

Meine Damen und Herren,

bei der ersten Konzeption unseres HLKBRIEFes hatten wir es durchaus nicht vor, ihn nur zur Mitgliederversammlung des Vereins der Förderer herauszubringen, es sollte öfter sein. Aber: "so isch's halt worde".

Das Hauptthema unseres Vortrags-Programms am 28. Juni 1991 wurde von Dr.-Ing. A. Jahn durch seinen interessanten Beitrag beim Colloquium anlässlich der Emeritierung von Prof. Dr.-Ing. Horst Esdorn eingebracht: „Zur Systematik beim Planen, Bauen und Betreiben der Technischen Gebäudeausrüstung“. Hier wurden sehr prägnant, wie es H. Schmitz ausdrückte, die Aufgaben der VDI-TGA für die nächsten 20 Jahre formuliert. Da wir uns mit einem Auftrag des japanisch-deutschen Heizungsinstituts schon seit längerem mit der Entwicklung wissensbasierter Systeme zur Planung von Heizanlagen befassen und heute einen ersten Bericht vorlegen können, waren wir sehr froh, als Dr. Jahn zusagte, seine Gedanken bei unserer Mitgliederversammlung vorzutragen. Die Vorstellung unserer eigenen Ergebnisse lassen sich so in einem größeren Zusammenhang, z.B. auch vor dem Hintergrund der Frage „Qualitätssicherung in der Planung“, diskutieren.

Wenn ich von unseren Ergebnissen spreche, so meine ich Ergebnisse aus einer Zusammenarbeit zwischen den IKE-Abteilungen:

„Wissensverarbeitung und Numerik“

unter Dr. F. Schmidt und Heizung Lüftung Klimatechnik.

Das IKE ist dabei, einen interdisziplinären Arbeitsschwerpunkt System- und Agententechnik auszubauen. Im Vordergrund steht hierbei die Entwicklung eines einheitlichen, von der Planung bis zur Simulation durchgehenden integrierten Planungs- und Simulationssystems (IPSS) für komplexe energietechnische Systeme und Anlagen mit Hilfe moderner Hard- und Software. In diese verstärkte interdisziplinäre Aktivität passen natürlich

## WISPLA - Wissensbasierte Planung von Anlagen zur technischen Gebäudeausrüstung

Klaus Baer u. Fritz Schmidt

Während der Planung der technische Gebäudeausrüstung werden derzeit nur in Teilbereichen Computersysteme zur Unterstützung des Planers eingesetzt. Diese Systeme beschränken sich häufig auf Unterstützung bei Routineaufgaben und sind typischerweise auf ihr spezielles Anwendungsgebiet zugeschnitten. Dies führt dazu, daß für jeden Teilbereich eine eigene, oft aufwendige Modellierung des Projekts erfolgt, die nicht notwendigerweise mit Modellierungen früherer oder späterer Planungsschritte konsistent ist. Um die bei diesem Vorgehen immanenten, unnötigen Arbeiten und die damit verbundenen Kosten und Fehlerquellen zu vermeiden, ist die durchgängige Bearbeitung eines Projektes mit Computerunterstützung notwendig. Dadurch wird gewährleistet, daß in jeder Planungsphase alle bis dahin erarbeiteten Daten zur Verfügung stehen und zudem während des gesamten Planungsvorgangs auf einer einheitlichen Modellierung aufgesetzt wird und der Planungsvorgang optimal ablaufen kann.

### INHALT

<b>WISPLA - Wissensbasierte Planung von Anlagen zur technischen Gebäudeausrüstung</b>	<b>1</b>
<b>Nunmerische Berechnung der Luftströmung bei Schadstofffassungseinrichtungen</b>	<b>4</b>
<b>Entwicklung eines kombinierten Regelungs- und Heizkostenverteilensystem ( RHKVS )</b>	<b>6</b>
<b>Personalia u. Studienarbeiten</b>	<b>7</b>
<b>Building Energy Management System ( BEMS )</b>	<b>8</b>
<b>Neues Prüffeld für Kessel, Brenner, Regler und Speicher</b>	<b>11</b>
<b>APLÜ vor Abschluß</b>	<b>12</b>

Im HLKBRIEF wird über die Aktivitäten der Abteilung Heizung Lüftung Klimatechnik des Instituts für Kernenergetik und Energiesysteme der Universität Stuttgart (IKE HLK), der Forschungsgesellschaft Heizung Lüftung Klimatechnik Stuttgart mbH (FG HLK), und des Vereins der Förderer der Forschung im Bereich Heizung Lüftung Klimatechnik berichtet.

sehr gut unsere bisherigen Arbeiten in der Systemsimulation und auch bei Building Energy Management Systems (BEMS, siehe Seite 9).

In unserem das letzte Mal vorgestellten Raumluf-Strömungs-Labor haben wir eine Reihe interessante Erkenntnisse gewonnen, die vor allem in das APLÜ-Vorhaben eingeflossen sind (siehe Seite 12). Ergänzend zum Experiment werden auch Strömungsvorgänge mit numerischen Verfahren untersucht (siehe Seite 4).

