

Meine Damen und Herren,

nach dem Ausruf von P.-H. Unruh im letzten HLK-BRIEF: "Wir haben es geschafft"! und dem schönen Fest am 17. Oktober 96 folgte die nüchterne Tagesarbeit: Die Abteilung mußte als erstes umbenannt werden von dem gewohnten Heizung-Lüftung-Klimatechnik zu LEHRSTUHL FÜR HEIZ- UND RAUMLUFT-TECHNIK-LHR. Dabei erinnere ich mich an mein Professorenbild als junger Assistent in den Sechzigern: Eine Haupttätigkeit der Professoren schien mir damals das Nachdenken über Institutsnamen und Briefköpfe zu sein. Aber keine Sorge, ich lasse es nicht ausarten - der HLK-BRIEF, die Forschungsgesellschaft und der Verein der Förderer behalten ihren Namen. Dennoch, ich verhehle es nicht, bleibt ein Gefühl der Unsicherheit: Ich grübele immer noch über den etwas zweifelnden Blick unserer beiden inneruniversitären Hauptpaten, einem Physiker und einer Amerikanistin, als ich stolz den neuen Namen vorstellte. Mit meinem einfachen Ingenieurgemüt hatte ich wohl übersehen, daß richtige Wissenschaften mit griechischen oder wenigstens mit latinisierten Namen zu belegen sind. Unser Urvater, Hermann Rietschel, löste sich offenbar etwas zu früh vom Umgang mit Latein und Griechisch, nämlich mit vierzehn Jahren, um in's Politechnicum zu wechseln. Ist es schon zu spät für Namen wie Oikotechnologie (= Gebäudetechnik) oder Oikoenergetik? Aber keine Sorge! All dies sind nur Sonntagsgedanken, die mich so befallen, wenn ich nicht - wie fast immer - am Heizungsband für das Esdorn-Rietschel-Werk arbeite (in diesem Sommer komme ich wohl zum Ende).

Inzwischen versuchen über 40 Mitarbeiter, mit dem stärksten Aufschwung, den wir jemals hatten, Schritt zu halten. Neben all unseren bisherigen Arbeitsgebieten möchte ich folgende Themengruppen herausheben:

- Nutzenübergabe,
- Methoden zur Anlagenplanung und Komponentenentwicklung,
- computergestützte Betriebsüberwachung,
- Bewertung und Sanierung von Anlagen.

Zu diesen Themen finden Sie auch Aufsätze im vorliegenden BRIEF. Die Zweckmäßigkeit des Nutzenübergabe-Ansatzes zeigen wir nun auch im RLT-Bereich (Nutzungsgerechter Betrieb raumluftechnischer Anlagen für Laboratorien und MERLAN: Methode zur Berechnung des Energiebedarfs von RLT-Anlagen). Zum Methoden-Thema liefert unsere erste Doktorin einen wichtigen Beitrag: Bewertung von Heiz- und Trinkwassererwärmungssystemen am Beispiel einer Wohnung mit hohem Wärmedämmstandard. Beim dritten Themenbereich, Betriebsüberwachung, müssen wir uns durch das Vorhaben ETA-BEMS mit einem neuen Begriff vertraut machen: Emulation (hier: Entwicklung von Testprozeduren zur Abnahme von Building-Energy-Management-Systemen). Beim vierten Themenbereich, der Bewertung und Sanierung von Anlagen, begreift nun langsam auch die Öffentlichkeit die

Bedeutung; hierzu finden Sie den Kurzbericht Optimierung von Einrohrheizanlagen, Teil II: Heizkostenverteilung und Energiediagnose.

Insgesamt darf ich feststellen, daß es uns zunehmend gelingt, auch längerfristig Kontinuität in den verschiedenen Forschungsbereichen zu bewahren - einige Vorhaben reichen in ihrer Laufzeit bereits über meine offizielle Dienstzeit hinaus.

Und noch ein Nachwort: Nach der Erfahrung mit meiner eigenen Berufung wurde das Verfahren für meine Nachfolge noch Anfangs dieses Jahres eingeleitet.

Mit herzlichen Grüßen



Prof. Dr.-Ing. H. Bach

## INHALT

<b>Nutzungsgerechter Betrieb raumluftechnischer Anlagen für Laboratorien</b>	<b>2</b>
<b>Personalia</b>	<b>4</b>
<b>ETA-BEMS - Entwicklung von Testprozeduren zur Abnahme von Building-Energy-Management-Systemen</b>	<b>5</b>
<b>Studien- und Diplomarbeiten 1996/97</b>	<b>6</b>
<b>Bewertung von Heiz- und Trinkwassererwärmungssystemen am Beispiel einer Wohnung mit hohem Wärmedämmstandard</b>	<b>7</b>
<b>MERLAN: Methode zur Berechnung des Energiebedarfs von RLT-Anlagen</b>	<b>10</b>
<b>Optimierung von Einrohrheizanlagen, Teil II: Heizkostenverteilung und Energiediagnose</b>	<b>13</b>
<b>Dissertationen und Berichte</b>	<b>15</b>
<b>Vision oder Wirklichkeit</b>	<b>16</b>
<b>Impressum</b>	<b>16</b>

Im HLKBRIEF wird über die Aktivitäten des Lehrstuhls für Heiz- und Raumluftechnik 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.

# Nutzungsgerechter Betrieb raumluftechnischer Anlagen für Laboratorien

Bernhard Biegert, Walter Dittes, Christoph Kochendörfer

Raumluftechnische Anlagen (RLT-Anlagen) für Laboratorien werden in der Praxis nur selten nutzungs- und lastgerecht betrieben. In den Laboratorien von Hochschulen, Ämtern oder Industrie könnten viele Laborabzüge, bedingt durch die Automatisierung der Versuchsapparaturen, zum überwiegenden Teil der Arbeitszeit mit geschlossenem Schieber und somit bei vermindertem Abluftstrom genutzt werden. Aufgrund der zeitlich eingeschränkten Verwendung könnten sie zeitweise ganz abgeschaltet werden. Dies hätte einen erheblich geringeren Energieverbrauch zur Luftförderung und zur Lufterwärmung sowie verminderte verbrauchsgebundene Kosten zur Folge.

Dem entgegen steht, daß der Mindest-Abluftstrom für Laboratorien in DIN 1946 Teil 7 /1/ mit  $25 \text{ m}^3/(\text{hm}^2)$  festgelegt ist. Zudem erfordert der nutzungsgerechte Betrieb einen höheren Aufwand durch zusätzliche oder verbesserte luftechnische Einrichtungen, wie:

- Laborabzüge, deren Frontschieber selbsttätig schließen (wobei der Abluftstrom der Schieberstellung anzupassen sein sollte)
- Luftstromregler und Regelungskonzepte für den lastangepaßten Betrieb
- Luftführungen für variable Luftströme.

In einem Forschungsverbundvorhaben „RELAB“<sup>1</sup> wurde untersucht, in welchem Rahmen sich die Luftströme abhängig von der Art der Labornutzung vermindern lassen, welche Luftführungsarten für diesen nutzungsgerechten, lastangepaßten Betrieb geeignet sind, welche Voraussetzungen die Regelungseinrichtungen (einschließlich Luftstromreglern) erfüllen müssen und in welchem Umfang sich bei verminderten Luftströmen Energiebedarf und Kosten ändern.

## Auslegung von RLT-Anlage für Laboratorien

Die Luftströme für einen Laborraum richten sich vor allem nach den Abluftströmen, die für die Stofffassung an Laborabzügen, an Bodenabsaugungen, an Lösemittelschränken und gegebenenfalls an sogenannten Quellabsaugungen aus dem Raum fortgeführt werden. Diese Abluftströme müssen durch einen Zuluftstrom ersetzt werden, der geringer ist als die Summe der Abluftströme, um ein Überströmen von Luft in Nachbarräume zu vermeiden. Bei diesem Vorgehen sind die Vorgaben in ZH 1/119 /2/ als erfüllt vorausgesetzt; das heißt, daß Arbeiten, bei denen luftfremde Stoffe in gefährlicher Konzentration auftreten können, nur in Abzügen ausgeführt werden und daß diese Erfassungseinrichtungen ein Austreten von Gefahrstoffen in den Laborraum sicher ausschließen.

Im Gegensatz zu stoffbelastete Fertigungsstätten (siehe VDI 3802 /3/) lassen sich die Luftströme für Laborräume nicht nach den Stoffstrombilanzen und den Stoffgrenzwerten bemessen. Hierzu ist die Vielfalt der verwendeten Stoffe zu groß; zudem sind die Emissionsströme auch nicht annähernd abschätzbar. Der Mindestablufstrom, der in DIN 1946 Teil 7 vorgeschrieben ist, wurde wohl kaum auf der Basis definierter Gefährdungen ermittelt und festgelegt. Er soll lediglich das „Restrisiko“ absichern, das durch einen nicht bestimmungsgemäßen Umgang mit Gefahrstoffen bestehen kann. Dieser Mindestablufstrom ist bei den Anlagen zweckmäßig, die bedingt durch ihre Ausstattung, mit konstanten Luftströmen betrieben werden müssen. Dort sind bei unvorhersehbaren Stoffemissionen (z.B. Bruch eines Behältnisses oder Verschütten von Flüssigkeiten) keine Luftstromreserven verfügbar. Demgegenüber gibt es bei nutzungs- und lastangepaßtem Betrieb Luftstromreserven für den einzelnen Laborraum. Durch einen „Notbetrieb“ der RLT-Anlage kann der Labornutzer selbst Zu- und Abluftstrom in seinem Raum auf Maximalwert anheben und so eine Exposition vermeiden. Für nutzungs- und lastangepaßt betriebene RLT-Anlagen ist das Festhalten an Mindestluftströmen in Frage zu stellen. In Einzelfällen, bei denen die Laborräume sehr dicht mit wärmeabgebenden Geräten belegt sind, können auch Kühllast und Sollraumtemperatur maßgebende Auslegungsgrößen sein.

<sup>1</sup> Forschungsverbundvorhaben „Energieeinsparung in Laboratorien durch Reduzierung der Luftströme“ gefördert vom Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg und den Industriepartnern: Bühr Lufttechnik GmbH Gerlingen, Daldrop und Dr.-Ing. Huber GmbH & Co. Neckartailfingen, LTG Lufttechnische GmbH Stuttgart, Rentschler und Riedesser Ingenieurbüro mbH Stuttgart und Waldner Laboreinrichtungen GmbH & Co. Wangen/Allgäu. Bearbeitet von den Industriepartnern, dem IKE-Lehrstuhl für Heiz- und Raumluftechnik, Universität Stuttgart und dem Fraunhoferinstitut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik Stuttgart. - Forschungsbericht wird Ende 1997 veröffentlicht.

## Anforderungen an die Raumluffführung bei nutzungsangepasstem Betrieb

Der nutzungsangepasste Betrieb bedeutet, daß die Abluftströme von Laborabzügen gemäß der Frontschieberstellung zwischen einem Minimal- und einem Maximalwert variiert werden. Die Abluftströme aus Lösemittel- oder Gasflaschenschränken sowie die der Bodenabsaugung werden meist konstant gehalten; die „Quellabsaugung“ wird ohnehin nur bei Bedarf kurzzeitig betrieben. Der Maximalabluftstrom für den Laborabzug kann mit Reserven bemessen werden. Er wird nur kurzzeitig benötigt, da der Frontschieber entsprechend den Vorschriften stets geschlossen zu halten ist. Im allgemeinen geschieht dies nicht zur gleichen Zeit wie in den Nachbarräumen. Für den Labornutzer erhöht sich dadurch auch die Sicherheit bei Arbeiten mit geöffnetem Frontschieber.

Betrachtet man ein Standard-Labor mit der Grundfläche von 7,2 m x 3,6 m, das mit zwei Laborabzügen, einem Lösemittelschrank, einer Boden- und einer Quellabsaugung ausgestattet ist, so muß der Zuluftstrom bei nutzungs-gerechtem Betrieb in einem sehr weiten Bereich (z.T. von ca. 20 % bis 100 % des Auslegungsluftstromes) variiert werden können. Dieser große Variationsbereich erfordert geeignete Luftführungen und geeignete Luftstromregler. Hierzu wurden im Rahmen des

Vorhabens umfangreiche experimentelle Untersuchungen im HLK-Raumluftströmungslabor durchgeführt. Der Versuchsraum mit den Labormöbeln, den Labor-Meßgeräten, den Personensimulatoren sowie den Strömungsmeßgeräten ist in Bild 1 zu sehen. Untersucht wurden Luftführungsvarianten mit Laborluftdurchlässen, Schlitzluftdurchlässen, Drallluftdurchlässen (eingebaut in der Decke) sowie mit Schichtluftdurchlässen (eingebaut im Sockel der Labormöbel).

