

Wärmeschutzverordnung

Echte Energiesparverordnung?

Dipl.-Ing. Jürgen Diehl, ROM,
Vorsitzender des Zentralen
Technischen Ausschusses des
BHKS, Dr.-Ing. habil. Bernd
Glück, ROM

Verordnungen mit vielen detaillierten Festlegungen schränken den Gestaltungsspielraum enorm ein und bergen die Gefahr von Gesetzeslücken in sich. Die mitdenkende, schöpferische Verantwortung ist den Anwendern völlig genommen. Werden dagegen zielorientierte Grenzwerte umfassender Bilanzkreise fixiert, bleibt die gestalterische Freiheit erhalten, Innovation sowie Teamgeist werden gefordert. Die Wärmeschutzverordnung hat sich in diese Richtung entwickelt, die Fortsetzung sollte folgen. Die Beherrschung größerer Bilanzkreise setzt aber auch komplexe Instrumentarien und interdisziplinäre Zusammenarbeit voraus. Die TGA-Branche ist zur Mitarbeit an einer »echten« Energiesparverordnung – wie von Prof. Dr. H. Ehm gefordert – bereit.

Sachstand: Gesetzgebung

Die neue Wärmeschutzverordnung vom 16.08.94 erhebt den Anspruch, den »energiesparenden Wärmeschutz bei Gebäuden« auf einen hohen Mindestwert festzuschreiben. Um die energetische Qualität von Gebäuden zu bestimmen, wird neuerdings ein Bilanzverfahren verwendet (eine Ausnahme bildet lediglich ein vereinfachtes Nachweisverfahren für kleine Wohngebäude bis zu zwei Vollgeschossen und mit nicht mehr als drei Wohneinheiten).

Die Begrenzung des Jahres-Heizwärmebedarfes der Gebäude stellt einen qualitativen Sprung gegenüber dem vorherigen baulichen Wärmeschutz nach der alten Fassung vom 24.02.82 dar, in der der Wärmedurchgang begrenzt wurde. Das jetzt gültige Bilanzverfahren umfaßt die Transmissions- sowie Lüftungswärmeverluste und berücksichtigt die nutzbaren solaren Wärmegewinne bei Fenstern sowie die nutzbaren internen Wärmegewinne. Letztere werden pauschal dem beheizten Bauwerksvolumen V in m^3 bzw. der Gebäudenutzungsfläche A_N in m^2 zugeordnet. Bei Bürobauten dürfen dies maximal $Q_i = 10 V$ bzw. $Q_i = 31,25 A_N$ in kWh/a sein. Mit der von den Bauphysikern sachkundig unterstützten Neu-

fassung der Wärmeschutzverordnung ist unserer Ansicht nach mit dem gewählten Aufbau jedoch ein Grenzstand erreicht; gekennzeichnet durch folgende Punkte:

- einfache Berechnungsart,
- Jahres-Heizwärmebedarf als reine Gebäudeeigenschaft,
- pauschale Berücksichtigung der Einflußgrößen ohne genaue Betrachtung der zeitlichen Verläufe.

Ebenfalls im letzten Jahr trat die Neufassung der Heizungsanlagen-Verordnung vom 22.03.94 in Kraft. Sie sichert einen hohen technischen Standard der Heizungs- und Brauchwasseranlagen.

Nunmehr klingt an – so Prof. Ehm auf dem GRE-Kongreß in Kassel am 12. und 13. Oktober 1994 [1] –, daß man mit der Novellierung der Wärmeschutzverordnung 1999 »über die reine Begrenzung des Jahres-Heizwärmebedarfes hinaus die in einem Gebäude installierte Heizungstechnik mit in Betracht zieht und somit die Wärmeschutzverordnung zu einer echten Energiesparverordnung wird«.

