ist angenommen, dass das Kanalnetz entsprechend dem maximalen Luftvolumenstrom ausgelegt wird. In der Regel fördert die Lüftungsanlage jedoch nicht den maximalen, sondern den Mindestluftwechsel, d. h. sie fährt im Teillastbetrieb. Tab. 5-15 zeigt, welcher prozentualer Anteil des Auslegungsvolumenstroms im Teillastbetrieb (Mindestluftvolumenstrom) bei den hier untersuchten Varianten gefördert wird.

	Mindestluftwechsel $\text{h}^{-1}$	Auslegungsluftwechsel $\text{h}^{-1}$	Anteil des Mindest- am Auslegungsluftwechsel
Basisvariante	1,3	3	55 %
Variante $n_l=2$	2	4	50 %
Variante $n_l=3$	3	6	50 %
Variante $n_l=6$	6	6	100 %

**Tab. 5-15: Prozentualer Anteil des Mindest- am Auslegungsluftwechsel**

Während bei den Varianten  $n_l=1,3$ ,  $n_l=2$  und  $n_l=3$  die Luftmenge im Teillastbetrieb auf 50 bis 55 % heruntergefahren wird, wird bei der Variante  $n_l=6$  immer der Auslegungsluftwechsel gefördert. Dies bedingt höhere mittlere Strömungsgeschwindigkeiten, wodurch die Druckverluste und damit der Strombedarf der Ventilatoren überproportional ansteigen. Dies spiegelt sich in der verstärkten Zunahme des Primärenergiekennwertes Außenluftförderung bei der Variante  $n_l=6$  wider.

Insgesamt bleibt festzuhalten, dass auch beim Passiv-Bürogebäude Luftwechsel über dem Mindestwechsel durchaus realisiert werden können. Wichtig ist dabei aber die großzügige Dimensionierung des Kanalnetzes und eine geeignete Regelung der Ventilatoren. Empfohlen wird jedoch den Luftwechsel gering zu halten, da sich sonst die Behaglichkeit in den Büros verschlechtert und der Energieverbrauch ansteigt.

## 6 Konkrete Planungshinweise

Aus der Untersuchung lassen sich eine Reihe von Planungshinweisen ableiten, von denen die wichtigsten im Folgenden kurz genannt werden:

- Soll ein verbesserter energetischer Standard beim Neubau oder auch bei der Sanierung umgesetzt werden, ist es empfehlenswert, zu Beginn des Planungsprozesses den angestrebten Energiekennwert für das Gebäude sowie Teilenergiekennwerte festzulegen und deren Umsetzung im Planungsprozess kontinuierlich zu verfolgen. Ein übersichtliches Verfahren für ein derartiges **planungsbegleitendes Energie-Controlling** im Strombereich enthält der Leitfaden Elektrische Energie [LEE 2000]. Hier sind auch weitere Planungshinweise zu finden.
- Bei der Sanierung bestehender Gebäude ist es unbedingt geboten, den **Dämmstandard der Gebäudehülle** entscheidend zu verbessern. Der richtige Zeitpunkt für diese Verbesserung ist gekommen, wenn ohnehin Sanierungsmaßnahmen durchgeführt werden, wie z. B. eine Putzsanierung, Austausch der Fenster oder Neueindeckung des Daches. Da zu diesem Zeitpunkt gewisse Arbeiten ohnehin erforderlich sind (z. B. Stellen des Gerüsts, Verputzen der Fassade, ...), können die Energiesparmaßnahmen mit verhältnismäßig geringen Zusatzkosten umgesetzt werden. Wird dieser Zeitpunkt genutzt, ist die Wirtschaftlichkeit von Energiesparmaßnahmen in der Regel gegeben. Wird dieser Zeitpunkt verpasst, ergibt sich eine derartig günstige Gelegenheit erst wieder bei der nächsten Sanierung, was im Fall der Außenwand etwa 40 bis 60 Jahre dauert.
- Große Bedeutung kommt der Reduktion des Stromverbrauchs der Beleuchtung zu. An erster Stelle müssen dabei die Maßnahmen zur Verbesserung der **Tageslichtnutzung** im Gebäude stehen. Gedacht ist dabei an „passive“ Maßnahmen, wie z. B.
  - den Einbau von Oberlichtern, die getrennt verschattet werden können,
  - den Verzicht auf einen Fenstersturz,
  - den Einbau von Verglasungen mit gutem Licht-Transmissionswert,
  - ein heller Anstrich der Decke und Wände bzw. den Einbau eines hellen Fußbodens,
  - die Planung geringer Raumtiefen.

„Aktive“ Maßnahmen, wie z. B. Lichtlenksysteme, weisen zum Teil noch hohe Investitionskosten auf. Ihre Wirtschaftlichkeit muss im Einzelfall geprüft werden.

Erst an zweiter Stelle steht das **Beleuchtungssystem**. Hier sollte bei der Sanierung oder im Neubau auf jeden Fall eine effiziente Beleuchtungsanlagen eingesetzt werden. Energetisch sinnvoll und für EDV-Arbeitsplätze sogar besonders geeignet ist das im Passiv-Bürogebäude realisierte Konzept einer zonierten Beleuchtung. Dabei wird eine Grundausleuchtung des Raumes z. B. über Deckenleuchten realisiert. Die Beleuchtungsstärke auf der Arbeitsfläche kann durch Arbeitsplatzleuchten individuell eingestellt werden. Der Einbau einer Beleuchtungssteuerung ist sinnvoll, da insbesondere blendfreie Leuchten bei ausreichendem Tageslichtangebot häufig übersehen und nicht ausgeschaltet werden. Durch die hieraus resultierenden längeren Einschaltzeiten steigt der Stromverbrauch und der Vorteil einer effizienten Beleuchtung wird wieder verschenkt.

- Müssen **Arbeitshilfen** wie z. B. Computer, Kopierer, ... angeschafft werden, ist es ange raten, nur solche Geräte zu kaufen, die die Grenzwerte der Gemeinschaft Energielabel

Deutschland [GED] einhalten. Häufig sind die energiesparenden Produkte nicht einmal teurer als vergleichbare Geräte mit einem hohen Energieverbrauch.

- Der Einsatz einer **Klimaanlage** ist primär eine Frage des gewünschten Komforts und der verfügbaren Investitionsmittel. „Normale“ Gebäude können in der Regel auch ohne aktive Kühlung auskommen. Voraussetzung hierfür ist ein entsprechend angepasstes Gebäudekonzept. Wichtige Merkmale sind dabei ein moderater Fensterflächenanteil, ein außen liegender Sonnenschutz, zugängliche Speichermassen sowie geringe Abwärme durch Beleuchtung und Arbeitshilfen. Wie die Untersuchung zeigt, ist der Verzicht auf eine Klimaanlage umso unproblematischer, je höher die energetische Effizienz des Gebäudes und der eingesetzten Technik ist.
- Aus Komfort- und energetischen Gründen ist es sinnvoll, den **Außenluftwechsel** möglichst gering zu halten. Wird dennoch ein höherer Luftwechsel realisiert, sollten die Lüftungstechnischen Komponenten großzügig dimensioniert werden. Dies gewährleistet einen geringen Druckverlust und damit einen niedrigen Stromverbrauch der Ventilatoren.
- **Fensterlüftung** führt im Vergleich zur Klimaanlage objektiv zu einem schlechteren Raumkomfort. Subjektiv kann die Bewertung durch die Mitarbeiter jedoch durchaus positiv ausfallen. Die Auswirkungen auf den Primärenergiebedarf hängen stark vom Lüftungsverhalten der Mitarbeiter und der eingesetzten Anlagentechnik ab.
- Um ein Niedrigenergie- bzw. ein Passiv-Bürogebäude zu realisieren, ist ein ausgewogenes und **abgestimmtes Gebäudekonzept** zur Reduktion sowohl des Wärme- wie auch des Strombedarfs erforderlich. Einseitige Optimierungen der Heizungs- oder der Stromseite führen zu suboptimalen Lösungen.
- Die wichtigsten Konstruktionsmerkmale des **Passiv-Bürogebäudes** sind der sehr gute Dämmstandard der Gebäudehülle in Verbindung mit einer Lüftungsanlage mit hocheffizienter Wärmerückgewinnung sowie die weitgehende Reduktion des Stromverbrauchs von Beleuchtung und Arbeitshilfen.

## 7 Ausblick

Die Studie untersucht die Veränderung der Energiekennwerte eines Beispielgebäudes bei unterschiedlichen energetischen Ausführungsstandards. Die Ergebnisse gelten streng genommen zunächst nur für die bei den Simulationsrechnungen angenommenen Randbedingungen. Um die Frage der Übertragbarkeit zu beantworten, sind weitere Berechnungen erforderlich, die die Sensitivität unterschiedlicher Gebäudeparameter auf den Primärenergiekennwert untersuchen. Für das Passiv-Bürogebäude wurden derartige Berechnungen durchgeführt, wobei sich eine geringe Sensitivität des Gebäude-Energiekennwertes bezüglich der untersuchten Parameter zeigt. Neben den bisher untersuchten Parametern sollte der Einfluss weiterer Größen bestimmt werden, wie z. B. :

- der Grundrissform,
- des Oberflächen- zu Volumenverhältnisses (A/V-Verhältnis)
- oder des Dämmstandards.

Darüber hinaus wäre es sinnvoll, Hilfsgrößen zu entwickeln, die es dem Architekten ermöglichen, seinen Gebäudeentwurf in Bezug auf die Tauglichkeit als Passiv-Bürogebäude ohne großen Aufwand und bereits in einem frühen Planungsstadium zu überprüfen.

Die Untersuchung beschränkt sich auf die Darstellung des Primärenergiebedarfs während der Nutzungsphase des Gebäudes. Zur Bewertung des gesamten Lebenszyklus muss der Primärenergieaufwand für Herstellung und Rückbau ergänzt werden. Die Konzentration auf die Nutzungsphase ist zunächst gerechtfertigt, da der Primärenergieaufwand für Herstellung und Rückbau bei normalen Gebäuden einen Anteil von etwa 5 % am gesamten kumulierten Primärenergiebedarf (Herstellung, Nutzung, Rückbau) besitzt. 95 % entfallen auf die Nutzungsphase [Feist 1996-2]. Erst wenn der Primärenergieverbrauch in der Nutzungsphase entscheidend reduziert ist (etwa Niveau Passiv-Bürogebäude), gewinnt der Primärenergieaufwand zur Herstellung und zum Rückbau einen stärkeren Stellenwert. Nach [Feist 1996-2] hat er bei Passiv-Wohngebäuden einen Anteil von etwa 30 % am gesamten kumulierten Primärenergieaufwand. Die möglichen Einsparungen liegen damit in einer relevanten Größenordnung und entsprechende Optimierungsrechnungen sollten durchgeführt werden. Dabei wird die Höhe des Herstellungs-Primärenergieaufwands nicht durch die Energiesparmaßnahmen bestimmt und steht somit auch nicht in Konkurrenz zu diesen. Entscheidenden Einfluss auf den Herstellungs-Primärenergieaufwand hat die Konstruktion des Baukörpers. Entsprechende Optimierungen beschäftigen sich somit z. B. mit der Frage, ob der Baukörper aus Holz oder aus Beton errichtet werden sollte.

Die systematischen Ergebnisse der Studie müssen durch Modellprojekte untermauert werden. Einen ersten Hinweis auf die Realisierbarkeit der hier aufgezeigten Primärenergieeinsparung gibt der Neubau der Firma Wagner & Co aus Cölbe (siehe Abschnitt 3.4.1). Dies muss durch weitere Modellprojekte ergänzt werden, wobei Gebäude mit unterschiedlichsten Randbedingungen realisiert werden sollten. Damit kann die Aussage der (begonnenen) Parameterstudie verifiziert werden, dass die hier aufgezeigt Energieeinsparung nicht an spezielle Randbedingungen gekoppelt ist. Zudem sollten in den Modellprojekten die Aussagen zu Mehr- bzw. Minderkosten und zur Wirtschaftlichkeit durch eine entsprechende Datenerhebung und -auswertung untermauert werden.

## Literaturverzeichnis

- [Deutsche Bundesstiftung Umwelt 1995] Heute für die Zukunft bauen - aber wie?; Deutsche Bundesstiftung Umwelt; Osnabrück, 1995
- [Ebel 1996] Ebel, W.; Eicke-Hennig, W.; Feist, W.; Groscurth, H.-M.: Der zukünftige Heizwärmebedarf der Haushalte; Institut Wohnen und Umwelt; Darmstadt, 1996
- [Eicke-Hennig 1995] Werner Eicke-Hennig IWU; Alfons Wagner-Kaul ARENHA; Uwe Großmann ARENHA; Robert Borsch-Laaks, Büro für Bauphysik: Planungshilfe Niedrigenergiehaus; Institut Wohnen und Umwelt; Darmstadt, 1995
- [Eicke-Hennig 1997] Eicke-Hennig, W. (IWU); M. Jäkel (IWU); J. Zeller (ebök): Endbericht zum Förderprogramm 30 Niedrigenergiehäuser in Hessen; Institut Wohnen und Umwelt; Darmstadt, 1997
- [EJO] EJO - Engels und Jung Ingenieurgesellschaft mbH, Lochermühle 1 - 5, 51465 Bergisch Gladbach
- [Energiebericht 1996] Energiebericht - Fortschreibung für das Jahr 1996, Landeshauptstadt Stuttgart, Amt für Umweltschutz; Stuttgart, 1997
- [Enquete Kommission 1995] Enquete-Kommission "Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre" des 12. Deutschen Bundestages: Mehr Zukunft für die Erde; Bonn, 1995
- [EPHW 1997] Loga, T., U. Imkeller-Benjes: Energie-Paß, Heizung/ Warmwasser; Institut Wohnen und Umwelt; Darmstadt, 1997
- [Feist 1996] Feist, W.: Grundlagen der Gestaltung von Passivhäusern; Verlag das Beispiel; Darmstadt, 1996
- [Feist 1996-2] Feist, W.: Lebenszyklusbilanzen im Vergleich: Niedrigenergiehaus, Passivhaus, Energieautarkes Haus; Institut Wohnen und Umwelt; Darmstadt, 1996
- [Feist et al. 1997], Feist W. (Hrsg.) Das Niedrigenergiehaus; Verlag C. F. Müller Karlsruhe; 4. grundsätzlich neu bearbeitete Auflage, 1997
- [Gemis] Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Jugend, Familie und Gesundheit/Öko-Institut: Gesamt-Emissions-Modell integrierter Systeme (Version 3.01); Wiesbaden, 1997
- [GED 1998] Liste stromsparender Geräte 4/98; Gemeinschaft Energielabel Deutschland (GED), c/o IMPULS-Programm Hessen; Schleiermacherstr. 8; 64283 Darmstadt

- [Gierga 1994] Gierga, M.; H. Erhorn: Bestand und Typologie beheizter Nichtwohngebäude in Westdeutschland, Forschungszentrum Jülich GmbH; Jülich, 1994
- [Hinz 1992] Hinz, E.; W. Feist: Forschungs- und Demonstrationsgebäude Niedrigenergiehaus Schrecksbach; Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt, 1992
- [Hofmann 1998] Hofmann, H.: Energieverbrauch drosseln - Akzeptanz erhöhen, Tendenzen einer zukunftsorientierten Beleuchtungsplanung; Tagungsbeitrag "Impuls + VDI Kongreß 98"; Impulsprogramm Hessen, Schleiermacherstr. 8, 64283 Darmstadt, 1998
- [IPH 1998] Impulsprogramm Hessen (Hrsg.): Besseres Licht mit weniger Strom; Schleiermacherstr. 8, 64283 Darmstadt, 1998
- [IPH] Impulsprogramm Hessen (Hrsg.): Stromsparcheck für Gebäude; Schleiermacherstr. 8, 64283 Darmstadt
- [Kamps 1996] Kamps, O.: Beschreibung und Bewertung der im integrierten Simulationsprogramm TAS verwendeten mathematischen und physikalischen Berechnungsmodelle; Diplomarbeit am Institut für Energietechnik, TU Berlin, 1996
- [KE 1996] Kommunaler Energiepreisvergleich 1996; Landeshauptstadt Stuttgart, Amt für Umweltschutz; Postfach 10 60 34, 70049 Stuttgart
- [Knissel 1996] Knissel, J.: Energiekennwerte Hessischer Landesliegenschaften für das Jahr 1993; Institut Wohnen und Umwelt; Darmstadt, 1996
- [Knissel 1998] Knissel, J.: Validierung des Simulationsprogramms TAS - Vergleich mit Meßergebnissen aus dem Passivhaus Darmstadt-Kranichstein; Institut Wohnen und Umwelt; Darmstadt, 1998
- [Knissel 1999] Knissel, J.: Modellierung von Erdreichwärmetauschern mit der Konzentrationsfaktor-Methode; Institut Wohnen und Umwelt; Darmstadt, 1998
- [Knissel/Loga 1996] Knissel, J.; Loga, T.: Mehrkosten des Niedrigenergiestandards gegenüber der Wärmeschutzverordnung 1995; IWU, Darmstadt 1996
- [TAS theory manual] Gough, M.: TAS theory manual; Environmental Design Solutions Limited; 13/14 Cofferridge Close; Stony Stratford; Milton Keynes; MK11 1By; England, 1996
- [Loga 1997] Loga, T.; K. Müller; H. Menje: Die Niedrigenergiesiedlung in Niedernhausen - Ergebnisse des Meßprogramms; Institut Wohnen und Umwelt; Darmstadt, 1997
- [LEE, 1995] Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Jugend, Familie und Gesundheit/Institut Wohnen und Umwelt: Leitfaden Elektrische Energie; 1. Auflage, Wiesbaden, 1995

