

Meine Damen und Herren,

alle Editorials der vorausgehenden neun Ausgaben unseres HLK-Briefes waren vom Vergnügen über die Mitteilung unserer erfolgreichen Arbeiten getragen. Diesmal fehlt der Schwung. Wir haben am Montag, dem 19. Oktober 1998 unseren lieben Freund und Kollegen Walter Dittes in Mühlacker zu Grabe getragen.

Der Übergang zur Tagesarbeit fällt schwer. Die Mitarbeiterzahl ist weiter auf 43 angestiegen. Dieser Brief zeigt nur einen Ausschnitt aus unseren Aktivitäten im letzten Jahr. Nicht dabei sind vier Dissertationen, die zur Beurteilung anstehen, darunter auch die von Walter Dittes: „Methoden zur Darstellung der Luftströmung in Fabrikhallen und Regeln für eine optimierte Lüftung“. Die drei anderen Kandidaten sind Michael Bauer, Markus Trietschler und Christoph Kochendörfer. Aus dem von Walter Dittes geführten Forschungsbereich Raumvorgänge stammen die Aufsätze zu LURAP (Luftreinhaltung am Arbeitsplatz) und „Wärmeübergang an Kühldecken“. Bei letzterem wird die Grundlage gelegt für die Bestimmung des Aufwands bei der Nutzenübergabe mit Kühldecken. Die Aufwandszahlen für die Nutzenübergabe bei der Heizung liegen mit der Dissertation von Bauer weitgehend vor. In diesen Themenbereich gehört auch der Beitrag zu MEDUSA. Nutzenübergabe ist der erste Schwerpunkt im Forschungsbereich Systeme. Den zweiten Schwerpunkt bilden „Methoden zur Anlagenplanung“. Hierzu gehört der Beitrag INTESOL. Zum dritten Schwerpunkt „Computer-gestützte Betriebsüberwachung“ gehört der Aufsatz „Neue Schnittstelle“

aus dem Forschungsvorhaben ETABEMS. Zum vierten Schwerpunkt „Bewertung und Sanierung von Anlagen“ zählt MOSES. Die Bewertung der in vorhergehenden Briefen im Konzept vorgestellten Anlage im Vorhaben NEHAMA ist in diesem Heft zu finden. Die aus allen vier Schwerpunkten des Forschungs-bereichs Systeme stammenden Erkenntnisse sind in die Studie NOWA zur neuen Energiesparverordnung eingeflossen. Unser neben Komponenten viertes Forschungsgebiet Messen und Erfassen ist in diesem HLK-Brief mit einem Beitrag zur Heizkostenverteilung vertreten.

Am Schluß noch eine Bemerkung zu meinem immer noch nicht abgeschlossenen Nachfolgeverfahren: Der von den Professoren offenbar als gering vermutete Abstand zu den Göttern drückt sich mindestens auch durch das langsame Mahlen ihrer Mühlen aus. Vielleicht erfahren wir etwas bis zur Mitgliederversammlung.

Mit herzlichen Grüßen



Prof. Dr.-Ing. H. Bach

INHALT

INTESOL - Gebäudesimulation per Knopfdruck	2
Neue Heizkörpernorm - fehlerhafte Heizkostenabrechnung?	4
Vom Wärmeschutz zur Energieeinsparung - Grundsatzuntersuchung NOVA zur ESV 2000	6
Entwicklung von Einrichtungen zur Arbeitsplatzluftreinhaltung bei Stoffemissionen ohne Eigenbewegung	8
Ergebnisse des Forschungsvorhabens Niedrigenergiehaus Mannheim (NEHAMA)	10
Studien und Diplomarbeiten 1997/98	12
Wärmeübergang an Kühldecken	13
MEDUSA - Minimierung des Energiebedarfs von Gebäuden durch Simulation von Heizanlagen	14
MOSES - Optimierung der Regelung einer Heizungsanlage mit einem kalibrierten Anlagen und Gebäudesimulationsmodell	16
Personalia	17
Emulation als Werkzeug für die Abnahme von DDC-Geräten	18
Prüfstelle HLK akkreditiert !	19
Prüfstand für Wohnungslüftungsgeräte in Betrieb genommen	20
Impressum	20

Im HLKBRIEF wird über die Aktivitäten des Lehrstuhls für Heiz- und Raumlufttechnik am IKE der Universität Stuttgart (IKE LHR), der Forschungsgesellschaft Heizung Lüftung Klimatechnik Stuttgart mbH (FG HLK) und des Vereins der Förderer der Forschung im Bereich Heizung Lüftung Klimatechnik Stuttgart e.V. berichtet.

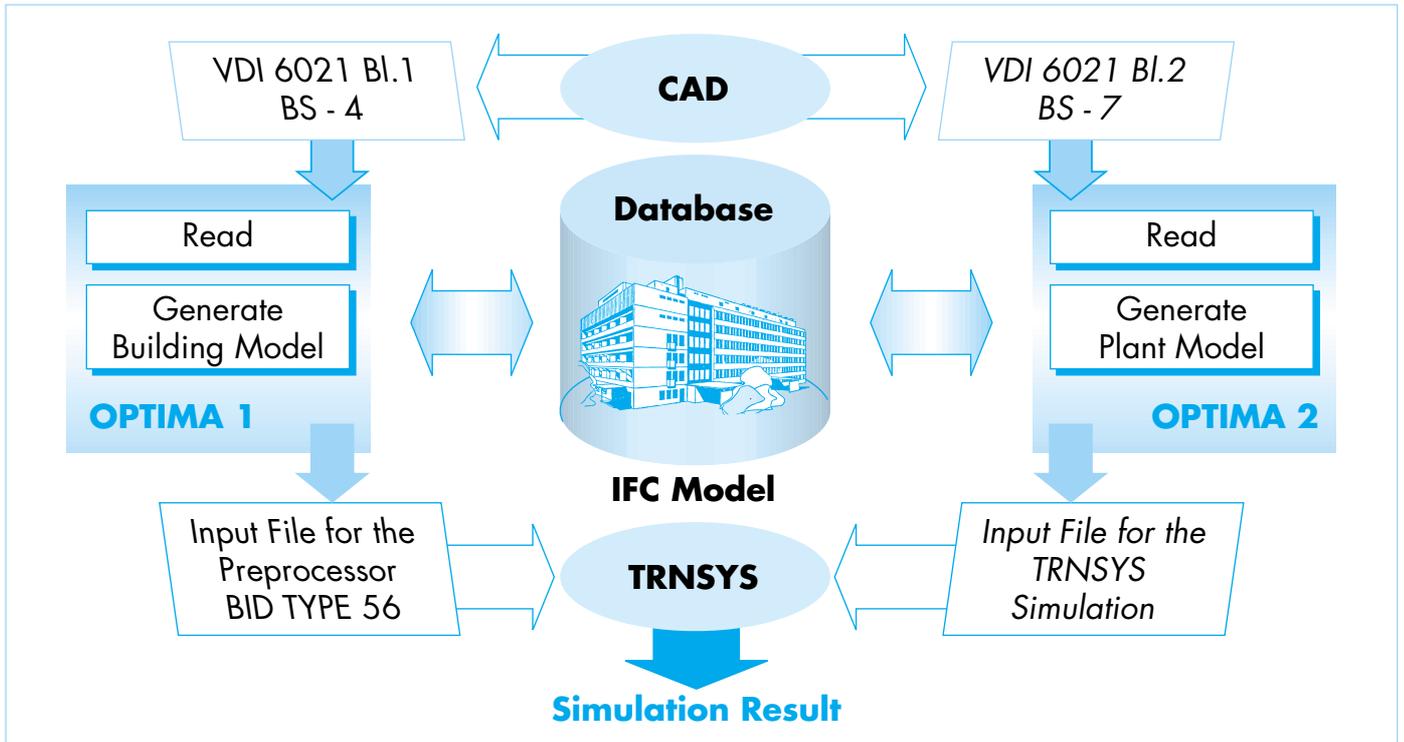


Bild 2: Datenaustausch CAD-System – Gebäude- und Anlagensimulation

nem Dialog entsprechend seinen Anforderungen an das Heizsystem. Zur Bewertung stehen WW-Radiatorenheizsystem, WW-Fußbodenheizsystem, Warmluftheizsystem, elektrische Direktheizgeräte, sowie Elektro-Speicherheizgeräte zur Verfügung. Das Ergebnis wird durch eine Rangfolge der Heizsysteme ausgegeben.

Optima ist ein Kopplungsprogramm, mit dem CAD-Daten eingelesen werden können, entsprechend der jeweiligen Fragestellung eine Zonierung durchgeführt werden kann und automatisch Gebäudeeingabe-Files für das Simulationsprogramm TRNSYS erstellt werden können. Damit entfällt das zeitraubende, mehrfache Herausmessen von Geometriedaten aus dem Plan, Fehlerquellen werden minimiert, der Einsatz von Gebäudesimulation wird effektiver und kann dadurch wirtschaftlich in der Vorplanungsphase eingesetzt werden. Als Schnittstelle zwischen dem CAD-System und Optima wird das in der VDI 6021 „Datenaustausch für die thermische Lastberechnung von Gebäuden“ /3/ festgelegte Schnittstellen-Protokoll verwendet. Blatt 1 dieser Richtlinie legt die Regeln für den Datenaustausch zwischen CAD-Zeichnungen und Berechnungsprogrammen der Heiz- und Raumlufttechnik fest. Das

der Schnittstelle zugrunde liegende Gebäudemodell beschreibt die Gebäudeelemente, ihre Eigenschaften sowie die Beziehungen zwischen den Bauteilen. Im Rahmen des IAI-Projekts Building-Service 4 (BS-4) - HVAC Loads Calculation /4/ wird ein internationaler Standard in Anlehnung an die VDI 6021 beschrieben. Das Projekt wird von der deutschsprachigen Gruppe der IAI geleitet und stellt sicher, daß die Ergebnisse der VDI 6021 in IFC (International Foundation Classes) einfließen. Damit basiert Optima auf einer international anerkannten Schnittstelle, welche über alle am Markt befindlichen CAD-Systeme bedient werden kann.

Weiteres Ziel von INTESOL und derzeit Arbeitsschwerpunkt am IKE ist es, für das fortgeschrittene Planungsstadium Werkzeuge und Hilfsmittel bereitzustellen, die die Auswahl und Optimierung der heiz- und raumluftechnischen Anlagen ermöglichen. Dies soll durch die gekoppelte Gebäude- und Anlagensimulation erreicht werden. Ähnlich dem Datenaustausch zwischen Architektur-CAD und Gebäudesimulation werden Grundlagen erarbeitet, die das automatische Erstellen von Eingabedateien für die Anlagensimulation ermöglichen. Es wird davon

ausgegangen, daß der Fachplaner die Anlage bereits mit einem CAD-Tool konstruiert und ausgelegt hat. Die somit vorhandenen Daten können dann über zukünftige Schnittstellen, z.B. durch VDI 6027 Blatt 2 bzw. IAI BS 7, und über ein Kopplungsprogramm (Optima2) genutzt werden, um das entsprechende Simulationsmodell zu erstellen (siehe Bild 2).

Literatur:

/1/ INTESOL, Integrale Planung solaroptimierter Gebäude. BMBF Förderkennzeichen 0329132E. Zwischenbericht 1997, Universität Stuttgart, IKE 7- EB -12, April 1998.

/2/ Eisenmann G.: Entwicklung einer allgemeinen Bewertungsmethode für Heiz- und Trinkwassererwärmungssysteme am Beispiel einer Wohnung in einem Mehrfamilienhaus. Universität Stuttgart, IKE. Dissertation 1997. ISBN 3-9805218-1-8.

/3/ VDI 6021 Blatt 1: Datenaustausch für die thermische Lastberechnung von Gebäuden. VDI-Verlag, Düsseldorf, Entwurf, Januar 1998.

/4/ Industry Foundation Classes – Release 1.5, IFC Object Model for AEC Projects. International Alliance for Interoperability, 1997.

Neue Heizkörpernorm - fehlerhafte Heizkostenabrechnung ?

Christian Haupt, Markus Tritschler

Mit der Einführung der neuen europäischen Heizkörpernorm DIN EN 442 „Radiatoren und Konvektoren“ gelten gegenüber den bisherigen Normen DIN 4703 und DIN 4704 geänderte Randbedingungen bei der Prüfung der Normwärmeleistung von Heizkörpern. Dies wirkt sich auf die Bewertung und damit auf die Genauigkeit der Heizkostenabrechnung aus. Dieser Beitrag beschreibt wie diese neuen Randbedingungen bei der Heizkostenabrechnung fachlich richtig berücksichtigt werden.

Heizkostenverteiler erfassen Meßgrößen, die für die Wärmeabgabe einer Heizfläche charakteristisch sind (z.B. die mittlere Oberflächentemperatur) und erzeugen daraus eine Anzeige. Diese Anzeige muß mit sogenannten Bewertungsfaktoren gewichtet werden, damit sie ein Maß für die abgegebene Wärmemenge ist. Wenn man zwei Heizflächen gleichen Typs aber unterschiedlicher Normleistung unter gleichen Randbedingungen betreibt, dann wird sich die abgegebene Wärme im Verhältnis der Normleistungen unterscheiden. Die an den Heizkörpern befestigten Heizkostenverteiler werden aber wegen der gleichen örtlichen Temperatur die gleiche Anzeige haben. Die Verbrauchswerte müssen sich im gleichen Verhältnis wie die Wärmeabgaben unterscheiden. Folglich sind die Anzeigewerte mit den Normleistungen zu gewichten. Der wichtigste von insgesamt drei Bewertungsfaktoren ist der Faktor K_Q für die Wärmeleistung des

Heizkörpers; er muß grundsätzlich immer berücksichtigt werden. Fehler beim Bewertungsfaktor K_Q können daher zu großen Ungenauigkeiten bei der Heizkostenabrechnung führen.

Bislang war die Ermittlung des Bewertungsfaktors K_Q vergleichsweise einfach. Nach der Identifikation des jeweils eingebauten Heizkörpers wird aus den Herstellerunterlagen oder den DIN-Registerblättern die Normleistung des Heizkörpers entnommen und auf eine Grundleistung bezogen. Wenn keine Leistungsangaben zu den montierten Heizkörpern verfügbar sind, wird in diesen wenigen Einzelfällen die Normwärmeleistung bei einer Prüfstelle gemessen.

Nach den Normen für Heizkostenverteiler DIN EN 834 (elektronische Heizkostenverteiler) und DIN EN 835 (Heizkostenverteiler nach dem Verdunstungsprinzip) muß die Normwärme-

leistung eines Heizkörpers bei einer Übertemperatur von 60 K (90°C/70°C/20°C) ermittelt und zur Berechnung des Bewertungsfaktors K_Q herangezogen werden. Die Referenzlufttemperatur muß in einem Abstand von 1,5 Metern vor der Heizfläche gemessen werden. Diese Randbedingungen entsprechen den Vorgaben der alten Heizkörpernorm DIN 4703/04. D.h. die Basis zur Bestimmung der Heizkörper-Normwärmeleistung und zur Bewertung der Heizkörperleistung waren bislang einheitlich. Soweit zum Status quo.

