

# Sommerlicher Kühlbedarf gut wärmegeprägter Gebäude\*

Uwe Franzke, Dresden

Der aktuelle Entwurf der Energieeinsparverordnung (EnEV) lag schon seit Herbst 2000 vor. Jetzt ist sie ein zur Handlung zwingendes Gesetz. Neu, im Vergleich zur Wärmeschutzverordnung 95 ist u. a., daß nicht mehr ein Jahres-Heizwärmebedarf, sondern ein Primärenergiebedarf des Gebäudes vorgegeben wird. Dabei bleibt noch die notwendige Kälteversorgung unberücksichtigt. Im vorliegenden Beitrag geht es nicht um eine Bewertung oder Kritik der EnEV, sondern es soll versucht werden, die Auswirkungen der EnEV auf die Einbindung von Split- und Multisplit-Klimasystemen zu untersuchen.

Ausgangspunkt dafür ist die Berechnung des Jahresenergiebedarfes des Gebäudes ohne Berücksichtigung der Anlagentechnik. Die Tabelle 1 vermittelt

einen Detaileindruck der Veränderungen der bauphysikalischen Randbedingungen von einem „normalen“ Gebäude hin zu einem Niedrigenergiehaus.

Bauteil	maximaler Wärmedurchgangskoeffizient W/m <sup>2</sup> K		
	WSVO 1982	WSVO 1995	EnEV 2000
Außenwände	0,6	0,5	0,45
Außenliegende Fenster	Doppel- oder Isolierverglasung	1,8	1,7
Decken unter nicht ausgebauten Dachräumen	0,45	0,3	0,3
Kellerdecken und Decken gegen Erdreich	0,7	0,5	0,4 0,5
	Luftwechsel 1/h		
Gebäudedichtheit bei 50 Pa bei normalen Windverhältnissen		keine Vorgabe	3 ⇒ 0,1 bis 0,3
Mindestluftwechsel		0,5 bis 1,0	

Tabelle 1 Vergleich der Wärmedurchgangskoeffizienten der Einzelbauteile

## zum Autor

**Prof. Dr.-Ing. Uwe Franzke,**  
Hauptbereichsleiter Klima- und Energietechnik im Institut für Luft- und Kältetechnik Gemeinnützige Gesellschaft mbH, Dresden



## Berechnungsmodell und Nutzungsbedingungen

Für die Berechnungen des jährlichen Energiebedarfes von Gebäuden können unterschiedliche, auf dem Markt befindliche Simulationsprogramme (TRYNSYS, DOE, BLAST, u. a.) genutzt werden. Die hier vorgestellten Berechnungen wurden mit einem Simulationsprogramm durchgeführt, welches die Algorithmen entsprechend Entwurf VDI 2067 Blatt 10 und 11 nutzt. Ziel ist die Berechnung des Energiebedarfes von Gebäuden einschließlich heizungs- und raumlufttechnischer Anlagen. Dabei wird zwischen Bedarfswerten infolge des Gebäudes, seiner individuellen Nutzung, der Anlagen und der Energieversorgung differenziert. Zur Einhaltung definierter Raumluftzustände müssen am Gebäude Energieströme zu- oder abgeführt werden. Diese Energieströme, über ein Jahr betrachtet, werden als Energiebedarf des Gebäudes bezeichnet. Der Energiebedarf erfaßt keine Eigenschaften der technischen Anlagen oder der Energieversorgung; er ist eine Eigenschaft des Gebäudes und seiner

\* Als Plenarvortrag gehalten während des Kaut/Sanyo-Meetings am 14. 10. 2001 in Oberwiesenthal.

Nutzung. Auf der Basis eines definierten Nutzens ist der Vergleich entwerflicher und baulicher Lösungen sowie weiterführender Berechnungen des Aufwandes für technische Anlagen und der Energieversorgung möglich.

Während der Gebäude-Grund-Energiebedarf für einheitlich definierte Nutzungsbedingungen – den Grundnutzen – berechnet wird, können für den Gebäude-Energiebedarf individuelle Nutzungsbedingungen veranschlagt werden. Der Grundnutzen, er ist für eine konstante Raumlufttemperatur und ohne Ansatz innerer Gebäudebelastung definiert, führt zu vergleichbaren Energiebedarfswerten. Die Betrachtung des individuellen Nutzens erlaubt u. a. den Ansatz von inneren Lasten, einer veränderlichen Solltemperatur bzw. -feuchte sowie des Luftvolumenstromes als Zeitprofile. Der so berechnete Jahresenergiebedarf ist an das Gebäude mit seiner individuellen Nutzung gebunden.