Neben APLÜ steht weiterhin HYDRA (HLKBRIEF 1) vor dem Abschluß; hierzu der Beitrag „Entwicklung eines kombinierten Regelungs- und Heizkostenverteil-systems“ (RHKVS, auf Seite 7), und wie immer sind wir mit dem Ausbau unseres Labors beschäftigt und können ein neues Prüffeld für Kessel, Brenner, Regler und Speicher vorstellen (siehe Seite 6).

Wie auch die letzten Male würden wir uns über einen Informationsrückfluß zu unserem HLKBRIEF sehr freuen.

Mit herzlichen Grüßen

Prof.Dr.-Ing. Heinz Bach

Fortsetzung

### **WISPLA - Wissensbasierte Planung von Anlagen zur technischen Gebäudeausrüstung**

Aufgrund der Komplexität und der Art der Planungsvorgänge reichen konventionelle Programmieretechniken allein nicht aus, denn Planungsvorgänge lassen sich häufig nicht oder nur sehr schwer prozedural formulieren. Die Arbeit von Sachs /2/ hat gezeigt, daß hier KI-Methoden + Werkzeuge eine wertvolle Ergänzung konventioneller Techniken darstellen. Solche Techniken müssen also zusammen mit den bereits verfügbaren Methoden in ein System integriert und miteinander verknüpft werden. Unser Ziel ist es, ein integriertes System zu entwickeln, das erlaubt, die erforderlichen Geometriedaten eines Projektes der zugehörigen CAD-Beschreibung zu entnehmen,

- die Verplanung der Heizanlage durchzuführen und dem Planer verschiedene Alternativen zur Auswahl anzubieten,
- mit der vom Planer gewählten Anlage die Detailplanung durchzuführen und
- anhand einer Simulation und anschließender Analyse der Simulationsergebnisse zu überprüfen, ob mit der geplanten Anlage die gesteckten Ziele erreicht werden können, und falls notwendig, Korrekturen vorzuschlagen.

Ein System, das ein solches Vorgehen ermöglicht, ist in einer ersten prototypischen Version verfügbar. Dieser Prototyp unterstützt die Vorplanung. Ausgehend von den mit diesem System gewonnenen Erfahrungen sollen in einem zweiten Schritt genauere Berechnungsverfahren und ein detaillierteres Verfahren zur Gebäudebeschreibung integriert werden. Damit kann auch die Detailplanung für die vom Planer gewählte Anlage durchgeführt werden.

Kern des Prototyps zur Vorplanung ist eine Wissensbank, in der das gesamte zur Verplanung von Heizanlagen benötigte Wissen abgelegt wird. Wir unterscheiden drei Arten von Wissen: Faktenwissen, Regelwissen und Wissen, das in Form von Prozeduren (Programmen) formuliert ist. Jede der drei Wissensarten kann in die fachspezifischen Wissensbereiche Anlagentechnik, Gebäudewissen, Wissen zu nutzungsabhängigen Größen, Wissen zu standortabhängigen Größen und Wissen zu Stoffwerten gegliedert werden. Beispielsweise sind Eigenschaften von Anlagenkomponenten wie Wirkungsgrade, Preise etc. als Faktenwissen im Bereich Anlagentechnik eingetragen. Dagegen ist Wissen z.B. über das Zusammenpassen von einzelnen Komponenten in Form von Regeln im Bereich Anlagentechnik abgelegt. Berechnungsverfahren (Wärmebedarf, Grobdimen-

sionierung) sind als herkömmliche Programme im jeweiligen Wissensbereich gespeichert. Metawissen (z.B. Reihenfolge der einzelnen Planungsschritte, wann wird welches Berechnungsverfahren eingesetzt ?) ist teils in Form eines übergeordneten Steuerprogramms, teils in (Meta-Regelsätzen enthalten. Aufsetzend auf dieser Wissensbank erfolgt die Vorplanung analog der in dem Bild gezeigten Vorgehensweise in sechs Schritten /1/.

### **1. Eingabedatenerfassung und Gebäudemodellierung:**

Wesentliche Aufgabe des Planers in diesem Arbeitsschritt ist neben der Eingabe grundlegender Daten die Einteilung des Gebäudes in aus heizungstechnischer Sicht unterschiedliche Zonen. Von dieser Einteilung hängt die Genauigkeit der Planungsergebnisse entscheidend ab. Um den Aufwand für die Gebäudemodellierung möglichst gering zu halten, steht dem Planer ein „dynamisches“ Formblatt zur Verfügung:

- Zum einen wird versucht, aus den bereits eingegebenen Daten soviel wie möglich neue Daten sofort abzuleiten und als Vorgabewerte an anderer Stelle innerhalb des Formblattes zur Verfügung zu stellen.
- Zum anderen wird die Eingabe im Formblatt in Abhängigkeit bereits eingegebener Daten gesteuert. Zum Beispiel wird je nach angegebener Nutzung eine andere Liste von Räumen angeboten, aus der der Planer die gewünschten auswählt.

Da sich von Zone zu Zone häufig nur wenige Daten ändern, ist es sinnvoll, die Daten der zuvor spezifizierten Zone als Vorgabewerte für die nächste anzubieten. Ist die Spezifizierung der Zonen abgeschlossen, können die

Geometriedaten des Gesamtgebäudes durch Aufsummieren gebildet werden.