Bei bestimmungsgemäßigem Betrieb treten in einem Laborraum keinerlei Stoffemissionen auf. Die Luftführung muß geeignet sein, die Raumluftströmung unabhängig vom eingestellten Luftstrom und unabhängig von dem bestehenden Temperaturunterschied zwischen Zuluft und Raum so zu erhalten, daß thermische Behaglichkeit besteht. Bei den untersuchten Luftführungsvarianten konnten jeweils Einstellungen der Luftdurchlässe gefunden werden, bei denen diese Anforderungen erfüllt sind.

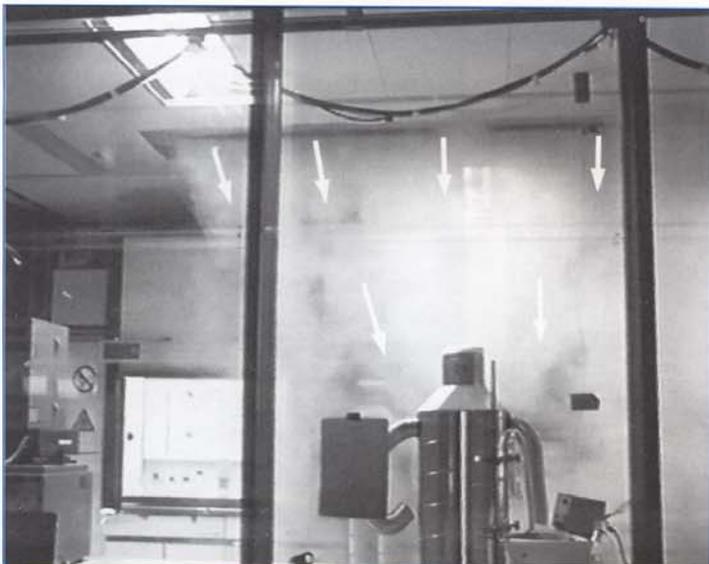
Um die Qualität der Stoffabfuhr zu ermitteln, wurde ein Umfüllvorgang außerhalb der Laborabzüge simuliert. Dazu wurde auf einem Laborarbeits-tisch ein konstanter Stoffstrom freigesetzt. Die im Raum gemessene Verteilung der Stoffkonzentrationen zeigt nur in „Quellnähe“ erhöhte Werte. Die Verteilung bleibt bei Mischströmung unabhängig vom Zuluftstrom erhalten. Bei Schichtströmung ergibt sich, daß diese Luftführungsart nicht zu dem Ziel

paßt, mit möglichst niedrigen Luftströmen auszukommen. Da der größte Anteil der Abluft an Laborabzügen im Aufenthaltsbereich (Höhe Tischkante) entnommen wird, besteht der größte Teil des Abluftstromes somit aus weitgehend reiner Luft. Die Zuluftschicht bildet sich meist nur über eine Höhe von ca. 1 m aus. Der freigesetzte Stoffstrom kann sich nur auf den Restluftstrom verteilen, der mit der Thermik noch in den oberen Raumbereich gelangt. Somit befindet sich der Atembereich der Labornutzer im höher belasteten Raumbereich. Bei nutzungsangepasstem Betrieb ist der Labornutzer bei Schichtströmung höheren Stoffkonzentrationen ausgesetzt als bei Mischströmung. Anders als bei wärme- und stoffbelasteten Fabrikhallen /4/ ist die Schichtströmung bei dieser Anwendung mit nutzungsangepasstem Betrieb, das heißt bei möglichst geringen Luftströmen, nicht geeignet.

## Auswirkungen auf den Energieverbrauch

Mit Aufnahme des Istzustandes und Befragung der Labornutzer in mehr als 350 Laborräumen aus den Bereichen Industrie, Forschung, Lehre und Amt wurden unter anderem Betriebs- und Lastszenarien erarbeitet. Diese Betriebsarten und Lastverläufe waren zusammen mit dem Aufbau und der Ausstattung von Standard-Laborräumen die Grundlagen für die Simulation von Gebäude und RLT-Anlage für Laborkontrollen. Hierbei wurden unterschiedli-

Bild 1: Aufnahme der Zuluftströmung im Laborversuchsraum im HLK-Raumluftströmungslabor bei Schlitzluftdurchlässen



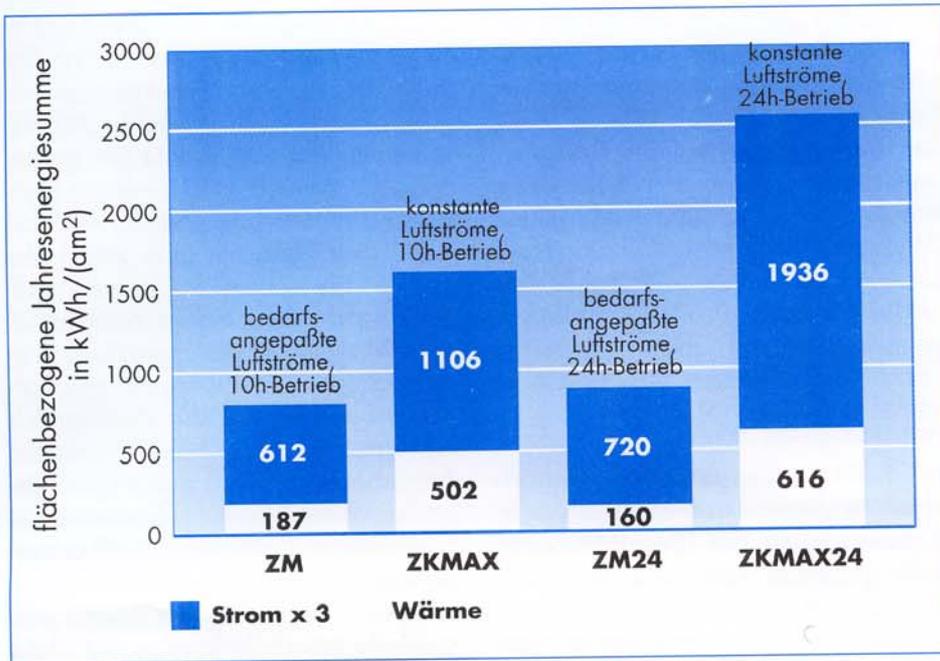


Bild 2: Ergebnisse der Gebäude- und Anlagensimulation

che Labortypen (präparativ, analytisch), unterschiedliche Anlagenaufbauten (Zentralanlagen, Einzelventilatoren) und unterschiedliche Betriebsweisen (Konstant-Luftstrom, Variabel-Luftstrom, 10 h - Betrieb, 24 h - Betrieb) mit dem Gebäude- und Anlagensimulationsprogramm TRNSYS nachgebildet.

Bild 2 zeigt Auszüge aus den Rechenresultaten für Zentralanlagen. Dargestellt sind die auf die Laborgrundfläche bezogenen Jahresenergiesummen. Die Jahresenergiesummen für Elektroenergie sind entsprechend dem Primärenergieeinsatz mit dem Faktor 3 gewichtet. Die Ergebnisse sind zu unterscheiden nach dem Betrieb mit nutzungsangepaßten und mit konstanten Luftströmen sowie nach der Betriebsdauer der RLT-Anlage (10 h - Betrieb, 24 h - Betrieb). Es zeigt sich, daß für den Betrieb mit nutzungsangepaßten Luftströmen weniger als die Hälfte des Energiebedarfs ermittelt wird, wie für den mit konstanten Luftströmen.

### Zusammenfassung - Empfehlungen für den nutzungsangepaßten Betrieb

Die Untersuchungen im Forschungsverbundvorhaben „RELAB“ ergeben, daß der nutzungsangepaßte Betrieb von RLT-Anlagen für Laboratorien möglich ist, und daß dieser erhebliche Einsparpotentiale bei der Energie und

bei den verbrauchsgebundenen Kosten bietet. Außerdem bringt diese Betriebsweise einen höheren Schutz der Labornutzer von Gefahrstoffen, da nun die Maximalwerte für die Erfassungsluftströme (bei offenem Frontschieber) nicht mehr möglichst knapp, sondern mit Sicherheitszuschlägen bemessen werden können und Luftstromreserven bei unvorhersehbaren Stoffemissionen verfügbar sind.

Voraussetzung für diesen Betrieb ist, daß die Labornutzer alle Arbeiten mit Gefahrstoffemission im Sinne der ZH 1/119/2/ stets innerhalb der Laborabzüge oder im Wirkbereich sogenannter Quellabsaugungen (z.B. das Umfüllen von Stoffen) durchführen. Für die Laborabzüge ist zu fordern, daß sich deren Frontschieber möglichst selbstständig schließen, und daß deren Abluftströme der Frontschieberposition so angepaßt werden, daß Stoffausbrüche aus dem Abzug sicher auszuschließen sind. Dies erfordert auch ein schnelles Anheben der Abluftströme beim manuelle Öffnen der Frontschieber. Zur Regelung des Erfassungsluftstromes aus dem Abzug sowie aller übrigen Zu- und Abluftströme werden präzise arbeitende Luftstromregler benötigt. Die Luftstromregelung für einen Laborraum muß alle Abluftströme sicher messen und über die Luftstrombilanz, gemäß den Anforderungen zur Schutzdruckhaltung, den Zu- und Abluftstrom vorgeben und einstellen können. Zudem ist in der Regelung ein sogenannter Notbetrieb vorzusehen, mit

### Literatur

- /1/ DIN 1946 Teil 7 Juni 1992  
Raumlufttechnische Anlagen in Laboratorien
- /2/ ZH 1/119 Oktober 1993  
Richtlinien für Laboratorien.  
Köln: Carl Heymanns Verlag
- /3/ VDI 3802 März 1997  
Raumlufttechnische Anlagen für  
Fertigungsstätten
- /4/ Bach, H. u.a.: Gezielte Belüftung  
der Arbeitsbereiche in Fabrikhallen zum  
Abbau der Schadstoffbelastung.  
Forschungsbericht HLK- 1-92,  
Hrsg.: Verein der Förderer der Forschung im  
Bereich Heizung, Lüftung, Klimatechnik  
e.V., 2. Auflage September 1993

dem der Labornutzer den Luftstrom für einen Laborraum auf den Maximalwert anheben kann. Aufbau und Regelung der Zentralanlage haben sicherzustellen, daß die in den Laborräumen erforderlichen Zu- und Abluftströme auch verfügbar sind.

### PERSONALIA

Im wissenschaftlichen und im technischen Bereich gab es 1997 personelle Änderungen:

**Dipl.-Ing. R. Haller**  
(Systemsimulation) und  
**Dipl.-Ing. R. Schlageter**  
(Arbeitsplatz-Luftreinhalteung)  
erweitern unser wissenschaftliches Team.

Frau **U. Weber** und Herr  
**D. Grimm** verstärken den  
technischen Bereich.

Die Herren **J. Keller** und  
**E. Patschi** wechselten in die  
Industrie

# ETA-BEMS - Entwicklung von Testprozeduren zur Abnahme von Building-Energy-Management-Systemen

Michael Bauer, Robert F. Grob, Kai Zou

Für die Nutzung und den Betrieb von Gebäuden wird ca. die Hälfte der in Deutschland verbrauchten Primärenergie aufgewendet. Der größte Anteil wird hierbei für die Beheizung und Kühlung von Räumen benötigt. Der jahrzehntelang gewachsene Gebäudebestand und die darin installierten heiz- und raumluftechnischen Anlagen werden je nach Baujahr und Ausstattung mehr oder weniger energieeffizient betrieben. Obwohl in neueren Heizungs- und Klimaanlage das programmierbare digitale Regeln und Steuern die geräteorientierte Analogtechnik verdrängt hat und DDC-Geräte (Direct-Digital-Control) den Zugriff auf die für einen optimalen Betrieb benötigten Anlagenzustandsgrößen ermöglicht, werden die meisten heiz- und raumluftechnische Anlagen nicht energieeffizient betrieben. So wird in einer Untersuchung /1/ in mehreren Verwaltungs- und Bürogebäuden nachgewiesen, daß bei einer nochmaligen Abnahme der bereits in Betrieb befindlichen heiz- und raumluftechnischen Anlagen allein durch die Betriebsoptimierung und Fehlerbeseitigung eine Energieeinsparung von ca. 20 - 30 % möglich ist. Extrapoliert man dieses Einsparpotential auf den in Frage kommenden Gebäudebestand, so wird deutlich, daß dieses Energieeinsparpotential weit über dem der neuen Wärmeschutzverordnung liegt, da die neue Wärmeschutzverordnung nur bei Neubauten und teilweise bei Umbauten greift. Grundsätzlich gibt es zwei Gründe, weshalb die heiz- und raumluftechnischen Anlagen in einem Gebäude unbefriedigend arbeiten können: schlechte Planung und unangepasster Betrieb. Beide Gründe beruhen jedoch auf einem Hauptproblem: unbefriedigende Prüf- bzw. Abnahmeprozessuren und -möglichkeiten für die digitale Regelungstechnik der heiz- und raumluftechnischen Anlagen.