Sachstand: Moderne TGA-Planung und verantwortungsbewußter TGA-Anlagenbau

Einige Planungsbüros und Anlagenbauer der TGA-Branche haben in den letzten Jahren fast lautlos ehrgeizige und

kostenintensive Entwicklungen von Simulationswerkzeugen betrieben. Grundlagen sind von den Hochschulen geschaffen worden, in – vor allem – ausländischer Software enthalten und durch betriebliche Eigenentwicklungen ergänzt worden. Das BMFT förderte spezielle Entwicklungen großzügig.

In den führenden Unternehmen stehen Software-Pakete zur

- Tageslichtsimulation,
- energetischen Simulation der dynamischen Heiz- und Kühllasten,
- Simulation der Luftströmungen um und durch Gebäude,
- Anlagensimulation,
- Simulation von Luftströmungen in Räumen

zur Verfügung. Die neuesten Software-Systeme verknüpfen diese Simulationen individuell je nach Aufgabenstellung. Sie beinhalten weiterhin die Geometrieeingabe über CAD und ausführliche Ausgabe- und Visualisierungsprogramme. Dies wurde beispielsweise auf der Constructec '94 gezeigt [2]. Die praktische Anwendung gehört bereits jetzt zum Tagesgeschäft. In vielen Fällen beginnt – wie von uns im Rahmen der »Integralen Planung« gewünscht – die Mitarbeit bereits beim konzeptionellen Entwurf des Architekten. Nutznießer dieser frühzeitigen Zusammenarbeit sind die Bauherren und Betreiber, infolge optimierter Bau- und Betriebskosten.

Bei Büro- und Geschäftshäusern aller Art, Freizeitparks, Liegenschaften usw. werden selbstverständlich die ganzjährig erforderlichen energetischen und stofflichen Aufwendungen in die Betrachtungen einbezogen. Die Konzeptentwicklung erfolgt auf der Grundlage der zeitgleich auftretenden Lastverläufe (Heizwärmebedarf, Kältebedarf, Elektrobedarf usw.).

Gemeinsamkeiten

Die Hauptgemeinsamkeit zwischen den geschilderten Sachständen besteht zweifelsohne in der Zielstellung Energie einzusparen, um die Umwelt zu entlasten.

Die technischen Möglichkeiten dazu sind außerordentlich vielfältig. Sie beginnen zweifelsohne – und darüber besteht auch Einvernehmen – beim Baukörper. Die Dämmung der Umfassungen, der Anteil der transparenten Flächen und die Orientierung der Gebäudefassaden stellen bedeutende Einflußfaktoren dar. Die internen Wärmegewinne und die in Lüftungsanlagen eingesetzten Wärmerückgewinner sind selbstverständlich zu berücksichtigen. Ein Anfang ist in der WschVO 1994 gemacht.

Unterschiede

Der Hauptunterschied besteht in der auf die Heizzeit begrenzten Betrachtung der WschVO und der ganzjährigen Energieanalyse bei der »Integralen Planung«.

Im letzteren Fall werden die nutzbaren solaren und inter-

nen Wärmegewinne durch die zeitgleiche Betrachtung der thermodynamischen Vorgänge wesentlich genauer als durch die WschVO erfaßt.

Unterschiedliche Gebäudenutzungen stellen sich deutlich dar. Das Einbeziehen jeder speziellen Heizungs- bzw. RLT-Anlage einschließlich ihres Regelungsregimes bis hin zum individuellen Betriebsplan ist kontinuierlich möglich.

Die »energetische Kombination« von Gebäudebedarf und Anlagenbetrieb kann somit bereits heute von den führenden Unternehmen der Branche abgefragt werden, was in der Novellierung der WschVO 1999 lediglich für den Heizungsanlagenbetrieb berücksichtigt werden soll.

Beispiel 1

An einem sehr einfachen Beispiel – einem fünfgeschossigen Gebäude mit 1 400 m² Bürofläche nach Bild 1 – sind die Ergebnisse für den Jahresheizwärmebedarf nach der WschVO 1994 und den Simulationsrechnungen im Rahmen der »Integralen Planung« darstellbar.