## 2. Pflichtenhefterstellung:

Ist die Beschreibung des Gebäudes abgeschlossen, startet der Planer die Pflichtenhefterstellung. Sie erfolgt nach festgelegten Berechnungsverfahren (vgl. /1/), die in Form konventioneller Programme in der Wissensbank vorliegen.

## 3. Ableitung von Anlagenalternativen:

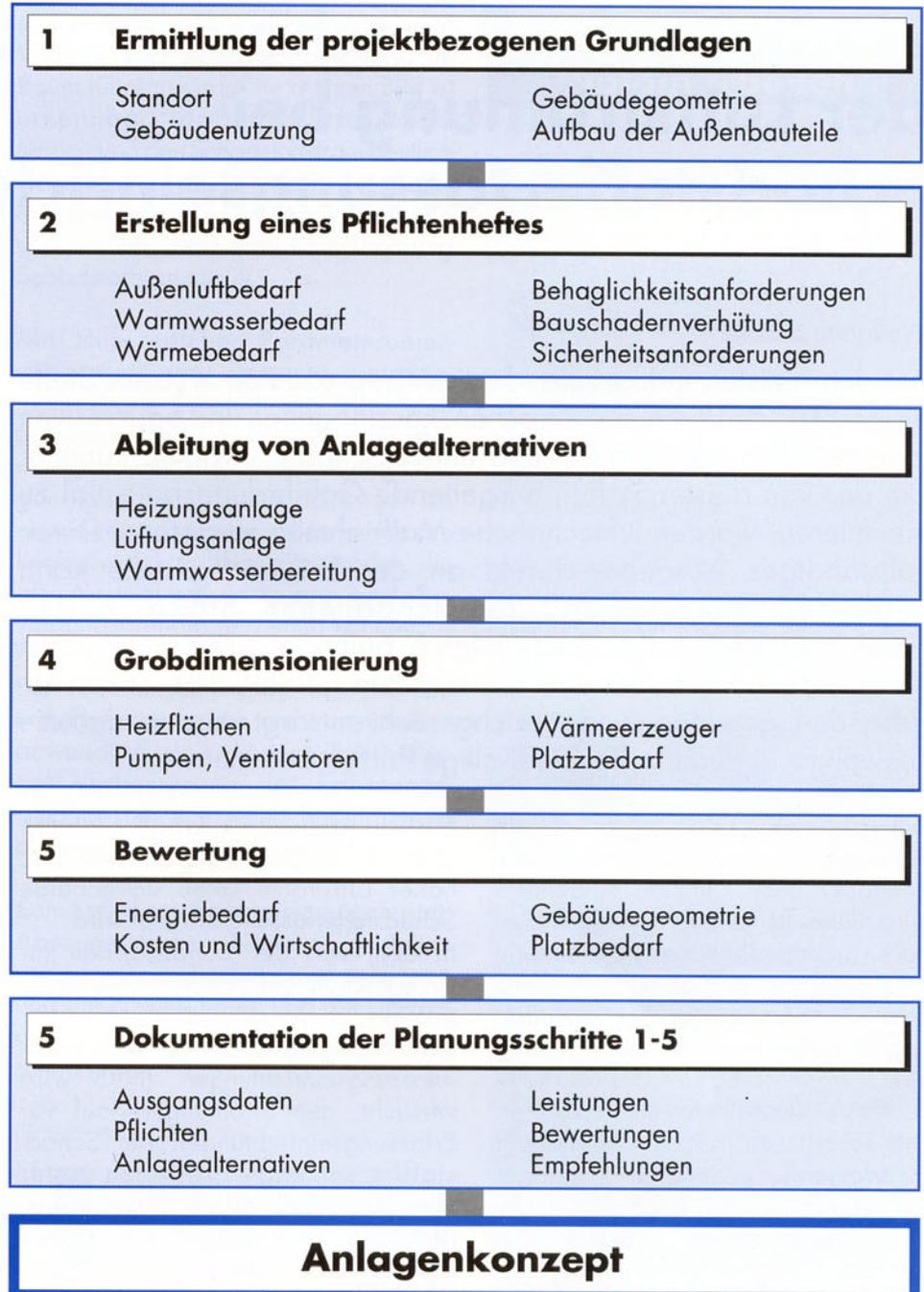
Die Ableitung der Anlagenkonzepte geschieht regelgestützt. Zunächst wird die Wärmeübergabe ausgewählt, da sich hier die meisten Restriktionen ergeben. (Im Bild : Arbeitsschritte bei der Vorplanung von Heizanlagen). In Abhängigkeit davon wird nachfolgend ein Wärmeerzeuger gewählt und dann ein zu Wärmeübergabe- und Wärmeerzeugersystem passendes Wärmeverteilsystem. Die Regeln prüfen zunächst, ob die Voraussetzungen für den Einsatz einer bestimmten Komponente erfüllt sind (z.B. Fußbodenheizung: Ist der Bodenaufbau für die Verlegung von Heizrohren geeignet?). Sind alle Voraussetzungen erfüllt, wird geprüft, ob die Pflichten mit dieser Komponente erreicht werden können (im Beispiel: Kann der Wärmebedarf mit der Fußbodenheizung gedeckt werden?). Werden von der betrachteten Komponente alle Pflichten erfüllt, gilt sie als wählbar. Jetzt wird geprüft, ob sie mit bereits selektierten, anderen Komponenten harmonisiert und ggf. als Alternative vorgemerkt.