### Beschreibung der Mustergebäude

Die Gebäude wurden möglichst einfach gewählt. Das Verfahren nach VDI 2067 Blatt 10 ist ein Einzonenmodell. Durch die Betrachtung der Außenwände wird diesem Einzonenmodell Rechnung getragen, auch wenn eine raumweise Berechnung möglich gewesen wäre. Die Ergebnisse bleiben jedoch in der gleichen Größen-

ordnung. Zur Berechnung wurden die in Tabelle 1 beschriebenen Baustoffeigenschaften verwendet. Da die Anwendung der Split- und Multisplit-Klimasysteme mittlerweile in nahezu allen Bereichen der Gebäudenutzung erfolgt und somit auch alle Gebäudeformen betroffen sind, werden zwei prinzipiell unterschiedliche Gebäudetypen untersucht. Zum einen ist das der Hochhaustyp, der sich durch eine quadratische Grundfläche auszeichnet. Für die Berechnungen wurde ein beliebiges Zwischengeschoss gewählt, welches nicht an das Dach angrenzt. Zum anderen ist das der Flachbautyp, der nur ein Geschoß besitzt.

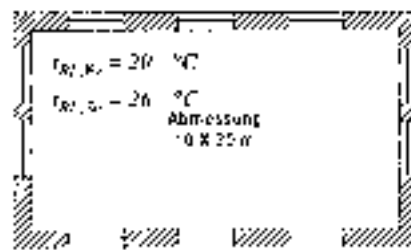


Bild 2 Geometrie des Mustergebäudes, Flachbautyp

### Berechnungsergebnisse – Auslegung Wärmebedarf nach DIN 4701 und Kühllast nach VDI 2078

Die Berechnungsergebnisse zum Wärmebedarf und zur Kühllast sind in Tabelle 2 für einen Fensterflächenanteil von 27 % zusammengefaßt dargestellt. Deutlich sichtbar wird die im Laufe der Jahre vollzogene bessere Wärmedämmung der Gebäude. Der Wärmebedarf hat sich seit der Wärmeschutzverordnung 95 um fast 30 % verringert. Der Hauptgrund dafür liegt

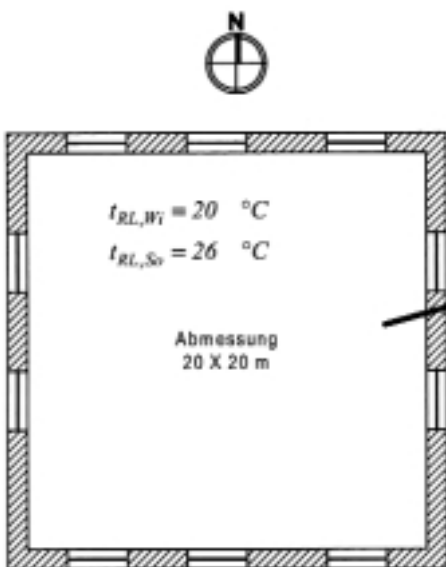


Bild 1 Geometrie des Mustergebäudes, Hochhaustyp



jedoch nicht in der Wärmedämmung; sondern vielmehr in einer dramatischen Verringerung des Luftwechsels von 0,5 auf 0,1 1/h.

Es zeigt sich in Tabelle 2 weiterhin, dass die Kühllast nahezu unverändert geblieben ist. Der größte Unterschied entsteht dadurch, daß der außenliegende Sonnenschutz entsprechend der Gesamtstrahlung unterschiedlich aktiviert wird. Für typische Bürogebäude mit der entsprechenden inneren Last entsprechend Tabelle 4 dominiert insgesamt die Kühllast. Im Vergleich der Varianten der Kühllast für unterschiedliche Luftwechsel zeigt sich, daß die stärkere Lüftung im Sommer zu einer Erhöhung der Kühllast führt.

	WSVO 95 (n=0,5 1/h)	WSVO 95 (n=1,0 1/h)	EnEV 2000 (n=0,1 1/h)	EnEV 2000 (n=0,5 1/h)	EnEV 2000 (n=1,0 1/h)
Wärmebedarf in W/m <sup>2</sup>	44,9	58,5	31,9	42,8	56,4
Kühllast in W/m <sup>2</sup> (kein Sonnen- schutz)	70,5	72,8	69,4	71,2	73,5
Kühllast in W/m <sup>2</sup> (ab 500 W/m <sup>2</sup> )	70,2	72,5	69,1	70,9	73,2
Kühllast in W/m <sup>2</sup> (ganztägig)	52,7	55,1	51,3	53,2	55,7

Tabelle 2 Auslegungsbedingungen für den Flachbautyp  
27 % Fensteranteil

Zeitraum	PC	Beleuchtung	Personen
	W/m <sup>2</sup>	W/m <sup>2</sup>	Anzahl pro m <sup>2</sup>
8.00 bis 18.00	18	12	0.1

Tabelle 3 Nutzungsregime

Einen besonderen Einfluß auf die Kühllast hat bekanntermaßen der Anteil der Fensterflächen. Dazu wurde ebenfalls eine Kühllastberechnung durchgeführt. Der Anteil wurde auf 54 % erhöht.