- [LEE 2000] Hessisches Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft und Forsten/Institut Wohnen und Umwelt: Elektrische Energie im Hochbau - Leitfaden Elektrische Energie; 2. völlig neu überarbeitete Auflage, Wiesbaden, Veröffentlichung voraussichtlich im Jahr 2000
- [LEG 1995] Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Jugend, Familie und Gesundheit/Institut Wohnen und Umwelt: Leitfaden Heizenergie im Hochbau - Energiebewußte Gebäudeplanung; 5. Auflage; Wiesbaden, 1995
- [Osram 1998] Lichtprogramm 1998/1999: Osram GmbH; Hellabrunner Straße 1; 81543 München
- [Otto 1995] Otto, F.: Einfluß von Sorptionsvorgängen auf die Raumfeuchte; Dissertation an der Universität Gesamthochschule Kassel; Kassel, 1995
- [Pflichtenheft 1996] Pflichtenheft zur Erstellung von Gutachten zur rationellen Elektrizitätsverwendung; Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Jugend, Familie und Gesundheit; 2. überarbeitete Ausgabe; Wiesbaden, 1996
- [Ravel: Interne Wärmelasten von Büroräumen]  
Ravel: Interne Wärmelasten von Büroräumen; Bundesamt für Konjunkturfragen; Bern, 1994
- [Ravel: Grundlagen der Beleuchtung]  
Ravel: Grundlagen der Beleuchtung; Bundesamt für Konjunkturfragen; Bern, 1994
- [Recknagel 94/95] Recknagel, Sprenger, Schramek: Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik; Oldenbourg Verlag, München, 1994/1995
- [Schulz 1996] Schulz J.: Preisspiegel für Bauleistungen im Bereich Tiefbau - 49. Ausgabe, Baupreis Verlag; Oberhausen, 1996
- [Schweizer 1999] Schweizer, K.: "Neubau eines Verwaltungsgebäudes mit Passivhaus-Standard"; Schlußbericht zum Förderprogramm Solaroptimiertes Bauen, Projekt: BEO43 / 0335006D; Wagner & Co Solartechnik; Cölbe b. Marburg, 1999
- [SIA 380/4] Elektrische Energie im Hochbau; Schweizerischer Ingenieur und Architekten-Verein, Postfach, 80 39 Zürich, 1995
- [SIA 380/4 1992] Elektrische Energie im Hochbau; Schweizerischer Ingenieur und Architekten-Verein, Postfach, 80 39 Zürich, Entwurf 1992
- [SIA 380/1] Energie im Hochbau; Schweizerischer Ingenieur und Architekten-Verein, Postfach, 80 39 Zürich, 1991
- [Siteco 1998] Bildpreisliste für Innen- und Außenleuchten 1998/1999: Siteco Beleuchtungstechnik GmbH, Ohmstraße 50; 83301 Traunreut

- [Siteco]                      Telefonische Auskunft der Firma Siteco Beleuchtungstechnik GmbH, Ohmstraße 50; 83301 Traunreut
- [Statistisches Bundesamt 1998]                      Statistisches Bundesamt: Meßzahlen für Bauleistungspreise und Preisindizes für Bauwerke, Reihe 4; Metzler Poeschel; Stuttgart, 1998
- [TAS theory manual]                      Gough, M.: TAS theory manual; Environmental Design Solutions Limited; 13/14 Cofferidge Close; Stony Stratford; Milton Keynes; MK11 1By; England, 1996
- [VDI-Wärmeatlas]                      VDI-Wärmeatlas, Berechnungsblätter für den Wärmeübergang, VDI-Verlag GmbH, vierte neu bearbeitete und erweiterte Auflage, Düsseldorf, 1984
- [VDI 3807]                      Verein Deutscher Ingenieure: VDI-Richtlinie 3807 Blatt 1: Energieverbrauchskennwerte für Gebäude - Grundlagen; Beut-Verlag GmbH; Düsseldorf, 1994
- [Zeine 1996]                      Zeine, Carl: Energiekennwerte für Gebäude - Ergebnisse eines DBU-Forschungsprojektes; VDI Berichte Nr. 1248, 1996

## Anhang

Nachfolgend werden die in der Simulation angenommenen Randbedingungen dargestellt. Um einen möglichst geschlossenen Überblick geben zu können, werden Randbedingungen, die im Haupttext aufgeführt sind, im Anhang erneut dargestellt. Dieses führt in einigen Abschnitten zu Redundanzen mit dem Haupttext. Dokumentiert werden folgende Ausführungsvarianten:

- Passiv-Bürogebäude<sup>klim.</sup>
- Niedrigenergie-Bürogebäude<sup>klim.</sup>
- Standard-Bürogebäude<sup>klim.</sup>
- Büro-Altbau

Das Passiv-Bürogebäude ohne Klimaanlage entspricht weitgehend der hier definierten klimatisierten Ausführung. Die Unterschiede sind in Abschnitt 5 des Haupttextes dokumentiert.

Für jede dieser Varianten wird die Ausprägung des Baukörpers, der Nutzung und der Heizungs-, Lüftungs-, und Klimaanlage (HLK-Anlage) definiert. Um Wiederholungen innerhalb des Anhangs zu vermeiden, wird bei identischen Ausführungen auf die entsprechende Textpassage verwiesen.



## Inhaltsverzeichnis Anhang

<b>A-8 Passiv-Bürogebäude<sup>klim.</sup> / Baukörper.....</b>	<b>83</b>
A-8.1 Geometrie .....	83
A-8.2 Materialaufbau der Bauteile .....	84
A-8.3 Sonnenschutz .....	86
A-8.4 Luftdichtheit der Gebäudehülle .....	86
<b>A-9 Passiv-Bürogebäude<sup>klim.</sup> / Nutzung .....</b>	<b>87</b>
A-9.1 Nutzungszonen .....	87
A-9.2 Nutzungszeit und Betriebszeit.....	87
A-9.3 Anforderungen an das Raumklima .....	87
A-9.4 Interne Wärmequellen.....	88
A-9.4.1 Maximale Wärmeabgabe von Personen, Beleuchtung und Arbeitshilfen.....	88
A-9.4.2 Vollbetriebszeitfaktoren der internen Wärmequellen.....	91
A-9.4.3 Tagesprofile der internen Wärmequellen.....	92
A-9.4.4 Interne Wärmequellen in Flur und Nebennutzflächen.....	95
A-9.5 Kalender.....	96
A-9.6 Klima.....	96
<b>A-10 Passiv-Bürogebäude<sup>klim.</sup> / HLK-Anlage .....</b>	<b>97</b>
A-10.1 Gesamtkonzept der HLK-Anlage .....	97
A-10.2 Heizungsanlage .....	98
A-10.3 Lüftungsanlage.....	99
A-10.3.1 Luftwechsel .....	99
A-10.3.2 Wärmerückgewinnung und Nachheizregister .....	100
A-10.3.3 Ventilatoren und Druckverlust.....	100
A-10.4 Kälteanlage .....	101
A-10.5 Be- und Entfeuchtung .....	103
A-10.6 Modell des Erdreichwärmetauschers.....	103

<b>A-11 Niedrigenergie-Bürogebäude<sup>klim.</sup> / Baukörper</b> .....	<b>105</b>
A-11.1 Geometrie.....	105
A-11.2 Materialaufbau der Bauteile.....	105
A-11.3 Sonnenschutz.....	105
A-11.4 Luftdichtheit der Gebäudehülle.....	105
<b>A-12 Niedrigenergie-Bürogebäude<sup>klim.</sup> / Nutzung</b> .....	<b>106</b>
A-12.1 Nutzungszonen.....	106
A-12.2 Nutzungszeit und Betriebszeit .....	106
A-12.3 Anforderungen an das Raumklima.....	106
A-12.4 Interne Wärmequellen .....	106
A-12.4.1 Beleuchtung .....	106
A-12.4.2 Arbeitsgeräte .....	107
A-12.4.3 Außerhalb der Betriebszeit .....	108
A-12.4.4 Flur und Nebenräume.....	108
A-12.5 Kalender .....	108
A-12.6 Klima .....	108
<b>A-13 Niedrigenergie-Bürogebäude<sup>klim.</sup> / HLK-Anlage</b> .....	<b>109</b>
A-13.1 Gesamtkonzept der HLK-Anlage.....	109
A-13.2 Heizungsanlage.....	110
A-13.3 Lüftungsanlage und Wärmerückgewinnung.....	110
A-13.3.1 Luftwechsel.....	110
A-13.3.2 Wärmerückgewinnung .....	110
A-13.3.3 Ventilatoren und Druckverlust.....	111
A-13.4 Kälteanlage.....	111
A-13.5 Be- und Entfeuchtung.....	111

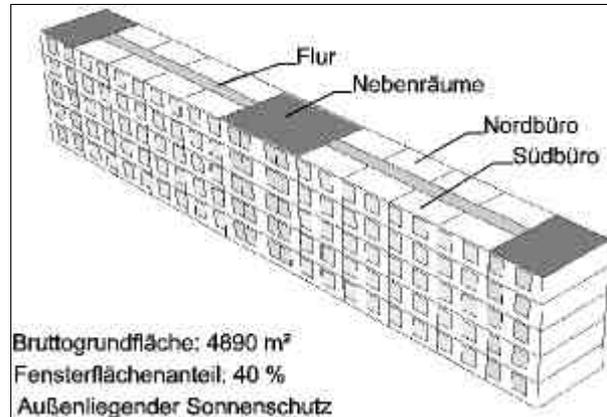
<b>A-14 Standard-Bürogebäude<sup>klim.</sup> / Baukörper</b> .....	<b>112</b>
A-14.1 Geometrie .....	112
A-14.2 Materialaufbau der Bauteile .....	112
A-14.3 Sonnenschutz .....	112
A-14.4 Luftdichtheit der Gebäudehülle .....	112
<b>A-15 Standard-Bürogebäude<sup>klim.</sup> / Nutzung</b> .....	<b>113</b>
A-15.1 Nutzungszonen .....	113
A-15.2 Nutzungszeit und Betriebszeit.....	113
A-15.3 Anforderungen an das Raumklima .....	113
A-15.4 Interne Wärmequellen.....	113
A-15.4.1 Beleuchtung .....	113
A-15.4.2 Arbeitsgeräte .....	114
A-15.4.3 Außerhalb der Betriebszeit .....	114
A-15.4.4 Flur und Nebenräume.....	115
A-15.5 Kalender.....	115
A-15.6 Klima .....	115
<b>A-16 Standard-Bürogebäude<sup>klim.</sup> / HLK-Anlage</b> .....	<b>116</b>
A-16.1 Gesamtkonzept der HLK-Anlage .....	116
A-16.2 Heizungsanlage .....	116
A-16.3 Lüftungsanlage und Wärmerückgewinnung .....	116
A-16.3.1 Luftwechsel .....	116
A-16.3.2 Wärmerückgewinnung.....	117
A-16.3.3 Ventilatoren und Druckverlust.....	117
A-16.4 Kälteanlage .....	117
A-16.5 Be- und Entfeuchtung .....	117

<b>A-17 Büro-Altbau Baukörper .....</b>	<b>118</b>
A-17.1 Geometrie .....	118
A-17.2 Materialaufbau der Bauteile .....	118
A-17.3 Sonnenschutz .....	118
A-17.4 Luftdichtheit der Gebäudehülle .....	118
<b>A-18 Büro-Altbau / Nutzung .....</b>	<b>119</b>
A-18.1 Nutzungszonen .....	119
A-18.2 Nutzungszeit und Betriebszeit .....	119
A-18.3 Anforderungen an das Raumklima .....	119
A-18.4 Interne Wärmequellen .....	119
A-18.4.1 Beleuchtung .....	119
A-18.4.2 Arbeitsgeräte .....	120
A-18.4.3 Außerhalb der Betriebszeit .....	120
A-18.4.4 Flur und Nebenräume .....	120
A-18.5 Kalender .....	120
A-18.6 Klima .....	120
<b>A-19 Büro-Altbau / HLK-Anlage .....</b>	<b>121</b>
A-19.1 Heizungsanlage .....	121
A-19.2 Büro-Altbau / Fensterlüftung .....	121
<b>A-20 TAS Kurzbeschreibung .....</b>	<b>124</b>

## A-8 Passiv-Bürogebäude<sup>klim.</sup> / Baukörper

### A-8.1 Geometrie

Die Parameterstudie wird an einem exemplarischen Verwaltungsgebäude mit zweibündigem Rechteckgrundriss durchgeführt. Bei dem Verwaltungsgebäude handelt es sich um ein 5-stöckiges Gebäude der Dimension 90 m x 11 m x 16,5 m (L x B x H) mit ca. 4.400 m<sup>2</sup> Netto-Grundfläche. Die Geschosshöhe beträgt 3,30 m. Das Gebäude ist in Massivbauweise mit Lochfenstern ausgeführt. Nebennutzflächen wie Garderobe, WC, Teeküchen usw. sind in einem zentralen Kernbereich und an den Stirnseiten angeordnet. Der Keller ist unbeheizt. Abb. 8-1 zeigt eine schematische Ansicht des Gebäudes sowie eine Skizze vom Grundriss.



**Abb. 8-1: Skizze des untersuchten Beispielgebäudes**

Die Aufteilung der Flächen auf Büro- und Nebenflächen entspricht den in der VDI 3807 angegebenen mittleren Flächenverhältnisse für Verwaltungsgebäude. Die Brutto-Grundfläche des Gebäudes wird pauschal mit dem in der SIA 380/4 angegebenen Flächenverhältnis von  $0,9^{-1}$  aus der Netto-Grundfläche berechnet. Sie beträgt 4 890 m<sup>2</sup>. 50 % der Bruttogrundfläche werden als Hauptnutzfläche, d. h. als Büros, genutzt. Der Rest setzt sich aus Nebennutz-, Verkehrs-, Funktions- und Konstruktionsflächen zusammen. Die Größe der einzelnen Teilflächen zeigt Tab. 8-1.

Brutto-Grundfläche (BGF)	NGF+Konstruktionsfläche	4890 m <sup>2</sup>	100 % <sub>BGF</sub>
Netto-Grundfläche (NGF)	Büro, Flur, Nebenräume	4400 m <sup>2</sup>	90 % <sub>BGF</sub>
Nebennutzfläche (NNF) + Funktionsfläche (FF)	Nebenräume	1400 m <sup>2</sup>	28 % <sub>BGF</sub>
Verkehrsfläche (VF)	Flur	600 m <sup>2</sup>	12 % <sub>BGF</sub>
Hauptnutzfläche (HNF)	Büro	2400 m <sup>2</sup>	50 % <sub>BGF</sub>
Konstruktionsfläche (KF)		490 m <sup>2</sup>	10 % <sub>BGF</sub>

**Tab. 8-1: Flächenaufteilung im untersuchten Beispielgebäude**

Die Büros haben lichte Abmaße von 7,5 m x 4 m x 3 m (L x B x H) und sind mit jeweils zwei Personen besetzt. Der Fensterflächenanteil beträgt 40 % bezogen auf die Innenfläche der Außenwand, bzw. 0,3 m<sup>2</sup> pro m<sup>2</sup> Hauptnutzfläche.

### A-8.2 Materialaufbau der Bauteile

Nachfolgend sind die in der Simulation berücksichtigten Bauteile definiert. Es wird angenommen, dass die Innenwände als Leichtbauwände ausgeführt sind und weder eine abgehängte Decke noch ein Ständerfußboden vorgesehen ist. Die Fenster bestehen aus einer Dreifach-Wärmeschutzverglasung mit 30 % Rahmenanteil. Als Fensterrahmen kommt ein hochwärmegedämmter Passivhaus-Fensterrahmen zum Einsatz. Die Verschmutzung der Verglasung wird mit einem Reduktionsfaktor von 0,9 berücksichtigt. Die Verschattung durch Bäume, Nachbarbebauung und Fensterlaibung wird pauschal über einen Reduktionsfaktor von 0,84 berücksichtigt. Dies entspricht nach [EPHW 1997] einer unverschatteten Lage. Die Außenwand ist als Stahlbetonwand ausgeführt und mit einem Wärmedämmverbundsystem gedämmt. Die Gebäudehülle weist einen bei Passiv-Wohngebäuden üblichen Dämmstandard auf. Die angenommenen Dämmstoffdicken und U-Werte der einzelnen Außenbauteile sind in Tab. 8-2 zusammengefasst.

	Dämmstoffdicke	U-Wert
	cm	W/(m <sup>2</sup> K)
Außenwand	30	0,128
Dach	40	0,096
Kellerdecke	30	0,124
Fenster	g-Wert (Verglasung) = 0,49	0,78

**Tab. 8-2: Dämmstoffdicke und U-Werte der thermischen Gebäudehülle beim Passiv-Bürogebäude<sup>klim.</sup>**

Im g-Wert der Verglasung noch nicht berücksichtigt ist der angenommene Rahmenanteil von 30 % sowie die Korrekturfaktoren für Verschmutzung von 0,9 und für Verschattung von 0,84.

In der Simulation werden die Bauteile über ihren schichtweisen Aufbau berücksichtigt. Die Definition der verwendeten Konstruktionen zeigt Tab. 8-3.

Bauteilbezeichnung <b>Außenwand</b>					
Materialbezeichnung	Dicke	Rohdichte	spez. Wärmekapazität	Wärmeleitfähigkeit	Durchgangswiderstand
	m	kg/m <sup>3</sup>	Wh/(kg K)	W/(mK)	m <sup>2</sup> K/W
Außenübergang					0,040
Außenputz	0,020	1400	0,277	0,700	0,029
Wärmedämmung	0,300	120	0,222	0,040	7,500
Beton	0,250	2400	0,250	2,100	0,119
Innenputz	0,015	1400	0,277	0,700	0,021
Innenübergang					0,130
<b>u-Wert</b>	<b>W/(m<sup>2</sup>K)</b>				<b>0,128</b>

Bauteilbezeichnung <b>Dach</b>					
Materialbezeichnung	Dicke	Rohdichte	spez. Wärmekapazität	Wärmeleitfähigkeit	Durchgangswiderstand
	m	kg/m <sup>3</sup>	Wh/(kg K)	W/(mK)	m <sup>2</sup> K/W
Außenübergang					0,040
Bitumdachbahn	0,020			0,170	0,118
Wärmedämmung	0,400	120	0,222	0,040	10,000
Beton	0,180	2400	0,250	2,100	0,086
Akustikputz	0,015	1400	0,277	0,700	0,021
Innenübergang					0,130
<b>u-Wert</b>	<b>W/(m<sup>2</sup>K)</b>				<b>0,096</b>
Bauteilbezeichnung <b>Innenwand</b>					
Materialbezeichnung	Dicke	Rohdichte	spez. Wärmekapazität	Wärmeleitfähigkeit	Durchgangswiderstand
	m	kg/m <sup>3</sup>	Wh/(kg K)	W/(mK)	m <sup>2</sup> K/W
Innenübergang					0,130
Gipskarton	0,012	900	0,230	0,210	0,057
Wärmedämmung	0,060	120	0,222	0,040	1,500
Gipskarton	0,012	900	0,230	0,210	0,057
Innenübergang					0,130
<b>u-Wert</b>	<b>W/(m<sup>2</sup>K)</b>				<b>0,534</b>
Bauteilbezeichnung <b>Geschossdecke</b>					
Materialbezeichnung	Dicke	Rohdichte	spez. Wärmekapazität	Wärmeleitfähigkeit	Durchgangswiderstand
	m	kg/m <sup>3</sup>	Wh/(kg K)	W/(mK)	m <sup>2</sup> K/W
Innenübergang O -> U					0,170
Teppich	0,005	186	0,378	0,060	0,083
Zementestrich	0,060	2000	0,277	1,400	0,043
Min.-w.-Trittschalldämmung	0,040	120	0,222	0,040	1,000
Normalbeton	0,180	2400	0,250	2,100	0,086
Akustikputz	0,015	1400	0,277	0,700	0,021
Innenübergang O -> U					0,170
<b>u-Wert</b>	<b>W/(m<sup>2</sup>K)</b>				<b>0,636</b>
Bauteilbezeichnung <b>Kellerdecke</b>					
Materialbezeichnung	Dicke	Rohdichte	spez. Wärmekapazität	Wärmeleitfähigkeit	Durchgangswiderstand
	m	kg/m <sup>3</sup>	Wh/(kg K)	W/(mK)	m <sup>2</sup> K/W
Innenübergang O -> U					0,170
Teppich	0,005	186	0,378	0,060	0,083
Zementestrich	0,060	2000	0,277	1,400	0,043
Trittschalldämmung	0,040	120	0,222	0,040	1,000
Normalbeton	0,180	2400	0,250	2,100	0,086
Wärmedämmung	0,260	120	0,222	0,040	6,500
Innenputz	0,015	1400	0,277	0,700	0,021
Innenübergang O -> U					0,170
<b>u-Wert</b>	<b>W/(m<sup>2</sup>K)</b>				<b>0,124</b>

Bauteilbezeichnung	<i>Fenster</i>
<b>g-Wert der Verglasung bei senkrechtem Strahlungsdurchgang</b>	<b>0,490</b>
<b>u-Wert des Fensters bei 30% Holzrahmenanteil in W/(m<sup>2</sup>K)</b>	<b>0,780</b>

**Tab. 8-3: Schichtweiser Aufbau der wichtigsten Bauteile des Passiv-Bürogebäudes<sup>klim</sup>**

### A-8.3 Sonnenschutz

Die Fenster verfügen über einen beweglichen, außenliegenden Sonnenschutz, bestehend aus horizontalen Aluminiumlamellen. Bei einer Lamellenstellung von 45° beträgt die solare Transmission des Sonnenschutzes 20 %. Der Sonnenschutz wird geschlossen, wenn die Solareinstrahlungen über 300 Watt je Quadratmeter Fensterfläche und gleichzeitig die Außentemperaturen über 15°C liegt.