Mit der Einführung der DIN EN 442 wird die Normleistung der Heizkörper bei der neuen Übertemperatur 50 K (75°C/65°C/20°C) gemessen. Die Normen DIN EN 834 und 835 fordern allerdings: „*Wurde die Normleistung des Heizkörpers unter anderen Temperaturbedingungen ermittelt, so ist diese auf die vorgenannten Bedingungen¹ umzurechnen*“. Auf den ersten Blick scheint diese Forderung durch eine einfache Umrechnung auf die Temperaturen 90°C/70°C/20°C erfüllt.

Wurde in Deutschland nach DIN 4704 in offenen Prüfkabinen gemessen, wird nach DIN EN 442 die Wärmeleistung in einer geschlossenen Prüfkabine ermittelt. Zum anderen wird die Referenzlufttemperatur nach DIN 4703/04 in 1,5 m Abstand von der Heizfläche und nach DIN EN 442 nun in 2,0 m Abstand gemessen. Mit diesen neu genormten Randbedingungen sind die Normleistungen nach DIN und EN für die meisten Heizkörperbauarten nicht mehr vergleichbar, d.h. diese sind nicht

Tabelle 1: Auszug aus den Korrekturfaktoren f_{EN} für Deutschland für die Umrechnung von Wärmeleistungen nach DIN 4704-1 auf Werte nach DIN EN 442-2

Bauart	Typ	Strahlungsanteil	Faktor f_{EN}
Flachheizkörper einreihig ohne Konvektor	P	0,50	- 7,0
Flachheizkörper zweireihig ohne Konvektor	PP	0,35	- 5,9
Flachheizkörper einreihig mit 1 Konvektor	PK		
Flachheizkörper dreireihig mit 3 Konvektoren	PKKPKP	0,10	- 4,0
Rundrohrheizkörper quer (Bad-HK) reitend angeschl.		0,25 - 0,27	+2,8
Flachrohrheizkörper vertikal (hochkant aufgeschw.)		0,25 - 0,30	-7,3

ohne weiteres mit den Übertemperaturen umrechenbar. Alleine die Unterflurkonvektoren (mit und ohne Gebläse) bilden hier eine Ausnahme, die zukünftig noch nach der in Überarbeitung befindlichen DIN 4704 im offenen Prüfstand gemessen werden.

Um die Unterschiede bei den Wärmeleistungen zwischen „alter“ und „neuer“ Prüfmethode für verschiedene Heizkörpertypen zu kompensieren, wurden bauartspezifisch sogenannte Umrechnungsfaktoren f_{EN} vom Spiegelausschuß zu CEN TC 130 festgelegt - sie basieren auf Messungen im jeweiligen Prüfstand.

Mit Ihnen kann man beispielsweise von „neuen“ Normleistungen auf „alte“ Werten umrechnen:

$$\dot{Q}_{4703/04} = \dot{Q}_{EN\ 834/835} = \Phi_S \cdot \left(\frac{60}{50}\right)^n \cdot \left(\frac{100}{100 + f_{EN}}\right)$$

In Europa werden national unterschiedliche Umrechnungsfaktoren f_{EN} verwendet. In Tabelle 1 sind auszugsweise einige Umrechnungsfaktoren für Deutschland aufgeführt.

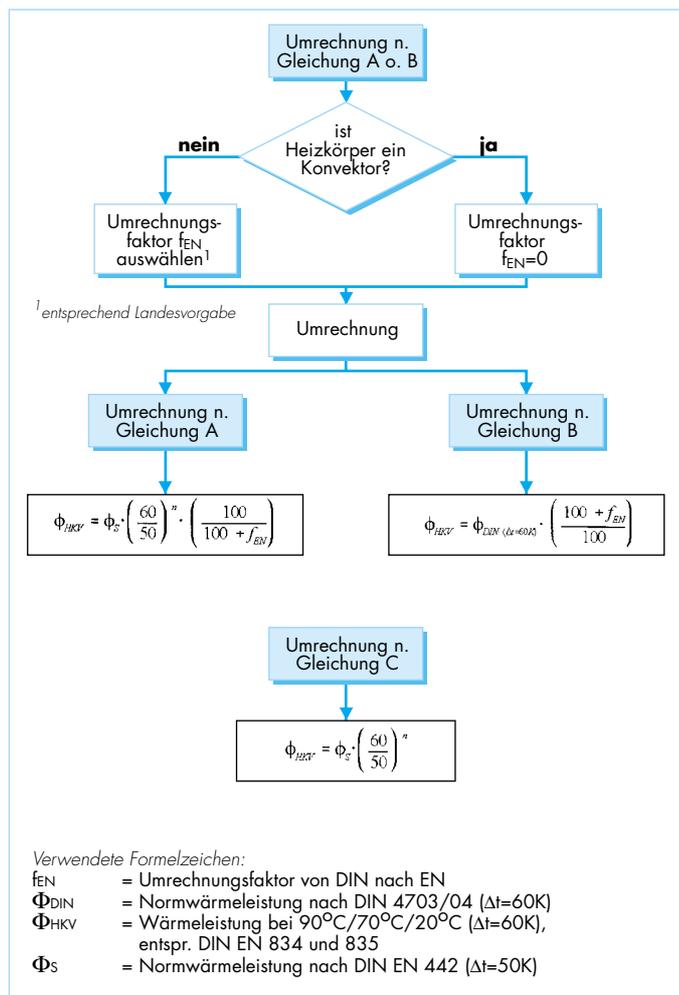
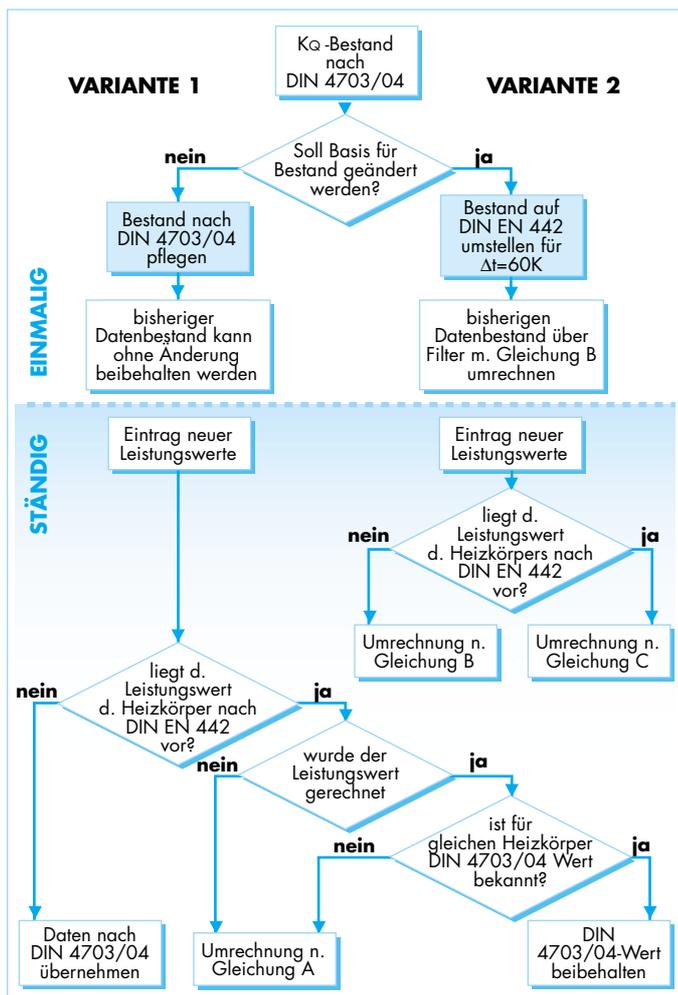
Aufgrund der begrenzten Prüfstandskapazitäten und der großen Anzahl an Heizkörpern wurde mit der Einführung der DIN EN 442 der Großteil der Wärmeleistungen umgerechnet. Nach und nach werden nun die Leistungen gemessen; die Meßwerte ersetzen dann die Rechenwerte.

Aus den vorangegangenen Ausführungen wird deutlich in welchem Dilemma die Abrechnungsunternehmen stehen: Der komplette Bestand an Normwärmeleistungen baut bisher auf Werte nach DIN 4703/04 auf. Nun kommen neue Normleistungswerte - gemessen und/oder gerechnet - hinzu. Eine wie oben vermutete einfache Umrechnung der Wärmeleistung eines Heizkörpertyps mit den Übertemperaturen führt im schlimmsten Fall zu einen um 8% fehlerhaften Bewertungsfaktor K_Q .

Prinzipiell stehen nun zwei Umrechnungsmöglichkeiten zur Verfügung, die im Ablaufplan in den Bildern 1 und 2 dargestellt sind. Da der bisherige Datenbestand der Abrechnungsunternehmen Normwärmeleistungen

nach DIN 4703/04 enthält, können entweder „neue“ Daten nach DIN EN 442 in vergleichbare Daten des „alten“ Bestandes umgerechnet werden (Variante 1 im Ablaufplan) oder der bisherige Bestand wird komplett in vergleichbare Daten nach DIN EN 442 umgerechnet (Variante 2). Zu beachten ist jedoch, daß bei der zweitgenannten Variante der Forderung der DIN EN 834 und 835 nicht ganz Genüge getan wird, da hier für „neue“ Heizkörper die Referenzlufttemperatur in einem Abstand von 2,0 m gemessen wird. Trotz dieses Unterschieds zur Forderung der DIN EN 834 und 835 kann nach Variante 2 vorgegangen werden, da eine einheitliche Basis geschaffen wird.

¹ Nach den Heizkostenverteiler-Normen DIN EN 834 und 835 ist die Normwärmeleistung eines Heizkörpers bei den Temperaturen 90°C/70°C/20°C zu ermitteln, wobei die Referenzlufttemperatur in einem Abstand von 1,5 m vor der Heizfläche gemessen werden muß.



Vom Wärmeschutz zur Energieeinsparung - Grundsatzuntersuchung NOWA zur ESV 2000

Jörg Dipper

Mehr als 30 % des Gesamtenergieverbrauches der Bundesrepublik werden zur Gebäudekonditionierung benötigt. Maßnahmen zur Energieverbrauchssenkung in diesem Bereich weisen damit große volkswirtschaftliche Bedeutung auf und bilden zugleich einen wichtigen Beitrag zur anvisierten Senkung der CO₂-Emissionen bis zum Jahre 2005. Mit der Wärmeschutzverordnung 1995 /1/ hat die Bundesregierung eine entsprechende gesetzliche Grundlage geschaffen, die im wesentlichen für den Neubausektor gültig ist.

In Vorbereitung befindet sich die Energiespar-Verordnung 2000 (ESVO 2000), die eine Zusammenfassung und Verschärfung der derzeit geltenden Bestimmungen mit dem Ziel der rationalen Energieverwendung bei der Wärmebereitstellung im Gebäudebereich zum Inhalt haben wird. Vor dem Hintergrund der zu erwartenden erhöhten finanziellen Belastungen für Bauherren und Gebäudeeigner stellt sich die Frage nach der Effektivität der in Betracht kommenden Energieparmaßnahmen. Zwangsläufig gewinnt damit die ganzheitliche Betrachtung von bau- und anlagentechnischen Maßnahmen an Bedeutung.

In Zusammenarbeit mit der TU Dresden wurde eine umfangreiche Untersuchung durchgeführt, die sich mit den Fragen einer weiteren Verschärfung der Anforderungen auseinandersetzt /2/. Im weiteren soll hier ein kurzer Ausschnitt aus der Untersuchung dargestellt werden. Er behandelt die Übererwärmung im Sommerbetrieb.

Die inneren Lasten tragen bei hoher Dämmung einen großen Anteil zur Deckung der Heizlast bei. Dies, weil dann die Heizlast kleiner ist und weil die Innenlasten in den letzten Jahren gleichgeblieben sind bzw. sich noch erhöht haben. Der relative Anteil der Innenlasten an der Deckung der Heizlast steigt dadurch. Insbesondere gilt das für Büro- und Verwaltungsgebäude, wo der Einsatz von PCs, Kopierern, Druckern, Faxgeräten usw. die Situation verschärft. Aber auch im

Wohnungsbau haben sich die Randbedingungen verändert. Hier werden ebenfalls in größerem Umfang Elektrogeräte eingesetzt, z.B. durch die Nutzung von Heimarbeitsplätzen.

Die Erhöhung der Dämmung hat nicht nur Auswirkungen auf den Heizenergiebedarf, sondern verändert auch die Situation im Sommer. Durch die höhere Dämmung verschiebt sich die Heizgrenze nach unten. Gleichzeitig wird im Sommer häufiger der Temperaturbereich erreicht, in dem die Behaglichkeitsgrenze überschritten wird, weil der Wärmetransport durch die Wände nach außen erschwert wird.

Im weiteren werden anhand von ausgewählten Beispielen die Auswirkungen unterschiedlicher Dämmung auf die empfundene Temperatur im Raum während der Sommerperiode beschrieben und quantifiziert. Dies geschieht durch Simulation des thermischen Verhaltens der Räume im betrachteten Wohngebäude. Die damit erhaltenen Ergebnisse sind daher reproduzierbar, und es bestehen für die verschiedenen betrachteten Varianten gleiche Randbedingungen, die für einen Vergleich unerlässlich sind. Als Beispiel wird ein Eckraum in einer Dreizimmerwohnung ausgewählt. Der Raum wird als Schlafzimmer genutzt. Nachts werden 160W als innere Last wirksam, tagsüber treten keine inneren Lasten auf.

Für die folgenden Untersuchungen werden drei Dämmstandards der Wohnung betrachtet: WSV 1982, WSV

1995 und die zu erwartenden Vorgaben der ESVO 2000.

Es werden drei Lüftungsarten unterschieden:

1. Stoßlüftung mit mehreren über den Tag verteilten Lüftungszeiten
2. Dauerlüftung mit konstantem Luftwechsel
3. Erhöhte Nachtlüftung mit minimalem Luftwechsel über den Tag

Der konstante Luftwechsel kann z.B. über ein mechanisches Wohnungslüftungssystem erreicht werden.

Beim Vergleich der verschiedenen Varianten werden folgende Bewertungsgrößen herangezogen: Als erstes ist die Anzahl der unbehaglichen Stunden im Jahr maßgebend. Steigt die empfundene Temperatur über 26°C an, wird die Situation als unbehaglich eingestuft.