	Fensterflächen- anteil 27 %	Fensterflächen- anteil 54 %
Kühllast in W/m <sup>2</sup> (kein Sonnenschutz)	71,2	97,3
Kühllast in W/m <sup>2</sup> (Sonnenschutz, ab 500 W/m <sup>2</sup> )	70,9	96,5
Kühllast in W/m <sup>2</sup> (Sonnenschutz, ganztägig)	53,2	61,2

Tabelle 4 Vergleich der Kühllast für unterschiedliche Fensterflächen-  
anteile, EnEV 2000, n = 0,5 1/h, Flachbautyp

Für den Flachbautyp ergibt sich eine Vergrößerung der Kühl-  
last zwischen 15 % und 36 %. Die Veränderungen sind erwar-  
tungsgemäß bei Gebäuden ohne Sonnenschutz am größten.

### Jahresenergiebedarf

Der Jahresenergiebedarf (Bild 4) wurde zunächst ohne innere Lasten aber dem Prinzip der Gebäudesimulation entsprechend mit solaren Gewinnen berechnet. Die Raumlufttemperatur ist für das Berechnungsmodell Grundnutzen mit 22 °C ganzjährig festgelegt. Die Wetterdaten wurden dem TRY05 entnommen. Der Luftwechsel war konstant auf einen Wert von 0,5 1/h ganzjährig festgelegt. Die Frage der ausreichenden Außenluftversorgung zur Sicherstellung der Abfuhr von Feuchtigkeit und Schadstoffen soll nicht diskutiert werden. Demzufolge ist auch keine lüftungstechnische Wärmerückgewinnung berücksichtigt. Die Personenlasten wurden als Gesamtwärmestrom, d. h. der Summe aus latenter und sensibler Wärme, berücksichtigt.

Energetische Verluste, die durch die Erzeugung und Verteilung entstehen, sowie Hilfsenergien und die Heizenergie zur Trinkwassererwärmung wurden ebenfalls nicht berücksichtigt.

Die Berechnungen zum Jahresenergiebedarf wurden im weiteren nur noch für die Varianten 1 bis 3 entsprechen der Tabelle 6 durchgeführt.

Der Heizenergiebedarf im Fall „Grundnutzen“ ist für den Hochhaustyp deutlich geringer als für den Flachbautyp. Im Vergleich zum Heizenergiebedarf ist der Kühlenergiebedarf gering.

In Bild 5 ist für den Kühlenergiebedarf ein Vergleich zwischen Flachbau und Hochhaus dargestellt. Diese Berechnungsergebnisse wurden unter Berücksichtigung der Raumtemperaturen und der inneren Lasten als so genannter Individualnutzen ermittelt. Für beide Gebäudetypen liegt der spezifische Kühlenergiebedarf in der gleichen Größenordnung. Während für die Varianten 1 und 2 der Flachbautyp die größeren Werte für den Kühlenergiebedarf ergibt, zeigt sich bei der Variante 3 (ganzjährig gezogener Sonnenschutz), daß der Kühlenergiebedarf des Hochhaustyps geringfügig größer ist als beim Flachbautyp. Diese Veränderung ist offensichtlich auf die unterschiedliche Wirkung von Transmission und Strahlung zurückzuführen.

In Bild 6 ist ebenfalls auf Basis des Individualnutzens der Vergleich zwischen Flachbau und Hochhaus für den Heizenergiebedarf dargestellt. Die Unterschiede zwischen beiden Gebäudetypen sind besonders groß, da im Fall des Hochhauses ein Zwischengeschoß und im Fall des Flachbaus ein an Dachräume grenzendes Geschoß gerechnet wurde.

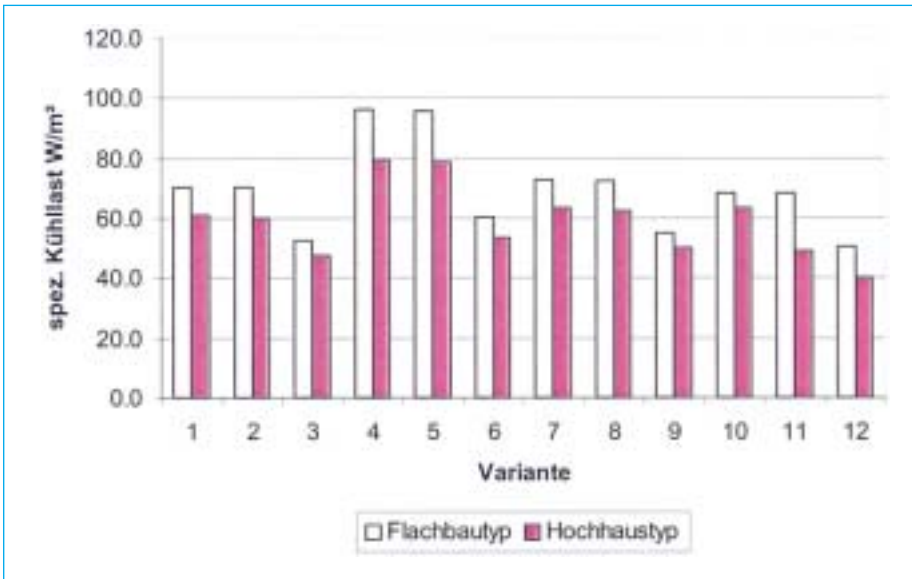


Bild 3 Vergleich der Kühllast zwischen Hochhaustyp (1 Zwischengeschoß) und Flachbautyp