Für das Gebäude gelten im einzelnen:

Wand (Naturstein, Luftspalt, Wärmedämmung, Stahlbeton)
 $k = 0,44 \text{ W/(m}^2\text{/K)}$

Kellerdecke (Estrich, Stahlbeton Wärmedämmung)
 $k = 0,31 \text{ W/(m}^2\text{/K)}$

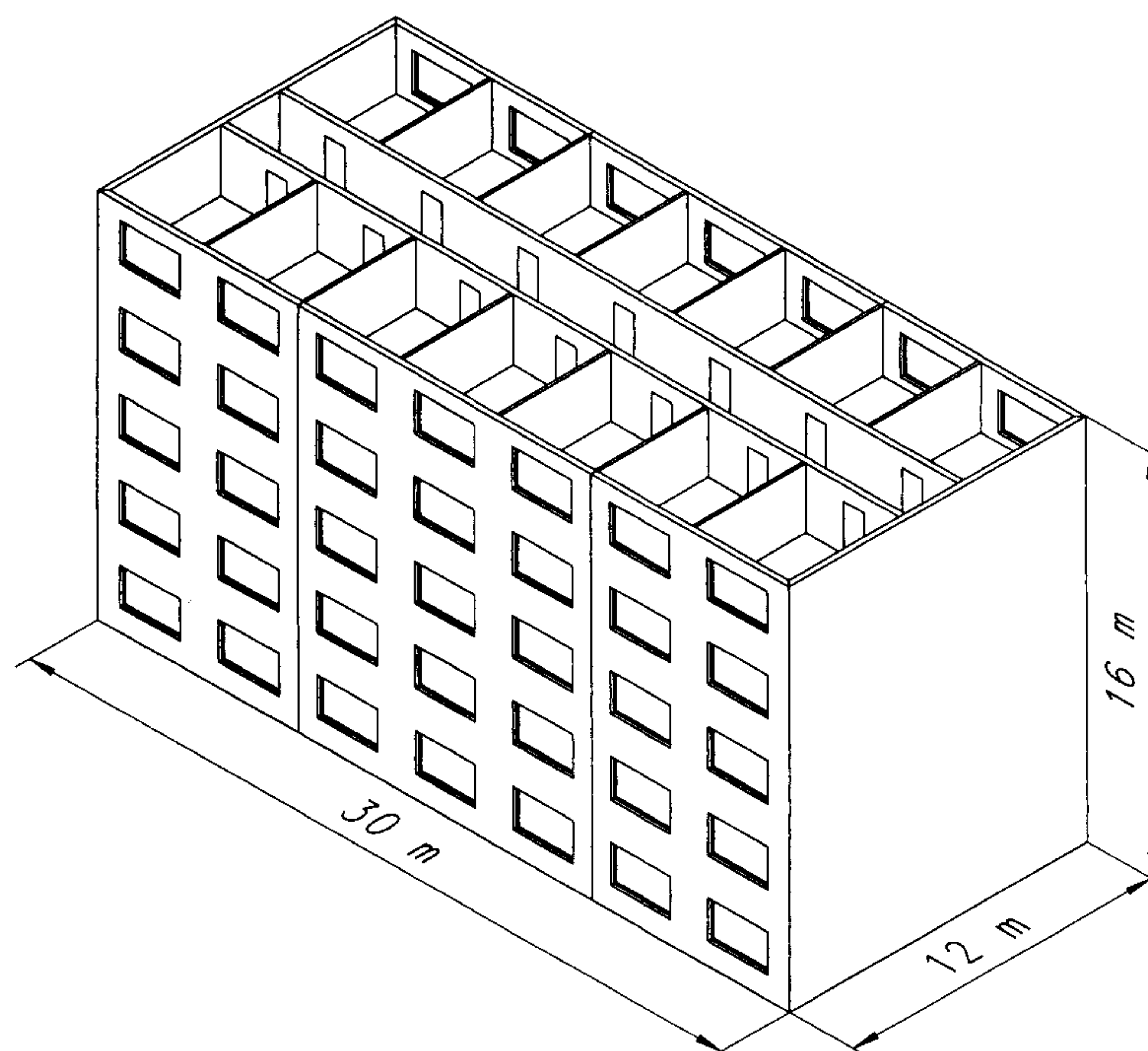
Fenster (Fläche = 0,30 x Fläche Längsfassade)
 $g = 0,6; k = 1,5 \text{ W/(m}^2\text{/K)}$