Als weitere Bewertungsgröße wird der Verlauf und die Lage der Summenhäufigkeitskurve der empfundenen Raumtemperatur herangezogen. Die dritte Bewertungsgröße ist schließlich der direkte Vergleich zwischen den Temperaturverläufen der unterschiedlichen Varianten. Um diesen Vergleich noch übersichtlich zu halten, wird eine bestimmte Woche aus dem Testreferenzjahr /3/ herausgegriffen, nämlich Woche 32, Anfang August.

Als Ergebnis der Simulationsrechnungen läßt sich feststellen, daß unabhängig von der Lüftungsstrategie die Temperaturen bei dem gewählten Gebäude mit steigender Dämmung zunehmen. Die Differenzen in der empfundenen Temperatur zwischen WSV 1982 und ESVO 2000 betragen dabei etwa 3 bis 4 K. Es zeigt sich, daß Dämmmaßnahmen nicht nur positive Auswirkungen, nämlich auf den

Jahresheizwärmebedarf, haben, sondern im Sommer auch dazu führen können, daß die Behaglichkeit herabgesetzt wird. Es muß also für den Einzelfall abgewogen werden, wieviel Dämmung bei der jeweiligen Nutzung sinnvoll ist. Eine pauschale Festschreibung der k-Werte kann sonst zu Energie-mehrverbrauch führen, wenn der Nutzer den unbehaglichen Temperaturen durch Kühleinrichtungen entgegenwirkt. Besonders gilt dies für Gebäude mit hohen Innenlasten.

Die häufig vertretene These, daß sich höhere Dämmung auch im Sommer auf die Behaglichkeit nur positiv auswirkt, weil dann die Wärme schlechter von außen nach innen dringt, gilt nur für Räume mit niedrigen Innenlasten und

sehr kleinen Fensteranteilen, z.B. barackenähnlichen Gebilden oder in fensterlosen Dachgeschossen. Es wird dabei übersehen, daß der überwiegende Anteil der äußeren Wärmelasten nicht durch Außenwände in den Raum dringt, sondern durch Glasflächen durch Strahlung. Mit zunehmender Dämmung werden dem Raum Kühlflächen entzogen, über die die tagsüber zugeführte Wärme nachts wieder abgegeben werden kann. Die Simulationsergebnisse zeigen auch deutlich, daß große Glasflächen, wie sie in der heutigen Architektur eingesetzt werden, unbedingt mit außenliegenden Verschattungseinrichtungen ausgestattet werden sollten, damit die Innentemperaturen erträglich bleiben.

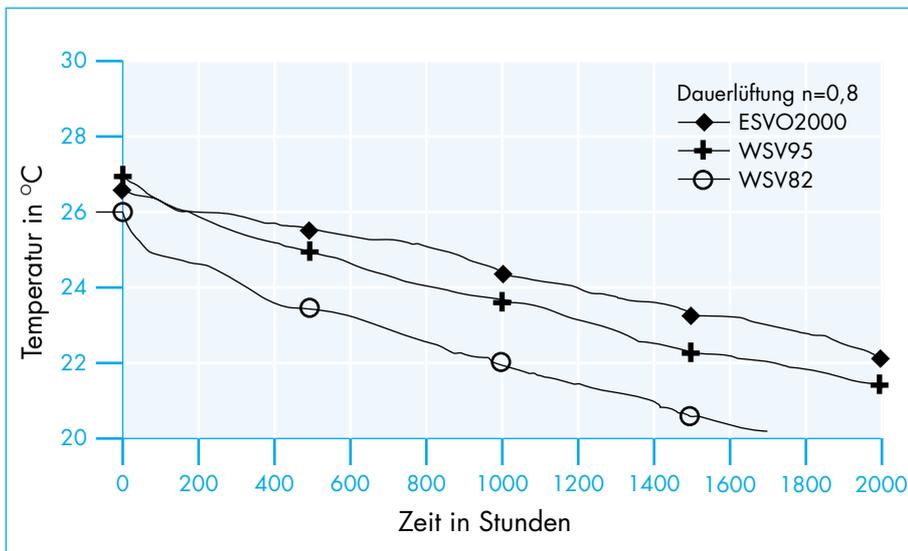


Bild 1 zeigt beispielhaft die Ergebnisse für den Raum mit Verschattung bei Südorientierung. Die Summenhäufigkeitskurve zwischen WSV95 und ESVO2000 unterscheiden sich nur unwesentlich; deutlich darunter mit einem Abstand von ca. 2K liegt die Kurve für die WSV82.

Literatur

/1/ Verordnung über einen energie-sparenden Wärmeschutz bei Gebäuden (Wärmeschutzverordnung). Bundesgesetzblatt Teil 1, Ausgabe Nr.55 vom 24.08. 1994.

/2/ Bach, H.; Bauer, M.; Dipper, J.; Hartmann, T.; Oschatz, B.; Richter, W.: Vom Wärmeschutz zur Energieeinsparung - Grundsatzuntersuchung NOWA zur ESVO2000. Auftraggeber: Vereinigung der Deutschen Zentralheizungswirtschaft e.V. VDZ. Institut für Thermodynamik und technische Gebäudeausrüstung, Universität Dresden und Lehrstuhl für Heiz- und Raumlufttechnik, Universität Stuttgart. Dresden, Stuttgart, Juni 1997.

/3/ Jahn, A.; Fortak, H.; Blümel, K.; Hollan, E.; Kähler, M.; Peter, R.: Entwicklung von Testreferenzjahren (TRY) für Klimaregionen der Bundesrepublik Deutschland, BMFT Forschungsbericht T 86-051, 1986.



Walter Dittes †

Am 13. Oktober 1998 ist Walter Dittes durch eine Lungenembolie gestorben. Er wurde mitten aus der Fertigstellung mehrerer Forschungsvorhaben gerissen.

Sein Pflichtbewusstsein und sein unbedingter Wille, zuverlässig zu sein, waren stärker als die Rücksicht auf eigene Belange und in diesem Fall auf eine zunächst harmlos erscheinende Erkrankung. Über 20 Jahre hat sich sein Institut so auf ihn stützen können. In dieser Zeit hat er vor dem Hintergrund der Probleme der Fabrikhallenlüftung ein neues Forschungsgebiet,

die Großraumlüftung erschlossen.

Die ungeordnet vorliegenden Erfahrungen wurden von ihm durch eine wissenschaftlich begründete Erkenntnisordnung ersetzt, völlig neue Luftführungskonzepte begründet und - alles zusammenfassend - eine neue verständlichere und effektivere Methodologie der Raumlufttechnik ganz allgemein aufgestellt.

Dieses große wissenschaftliche Werk wird mit seinem Namen verbunden bleiben, aber die liebenswürdige und geduldige Hilfsbereitschaft werden seine vielen Freunde und Kollegen für immer vermissen.

Einrichtungen zur Arbeitsplatzluftreinhaltung bei Stoffemissionen ohne Eigenbewegung.

Fred Kolarik

Die Reduzierung der Gefahrstoffkonzentration an Arbeitsplätzen mit Stoffemissionen ohne Eigenbewegung ist gegenwärtig immer noch "Glücksache". Es fehlt an Grundlagenkenntnissen. Durch das Forschungsvorhaben "Entwicklung von Einrichtungen zur Arbeitsplatzluftreinhaltung bei Stoffemissionen ohne Eigenbewegung-LURAP" soll dieser Mangel behoben werden. Das Vorhaben wird gefördert von der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen "Otto von Guericke" e.V. (AiF).

Während der Bearbeitung von Werkstücken oder der Handhabung von Werkstoffen werden oft luftfremde Stoffe freigesetzt, welche die Beschäftigten gefährden und die Umwelt belasten. Kann dieses Gefahrenpotential nicht durch Primärmaßnahmen (Stoffsubstitution der Gefahrstoffe, emissionsarme Bearbeitungsverfahren) vermindert werden, muß durch den Einsatz von lufttechnischen Maßnahmen die Einhaltung der Stoffgrenzwerte am Arbeitsplatz (MAK, TRK) erzielt werden. Die Grenzwerte können jedoch durch konventionelles Lüften nicht oder nur sehr schwer eingehalten werden. Ein Lösungsweg ist die gezielte Erfassung der Stoffemissionen am Entstehungsort. Dies bewirkt, daß die Beschäftigten mit den freigesetzten Stoffen erst gar nicht in Kontakt kommen oder die Konzentrationen der nicht erfaßten luftfremden Stoffe im Arbeitsbereich auf ungefährliche Werte vermindert werden. Solche Erfassungseinrichtungen werden bevorzugt im Ausbreitungsweg der Stoffemissionen angeordnet. Triebfeder für die Stoffausbreitung ist hierbei ein hoher Anfangsimpuls bei der Freisetzung des Stoffes (z.B. Partikelemission beim Winkelschleifen) oder Luft- und Partikelbewegungen hergerufen durch thermische Randbedingungen (z.B. Stoffemissionen beim Schweißen).

Eine wissenschaftliche Grauzone stellen gegenwärtig noch diejenigen Stoffemissionen dar, bei denen die Richtung der Stoffausbreitung aufgrund fehlender Eigenbewegung weitgehend un-

bekannt ist. Die Ausbreitung solcher Emissionen ist vorwiegend durch die Bewegung der Umgebungsluft bestimmt. Typische Arbeitsvorgänge mit derartigen Stoffemissionen sind das Verarbeiten von faserverstärkten Kunststoffen, das handgeführte Schleifen von Holz und Metall oder der Umgang mit staubenden Gütern.

Forschungsziel und Vorgehensweise

Ziel des Forschungsvorhabens LURAP ist es, wirkungsvolle, lufttechnische Einrichtungen für die direkte Erfassung von Stoffemissionen ohne Eigenbewegung, zu entwickeln.

Die Untersuchung der entwickelten Erfassungseinrichtungen erfolgt exemplarisch für den weit verbreiteten Tischarbeitsplatz. Die freigesetzten Emissionen sollen durch Strömungssenken (Absaugschlitze, Absaugdüsen) erfaßt und aus dem Arbeitsbereich fortgeführt werden. An einem im Walter Dittes - Strömungs-Labor aufgebauten Modellarbeitsplatz ist es möglich, die Stoffemission durch freigesetztes Tracergas /1/ zu simulieren und damit den Erfassungsgrad der einzelnen Erfassungseinrichtungen bei verschiedenen Luftströmen zu ermitteln. Dabei wird auch der Einfluß von Störquellen (Querströmungen im Raum, thermische Störungen, Einfluß von Personen) mit in die Bewertung der Erfassungseinrichtung einbezogen. Die Möglichkeit, durch geeignete Zuluftführungen die freigesetzten Gefahrstoffe noch effektiver zu erfassen, soll ebenfalls untersucht werden. Da für eine verallgemeinerbare Darstellung der Ergebnisse viele Varianten untersucht werden müssen, wird hierzu die Computer-

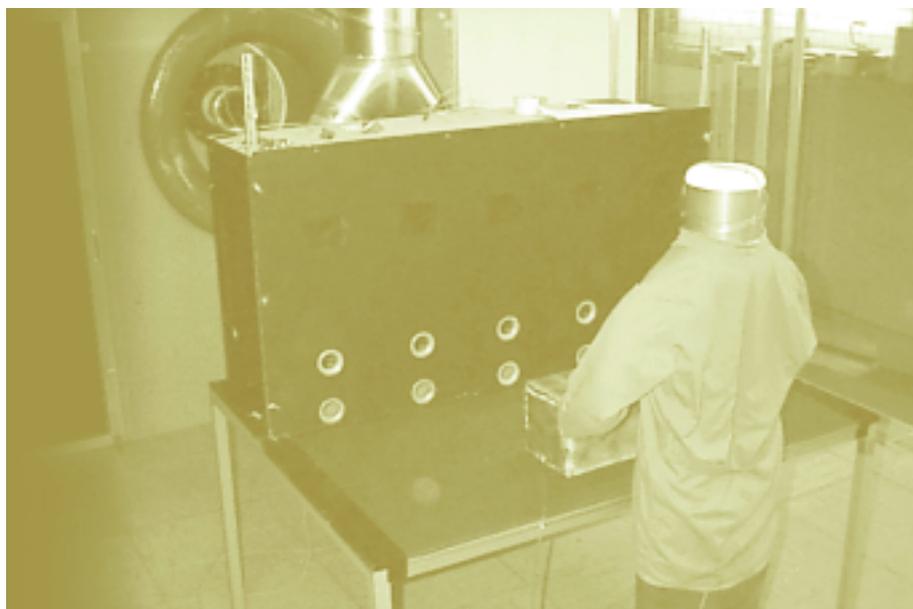


Bild 1: Modell des Tischarbeitsplatzes im Walter Dittes-Strömungs-Labor

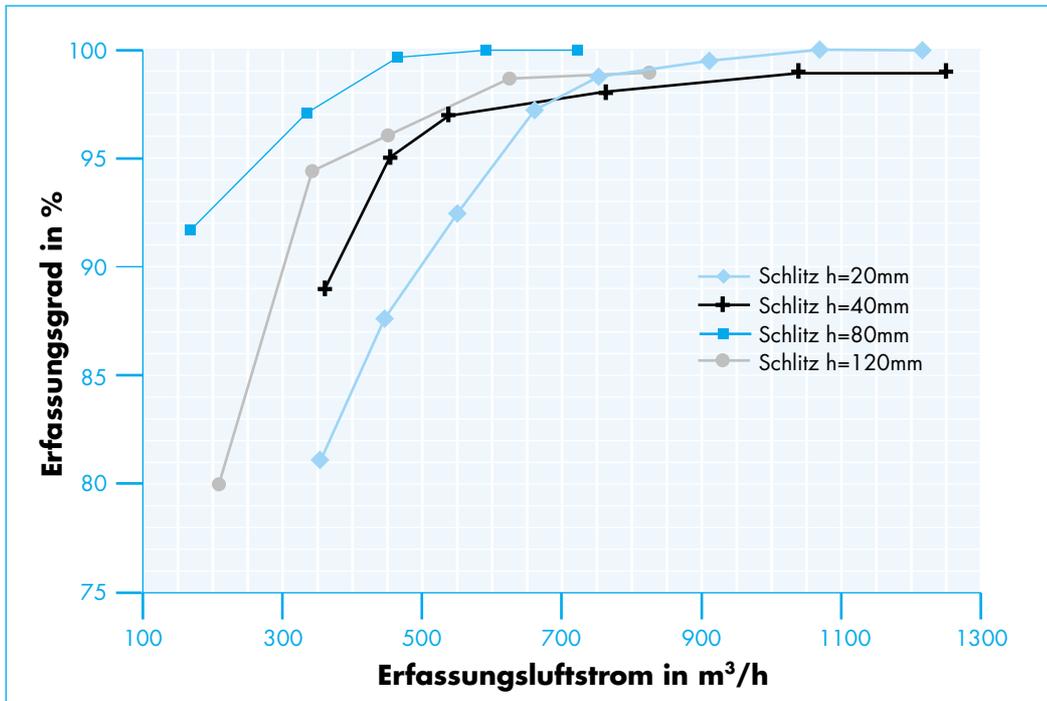


Bild 2: Vergleich der Erfassungsgrade bei Variation des Erfassungsluftstroms für verschiedene Schlitzhöhen h bei konstanter Schlitzlänge ($l=1,2\text{m}$).

simulation eingesetzt. Für die im Labor nachgebildeten lufttechnischen Einrichtungen werden Simulationsmodelle erstellt und mit den Meßergebnissen validiert.