## 4. Grobdimensionierung:

Wie bei der Pflichtenhefterstellung sind die Verfahren zur Ermittlung der Nenn- bzw. Anschlußleistungen der Wärmeerzeugung, der Größe von Wärmespeichern, der Anschlußleistungen von Ventilatoren und Pumpen, der Nennleistung der Heizkörper und der benötigten Flächen für Strahlplatten und integrierten Heizflächen in prozeduraler Form in der Wissensbank abgelegt. Die Grobdimensionierung wird unmittelbar nach der Anlagenselektion für jede gefundene Kombination durchgeführt.

## 5. Bewertung:

In diesem Planungsschritt werden Energiebedarf Kosten und Wirtschaftlichkeit, Schadstoffausstoß und Platz-



bedarf für alle Anlagenalternativen ermittelt und vergleichend gegenübergestellt. Die zugehörigen Verfahren sind wiederum als Programme in der Wissensbank abgelegt.

## 6. Ergebnisdokumentation:

Die Ergebnisdokumentation liefert für jeden der vorangegangenen Planungsschritte ein Zwischenergebnis in tabellarischer Form, so daß die je Planungsschritt erarbeiteten Daten übersichtlich vorliegen. Die Gegenüberstellung der abgeleiteten Anlagenalternativen erfolgt anhand ihrer Bewertungskriterien in Balkendiagrammen. Der Planer wählt anhand der Dokumentation eine Alternative aus. Deren Daten stehen als

Grundlage für die nachfolgende Detailplanung zur Verfügung und müssen dann höchstens noch detailliert bzw. durch aktuelle Gebäudedaten ergänzt werden.

## Literatur

/1/ Baer, K.; Diemer, R.: *Ein wissensbasiertes System zur Vorplanung von Heizanlagen*. Institut für Kernenergetik und Energiesysteme. Universität Stuttgart 1991. Interner Bericht.

/2/ Sachs, S.: *Ein Expertensystem für die Auswahl und Bewertung von Heizungsrenovierungsmaßnahmen*. Institut für Kernenergetik und Energiesysteme, Universität Stuttgart, Dissertation, 1986.

# Numerische Berechnung der Luftströmung bei Schadstofffassungseinrichtungen

Wolfgang Scholer

Bei den meisten industriellen Fertigungsprozessen werden Stoffe freigesetzt, die durch ihre toxischen, karzinogenen und aggressiven Eigenschaften gesundheits- und umweltschädlich wirken können. Um das von diesen Stoffen ausgehende Gefährdungspotential zu minimieren, werden lufttechnische Maßnahmen eingesetzt. Durch vollständiges Absaugen direkt an der Entstehungsstelle kann verhindert werden, daß die schädlichen Stoffe in den Aufenthaltsbereich der Beschäftigten gelangen. Mit geeigneten Abscheideverfahren können die erfaßten gefährlichen Stoffe abgesondert, gebunden und so fachgerecht entsorgt werden, daß die Umwelt nicht durch schadstoffhaltige Fortluft belastet wird.

Die vollständige Erfassung gelingt am einfachsten, wenn die Freisetzungsstelle gekapselt oder komplett eingehaust wird. Dies ist jedoch in sehr vielen Fällen aus Handhabungsgründen nicht möglich. Daher muß oft auf halbhohe oder offene Erfassungssysteme zurückgegriffen werden, was zwangsläufig eine Vergrößerung der Unsicherheits- und Störeinflußfaktoren mit sich bringt. Die Schadstoffe trotzdem vollständig zu erfassen ist wesentlich schwieriger und erfordert genaue Kenntnis über die Strömungsverhältnisse. Sie ergeben sich aus dem Zusammenwirken der Schadstofffreisetzungsvorgänge, dem durch die Absaugung (abhängig von Formgebung, Anordnung und Volumenstrom) aufgeprägten Strömungsbild und gegebenenfalls durch Störströmungen. Solche detaillierten Kenntnisse sind jedoch bisher nicht vorhanden. Deshalb werden heutige Schadstofffassungseinrichtungen meistens noch immer nach Erfahrungswerten ausgelegt. Nur bei geometrisch sehr einfachen Erfassungsformen existieren aus Messungen abgeleitete Berechnungsgleichungen. Sie geben aber meist nur den funktionalen Zusammenhang auf der Saugachse wieder. Verbesserte Lösungen lassen sich bislang nur in sehr zeitaufwendigen und teuren Laborversuchen erreichen. Das hat zur Folge, daß in vielen Fällen keine ideal auf den

Fertigungsprozeß abgestimmten Lösungen eingesetzt werden und trotz hoher Luftströme keine vollständige Schadstofffassung erreicht wird. In dem von der Bundesanstalt für Arbeitsschutz geförderten Forschungsprojekt „Entwicklung numerischer Berechnungsverfahren für Schadstofffassungseinrichtungen“ (NBS) wird versucht, den Strömungsverlauf vor Erfassungseinrichtungen bei Schadstofffreisetzungsvorgängen unter Thermikeinfluß durch Simulationsrechnung zu ermitteln, um daraus Erkenntnisse zu gewinnen, die Grundlagen für eine verbesserte Konstruktion, Dimensionierung und Bewertung liefern sollen.