Innere Lasten
30 ... 50 W/m² in Abhängigkeit der Beleuchtungszeiten
Raumtemperaturen
20° C bzw. 22° C;

zeitweise Nachtabsenkung
Luftwechsel 0,8 h⁻¹

Für die Simulationsrechnungen mit dem Programm BLAST sind bekanntermaßen noch zahlreiche weitere Eingaben erforderlich, die hier nicht dargestellt

■ Bild 1 – Fünfgeschossiges Bürogebäude einfacher Geometrie als Grundlage einer Parameterstudie



werden können. Als meteorologischer Bezug für die Simulation wird das Testreferenzjahr 03 (TRY3) verwendet. Es gilt für das Ruhrgebiet und die norddeutschen Ballungsgebiete wie Hamburg, Bremen, Hannover, Berlin. Die Repräsentanzstation ist Essen. Die Gradtage für Außentemperaturen $t_a < 13^\circ \text{C}$ betragen: TRY3 3 551 K d/a; Essen 3 532 K d/a. In der WschVO 1994 wurden 3 500 K d/a zugrunde gelegt. Damit bestehen vergleichbare Voraussetzungen. In Tabelle 1 finden sich die Ergebnisse mit kurzen Erläuterungen der zugehörigen Betriebsbedingungen.

Aussagen

Da bei der WschVO keine Zuordnung des Gebäudes in eine Klimazone erfolgt, noch die nutzerbedingten Einflüsse genaue Beachtung finden, kann der Jahresheizwärmebedarf natürlich kein genauer Erwartungswert sein. Dies hat der Gesetzgeber auch in keiner Weise beabsichtigt. Die Abweichungen sind beim vorgegebenen Gebäude trotz angepaßten Standortes (Übereinstimmung der Gradtage) unerwartet hoch. Zur Kontrolle wurde aus dem TRY3 eine Heizperiode »ausgeschnitten«, die 3 500 K d/a ergibt. Der Vergleich der Einzelsummanden ist nachfolgend gegenübergestellt.

■ **Transmissionswärmebedarf**
Simulation ohne Sonnenstrahlung, ohne innere Lasten, ohne Luftwechsel 88 850 kWh/a
WschVO 86 060 kWh/a

■ **Transmissions- plus Lüftungswärmebedarf**
Simulation ohne Sonnenstrahlung, ohne innere Lasten 191 600 kWh/a
WschVO 191 360 kWh/a

■ **Transmissions- plus Lüftungswärmebedarf minus solarer Wärmegewinn**
Simulation ohne innere Lasten 141 200 kWh/a

■ **Solarer Wärmegewinn**
Simulation (Differenzbildung) 50 400 kWh/a
WschVO 22 470 kWh/a

■ **Transmissions- plus Lüftungswärmebedarf minus solarer und interner Wärmegewinn**
Simulation mit Beachten aller Einflüsse 57 110 kWh/a

■ **Interner Wärmegewinn**
Simulation (Differenzbildung) 84 090 kWh/a
WschVO 57 600 kWh/a

Man sieht sehr deutlich, woraus die Unterschiede resultieren. Es sind die bei der Simulation genauer ermittelten und bedeutend höheren Wärmegewinne.

Die Varianten 1 b, c bzw. 1 e, f (Tabelle 1) zeigen den starken Einfluß der Anlagenbetriebsweise.