Die schnelle Entwicklung in der DDC-Technik hat dazu geführt, daß begleitende Regelwerke wie die HOAI (Honorarordnung für Architekten und Ingenieure) oder die VOB (Verdingungsordnung für Bauleistungen) Teil C noch nicht an die veränderten Rahmenbedingungen angepaßt werden konnten. So wird z.B. das Softwareengineering nach VOB Teil C als Nebenleistung (Dienstleistung) und nicht als normale Bauleistung betrachtet. Damit ist das Wichtigste einer DDC-Anlage, die Funktionalität, nicht aufmaßfähig und somit auch nicht abnahmefähig. Die Abnahme kann sich auf Kontrolle der Vollständigkeit, Funktionsprüfung (mehrstündige Inbetriebnahme) und Sollwert-Überprüfung im Gebäude und in den Anlagenkomponenten beschränken. In der Praxis bedeutet dies, die bereits eingebauten Anlagen können nur unter den gerade vorherrschenden Betriebszuständen getestet werden. Je nach Jahreszeit und Nutzung sind somit nur Regelstrategien prüfbar, die bei den gerade gegebenen Randbedingungen ausgeführt werden. Ein Test anderer ebenfalls programmierter Energiemanagementfunktionen und die Anpassung von Regelparametern an das Gebäude und die heiz- und raumluftechnische Anlage sind in der Regel nicht möglich. Hinzu kommt, daß falsch angelegte Optimierungsstrategien häufig zu Klagen führen, wodurch oft nur noch Störungsbeseitigung und nicht mehr Energieoptimierung betrieben wird. Voraussetzung für einen energetisch effizienten Betrieb ist jedoch, daß die einzelnen Regel- und Energiemanagementfunktionen korrekt arbeiten, und daß das Gesamtkonzept der Regel- und Steuerstrategie eine energetisch günstige Betriebsweise gewährleistet.

Abhilfe schaffen Testprozeduren für Building-Energy-Management-Systeme, mit denen Funktionsüberprüfungen sowie Fehlerdiagnosen an DDC-Geräten in einer virtuellen Testumgebung durchgeführt werden können. In dieser Testumgebung kann auch die Energieeffizienz von DDC-Systemen aufgezeigt werden. Die Testprozeduren machen die Qualitätssicherung im Bereich der digitalen Regeltechnik für heiz- und raumluftechnische Anlagen möglich und gewährleisten durch eine **energierelevante Abnahme** der DDC-Geräte eine rationelle Energieanwendung, die durch den begleitenden Einsatz der Fehlerdiagnose im Betrieb sichergestellt wird.

Die Zusammenführung des Wissens aus Emulation, Betriebssimulation und Fehlerdiagnose ermöglicht die Entwicklung von Testprozeduren für die **energierelevante Abnahme** von DDC-Geräten. Die Kopplung ist in Bild 1 dargestellt. Hierzu werden durch die Modellierung verschiedener Anlagensysteme virtuelle Testbedingungen für Building-Energy-Management-Systeme geschaffen. Durch eine Vielzahl von Simulationsrechnungen wird das Betriebsverhalten der Anlagensysteme, die teilweise auch fehlerbehaftet sind, berechnet. Durch die Auswertung der Rechenergebnisse werden erkennbare Symptome bei verschiedenen Fehlfunktionen der DDC-Geräte aufgezeigt und entsprechend dieser Fehlfunktionen geordnet. Die im Rahmen des AiF-Forschungsvorhabens VITE BEMS (AiF-Vorhaben Nr. 9568) entwickelte Emulation /1/ ermöglicht es in Verbindung mit den im IEA Annex 25 /2/ entwickelten Methoden zur Fehlererkennung und Fehlerdiagnose, digitale Regelgeräte vor Einbau und Inbetriebnahme im Gebäude in einer virtuellen Testumgebung auf ihre Funktionsfähigkeit

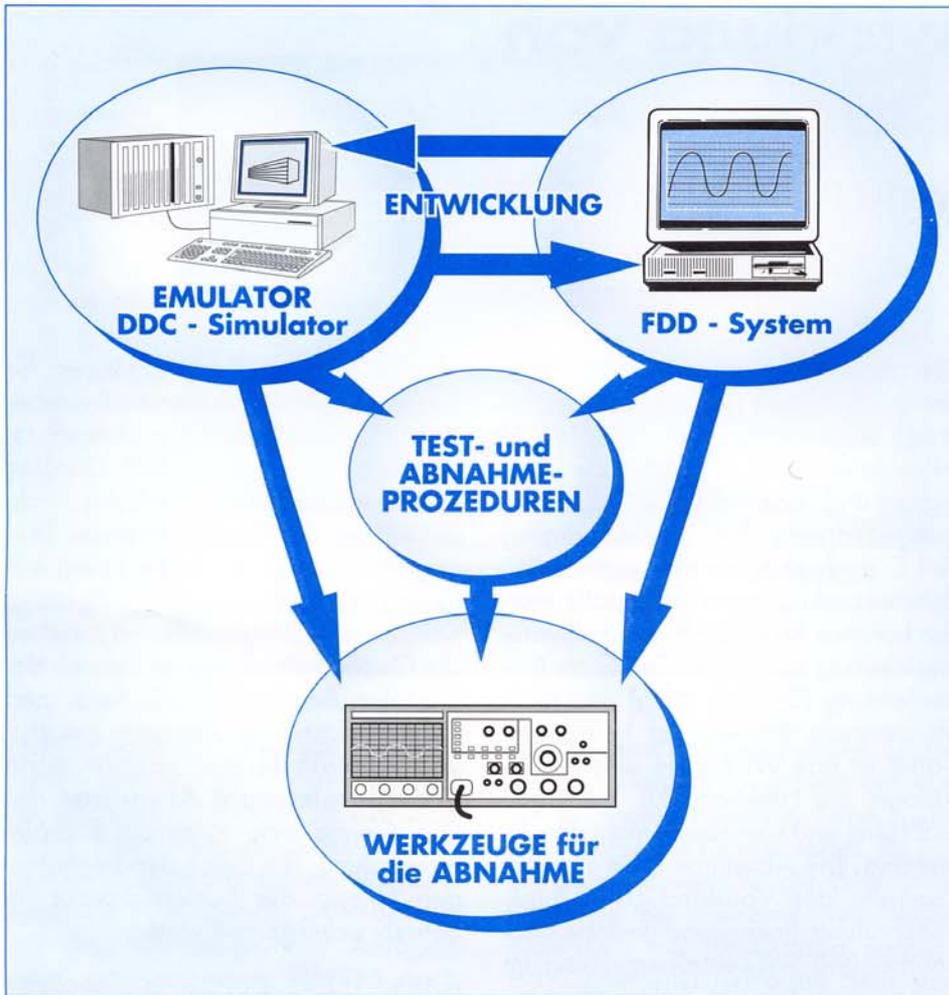


Bild 1: Werkzeug zur Entwicklung von Testprozeduren für die Abnahme

zu prüfen. Mit Hilfe dieser virtuellen Testumgebung besteht die Möglichkeit, die entwickelten Testprozeduren für die Abnahme von DDC-Geräten an Simulationsmodellen zu testen. Ebenso ist es möglich, Fehlererkennungs- und Diagnosesysteme, die zur ständigen Betriebsüberwachung eingesetzt werden sollen, in der virtuellen Testumgebung des Emulators vorab zu testen. Der Forschungsantrag mit der AiF-Nummer 3540/96 wurde als Nachfolgeantrag zum Forschungsvorhaben VITE-BEMS /1/ bei der AiF /3/ eingereicht und mittlerweile von der Gutachtergruppe III befürwortet.

## Literatur

- /1/ VITE BEMS - Virtuelle Testumgebung für Building Energy Management Systeme, AiF-Forschungsvorhaben Nr. 9568. HLKBRIEF Nr.6, Juni 1994.
- /2/ SENSOR - Modell und regelbasierte Betriebsüberwachung, BMBF-Forschungsvorhaben Nr.:032933 1C. HLKBRIEF Nr.8, Oktober 1996.
- /3/ AiF: Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen e.V.

## Studien- und Diplomarbeiten 1996/97

Ahn, Z.-K.: Entwicklung, Bauüberprüfung von Einrichtungen zur Simulation der Stofffreisetzungs- und Stoffausbreitungsvorgängen in Laboratorien mit der Tracergastechnik, 1996.

Bock, G.: Erstellen eines Gebäude- und Anlagenmodells mit TRNSYS für die Hausmeisterwohnung der GHS Plieningen, 1996.

Deiring, K.: Systemanalyse der solarunterstützten offenen Klimatisierung mittels Absorption und Vergleich mit alternativen Anlagen zur solaren Kühlung, 1996.

Kranich, J.: Kritische Überprüfung der These, bauphysikalische Maßnahmen können heiz- und klimatechnische ersetzen, 1996.

Langer, M.: Vermessung eines Fassaden-Kollektors zur Brauchwassererwärmung und Simulationsrechnung zur Dimensionierung des Systems, 1996.

Limperich, D.: Konzeption eines Prüfstandes für die Simulation von thermischen Prozesseinflüssen bei überlagerter Zwangs- und Auftriebsströmung an ebenen Flächen, 1996.

Schulz-Klein, E.: Erstellung eines Berechnungsprogramms für die freie Lüftung von Gebäuden, 1996.

Wurster, T.: Simulation "Niedrigenergiehaus Vierheimer Weg" - Erstellung und Validierung des Anlagenmodells, 1996.

Hägele, H.: Konzeption, Aufbau und Betrieb einer Brennvorschau-einrichtung für gebläseunterstützte Gas-Umlaufwasserheizer, 1997.

Mantziaras, D.: Der Einfluß von integrierten Luftdurchlässen auf den Wärmeübergang an Kühldecken, 1997.

Schlotter, J.: Strömungsoptimierung an einem Luftdurchlaß zur Webmaschinenklimatisierung, 1997.

Schmid, A.: Grundlagenuntersuchung zur Bestimmung der Luftströme bei RL-Anlagen, 1997.

Weber, A.: Konzeption und Aufbau eines Emulatorprüfstandes für einen Wärmereizer, 1997.

# Bewertung von Heiz- und Trinkwassererwärmungssystemen am Beispiel einer Wohnung mit hohem Wärmedämmstandard

Gisela Eisenmann

Durch die Niedrigenergiehausbauweise und bereits durch die Wärmeschutzverordnung 1995 ergeben sich neue Randbedingungen für Heizsysteme. Insbesondere für Kleinanlagen müssen neue Heizsysteme gefunden werden. Diese werden üblicherweise ohne ingenieurmäßige Planung zusammengestellt. Den Untersuchungen an Niedrigenergiehäusern kann nicht entnommen werden, welche Kriterien, d.h. welche Wertvorstellungen, zum Einbau eines bestimmten Systems geführt haben. Ein optimal geeignetes System ist ebenfalls nicht klar erkennbar. Daher wird ein über eine rein energetische Bewertung hinausgehendes Vorgehensmodell für die Bewertung, Konzeption und Auswahl von Heizsystemen

erstellt. /1/ Dieses Vorgehensmodell ermöglicht es, in nachvollziehbaren Entscheidungsschritten unter Bildung von Nutzwerten zur Auswahl des am besten geeigneten Heizsystems zu gelangen.

Das Vorgehens- oder Problemlösungsmodell beinhaltet einen Kriterienbaum mit Zielkriterien, ein Zielsystem, ein dreistufiges Bewertungsverfahren und ein Rechenverfahren mit speziell entwickelten Simulationsmodellen. Der Kriterienbaum enthält die Zielkriterien, aus denen das Zielsystem entwickelt wird. Er enthält als Kriterienzweige die sog. Komfortkriterien, die ökonomischen und die ökologischen Kriterien (Bild 1 bis 3).