Stand der Untersuchungen

An einem Modellarbeitsplatz (Bild 1) werden im ersten Schritt verschiedene Senken erprobt. Dabei wird deutlich, daß die Umgebung einen großen Einfluß auf die Senke ausübt. Sind keine störenden Umgebungseinflüsse vorhanden, ist die Erfassungswirkung bei allen Erfassungseinrichtungen auch bei geringen Luftströmen gut. Steht vor dem Tischarbeitsplatz eine Person (in Form eines beheizten Dummies), so ist es mit den untersuchten Strömungssenken nur mit hohen Erfassungsluftströmen möglich, den Atembereich emissionsfrei zu halten, da die Thermikströmung der Person die Emissionen induziert und in den Atembereich mitführt. Nebelversuche machen deutlich, daß störende Luftströmungen (z. B. durch vorbeilaufende Personen) die Erfassungsluftströmung zerstören. Dadurch können Emissionen in den Raumbereich gelangen. Durch Abschirmungen des Arbeitsplatzes wird dieser Effekt verringert.

In Bild 2 ist ein Vergleich der Erfassungsgrade verschiedener Schlitzhöhen h einer Senke für unterschiedliche Er-

fassungsluftströme dargestellt. Die Schlitzlänge $l=1,2\text{m}$ ist dabei konstant gehalten. Als Störquelle dient ein beheizter Dummy. Die Unterkante des Schlitzes ist dabei auf Tischhöhe angeordnet. Es wird deutlich, daß für diese Anordnung eine Schlitzhöhe von ca. 80mm günstig ist. Selbst bei einem Erfassungsluftstrom von ca. $150\text{ m}^3/\text{h}$ ist der Erfassungsgrad größer 90%. D.h. über 90% des freigesetzten Tracergases wird von der Erfassungseinrichtung erfaßt. Für einen größeren oder kleineren Schlitz verschlechtert sich der Erfassungsgrad. Ein Vergleich der besten Schlitzhöhe mit der schlechtesten Schlitzhöhe zeigt, daß durch eine optimale Auslegung der Erfassungseinrichtung der notwendige Luftstrom verringert werden kann. Dies bedeutet eine finanzielle Einsparung bei der Investition und dem Betrieb der Anlage.

Wirtschaftliche Bedeutung für kleine und mittlere Unternehmen

Die Ergebnisse des Vorhabens sind für zwei Arten von kleinen und mittleren Unternehmen von Bedeutung. Betriebe, die mit Fertigungsverfahren arbeiten, bei denen Stoffe ohne Eigenbewegung freigesetzt werden, erhalten die Möglichkeit, durch Maßnahmen der Arbeitsplatzluftreinhaltung die Stoff-

grenzwerte (MAK, TRK) mit vertretbarem Aufwand einzuhalten. Das bedeutet eine erhebliche Minderung der erforderlichen Luftströme und damit der Kosten für die Förder- und die Heizenergie.

Zusätzlich sind die Erkenntnisse des Vorhabens für die handwerklich und mittelständisch organisierten Planungsbüros und Anlagenbauer der Lufttechnikbranche von Bedeutung. Bislang mußten solche lufttechnischen Maßnahmen mangels allgemeiner Regeln für den Aufbau und die Auslegung der Erfassungseinrichtungen meist vor Ort erprobt und aufwendig nachgebessert werden, oder es waren für jeden Anwendungsfall aufwendige, experimentelle Voruntersuchungen notwendig.

Literatur:

/1/ Dittes, W.: Einsatzmöglichkeiten der Spurengas-Meßmethode bei der Untersuchung von Raumluftströmungen, HLH 34/83, S.329 - 331.

Ergebnisse des Forschungsvorhabens Niedrigenergiehaus Mannheim (NEHAMA)

Erik Reichert

Ergebnisse verschiedener Forschungsvorhaben /1,2,3/ zeigen, daß eine wärmetechnische Optimierung der Gebäudehülle ohne Anpassung der Heizungstechnik nicht zu den ursprünglich prognostizierten hohen Energieeinsparungen führen kann. Im Rahmen des BMBF-Vorhabens NEHAMA wurde erstmals ein Energiesparkonzept am Beispiel eines Mehrfamilienhauses untersucht, in dem bauliche und anlagentechnische Maßnahmen aufeinander abgestimmt eingesetzt wurden. Erstmals wurde damit ein richtungsweisendes Konzept realisiert, das zeigt, wie die Anforderungen der zukünftigen Gebäudegeneration energie- und kostensparend erfüllt werden können.

Bei dem Demonstrationsgebäude handelt es sich um ein 2^{1/2}-geschossiges Mehrfamilienhaus mit 12 Wohneinheiten und 727 m² beheizter Wohnfläche, dessen Heizwärmebedarf nach dem Berechnungsverfahren der gültigen WSV0 /4/ 51 kWh/(m²a) beträgt und damit 35 % unter dem zulässigen Wert liegt. Bei der Wärmeversorgung des Gebäudes - die Anlagenkonzeption wurde bereits in den HLKBRIEFen Nr. 5 und Nr. 6 /5,6/ näher beschrieben - wurde besonders darauf geachtet, eine optimale Energieausbeute zu wirtschaftlich vertretbaren Bedingungen zu garantieren. Zudem sollten die Komfortansprüche der Nutzer unter ausschließlicher Verwendung von Serienprodukten und unter Einbezug regenerativer Energien befriedigt werden können.

Um die angestrebten Erkenntnisse gewinnen zu können, wurde die Anlage und das Gebäude über 2 Heizperioden intensiv meßtechnisch überwacht. Insgesamt bewährte sich das Anlagenkonzept, obwohl einige Anlagenelemente entgegen den Herstellerangaben unter Betriebsbedingungen nicht die in der Planungsphase angesetzten Auslegungswerte erreichen. Im folgenden sollen einige interessante Ergebnisse dargestellt werden. Die detaillierte Auswertung aller Meßergebnisse ist in den beiden Endberichten der projektbetreuenden Institute IKE /7/ und IBP /8/ enthalten.

Nutzereinfluß auf Heizenergie- und Trinkwasserverbrauch

Erwartungsgemäß übte der Nutzer durch die gewünschten Raumtemperaturen, durch sein Lüftungsverhalten sowie die gezapften Warmwassermengen einen großen Einfluß auf den Heizenergie- und Trinkwasserverbrauch aus. Bezogen auf einen Sparer lagen die Warmwasser-Zapfmengen eines Vielverbrauchers im Jahresmittel etwa zwanzigmal und für einzelne Monatswerte sogar bis zu fünfzigmal höher. Für das Gesamtgebäude lag die gezapfte Warmwassermenge zwischen 500 l/d und 1.500 l/d (vgl. dazu Bild 1a). Die Umrechnung des Mittelwerts von 1000 l/d auf eine Warmwassertemperatur von 60 °C ergab unter Berücksichtigung einer mittleren Kaltwassertemperatur von 11 °C mit der tatsächlichen Belegung von 29 Personen einen Verbrauch von etwa 30 l/(d·Pers). Dieses Ergebnis stimmt sehr gut mit

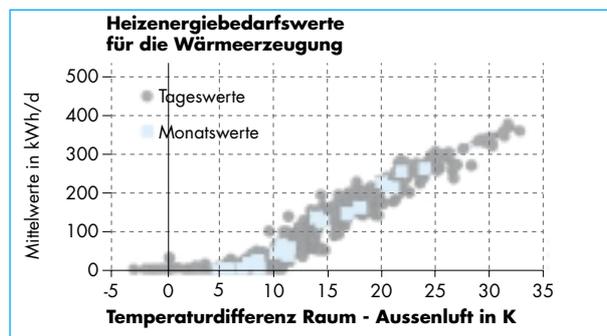
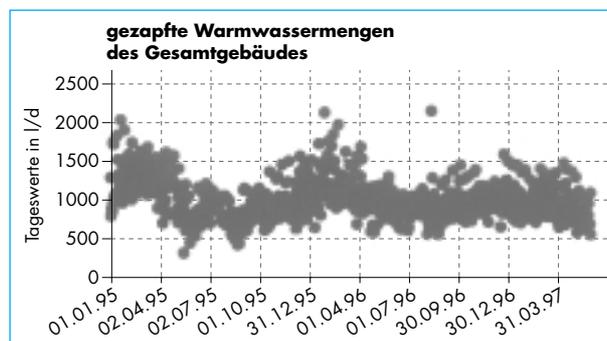
Bild 1a: oben
Bild 1b: unten

dem zur Auslegung des Trinkwassersystems herangezogenen Verbrauchswert nach VDI 2067 Blatt 4 /9/ überein.

Im Vergleich zur Trinkwassererwärmung waren die Unterschiede zwischen einzelnen Nutzern heizungseitig wesentlich geringer. Die Monatsverbräuche der einzelnen Wohnungen wichen maximal 50 % vom Mittelwert des Gebäudes ab. In Bild 1b sind die Heizenergieverbräuche des Gebäudes über der Temperaturdifferenz Raum-Außenluft aufgetragen.

Solaranlage

Mit einem Jahresertrag von 312 kWh je m² Kollektorfläche und einer solaren Deckungsrate von 38 % konnte die Solaranlage die Planungsvorgaben erfüllen. Verantwortlich für die relativ geringe Deckungsrate waren sowohl die tägliche Durchladung des Trinkwasserspeichers (Anti-Legionellenladung) als auch der gegenüber der Auslegung aufgrund der reduzierten Zirkulationsverluste geringere Energiebedarf für die Trinkwassererwärmung. Im Sommer war die Kollektorkreiselpumpe im Mittel 7 h/d in Betrieb. Dabei traten an sonnigen Tagen maximale Kollektoraustrittstemperaturen von über 100 °C auf. In den Wintermonaten reduzierte sich die Laufzeit der Solaranlage im Mittel auf 2 h/d. An sonnigen Wintertagen konnten noch maximale Kollektoraustrittstempera-



turen von 80 °C gemessen werden. Die Verluste des Solarpufferspeichers, der im Sommer an Tagen mit hohem Solarstrahlungsangebot bis auf 95 °C durchgeladen werden konnte, lagen im Mittel bei 0,5 W/(K·100 l). Damit ist der Solarpufferspeicher energetisch gesehen als gut einzustufen. Die mit der Ladewechselvorrichtung verbundene Verbesserung der Schichtung im Solarpufferspeicher führte zu einem Anstieg der Solargewinne um 10 %. Entsprechend mußte etwa 5 % weniger Energie kesselseitig zur Trinkwassererwärmung aufgewendet werden.

Zirkulationsverluste

Die gemessenen Zirkulationsverluste hingen stark von der Laufzeit der Zirkulationspumpe ab. Für Dauerbetrieb (24h/d) wurden Zirkulationsverluste von 25 kWh/d gemessen. Bei Intervallbetrieb (3 x 1h/d) konnten die Zirkulationsverluste auf Werte um 10 kWh/d reduziert werden. Es zeigte sich jedoch, daß der Dauerbetrieb der Zirkulationspumpe - aus Gründen des Komforts und des Wasserverbrauchs - im Winter nicht deaktiviert werden sollte. In den Sommermonaten ist dagegen eine Energieeinsparung durch Umstellen der Zirkulation auf Intervallbetrieb ohne wesentliche Komforteinbußen oder Steigerung des

Wasserverbrauchs möglich. Die - bezogen auf die aus dem Trinkwasserspeicher entnommene Nutzenergie (40 bis 60 kWh/d) - hohen Zirkulationsverluste bestätigen Ergebnisse aus anderen Projekten /10/.

Trinkwasserspeicher

Für den Trinkwasserspeicher wurden Verluste von etwa 0,9 W/(K·100 l) gemessen. Durch Simulation der Anlage ließ sich zeigen, daß der Einbau eines etwas kleineren Trinkwasserspeichers (nach Norm wäre ein Nennvolumen von 450 l ausreichend) bei den gemessenen Abnahmemengen ohne Komforteinbußen für die Nutzer zu einer etwas günstigeren Betriebsweise der Anlage geführt hätte. Die tägliche Durchladung des Trinkwasserspeichers (Anti-Legionellenladung) führte zu einer Erhöhung des Energiebedarfs zur Trinkwasserspeicher-Ladung von etwa 5 %. Trotzdem nahmen die Solargewinne kaum zu, da die höheren Temperaturen im Trinkwasserspeicher zu einer Verkleinerung des solar nutzbaren Speichervolumens führen. Eine Verschiebung des Einschaltzeitpunktes der Anti-Legionellenladung von 15:00 Uhr zu früheren oder späteren Zeitpunkten führt energetisch gesehen in allen Fällen zu einer deutlichen Verschlechterung der Anlagenbetriebsweise.

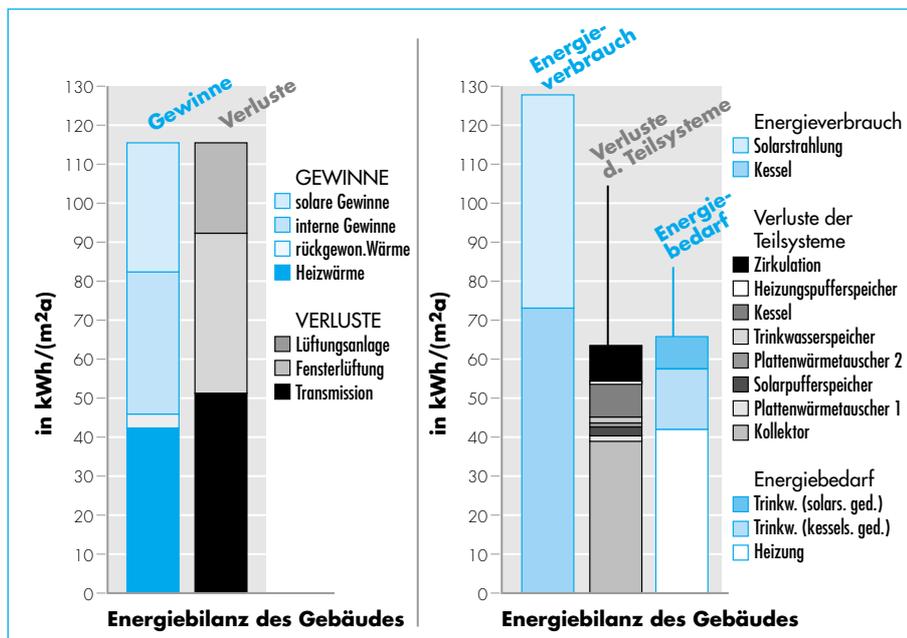
Energiebilanzen

Die Energiebilanz des Gebäudes ist für die letzten 12 Monate der Meßphase (Juni '96 bis Mai '97) in Bild 2 (links) dargestellt. Die Verlust- und Gewinnanteile sind auf die beheizte Wohnfläche bezogen. Der Energieumsatz des Gebäudes beträgt etwa 106 kWh/(m²a). Die Wärmegevinne setzen sich aus den Gewinnen durch äußere (23 kWh/(m²a)) und innere Lasten (37 kWh/(m²a)), aus der über die Plattenwärmetauscher der Wohnungslüftungsgeräte zurückgewonnenen Wärme (4 kWh/(m²a)) sowie aus der verbrauchten Heizwärme (42 kWh/(m²a)) zusammen. Die Wärmeverluste des Gebäudes lassen sich in Transmissionsverluste über die Gebäudehülle (51 kWh/(m²a)) und Lüftungswärmeverluste über Fugen und Fenster (41 kWh/(m²a)) sowie über die Wohnungslüftungsanlagen (14 kWh/(m²a)) aufteilen.