Die Tageslichtausleuchtung des Büroraumes ist auch bei geschlossenem Sonnenschutz gegeben. Bei einer Lichtausbeute des Tageslichts von 120 lm/Watt [Ravel: Grundlagen der Beleuchtung] und einem Tageslichtquotienten von  $D_T=4,3$  (Abstand 1,25 m vom Fenster, Höhe 0,85 m; siehe Kap. 9.4.2) ergibt sich im Falle eines geschlossenen Sonnenschutzes und 300 W/m<sup>2</sup> Solareinstrahlung eine Beleuchtungsstärke auf der Arbeitsfläche von ca. 300 Lux.

Der Blendschutz wird durch den außenliegenden Sonnenschutz gewährleistet. Im Blendfall kann dieser vom Nutzer lokal heruntergefahren werden. Die gewünschten Belichtungsverhältnisse werden über eine Veränderung des Lamellenanstellwinkels erreicht.

### A-8.4 Luftdichtheit der Gebäudehülle

Es wird angenommen, dass die Gebäudehülle des Passiv-Bürogebäudes<sup>klim</sup> sehr dicht ausgeführt wird, so dass der Luftwechsel über Fugen und Undichtigkeiten lediglich 0,05 pro Stunde beträgt. Dieser Wert ergibt sich nach dem in der EN 832 angegebenen Berechnungsverfahren für ein Gebäude, das bei der Blower-Door-Messung (Unterdruck von 50 Pa) einen Luftwechsel von  $n_{50} < 0,5 \text{ h}^{-1}$  aufweist. Ein derartig hohe Dichtheit setzt eine gute und durchdachte Planung sowie eine sorgfältige Bauausführung voraus.

## A-9 Passiv-Bürogebäude<sup>klim.</sup> / Nutzung

### A-9.1 Nutzungszonen

Zur Berücksichtigung unterschiedlicher interner Nutzungsbedingungen sowie zur Ermittlung energetischer Wechselwirkungen zwischen Gebäudeabschnitten, Wetter und Nutzer wird das Gebäude in unterschiedliche thermische Zonen eingeteilt. Zonen sind Bereiche des Gebäudes, die sich durch ähnliche Verläufe der äußeren wie inneren Wärmelasten auszeichnen und sich damit thermisch ähnlich verhalten. Für jede Zone wird die Energie- und Feuchtebilanz für jede Stunde des Jahres berechnet. Das Beispielgebäude ist in die folgenden 4 Zonen unterteilt:

1. Büro Süd
2. Büro Nord
3. Flur
4. Nebenräume

Für jede dieser Zonen werden nachfolgend die Nutzungsbedingungen definiert.

### A-9.2 Nutzungszeit und Betriebszeit

Die Nutzungszeit der Büroräume entspricht der Standardnutzung des Leitfadens Elektrische Energie [LEE, 1995] sowie [SIA 380/4].

11 Stunden, 5 Tage pro Woche, 250 Tage im Jahr  
von 7:30 bis 18:30Uhr (Sommerzeit ist berücksichtigt)

Die Betriebszeit der Lüftungsanlage beginnt eine Stunde vor der Nutzungszeit und endet um 20:30 Uhr (Nachzügler, Reinigung).

14 Stunden, 5 Tage pro Woche, 250 Tage im Jahr  
von 6:30 bis 20:30 Uhr ( Sommerzeit ist berücksichtigt)

Die Nacht- und Wochenendabsenkung tritt täglich von 20:30 bis 7:30 Uhr sowie das gesamte Wochenende in Kraft.

### A-9.3 Anforderungen an das Raumklima

Die Sollwerte der Raumtemperatur zeigt Tab. 9-1. Die Temperaturen entsprechen dabei nicht den Auslegungsbedingungen, sondern üblichen Raumtemperaturen während der Nutzung. Für die Büros orientieren sich die Sollwerte für Heizen und Kühlen an den Behaglichkeitsgrenzen der DIN 1946 Teil 2.

Am Wochenende und außerhalb der Betriebszeit wird eine Mindest-Temperatur von 15°C sichergestellt.

Zonen	Wochentag während der Betriebszeit [°C]	Wochenende ausserhalb der Betriebszeit [°C]
Büros	22/26	15
Flur	20	15
Nebenräume	20	15

**Tab. 9-1: Minimale/maximale Raumlufttemperaturen der Zonen**

Die Raumluftfeuchte in den Büros entspricht ebenfalls den in der DIN 1946 Teil 2 vorgegebenen Grenzwerten:

Minimum:	30 % relative Luftfeuchte
Maximum:	11,5 g/kg absolute Luftfeuchte

Da Flur und Nebenräume beim Passiv-Bürogebäude<sup>klim.</sup> über eine eigene Lüftungsanlage versorgt werden, kann hier auf eine Be- und Entfeuchtung verzichtet werden.

#### **A-9.4 Interne Wärmequellen**

Die Energiebilanz des Gebäudes wird durch die Abwärme von Personen, Beleuchtung und Arbeitshilfen maßgeblich beeinflusst. Für die Simulation des thermischen Verhaltens muss deswegen die Höhe sowie das zeitliche Profil der internen Wärmelasten sinnvoll definiert werden. Die internen Wärmelasten schwanken in der Praxis stark. Dies ist zum einen in den unterschiedlichen Nutzungsanforderungen, zum anderen in der unterschiedlichen Effizienz der eingesetzten Technik begründet. Als Grundlage für die nachfolgende Definition der internen Wärmelasten wird ein Büroarbeitsplatz je 15 m<sup>2</sup> Bürofläche angenommen. Die im Passiv-Bürogebäude<sup>klim.</sup> eingesetzte Beleuchtungsanlage und die Arbeitshilfen weisen einen sehr geringen Stromverbrauch auf.

Die stündlichen Werte der internen Lasten werden bestimmt, indem die maximalen Wärmelasten der einzelnen Verbrauchergruppen berechnet und in ein Tagesprofil umgesetzt werden. Die Tagesprofile berücksichtigen nutzungsspezifische Eigenschaften und die aus empirischen Untersuchungen gewonnenen Vollbetriebszeitfaktoren.

##### **A-9.4.1 Maximale Wärmeabgabe von Personen, Beleuchtung und Arbeitshilfen**

- **Abwärme der Personen**

Personen führen dem Gebäude, abhängig von ihrem Aktivitätsgrad und der Raumtemperatur, sensible und latente Wärme zu. Für die Wärmeabgabe der Personen wird nach VDI 2078 für den Aktivitätsgrad II und eine mittlere Raumlufttemperatur von 23°C eine sensible Wärmeabgabe von 85 W pro Person und eine latente von 35 W pro Person angenommen. Die Personenbelegungsdichte beträgt 15 m<sup>2</sup> Bürofläche pro Person.

- **Abwärme der Beleuchtungsanlage**

Die Büros sind im Passiv-Bürogebäude<sup>klim.</sup> mit einer effizienten Beleuchtungsanlage ausgerüstet, bestehend aus Leuchtstofflampen in Stabform in hochglanz-eloxierten Spiegelrasterleuchten mit elektronischen Vorschaltgeräten.

Die Büros werden je nach Sehaufgabe mit unterschiedlichen Beleuchtungsstärken ausgeleuchtet. Die Deckenleuchten stellen dabei eine Grundausleuchtung des Raumes mit 220 Lux sicher. Die erforderliche Beleuchtungsstärke auf der Arbeitsfläche von 500 Lux wird durch individuell zu bedienende Arbeitsplatzleuchten erreicht (bezogen auf die gesamte Bürofläche entspricht dies einer zusätzlichen Beleuchtungsstärke von 30 Lux; siehe Tab. 9-3). Diese Art der Beleuchtung ist besonders für Bildschirmarbeitsplätze geeignet. Ein solches Beleuchtungskonzept geht konform mit den Vorgaben des europäischen Normentwurfs E-DIN 5035-2; 1996-06, der die Beleuchtungsstärke von 500 Lux (Büroarbeitsplätze) nur auf der Arbeitsfläche, nicht aber im gesamten Raum fordert.

Eine Steuerung schaltet die Beleuchtung aus, wenn die Nennbeleuchtungsstärke durch zusätzliches Tageslicht überschritten wird. Das Einschalten der Beleuchtung geschieht über Handschalter.

Zur Bestimmung des Strombedarfs der Beleuchtung muss neben dem Leuchtenwirkungsgrad der Raumwirkungsgrad bestimmt werden. Hierzu wird das Berechnungsverfahren aus [LEE 1995] verwendet. Angenommen werden dabei folgende Reflexionsgrade für die Raumumschließungsflächen [LEE 1995].

Decke	70 %
Wand	50 %
Boden	10 %

**Tab. 9-2: Reflexionsgrade der Oberflächen in den Büros**

Bei der angenommenen Raumgeometrie liegt der Raumindex bei  $k = 1,2$ . Im Fall einer rein direkten Beleuchtung berechnet sich der Raumwirkungsgrad zu 65 %. Bei Verwendung der oben genannten Leuchten ergibt sich unter diesen Randbedingungen eine maximale Wärmeabgabe der Beleuchtung von  $6,2 \text{ W/m}^2$ .

Der Vollbetriebszeitfaktor wird entsprechend [LEE 1995] mit 0,27 angenommen (siehe Abschnitte A-9.4.2). Unter der Annahme einer jährlichen Nutzungszeit von 2750 Stunden berechnen sich hieraus Volllaststunden (Einschaltzeiten) für die Beleuchtung von 740 Stunden pro Jahr.

Die wichtigsten Kenngrößen des Beleuchtungssystems sind in Tab. 9-3 zusammengestellt.

Passiv-Bürogebäude <sup>klim.</sup>	
Beleuchtungsstärke in Lux	220 + 30 = 250
Raumindex	1,2
Raumwirkungsgrad	0,65
Leuchtenwirkungsgrad	0,9
Leistung Lampe/Vorschaltgerät in Watt	58 / 4,5
maximale Anschlussleistung in W/m <sup>2</sup>	6,2
Beleuchtungssteuerung	automatisch aus
Vollbetriebszeitfaktor	0,27
Volllaststunden in h/a	740

**Tab. 9-3: Kenndaten des Beleuchtungssystems im Passiv-Bürogebäude<sup>klim.</sup>**

- **Abwärme der elektrischen Geräte**

Büros sind je nach Nutzungsanforderung mit Arbeitshilfen ausgestattet. Für die Simulationsrechnungen wird angenommen, dass jeder Person

- 1 PC mit Bildschirm,
- 1/10 Laserdrucker,
- 1/10 Kopierer sowie
- 1/10 Fax

zur Verfügung stehen.

Die Einzelgeräte weisen eine sehr hohe energetische Effizienz auf. Die angenommenen Stromverbräuche von Laserdrucker, Kopierer und Fax betragen 75 % der für das Jahr 1998 definierten Grenzwerte der Gemeinschaft Energielabel Deutschland GED [GED 1998]. Die GED legt jedes Jahr Grenzwerte für stromsparende Geräte fest. Diese sind so definiert, dass sie von ca. 25 % aller auf dem Markt verfügbaren Geräte erfüllt werden. Die hier angenommene Unterschreitung des Grenzwertes kann entweder durch eine geringere maximale Leistungsaufnahme oder durch einen geringeren Wert der Volllaststunden erreicht werden.

Als Computer kommen Notebooks zum Einsatz. Diese haben aufgrund ihres LCD-Bildschirmes und der verwendeten Rechnerkomponenten einen geringen Stromverbrauch.

	Betrieb Watt	Standby Watt	Aus Watt
Computer: Notebooks	30	5	0
Kopierer (25 Seiten pro Min)		72	5
Drucker (Laser)		12	3
Fax		3	

**Tab. 9-4: Maximale Leistungsaufnahme der Arbeitshilfen im Passiv-Bürogebäude<sup>klim.</sup>**

#### A-9.4.2 Vollbetriebszeitfaktoren der internen Wärmequellen

Die maximale Leistung wird nicht während der gesamten Nutzungszeit benötigt. Ein Maß zur Beschreibung der mittleren Leistungsaufnahme ist der Vollbetriebszeitfaktor. Er wird empirisch ermittelt, indem der reale Stromverbrauch auf den maximal möglichen Stromverbrauch bezogen wird. Aus dem Vollbetriebszeitfaktor können bei gegebener jährlicher Nutzungszeit die Volllaststunden bestimmt werden. Die in der Simulation zu Grunde gelegten Vollbetriebszeitfaktoren bzw. Volllaststunden lehnen sich an die in [Ravel: Interne Wärmelasten von Büroräumen] empirisch ermittelten Werte an.

Die maximale Wärmeabgabe/Leistungsaufnahme in den Büros sowie die Vollbetriebszeitfaktoren und Volllaststunden sind in Tab. 9-5 aufgeführt.

	maximale Wärmeabgabe [W/m <sup>2</sup> ]	Vollbetriebs- zeitfaktor nach RAVEL	Vollbetriebs- zeitfaktor Passiv- Bürogeb.	Volllaststun- den pro Jahr h/a	mittlere Wärmeabgabe [W/m <sup>2</sup> ]
Personen	5,6	0,7 - 0,9	0,8	2200	4,5
Beleuchtung	6,2	0,1 - 0,7	0,27	740	1,7
Arbeitshilfen	2,6	0,25 - 0,85	0,4	1100	1,0
Summe	14,4				7,2

**Tab. 9-5: Bestimmen der mittleren Wärmeabgabe in den Büros des Passiv-Bürogebäudes<sup>klim.</sup> über Vollbetriebszeitfaktoren bzw. Volllaststunden**

Der Vollbetriebszeitfaktor der Beleuchtung ist u. a. abhängig von der Qualität der Tageslichtausleuchtung der Büros. Diese kann über den Tageslichtquotienten beschrieben werden. Für den untersuchten Standardbüroraum berechnet sich nach DIN 5034 Teil 3 der Tageslichtquotient in 1,25 m Abstand vom Fenster und einer Höhe von 0,85 m zu  $D_T = 4,3$ .

Der in Tab. 12-2 berücksichtigte Vollbetriebszeitfaktor der Beleuchtung entspricht dem in [LEE, 1995] angegebenen Wert für einen Tageslichtquotienten von  $D_T = 4,3$  und einer tageslichtabhängig gesteuerten Beleuchtungsanlage. Die Steuerung schaltet die Beleuchtung ab, wenn am Kontrollpunkt die Normbeleuchtungsstärke überschritten wird. Zur Berechnung des Tageslichtsangebots am Arbeitsplatz wird in [LEE, 1995] nur die diffuse Strahlung berücksichtigt.

Die saisonalen Unterschiede in den Einschaltzeiten der Beleuchtung werden bei der Definition der Tagesgänge berücksichtigt. Im Sommer wird ein Vollbetriebszeitfaktor von 0,09, im Winter von 0,48 angesetzt.

### A-9.4.3 Tagesprofile der internen Wärmequellen

Die Wärmeabgabe von Beleuchtung, Arbeitshilfen und Personen weist einen über den Tag schwankenden Verlauf auf. Die in der Simulation verwendeten Tagesprofile sind so gewählt, dass übliche Nutzungsbedingungen sowie die in Tab. 9-5 aufgeführten Vollbetriebszeitfaktoren abgebildet werden. Da die Einschaltdauer der Beleuchtung jahreszeitlichen Schwankungen unterworfen ist, werden gesonderte Profile für Sommer, Übergangsjahreszeit und Winter erstellt. Die in der Simulation angenommenen Tagesprofile zeigen Abb. 9-1 bis Abb. 9-3.