Mit Hilfe des Bewertungsverfahrens lassen sich Zielerfüllungsgrade und letztendlich Nutzwerte bilden, nach denen die Heizsysteme beurteilt werden und die Entscheidung für das weiterzuentwickelnde System bzw. für das am besten geeignete System gefällt wird. Durch die Forderung, die Zielerfüllungsgrade zu maximieren oder bestimmte Grenzwerte der Ziele einzuhalten, werden Anforderungen an die Heizsysteme gestellt. Prinzipiell lassen sich die Anforderungen an Heizsysteme in drei Bereiche einteilen:

- Vorgaben, z.B. gesetzliche, und Festforderungen, z.B. Einhalten von Solltemperaturen,
- Grenzforderungen, d.h. Einhalten von Grenzwerten,
- Anforderungen, die auf eine Optimierung der Heizsysteme abzielen.

Der erste Schritt des Bewertungsverfahrens führt über das Einhalten oder Nichteinhalten der im Zielsystem enthaltenen Grenzforderungen zu einer groben Bewertung und Auswahl von Heizsystemen. Der zweite Schritt führt mittels einer Bewertung nach Punkten zur Auswahl eines weiter zu entwickelnden Heizsystems. Während dieser Weiterentwicklung, auch mit Hilfe der Simulation, entstehen Systeme, die einer dritten, detaillierten Bewertung unterzogen werden. Diese führt zur Auswahl des am besten geeigneten

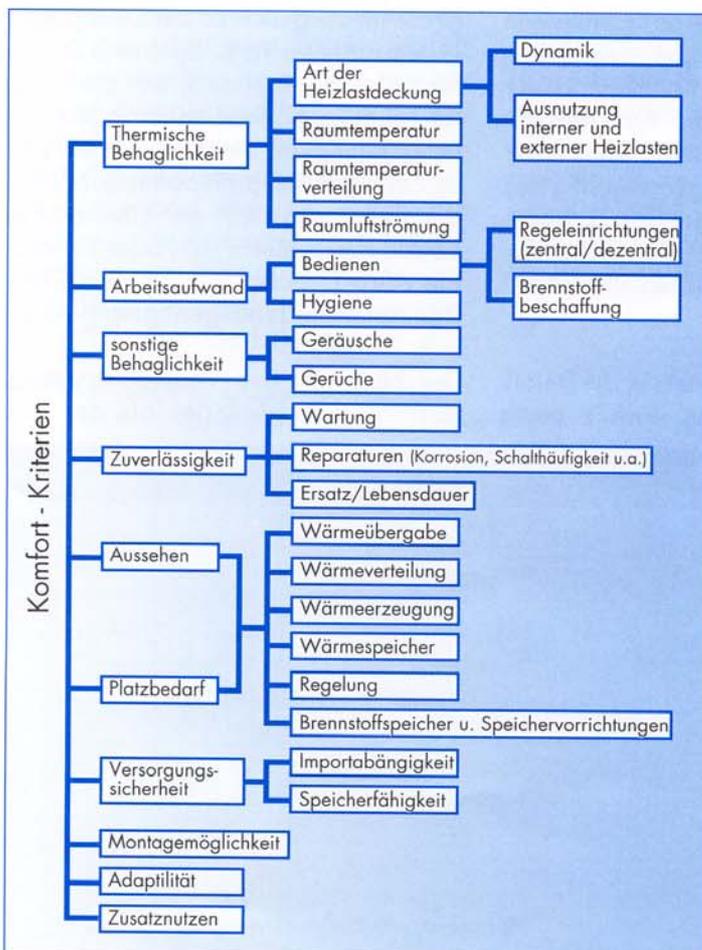
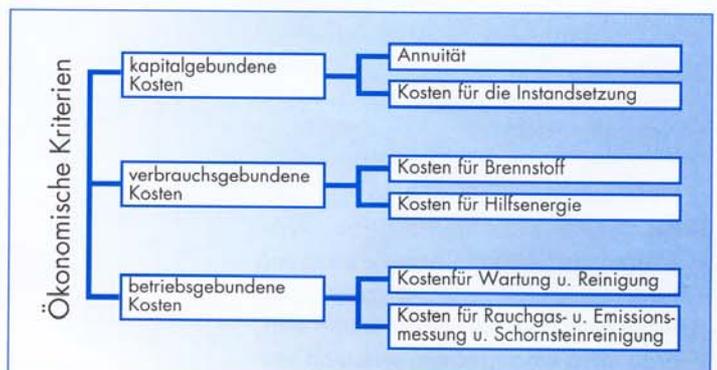


Bild 1: Kriterienzweig „Komfortkriterien“

Bild 2: Kriterienzweig „ökonomische Kriterien“



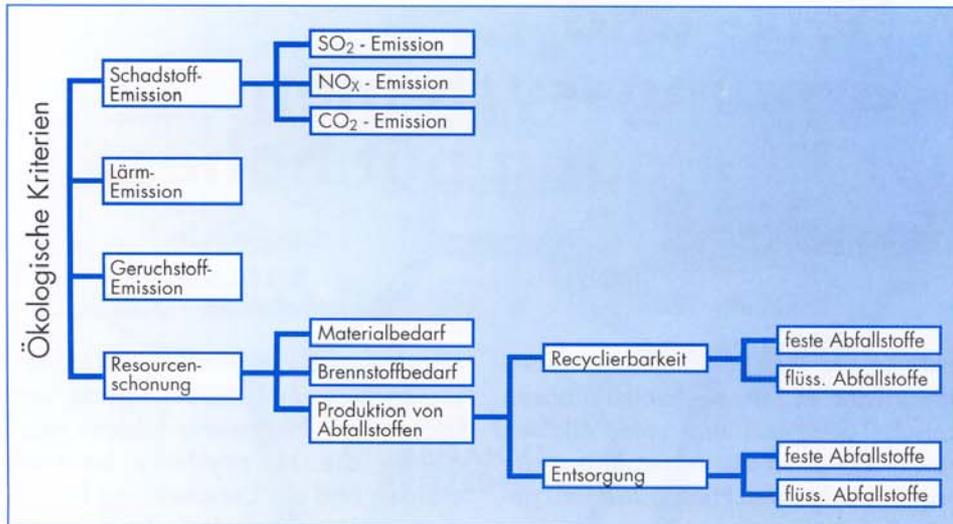


Bild 3: Kriterienzweig „ökologische Kriterien“

Heizsystems. Mit dieser Methodik gelangt man demnach in nachvollziehbaren Schritten letztendlich zum „besten“ Heizsystem.

Die Vorgehensweise des Problemlösungsmodells wird beispielhaft auf die Auswahl eines Heizsystems für eine Wohnung in einem Mehrfamilienhaus mit Wärmedämmstandard nach WSVO 95 bzw. Niedrigenergiehaus-Dämmstandard angewendet. In die Sammlung möglicher Heizsysteme gehen die in Versuchen mit Niedrigenergiehäusern in der Praxis eingesetzten Systeme ein. Ein konsequentes Durchdenken der Anforderungen führt zunächst zu einer Grobauswahl, dann zu einer Bewertung nach Punkten und einer Auswahl nach dem ermittelten Nutzwert. Durch die Grobbewertung werden bereits zahlreiche denkbare Heizsysteme ausgeschlossen, weil bestimmte Zielkriterien nicht erfüllt werden, z.B. die solaren Heizsysteme aus Kostengründen; danach verbleiben in der Bewertung die Warmluftheizung, die Warmwasserradiatorenheizung, die Warmwasserfußbodenheizung und die Elektrospeicherheizgeräte sowie die Elektrodirektheizung. Den höchsten Nutzwert erhält die Warmwasserradiatorenheizung, für die mehrere Konzepte entwickelt werden.

Ein Heizsystem läßt sich in die drei Untersysteme Wärmeübergabe, Wärmeverteilung und Wärmeerzeugung untergliedern. Es wird gezeigt, wie diese Bereiche weiterzuentwickeln sind. Hierzu wird angegeben, wie sich ver-

schiedene Merkmale der Systeme auf die Zielerfüllung auswirken, und, wenn notwendig, werden dynamische Vorgänge in der Heizanlage im Zusammenwirken mit dem Gebäude simuliert. Aufgrund der kleinen Zeitschrittweite und der speziell entwickelten Simulationsmodelle, z.B. für Wärmeerzeuger, Rohrnetz und Pumpe, lassen sich regelungs- und steuerungstechnische Vorgänge in Heizanlagen erfassen. Alle Untersysteme mit ihren Komponenten beeinflussen sich gegenseitig, d.h. es gibt keine Schnittstelle mit Datenzufuhr für das Heizsystem außer bei den Größen Raumtemperatur und Außentemperatur. Aus den Ergebnissen der Simulation kompletter Systeme wird deutlich, wie wichtig das Zusammenwirken der Untersysteme bzw. Komponenten ist. Auf dieses Zusammenwirken muß in Zukunft verstärkt geachtet werden.

In die dritte Bewertungsstufe, die Detailbewertung, geht das jeweils beste

Tabelle 1: Beschreibung der untersuchten Heizsysteme

System - Nr.	Systembeschreibung
1/3	Wärmeerzeuger- Nennleistung 20 kW Trinkwassererwärmung im Durchlauf
2/2	Wärmeerzeuger- Nennleistung 20 kW Trinkwassererwärmung im Durchlauf Heizwasser-Puffervolumen 120 l
3/5	Wärmeerzeuger- Nennleistung 5 kW Trinkwasserspeichervolumen 130 l
4/2	Wärmeerzeuger- Nennleistung 20 kW Trinkwasserspeichervolumen 108 l Heizwasser-Puffervolumen 40 l

System von vier sogenannten Grundsystemen der Warmwasserheizung ein. Den höchsten Nutzwert erzielt bei der Detailbewertung das System mit einem „kleinen“ Wärmeerzeuger (5 kW) ohne Heizwasserpuffer und einem Trinkwasserspeicher (System 3/5) (Tabelle 1). Es hat einen geringeren Bedarf an Brennstoff sowie niedrigere Verbrauchskosten und Schadstoffemissionen als das Vergleichssystem mit dem „großen“ Wärmeerzeuger (20 kW) ohne Puffer und Trinkwassererwärmung im Durchlauf (System 1/3). Der Brennstoffbedarf liegt um etwa 16 % niedriger. Die Aufwandszahl, d.h. das Verhältnis der zum Decken der Heizlast und des Trinkwasserbedarfs aufzuwendenden Energie zu der im Idealfall aufzuwendenden Energie, ist gegenüber dem Vergleichssystem um etwa 30 % geringer.

Der Nutzwert des Systems mit dem kleinen Wärmeerzeuger und einem kleinen Heizwasserpuffer von 40 l (System 4/2) ist geringfügig kleiner als bei dem System mit kleinem Wärmeerzeuger aber ohne Puffer (System 3/5). Der Hauptvorteil des Systems mit Puffer ist die im Vergleich zu dem Ausgangssystem um etwa 96 % reduzierte Schalthäufigkeit des Brenners, was die Reparaturanfälligkeit deutlich verringert. Die Schalthäufigkeit steigt auch bei Verbesserung des Wärmedämmstandards des Gebäudes nicht an. Ein weiterer Vorteil des Systems mit Puffer ist, daß die Aufwandszahl bei Erhöhung des Dämmstandards nur geringfügig steigt.

Der Nutzwert des Vergleichssystems liegt deutlich niedriger als der des

Systems mit kleinem Puffer. Der Vorteil des Vergleichssystems liegt in seinem geringen Platzbedarf. Es benötigt außerdem am wenigsten elektrische Energie. Den kleinsten Nutzwert weist das System mit großem Wärmeerzeuger auf, das dem Vergleichssystem ähnelt, jedoch zusätzlich über einen Heizwasserpuffer mit einem Volumen von 120 l verfügt (System 2/2). Seine Brennerschaltheufigkeit ist zwar gering, jedoch ist der Bedarf an Brennstoff noch etwas höher als bei dem Vergleichssystem, die Adaptibilität an erhöhten Dämmstandard etwas ungünstiger und vor allem der Platzbedarf höher. In das System mit großem Wärmeerzeuger muß, passend zu dem größeren Wärmeerzeuger, ein größerer Puffer integriert werden. Vorteile des Vergleichssystems gegenüber dem System mit kleinem Wärmeerzeuger und Puffer sind der niedrigere Bedarf an elektrischer Energie und die geringen  $\text{SO}_2$ -Emissionen.