Die Strömungsvorgänge werden exakt durch die physikalischen Erhaltungsgleichungen für Masse, Impuls und Energie beschrieben. Man erhält daraus ein System von nichtlinearen gekoppelten Differentialgleichungen, das nicht analytisch lösbar ist. Trotz großer Fortschritte in der Computertechnik wird es wegen deutlich zu geringem Speicherplatzangebot und Rechnerleistung auch in absehbarer Zukunft nicht möglich sein, dieses Gleichungssystem mit numerischen Methoden exakt zu lösen. Daher sind stets Vereinfachungen und Modellbildungen nötig. Zur Lösung von Fluidströmungspro-

blemen existieren zahlreiche kommerzielle Programme. Im Forschungsvorhaben wird das Finit-Elemente-Programm FIDAP eingesetzt. Zur Ausnutzung der von FIDAP angebotenen Möglichkeiten wird ein Höchstleistungsrechner wie die am Rechenzentrum der Universität Stuttgart installierte CRAY2 benötigt.

Die Schwierigkeiten der Simulation liegen in der geeigneten Wahl der für das Berechnungsergebnis entscheidend maßgeblichen numerischen Parameter:

- Anzahl und Anordnung der Diskretisierungsknotenpunkte,
- Wahl der Start- und Randbedingungen,
- Vereinfachungen und Normierung der Bilanzgleichungen und
- Simulationsstrategie.

Zusammen mit den unvermeidbaren numerischen Fehlern bergen diese Parameter erhebliche Fehlermöglichkeiten. Daher sind sehr gute strömungstechnische und numerische Grundkenntnisse und Erfahrung im Umgang mit dem Programm erforderlich, um zuverlässige Simulationsergebnisse zu erhalten. Kritische Vergleiche mit experimentellen Untersuchungen sind unerlässlich.

Der große Vorteil der numerischen Simulation liegt darin, daß bei ausreichenden Kenntnissen über die numerischen Parameter mit relativ geringem Zeitaufwand Parameterstudien durchgeführt werden können, die bei experimentellen Untersuchungen einen nicht vertretbaren Aufwand bedeuten würden. Das ermöglicht, Grundsatzuntersuchungen und Fallstudien für die praktisch relevanten Parameter zu erstellen, wie:

- Formgebung und
- Anordnung der Erfassungseinrichtungen,

- abgesaugter Volumenstrom,
- thermische Randbedingungen.

Dadurch gelangt man zu Kenntnissen, die zu verbesserten konstruktiven Lösungen führen.

Im Projekt NBS werden Grundlagenuntersuchungen an geometrisch einfach geformten Erfassungseinrichtungen und beheizten Körpern durchgeführt, für die auch Labormessungen vorliegen. Durch Koordination der numerischen Parameter und Vergleich der Meß- und Simulationsergebnisse wird das Programm für den Anwendungsfall verifiziert. Die systematische Variation der physikalischen Parameter ermöglicht die Analyse des aus Konvektions- und Senkenströmung kombinierten Strömungsgeschehens.

Im Bild sind beispielhaft die Ergebnisse zweier Strömungsberechnungen für einen beheizten Zylinder dargestellt, über dem ein Absaugrohr angebracht ist. Die Flanschgröße und die Oberflächentemperaturen der Körper unterscheiden sich; die übrigen Randbedingungen sind identisch. Im linken Bild wird die Thermikströmung gerade noch von der Absaugung erfaßt. Es ist anzunehmen, daß schon eine leichte Querströmung die Thermik-