Der in Variante 2 höhere k-Wert der Außenwand (0,7 statt 0,44 W/m²/K) erfüllt gerade noch die Anforderungen der WschVO 1994; der Heizwärmebedarf ist stark angestiegen.

Die großen Fensterflächen (Variante 3) erhöhen durch die solaren Wärmegewinne den Jahres-Heizwärmebedarf kaum.

Der Einfluß der geänderten Gebäudeausrichtung (Variante 4) hat auf den Heizwärmebedarf überhaupt keine Auswirkung.

Solange man nur ein im Sinne des Heizwärmebedarfes energetisch günstiges Bauwerk errichten möchte, ist die Betrachtung nach der WschVO 1994 sicherlich ausreichend. Wenn die Anlage jedoch einbezogen werden soll, dann sollten unbedingt die genauen Betriebsverläufe und Bedarfswerte die Grundlage von Vorschriften bilden; zur Entwicklung von Energiekonzepten ist diese Vorgehensweise ohnehin

unerläßlich. Bei Einbeziehen von RLT-Anlagen ergeben sich völlig veränderte Bedingungen. Die Aussagen der Varianten 2, 3 und 4 würden bei Bürobauten ohne Beachtung der Kühllasten zu Fehlinterpretationen führen (siehe Beispiel 2).

Variante		Jahres-Heizwärmebedarf	
		WSchVo 1994 kWh/a (%)	Simulation kWh/a (%)
1	Basis nach Beschreibung, Beispiel 1 Nord-Süd-Ausrichtung	92 140 (100)	2)
1a	• $t_i = 20^\circ \text{C}$; durchgehender Betrieb	1)	57 180 (62)
1b	• $t_i = 20^\circ \text{C}$; 6 - 22 Uhr • $t_i = 18^\circ \text{C}$; 22 - 6 Uhr	1)	47 030 (51)
1c	• $t_i = 20^\circ \text{C}$; 6 - 22 Uhr • $t_i \geq 18^\circ \text{C}$; 22 - 6 Uhr • $t_i \geq 18^\circ \text{C}$; Sonn- u. Feiertage	1)	42 370 (46)
1d	• $t_i = 22^\circ \text{C}$; durchgehender Betrieb	1)	87 510 (95)
1e	• $t_i = 22^\circ \text{C}$; 6 - 22 Uhr • $t_i \geq 18^\circ \text{C}$; 22 - 6 Uhr	1)	61 960 (67)
1f	• $t_i = 22^\circ \text{C}$; 6 - 22 Uhr • $t_i \geq 18^\circ \text{C}$; 22 - 6 Uhr • $t_i \geq 18^\circ \text{C}$; Sonn- u. Feiertage	1)	49 810 (54)
2	wie Basisvariante 1, jedoch $k_{\text{Außenwand}} = 0,70 \text{ W/(m}^2\text{/K)}$	112 800 (122)	2)
2a	• $t_i = 20^\circ \text{C}$; durchgehender Betrieb	1)	74 190 (81)
3	wie Basisvariante 1, jedoch 50 % Fassaden-Fensterfläche	92 730 (101)	2)
3a	• $t_i = 20^\circ \text{C}$; durchgehender Betrieb	1)	58 540 (64)
4	wie Basisvariante 1, jedoch Ost-West-Ausrichtung	92 550 (100)	2)
4a	• $t_i = 20^\circ \text{C}$; durchgehender Betrieb	1)	58 540 (64)

1) tatsächliche Raumtemperatur und reale Betriebsweise nehmen keinen Einfluß auf das Ergebnis nach WschVO
2) tatsächliche Raumtemperatur und reale Betriebsweise sind unabdingbare Voraussetzung für die Simulation

■ **Zusammenstellung der rechnerischen Jahres-Heizwärmebedarfswerte nach Algorithmus WschVO 1994 und nach BLAST-Simulation**

Mißverständnisse

Die Vertreter der gebäudeseitigen Energiesparmaßnahmen sehen meist nur den Heizfall und meinen oftmals, daß die Maßnahmen zur Reduzierung des Heizbedarfs gleichermaßen zur Reduzierung des sommerlichen Kühlbedarfs geeignet sind.