Alle untersuchten Systeme weisen einen höheren Bedarf an elektrischer Energie auf als das Vergleichssystem (> 6 %). Mit einer richtig ausgelegten, d.h. genügend kleinen Pumpe können aber an sonnigen Tagen durch Drehzahlregelung bis zu 17 % an elektrischer Energie und bei überdimensionierter Pumpe mehr als 40 % im Vergleich zu einer unregelmäßigen Pumpe eingespart werden. Auch die Verlegeart des Rohrnetzes und die Rohrdurchmesser haben Auswirkungen auf den Bedarf an elektrischer Energie. So ist in der Modellwohnung eine

„Tichelmannschaltung“ günstiger als eine Sternschaltung, und die Rohrdurchmesser müssen entsprechend der geplanten Netzauslegung und keinesfalls besonders groß bemessen werden.

Als energetisches Charakteristikum für den Brennstoffbedarf dient in der vorliegenden Arbeit die System-Aufwandszahl, die auch die Trinkwassererwärmung beinhaltet. Sie steigt bei allen Systemen mit sinkender relativer Heizlast (definiert als die von einem idealen System bereitzustellende mittlere Leistung zur Normlast), d.h. mit Annäherung an die Heizgrenze, stark an: im ungünstigsten Fall bei dem Vergleichssystem von 1,31 auf 2,46, im günstigsten Fall bei dem System mit kleinem Wärmeerzeuger ohne Puffer von 1,17 auf 1,76 (Bild 4). Durch die Systementwicklung kann demnach der Energiebedarf gegenüber dem Ausgangssystem wesentlich gesenkt werden. Das günstigste System hat jedoch, je nach Witterung, einen Energiemehrbedarf von 17 bis 76 % im Vergleich zum Idealfall. Bei rechtzeitigem Erkennen der Heizgrenze und Abschalten des Heizsystems, so daß nur noch Trinkwasser erwärmt wird, kann die Aufwandszahl auf 1,23 gesenkt werden. Hier liegt ein erhebliches Einsparpotential. Um dieses nutzen zu können, ist es erforderlich, wie in dem System mit kleinem Wärmeerzeuger ohne Puffer bereits durchgeführt, Trinkwasser nur einmal täglich zu erwärmen. Der Trinkwasserspeicher wird ausgelegt für den Tagesbedarf und nur morgens vor dem Heizbeginn geladen.

Eine Verbesserung des Wärmedämmstandards des Gebäudes zu Niedrigenergiehausstandard hin führt nicht dazu, daß die Systemaufwandszahl sinkt. Vielmehr steigt sie bei allen Systemen mit abnehmender relativer Heizlast an und nähert sich erst an der Heizgrenze (rel. Heizlast 0,14) wieder der ursprünglichen Aufwandszahl (Bild 5). Die Aufwandszahl kann somit nur durch ein auf Gebäude und Nutzung abgestimmtes Heizsystem mit passender Steuerung bzw. Regelung gesenkt werden.

Die Grundaussage der Untersuchung, wonach die Warmwasserheizung grundsätzlich das relativ am besten geeignete System darstellt, gilt für Wohngebäude mit gutem bis sehr gutem Wärmedämmstandard. Für die Randbedingung „Wohnung in einem Mehrfamilienhaus“ ergibt sich überdies ein System mit kleinem Wärmeerzeuger, Trinkwasserspeicher und angepaßter Regelung bzw. Steuerung als Optimum. Wenn sich die Heizlast in Richtung des Nullheizenergiehauses in Zukunft weiter verringert, ist diese Aussage aber u. U. ab einem bestimmten Dämmstandard nicht mehr zutreffend. Anstelle eines Heizsystems wird dann vermutlich ein System zur vollständigen Konditionierung der Raumluft mit Kühlen, Be- und Entfeuchten und Reinigen der Luft benötigt.

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

Bild 4: Darstellung des Aufwandes der untersuchten Systeme (1/3, 2/2, 3/5, 4/2) zur Deckung der Heizlast.

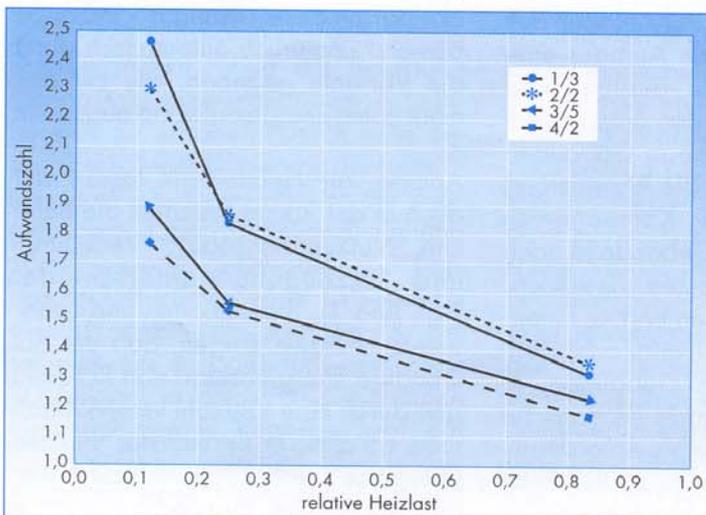
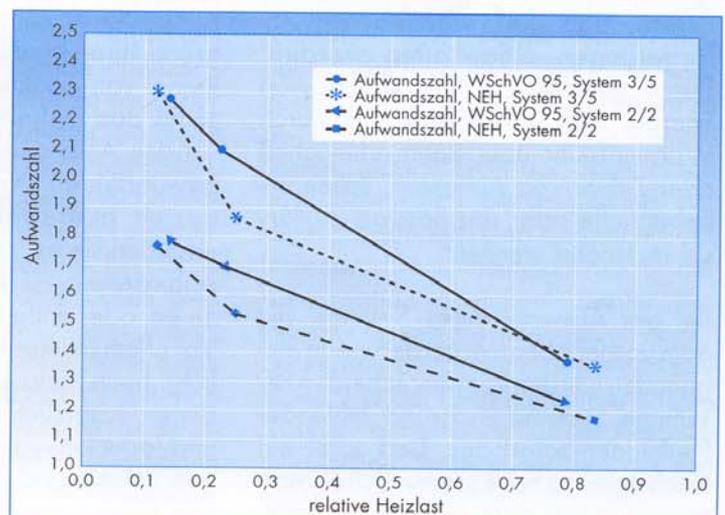


Bild 5: Änderung der System-Aufwandszahlen von System 3/5 und System 2/2 bei Verbesserung des Gebäudedämmstandards.



# MERLAN: Methode zur Berechnung des Energiebedarfs von RLT-Anlagen

Erik Reichert

Das AiF-Vorhaben MERLAN verfolgt das Ziel, Planern von RLT-Anlagen eine geeignete Methode zur Berechnung des Energiebedarfs von RLT-Anlagen zur Verfügung zu stellen. Die Berechnung soll dabei sowohl beliebig unterschiedlichen Nutzenanforderungen als auch beliebigen Anlagentechniken angepaßt werden können.

Ausgehend vom Gebäudeenergiebedarf für die Beheizung, Belüftung, Kühlung, Be- und Entfeuchtung soll es möglich werden, den notwendigen Energiebedarf einer RLT-Anlage zur Erfüllung der Anforderungen im Raum getrennt nach den von der Anlage zu liefernden Funktionen zu bestimmen. Mit Hilfe detaillierter Aufwandszahlen für die Bereiche Nutzenübergabe (Luftführung und Luftbehandlung), Verteilung und Erzeugung sollen deduktiv und jederzeit reproduzierbare Ergebnisse gewonnen werden können.

## Wissenschaftliche Problemstellung

Die Anforderungen an die thermischen und lufthygienischen Bedingungen in Gebäuden sind durch Nutzung und Nutzeransprüche vorgegeben und entsprechend vielseitig. Sowohl die Nutzung (innere Wärme-, Feuchte- und Schadstoffquellen) als auch die klimatischen Bedingungen (Außentemperatur, solare Strahlung, etc.) wirken sich dabei auf die thermischen und lufthygienischen Verhältnisse in Räumen eines Gebäudes aus. Heiz-, kühl- oder raumluftechnische Anlagen haben die Aufgabe, die Verhältnisse so zu beeinflussen, daß die vorgegebenen Anforderungen eingehalten werden. Durch gezielte Zu- und Abfuhr von Energie- und Stoffströmen, z.B. durch Wärmeabfuhr über Raumkühlflächen oder Zufuhr von Außenluft, sollen unbehagliche oder unzulässige Zustände verhindert werden.

Bei der Auswahl eines Systems, mit dem vorgegebene Anforderungen eingehalten werden können, scheiden bestimmte Systeme aufgrund fehlender Funktionen sofort aus. Daß z. B. ein Kachelofen zu hohe sommerliche Raumtemperaturen nicht verhindern kann,

scheint trivial. Auf der Suche nach einem Heizsystem, das einen maximalen Behaglichkeitsbereich im Raum gewährleistet, zeigt Bach /1/, daß Luft- oder Bodenheizungen diese Anforderung nur bedingt erfüllen können, indem die Raumlufttemperatur gegenüber anderen Systemen angehoben wird. Schadstoffe abzuführen oder Außenluft gezielt zuzuführen sind Funktionen einer RLT-Anlage, die sicherstellen können, daß die Anforderung "Grenzwerte für Schadstoffkonzentrationen im Arbeitsbereich unterschreiten" in Fabrikhallen eingehalten wird.

Im Gegensatz zu reinen Heiz- oder Kühlsystemen können RLT-Anlagen aufgrund ihres modularen Aufbaus eine Reihe von Funktionen ausüben und somit das Einhalten der unterschiedlichsten Anforderungen in Gebäuden gewährleisten. Durch die Ansteuerung gezielt ausgewählter Komponenten erlauben sie es, ein Gebäude je nach Anforderung zu beheizen, zu kühlen, zu be- oder entfeuchten und zu lüften. Vor allem in (thermisch und/oder stofflich) hoch belasteten Gebäuden, in denen zusätzlich scharfe (klimatische und/oder lufthygienische) Anforderungen gestellt sind, gibt es zu RLT-Anlagen keine sinnvollen Alternativen.

Um die ökonomisch optimale Lösung einer Aufgabe zu finden, sollten verschiedene Systeme, die mit der Einhaltung der vorgegebenen Anforderungen den **gleichen Nutzen** liefern, anhand einer Wirtschaftlichkeitsrechnung verglichen werden. Zur korrekten Bewertung sind dazu sowohl die Investitions- als auch die laufenden Kosten (nach VDI 2067 zählen dazu verbrauchsgebundene, betriebsgebundene und sonstige Kosten) zu berücksichtigen. Im Haupteinsatzbereich von RLT-Anlagen, in hoch belasteten Gebäuden, sind die verbrauchsgebundene Kosten (Energiekosten) zur Konditionierung und Förderung der Luft gegenüber den Investitionskosten in der Regel dominierend. Aufgrund der geringeren Wärmekapazität und Dichte des Energieträgers Luft ist im Vergleich zu Wasser pro kWh geförderter Energie etwa 4 mal mehr Transportenergie nötig. Der jeweils notwendige Energieaufwand zur Erfüllung der Anforderungen - man spricht hier auch von der "Bedarfsdeckung" - hängt dabei sowohl von der RLT-Anlage (genauer gesagt von den ausgewählten Komponenten und deren Anordnung, dem Luftführungskonzept und der Regelstrategie) als auch vom Bedarf des Raumes (incl. dessen Nutzung) ab. Die ökologisch beste Lösung ist - nebenbei bemerkt - natürlich automatisch durch die Variante gegeben, die mit dem niedrigsten Energieaufwand auskommt.