Im rechten Teil des Bildes 2 ist für den gleichen Zeitraum die Energiebilanz der Wärmeversorgungsanlage dargestellt. Die Werte sind ebenfalls auf die beheizte Wohnfläche bezogen. Einschließlich der Zirkulationsverluste beträgt der Gesamtenergiebedarf für die Trinkwassererwärmung 31 kWh/(m²a), der gesamte Heizenergiebedarf liegt bei 42 kWh/(m²a). Abzüglich der Zirkulationsverluste von 8 kWh/(m²a) kann die Nutzenergieentnahme am Ausgang der Wärmeversorgungsanlage damit näherungsweise zu 65 kWh/(m²a) bestimmt werden. Die Gesamtverluste der Wärmeherzeugung lagen bei 55 kWh/(m²a). Werden die Umwandlungsverluste der Flachkollektoren von 39 kWh/(m²a) davon abgezogen, ergeben sich für alle Komponenten im Heizraum Gesamtverluste von 16 kWh/(m²a). Bei einer solaren Einstrahlung von 54 kWh/(m²a) auf die gesamte Kollektorfläche konnten Solargewinne von 15 kWh/(m²a) erzielt werden. Der gemessene Brennstoffverbrauch lag bei 74 kWh/(m²a).

Der jährliche, auf den Primärenergieeinsatz bezogene elektrische Hilfsenergieverbrauch der Anlage betrug etwa 6 % des Brennstoffverbrauchs.

Bild 2: Auf die Wohnfläche bezogene Energiebilanzen von Juni '96 bis Mai '97 links: Die Energiebilanz des Gebäudes; rechts: Die Energiebilanz der Wärmeversorgung.



Fortsetzung von Seite 11 (NEHAMA)

Literatur

/1/ Bach, H.; Richter, W.: Vom Wärmeschutz zur Energieeinsparung - Grundsatzuntersuchung NOWA zur ESV 2000, Dresden, Stuttgart, 1997.

/2/ Bauer, M.: Energiegerechte Planung von Heizanlagen, Vortrag, XXIV Intern. Kongreß TGA, Hannover 1996.

/3/ Bach, H.: Mit der Dämmung der Gebäude steigt die Anforderung an die Nutzenübergabe, HLH Heft 2, 1997.

/4/ Verordnung über einen energiesparenden Wärmeschutz bei Gebäuden, Januar 1995.

/5/ Scholer, W.: Heizanlagenkonzept für Brennwert- und Solarenergienutzung bei Mehrfamilien-Niedrigenergiehäusern, HLKBRIEF 5, Stuttgart, 1993.

/6/ Scholer, W.: Niedrigenergiehaus Mannheim (NEHAMA), HLKBRIEF 6, Stuttgart, 1994.

/7/ Bach, H.; Claus, G.; Reichert, E.; Scholer, W.: Mehrfamilien-Niedrigenergiehaus Mannheim, Energetische Bewertung der Wärmeversorgungsanlage, IKE 7-26, Abschlußbericht Universität Stuttgart, Dezember 1997.

/8/ Erhorn, H.; Reiß, J.: Mehrfamilien-Niedrigenergiehaus Mannheim, Energetische Bewertung des Gebäudes und der Wohnungslüftungssysteme, Abschlußbericht, Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Stuttgart, Dezember 1997.

/9/ VDI 2067: Berechnung der Kosten von Wärmeversorgungsanlagen, Blatt 4: Warmwasserversorgung, Februar 1982.

/10/ Reiß, J.; Erhorn, H.: Effizienz von Solar-, Lüftungs- und Heizsystemen im Mietwohnungsbau, Gesundheits-Ingenieur, Heft 5, 1995.

Studien- und Diplomarbeiten 1997/98

Ahn, Z.-K.: Simulationsprogramm zur Berechnung des Norm-Nutzungsgrades von Heizkesseln die sowohl Raumheizwärme erzeugen als auch Trinkwasser erwärmen.

Birk, M.: Auswirkungen des Einsatzes von P-, PI-, und PID-Reglern zur Raumtemperaturregelung auf Behaglichkeit und Energiebedarf.

Birk, M.: Vergleich verschiedener Varianten zur Lüftung einer Turn- und Versammlungshalle am Beispiel der GHS Plieningen.

Bock, G. W.: Erstellen eines Meßprogramms zur Untersuchung von Erfassungseinrichtungen auf einem RLT-Prüfstand.

Grob, R. F.: Anwendung des IKE-Systems zur Erkennung und Diagnose von Fehlern beim Betrieb von HLK-Anlagen.

Haller, R.: Erstellen eines Gebäude- und Anlagenmodells und Vergleich zweier Regelungskonzepte für die GHS Plieningen.

Hartmann, Th.: Influence of fuel Nitrogen on the Formation of Nitrogen Oxides in domestic fuel Boilers.

Hirsch, S.: Einführung eines Energie-Managements am Beispiel eines Produktionsbetriebes.

Hummel, L.: Projekt „Niedrigenergiehaus Vierheimer Weg“ - Analyse der Betriebsweise und energetische Bewertung des Anlagenkonzepts.

Ibrahim, A.: Raumklimatisierung in Kraftfahrzeugen.

Krieger, G.-D.: Analyse der Wirtschaftlichkeit von Maßnahmen zur lastgerechten Auslegung und zum lastgerechten Betrieb lufttechnischer Anlagen in Laboratorien.

Krispin, H.: Untersuchung des Einflusses des Nutzers auf die Verteilgenauigkeit.

Kunert, Th.: Aufbau eines mobilen Versuchstandes zur Prüfung von Pumpen und deren Regeln.

Manegold, J.: Solarunterstützte Luftkonditionierung, Techniken, Potentiale und Simulation.

Mäurer, W.: Untersuchung des Einflusses der Bodentemperatur in der offenen Prüfkabine auf die Heizkörper-Wärmeabgabe mit Hilfe eines Finite-Elemente Verfahrens.

Mäurer, W.: Parameterstudie von Wirkungsgradmessern an Gas-Zentral-Heizgeräten.

Moll, J.: Kostenanalyse und Bewertung verschiedener Wärmeverteilssysteme.

Mühleck, R.: Erstellung eines Simulationsmodells für einen Heizkessel der GHS Plieningen.

Nouruzi-Pur, M.: Messung der Luftgeschwindigkeiten an einem Heizkörper - Vergleich von LDA und Hitzdrahtanemometer.

Planck, C.: Grundlagenuntersuchung zur Bestimmung von Aufwandszahlen bei RLT-Anlagen.

Riederer, P.: Test und Optimierung des RHKVS für den Einsatz im Projekt RATEG.

Schiele, P.: Erstellung eines Auswerteprogramms für die Meßdaten aus der GHS Plieningen.

Schiele, P.: Untersuchung des thermischen Umfeldes bei Fensterlüftung.

Schindler, S.: Untersuchungen an Ansaugröhrchen von Ringspinnmaschinen.

Schlageter, R.: Grundlagen und konstruktive Umsetzung der Brennwertnutzung.

Schlageter, R.: Untersuchung der Genauigkeit von Luftstromreglern in Luftleitungsnetzen von RLT-Anlagen für Laborgebäude.

Wacker, A.: Erstellung eines Simulationsmodells für den Kesselkreis der GHS Plieningen.

Wallstein, M.: Rechnergestützte Analyse des Betriebs eines bestehenden BHKW.

Weiß, P.: Entwicklung der Heiznetzschnittstelle für einen Thermen-Emulator.

Welfonder, T.: Erstellung eines Anlagenmodells für die Simulation der Heizkreise des BT 1 in der GHS Plieningen.

Windmüller, D.: Untersuchung der Einflüsse von Strömungsvorgängen in Laborräumen auf die Belastungssituation durch luftfremde Stoffe.

Yildirim, C.: Simulation „Niedrigenergiehaus Vierheimer Weg“ - Parameterstudie zur Betriebsoptimierung der Anlage mit Hilfe des kalibrierten Anlagenmodells.

Wärmeübergang an Kühldecken

Christoph Kochendörfer

Normprüfungen an Kühldecken nach DIN 4715 sind heute Stand der Technik. Die Mehrzahl der eingebauten Kühldeckensysteme ist zwischenzeitlich nach dieser Norm geprüft. Bereits mehrfach wurde jedoch in der Vergangenheit auf die Problematik der Übertragbarkeit dieser Ergebnisse auf die Praxis hingewiesen. In den folgenden Ausführungen soll Wärmeübergang an Kühldecken erläutert und Berechnungsmöglichkeiten aufgezeigt werden.

Der Wärmeübergang an geschlossenen, ebenen Kühldecken unter den Prüfbedingungen nach DIN 4715 (geschlossener Prüfraum, gleichmäßig verteilte Wärmequellen, adiabate Begrenzungsflächen) ist weitgehend gekennzeichnet durch die Konvektion an der Kühldeckenunterseite sowie Strahlungswärmeaustausch mit den Umschließungsflächen und den Wärmequellen. Treibende Kraft für die freie Konvektion an der Kühldeckenunterseite sind Dichteunterschiede der verschiedenen Luftschichten. Die Grenzschicht an der Oberfläche ist kälter und somit schwerer als die umgebende Raumluft. Sie löst regelmäßig, jedoch an wechselnden Orten, ab und strömt in Luftballen nach unten.

Grundsätzlich abweichende Bedingungen für den konvektiven Wärmeübergang findet man in der Umgebung von integrierten Luftdurchlässen und im

Deckenbereich an der Außenfassade vor. Bild 1 zeigt die Verhältnisse im realen Anwendungsfall mit Luftströmung vor der Fassade und entlang der Decke. In diesen Bereichen der Kühldecke ist der Wärmeübergang durch freie Konvektion überlagert von einer erzwungenen Luftströmung. Die Berechnungsgleichungen für den Wärmeübergang bei freier Konvektion gelten daher nicht mehr.

Die Ausbreitung der Luftstrahlen kann mit den von Regenscheidt entwickelten Berechnungsmodellen beschrieben werden. Im vorliegenden Fall kann der Warmluftstrahl vor der Fassade nach der Umlenkung in die obere Raumecke wie eine horizontale Luftströmung und somit analog zu den Luftströmungen aus den Luftdurchlässen betrachtet werden. Die Schwierigkeit in der Beschrei-

bung besteht darin, daß hier im Unterschied zu allen bisher untersuchten Anwendungsfällen ein zweifach anisotroper Fall vorliegt. Die Temperaturen der Kühldeckenoberfläche (18-20°C), der Luftströmung (bei Zuluft: 16-22°C bzw. Warmluftstrahl vor Fassade: 28-35°C) und der umgebenden Raumluft (24-27°C) sind zumeist unterschiedlich. Des weiteren müssen für die Luftgeschwindigkeiten und die jeweiligen Temperaturdifferenzen die örtlichen Werte betrachtet werden. Erst die Zuordnung des örtlichen Wärmeübergangskoeffizienten mit der treibenden Temperaturdifferenz ergibt den korrekten örtlichen Wärmestrom. Dies wird mit einem für diesen Anwendungsfall entwickelten Berechnungsprogramm berücksichtigt. Das Programm liefert mit Messwerten übereinstimmende Ergebnisse für diverse Luftdurchlässe, Luftgeschwindigkeiten und -temperaturen. Abweichend von der häufig angenommenen These, daß integrierte Luftdurchlässe immer zu höheren Kühldeckenleistungen führen, kann gezeigt werden, wie sich Zuluftstrom,

Bild 1: Strömungsvorgänge in realen Räumen

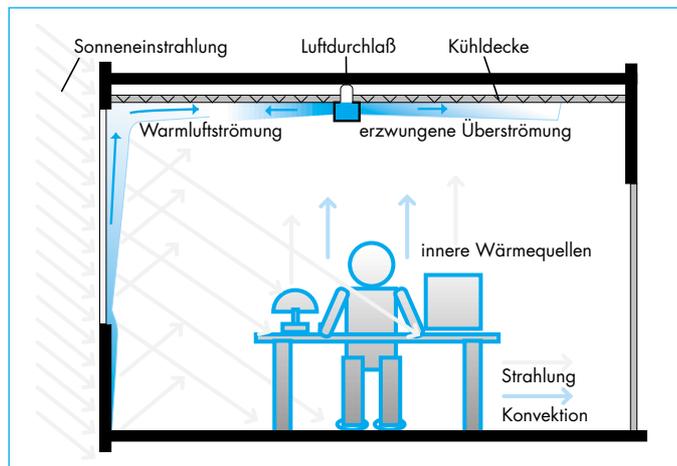


Bild 2: Parameterstudie linearer Schlitzdurchlaß (m=0,15)