Eine Gegenüberstellung aller Berechnungsvarianten befindet sich in Bild 3. Die Beschreibung der Varianten ist der Tabelle 6 zu entnehmen.

Es zeigt sich in den Berechnungsergebnissen, daß der Hochhaustyp unter den gewählten Randbedingungen in allen Berechnungsvarianten geringere Kühllasten aufweist als der Flachbautyp.

Der Unterschied beträgt zwischen 10 und 29 % bezogen auf die spezifischen Kühllasten des Flachbautyps. Die Ursachen in der großen Differenz bei der Variante 11 liegen offensichtlich darin, daß es aufgrund des eingeschränkten Luftwechsels zu einer Dominanz der Transmissions- bzw. Strahlungswärmeströme kommt und sich die geometrischen Unterschiede zwischen den Gebäudetypen stärker auswirken.

Variante	Fensteranteil	Sonnenschutz	Luftwechsel
	%		1/h
1	27	Keiner	0,5
2	27	außen, gezogen ab 500 W/m <sup>2</sup>	0,5
3	27	außen, gantztägig gezogen	0,5
4	54	keiner	0,5
5	54	außen, gezogen ab 500 W/m <sup>2</sup>	0,5
6	54	außen, gantztägig gezogen	0,5
7	27	keiner	1,0
8	27	außen, gezogen ab 500 W/m <sup>2</sup>	1,0
9	27	außen, gantztägig gezogen	1,0
10	27	keiner	0,1
11	27	außen, gezogen ab 500 W/m <sup>2</sup>	0,1
12	27	außen, gantztägig gezogen	0,1

Tabelle 5 Beschreibung der Varianten

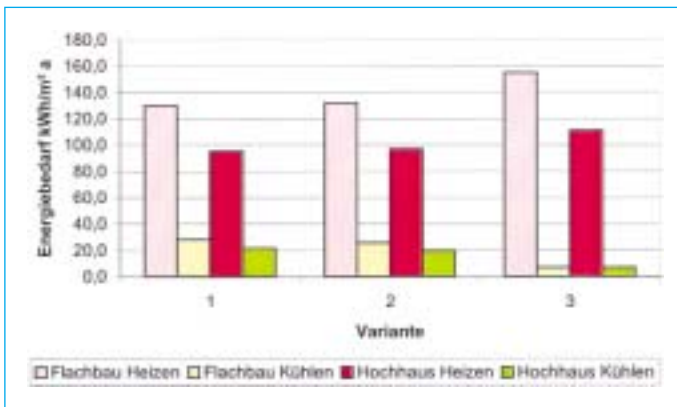


Bild 4 Energiebedarf für Grundnutzen nach VDI 2067, Variantenbezeichnung nach Tabelle 5

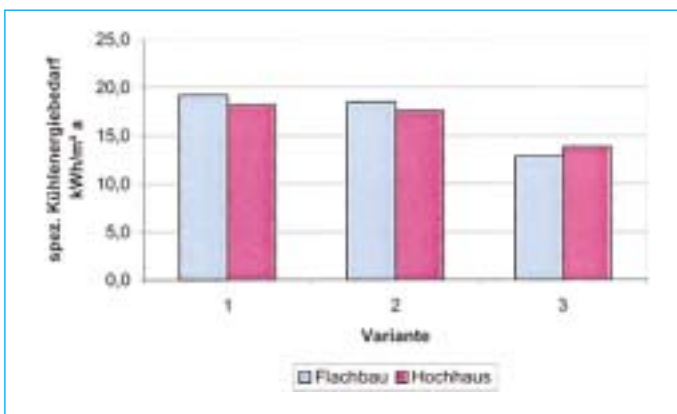


Bild 5 Vergleich des Kühlenergiebedarfes entsprechend EnEV 2000 zwischen Flachbau und Hochhaus, Varianten nach Tabelle 5