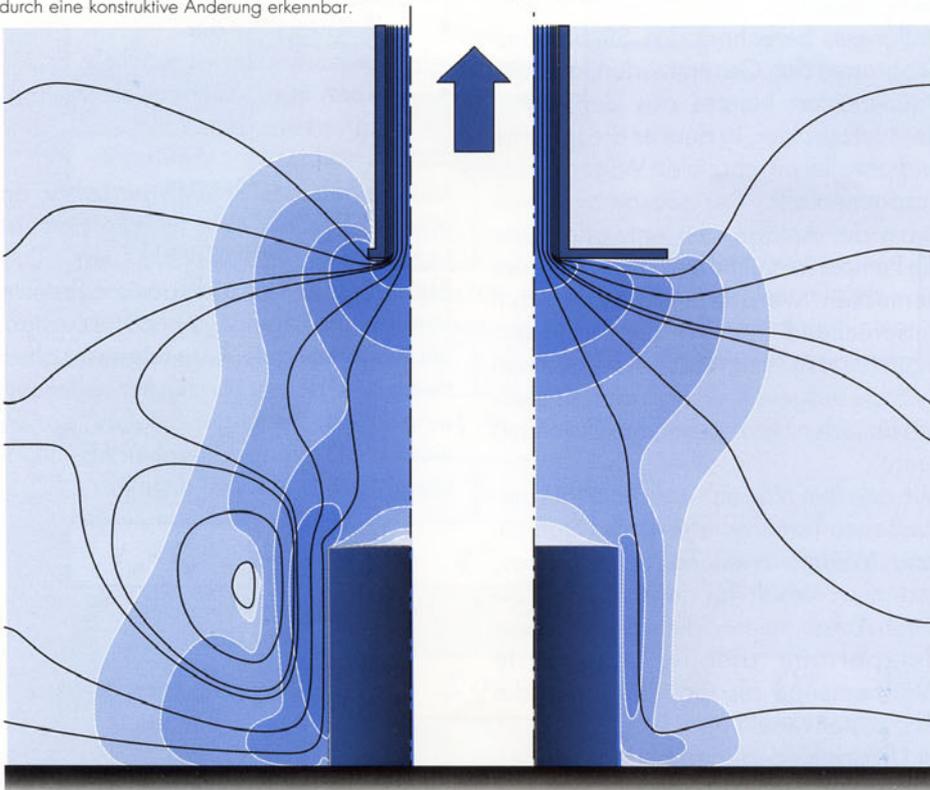
strömung ausspülen und damit zu einer Wärme- und Schadstoffbelastung im Raum führen würde. Im rechten Bild ist erkennbar, daß die Erfassungseinrichtung den Schadstoffstrom deutlich sicherer und stabiler erfaßt. Bei dieser Konstellation ist es wesentlich unwahrscheinlicher, daß eine Querströmung Schadstoffe ausspült.

Mit Hilfe solcher Parameteruntersuchungen wird versucht, verallgemeinerbare Erkenntnisse über den Strömungsverlauf von Thermikströmungen und die Saugwirkung von gängigen Erfassungseinrichtungen zu gewinnen. Daraus sollen einfache Rechenverfahren abgeleitet werden, die als Auslegungswerkzeug und Bewertungsgrundlage dienen können.

Für Problemstellungen, auf die die erzielten Ergebnisse nicht unmittelbar anwendbar sind, können Fallstudien zur Verbesserung der Erfassungssituation bei speziellen Bedingungen als Dienstleistung durchgeführt werden.

Somit wird ein Beitrag dazu geleistet, Absaugeanlagen effektiver gestalten und wirtschaftlicher betreiben zu können und die Beschäftigten und die Umwelt durch verbesserte Luftqualität zu schützen.

Bild :  
Am Stromlinien- und Isotachenverlauf ist die verbesserte Erfassungswirkung durch eine konstruktive Änderung erkennbar.



## Studien- und Diplomarbeiten

Neben den großen von Forschungsaufträgen abgedeckten Themenbereichen werden auch im Rahmen von Studien- und Diplomarbeiten regelmäßig interessante Themen behandelt. Eine Auswahl:

D. Erhardt:

Untersuchung zum Einfluß der Gemischaufbereitung auf die Stickoxid-Bildung bei kleinen Ölgebläsebrennern.

Ch. Specht:

Entwicklung und Erprobung eines Verfahrens zur Messung des von der Thermikströmung induzierten Luftstroms an und über erhitzten Körpern.

K. Godbersen: Analyseverfahren zur Bestimmung der hydraulischen Teilstrangwiderstände in einem Heiznetz mit Rohrführung nach Tichelmann.

B. Biegert:

Theoretische und experimentelle Untersuchung der Luftbewegung an wärmeabgebenden Körpern.

O. Böck:

Ermittlung der Luftqualität in Räumen mit Quelllüftung.

M. Klameth:

Numerische Berechnung von Strömungsfeldern vor Schadstoff Erfassungseinrichtungen - Erprobung und Weiterentwicklung des Programmes CHAMPION

K. Becher:

Modellversuchsaufbau für ein Gießereikarussell.

M. Bauer:

Planung von Solaranlagen im Bereich der technischen Gebäudeausrüstung.

G. Frech:

Energieeinsparung durch den Einsatz von Energie-Management-Funktionen am Beispiel des Collins Buildings.

# Entwicklung eines kombinierten Regelungs- und Heizkostenverteilungssystems (RHKVS)

Markus Tritschler

Die Wärmeabgabe von Raumheizflächen muß zum Zwecke der Regelung gezielt verändert und zum Zwecke der Heizkostenverteilung erfaßt werden. Beide Aufgaben liegen prinzipiell dicht beieinander, werden bisher aber getrennt behandelt. Deshalb ist es das Ziel eines vom BMFT geförderten Forschungsvorhabens (Förderkennzeichen 0338163 B), das am Institut für Kernenergetik und Energiesysteme (Abt. Heizung-Lüftung-Klimatechnik) der Universität Stuttgart bearbeitet wird, die Teilsysteme Regeln und Erfassen in einem System zu kombinieren.

Die Verbindung der beiden Systeme wird über den Ventilhub hergestellt, der als Stellgröße bei der Regelung ausgegeben wird und somit die Wärmeabgabe beeinflusst.

## Regelung

Die Raumtemperatur wird beim RHKVS vom zentralen Simulationsrechner geregelt. Der realisierte Abtastregler, dessen Abtastzeit 3 min beträgt, arbeitet mit einem PID-Regelalgorithmus und steuert über einen Umsetzer ein unstetig arbeitendes Stellglied an.