Den TGA-Planern und RLT-Anlagenbauern wird oftmals unterstellt, nur aus Verkaufsinteresse RLT-Anlagen zu empfehlen. Tatsache ist, daß heutige, moderne lufttechnische Konzeptionen eine Atemluftversorgung nach hohen hygienischen Ansprüchen erfüllen. Bei einer Kombination von Kühllastabfuhr mittels Kühldecke und Atemluftversorgung durch Quellluft können

sehr gute wärmephysiologische und hygienische Verhältnisse erreicht werden. Wird die Quellluft mit 2 K Untertemperatur in den Raum eingebracht und die Abluft mit 1 K Übertemperatur aus dem Raum abgeführt, so ergibt sich bei einem flächenbezogenen Außenluftstrom von $5 \text{ m}^3/(\text{m}^2\text{h})$ eine Luft-Kühlleistung von nur ca. 5 W/m^2 . Diese Leistung beträgt nur 7 bis 10 % der durch innere und äußere Lasten verursachten Kühlleistungen, die in modernen Büro- und Verwaltungsbauten aus den Räumen abzuführen sind. Konzeptionell liegt eine völlige Aufgabentrennung zwischen hygienischer Atemluftversorgung und Abfuhr der Kühllast vor. Die erste Aufgabe zu erfüllen ist und bleibt die edle Aufgabe der Lüftungstechniker. Zur thermodynamischen Luftaufbereitung existieren jetzt optimierende Algorithmen [3], die eventuelle, energievergeudende Prozesse sofort sichtbar werden lassen. Die zweite Aufgabe ist die notwendige Aufgabe, der sich der Anlagenbau annehmen muß, um die Gebäude wärmephysiologisch nutzbar zu machen. Es mag zunächst paradox klingen, aber hier bietet sich der verantwortliche Planer und Anlagenbauer an, durch »Integrale Planung« – einschließlich Simulation – den Investitions- und Betriebskostenaufwand für die Anlage zu reduzieren und damit auch seinen Leistungsumfang uneigennützig zu verkleinern. Welche Potentiale hier liegen, demonstriert Beispiel 2.

Da in der Vergangenheit die geschilderte Funktionstrennung nicht erfolgte, und die Lüftung die gesamte, in den letzten Jahren ständig steigende Kühllast abzuführen hatte, entstanden zweifellos extrem große, stark energieverzehrende RLT-Anlagen. Hohe Kosten, große Energieaufwendungen

und teilweise Zugscheinungen belasteten das Image der Klimaindustrie. Neben der Unzulänglichkeit der Systemwahl lagen die Ursachen aber nicht unwesentlich bei den Gebäudebauweisen und Büroausstattungen.

Beispiel 2

Es wird davon ausgegangen, daß das im Beispiel 1 beschriebene Verwaltungsgebäude mit einer RLT-Anlage auszustatten ist, weshalb bei der Lastermittlung keine thermischen Energieaufwendungen für Luftinfiltrationsströme (Fugenlüftung) beachtet werden. Zur Kompensation der inneren und äußeren Lasten ergeben sich variantenabhängig die in Tabelle 2 vermerkten Jahres-Energiebedarfswerte für Heizen und Kühlen.

Aussagen

Der Energiebedarf für Heizen ist generell deutlich niedriger als der für Kühlen. Der schlechtere k-Wert (Variante 2) erfordert zwar einen um 86 % höheren Heizenergieeinsatz, der bedeutend höhere Kühlbedarf reduziert sich jedoch um 17 %.