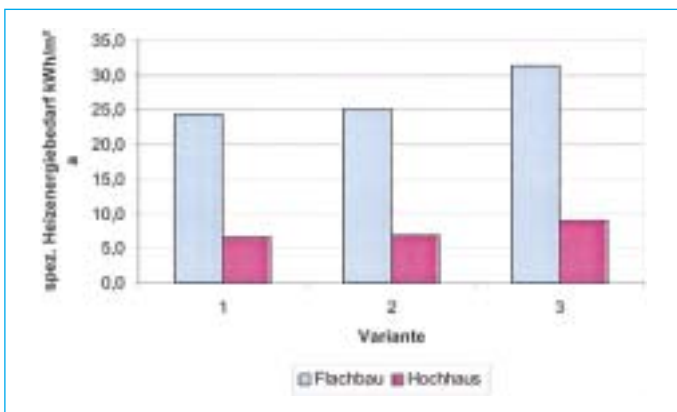


Bild 6 Vergleich des Heizenergiebedarfes entsprechend EnEV 2000 zwischen Flachbau und Hochhaus, Varianten nach Tabelle 5

Während für den Kühlenergiebedarf die Werte von Grund- und Individualnutzen in der gleichen Größenordnung sind, ist für den Heizenergiebedarf der deutliche Einfluß der inneren Lasten und der Personen zu sehen.

Die bisher dargestellten Ergebnisse für den Kühlenergiebedarf beinhalten auch den latenten Anteil, der aus der Wasserdampf-abgabe der Personenlast resultiert.



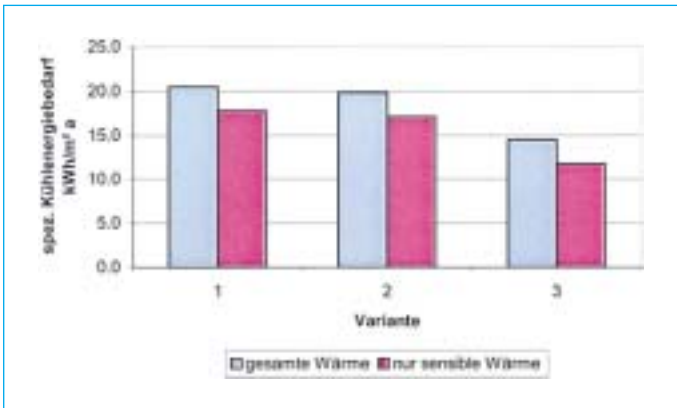


Bild 7 Vergleich des Kühlenergiebedarfes für den Flachbau, Varianten gemäß Tabelle 5

Im Bild 7 ist ein Vergleich für den Kühlenergiebedarf mit und ohne Berücksichtigung des latenten Anteils dargestellt. Diese Berechnungen wurden für einen einfachen Luftwechsel durchgeführt. Die anderen Randbedingungen entsprechen den Varianten 1 bis 3 der Tabelle 6. Die Differenz liegt in der Größenordnung von bis zu 23 %.

Für die richtige Dimensionierung der Kälteanlage ist neben der richtigen Last vor allem auch die Außenluftaufbereitung zu berücksichtigen. Es gilt:

$$\dot{Q}_O = \dot{Q}_{\text{Kühllast}} + \dot{Q}_{\text{Außenluftaufbereitung}}$$

Die daraus resultierende Kälteleistung wird wesentlich stärker bei der Betrachtung mit und ohne Entfeuchtung differieren.

### Raumlufttemperaturen

Die Auswirkung des Verzichts auf Kühlung im Bürobereich kann aus Bild 8 entnommen werden. Dargestellt ist die Häufigkeit bestimmter Raumlufttemperaturen, wenn keine Kühlung erfolgt. Der Luftwechsel wurde auf 0,5 1/h festgelegt. Der äußere Sonnenschutz (Jalousien) wird ab einer Gesamtstrahlung von 500 W/m<sup>2</sup> wirksam. Die Nutzung des Gebäudes entspricht Tabelle 3.

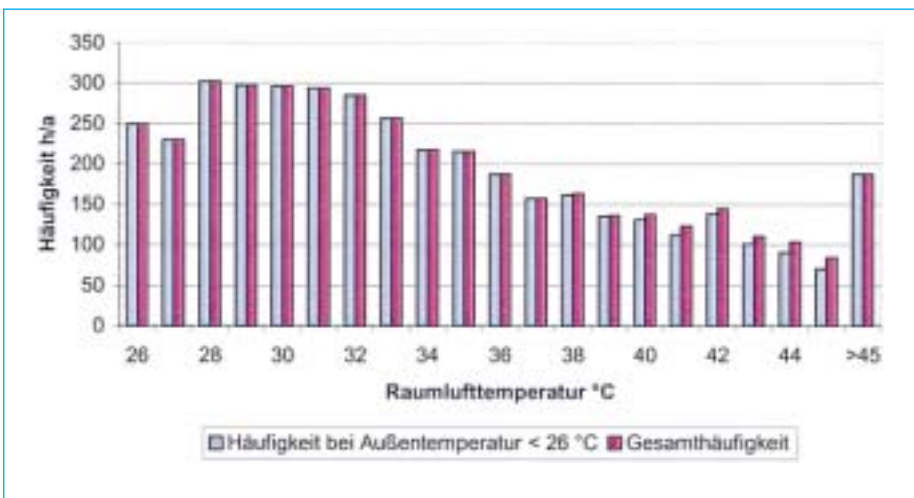


Bild 8 Häufigkeit der Raumlufttemperaturen, EnEV 2000, Flachbau, Nutzung nach Tabelle 3