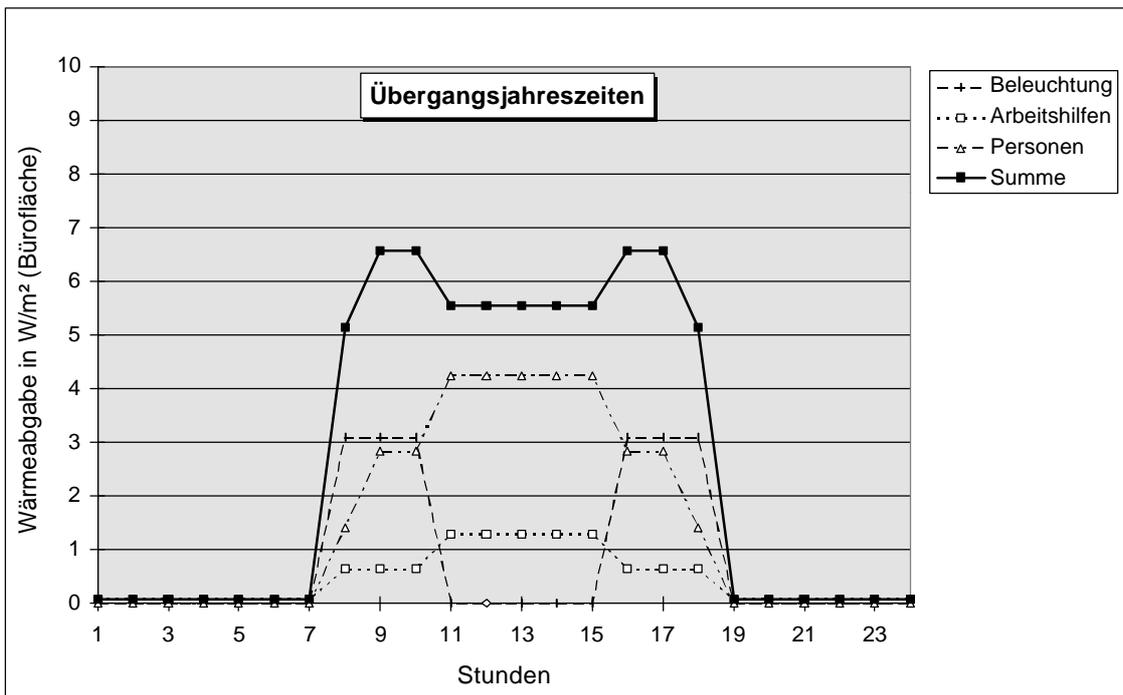


Abb. 9-1: Tagesprofil der internen Wärmelasten in den Büros des Passiv-Bürogebäudes<sup>klim.</sup> in den Übergangsjahreszeiten

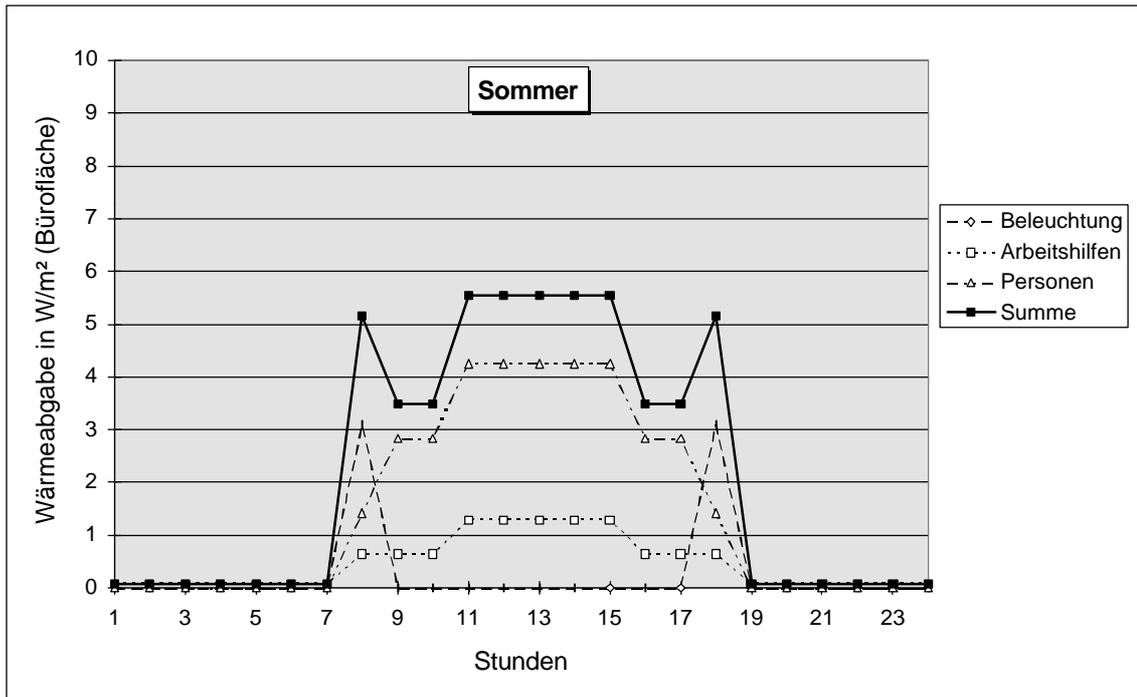


Abb. 9-2: Tagesprofil der internen Wärmelasten in den Büros des Passiv-Bürogebäudes<sup>klim.</sup> im Sommer

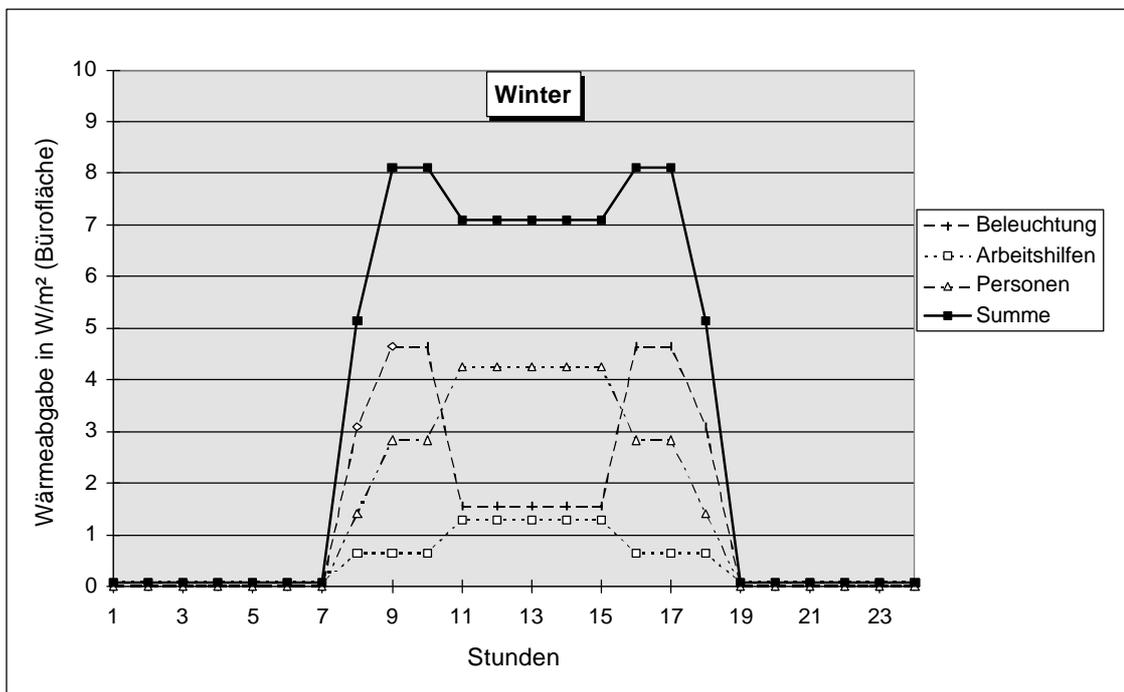


Abb. 9-3: Tagesprofil der internen Wärmelasten in den Büros des Passiv-Bürogebäudes<sup>klim.</sup> im Winter

Den Profilen liegt die folgende Argumentation zu Grunde.

### Beleuchtung

Im Sommer wird kein ausgeprägter Tagesgang bei der Beleuchtungsnutzung angenommen, da Sonnenauf- und -untergang weit außerhalb der Nutzungszeit liegen. Nur in der ersten und letzten Stunde der Nutzungszeit wird die Beleuchtung aufgrund der langsam abnehmenden Helligkeit vermehrt eingeschaltet. In den Übergangsjahreszeiten und im Winter wird die Morgen- und Abendspitze ausgeprägter und dauert länger an. Oft werden vor allem blendfreie Leuchten bei ausreichendem Tageslicht nicht ausgeschaltet, da sie unauffällig sind und so vergessen werden. Diese Problem existiert hier nicht, da das Abschalten über die Beleuchtungssteuerung realisiert wird. Allerdings wird die Betriebszeit deutlich von dem Grenzwert beeinflusst, ab dem die Beleuchtung abgeschaltet wird.

### Arbeitshilfen

Die maximale Wärmeabgabe der Arbeitshilfen wird durch die in allen Geräten vorhandene Sparschaltung erheblich reduziert. Nicht alle Geräte sind von Tagesbeginn an eingeschaltet bzw. werden gegen Ende der Nutzungszeit, entsprechend der Abwesenheit der Personen, ausgeschaltet.

Es wird angenommen, dass die Arbeitshilfen über Nacht vollständig ausgeschaltet werden. Zum Teil weisen sie jedoch auch im ausgeschalteten Zustand noch einen geringen Stromverbrauch auf. Für den Stromverbrauch im ausgeschalteten Zustand werden bei Kopierer, Drucker und Fax die entsprechenden [GED]-Grenzwerte von 1998 angesetzt. Für die Computer (Notebooks) wird angenommen, dass sie im ausgeschalteten Zustand keinen Stromverbrauch aufweisen. In Tab. 9-6 sind die entsprechenden Werte zusammengestellt. Ist ein Ausschalten außerhalb der Nutzungszeit aus Gründen der Vernetzung nicht möglich, ergeben sich entsprechend höhere Stromverbräuche.

	max. Stromverbrauch im ausgeschalteten Zustand
PC (Notebooks)	0 Watt
Kopierer	5 Watt
Drucker	3 Watt
Faxgerät (läuft durch)	4 Watt

**Tab. 9-6: Stromverbrauch der Arbeitshilfen im ausgeschalteten Zustand**

### Personen

Das Tagesprofil der Personenabwärme berücksichtigt, dass aufgrund der Gleitzeitmöglichkeit zu Beginn und am Ende der Nutzungszeit nicht alle Mitarbeiter anwesend sind. Der Gleichzeitigkeitsfaktor in der Kernarbeitszeit beträgt 75 %, d. h. einer der beiden Mitarbeiter ist im Mittel pro Stunde 30 Minuten nicht in dem Büro. In diesem Gleichzeitigkeitsfaktor ist auch die Mittagspause enthalten, die somit nicht extra modelliert wird.

#### A-9.4.4 Interne Wärmequellen in Flur und Nebennutzflächen

Auf den Verkehrs- und Nebennutzflächen sind keine Arbeitshilfen wie Drucker oder Kopierer vorhanden. Die Aufenthaltszeit der Personen ist so gering, dass keine nennenswerte Abwärme in der Simulation angesetzt wird. Berücksichtigt wird in diesem Bereich nur die Abwärme der Beleuchtungsanlage. Die maximale Beleuchtungsstärke beträgt 50 Lux. Dies entspricht bei dem für die Büros definierten energiesparenden Beleuchtungssystem einer maximalen Wärmeabgabe von  $1,7 \text{ W/m}^2$ .

Der Vollbetriebszeitfaktor des fensterlosen Flurs wird mit 1 angenommen. In den mit Fenstern versehenen Nebenräumen werden die stündlichen Werte der Beleuchtungsabwärme entsprechend den für die Büros definierten Tagesprofilen angenommen. Ausgehend von der Maximalleistung von  $1,7 \text{ W/m}^2$  berechnet sich der in Abb. 9-4 dargestellte stündliche Verlauf.

Außerhalb der Nutzungszeit treten in Flur, Treppenhaus und Keller keine internen Wärmelasten auf.

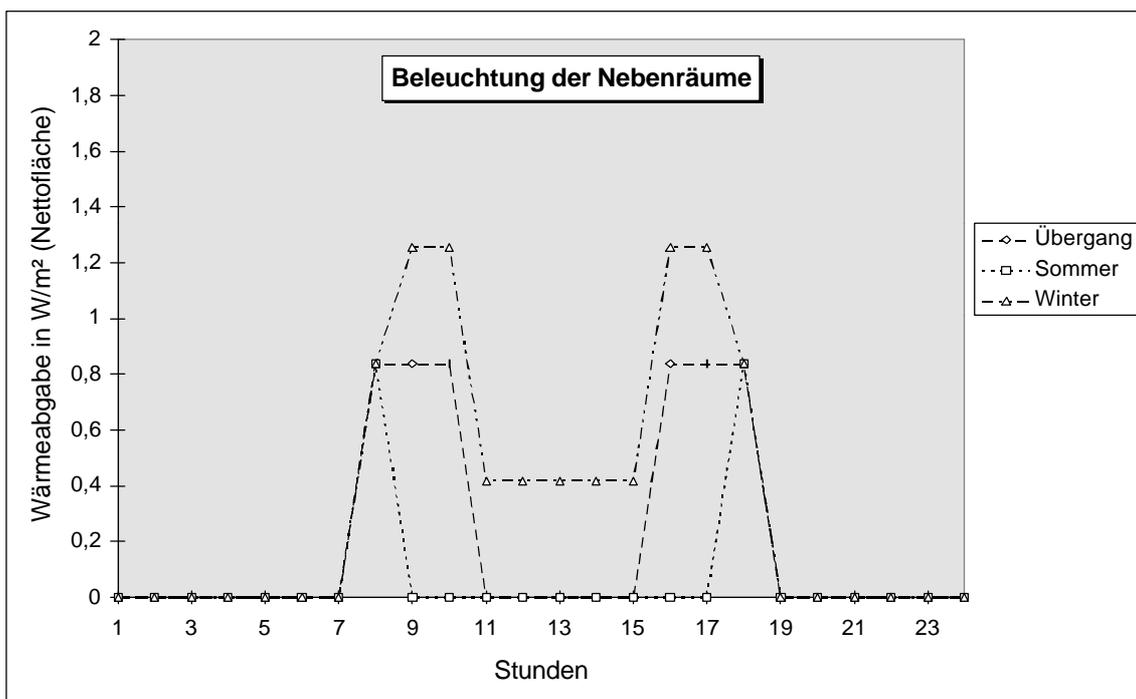


Abb. 9-4: Tagesprofil der Beleuchtung in den Nebenräumen

### A-9.5 Kalender

Die in Kap. 9.4.3 definierten Tagesprofile werden in der Simulation über einen Jahreskalender den einzelnen Tagen des Jahres zugeordnet. Jedes Tagesprofil wird als Tagestyp bezeichnet. Wie oben beschrieben sind die Tagestypen Sommer, Winter und Übergangsjahreszeit definiert. Da die Umstellung auf Sommerzeit in der Simulation berücksichtigt wird, müssen zwei Tagestypen für die Übergangsjahreszeit implementiert werden, die sich jedoch nur durch einen einstündigen Versatz unterscheiden. Im einzelnen ergibt sich für die Tagestypen folgende zeitliche Zuordnung:

Winter	vom 1. November bis 31. Januar
Übergang_winter	vom 1. Februar bis 31. März
Übergang_sommer	vom 1. April bis 30. April
Sommer	vom 1. Mai bis 31. Juli
Übergang_sommer	vom 1. August bis 30. September
Übergang_winter	vom 1. Oktober bis 31. Oktober

### A-9.6 Klima

Die Simulationsrechnungen werden mit dem Testreferenzjahr TRY 6 (Frankfurt am Main) durchgeführt. Die Testreferenzjahre sind speziell für die Gebäude- und Anlagensimulation entwickelt. Sie bestehen aus stündlichen Werten, über die charakteristische Klimaverläufe für unterschiedliche Regionen in Deutschland. beschrieben werden. Das Programm TAS verwendet für die Simulationsrechnungen folgende Größen:

- Lufttemperatur
- relative Feuchte
- Globalstrahlung
- Diffusstrahlung
- Bewölkungsgrad
- Windgeschwindigkeit
- Windrichtung.

## A-10 Passiv-Bürogebäude<sup>klim.</sup> / HLK-Anlage

### A-10.1 Gesamtkonzept der HLK-Anlage

Aus systematischen Gründen ist das Passiv-Bürogebäude<sup>klim.</sup> mit einer Voll-Klimaanlage ausgerüstet, d. h. es sind die Luftbehandlungsfunktionen Heizen, Kühlen, Befeuchten und Entfeuchten möglich. Hierdurch wird die Raumluft in den in Abschnitt A-9.3 genannten Behaglichkeitsgrenzen der DIN 1946 gehalten. Die sommerliche Temperaturbegrenzung auf 26°C wird über eine Zuluftkühlung realisiert.

Da die Kühllasten zwischen den Nord- und Südbüros stark schwanken, ist für jede Fassadenseite eine eigene Anlage vorgesehen. Aus systematischen Gründen werden die Flure und Nebenräume ebenfalls über eine gesonderte Anlage mit Frischluft versorgt, wobei hier keine Kühlung vorgesehen ist.

Ergänzt wird die Vollklimaanlage durch eine hocheffiziente Wärmerückgewinnung mit vorge-schaltetem Erdreichwärmetauscher (EWT). Ein schematische Darstellung der HLK-Anlage des Passiv-Bürogebäudes<sup>klim.</sup> zeigt Abb. 10-1.

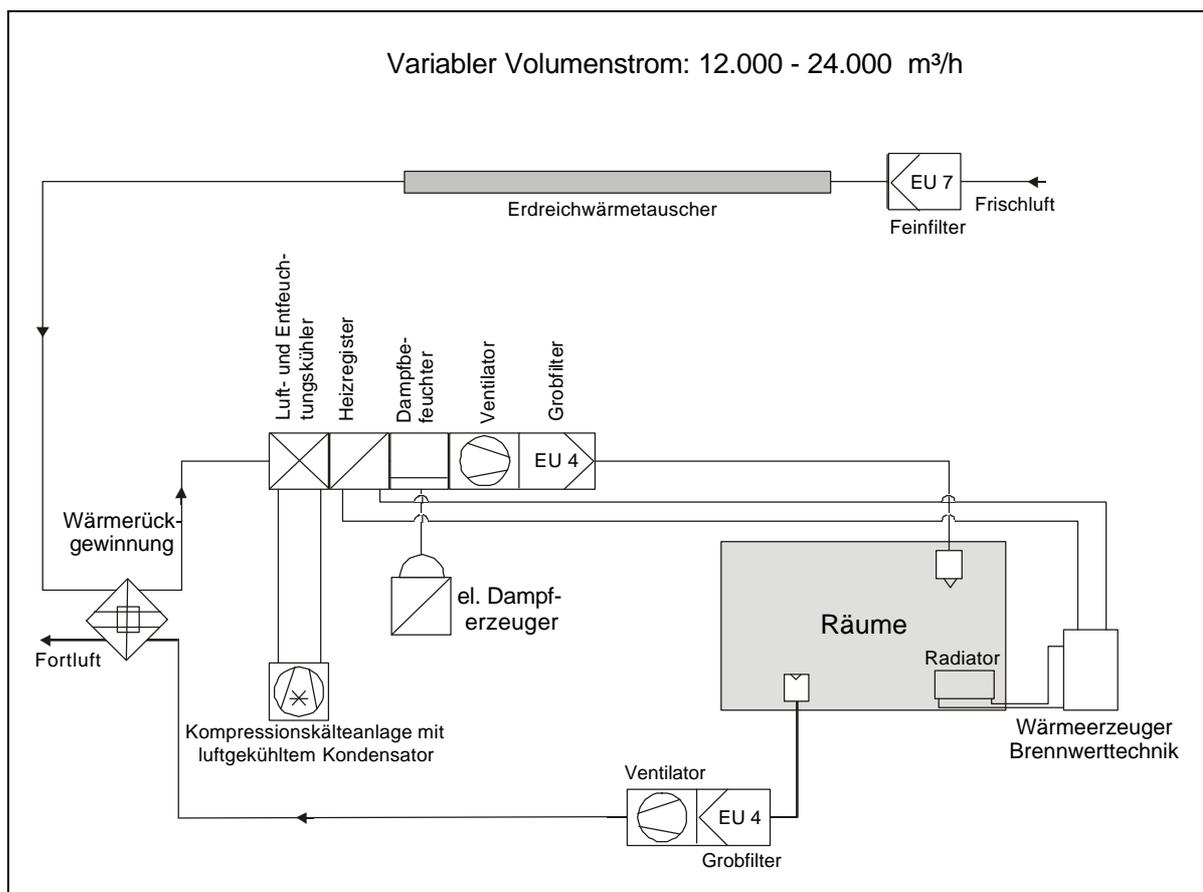


Abb. 10-1: Schematische Darstellung der HLK-Anlage des Passiv-Bürogebäudes<sup>klim.</sup>

## A-10.2 Heizungsanlage

Die Beheizung des Gebäudes geschieht über ein Zuluflheizregister in der Lüftungszentrale und statische Heizflächen in den einzelnen Räumen. Die Sollwerte der Raumtemperatur sind in Tab. 9-1 dokumentiert. Es wird eine ideale Regelung angenommen, d. h. es tritt im Heizfall keine Sollwertabweichung auf.