Analog zur Heiztechnik lassen sich auch in der Raumluftechnik die Bereiche "Nutzenübergabe", "Verteilung" und "Erzeugung" unterscheiden (vgl. Bild 1). Simulationen und Laboruntersuchungen zeigen, daß der notwendige Energiebedarf von RLT-Anlagen durch eine Vielzahl von Maßnahmen, vor allem im Bereich der "Nutzenübergabe", erheblich reduziert werden kann. Die Einsparpotentiale in

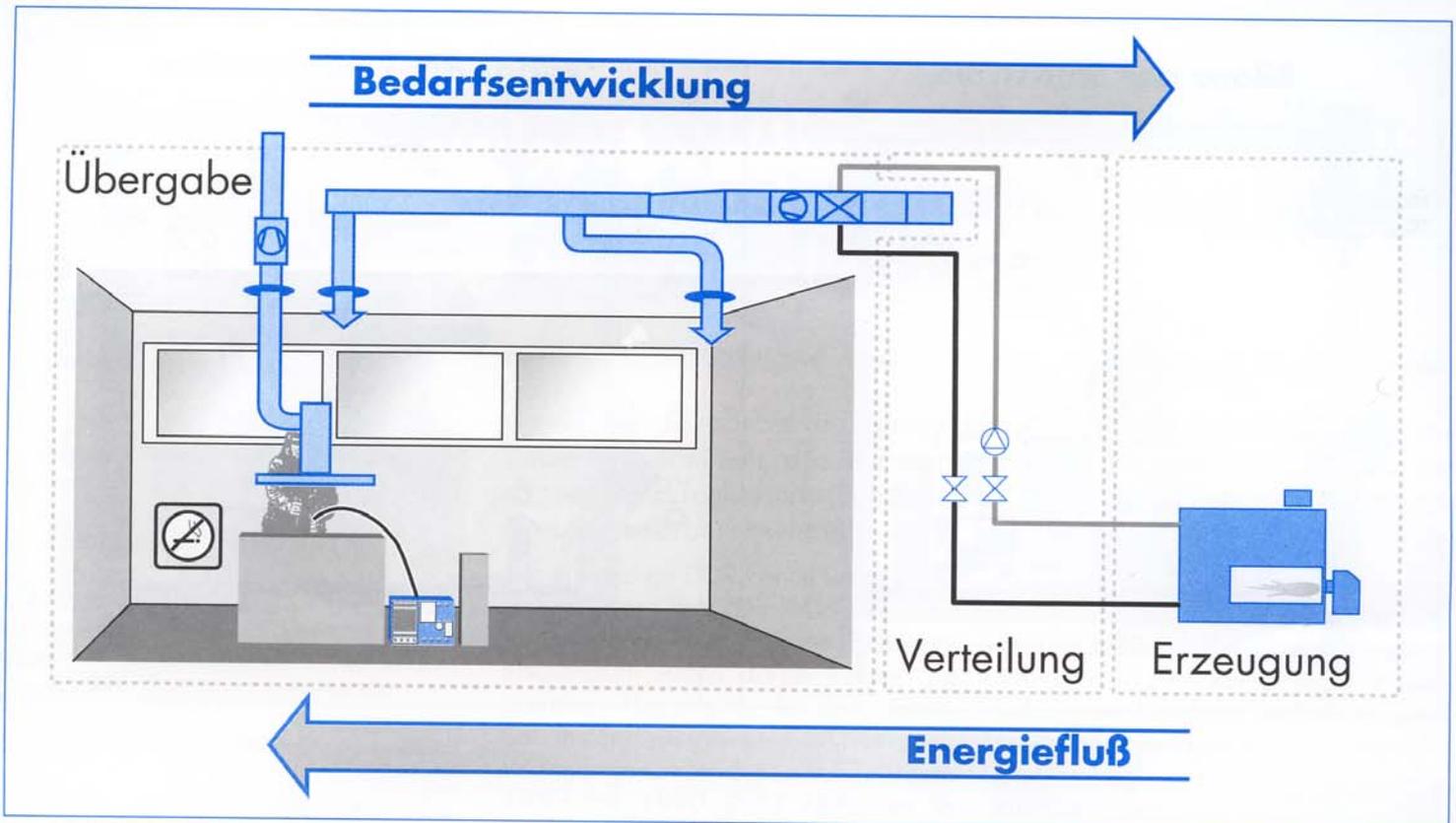


Bild 1: Bedarfsentwicklung und Energiefluß

diesem Bereich ergeben sich dadurch, daß die Lieferung des Nutzens zeitlich und örtlich an den Bedarf angepaßt wird. Die Luft wird dem Nutzer zu jedem Zeitpunkt "bedarfsgerecht", d.h. in ausreichender Menge, in geeigneter Weise und so konditioniert zugeführt, daß die Nutzenanforderungen gerade eingehalten werden. Beispielsweise weist Dittes /2/ nach, daß der Grad der Schadstoffbelastung im Arbeitsbereich von Industriehallen durch geeignet gewählte Luftführungskonzepte auf weniger als 10%, der der thermischen Belastung auf weniger als 50% der Werte für reine Mischlüftung reduziert werden kann. Unter bestimmten Voraussetzungen lassen sich die benötigten Luftströme dadurch erheblich verringern, ohne die Belastung (Schadstoffkonzentration) im Arbeitsbereich zu erhöhen. Durch eine bedarfsgerechte Reduzierung der Luftströme mit VVS-Anlagen läßt sich der Energieaufwand zur Luftbehandlung und zum Transport gegenüber den konstanten Luftströmen einer KVS-Anlage deutlich vermindern. Stephan /3/ beschreibt ein Bürogebäude mit einer RLT-Anlage, in dem sich allein durch ein intelligentes Regelkonzept ein Energieeinsparpotential (durch das Ausnutzen eines "Nullenergiebandes")

von bis zu 32% eröffnet. Dabei wird im Raum eine geringe Abweichung vom idealen Luftzustand ( $\Delta\vartheta_i = 2K$ ,  $\Delta\varphi_i = 20\%$ ) zugelassen, die zu keinen merklichen Behaglichkeitseinbußen führt.

Feldversuche bzw. Feldmessungen scheiden zur Bestimmung des Energiebedarfs von RLT-Anlagen aus, da gemessene Verbräuche grundsätzlich nicht verallgemeinerbar sind; sie sind nach Bach /4/ sogar bei derselben Anlage in einem Gebäude nicht einmal reproduzierbar. Für eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse sind fest definierte Randbedingungen notwendig, die entweder experimentell im Labor oder durch rechnerische Simulation erreicht werden. Eine Nachbildung des Gesamtsystems, 'Gebäude - Nutzer - Anlagensystem - Klima' ist im Labor praktisch nicht durchführbar. So bleibt nach Lebrun /5/ nur die Möglichkeit, das System durch mathematische Modelle zu beschreiben und sein dynamisches Verhalten durch rechnerische Betriebssimulation zu untersuchen. Eine externe Vergabe solcher Untersuchungen ist in der Konzeptionsphase eines Projekts jedoch meist aus Kosten- und Zeitgründen ausgeschlossen; andererseits kann nicht davon ausgegangen werden, daß ungeschulte Anwender,

ohne Simulationswissen und Simulationserfahrung, belastbare Ergebnisse erzielen.

Aus den genannten Gründen steht dem Planer von RLT-Anlagen in der Konzeptionsphase keine geeignete, d.h. genügend einfache u. reproduzierbare Ergebnisse liefernde Methode zur Verfügung, den Energieaufwand zur Erfüllung der vorgegebenen Anforderungen zu berechnen. Demgegenüber stehen die bekannt hohen Einsparpotentiale - oder anders ausgedrückt die hohen "Energie- und Geldverschwendungsgefahren" - und das Ziel, eine ökonomisch und/oder ökologisch optimale Lösung zu finden. In der Konzeptionsphase einer Anlage, in der alle grundlegenden Entscheidungen hinsichtlich der Anlagentechnik fallen, wird deshalb vom Investor normalerweise der (hinsichtlich der Investitionen) billigsten, jedoch nicht der ökonomisch oder ökologisch besten Lösung der Vorzug gegeben. Und angesichts der fehlenden Nachweismöglichkeiten der Amortisation energieeffizienter Anlagentechniken mit intelligenten Regelkonzepten bleibt auch dem Anlagenplaner nur der Griff zur konservativen Lösung - "altbewährte", in der Anschaffung billige Systeme werden aus der Schreibtischschublade gezogen.

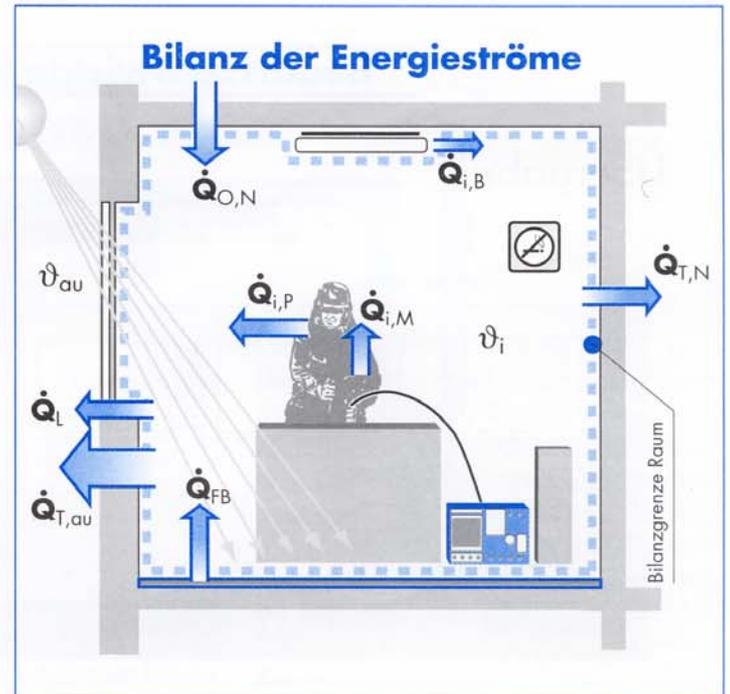
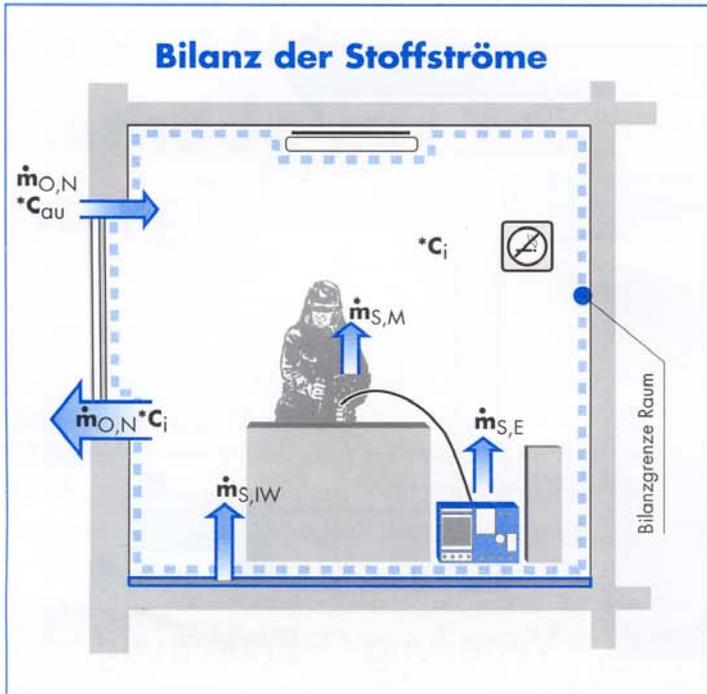


Bild 2 und 3: Stoff- und Energiebilanz eines Raumes zur Bestimmung des Gebäudeenergiebedarfs.

## Lösungsweg

Technische Systeme werden in der Regel durch einen Vergleich von Nutzen und Aufwand beurteilt. Der "Nutzen" bzw. die Aufgabe eines Systems zur technischen Gebäudeausrüstung besteht darin, sicherzustellen, daß die von der Nutzung und den Nutzeransprüchen vorgegebenen Anforderungen in den Räumen eines Gebäudes eingehalten werden. Verschiedene Systeme müssen zum Einbringen dieses Nutzens in den Raum unterschiedlich viel Energie aufwenden.

Um den Nutzen zu quantifizieren, werden für einen Raum Stoff- und Energiebilanzen (vgl. Bild 2 u.3) aufgestellt. Die Luft- und Energieströme, die dem System "Raum" zu- bzw. abgeführt werden müssen, um die Nutzenanforderungen exakt zu erfüllen, lassen sich damit zu jedem Zeitpunkt berechnen. Das zeitliche Integral der Raumnutzleistungen, d.h. der Energieströme, die zum Einbringen eines Nutzens in den Raum erforderlich sind, wird als Gebäudeenergiebedarf bezeichnet. Der Gebäudeenergiebedarf kann als Ausgangsgröße für die nachfolgenden Prozesse (Nutzenübergabe, Verteilung, Erzeugung) einer RLT-Anlage, die für die Bedarfsdeckung benötigt werden, herangezogen werden. Falls Aufwandszahlen detailliert ge-

nug zur Verfügung stehen, kann der erforderliche Energieaufwand dann ausgehend vom Gebäudeenergiebedarf ermittelt werden.