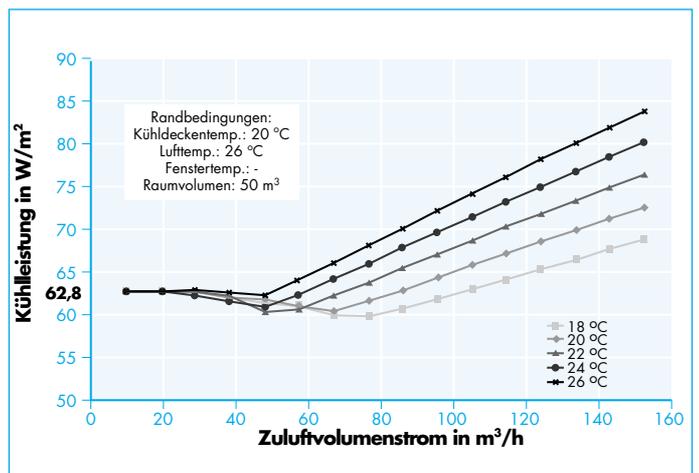
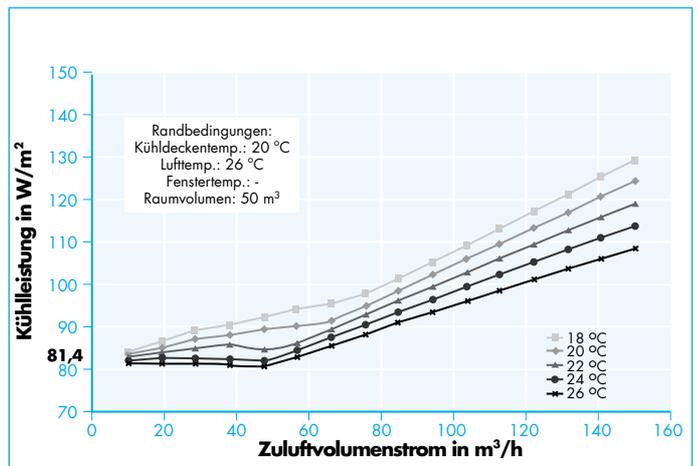


Bild 3 (unten rechts): Parameterstudie linearer Schlitzdurchlaß (m=0,15)



Fortsetzung von Seite 13

Wärmeübergang an Kühldecken

-temperatur und Kühldeckenleistung gegenseitig beeinflussen (Bild 2). Unabhängig von der gewählten Austrittstemperatur (18 - 26°C) kann festgestellt werden, daß die flächenbezogene Kühlleistung zunächst unter die Basiskühlleistung von 62,8 W/m² bei freier Konvektion abfällt. Ursache hierfür sind die gegenüber den Verhältnissen bei freier Konvektion z.T. erheblich geringeren örtlichen Temperaturdifferenzen zwischen Kühldecke und vorbei strömender Luftschicht. Diese können bei niederen Zuluftströmen nicht durch den verbesserten Wärmeübergang an der Kühldecke ausgeglichen werden. Erst bei höheren Luftströmen und somit höheren Austrittsgeschwindigkeiten überwiegt der positive Einfluß des verbesserten Wärmeüberganges. Für niedere Zulufttemperaturen (18°C) ergeben sich im Berechnungsbeispiel Luftströme von 100m²/h. Betrachtet man jedoch nicht die Kühldecke allein, sondern berücksichtigt, daß selbstverständlich auch die Luft einen Anteil an der Raumkühlung übernimmt, so ergibt sich Bild 3. Es zeigt die insgesamt aus dem Raum abgeführte Wärmemenge in Abhängigkeit von der Zulufttemperatur und des Zuluftstroms. Trotz des negativen Einflusses auf die Leistung der Kühldecke ergeben niedere Zulufttemperaturen die insgesamt höheren Gesamtkühlleistungen. Der Einfluß der Luftkühlung (Niedere Zulufttemperatur = größere Luftkühlleistung) kompensiert die reduzierte Kühldeckenleistung. Die obigen Ausführungen zeigen, daß bei der Berechnung von Kühldeckensystemen stets geprüft werden muß, ob die Randbedingungen im konkreten Anwendungsfall weitgehend den Verhältnissen bei der Normprüfung (freie Konvektion) entsprechen. Ansonsten muß der tatsächlich übertragene Wärmestrom an der Kühldecke mit Hilfe genauerer Ansätze berechnet werden. Darüber hinaus ist bei größeren Fensterflächen mit erhöhten Temperaturen unbedingt der oben nicht weiter erläuterte Einfluß der direkten Zu- strahlung auf die Kühldeckenleistung zu berücksichtigen.

MEDUSA - Minimierung des Energiebedarfs von Gebäuden durch Simulation von Heizanlagen

Michael Bauer

Bei der Planung, Ausführung und beim Bau von Gebäuden werden Bauherren, Architekten und Ingenieure vermehrt an dem energetischen Gesamtkonzept der Gebäude gemessen. Auch bei der Sanierung und beim Umbau bestehender Gebäude treten immer öfter energetische Gesichtspunkte in den Vordergrund. Für die Planung und Umsetzung von Gebäuden bedeutet dies, daß der Energiebedarf verstärkt als ein wichtiges Entscheidungskriterium beim architektonischen Entwurf und bei der Konzeption der Raumklimatechnik eingesetzt wird. Somit wird es bedeutsamer, vorhandene Energieeinsparpotentiale in Gebäuden auszuschöpfen.

Energieeinsparpotentiale in beheizten Gebäuden sind in den Bereichen zu finden, in denen Energie- bzw. Wärmeverluste auftreten. Klassisch werden diese Verluste in drei getrennte Bereiche unterteilt: Erstens die Wärmeverluste des Gebäudes durch Transmission und Lüftung, zweitens die Verluste bei der Wärmeerzeugung (z.B. Kesselverluste) und drittens, die Verluste bei der Wärmeverteilung (z.B. Rohrleitungsverluste). Integrale Systembetrachtungen werden kaum durchgeführt. Mit der getrennten Betrachtungsweise konnten in den letzten Jahren die Wärmeverluste in den einzelnen Teilbereichen aufgezeigt werden. Weitere Anhebungen der Nutzungsgrade

sind in diesen Teilbereichen aus heutiger Sicht nur noch in einer Größenordnung von 1 - 5 %-Punkten zu erwarten. Auch bei der Wärmedämmung von Gebäuden haben die gesetzlichen Vorgaben für den verbesserten Wärmeschutz gegriffen. So ist der Heizenergiebedarf von modernen Wohngebäuden auf ca. 70 kWh/m²a gesunken. Mit der geplanten Energieeinsparverordnung wird angestrebt, den Standard nochmals zu erhöhen, wodurch der Energiebedarf um weitere 30 % gesenkt werden soll. Das Energieeinsparpotential ist noch beträchtlich, die wirtschaftliche Umsetzung bei den heutigen Energiepreisen jedoch kaum möglich /1/.

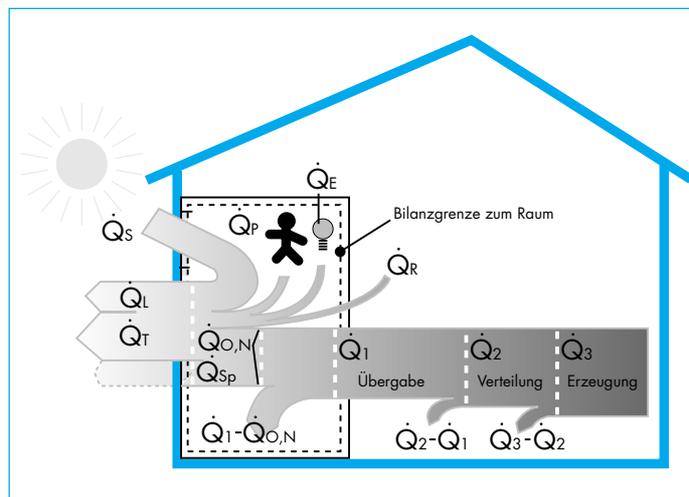


Bild 1 zeigt die Energieflüsse in einem beheizten Gebäude. Das Hauptaugenmerk in dieser Arbeit wird auf den Bereich der Nutzenübergabe gerichtet. Bilanzgrenze ist hierbei der Raum, die Oberfläche des Heizsystems und die Verbindungsstelle zwischen Raumregler und Verteilung. Mit der verbesserten Wärme-

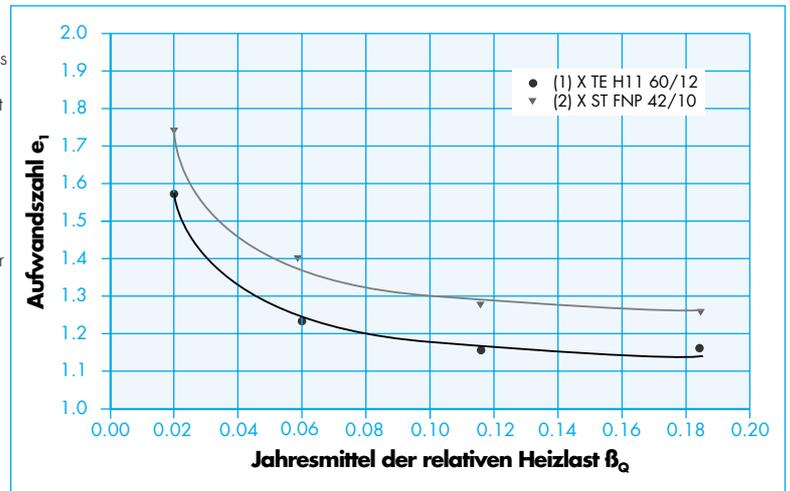
Bild 1: Energieflüsse in einem beheizten Gebäude

S = Strahlung, T = Transmission, L = Lüftung, Sp = Speicher, O,N = Nutzung, P = Personen, E = Geräte, R = Nachbarräume, 1 = Nutzenübergabe, 2 = Verteilung, 3 = Erzeugung

dämmung nimmt der Anteil der inneren und solaren Wärmelasten an den gesamten Heizlasten eines Gebäudes zu. Die hierbei auftretende passiv nutzbare Sonnenenergie und die anfallenden inneren Wärmelasten können nur dann optimal genutzt werden, wenn das Heizsystem in der Lage ist, genau der Heizlast im Raum zu folgen. Ansonsten führt das Heizsystem dem Raum mehr Energie zu als benötigt wird. Ast /2/ nennt den Vorgang, bei dem Wärme bedarfsgerecht von der Heizfläche mit ihrer Regelung an den Raum übergeben wird, "Wärmeübergabe". Er zeigt, daß dieser Vorgang maßgebend für den Energiebedarf von Heizanlagen sein kann, und quantifiziert mögliche Energieeinsparpotentiale auf 20 % - 30 %. Im Rahmen des Forschungsvorhabens MEDUSA, gefördert mit Mittel des Bundesministeriums für Wirtschaft über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen e.V. (AiF) /3/, wird daher das Wärmeübergabeverhalten von unterschiedlichen Warmwasserheizanlagen mit gekoppelter Gebäude- und Anlagensimulation untersucht.

Heizsysteme werden – wie andere technische Systeme – durch einen Vergleich von Nutzen und Aufwand beurteilt. Der **Nutzen** einer Heizanlage besteht darin, in den Räumen des Gebäudes für die Bewohner thermisch behagliche Zustände zu schaffen – also den Bedarf hierfür abzudecken. Als „thermisch behaglich“ ist hier der über die „empfundene Behaglichkeit“ hinausgehende anlagentechnisch herstellbare Idealzustand mit gleichen Oberflächen- und Lufttemperaturen und vernachlässigbaren Luftgeschwindigkeiten gemeint. Dabei darf voraussetzungsgemäß die abgegebene Heizleistung des Heizsystems zu keiner Zeit kleiner sein als die Heizlast, weil dann selbst die mittleren Behaglichkeitserwartungen nicht erfüllt werden. Auch örtlich muß radiativ und konvektiv abgestimmt auf das jeweilige Behaglichkeitsdefizit für Ausgleich gesorgt werden. Der Vorgang der Bereitstellung der zeitlichen und örtlichen Erfordernisse wird als **Nutzenübergabe** bezeichnet. Ziel ist, möglichst genau örtlich und zeitlich nicht nur die Heizlast abzuführen (zu decken), sondern auch die jeweiligen Behaglich-

Bild 2:
Aufwandszahl in Abhängigkeit des Jahresmittel der relativen Heizlast für einen Heizkörper vom Typ 11 mit Thermostatventil (1) und ein Naßsystem mit stetigem PI-Regler in der Einbausituation EFH (2).



keitsdefizite zu beseitigen. Jede Unvollkommenheit bei der Nutzenübergabe führt daher zu einem über den Bedarf hinausgehenden **Aufwand**. Die Abweichung der Wärmeabgabe der Heizanlage vom vorgegebenen Heizlastverlauf ist abhängig vom Heizlastverlauf des beheizten Gebäudes, vom dynamischen Betriebsverhalten der Heizanlage und dem Nutzerverhalten. Die Wärme, die von der Heizanlage zur Bedarfsdeckung an den Raum übergeben wird, errechnet sich zu:

$$Q_1 = \int_{t=0}^t k_{HF} A_{HF} \Delta \vartheta_{ln} dt \quad (1)$$

Die Aufwandszahl e_1 für die Nutzenübergabe berechnet sich aus dem Quotienten des Energiebedarfs für die Nutzenübergabe Q_1 und dem Referenzenergiebedarf $Q_{0,N}$ des beheizten Gebäudes zu:

$$e_1 = \frac{\int_{t=0}^t \dot{Q}_1 dt}{\int_{t=0}^t \dot{Q}_{0,N} dt} = \frac{Q_1}{Q_{0,N}} \quad (2)$$

Sie beschreibt, welcher Energieaufwand von der realen Heizanlage im Vergleich zu einem idealen Heizsystem zusätzlich geleistet wird, damit die Nutzeranforderungen in einem beheizten Gebäude erfüllt werden. Die Abweichung der Heizlast von den Auslegungsbedingungen wird mit der relativen Heizlast β_Q beschrieben:

$$\beta_Q = \frac{\int_{t=0}^t \dot{Q}_{0,N} dt}{t \dot{Q}_N} = \frac{Q_{0,N}}{t \dot{Q}_N} \quad (3)$$

Wobei \dot{Q}_N die Normheizlast nach DIN

4701 ist und $\dot{Q}_{0,N}$ die momentane Heizlast. Die relative Heizlast β_Q ist also das Verhältnis zwischen momentaner Heizlast und der Heizlast unter Auslegungsbedingungen. Das zeitliche Integral der Heizlast $\dot{Q}_{0,N}$ beschreibt den Referenzenergiebedarf $Q_{0,N}$, der für einen bestimmten Betrachtungszeitraum als energetische Vergleichsgröße für die nachfolgenden Prozesse Nutzenübergabe, Wärmeverteilung und Wärmeerzeugung herangezogen werden kann. Für einen Betrachtungszeitraum von einem Jahr ist die Zeit $t = t_{Jahr} = 8760 \text{ h}$.

Beispielhaft zeigt Bild 2 die Ergebnisdarstellung für einen Systemvergleich eines Heizkörpersystem/1/ geregelt mit Thermostatventilen und einem naßverlegten Fußbodenheizsystem mit stetigem PI-Regler mit Hilfsmotor. Ein Vergleich der Aufwandszahlen für die Nutzenübergabe zeigt, daß unabhängig von der relativen Heizlast – also auch unabhängig vom Wärmeschutz – der Energieaufwand für die Nutzenübergabe bei einem Heizkörpersystem mit Thermostatventilen ca. 10 % bis 15 % geringer ist. Der Abschlußbericht beinhaltet die Zusammenstellung der untersuchten Varianten für die Warmwasserheizanlagen.