## Heizkostenverteilung

Die Wärmeverteilung im Netz kann man durch Messen der Vorlauf- und Rücklauftemperaturen errechnen, wenn man den Durchfluß durch jeden Heizkörper bei beliebigen Ventilstellungen kennt.

Mit dem Verfahren, das im ersten Teil des Forschungsvorhabens entwickelt wurde, ist es möglich, die Volumenstromverteilung eines Heiznetzes für beliebige Ventilstellungen durch Betriebssimulation zu berechnen. Grundlage der rechnergestützten Betriebssimulation des Rohrnetzes ist die hydraulische Analyse des Heiznetzes, die von Grammling /2/ entwickelt wurde. Als Analyseergebnis erhält man eine Netzstruktur, die dem ursprünglichen Netz hydraulisch

äquivalent ist und als Eingabedatensatz bei der Simulation verwendet wird (vgl. auch /1/,/3/).

## Kombination von Regelung und Heizkostenverteilung

Bild 1 zeigt das Schema des kombinierten Regelungs- und Heizkostenverteilungssystems. Die vom Regler berechneten Stellgrößen werden vom Rechner laufend erfaßt und für die Simulation bereitgestellt. Mit diesen Ventilstellungen berechnet das Simulationsprogramm den Gesamtwiderstand des äquivalenten Netzes aus den Daten der Netzstruktur, in dem es die in Reihe und parallel geschalteten Widerstände zusammenfaßt. Der Gesamtvolumenstrom der Anlage, der entweder über die Pumpenkennlinie bestimmt wird oder gemessen werden muß, wird nun entsprechend den Widerständen des äquivalenten Netzes auf die einzelnen Stränge aufgeteilt, so daß man schließlich für jeden Heizkörper den Durchfluß kennt.

Mit den am Vorlauf und Rücklauf gemessenen Temperaturen ist die momentane Wärmeverteilung berechenbar, und man erhält für jede Heizfläche durch Aufsummieren die während einer Heizperiode anteilig zugeführte Wärmemenge als Grundlage für die Heizkostenverteilung.

Im Unterschied zu den herkömmlichen Heizkostenverteilungssystemen, die nach

dem sog. Meßhilfsverfahren arbeiten und über die Erfassung der mittleren Oberflächentemperaturen der Heizflächen auf die Wärmeabgabe der Heizflächen schließen, kann mit diesem System die der Heizfläche anteilig zugeführte Wärmemenge direkt berechnet werden.

Hieraus ergeben sich folgende Vorteile:

- es ist keine Identifikation der Heizflächen erforderlich,
- das System ist für alle Heizflächenbauarten geeignet
- es bestehen keinerlei Einschränkungen bezüglich niedriger Durchflüsse oder extremer Heizmitteltemperaturen.

Als weitere Vorteile des neuen Systems wären zu nennen:

- es kann gut gegen Manipulation gesichert werden,
- Selbstadaptation der Regelparameter ist möglich,
- es kann in die Gebäudeleittechnik integriert werden.

Der Betrieb des RHKVS im Labor an einem Netz mit acht Heizkörpern ist inzwischen abgeschlossen. Die Ergebnisse zeigen, daß das vorgestellte kombinierte Regelungs- und Heizkostenverteilungssystem gute Regeleigenschaften besitzt und bei der Heizkostenverteilung eine hohe Verteilgenauigkeit zu erwarten ist. Ein ausführlicher Abschlußbericht wird zur Zeit erstellt.

## Ausblick

In einer weiteren Ausbaustufe ist es sinnvoll, das RHKVS in die Gebäudeleittechnik (GLT) zu integrieren, da es eine optimale Ergänzung zu den vorhandenen GLT-Programmsystemen ist. Die verschiedenen Teilaufgaben sollten dann dezentralisiert und auf unterschiedliche Hierarchie-Ebenen aufgeteilt werden. Während die Berechnung der Wärmeverteilung weiterhin vom zentralen Leitreechner durchgeführt werden muß, kann die Regelung eines Teilbereiches (z.B. Wohnung) auf dezentrale Automatisierungs-Einheiten /5/ übertragen werden. Durch die dezentrale Struktur ist die Zuverlässigkeit des Betriebs des RHKVS größer als beim Einsatz eines einzigen zentralen Prozeßrechners. Während des Analgenbetriebes ist es dann möglich, automatisch die Analyse des Rohrnetzes durchzuführen, so daß

das RHKVS damit neben seiner eigentlichen Funktion wichtige Daten für die

- Sanierung bestehender Rohrnetze und für die
- Regelung und Optimierung des Pumpenbetriebs liefert.