Zur Bestimmung der Aufwandszahlen von RLT-Anlagen wird in drei Schritten vorgegangen: Zunächst werden die für die Energiebedarfsberechnung von RLT-Anlagen wichtigen Parameter am Beispiel eines Modellraumes mit RLT-Anlage bestimmt. Hierfür wird der Gebäudeenergiebedarf des Raumes (incl. Nutzung) und der erforderliche Energiebedarf der RLT-Anlage unter verschiedenen Randbedingungen berechnet. Anhand der Ergebnisse dieser Vorstudie können die Größen abgeleitet werden, die den Energiebedarf von RLT-Anlagen beeinflussen. Für die notwendigen Simulationen dieser Phase stünde ein von Ast /6/ und Bauer /7/ bereits verifiziertes und verwendetes Raummodell eines typischen Bürogebäudes zur Verfügung.

Zur Bestimmung von Aufwandszahlen wird darauf aufbauend in einer zweiten Phase detailliert variiert z.B. bezüglich:

- des Gebäudes (Typ, Dämmstandard, etc.)
- der Luftführungskonzepte (Mischlüftung, Schichtlüftung, etc.),
- der Regelstrategien (Nullenergieband, Enthalpieregulierung, etc.),
- der verwendeten Anlagenkomponenten (und deren relativer Anordnung) sowie
- der Nutzenanforderungen (Temperaturanforderungen, Schadstoffgrenzwerte etc.).

Im letzten Schritt sollen die Ergebnisse aus Phase 2 für jede Variation durch Einführen geeigneter Bezugsgrößen so geordnet werden, daß sie für eine energetische Bewertung beliebig aufgebauter RLT-Anlagen herangezogen werden können.

## Literatur

- /1/ Bach, H.; Bauer, M.; Reichert, E.: Heizkörper - eine architektonische Aufgabe, Deutsches Architektenblatt 10/1996.
- /2/ Gezielte Belüftung der Arbeitsbereiche in Produktionshallen zum Abbau der Schadstoffbelastung, Schlußbericht zum Verbundvorhaben O1HK216, BMFT-Programm "Arbeit und Technik", IKE Abt. HLK, Universität Stuttgart, Oktober 1992.
- /3/ Stephan, W.: Energetische Beurteilung der Betriebsweise heiz- und raumlufttechnischer Anlagen durch rechnerische Betriebssimulation. Dissertation, Universität Stuttgart, 1991.
- /4/ Bach, H.: Quantifizierbarkeit von Energieeinsparungen - Grenzen der Feldmessungen. Tagungsband des Symposiums zum 150-jährigen Bestehen der Gebrüder Sulzer AG, Zürich, 1984, S.61-68.
- /5/ Lebrun, J.: Modelisation et design des systèmes de chauffage, ventilation et conditionnement d'air. Proceedings of the CLIMA 2000 World Congress on Heating, Ventilation and Air-Conditioning. Copenhagen, 1985, V. 1, P. 105-120.
- /6/ Ast, H.: Energetische Beurteilung von Warmwasserheizanlagen durch rechnerische Betriebssimulation. Dissertation, Universität Stuttgart, 1989.
- /7/ Bauer, M.: MEDUSA (Minimierung des Energiebedarfs von Gebäuden durch Simulation von Heizanlagen), Universität Stuttgart, IKE, AiF-Vorhabenbeschreibung, April 1994 (unveröffentlicht).

## Optimierung von Einrohrheizanlagen Teil II: Heizkostenverteilung und Energiediagnose

Heinz Bach, Michael Bauer, Gisela Eisenmann, Christian Haupt, Markus Tritschler

Dieser Beitrag faßt die Ergebnisse des zweiten Teils eines Forschungsvorhabens<sup>1</sup> zusammen, das in Zusammenarbeit mit dem Institut für Thermodynamik und Technische Gebäudeausrüstung der Technischen Universität Dresden bearbeitet wurde.

Die ehemalige DDR zählte weltweit zu den Ländern mit dem höchsten Pro-Kopf-Verbrauch an Energie. Einen beträchtlichen Anteil daran haben die privaten Haushalte. In den neuen Bundesländern gibt es 7,07 Millionen Wohnungen, von denen im Zeitraum 1952 bis 1990 2,33 Millionen in industrieller Bauweise (63 % Plattenbauweise und 27 % in Blockbauweise) errichtet wurden. Besonders hoch ist dabei der Energieverbrauch zentral-beheizter Gebäude, die in erster Linie mit Fernwärme versorgt werden.

Folgende Ursachen sind für den hohen Energieverbrauch verantwortlich:

- schlechte Bauausführung und undichte Fenster,
- unzureichende Wärmedämmung der Gebäudehülle,
- mangelhafter Zustand der Heizungsanlagen,
- schlechte Regelbarkeit der Einrohrheizung (1,3 Millionen Wohnungen des industriellen Wohnungsbaues sind mit Einrohrheizungen ausgerüstet),
- fehlende örtliche Regelung,
- keine verbrauchsabhängige Heizkostenabrechnung und damit fehlende Motivation der Mieter zur Energieeinsparung,
- unkontrollierte Lüftung,
- uneffektive Warmwasserversorgung.

Aufgrund des hohen Anteils von Einrohrheizungen ist eine generelle Umstellung auf Zweirohrheizungen unmöglich. Es muß eine Sanierung unter Einhaltung des Komforts für die Nutzer mit minimalem Energieeinsatz erfolgen. Die Übertragung des Energierechtes (Heizungsanlagen-Verordnung /1/, Heizkosten-Verordnung /2/ und Wärmeschutz-Verordnung /3/) der alten auf die neuen Bundesländer bis zum 1.1.1996 wird bereits eine erhebliche Reduzierung im Energieverbrauch nach sich ziehen. Dies erfordert enorme finanzielle Aufwendungen. Die Realisierung der Maßnahmen wird durch die pekuniären Möglichkeiten bestimmt. Danach wird es kurz-, mittel- und langfristige Modernisierungsmaßnahmen geben. Aus Kostengründen wird es oft nur Teil-sanierungen geben. Ziel des gesamten Vorhabens ist eine komplexe Analyse für eine energiegerechte Sanierung in einem Versuchs- und Demonstrationsbau des Typs WBS 70 (5 Geschosse). Mit Hilfe der Simulation wird die Wirksamkeit der möglichen Maßnahmen im voraus abgeschätzt. Die Zustandsanalyse und die Ableitung des Modernisierungsbedarfes erfolgt mit der Energiediagnose.

Durch die so gewonnenen Ergebnisse lassen sich mögliche Maßnahmen für die Modernisierung und dazugehörige Energieeinsparungen aufzeigen. Eine Energiediagnose ist im Normalfall nur für ein einzelnes Objekt gültig, es sei denn das Gebäude inklusive der Heiz-

<sup>1</sup> Titel des Forschungsvorhabens: Optimierung von Einrohrheizungsanlagen mit Heizkostenverteilung sowie flankierenden Raumluftprozessen im industriellen Wohnungsbau der neuen Bundesländer.

Das Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (Förderkennzeichen BMBF 0329 226 D) gefördert.

anlage gleicht anderen. Die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Objekte wird durch die Wahl geeigneter Bezugsgrößen möglich. Auf diese Weise werden Kriterien bereitgestellt, mit denen heizenergetische Verbesserungsmaßnahmen an Einzelgebäuden hinsichtlich Energieeinsparung, Wirtschaftlichkeit und Umweltentlastung für einen großen Teil des Wohnungsbestandes beurteilt werden können.

Ziel und Methodik der Energiediagnose [4] werden beschrieben. Für das zu untersuchende Gebäude wird eine Energiediagnose gestellt. Dafür wird der Ist-Zustand des Gebäudes und der zugehörigen Heizanlage erfaßt, mögliche Modernisierungsmaßnahmen werden aufgezeigt und aufgrund von Simulationsrechnungen die jeweils erreichbaren Energieeinsparungen sowohl für einzelne Maßnahmen als auch für kombinierte Maßnahmen quantitativ ermittelt. Die Einsparwerte für kombinierte Maßnahmen lassen sich keinesfalls aus den Einsparwerten der Einzelmaßnahmen addieren. Die Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen wird nach der Amortisationsmethode beurteilt. Schließlich werden erfolgversprechende Maßnahmen empfohlen und die für die Durchführung voraussichtlich aufzuwendenden Kosten angegeben. Die Wirtschaftlichkeit bzw. Amortisationszeit der einzelnen Maßnahmen ist sehr unterschiedlich, so amortisieren sich die hier vorgeschlagenen heiztechnischen Maßnahmen rascher als z.B. eine Außenwanddämmung. Besonders effektiv erscheint eine Maßnahme, die eine hohe energetische Effektivität mit verhältnismäßig geringen Investitionskosten verbindet. Letztendlich können zwei Maßnahmen empfohlen werden. Die Heizlast der einen empfohlenen Maßnahme beträgt noch 136,3 kW (ursprünglicher Zustand 167,8 kW); die Vorlauftemperatur kann in diesem Fall deutlich abgesenkt werden. Mit einem Kostenaufwand von etwa 450.000,-DM für 40 Wohnungen erscheint diese Maßnahme sinnvoll. Die Amortisationszeit beträgt 30 Jahre. Für die andere empfohlene Maßnahme sind der Kostenaufwand und die Amortisationszeit ähnlich.

Im Bereich des Nutzerverhaltens müssen zunächst die Rahmenbedingungen so gesetzt werden, daß die durch die Energienutzung entstehenden internen (Verbrauch) und externen (Umweltbelastung) Kosten den Verbraucher belasten und in dessen Wirtschaftlichkeitsüberlegungen einbezogen werden können. Dies geschieht zunächst durch den Abbau der Subventionen und Einführung von Energiepreisen, die nach Kosten- bzw. Marktgesichtspunkten festgelegt werden. Da aufgrund der niedrigen Energiepreise in der Vergangenheit auf Meß- und Regeleinrichtungen weitgehend verzichtet wurde, ist hier ein zweiter Schwerpunkt des Vorhabens angesiedelt. Dies bedingt z.B. die Einführung von Heizkostenverteilsystemen. Durch die Wiedervereinigung ist ein großes Potential an Heizanlagen vorhanden, die mit Heizkostenverteilern ausgestattet sein müssen. Während der Geltungsdauer der alten Norm DIN 4713 Teil 2 /5/ war jedoch der Einsatz von Heizkostenverteilern nach dem Verdunstungsprinzip in vertikalen Einrohranlagen untersagt. Aufgrund finanzieller Beschränkungen wurden günstige und dennoch geeignete Verteilsysteme gesucht. Nach den zur Zeit gültigen Normen DIN EN 834/835 /6,7/ ist der Einsatz von Verdunstern in oben beschriebenen Anlagen inzwischen zulässig. Allerdings sollte beim Einsatz ein zusätzlicher Bewertungsfaktor  $K_e$

angewandt werden. Diese Thematik wurde aber kontrovers diskutiert, so daß der Spiegelausschuß zu CENTC 171 Feldversuche zu diesem Thema initiierte /8/. Als Beitrag dazu wird untersucht, ob Heizkostenverteiler nach dem Verdunstungsprinzip (HKVV) in Einrohranlagen einsetzbar sind. Als Vergleich hierfür dienen die schon immer zugelassenen elektronischen Ein- (HKVE-1F) und Zweifühlergeräte (HKVE-2F) sowie das Dreifühler-WRE-System (WRE). Bei dem WER-System handelt es sich um ein Heizkostenverteilsystem mit integriertem unzeitigem Raumtemperaturregler (2-Punkt-Regler).

Zu diesem Zweck werden in dem Versuchsgebäude sowohl HKVV als auch HKVE-2F und das WER-System parallel an den Heizflächen montiert. Der Feldversuch wird statistisch ausgewertet und die Ergebnisse auf Plausibilität überprüft. Weiterhin wird der Einsatz der vier o.g. Heizkostenverteilsysteme in diesen Anlagen durch Simulationsrechnungen untersucht und beurteilt, wobei die in [9] beschriebenen Komponenten verwendet werden.