Der größere Fensteranteil (Variante 3) wirkt sich in jedem Fall energieerhöhend aus; der Kühlbedarf steigt um 24 % an. Der Einfluß der Gebäudeorientierung (Variante 4) wird ebenfalls deutlich.

Unbestritten ist die Notwendigkeit, Verschattungen anzuordnen und die inneren Lasten zu reduzieren.

Die Schlußfolgerungen aus diesen Ergebnissen sind wegen des größeren Bilanzkreises (ganzjähriger Betrieb, Heizen und Kühlen) teilweise diametral entgegengesetzt zu denen des Beispiels 1. Bei den Bewertungen der Ergebnisse sind natürlich stets noch die unterschiedlichen Exergieaufwendungen für die Wärme- bzw.

Kältebereitstellung zu berücksichtigen.

Bei einer umfassenden Betrachtung ist zusätzlich der Anlagenbetrieb einzubeziehen. Dabei ist die Variationsmöglichkeit bei der Heizenergiebereitstellung klein gegenüber den Möglichkeiten bei der Luftaufbereitung. Die RLT-Anlagensimulation ergibt für die gleiche Aggregatereihung und bei konstantem Volumenstrom beispielsweise große Betriebskostenunterschiede in Abhängigkeit der Betriebsführung (Tabelle 3).

Aussagen

Es ist leicht einzusehen, daß die große Variationsvielfalt, die sich durch Änderungen des Baukörpers sowie der Anlagenhardware (z. B. Kühldecke, freie Kühlung, KVS- oder VVS-System, WRG) und Anlagensoftware (z. B. gesteuerte Außenjalousie, Nachtabenkung, Nachtkühlung) ergibt, nur durch Einsatz komplexer Simulationsprogramme bewertbar ist. Solche Untersuchungen ergaben Betriebskostenreduzierungen auf 1/3 des Ursprungswertes.

Was ist zu tun?

Weitere Energieeinsparungen sind rationell nur erreichbar, wenn der Bilanzkreis Gebäude plus Anlagentechnik über die gesamte Nutzungszeit betrachtet wird. Dieser Anspruch geht deutlich über das Aufgabenspektrum der Bauphysiker, die bisher vornehmlich an den Verordnungen mitwirkten, hinaus. Das Einbeziehen von »Wirkungsgraden« der installierten Heizungstechnik im Gebäude in eine novellierte WschVO 1999 hat gegenüber den Einsparpotentialen komplex betrachteter Anlagentechnik (Heizung, Kälte und Lüftung) zusammen mit dem Gebäude nur marginalen Charakter.

Der TGA-Ingenieur möchte nicht mehr die bauphysikalische Unvollkommenheit der Gebäu-

de durch große, enorm energieverzehrende Anlagen gegen die Natur »kämpfend« ausgleichen. Alleingänge von Bau-technikern und Anlagenbau-ern führen nicht zum Ziel, deshalb die Forderung nach »Integraler Planung«. Die Simulationswerkzeuge zur Beurteilung der verschiedenen Einflußfaktoren und Maßnahmen existieren – wie bereits erwähnt – und werden laufend vervollkommen.

Die Notwendigkeit der Zusammenarbeit klang auch auf dem GRE-Kongreß [1] bei Professor Dr. Rösel an. Die genannte Reihenfolge Architekt, Innenarchitekt, Stadt- und Landschaftsplaner, Bauphysiker und Ingenieur des technischen Ausbaus zeigt jedoch bewußt oder unbewußt den üblichen Planungsablauf. »Integrale Planung« muß jedoch ein von Anfang an mit allen am Bau-geschehen Beteiligten zeitgleicher, iterativer Prozeß sein. Professor Dr. Hauser traf nach [1] die Aussage: »Der im Verwaltungsbau u. U. dominierende Energiebedarf für Kunstlicht und Kühlung machen weitere Anstrengungen für die Entwicklung eines solchen Planungsinstrumentes (bezogen wird sich hierbei auf den Wohnungsbau-Energiepaß, Anmerkung der Verfasser) auch für diesen Gebäudetyp erforderlich«. Grundsätzlich ist dieser Aussage selbstverständlich zuzustimmen, die bisherige, hauptsächlich nur auf das Gebäude fixierte Betrachtungsweise wird den bereits erläuterten, komplexen Wirkschemata jedoch nicht gerecht. Es ist relativ einfach, beispielsweise spezifische energetische Grenzwerte für Büro- und Verwaltungsgebäude festzuschreiben. Für deren Nachweis sind jedoch ausgewählte Programmsysteme mit nachprüf- baren Algorithmen einzusetzen, die sowohl Variationen gebäudetechnischer als auch