Als Heizflächen kommen Plattenheizkörper mit innenliegendem Konvektionsblech zum Einsatz. Der Strahlungsanteil bei der Wärmeübertragung beträgt nach [Recknagel 94/95] 28 %. Dieser Wert wird in der thermischen Simulation berücksichtigt.

Das Zuluflregister wird in Kap. 10.3 beschrieben.

Als Wärmeerzeuger ist ein Gasbrennwertkessel vorgesehen. Der Teillastnutzungsgrad (nach DIN 4702 Teil 8) unterschiedlicher Kesseltypen ist in Abb. 10-2 dargestellt. Für das Passiv-Bürogebäude wird in der Simulation das Teillastverhalten des Brennwertkessels angenommen. Die Stillstandsverluste sind analog zur VDI 2067 mit 0,5 % der maximalen Kesselleistung quantifiziert. Der Verteilungswirkungsgrad des Heizungs- und Warmwassernetzes beträgt entsprechend den Angaben aus [LEG 1995] 92 %. Eine Abschaltung des Kessels in dem Fall, dass keine Wärme vom Gebäude angefordert wird, geschieht nicht.

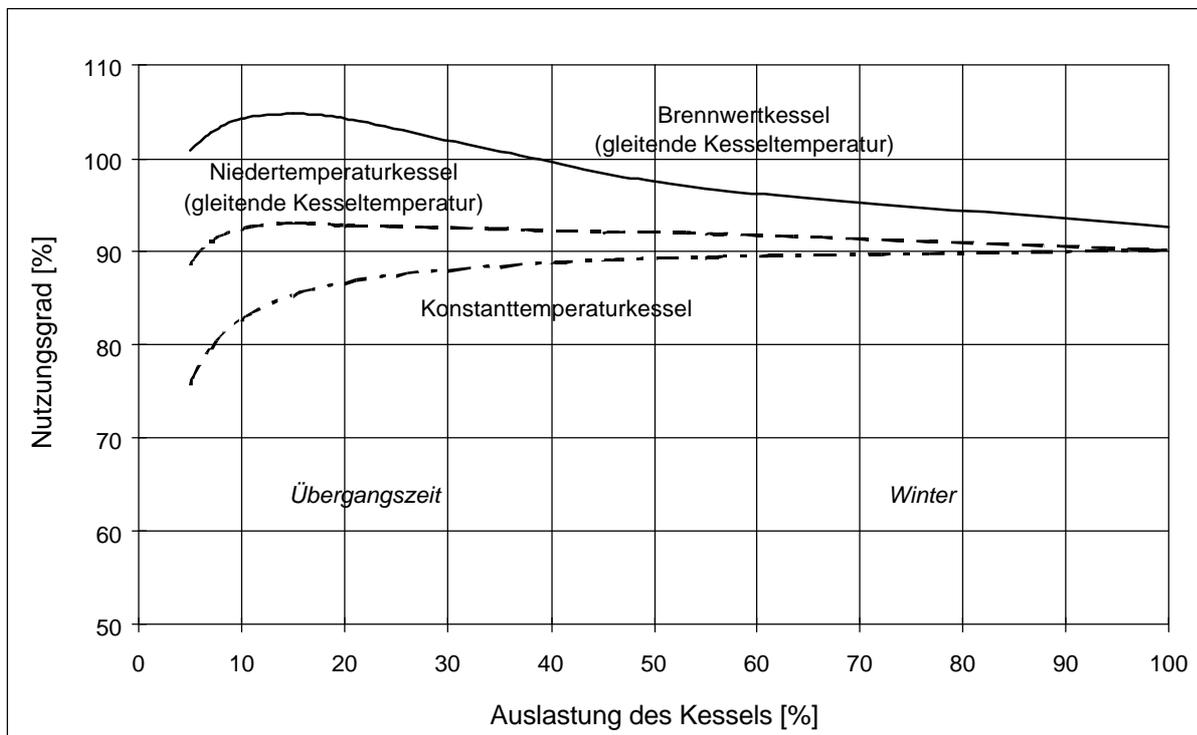


Abb. 10-2: Teillastnutzungsgrade unterschiedlicher Heizkessel

## A-10.3 Lüftungsanlage

### A-10.3.1 Luftwechsel

Die Lüftungsanlage fördert in der Regel den hygienisch erforderlichen Mindestaußenluftwechsel. Dieser entspricht im vorliegenden Fall dem flächenbezogenen Mindestaußenluftstrom nach der DIN 1946 Teil 2 von  $4 \text{ m}^3/(\text{m}^2\text{h})$ . Unter Berücksichtigung der lichten Geschosshöhe von 3 Metern berechnet sich damit ein Luftwechsel in den Büros von  $1,3 \text{ h}^{-1}$ . Bezogen auf die  $1200 \text{ m}^2$  Bürofläche je Fassadenseite ergibt sich eine zu fördernde Mindestaußenluftmenge je Fassadenseite von  $4.800 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Um Zugerscheinungen zu vermeiden, liegt die Zulufttemperatur in den Büros auch im Kühlfall um nicht mehr als 8 Kelvin unter der Raumlufthtemperatur. Müssen höhere Kühllasten im Sommer abgeführt werden, kann der Volumenstrom bis zu einem 3-fachen Luftwechsel angehoben werden ( $12.000 \text{ m}^3/\text{h}$  je Fassadenseite). Bei vorgegebener maximaler Luftgeschwindigkeit in den Kanälen macht dies im Vergleich zu den Konstantvolumenstromanlagen des Standard- und Niedrigenergie-Bürogebäudes<sup>klim.</sup> eine größere Dimensionierung der Lüftungstechnischen Komponenten erforderlich.

In der Zeit vom 1. April bis zum 30. September kann in allen Räumen eine Nachtlüftung realisiert werden. Durch die Nachtlüftung werden die Speichermassen außerhalb der Nutzungszeit abgekühlt. So können Temperaturspitzen in der Nutzungszeit abgepuffert werden. Der maximal mögliche Volumenstrom für die Nachtlüftung entspricht dem Mindestaußenluftwechsel. Gelüftet werden kann an vier Stunden in der Nacht von 1:30 bis 5:30 Uhr. Um den Stromverbrauch der Ventilatoren für die Nachtlüftung gering zu halten, wird die Nachtlüftung von der Regelung nur freigegeben, wenn die Außenlufttemperatur um mindestens 5 K unter der Raumtemperatur liegt. Beendet wird die Nachtlüftung, wenn die Raumlufthtemperatur auf  $22,5^\circ\text{C}$  gesunken ist. Die Definition des Sollwertes über  $22^\circ\text{C}$  gewährleistet, dass in der Regel kein zusätzlicher Heizwärmebedarf über die Nachtlüftung erzeugt wird.

In Fluren und Nebenräumen wird ein Luftwechsel von  $0,4 \text{ h}^{-1}$  realisiert.

In allen Zonen addiert sich zu dem mechanisch erzeugten Luftwechsel ein Luftwechsel über Fugenundichtigkeiten, der sich nach dem Standard des Baukörper richtet. Für das Passiv-Bürogebäude<sup>klim.</sup> beträgt er  $0,05 \text{ h}^{-1}$ . In Tab. 10-1 sind die in der Simulation realisierten Luftwechsel für das Passiv-Bürogebäude<sup>klim.</sup> zusammengefasst.

Nutzungszone	Lüftungs- anlage $h^{-1}$	Undichtig- keiten $h^{-1}$	Luftwechsel gesamt $h^{-1}$
Büro	1,33	0,05	1,48
Flur	0,4	0,05	0,45
Nebenträume	0,4	0,05	0,45

**Tab. 10-1: Mindestluftwechsel während der Betriebszeit**

### A-10.3.2 Wärmerückgewinnung und Nachheizregister

Die Wärmerückgewinnung weist eine Rückwärmzahl von 0,75 auf. Dies entspricht einem Gegenstromplattenwärmetauscher oder einem entsprechend dimensionierten Rotationswärmetauscher. Die Temperaturerhöhung des Luftstroms durch die Zu- und Abluftventilatoren wird in dem Simulationsprogramm gesondert gerechnet, ist also in der Rückwärmzahl nicht enthalten. Die Wärmerückgewinnung ist so geregelt, dass auf der Zuluftseite eine Austrittstemperatur von 18°C gehalten wird. Dies kann entweder durch einen Bypass oder ein Kreislaufverbundsystem mit geregelter Pumpe erfolgen. Im Sommer wird über die Wärmerückgewinnung eine Kälterückgewinnung realisiert.

Kann die Temperatur der Außenluft von der Wärmerückgewinnung nicht auf 18°C angehoben werden, wird die entsprechende Temperaturdifferenz vom Nachheizregister geliefert. Die Zuluft wird somit das ganze Jahr mit mindestens 18°C in die Räume eingebracht.

### A-10.3.3 Ventilatoren und Druckverlust

Als Ventilatoren kommen Radialventilatoren mit rückwärtsgekrümmten Schaufeln zum Einsatz. Die Elektromotoren der Ventilatoren befinden sich nicht im Luftstrom. Die Abwärme wird somit nicht zum Heizen verwendet, erhöht aber auch nicht die Raumlufttemperaturen im Sommer.

Für den Ventilator wird ein Wirkungsgrad von 82 % [Recknagel 94/95], für den Elektromotor ein Wirkungsgrad von 80 % angenommen. Der Elektromotor wird von der Regelung abgeschaltet, wenn keine Luft gefördert werden muss.

Zur Bestimmung der erforderlichen Pressung (Gesamtdruckdifferenz) der Ventilatoren wird eine Abschätzung des Druckverlustes vorgenommen. Hierzu wird eine Skizze der Lüftungsanlage entworfen und für den längsten Strang der maximale Druckverlust ermittelt. Berücksichtigt sind die Reibungsverluste an den Rohrwänden und der Druckverlust durch Einbauten sowie Apparate.

Das Druckgefälle der Lüftungskanäle ist [Recknagel 94/95] entnommen. Hierbei wurden Blechkanäle mit einer Rauigkeit  $\epsilon = 0,15$  mm unterstellt.

Die Einbauten werden mit folgenden Strömungswiderständen berücksichtigt:

Ventilator	50 Pa	Erfahrungswert [EJO]
------------	-------	----------------------

Heizregister:	50 Pa	[SIA 380/4, 1992]		
Kühlregister:	100 Pa	[SIA 380/4, 1992]		
Wärmerückgewinnung	100 Pa je Seite	[SIA 380/4, 1992]		
Grobstaubfilter (Zuluft, Abluft)	130 Pa	[SIA 380/4, 1992]		
Feinstaubfilter (Zuluft)	150 Pa	[SIA 380/4, 1992]		
Drall-Deckenauslass:	100 Pa	[SIA 380/4, 1992]		
Wetterschutz	$\zeta = 1$	[Recknagel 94/95]		
Erdreichwärmetauscher	400 Pa	berechnet	für	3-fachen Luftwechsel

Für die Pressung der Ventilatoren errechnen sich unter diesen Randbedingungen und für einen 3-fachen Luftwechsel damit folgende Größen:

Gesamtdruckdifferenz bei 3-fachem Luftwechsel (Zuluft):	1 170 Pa
Gesamtdruckdifferenz bei 3-fachem Luftwechsel (Abluft):	440 Pa

#### A-10.4 Kälteanlage

Die Kälte wird in die Büros über die Zuluft eingebracht. Diese wird von einem Kühlregister auf den erforderlichen Wert heruntergekühlt. Dabei wird aus Komfortgründen eine maximale Untertemperatur gegenüber der Raumluft von 8 Kelvin jederzeit eingehalten.

Um aus dem berechneten Kältebedarf der einzelnen Räume den entsprechenden Strombedarf zu ermitteln, muss eine konkrete Kälteanlage definiert werden. Der Modellierung liegt eine Kompressionskälteanlage mit Luftkühlung und Hubkolbenverdichter zugrunde.

Der Stromverbrauch der Kältemaschine wird bei gegebenem Kältebedarf primär von der Vollastleistungszahl der Kältemaschine und deren Teillastverhalten bestimmt.

Die Vollastleistungszahl für unterschiedlichen Außentemperaturen wird ermittelt, indem der Carnot-Wirkungsgrad bestimmt und mit der Carnot'schen Gütezahl multipliziert wird [Recknagel 94/95].

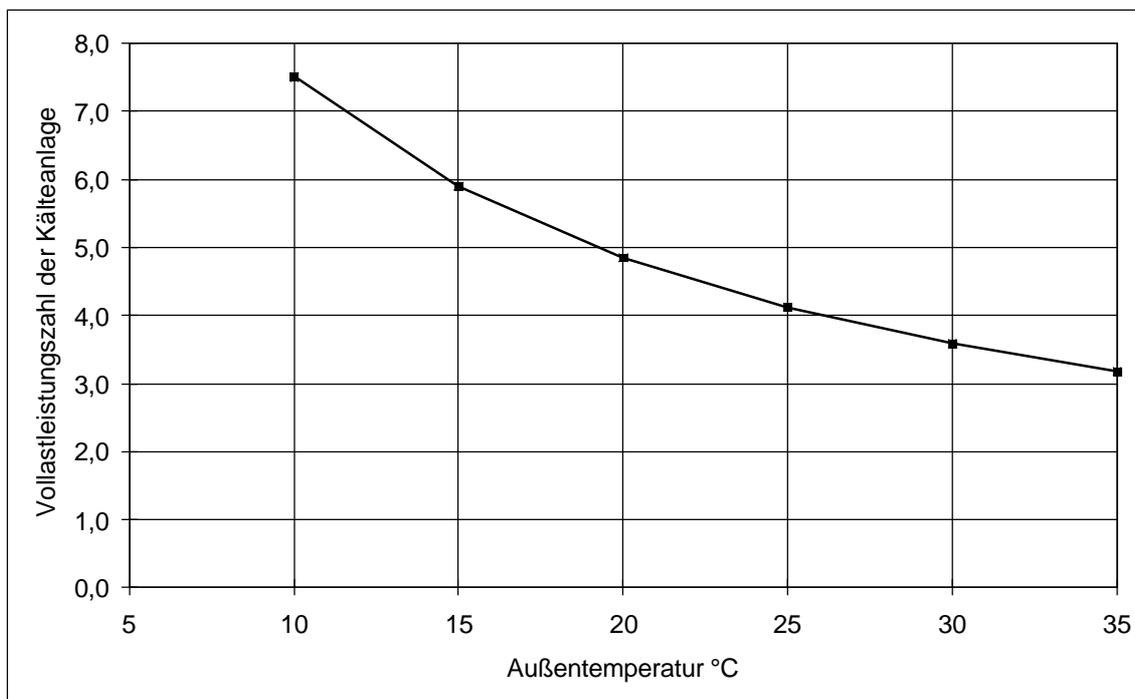
Zur Ermittlung des Carnot-Wirkungsgrades müssen die Temperaturniveaus für die Verdampfung  $t_0$  und Kondensation  $t_c$  bekannt sein. Entsprechend der ARI 550 wird angenommen, dass das Kältemittel den Verdampfer immer mit  $t_{WA} = 6,7^\circ\text{C}$  verlässt. Die Verdampfungstemperatur  $t_0$  beträgt, bei Berücksichtigung der erforderlichen treibenden Temperaturdifferenz zur Wärmeübertragung ( $t_{KA} - t_0$ ) von 5 K, konstant  $1,7^\circ\text{C}$ . Die Abhängigkeit der Vollastleistungszahl reduziert sich damit auf die Kondensationstemperatur. Da von einem luftgekühlten Kondensator ausgegangen wird, hängt die Kondensationstemperatur primär von der Außenlufttemperatur ab. Als minimal treibende Temperaturdifferenz zwischen Außenluft und kondensierendem Medium werden nach [Recknagel 94/95] 10 K angesetzt. Damit ist die Verdampfungs- und Kondensationstemperatur bestimmt und der Carnot-Wirkungsgrad kann berechnet werden.

Die Carnot'sche Gütezahl größerer Kälteanlagen liegt nach [Recknagel 94/95] zwischen 0,5 und 0,6. Zur Bestimmung der temperaturabhängigen Vollastleistungszahl wird die Carnot'sche Gütezahl mit 0,5 angesetzt. Die Randbedingungen zur Bestimmung der Vollastleistungszahl für unterschiedliche Außentemperaturen sind in Tab. 10-2 zusammengestellt.

Kälte­träger Austritt aus Verdampfer	$t_{KA}$	6,7 °C	ARI 550
Austrittstemperaturdifferenz Verdampfer bei Vollast	$t_{KA}-t_0$	5 K	[Recknagel 94/95]
Austrittstemperaturdifferenz Kondensator bei Vollast	$t_C-t_{WA}$	10 K	[Recknagel 94/95]
Carnot'scher Gütegrad	$\eta_{CK}$	0,5	[Recknagel 94/95]

**Tab. 10-2: Randbedingungen zur Bestimmung der Vollastleistungszahl**

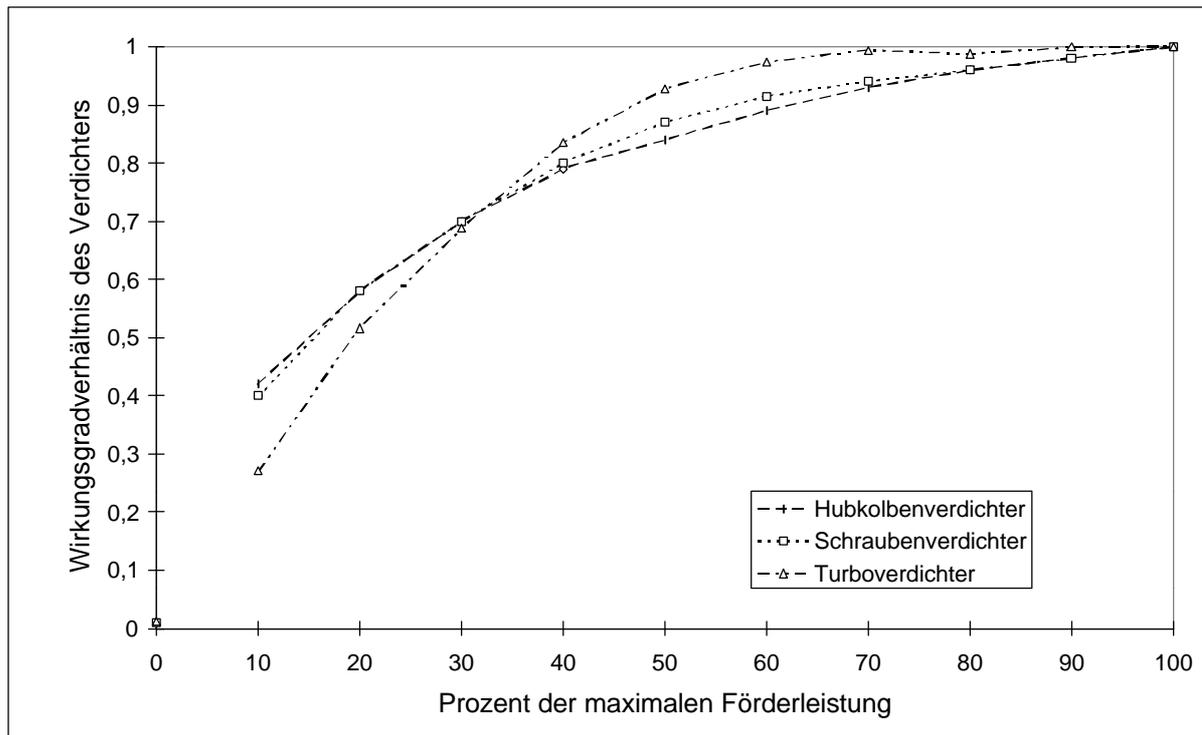
Unter diesen Randbedingungen ergibt sich der in Abb. 10-3 dargestellte Verlauf der Vollastleistungszahl in Abhängigkeit von der Außentemperatur. Diese Charakteristik wird in der Simulation verwendet.