/1/ Bach, H.; Bauer, M.; Dipper, J.; Hartmann, T.; Oschatz, B.; Richter, W.: Von Wärmeschutz zur Energieeinsparung/ Grundsatzuntersuchung NOWA zur ESVO 2000. Dresden, Stuttgart, 1996.

/2/ Ast, H.: Energetische Beurteilung von Warmwasserheizanlagen durch rechnerische Betriebssimulation. Universität Stuttgart, Dissertation 1989.

/3/ MEDUSA - Minimierung des Energiebedarfs von Gebäuden durch Simulation von Heizanlagen. Abschlußbericht HLK 3-98

MOSES - Optimierung der Regelung einer Heizungsanlage mit einem kalibrierten Anlagen- und Gebäudesimulationsmodell

Christoph Bacher, Bernhard Biegert

Bei der Verringerung des Heizenergiebedarfs von Gebäuden und gleichzeitigem Erhalt oder gar Verbesserung der Behaglichkeit kommt der bedarfsgerechten Auslegung der Heizanlage und der auf das Gebäude und die Nutzung abgestimmten Regelung eine große Bedeutung zu. Das Energieeinsparpotential dieser Maßnahmen ist vergleichbar mit den erreichbaren Einsparungen durch die Sanierung der Gebäudehülle. In der Praxis ist es jedoch oft so, daß die Parameter der Regelung nicht oder nur ungenau auf die tatsächlichen Gebäude- und Anlagenparameter, die Nutzung und das Wetter abgestimmt werden, obwohl dies von technischer Seite (DDC-Regelung) ohne weiteres möglich wäre. Fallabhängig ergeben sich dadurch erhebliche, unnötige Mehrverbräuche bei der Beheizung von Gebäuden.

Seit Ende 1996 läuft am LHR das Projekt MOSES - Modellhafte Sanierung einer Schule. Finanziert wird das Projekt durch das BMBF (ca. 50 %), die Stadt Stuttgart (ca. 25 %) und diverse Industriepartner (ca. 25 %). Ziel ist, sowohl die Gebäudehülle als auch die Heizanlage zeitgleich so zu sanieren, daß eine maximale Energieeinsparung bei optimierter Gesamtwirtschaftlichkeit erreicht wird. Dazu soll eine übertragbare Vorgehensweise erarbeitet werden, die als Modell für die energetische Sanierung von anderen Schulen dienen kann. Die Federführung des Projekts liegt beim Amt für Umweltschutz der Stadt Stuttgart, die bauphysikalischen Fragestellungen werden vom IBP bearbeitet. Aufgabe des LHR ist die Konzeptentwicklung für die Heiz- und Regelungsanlage sowie die Betriebsüberwachung und -optimierung der sanierten Anlage während zwei Heizperioden.

Bei der Schule handelt es sich um einen U-förmigen Komplex mit insgesamt vier

Bauabschnitten aus vier verschiedenen Baujahren (1930-1995). Die nutzbare Grundfläche beträgt 6.280 m². In den Jahren 1996 und 1997 wurden im Rahmen des Projekts unter anderem folgende Maßnahmen durchgeführt: Die Gebäudehülle der drei älteren Bauteile wurde mit einem Wärmedämmverbundsystem (12 cm PS) ausgestattet. Alle Fenster und Außentüren wurden durch eine hochwertige Wärmeschutzverglasung (k-Wert 1,3 W/m²K) ersetzt. Der Wärmeschutz folgt dabei den Richtlinien der Stadt Stuttgart /1/ und geht damit deutlich über den Standard der WSV 95 hinaus. Ein Gasbrennwertkessel (195 kW) und ein Niedertemperaturkessel (170 kW) in Folgeschaltung ersetzen die alten Niederdruckdampfheizkessel (Gesamtleistung ca. 800 kW). Das Rohrnetz wurde teilweise erneuert und die alten Dampfheizkörper gegen moderne Warmwasser-Plattenheizkörper ausgetauscht. Die Auslegung der neuen Heizkörper erfolgte entsprechend der multifunktionalen Auslegungsmethode nach Bach /2/. Die Funktion der Heizkörper beschränkt sich dabei nicht wie bisher nur auf die Deckung der Heizlast eines Raumes nach DIN 4701. Zur Gewährleistung der Behaglichkeit in den Räumen müssen die Heizkörper darüber hinaus die Abstrahlung der kalten Fensterflächen und die kalte Fallluftströmung vor den Fensterinnenflächen kompensieren. Rund 1/3 der Klassenräume wurden mit einer Einzelraumregelung über Zonenventile ausgestattet, die restlichen 2/3 mit Thermostatventilen. Die Regelung der kompletten Heizanlage erfolgt über eine DDC-Regelung.

Meßtechnische Überwachung und Simulation

Um die Wirksamkeit der getroffenen Maßnahmen bei der Sanierung der Schule zu kontrollieren und zu bewer-

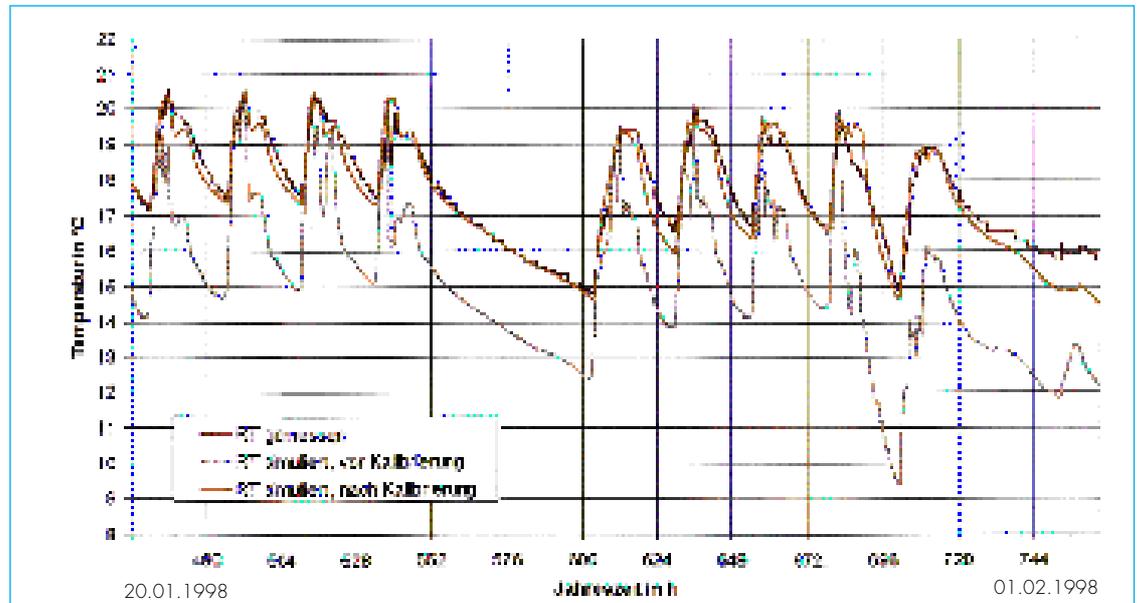
ten, schließt sich dem Umbau eine zweijährige meßtechnische Überwachung an. Alle relevanten Temperaturen (Raumlufthtemperaturen, Heizmittelttemperaturen) sowie alle Leistungs- (Heizleistung der Kessel) und Verbrauchsdaten (Gasverbrauch, Stromverbrauch etc.) werden in regelmäßigen Zeitabständen über eine elektronische Datenerfassung aufgenommen.

Bereits zur Konzeptentwicklung wurde am LHR die Gebäude- und Anlagensimulation eingesetzt. Es wurden Simulationsmodelle für das Gebäude (unterschiedliche Dämmvarianten) und verschiedene Anlagenvarianten entwickelt. Eingesetzt wird dabei das Programmsystem TRNSYS /3/. Die Gebäude- und Anlagensimulation lieferte so zusammen mit einer Wirtschaftlichkeitsberechnung die wesentlichen Daten für die Konzeptentscheidung. Nachdem Gebäude und Anlage inzwischen saniert sind, werden die existierenden Gebäude- und Anlagensimulationsmodelle weiter detailliert und zur Optimierung der Anlagenbetriebsweise (Regelstrategie) eingesetzt. Die Simulation erlaubt es, die kurz- (Raumtemperaturen) und langfristigen (Jahresenergiebedarf) Auswirkungen einer veränderten Anlagenbetriebsweise bereits im voraus zu untersuchen. In einem ersten Schritt ist es dazu notwendig, das Simulationsmodell durch einen Vergleich mit Meßdaten aus der realen Anlage zu validieren und gegebenenfalls anzupassen (kalibrieren).

Kalibrierung des Simulationsmodells mit Meßdaten

Das Simulationsmodell des Gebäudes und der Heizanlage kann die thermischen Verhältnisse, die an der realen Heizanlage und im realen Gebäude herrschen meist nicht exakt wiedergeben. Dies liegt an vereinfachenden

Diagramm 1:
Raumlufthemperatur von
Klassenzimmer 23
(Südostrichtung).



Annahmen, die in den Modellen enthalten sind, sowie auch an einer Bauausführung die nicht exakt den Vorgaben entspricht. Daher treten zwischen den Meßwerten und den entsprechenden, durch Simulation gewonnenen Werten Unterschiede auf. Mit einer Kalibrierung der Simulationsmodelle unter Zuhilfenahme von Meßdaten bringt man - nach Definition der Kalibrierung - das Simulationsmodell auf das richtige Maß. Das thermische Verhalten des Modells wird so an das thermische Verhalten der realen Anlage bzw. des realen Gebäudes angepaßt. Beispielhaft soll hier der Kalibriervorgang für ein gekoppeltes Gebäude- und Heizanlagenmodell beschrieben werden. Für die Kalibrierung wird ein Zeitraum von 2 Wochen Ende Januar 1998 betrachtet. Die gemessenen Wetterdaten und die in den Klassenräumen und der Heizzentrale gemessenen Energieverbrauchswerte bilden die Eingabewerte für das Simulationsmodell. Die Kalibrierung erfolgt über den Vergleich von gemessener und durch Simulation berechneter Raumlufthemperatur. Durch Variation der Personenanzahl, des Luftwechsels infolge von Gebäudeundichtigkeiten (Infiltration) und der Heizkörperleistung kann der simulierte Temperaturverlauf an den gemessenen Verlauf angepaßt werden. Das Diagramm 1 zeigt den gemessenen Raumlufthemperaturverlauf eines Klassenzimmers sowie den entsprechenden simulierten Raumlufthemperaturverlauf vor und nach der Kalibrierung.

Ausblick

Im weiteren Verlauf des Forschungsprojekts werden alle Simulationsteilmodelle für Gebäude und Anlage mit dem Simulationsmodell der Heizzentrale gekoppelt. Das entstehende Gesamtmodell wird wie beschrieben kalibriert und die Kalibrierung zusätzlich mit Meßdaten aus anderen Betriebszeiträumen validiert. Darauf aufbauend kann die Anlagenbetriebsweise weiter optimiert werden. Ziel ist, den Heizkennwert der letzten Heizperiode von $65 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ noch weiter zu senken.

Literatur

- /1/ Landeshauptstadt Stuttgart, Amt für Umweltschutz (Hrsg.): "Energiesparendes Bauen - Anforderungen an den baulichen Wärmeschutz städtischer Gebäude, Merkblatt für Bauherren. Stuttgart (1993), Anhang A5, S. 119/122.
- /2/ Bach, H.; Bauer, M.: Heizflächen richtig auslegen. SBZ Nr. 10 (1995), Seite 76/ 82.
- /3/ TRNSYS: A Transient System Simulation Program, Version 14.2. Solar Energy Laboratory, Universität Wisconsin, USA, 1996.

PERSONALIA

Seit Mitte 1997 gab es folgende personelle Veränderungen
Dipl.-Ing. René Schlageter verließ uns nach einjähriger Mitarbeit, um eine attraktive Stelle in der Industrie anzutreten.

Bei den Wissenschaftlern gab es eine Reihe von Zugängen:

Dipl.-Ing. Marc Birk arbeitet im Bereich Systemsimulation/Regelungstechnik;
Dipl.-Ing. Fred Kolarik verstärkt das Team im Bereich Arbeitsplatzluftreinhaltung;
Dipl.-Ing. Heiko Krispin ist im Prüfbereich Regler tätig;
Dipl.-Ing. Armin Ruppert ist Qualitätsmanagement-Beauftragter und war für die Vorbereitung der Akkreditierung verantwortlich;
Dipl.-Ing. (FH) Martin Weißbecher betreut die Messtechnik der Prüfstände, vor allem des Walter Dittes-Strömungs-Labors.
Als Stipendiaten arbeiten **Frau J. Ding, M. Sc.** im Bereich Strömungssimulation und **Herr Dipl.-Ing. Markus Treiber** im Bereich Systemsimulation.
Schließlich verstärkt **Antonio Latronico** unseren technischen Bereich.

Emulation als Werkzeug für die Abnahme von DDC-Geräten

Robert F. Grob, Kai Zou

Für die Regelung von heiz- und raumluftechnischen Anlagen in größeren Gebäuden werden heute meist programmierbare digitale Regelsysteme (DDC-Geräte) eingesetzt. Mit diesen Systemen ergeben sich vielfältige Möglichkeiten, die Betriebsweise von heiz- und raumluftechnischen Anlagen hinsichtlich ihres Energieverbrauchs aber auch in bezug auf die Zufriedenheit der Benutzer zu optimieren. Während sich die DDC-Technik in den letzten Jahren ständig „rasant“ weiterentwickelt hat, sind die begleitenden Regelwerke und Richtlinien für die Abnahme bzw. Inbetriebnahme solcher Geräte wie die HOAI (Honorarordnung für Architekten und Ingenieure) und die VOB (Verdingungsordnung für Bauleistungen) Teil C kaum verändert worden. Im Rahmen des Forschungsvorhabens „ETA-BEMS – Entwicklung von Testprozeduren zur Abnahme von Building-Energy-Management-Systemen“ werden Werkzeuge sowie Verfahren entwickelt, mit denen die Abnahme und die Inbetriebnahme von DDC-Geräten verbessert und an heutige Anforderungen angepaßt werden können. Ein Werkzeug, das hierbei verwendet wird, ist die Emulation.