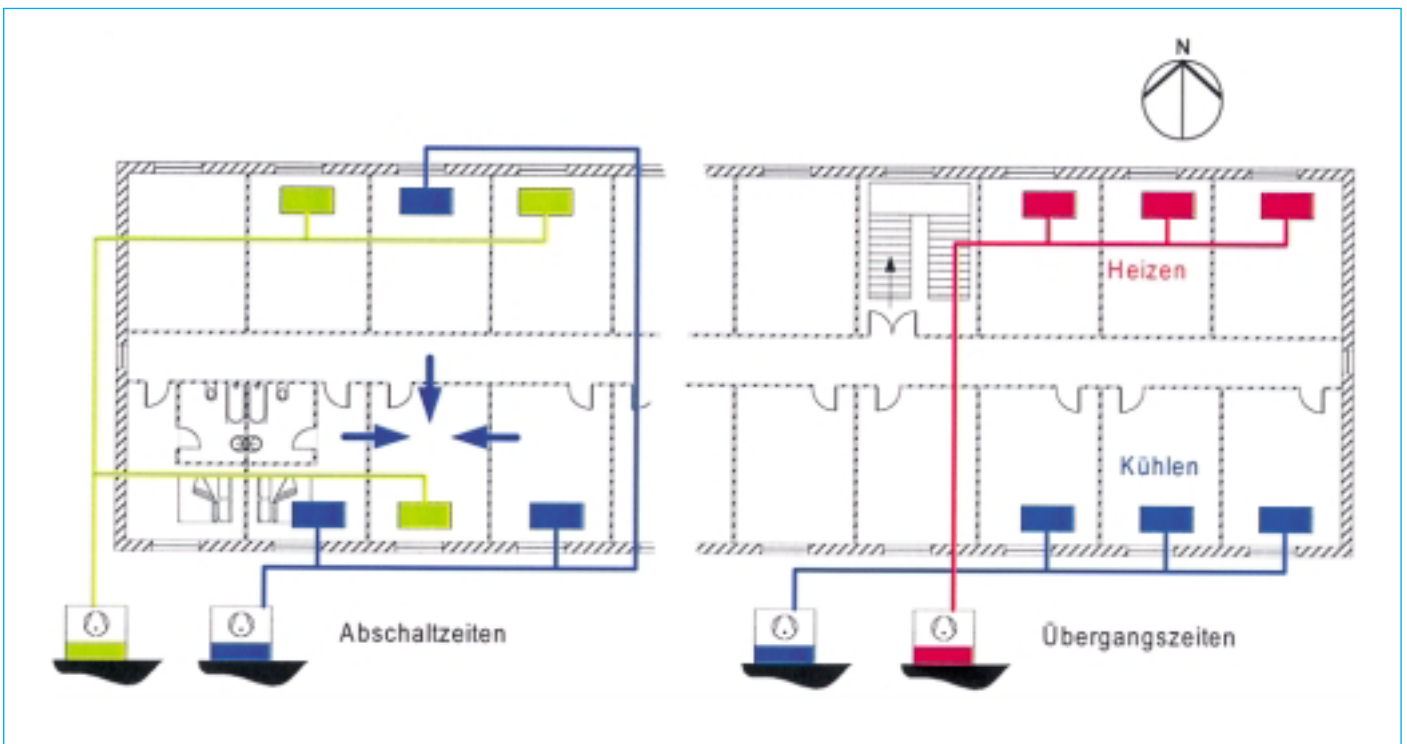


Bild 9 Berücksichtigung von Gebäudeeigenschaften bzw. Abschaltzeiten

Die Anzahl von Raumlufttemperaturen oberhalb 26 °C ist inakzeptabel. Man erkennt, daß eine große Anzahl von Stunden mit Außenlufttemperaturen kleiner 26 °C bei Raumlufttemperaturen oberhalb von 26 °C existiert. Theoretisch kann somit ein Teil der Kühllast „weggelüftet“ werden. In der Praxis führt das jedoch zu unbehaglichen Raumluftzuständen durch zu große Luftgeschwindigkeiten in der Aufenthaltszone. In einer Bewertung des Bild 8 erkennt man jedoch sofort die dringende Notwendigkeit zum Einsatz einer Klimatisierung. Raumlufttemperaturen oberhalb von 45 °C führen zwangsläufig zu Nutzerbeschwerden.