**Abb. 10-3: Temperaturabhängigkeit der Leistungszahl der Kältemaschine bei Vollast**

Neben dieser Temperaturabhängigkeit der Vollastleistungszahl wird der Stromverbrauch der Kältemaschine entscheidend von dem Teillastverhalten des Verdichters bestimmt. Abb. 10-4 zeigt den Verlauf des Teillastwirkungsgrades für drei unterschiedliche Verdichtertypen. Die Wirkungsgrade entsprechen den Angaben aus [Recknagel 94/95]. Für den Turboverdichter ist die im [Recknagel 94/95] berücksichtigte Zunahme der Kälteleistung im Teillastbetrieb herausgerechnet worden, da dies in der Simulation bereits über die Außentemperaturabhängigkeit der Vollastleistungszahl berücksichtigt wird. Entsprechend sind die Wirkungsgrade der Verdichter in Abhängigkeit von dem Fördervolumen angegeben. Die

Teillastwirkungsgrade der einzelnen Verdichter unterscheiden sich nur wenig. In der Simulation wird die Charakteristik des Hubkolbenverdichters angenommen.



**Abb. 10-4: Teillastverhalten unterschiedlicher Verdichtertypen**

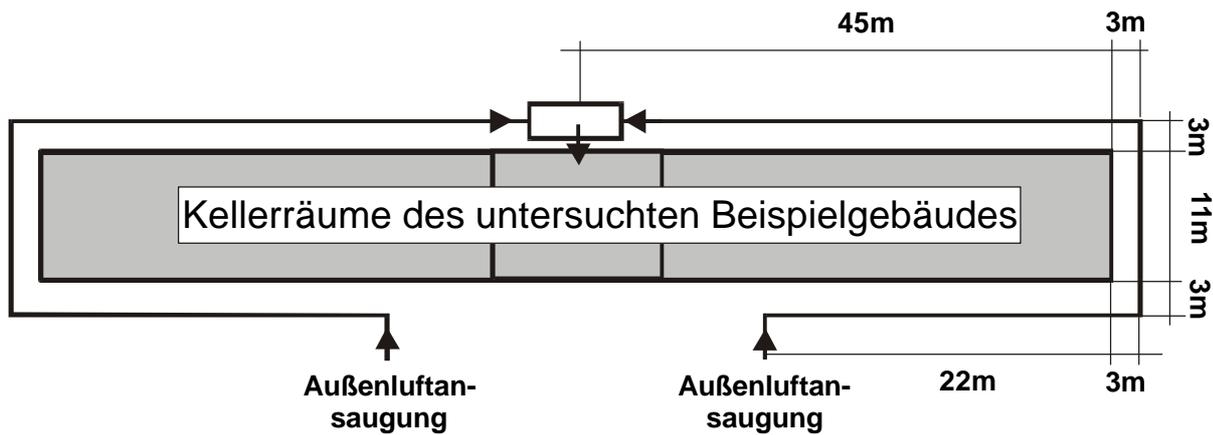
### A-10.5 Be- und Entfeuchtung

Zur Befeuchtung der Luft wird ein Dampfbefeuchter eingesetzt. Entsprechend den Empfehlungen der DIN 1946 Teil 2 sichert der Dampfbefeuchter eine Mindestfeuchte von 30 % in den Räumen. Die Dampferzeugung geschieht elektrisch.

Die Entfeuchtung geschieht über einen Entfeuchtungskühler. Dieser ist vor dem Nachheizregister angebracht, so dass die im Entfeuchtungsprozess heruntergekühlte Luft anschließend wieder auf 18°C erwärmt werden kann. Als Regelgröße für den Entfeuchtungskühler dient die absolute Feuchte. Die Zuluft wird so weit entfeuchtet, dass in den Büros eine absolute Feuchte von 11,5 Gramm Wasser pro kg trockener Luft nicht überschritten wird (DIN 1946 Teil 2).

### A-10.6 Modell des Erdreichwärmetauschers

Die Außenluft wird über ein in der Erde verlegtes Rohr, einen sogenannten Erdreichwärmetauscher (EWT), angesaugt. Auf diese Weise kann die Luft im Winter durch das Erdreich vorerwärmt, im Sommer vorgekühlt werden. Eine Skizze des eingesetzten EWT zeigt Abb. 10-5.



**Abb. 10-5: Skizze zur Verlegung des Erdreichwärmetauschers**

Es wird angenommen, dass der EWT aus 2 Rohren mit einer Länge von je 90 Metern und einem Durchmesser von 0,8 Meter besteht. Die Erdrohre werden in der Baugrube in 3 Metern Tiefe und einem Abstand zur Kelleraußenwand von ebenfalls 3 Metern verlegt. Die Rauigkeit der Rohroberfläche ist mit 3 mm angenommen.

Die beiden Rohre sind parallel geschaltet, so dass im üblichen Betriebsfall durch jedes Rohr ein Volumenstrom von 4400 m<sup>3</sup>/h (hygienischer Außenluftwechsel) strömt.

Der mittlere Wärmeübergangskoeffizient an der Rohroberfläche wird für diesen Volumenstrom mit den in [Knissel 1999] dargestellten Ansätzen zu 19,6 W/(m<sup>2</sup>K) berechnet. In diesem Wert ist die Erhöhung des Wärmeübergangskoeffizienten aufgrund der Rohrrauigkeit bereits berücksichtigt.

Zur Abbildung des EWT im Simulationsmodell wird die Konzentrationsfaktor-Methode verwendet. In [Knissel 1999] wird gezeigt, dass diese das Betriebsverhalten von EWT recht gut abbildet. Der um das Erdrohr herum genauer modellierte Nahbereich hat im vorliegenden Fall Abmaße von 6 m x 6 m. Bezogen auf die geförderte Luftmenge steht eine Erdreichmasse von ca. 1500 kg pro m<sup>3</sup> pro h im sogenannten Nahbereich zur Verfügung. Dies entspricht in etwa der Hälfte des in [Knissel 1999] abgebildeten Systems.

Als Erdreich wird ein sandiger Boden angenommen. Wie die Sensitivitätsanalyse in [Knissel 1999] zeigt, stellt dies bezüglich des Betriebsverhaltens des Erdreichwärmetauschers im Vergleich zu einem feuchten tonigen Boden die ungünstigere Randbedingung dar. Die Stoffwerte werden für einen mittleren Feuchtegehalt von 10 Vol. % bestimmt. Entsprechend den Angaben in [VDI-Wärmeatlas] gilt für sandigen Boden.

Wärmeleitfähigkeit:	1,1	W/(mK)
Dichte:	1700	kg/m <sup>3</sup>
spezifische Wärmekapazität:	1000	J/(kgK)

## A-11 Niedrigenergie-Bürogebäude<sup>klim.</sup> / Baukörper

### A-11.1 Geometrie

Wie in Abschnitt A-8.1 für das Passiv-Bürogebäude<sup>klim.</sup> beschrieben.

### A-11.2 Materialaufbau der Bauteile

Der thermische Standard der Außenbauteile entspricht dem eines üblichen Niedrigenergie-Wohngebäudes. Der in Hessen für landeseigene Verwaltungsbauten geforderte Zielwert für den Heizwärmebedarf von 50 kWh/(m<sup>2</sup>a) [LEG,1995] wird eingehalten bzw. unterschritten.

Die Dämmstoffdicken und U-Werte der einzelnen Bauteile sind in Tab. 11-1 definiert. Mit Ausnahme der Dämmstoffdicken entsprechen die Bauteile den in Abschnitt A-8.2 dargestellten Konstruktionen.

	Dämmstoffdicke cm	U-Wert W/(m <sup>2</sup> K)
Außenwand	18	0,21
Dach	22	0,17
Kellerdecke	14	0,25
Fenster	g-Wert (Verglasung) = 0,53	1,4

**Tab. 11-1: Dämmstoffdicken und U-Werte für das Niedrigenergie-Bürogebäude<sup>klim.</sup>**

Im g-Wert der Verglasung noch nicht berücksichtigt ist der angenommene Rahmenanteil von 30 % sowie die Korrekturfaktoren für Verschmutzung von 0,9 und für Verschattung von 0,84.

### A-11.3 Sonnenschutz

Wie in Abschnitt A-0 für das Passiv-Bürogebäude<sup>klim.</sup> beschrieben.

### A-11.4 Luftdichtheit der Gebäudehülle

Es wird angenommen, dass die Gebäudehülle des Niedrigenergie-Bürogebäudes<sup>klim.</sup> dicht ausgeführt wird, so dass der Luftwechsel über Fugen und Undichtigkeiten in der Größenordnung von 0,1 pro Stunde liegt. Dieser Wert ergibt sich nach dem in der EN 832 angegebenen Berechnungsverfahren für ein Gebäude, dass bei der Blower-Door-Messung (Unterdruck von 50 Pa) einen Luftwechsel von  $n_{50} < 1 \text{ h}^{-1}$  aufweist. Ein derartiger Dichtheitsgrad kann bei einer guten Planung und Bauausführung erreicht werden.

## A-12 Niedrigenergie-Bürogebäude<sup>klim.</sup> / Nutzung

### A-12.1 Nutzungszonen

Wie in Abschnitt A-9.1 für das Passiv-Bürogebäude<sup>klim.</sup> beschrieben.

### A-12.2 Nutzungszeit und Betriebszeit

Wie in Abschnitt A-9.2 für das Passiv-Bürogebäude<sup>klim.</sup> beschrieben.

### A-12.3 Anforderungen an das Raumklima

Wie in Abschnitt A-9.3 für das Passiv-Bürogebäude<sup>klim.</sup> beschrieben.

### A-12.4 Interne Wärmequellen

#### A-12.4.1 Beleuchtung

Die Büros sind mit der in Abschnitt A-9.4 beschriebenen energiesparenden Beleuchtungsanlage des Passiv-Bürogebäudes<sup>klim.</sup> ausgerüstet.

Anders als im Passiv-Bürogebäudes<sup>klim.</sup> sind im Niedrigenergie-Bürogebäude<sup>klim.</sup> keine Arbeitsplatzleuchten vorgesehen, sondern die gesamte Bürofläche wird mit 500 Lux ausgeleuchtet. Dies entspricht zwar nicht einer energetisch und ökonomisch optimalen Planung, dafür aber einem heute noch üblichen Vorgehen in der Praxis. Es sei darauf hingewiesen, dass der europäische Normentwurf E-DIN 5035-2; 1996-06 abweichend von dieser Ausführung die Beleuchtungsstärke von 500 Lux lediglich auf der Arbeitsfläche fordert.

In Tab. 12-1 sind die wichtigsten Kenngrößen des Beleuchtungssystems zusammengefasst.

Niedrigenergie-Bürogebäude <sup>klim.</sup>	
Beleuchtungsstärke in Lux	500
Raumindex	1,2
Raumwirkungsgrad	0,65
Leuchtenwirkungsgrad	0,9
Leistung Lampe/Vorschaltgerät in Watt	58 / 4,5
maximale Anschlussleistung in W/m <sup>2</sup>	12,4
Beleuchtungssteuerung	automatisch aus
Vollbetriebszeitfaktor	0,5
Volllaststunden in h/a	1375

**Tab. 12-1: Kennwerte des Beleuchtungssystems im Niedrigenergie-Bürogebäude<sup>klim.</sup>**

### A-12.4.2 Arbeitsgeräte

Die Ausstattung der Arbeitsplätze mit Arbeitshilfen ist identisch mit der des Passiv-Bürogebäudes<sup>klim.</sup> (Abschnitt A-9.4.1).

Die Stromverbräuche der einzelnen Arbeitshilfen entsprechen den von der Gemeinschaft Energielabel Deutschland (GED) festgelegten Grenzwerten für stromsparende Geräte [GED 1998]. Als Computer werden keine Notebooks sondern handelsübliche PCs eingesetzt.

Die in der Simulation angenommenen Stromverbräuche sind in der Tab. 12-2 dokumentiert.

	Betrieb Watt	Standby Watt	Aus Watt
Computer	120*	35	5
Kopierer (25 Seiten pro Min)		96	5
Drucker (Laser)		16	3
Fax		4	

**Tab. 12-2: Maximale Leistungsaufnahme der Arbeitshilfen im Niedrigenergie-Bürogebäude<sup>klim.</sup>**

)\* gemessener Wert vom IWU

Unter Berücksichtigung des Vollbetriebszeitfaktors ergibt sich die in Tab. 12-3 dargestellte flächenspezifische Wärmelast in den Büros während der Nutzungszeit.

	maximale Wärmeabgabe [W/m <sup>2</sup> ]	Vollbetriebszeit- faktor Niedrigenergie-BG	Volllaststunden h/a	mittlere Wärmeabgabe [W/m <sup>2</sup> ]
Personen	5,6	0,8	2200	4,5
Beleuchtung	12,4	0,5	1375	6,2
Arbeitshilfen	8,8	0,42	1155	3,7
<b>Summe</b>	<b>27</b>			<b>14</b>

**Tab. 12-3: Interne Wärmelasten im Niedrigenergie-Bürogebäude<sup>klim.</sup>**

### A-12.4.3 Außerhalb der Betriebszeit

Im Unterschied zu den in Abschnitt A-9.4.3 gemachten Annahmen wird im Niedrigenergie-Bürogebäude<sup>klim.</sup> davon ausgegangen, dass auch die Computer einen gewissen Strombedarf im ausgeschalteten Zustand aufweisen. Hierfür wird der entsprechende GED-Grenzwert [GED 1998] angesetzt. Die Annahmen für Kopierer, Drucker und Faxgerät sind identisch mit denen im Passiv-Bürogebäude<sup>klim.</sup>. Damit ergibt sich der in Tab. 12-4 dargestellte Strombedarf der Arbeitshilfen im ausgeschalteten Zustand. Dieser wird in der Simulation berücksichtigt.

	max. Stromverbrauch im ausgeschalteten Zustand
PC ohne Bildschirm	5 Watt
Kopierer	5 Watt
Drucker	3 Watt
Faxgerät (läuft durch)	4 Watt

**Tab. 12-4: Stromverbrauch der ausgeschalteten Arbeitshilfen im Niedrigenergie-Bürogebäude<sup>klim.</sup>**

### A-12.4.4 Flur und Nebenräume

Die maximale Beleuchtungsstärke wird gegenüber dem Passiv-Bürogebäude<sup>klim.</sup> von 50 Lux auf 100 Lux erhöht. Alle anderen Annahmen entsprechen dem Passiv-Bürogebäude<sup>klim.</sup> (siehe 9.4.4). Damit ergibt sich eine maximale Wärmeabgabe der Beleuchtung in den Fluren und Nebenräumen von 3 W/m<sup>2</sup>.

### A-12.5 Kalender

Wie in Abschnitt A-9.5 für das Passiv-Bürogebäude<sup>klim.</sup> beschrieben.

### A-12.6 Klima

Wie in Abschnitt A-9.6 für das Passiv-Bürogebäude<sup>klim.</sup> beschrieben.

## A-13 Niedrigenergie-Bürogebäude<sup>klim.</sup> / HLK-Anlage

### A-13.1 Gesamtkonzept der HLK-Anlage

Das Niedrigenergie-Bürogebäude<sup>klim.</sup> ist mit einer Vollklimaanlage ausgerüstet, die zusammen mit Kühldecken und den Radiatoren das Raumklima in definierten Grenzen hält (siehe Abschnitt A-9.3). Im Unterschied zu dem Passiv-Bürogebäude<sup>klim.</sup> werden alle Zonen des Gebäudes über eine gemeinsame Klimaanlage versorgt. Aus diesem Grund erhalten Flur und Nebenräume ebenfalls ent- bzw. befeuchtete Luft. Geregelt wird der Feuchtegehalt der Zuluft entsprechend den Erfordernissen der Südbüros.

Die aktive Kühlung der Büros wird im Niedrigenergie-Bürogebäude<sup>klim.</sup> über Kühldecken realisiert. Die Klimaanlage fördert den aus hygienischen Gründen erforderlichen konstanten Mindestvolumenstrom. Im Vergleich zum Passiv-Bürogebäude<sup>klim.</sup> können die lüftungstechnischen Komponenten kleiner dimensioniert und der Aufwand zur Regelung der Luftvolumenströme reduziert werden. Auf einen Erdreichwärmetauscher wird verzichtet.