Die Ergebnisse zeigen, daß alle untersuchten Systeme zur Heizkostenverteilung in vertikalen Einrohrheizanlagen eingesetzt werden können. Das Zweifühlergerät erreicht die höchste Verteilgenauigkeit, gefolgt vom WRE-System (Dreifühler), dem Verdunster und dem

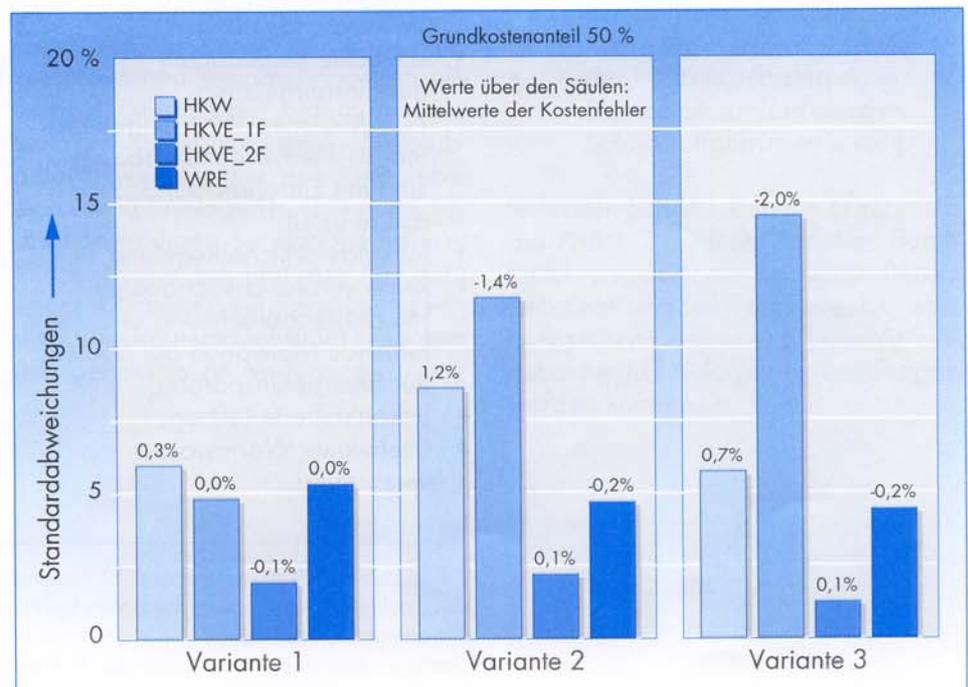


Bild 1: Standardabweichung der Kostenfehler unterschiedlicher HKV-Systeme für Variante 1 bis 3

Einfühlergerät. Beim Heizkostenverteiler nach dem Verdunstungsprinzip führt der zusätzliche Bewertungsfaktor  $K_E$  zu keiner signifikanten Verbesserung der Verteilerggebnisse und braucht deshalb nicht angewendet werden. Bild 7 zeigt beispielhaft die Standardabweichung  $\sigma$  der Kostenfehler F

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (F_i - \bar{F})^2}{n-1}} \quad \text{mit} \quad \bar{F} = \frac{\sum_{i=1}^n F_i}{n}$$

für drei unterschiedliche Simulationsvarianten. Die Angabe dieses Kennwertes hat den Vorteil, daß die einzelnen Varianten übersichtlicher dargestellt und dadurch schneller miteinander verglichen werden können.

Im untersuchten Gebäude sind die Steigleitungen nicht gedämmt. Der Einfluß der Wärmeabgabe dieser Leitungen auf den Kostenfehler bei der Heizkostenabrechnung wird ebenfalls ermittelt. In den meisten Fällen kann in senkrechten Einrohranlagen auf eine aufwendige Erfassung der Rohrwärmeabgabe verzichtet werden, wenn ein Grundkostenanteil von 50% gewählt wird (vgl. dazu auch /10, 11/) und die Anteile der Rohrwärmeabgabe der einzelnen Nutzer nicht zu stark differieren. Beim Einfühlergerät sind die nutzerrelevanten Kostenfehler allerdings größer als bei den anderen Erfassungssystemen, so daß für dieses System in einigen Fällen eine zusätzliche Erfassung der Rohrwärme zu empfehlen ist.

Wenn man die Steigleitungen dämmt, wird die Heizkostenverteilung verbessert; die Kostenfehler aller Systeme werden reduziert. Sie liegen in der gleichen Größenordnung wie bei einer Abrechnung bei der die Rohrwärme zusätzlich erfaßt wird. Im Hinblick auf die Energieeinsparung und die Verbesserung der Regelfähigkeit der Wärmeabgabe, sollte der Rohrdämmung der Vorzug gegeben werden. Die Maßnahme amortisiert sich innerhalb von 2,4 Jahren.

Der Einfluß der un stetigen WRE-Regelung auf den Kostenfehler unterscheidet sich nur gering von jenem der stetigen Thermostatventil-Regelung, wobei mit dieser für die untersuchten Varianten etwas geringere Kostenfehler berechnet werden.

Die Wahl eines geeigneten Grundkostenanteils beeinflusst maßgeblich die Höhe der Kostenfehler. Ein höherer Grundkostenanteil führt zur Reduktion des Fehlerniveaus sowohl bei den systembedingten Verteilfehlern als auch bei Fehlern aufgrund von Rohrwärmeabgabe. Daher wird aus fachlicher Sicht - unabhängig von der Heizanlage und dem eingesetzten Erfassungssystem - generell ein Grundkostenanteil von 50% empfohlen.

## Literatur

- /1/ Verordnung über energiesparende Anforderungen an heizungstechnische Anlagen und Brauchwasseranlagen (HeizAnV), BGBl. I Seite 613 ff. vom 22.3.1994.
- /2/ Verordnung über die verbrauchsabhängige Abrechnung der Heiz- und Warmwasserkosten (HeizkostenV), BGBl. I S. 115 ff. vom 26.1.1989.
- /3/ Verordnung über einen energiesparenden Wärmeschutz bei Gebäuden (Wärmeschutzverordnung - WärmeschutzV), BGBl. I Seite 2121 ff. vom 16.8.1994.
- /4/ Ast, H. et al: Energiediagnose für Wohngebäude. IKE 7-7, Universität Stuttgart, 1986. ISSN 0173-6892.
- /5/ DIN 4713 Teil 2, Verbrauchsabhängige Wärmekostenabrechnung, Heizkostenverteiler ohne Hilfsenergie nach dem Verdunstungsprinzip, März 1990.
- /6/ DIN EN 834 Ausgabe 11/94, Heizkostenverteiler für die Verbrauchswert erfassung von Raumheizflächen, Geräte mit elektrischer Energieversorgung. Nov. 1994.
- /7/ DIN EN 835 Ausgabe 11/94, Heizkostenverteiler für die Verbrauchswert erfassung von Raumheizflächen, Geräte ohne elektrische Energieversorgung nach dem Verdunstungsprinzip. Nov. 1994.

/8/ Anforderungskatalog für die Erprobung von Heizkostenverteilern nach dem Verdunstungsprinzip in Einrohrheizungen. Bericht des Prüfstellenausschusses Heizkostenverteiler vom 24. Juli 1992, Berlin.

/9/ Tritschler, M.: Beurteilung von Heizkostenverteilern durch Gebäude- und Anlagensimulation. Wärmetechnik 6/1996 und 7/1996.

/10/ Tritschler, M.: Rohrwärmeabgabe und Heizkostenabrechnung, Wärmetechnik 7/1993.

/11/ Haupt, Ch.: Zwangswärmekonsum durch Rohrleitungen - Einfluß der Rohrwärme auf den Kostenfehler beim Einsatz unterschiedlicher Heizkostenverteilern in vertikalen Einrohrheizungen. HLH 47/96, S. 84-86.

## DISSERTATIONEN und BERICHTE 1996/97

### DISSERTATIONEN

Im April 1997 schloß **Gisela Eisenmann** ihre Doktorprüfung mit „sehr gut“ ab. Titel Ihrer Arbeit: „Entwicklung einer allgemeinen Bewertungsmethode für Heiz- und Trinkwassererwärmungssysteme am Beispiel einer Wohnung in einem Mehrfamilienhaus.“

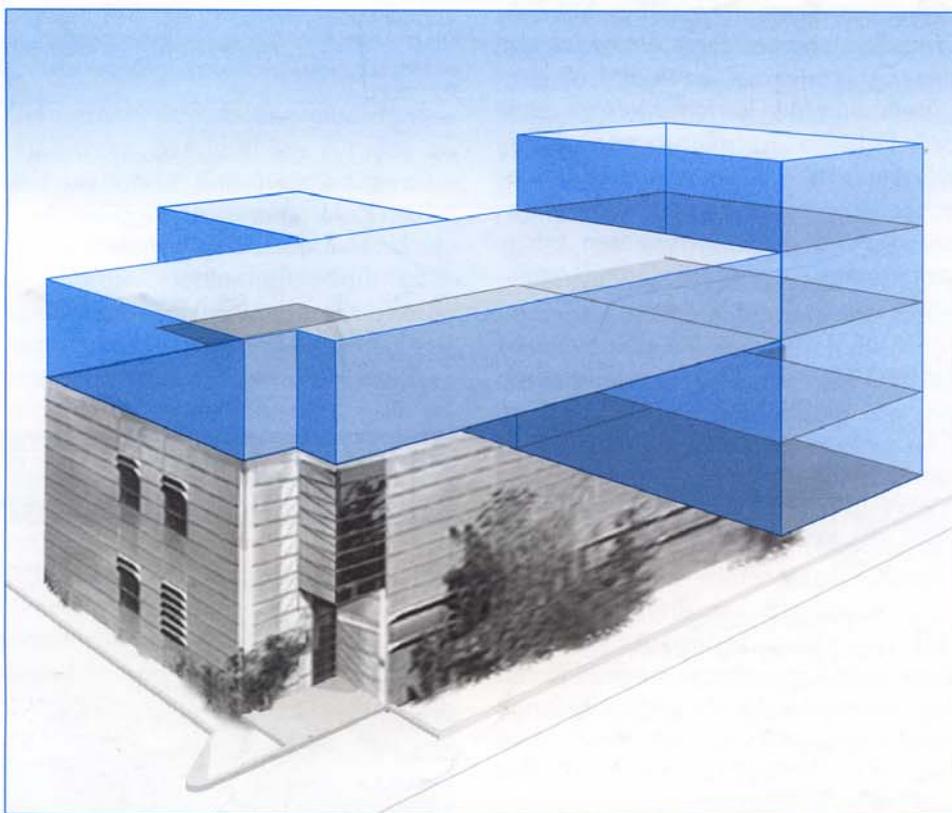
### FORSCHUNGSBERICHTE:

Optimierung von Einrohrheizungsanlagen mit Heizkostenverteilung sowie flankierenden Raumluftprozessen im industriellen Wohnungsbau der NBL, Teil I und II, Dezember 1996.

RATEG. Rationelle Energieanwendung in Gebäuden - neue Methode für Planung und Betrieb. Endbericht: voraussichtlich September 1997

Alle Dissertationen und Forschungsberichte sind über die Forschungsgesellschaft Heizung Lüftung Klimatechnik Stuttgart mbH erhältlich..

## Vision oder Wirklichkeit?



Noch ist es Vision - schon bald soll es Wirklichkeit werden: Wir haben mit der Planung einer deutlichen Erweiterung unseres Laborgebäudes Pfaffenwaldring 6a begonnen. Ziel ist, unsere gesamte Crew in einem Gebäude zu vereinen und - fast wichtiger - allen Mitarbeitern erträgliche Arbeitsbedingungen zu verschaffen: Bis jetzt verfügen mehrere unserer Wissenschaftler und Techniker über keinen Arbeitsplatz mit Tageslicht, Mitarbeiter im Labor können sich nicht an einen lärmgeschützten Schreibtisch zurückziehen, wenn durch Maschinen anderer Institute 100 dB(A) überschritten werden. Auch der regelmäßige Gedankenaus-

tausch zwischen den Wissenschaftlern - er ist für jeden einzelnen und für uns insgesamt existentiell wichtig - leidet zunehmend unter der Distanz zwischen unseren Gebäuden.

Wir erwarten von einer räumlichen Zusammenführung eine merkliche Steigerung unserer Effizienz - für eine gewisse Zeit wird es natürlich wie bei jedem Bauvorhaben eher Behinderungen und Ärger geben, aber die Vorstellung besserer Arbeitsbedingungen wird uns genügend Schwung verleihen, auch dies zu überstehen. Über die wesentlichen Schritte unseres Vorhabens werden wir Sie jeweils aktuell informieren.

*Red.*

### IMPRESSUM

#### Autoren:

Prof. Dr.- Ing. Heinz Bach  
Dipl.- Ing. Michael Bauer  
Dipl.- Ing. Bernhard Biegert  
Dipl.- Ing. Robert F. Grob M.Sc.  
Dipl.- Ing. Christian Haupt  
Dipl.- Ing. Markus Tritschler  
Dipl.- Ing. Kai Zou M.Sc.  
IKE/LHR

Dipl.- Ing. Walter Dittes  
Dr.- Ing. Gisela Eisenmann  
Dipl.- Ing. Chr. Kochendörfer  
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.