### **Schlußfolgerungen aus der Gebäudesimulation**

Die Veränderungen im Wärmeschutz eines Gebäudes zeigen, daß Heizung und Kühlung von Gebäuden zukünftig in der Auslegung der Leistung gleichrangig betrachtet werden müssen. Durch eine Jahressimulation ergeben sich jedoch nach wie vor deutlich größere Anteile bei der Heizung. Gebäude ohne Kühlung führen in einer zunehmend größeren Anzahl von Stunden zu inakzeptable Raumlufttemperaturen. Durch den Einsatz von intelligenten Lüftungssystemen lassen sich diese Stunden verringern. Generell sind zukünftig Systeme gefragt, die sowohl Heizen als auch Kühlen können. Die raumseitige behagliche Umsetzung der Energie gewinnt dabei zunehmend an Bedeutung.

### **Technische Lösungsansätze für die Klimatisierung und Beheizung von Niedrigenergiehäusern**

Niedrigenergiehäuser haben zunehmend einen Kühlbedarf zur Einhaltung behaglicher Raumlufttemperaturen. Die technische Lösung muß daher neben den Standardaufgaben Heizen und Lüften perspektivisch auch Kühlen ermöglichen. Dabei sind die durchaus vorhandenen energetischen Vorteile der Wärmepumpe mit der Möglichkeit zur Kälteerzeugung von besonderer Bedeutung. Die Multisplitanlagen sind die dafür besonders geeigneten Anlagen, da sie durch die Einbindung von Kanalgeräten neben Heizen und Kühlen vor allem auch die Luftaufbereitung sicherstellen können.

Multisplitanlagen haben den Vorteil, daß durch Aufteilung der Anlagen die unterschiedlichen Anforderungen des Gebäudes gut berücksichtigt werden können. Das Bild 9 gibt einen Eindruck davon. Eventuell zu berücksichtigende Abschaltzeiten können durch den thermischen Ausgleich zwischen den einzelnen Zimmern vernünftig abgefangen werden.

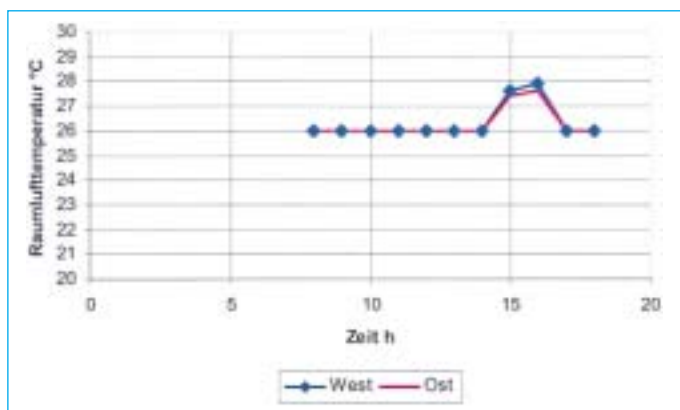


Bild 10 Veränderung der Raumlufttemperatur bei Berücksichtigung einer Abschaltzeit

Das Bild 10 zeigt die zu erwartende Veränderung der Raumlufttemperatur, wenn die Multisplitanlage in der Zeit von 14 bis 16 Uhr abgeschaltet werden muß. Eine Veränderung der Raumlufttemperatur um maximal 1,7 Kelvin scheint akzeptabel zu sein.

Ein primärenergetischer Vergleich zwischen der Gasheizung und Wärmepumpen mit unterschiedlichen Jahresarbeitszahlen entsprechend Bild 11 zeigt die Vorteile der Wärmepumpenanwendung. Grundvoraussetzung ist natürlich eine moderne Energieversorgung mit einem entsprechenden Energiemix. Für die Betrachtungen wurde ein Primärenergiefaktor zur Stromerzeugung von 3,02 angesetzt. Weitere Verbesserungen ergeben sich, wenn regenerative Energiequellen (z. B. Windenergie) den Energiemix verbessern. Die Einsprüche der Energieversorger zur EnEV haben mittlerweile bereits dazu geführt, daß eine Kilowattstunde Strom statt 3 nur noch 2,3 mal negativer als Gas oder Öl bewertet wird.