Eine schematische Darstellung der HLK-Anlage des Niedrigenergie-Bürogebäudes<sup>klim.</sup> zeigt

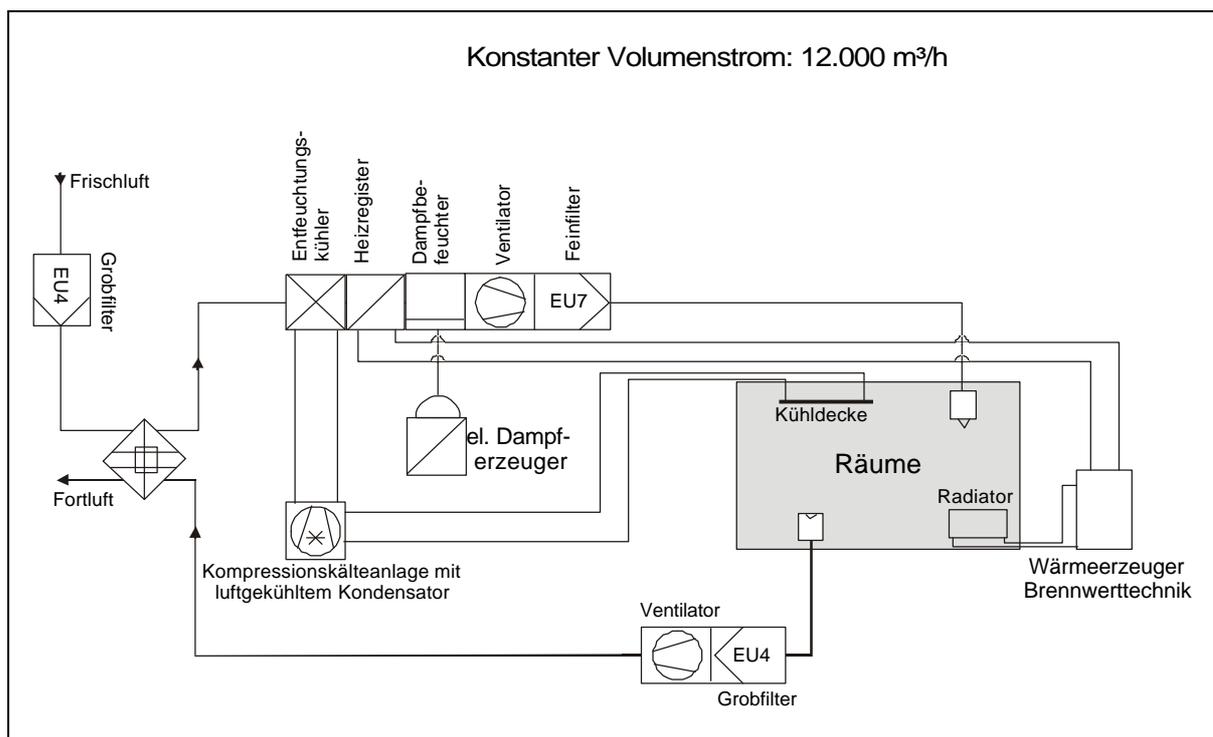


Abb. 13-1: Schematische Darstellung der HLK-Anlage des Niedrigenergie-Bürogebäudes<sup>klim.</sup>

### A-13.2 Heizungsanlage

Wie in Abschnitt A-10.2 für das Passiv-Bürogebäude<sup>klim.</sup> beschrieben.

### A-13.3 Lüftungsanlage und Wärmerückgewinnung

#### A-13.3.1 Luftwechsel

Der Luftwechsel wird während der Nutzungszeit über eine Zu- und Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung realisiert. Sie fördert einen konstanten Volumenstrom. Dieser entspricht in den Büros dem hygienischen Mindestaußenluftwechsel nach Abschnitt A-10.3.1 von  $1,3 \text{ h}^{-1}$ .

Nachtlüftung ist wie in Abschnitt A-10.3 beschrieben möglich. Der maximale Luftwechsel beträgt ebenfalls  $1,3 \text{ h}^{-1}$ .

In den innenliegenden Fluren und Nebenräumen wird über die gesamte Betriebszeit ein Luftwechsel von  $n_f=0,4 \text{ h}^{-1}$  realisiert.

In allen Fällen addiert sich zu dem mechanisch erzeugten Luftwechsel ein Luftwechsel über Fugenundichtigkeiten, der sich nach dem Standard des Baukörper richtet. In Tab. 13-1 wird dieser für das Niedrigenergiehaus mit 0,1 pro Stunde (siehe Abschnitt A-11.4) angesetzt.

Nutzungszone	Lüftungsanlage $\text{h}^{-1}$	Undichtigkeiten (NEH) $\text{h}^{-1}$	Luftwechsel gesamt $\text{h}^{-1}$
Büro	1,3	0,1	1,4
Flur	0,4	0,1	0,5
Nebenräume	0,4	0,1	0,5

**Tab. 13-1: Luftwechsel während der Betriebszeit im Niedrigenergie-Bürogebäude<sup>klim.</sup>**

#### A-13.3.2 Wärmerückgewinnung

Die Wärmerückgewinnung weist eine Rückwärmzahl von 0,6 auf. Die Temperaturerhöhung des Luftstroms durch die Zu- und Abluftventilatoren wird in dem Simulationsprogramm gesondert gerechnet, ist also in der Rückwärmzahl nicht enthalten. Die Wärmerückgewinnungsanlage wird so geregelt, dass die zuluftseitige Austrittstemperatur auf einem Sollwert von  $18^\circ\text{C}$  gehalten wird (siehe auch Abschnitt A-10.3.2).

### A-13.3.3 Ventilatoren und Druckverlust

Ventilator und Pressung der einzelnen Komponenten entsprechen den Angaben aus Abschnitt A-10.3.3 für das Passiv-Bürogebäude<sup>klim.</sup>. Abweichungen ergeben sich beim Deckenauslass und dem Erdreichwärmetauscher. Als Deckenauslass kann aufgrund des konstanten Volumenstroms ein Gerät mit einem geringeren Druckverlust von nur 60 Pa eingesetzt werden. Ein Erdreichwärmetauscher ist nicht vorhanden. Für die Pressung auf der Zu- und Abluftseite ergeben sich damit folgende Größen:

Gesamtdruckdifferenz bei 1,3-fachem Luftwechsel (Zuluft):	630 Pa
Gesamtdruckdifferenz bei 1,3-fachem Luftwechsel (Abluft):	400 Pa

### A-13.4 Kälteanlage

Die Kälte wird in die Büros mittels einer Kühldecke eingebracht. Die Kühldecke weist bei der Wärmeübertragung einen Strahlungsanteil von 50 % auf. Der Verteilungswirkungsgrad des Rohrnetzes ist mit 90 % angesetzt.

Die Modellierung der Kälteanlage selbst geschieht wie in Abschnitt A-10.4 für das Passiv-Bürogebäude<sup>klim.</sup> beschrieben.

### A-13.5 Be- und Entfeuchtung

Wie in Abschnitt A-10.5 für das Passiv-Bürogebäude<sup>klim.</sup> beschrieben.

## A-14 Standard-Bürogebäude<sup>klim.</sup> / Baukörper

### A-14.1 Geometrie

Wie in Abschnitt A-8.1 für das Passiv-Bürogebäude<sup>klim.</sup> beschrieben.

### A-14.2 Materialaufbau der Bauteile

Der thermische Standard der Außenbauteile entspricht den Anforderungen der seit 1995 gültigen Wärmeschutzverordnung. Die Dämmstoffdicken und k-Werte der einzelnen Bauteile sind in Tab. 14-1 definiert. Mit Ausnahme der Dämmstoffdicken entsprechen die Bauteile den in Abschnitt A-8.2 dargestellten Konstruktionen.

	Dämmstoffdicke cm	U-Wert W/(m <sup>2</sup> K)
Außenwand	6	0,54
Dach	12	0,3
Kellerdecke	4	0,64
Fenster	g-Wert (Verglasung) = 0,63	1,8

**Tab. 14-1: Dämmstoffdicken und U-Werte für das Standard-Bürogebäude<sup>klim.</sup>**

Der g-Wert der Verglasung bei senkrechtem Strahlungseinfall beträgt  $g=0,63$ . Noch nicht berücksichtigt ist dabei der Rahmenanteil von 30 % sowie der Korrekturfaktor für die Verschmutzung von 0,9 und für die Verschattung von 0,84.

Im Bereich der Geschossdecken wird abweichend zum Passiv- oder Niedrigenergie-Bürogebäude<sup>klim.</sup> eine abgehängte Decke angenommen. Dadurch reduziert sich die dem Raum zur Verfügung stehende thermische Speichermasse.

### A-14.3 Sonnenschutz

Wie in Abschnitt A-0 für das Passiv-Bürogebäude<sup>klim.</sup> beschrieben.

### A-14.4 Luftdichtheit der Gebäudehülle

Es wird angenommen, dass die Gebäudehülle ohne besondere Sorgfalt im Bereich der Dichtheit ausgeführt ist. Der Luftwechsel über Fugen und Undichtigkeiten wird mit einem üblichen Wert von 0,2 pro Stunde angenommen. Dieser Wert ergibt sich nach dem in der EN 832 angegebenen Berechnungsverfahren für ein Gebäude, das bei der Blower-Door-Messung (Unterdruck von 50 Pa) einen Luftwechsel von etwa  $n_{50} < 2 \text{ h}^{-1}$  aufweist.

## A-15 Standard-Bürogebäude<sup>klim.</sup> / Nutzung

### A-15.1 Nutzungszonen

Wie in Abschnitt A-9.1 für das Passiv-Bürogebäude<sup>klim.</sup> beschrieben.

### A-15.2 Nutzungszeit und Betriebszeit

Wie in Abschnitt A-9.2 für das Passiv-Bürogebäude<sup>klim.</sup> beschrieben.

### A-15.3 Anforderungen an das Raumklima

Wie in Abschnitt A-9.3 für das Passiv-Bürogebäude<sup>klim.</sup> beschrieben.

### A-15.4 Interne Wärmequellen

#### A-15.4.1 Beleuchtung

Die Büros sind in dem Standard-Bürogebäude<sup>klim.</sup> mit einem kostengünstigen, aber nicht energie-effizienten Beleuchtungssystem, ausgerüstet (siehe Seminarband "Besseres Licht mit weniger Strom" [IPH 1998]). Eingesetzt sind 18 Watt Leuchtstofflampen in Stabform mit konventionellem Vorschaltgerät. Der Leuchtenwirkungsgrad beträgt 71 %.

Wie beim Niedrigenergie-Bürogebäude<sup>klim.</sup> wird eine Normbeleuchtungsstärke von 500 Lux auf der gesamten Bürofläche angesetzt. Eine Beleuchtungssteuerung ist nicht vorgesehen. Bei Einsatz eines derartigen Beleuchtungssystems ergibt sich eine maximale Wärmeabgabe der Beleuchtung von 27 W/m<sup>2</sup>. Da keine Beleuchtungssteuerung vorgesehen ist, wird der Vollbetriebszeitfaktor entsprechend [IPH 1998] mit 0,6 angenommen.

Standard-Bürogebäude <sup>klim.</sup>	
Beleuchtungsstärke in Lux	500
Raumindex	1,2
Raumwirkungsgrad	0,65
Leuchtenwirkungsgrad	0,7
Leistung Lampe/Vorschaltgerät in Watt	3 x 18 /3
maximale Anschlussleistung in W/m <sup>2</sup>	27
Beleuchtungssteuerung	nein
Vollbetriebszeitfaktor	0,6
Volllaststunden in h/a	1650

**Tab. 15-1: Kennwerte des Beleuchtungssystems im Standard-Bürogebäude<sup>klim.</sup>**

### A-15.4.2 Arbeitsgeräte

Die Ausstattung der Arbeitsplätze mit Arbeitshilfen entspricht der des Passiv-Bürogebäudes<sup>klim.</sup> (Abschnitt A-9.4.1). Es wird ein mittlerer Stromverbrauch für die Arbeitshilfen angenommen. Für die Computer wird ein Stromverbrauch entsprechend VDI 2078 berücksichtigt. Kopierer, Fax und Laserdrucker werden mit 150 % des Grenzwertes der Gesellschaft EnergieLabel Deutschland [GED 1998] angesetzt. Damit ergibt sich folgendes Bild bezüglich der maximalen Leistungsaufnahme.

	Betrieb Watt	Standby Watt	Aus Watt
Computer	200	35	7,5
Kopierer (25 Seiten pro Min)		144	7,5
Drucker (Laser)		24	4,5
Fax		6	

**Tab. 15-2: Maximale Leistungsaufnahme der Arbeitshilfen im Standard-Bürogebäude<sup>klim.</sup>**

Unter Berücksichtigung des Vollbetriebszeitfaktors ergibt sich während der Nutzungszeit die in Tab. 12-3 dargestellte flächenspezifische Wärmelast in den Büros.

	Maximale Wärmeabgabe [W/m <sup>2</sup> ]	Vollbetriebszeit- faktor Standard-BG.	Volllaststunden h/a	mittlere Wärmeabgabe [W/m <sup>2</sup> ]
Personen	5,6	0,8	2200	4,5
Beleuchtung	27,1	0,6	1650	16,3
Arbeitshilfen	14,5	0,42	1155	5,8
<b>Summe</b>	<b>47</b>			<b>26</b>

**Tab. 15-3: Interne Wärmelasten im Standard-Bürogebäude<sup>klim.</sup>**

### A-15.4.3 Außerhalb der Betriebszeit

Auch hier wird ein Stromverbrauch von 150 % des entsprechenden Grenzwertes der Gesellschaft EnergieLabel Deutschland [GED 1998] angesetzt.

	max. Stromverbrauch im aus- geschalteten Zustand
PC ohne Bildschirm	7,5 Watt
Kopierer	7,5 Watt
Drucker	4,5 Watt
Faxgerät (läuft durch)	6 Watt

**Tab. 15-4: Stromverbrauch der abgeschalteten Arbeitshilfen im Standard-Bürogebäude<sup>klim.</sup>**

#### **A-15.4.4 Flur und Nebenräume**

In den Fluren und Nebenräumen wird nur Beleuchtungsabwärme frei. Als Beleuchtungssystem kommt das in Tab. 15-1 beschriebene System zum Einsatz. Die maximale Beleuchtungsstärke beträgt 100 Lux. Damit ergibt sich eine maximale Wärmeabgabe durch die Beleuchtung von 7,3 W/m<sup>2</sup>.

#### **A-15.5 Kalender**

Wie in Abschnitt A-9.5 für das Passiv-Bürogebäude<sup>klim.</sup> beschrieben.

#### **A-15.6 Klima**

Wie in Abschnitt A-9.6 für das Passiv-Bürogebäude<sup>klim.</sup> beschrieben.

## A-16 Standard-Bürogebäude<sup>klim.</sup> / HLK-Anlage

### A-16.1 Gesamtkonzept der HLK-Anlage

Die Heizungs-, Lüftungs- und Klimaanlage im Standard-Bürogebäude<sup>klim.</sup> entspricht weitgehend der des Niedrigenergie-Bürogebäudes<sup>klim.</sup>. Im Unterschied hierzu ist jedoch keine Wärmerückgewinnung vorgesehen. Ein Anlagenschema zeigt .

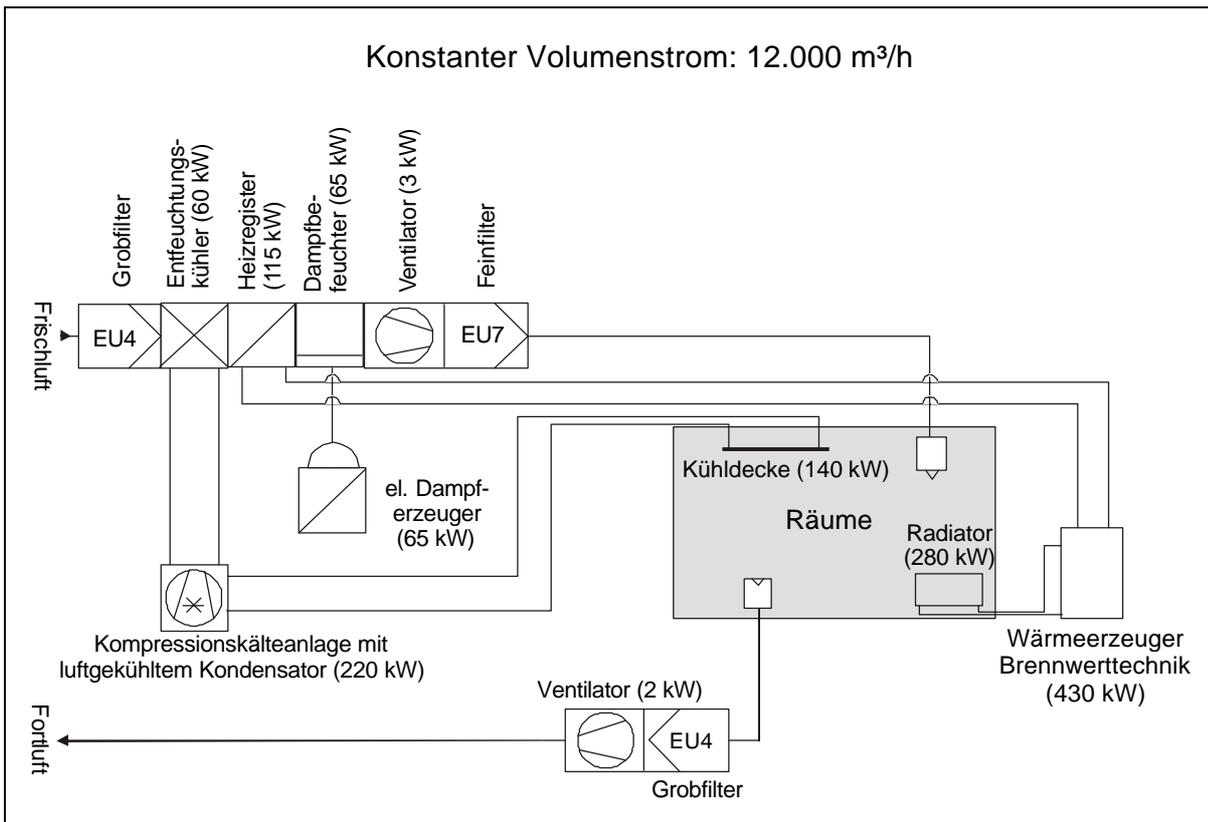


Abb. 16-1: Schematische Darstellung der HLK-Anlage des Standard-Bürogebäudes<sup>klim.</sup>

### A-16.2 Heizungsanlage

Wie in Abschnitt A-10.2 für das Passiv-Bürogebäude<sup>klim.</sup> beschrieben.

### A-16.3 Lüftungsanlage und Wärmerückgewinnung

#### A-16.3.1 Luftwechsel

Der mechanische Luftwechsel entspricht den Angaben aus A-13.3.1 für das Niedrigenergie-Bürogebäude<sup>klim.</sup>.

Zu dem mechanisch erzeugten Luftwechsel addiert sich ein Luftwechsel über Fugendichtigkeiten, der sich nach dem Standard des Baukörpers richtet. In Tab. 16-1 wird der Luftwechsel des Standard-Bürogebäudes<sup>klim.</sup> mit 0,2 pro Stunde (siehe Abschnitt A-14.4) angenommen.

Nutzungszone	Lüftungsanlage h <sup>-1</sup>	Undichtigkeiten (NEH) h <sup>-1</sup>	Luftwechsel gesamt h <sup>-1</sup>
Büro	1,3	0,2	1,5
Flur	0,4	0,2	0,6
Nebenräume	0,4	0,2	0,6

**Tab. 16-1: Luftwechsel während der Betriebszeit im Standard-Bürogebäude<sup>klim.</sup>**

### A-16.3.2 Wärmerückgewinnung

Es ist keine Wärmerückgewinnung vorgesehen.

### A-16.3.3 Ventilatoren und Druckverlust

Durch den Verzicht auf die Wärmerückgewinnung sinkt der von den Ventilatoren zu überwindende Druckverlust auf der Zu- und Abluftseite jeweils um 100 Pascal.

Gesamtdruckdifferenz bei 1,3-fachem Luftwechsel (Zuluft): 530 Pa  
Gesamtdruckdifferenz bei 1,3-fachem Luftwechsel (Abluft): 300 Pa

### A-16.4 Kälteanlage

Wie in Abschnitt A-13.4 für das Niedrigenergie-Bürogebäude<sup>klim.</sup> beschrieben.