Ausgangspunkt der Arbeiten an neuen Abnahme- und Inbetriebnahmeprozeduren bildet der im Forschungsvorhaben VITE-BEMS /1/ aufgebaute Emulatorprüfstand, auf dem reale DDC-Geräte in Verbindung mit einem virtuellen Gebäude- und Anlagenmodell getestet werden können. Die für diesen Prüfstand entwickelte Schnittstelle für die Verbindung zwischen realer und virtueller Welt – d.h. zwischen DDC-Gerät und Gebäude- und Anlagensimulation – ist so aufgebaut, daß die Steuerung der Datenerfassung und -übertragung vom und zum DDC-Gerät starr in die Simulation eingebunden und somit unflexibel ist. Eine der Hauptvoraussetzungen für den Einsatz der Emulation bei der Ab- und Inbetriebnahme von DDC-Geräten ist jedoch, daß die Datenerfassung und -übertragung flexibel gestaltet werden kann. Deshalb wird im Rahmen des Vorhabens ETA-BEMS die Schnittstellentechnik des Emulatorprüfstands überarbeitet und erweitert. Im Unterschied zur bisherigen Schnittstelle ist die Datenerfassung und -übertragung bei der neuen Schnittstellentechnik komplett aus der Simulation ausgekoppelt. Sie erfolgt jetzt durch das eigenständige

Meßwerterfassungs- und verarbeitungssystem (MEVS) LabVIEW /2/.

Die Kommunikation zwischen DDC-Gerät und Echtzeit-Simulation erfolgt nicht mehr direkt, sondern über sogenannte Schnittstellendateien. Dabei werden die am DDC-Gerät gemessenen Signale vom MEVS in eine Eingabedatei für die Echtzeitsimulation geschrieben. Diese Datei wird von der Simulation zu Beginn eines jeden Zeitschritts neu eingelesen. Die von der Simulation berechneten Ausgabe-größen des Gebäude- und Anlagenmodells (z.B. Temperatur, Feuchte, Druck) werden in eine Ausgabedatei geschrieben, die wiederum vom MEVS ständig neu eingelesen wird. Die Daten aus der Ausgabedatei werden schließlich vom MEVS in Signale umgesetzt, die für das DDC-Gerät verständlich sind. Bei der neuentwickelten Schnittstelle können sowohl die Ein- als auch die Ausgabedaten ständig auf einer graphischen Benutzeroberfläche beobachtet werden. Ein entscheidender Vorteil der neuen Schnittstelle ergibt sich aus der

Tatsache, daß der Emulatorprüfstand über die Benutzeroberfläche auf „Handbetrieb“ umgestellt werden kann. Dies bedeutet, daß die Gebäude- und Anlagendaten, die sich im Emulationsbetrieb aus dem Zusammenspiel von DDC-Gerät und dem Simulationsmodell („Closed-Loop“) ergeben, ebenso von Hand bzw. mit Hilfe einer Datei eingegeben werden können. Im Gegensatz zum Emulationsbetrieb werden die Anlagendaten beim Handbetrieb nicht vom DDC-Gerät beeinflusst („Open-Loop“).

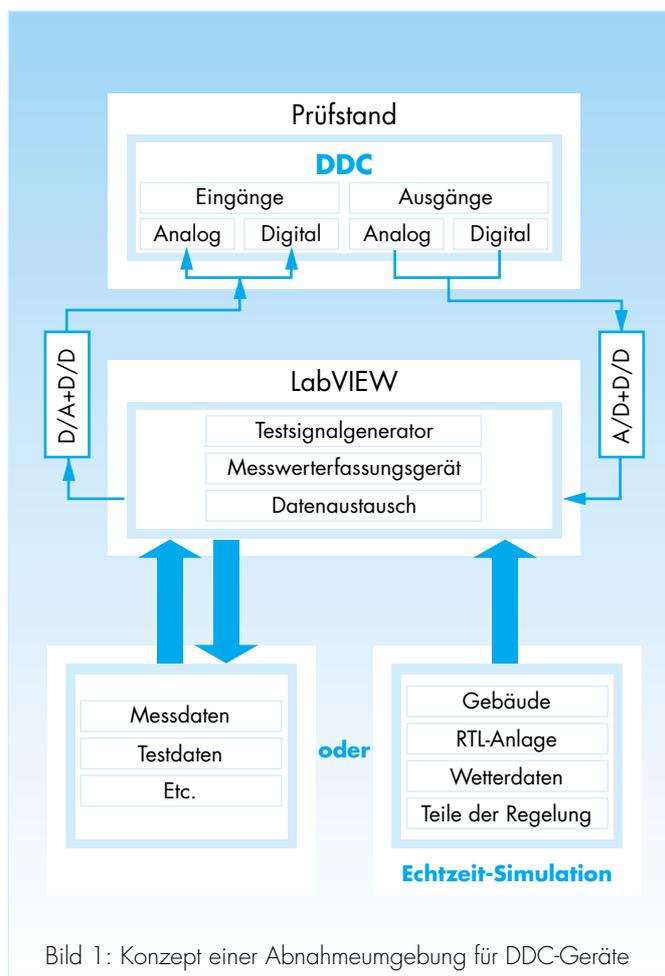


Bild 1: Konzept einer Abnahmeumgebung für DDC-Geräte

Mit der so aufgebauten Emulationsumgebung als Werkzeug ergibt sich das in Bild 1 dargestellte Konzept einer Abnahmeumgebung für DDC-Geräte, wie es im Projekt ETA-BEMS verwirklicht werden soll. Das zu untersuchende DDC-Gerät wird auf dem Prüfstand nach einer vorgeschriebenen Weise angeschlossen und mit dem Meßwerterfassungs- und -verarbeitungssystem verbunden. In einer ersten Phase werden mit einem „Testsignalgenerator“ Einzelfunktionen des DDC-Gerätes (z.B. integrierte PI- oder PID-Regler) durch einfache Abfolgen von vorher festgelegten Testsignalen überprüft. Dieser Signalgenerator wird als Modul in das Meßwerterfassungs- und verarbeitungssystem integriert. In einem zweiten Testabschnitt, der wie der erste im „Open-Loop“ durchgeführt wird, wird das DDC-Gerät mit Daten, die vom MEVS aus einer Datei gelesen werden, einem allgemeinen Test unterzogen. Die dabei verwendeten Daten können beispielsweise Meßdaten aus einer realen Anlage oder vorab generierte Testdaten sein. Die abschließende dritte Phase erfolgt schließlich im eigentlichen Emulationsbetrieb („Closed-Loop“). Hier wird das DDC-Gerät in der virtuellen Testumgebung mit Hilfe eines Simulationsmodells getestet. In dem Modell sind das Gebäude und die Anlage, in der das DDC-System eingesetzt wird, abgebildet. Bei komplexeren Regelungssystemen können zusätzlich noch Teile der Anlagenregelung in die Simulation integriert werden. In diesem Testabschnitt werden die Energiemanagementfunktionen des DDC-Systems unter nahezu realen Randbedingungen überprüft. Dabei werden verschiedene kritische Betriebsbedingungen (z.B. durch extreme Witterung oder Innenlasten) nachgebildet.

Literatur

/1/ VITE-BEMS - Virtuelle Testumgebung für Building Energy Management Systeme, AiF-Forschungsvorhaben Nr. 9568, HLKBRIEF Nr. 6, Juni 1994.

/2/ LabVIEW, Virtual Instrument I/O Documentation, National Instruments Corporation, 1994.

Prüfstelle HLK akkreditiert !

Wir waren eigentlich immer sicher, dass wir unseren Studenten, der Fachwelt und unseren Auftraggebern Qualität liefern.

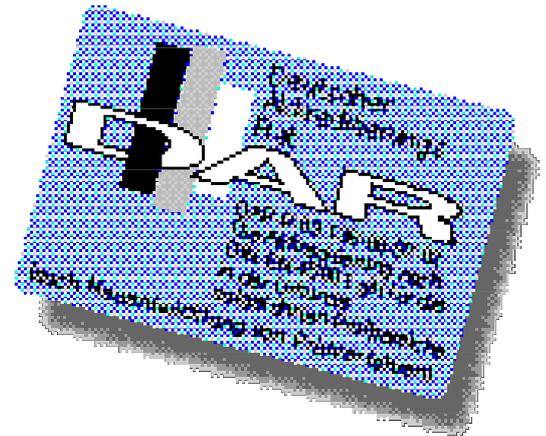
Wir haben dann aber gelernt, hierfür auch einen formalen Nachweis durch ein QM-System zu führen. Dieser Nachweis wurde best-

Die Prüfstelle HLK besitzt nun auf dem Gebiet der Heiz- und Raumlufttechnik, als erste Prüfstelle in Deutschland die höchste Akkreditierungsstufe, die **flexible Akkreditierung**.

Die flexible Akkreditierung umfaßt nicht nur die Auswahl der Prüfverfahren, sondern vor allem die Modifizierung sowie die Weiter- und Neuentwicklung von Prüfmodellen und Prüfverfahren des definierten Prüfgebiets.

Dadurch kann die Prüfstelle innerhalb ihres Kompetenzbereichs ohne Qualitätsverlust auf

- aktuelle Entwicklungen in der Normung und technischen Regelsetzung,
- Veränderungen des Standes von Wissen und Technik,
- veränderte oder besondere Kundenwünsche reagieren.



Des weiteren besitzt die Prüfstelle HLK geeignete Kalibriernormale für das akkreditierte Prüfgebiet.

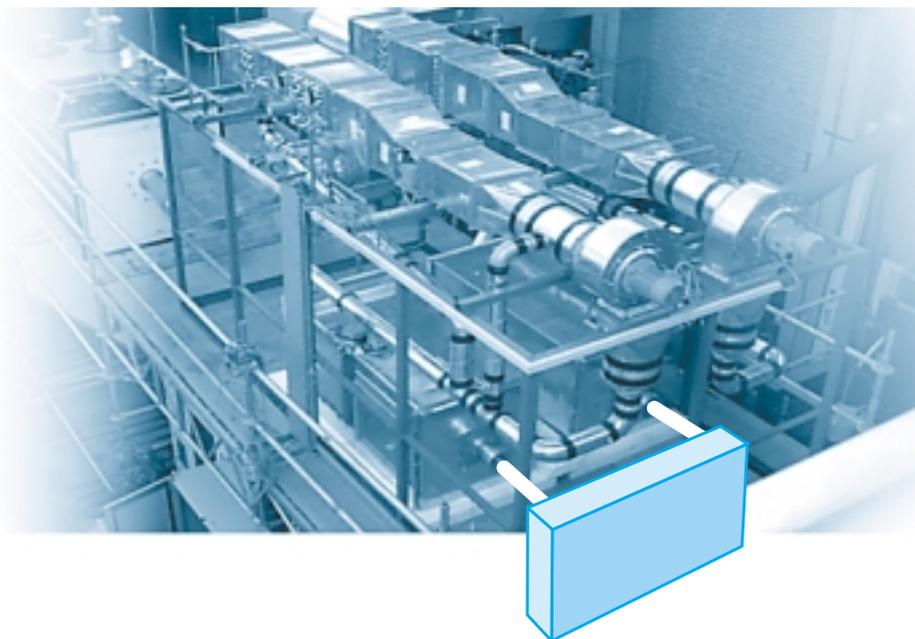
Das Prüfgebiet umfaßt:

- Untersuchung von wärme-, strömungs- und MSR-technischen Eigenschaften an Komponenten, Anlagen und Systemen der Heiz- und Raumlufttechnik im Labor und in situ, ohne die Prüfung firmenneutraler Datenprotokolle und die Olfaktometrie.

Um den hohen Stand zu halten, wird das QM-System in regelmäßig stattfindenden Seminaren ergänzt und erweitert. Die Mitarbeiter sind zur aktiven Mitarbeit aufgefordert. Ihre Kompetenz wird durch geregelte Weiter- und Fortbildung gewährleistet.

Prüfstand für Wohnungslüftungsgeräte in Betrieb genommen

Konstantinos Stergiaropoulos



Seit dem Oktober 1998 hat der LHR sein Prüflabor um eine weitere Prüfeinrichtung ergänzt (s. Bild 1) und somit seine Prüftätigkeiten um ein Gebiet erweitert.

Mit der neuen Prüfeinrichtung werden die Zulassungsprüfungen nach der Bauregelliste für Wohnungslüftungsgeräte mit und ohne Wärmerückgewinnung durchgeführt.

Die Prüfungen dienen der energetischen Beurteilung von Wohnungslüftungsgeräten mit und ohne Wärmerückgewinnung nach der Wärmeschutzverordnung. Das den Prüfungen zugrundeliegende Prüf- und Rechenverfahren hat das Deutsche Institut für Bautechnik veröffentlicht.

Innerhalb dieses Verfahrens wird die externe und die interne Dichtheit des Lüftungsgeräts überprüft. Die Luftstromkennlinien einzelner Drehzahlstufen, der Wärmebereitstellungsgrad η_w und das elektrische Wirkungsverhältnis ϵ_{el}

des Wohnungslüftungsgeräts werden bestimmt. Aus diesen Kennwerten wird ein $\Delta p, \dot{V}$ -Diagramm erstellt, in dem Bereiche gleicher Abminderungsfaktoren für den Lüftungswärmebedarf eines Gebäudes (Bonuswerte) dargestellt sind.

Darüber hinaus können am LHR auch schalltechnische Untersuchungen an Wohnungslüftungsgeräten durchgeführt werden.

Die Prüfeinrichtung kann bei Untersuchungen im Entwicklungsstadium eingesetzt werden, aber auch Messungen an anderen Gerätearten oder -anordnungen die ein bzw. zwei konditionierte Luftströme benötigen sind mit der Konzeption der Prüfeinrichtung vereinbar. Dabei kann ein Luftstrom bis $500\text{m}^3/\text{h}$ bei Außenluftbedingungen von ca. -5°C hergestellt werden.

Selbstverständlich ist auch dieser Prüfstand in die flexible Akkreditierung eingeschlossen.

IMPRESSUM

Autoren:

Prof. Dr.-Ing. Heinz Bach
Dipl.-Ing. Christoph Bacher
Dipl.-Ing. Michael Bauer
Dipl.-Ing. Bernhard Biegert
Dipl.-Ing. Jörg Dipper
Dipl.-Ing. Robert F. Grob, M.Sc.
Dipl.-Ing. Raphael Haller
Dipl.-Ing. Christian Haupt
Dipl.-Ing. Fred Koralik
Dipl.-Ing. Erik Reichert
Dipl.-Ing. Markus Tritschler
Kai Zou, M.Sc.
IKE/LHR

Dipl.-Ing. Chr. Kochendörfer
Dipl.-Ing. K. Stergiaropoulos
FGHLK

Herausgeber:

Verein der Förderer der
Forschung im Bereich
Heizung-Lüftung-Klimatechnik
Stuttgart e.V.
Pfaffenwaldring 6a
70550 Stuttgart - Vaihingen
Tel. 0711 / 685 - 2090
Fax 0711 / 687 - 6056

Redaktion:

Gunther Claus
Sabina Fischer-Hampel

Grafik u. DTP:

CommunicationVisuell
Rolf Wernecke, Stuttgart

Druck und Reproduktion:

Druckerei Jauch, Stuttgart

Die Verantwortung für den Inhalt der Beiträge liegt bei den Autoren. Veröffentlichung, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung des Herausgebers.