anlagentechnischer Parameter zulassen. Nur so können die Architekten kreativ und die Anlagenbauer innovativ arbeiten. Außerdem werden die Abhängigkeiten zwischen Gebäude und Anlage deutlich und Architekt und Ingenieur zum gemeinsamen Wirken verpflichtet.

Es wird aufgefordert, die von führenden Unternehmen und Hochschulen geschaffenen Instrumente der »Integralen Planung« bereits zur Ermittlung von Festlegungen, die dann in Verordnungen Eingang finden, zu nutzen. Nur so können die von der Wirtschaft, gemeinnützigen Stiftungen und dem BMFT eingesetzten Mittel rückkoppelnd der Gesellschaft nützen. Dies sollte unbedingt von den Bundesministerien für Wirtschaft sowie für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau, die für diese Novellierung und Ergänzung der Wärmeschutzverordnung Verantwortung tragen, beachtet werden.

Variante		Jahres-Energiebedarf			
		Heizen kWh/a (%)		Kühlen kWh/a (%)	
1	Basis nach Beschreibung, Beispiel 1 Nord-Süd-Ausrichtung $t_{\min} = 22^{\circ} \text{C}$; $t_{\max} = 24 - 26^{\circ} \text{C}$	15 350	(100)	129 300	(100)
2	wie Basisvariante 1, jedoch $k_{\text{Außenwand}} = 0,70 \text{ W/(m}^2\text{K)}$	28 600	(186)	107 500	(83)
3	wie Basisvariante 1, jedoch 50 % Fassaden-Fensterfläche	20 900	(136)	160 300	(124)
4	wie Basisvariante 1, jedoch Ost-West-Richtung	17 160	(112)	136 000	(105)
5	wie Basisvariante 1, jedoch bei starrer Verschattung auf der Südseite	19 720	(128)	104 100	(81)
6	wie Basisvariante 1, jedoch bei 50 % der inneren Lasten	20 840	(136)	(60 110)	(46)

Variante der Anlagenbetriebsweise		Betriebskosten %
1	Konventionelle Anlage • Taupunkt-Regelung • fester Raumzustand	100
2	Optimierte Anlage • geregelter Wärscher • geregelte Mischkammer • variable Raumzustände innerhalb des zulässigen Behaglichkeitsbereiches • mindestens vier umschaltbare Regelregime • ... • ...	74
3	Volloptimierte Anlage • idealer Vergleichsprozeß	70

■ Tabelle 2 – Zusammenstellung der rechnerischen Jahres-Energiebedarfs-werte ohne Luftinfiltration nach BLAST-Simulation

■ Tabelle 3 – Vergleich der unterschiedlichen RLT-Anlagenbetriebsweisen

Literatur

- [1] Kempkes, C.: GRE-Kongreß in Kassel. Gesundheits-Ingenieur 115 (1995), S. 38 - 40
- [2] Glück, B.: Komplexe Simulationsrechnungen – Voraussetzung zur energieoptimierten Planung von Gebäude- und Anlagentechnik, erscheint in Heizung-Lüftung-Haustechnik 1995
- [3] Glück, B.: Optimierung eines klimatischen Prozesses. Gesundheits-Ingenieur 114 (1994), S. 117 - 126, S. 180 - 187, S. 257 - 264