### A-16.5 Be- und Entfeuchtung

Wie in Abschnitt A-10.5 für das Passiv-Bürogebäude<sup>klim.</sup> beschrieben.

## A-17 Büro-Altbau Baukörper

### A-17.1 Geometrie

Wie in Abschnitt A-8.1 für das Passiv-Bürogebäude<sup>klim.</sup> beschrieben.

### A-17.2 Materialaufbau der Bauteile

Der thermische Standard der Außenbauteile wird entsprechend dem Standard der Kategorie B der Typologie für Nichtwohngebäude [Gierga 1994] angenommen. In dieser Gruppe sind Gebäude mit Baujahr 1952 bis 1977 zusammengefasst. Die U-Werte der einzelnen Bauteile zeigt Tab. 17-1.

	k-Wert W/(m <sup>2</sup> K)
Außenwand	1,56
Dach	1,0
Kellerdecke	1,0
Fenster	2,8

**Tab. 17-1: U-Werte für den Büro-Altbau**

Der g-Wert des Fensters beträgt  $g=0,74$ . Noch nicht berücksichtigt sind dabei der Rahmenanteil von 30 % sowie die Reduktionsfaktoren für Verschmutzung von 0,9 und für Verschattung von 0,84.

Im Bereich der Geschossdecken wird wie im Standard-Bürogebäude<sup>klim.</sup> eine abgehängte Decke angenommen.

### A-17.3 Sonnenschutz

Wie in Abschnitt A-0 für das Passiv-Bürogebäude<sup>klim.</sup> beschrieben.

### A-17.4 Luftdichtheit der Gebäudehülle

Für den Büro-Altbau wird ein Luftwechsel über Fugen und Undichtigkeiten von 0,3 pro Stunde angenommen. Dieser Wert ist eine Abschätzung für ein undichtes Gebäude.

## **A-18 Büro-Altbau / Nutzung**

### **A-18.1 Nutzungszonen**

Wie in Abschnitt A-9.1 für das Passiv-Bürogebäude<sup>klim.</sup> beschrieben.

### **A-18.2 Nutzungszeit und Betriebszeit**

Wie in Abschnitt A-9.2 für das Passiv-Bürogebäude<sup>klim.</sup> beschrieben.

### **A-18.3 Anforderungen an das Raumklima**

Da keine Lüftungs- und Klimaanlage vorgesehen ist, sondern über Fenster gelüftet wird, können keine Anforderungen an die maximale Raumtemperatur sowie an die Raumlufffeuchte gestellt werden. Die minimale Raumtemperatur beträgt in den Büros während der Betriebszeit 22°C. Flure und Nebenräume werden auf 20°C beheizt. Außerhalb der Betriebszeit wird eine Absenkung des Temperatur-Sollwertes auf 15°C vorgenommen.

### **A-18.4 Interne Wärmequellen**

#### **A-18.4.1 Beleuchtung**

Die Beleuchtungsanlage entspricht der des Standard-Bürogebäude<sup>klim.</sup> (siehe Abschnitt A-15.4.1).

Die maximale Beleuchtungsstärke wird bei dem Büro-Altbau mit 300 Lux angesetzt. Dies entspricht der früher erforderlichen Beleuchtungsstärke für tageslichtorientierte Arbeitsplätze.

Eine Beleuchtungssteuerung ist nicht vorgesehen. Damit ergibt sich nach [IPH 1998] ein Vollbetriebszeitfaktor von 0,6.

Alle weiteren Angaben entsprechen denen des Passiv-Bürogebäudes wie in Abschnitt A-9.4.1 beschrieben. Die wichtigsten Kenndaten des Beleuchtungssystems des Büro-Altbaus zeigt Tab. 18-1.

Büro-Altbau	
Beleuchtungsstärke in Lux	300
Raumindex	1,2
Raumwirkungsgrad	0,65
Leuchtenwirkungsgrad	0,7
Leistung Lampe/Vorschaltgerät in Watt	3 x 18 /3
maximale Anschlussleistung in W/m <sup>2</sup>	27,1
Beleuchtungssteuerung	nein
Vollbetriebszeitfaktor	0,6
Volllaststunden in h/a	1650

**Tab. 18-1: Kennwerte des Beleuchtungssystems im Büro-Altbau**

#### **A-18.4.2 Arbeitsgeräte**

Wie in Abschnitt A-15.4.2 für das Standard-Bürogebäude<sup>klim.</sup> beschrieben.

#### **A-18.4.3 Außerhalb der Betriebszeit**

Wie in Abschnitt A-15.4.3 für das Standard-Bürogebäude<sup>klim.</sup> beschrieben.

#### **A-18.4.4 Flur und Nebenräume**

Wie in Abschnitt A-15.4.4 für das Standard-Bürogebäude<sup>klim.</sup> beschrieben.

#### **A-18.5 Kalender**

Wie in Abschnitt A-9.5 für das Passiv-Bürogebäude<sup>klim.</sup> beschrieben.

#### **A-18.6 Klima**

Wie in Abschnitt A-9.6 für das Passiv-Bürogebäude<sup>klim.</sup> beschrieben.

## A-19 Büro-Altbau / HLK-Anlage

### A-19.1 Heizungsanlage

Vorgesehen ist ein Konstanttemperaturkessel mit einem Teillastverhalten entsprechend Abb. 10-2. Die Bereitschaftsverluste betragen 1 % der Nennwärmeleistung. Dies entspricht nach VDI 3808 einem ca. 20 Jahre alten Gaskessel (Baujahr 1977).

### A-19.2 Büro-Altbau / Fensterlüftung

Im Büro-Altbau ist keine mechanische Lüftungsanlage vorgesehen, sondern die erforderliche Frischluftversorgung wird über das Öffnen der Fenster realisiert.

Die Luftwechsel bei Fensterlüftung können in Simulationsberechnungen nur abgeschätzt werden. Problematisch ist dabei nicht so sehr die Berechnung des Luftvolumenstroms über ein geöffnetes Fenster. Hierzu besitzt das Programm TAS, wie auch andere Simulationsprogramme, ein integriertes Rechenmodul, mit dem die Gebäudedurchströmung bei geöffneten Fenstern abhängig von einer Vielzahl von Randbedingungen und gekoppelt mit der thermischen Simulation bestimmt wird [TAS Theory Manual]. Problematisch ist die Quantifizierung der Öffnungszeiten und Öffnungsstellungen der Fenster, die dem Programm vorgegeben werden müssen. Diese Größen werden stark von dem Nutzerverhalten beeinflusst. Hilfreich für eine genauere Abbildung wären statistische Untersuchungen zur Häufigkeit und zu den Gründen für das Öffnen von Fenstern in Büroräumen, die derzeit jedoch noch nicht vorliegen.

Für diese Untersuchung wird ein Nutzer unterstellt, der die Öffnungsstellung des Fensters in Abhängigkeit von der Außenlufttemperatur, der Windgeschwindigkeit und der Raumtemperatur variiert. Auch wenn das tatsächliche Nutzerverhalten eine hohe stochastische Komponente besitzt, hat die Verwendung eines funktionalen Ansatzes den Vorteil, dass die Öffnungsstellungen reproduzierbar sind. Auch können gewisse Kopplungen abgebildet werden. So wird im vorliegenden Fall berücksichtigt, dass an kalten Tagen weniger, an wärmeren Tagen mehr und bei Anstieg der Raumtemperatur über 22°C viel gelüftet wird.

Die Veränderung der Öffnungsweite der Fenster ist programmtechnisch erforderlich, da der Berechnungszeitraum in den Simulationsrechnungen immer eine Stunde beträgt. In der Realität wird sich natürlich nicht die Öffnungsweite (bei konstanter Öffnungszeit) sondern die Öffnungszeit (bei konstanter Öffnungsweite = gekipptes Fenster) ändern. In erster Näherung kann für die Interpretation jedoch davon ausgegangen werden, dass nur das Produkt aus Öffnungszeit und Öffnungsweite den Volumenstrom bestimmt. Eine Öffnungsstellung von 50 % des maximalen Wertes für 60 Minuten entspricht somit einer Öffnungszeit von 30 Minuten bei 100 % geöffnetem Fenster.

Bei der Interpretation der Ergebnisse muss bedacht werden, dass mit dem hier implementierten funktionalen Ansatz ein sehr intelligentes Fensterlüftungsverhalten vorgegeben wird. Ein Abbilden dieses Ansatzes ist in der Realität nur über eine Regelung in Verbindung mit Stellmotoren an den Fenstern möglich.

Zur Beschreibung der Öffnungsstellung werden zwei Fälle unterschieden:

Standardfall: Hier liegt die Raumtemperatur bei 22°C

Sommerfall: Hier ist die Raumtemperatur aufgrund interner und externer Wärmelasten über 22°C angestiegen.

### Standardfall

Der Standardfall entspricht in der Regel dem Heizbetrieb. Die Öffnungsstellung wird abhängig von der Außentemperatur variiert. Dabei werden drei Temperaturbereiche unterschieden, für die jeweils eine konstante Fenster-Öffnungsstellung angenommen wird.

Bereich I	umfasst Außentemperaturen unter 0°C	$T_A \leq 0^\circ\text{C}$
Bereich II	umfasst Außentemperaturen zwischen 0°C und 10°C	$0 < T_A \leq 10^\circ\text{C}$
Bereich III	umfasst Außentemperaturen über 10°C	$T_A > 10^\circ\text{C}$

Die Öffnungsstellung der Fenster wird so gewählt, dass bei einer für den Bereich spezifischen Außentemperatur, einer Windgeschwindigkeit von 3 m/s und einer senkrechten Anströmung der Fassade ein Mindestluftwechsel in den Büros von ca.  $1 \text{ h}^{-1}$  gewährleistet ist. Als spezifische Temperatur wird für den Bereich I -12°C angenommen, für den Bereich II 10°C und den Bereich III 20°C. Bei einer derartigen Wahl der Außentemperatur ergeben sich aufgrund der thermischen Effekte folgende Tendenzen:

- bei Außentemperaturen unterhalb von 0°C liegt der Luftwechsel tendenziell unter dem Mindestluftwechsel von  $1 \text{ h}^{-1}$ .
- oberhalb von 0°C liegt der Luftwechsel tendenziell über dem Wert des Mindestluftwechsels von  $1 \text{ h}^{-1}$ .

Steigt die Windgeschwindigkeiten über 7 m/s an, werden die Fenster geschlossen.

In den Nebenräumen wird während der Nutzungszeit eine konstante Fensteröffnungsstellung angenommen, die der Stellung in Büros im Temperaturbereich von  $0 < T_A \leq 10^\circ\text{C}$  entspricht. Die innenliegenden Flure werden nicht direkt über die Fenster gelüftet. Hier wird ausschließlich der Luftwechsel über Fugenlüftung angesetzt, der sich für den jeweiligen Baukörper-Standard ergibt.

## Sommerfall

Der Sommerfall umfasst Zustände, bei denen die Raumtemperatur aufgrund von hohen inneren und äußeren Wärmelasten über 22°C ansteigt. Da es hier um das Weglüften von Überhitzungen geht, wird die Öffnungsstellung individuell abhängig von der Außentemperatur, der Windgeschwindigkeit und der Raumtemperatur berechnet. Als Führungszone werden die Südbüros verwendet.

Die Öffnungsstellung wird entsprechend folgender Bedingung bestimmt:

Die zulässige Öffnungsweite ist eine Funktion der Windgeschwindigkeit. Liegt die Windgeschwindigkeit unterhalb einer Grenzgeschwindigkeit  $v_{\min}$ , kann das Fenster maximal geöffnet werden. Liegt die Windgeschwindigkeit oberhalb einer Maximalgeschwindigkeit  $v_{\max}$ , kann das Fenster nicht mehr geöffnet werden. Für Windgeschwindigkeiten  $v_{\min} < v < v_{\max}$  wird die maximale Öffnungsweite des Fensters linear interpoliert.

Die tatsächliche Öffnungsweite des Fensters wird abhängig von der Raumtemperatur bestimmt, wobei die Variation nur zwischen geschlossenem Fenster und zulässiger Öffnungsweite (je nach aktueller Windgeschwindigkeit) erfolgen kann. Zur Berechnung der tatsächlichen Öffnungsweite wird ein Temperaturintervall angegeben, innerhalb dem die Raumtemperatur durch die Öffnungsstellung des Fensters gehalten werden soll, z. B. 22°C ( $T_{\min}$ ) bis 26°C ( $T_{\max}$ ). Liegt die Temperatur unter 22°C, ist das Fenster geschlossen. Oberhalb von 26°C ist das Fenster maximal geöffnet (max. Öffnungsstellung abhängig von Windgeschwindigkeit). Bei Raumtemperaturen zwischen 22°C und 26°C wird die tatsächliche Öffnungsweite kontinuierlich vom geschlossenen Zustand zum maximal geöffneten Zustand angehoben.

Liegt die Außentemperatur  $T_A$  über der Raumtemperatur  $T_R$  werden die Fenster geschlossen, da sonst die Büros mit warmer Außenluft weiter aufgeheizt würden.

Zur Modellierung der Fensterlüftung wurden folgende Annahmen getroffen:

$$T_{\min} = 22^{\circ}\text{C}; T_{\max} = 26^{\circ}\text{C}$$

$$v_{\min} = 5 \text{ m/s}; v_{\max} = 10 \text{ m/s}$$

Für die Berechnung wird angenommen, dass die Fenster nur gekippt werden. Die maximale Öffnungsweite zwischen Blend- und Fensterrahmen beträgt im oberen Fensterbereich ca. 15 cm.

Die Innentüren im Gebäude sind geschlossen, d. h. Querlüftung (Durchzug) tritt nicht auf.

In allen Fällen addiert sich zu dem Luftaustausch über Fensterlüftung ein Luftwechsel über Fugenundichtigkeiten, der sich nach dem Standard des Baukörpers richtet.

Für die so definierte Fensterlüftung ergibt sich im Winterhalbjahr (Anfang Oktober bis Ende März) während der Nutzungszeit ein mittlerer Luftwechsel von  $1,2 \text{ h}^{-1}$  in den Büros. Dabei liegt der Luftwechsel bei Außentemperaturen unter 0°C tendenziell unter, bei Außentemperaturen über 0°C tendenziell über dem angenommenen Mindestluftwechsel von  $1 \text{ h}^{-1}$ .

## A-20 TAS Kurzbeschreibung

Nr.	TAS - THERMAL ANALYSIS SOFTWARE	
1	<b>Modelltyp</b>	dynamisches Mehrzonen-Mehrknotten-Netzwerk-Modell integrierte Module: 3D-TAS, A-TAS, B-TAS
2	<b>Gebäudemodell</b>	gekoppelte Zonenmodelle nach Nr. 3; Kopplung durch Luftbewegung zwischen Zonen, Strahlung durch transparente Bauteile und dynamische Wärmeleitung durch Wände
	Maximalzahl Zonen	60
3	<b>Zonenmodell</b>	ein Raumlufknoten pro Zone (Unterteilung des Raumes in mehrere Zonen möglich), je Oberfläche ein Knoten, getrennte Betrachtung von Strahlung (thermisch, solar) und Konvektion
	Maximalzahl Flächen	120
4	<b>Langwelliger Strahlungsaustausch im Raum</b>	Strahlungsaustausch aller Innenoberflächen nach MRT-Methode, Wichtung der Formfaktoren nach Flächeninhalt, Temperaturabhängigkeit nach <i>Stefan-Boltzmann</i> Gesetz
5	<b>Konvektiver Wärmeübergang im Raum</b>	Annahme freier Konvektion, empirische Ansätze für den Konvektionskoeffizienten in Abhängigkeit von Oberflächen- ausrichtung (vertikal/horizontal/geneigt), Temperaturdifferenz und Richtung des Energiestromes
6	<b>Fenstermodell</b> Thermisch	Temperaturknoten an Innen- und Außenoberflächen der Verglasung (ohne Kapazität), Wärmeübertragung berechnet aus den thermischen Widerständen der einzelnen Schichten, (Leitung im Glas sowie Konvektion und langwellige Strahlung im SZR)
	Kurzwellige Strahlung	Transmission und Scheibenabsorption direkter Sonneneinstrahlung nach <i>Fresnel</i> (abhängig vom Einfallswinkel), diffuser Himmels- und Bodenstrahlung sowie diffuser Rückstrahlung mit Betrachtung der Mehrfachreflexionen
7	<b>Kurzwellige Strahlung im Raum</b>	direkte Strahlverfolgung, Verteilung diffuser Strahlung mittels Formfaktoren, Transmission der Strahlung durch transparente Elemente in bis zu 4 Zonen verfolgt, diffuse Reflexion an Innenoberflächen
8	<b>Wandmodell</b>	eindimensionale dynamische Wärmeleitung nach Response-Faktoren Methode
	Maximalzahl Schichten	12

9	<b>Lüftungsmodell</b>	Infiltration pauschal mit Luftwechselzahlen, lineare Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit optional, Ventilation mittels Klimaanlage in B-TAS oder LWZ, gerichtete Luftmassenströme zwischen Zonen
10	<b>Wandaußen- oberflächen Konvektion</b>	empirischer Ansatz mit Berücksichtigung der Windgeschwindigkeit
	Langwelliger Strahlungsaustausch	Oberflächen im Strahlungsaustausch mit Himmel und Boden, empirische Ansätze für Himmels- und Bodenstrahlung, Emissionen nach <i>Stefan-Boltzmann</i> Gesetz
	Kurzwellige Strahlungsabsorption	konstanter isotroper Absorptionskoeffizient des opaken Materials (benutzerdefiniert), Verschattung direkter Strahlung durch Umgebung
11	<b>Klimadaten</b>	Einlesen stündlicher Daten aus einem Klimadatensatz (Testreferenzjahr, Meßdaten, benutzerdefiniert) <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lufttemperatur, • relative Luftfeuchte,</li> <li>• Globalstrahlung, • Diffusstrahlung,</li> <li>• Sonnenscheindauer, • Windgeschwindigkeit</li> </ul>
12	<b>Verschattungselemente für Solarstrahlung</b>	Jalousien als Konstruktionselemente, zeitliche Verschattungssteuerung, Überhänge und Nischen als Rechtecke mit Neigungswinkel, alle Elemente mit Transmissionsgrad
13	<b>Interne Wärmequellen</b>	Personen und elektr. Geräte mit Unterteilung in sensible und latente Wärme, Beleuchtung, Heizung, Kühlung; jeweils Strahlungsanteil zuweisbar
14	<b>Heizsystem</b>	detailliert in B-TAS, pauschal durch Angabe konstanter Leistung oder Regelung nach Raumtemperaturen, Strahlungsanteil zuweisbar
15	<b>Mathematische Lösungsverfahren in Wandmodell</b>	eindimensional nach Response-Faktoren Methode
	Raummodell	Bilanzierung der Innen- und Außenoberflächen-, MRT- und Raumlufknoten, Schrittweite 1h, iterative Lösung der Gesamtbilanz in Matrizenform
	Gebäudemodell	iterativ, zonenweise, Schrittweite 1h