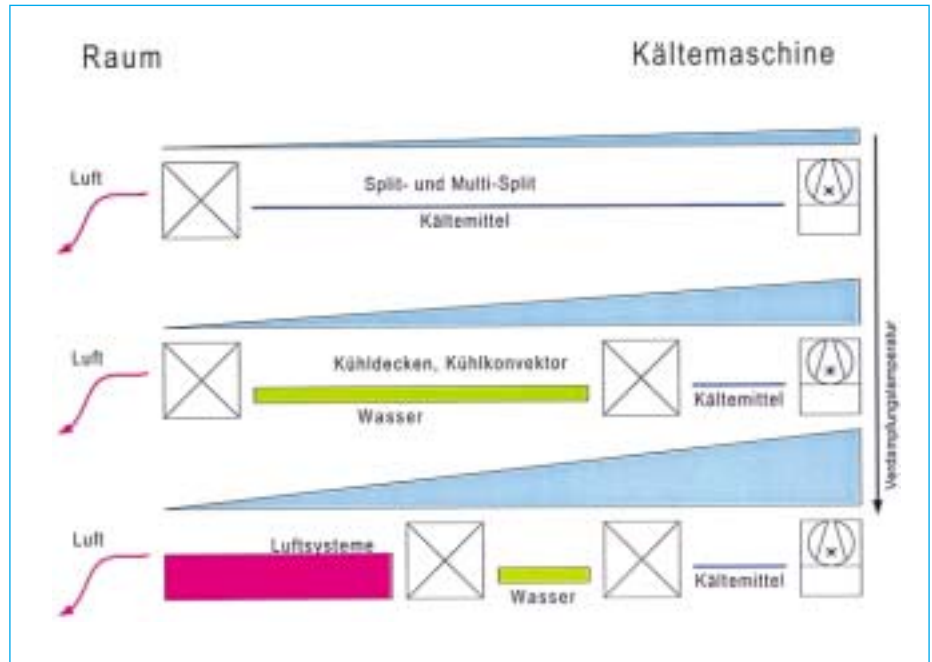


Bild 12 Veränderung der Verdampfungstemperatur durch zwischengeschaltete Kälteträger

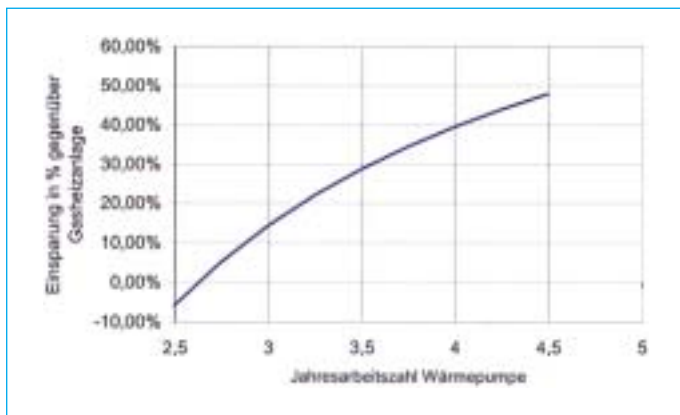


Bild 11 Energieeinsparung durch Wärmepumpen

Je mehr Wärmeübertrager eingesetzt werden, desto niedriger muß – bei gleicher Zulufttemperatur – die Verdampfungstemperatur gewählt werden. In Bild 12 ist weiterhin die Tendenz der notwendigen Querschnitte zum Energietransport sichtbar. Luftsysteme benötigen für die gleiche Energiedichte den größten Querschnitt.

### Zusammenfassung

Die Energieeinsparverordnung (EnEV 2000) führt zu einer weiteren Verringerung des Energiebedarfes von Gebäuden. Im Gegensatz zur WSV '95 wird jedoch die Begrenzung nicht nur auf den baulichen Wärmeschutz, sondern vielmehr auch auf die Technik ausgedehnt. Die Berechnungen zeigen eine deutliche Verschiebung zugunsten der Kühlung. Demzufolge sollten sich perspektivisch auch Wärmepumpen zur Energieerzeugung durchsetzen. Die Multisplit-Klimaanlagen sind durch die verwendeten Komponenten geeignet, die dauerhafte Versorgung von Gebäuden energetisch aber auch behaglich sicherzustellen. Durch die Integration von Kanalgeräten kann der notwendige Außenluftvolumenstrom dem Gebäude zugeführt werden.

Durch Simulationsrechnungen wurde die Jahresarbeitszahl von Multisplit-Klimaanlagen, d. h. für größere Leistungen ermittelt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 6 dargestellt. Die Multisplit-Klimaanlagen kommen vorrangig für größere Bürogebäude als Kälte- und Wärmepumpenanlage zur Anwendung. Bei kleineren Leistungen und einfachen Splitgeräten reduziert sich die Jahresarbeitszahl auf Werte von 2,6 bis 3,2.

Als Lösungen bieten sich u. a. folgende Systeme an:

- Fan Coils mit Anschluß an Heiztherme und/oder Kompakt-Wasserkühler,
- Split- und Multisplit-Klimageräte.

Ziel muß es sein, die Temperaturdifferenzen zwischen Zuluft- und Raumluft und somit zwischen Verdampfer und Kondensator gering zu halten. In Bild 12 ist qualitativ die Veränderung der Verdampfungstemperatur dargestellt.

innere Wärmequellen	Jahresarbeitszahl	max. Leistungszahl
mit	3,2	3,9
ohne	3,5	4,2

Tabelle 6 Jahresarbeitszahlen für Luft-Luft-Multisplit größerer Leistung