## Literatur

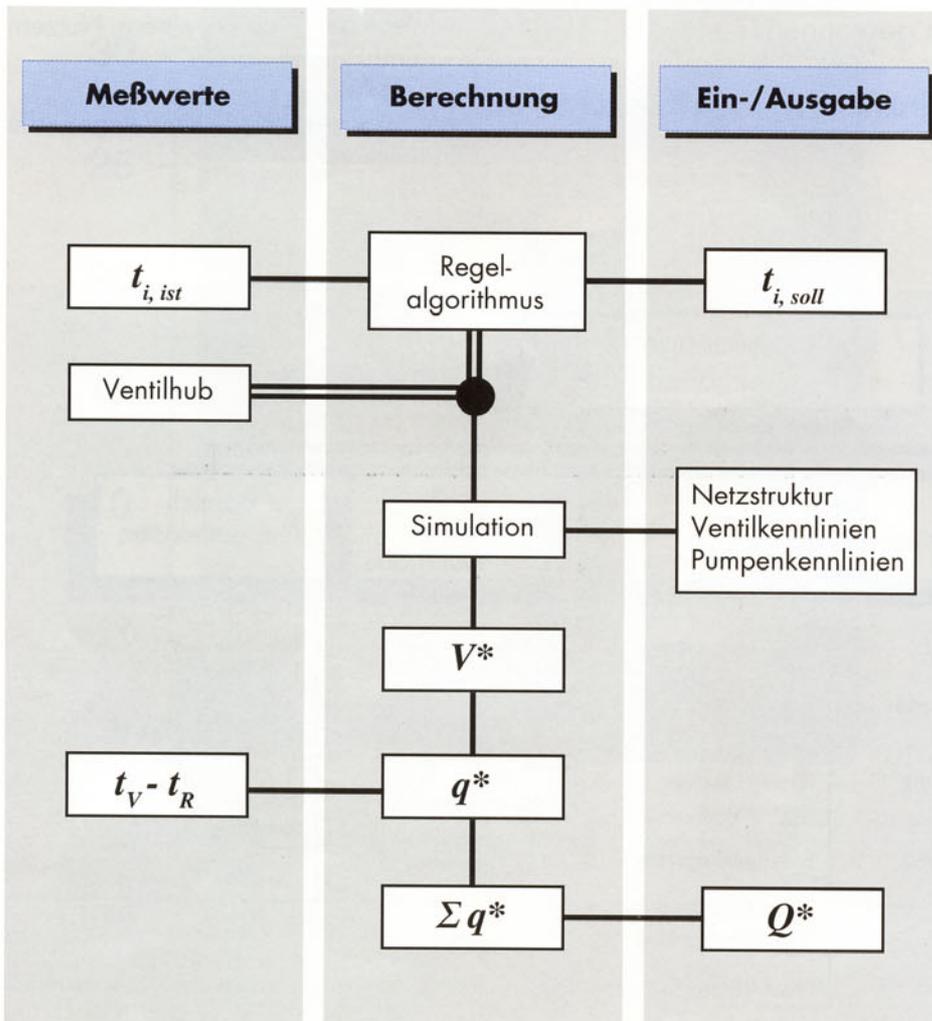
/1/ Bach, H., K. Neuscheler, D. Striebel: *Methode for analysis and optimization of piping systems*, Interfluid Essen, Sept. 90

/2/ Gramling, F.: *Rechnergestützte Analyse von Heizungsrohrnetzen*, Dissertation, Universität Stuttgart, IKE Abt. HLK, 1988.

/3/ Tritschler, M.: *Volumenstrom im Heiznetz simuliert*, HLH 41 (1990) Nr. 8, S. 677.

/4/ Striebel, D.: *Kombiniertes Regelungs- und Heizkostenverteilsystem auf der Basis der Betriebssimulation von Rohrnetzen*, Internationaler Kongreß für technische Gebäudeausrüstung, Berlin, Okt. 1988.

/5/ Lauber, R.: *Prozeßautomatisierung*, Band 1, 2. Auflage, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1988.



## PERSONALIA

In Zukunft möchten wir mit unserem **HLKBRIEF** dazu beitragen, daß der Kontakt unserer Freunde, Förderer oder Kunden zu den Mitarbeitern auch dann erhalten werden kann, wenn diese den Institutsbereich verlassen haben.

Seit dem Erscheinen des letzten **HLKBRIEFES** sind ungewöhnlich viele Veränderungen zu verzeichnen:

**Dipl.-Ing. H. Sauter**, der über viele Jahre die Heizkörperprüfung organisierte, ist seit Oktober 1990 Leiter der Entwicklung bei Kermi (Pankofen); sein Nachfolger ist **Dipl.-Ing. J. Schmid**, der sich vorher hauptsächlich mit der Simulation komplexer Wärmeerzeugersysteme beschäftigte.

**Dipl.-Ing. R. Diemer** ist seit Februar 1991 Mitarbeiter bei dem Stuttgarter Ingenieurbüro Eproplan, das besonders auf dem Gebiet der Energieversorgungskonzepte aktiv ist. Seine Aufgaben im Bereich Energiediagnose übernahm **Dipl.-Ing. Gisela Eisenmann**.

**Dipl.-Ing. D. Striebel** ist seit März 1991 Professor an der FHT Esslingen, er vertritt dort das Fach Regelungstechnik. Seine Arbeitsbereiche Regelung und Speicher werden nun von **Dipl.-Ing. K. Neuscheler** und **Dipl.-Ing. H. Messerschmid** betreut.

Zum April 1991 verließ uns **Dipl.-Ing. Th. Offenhäuser** (er organisierte den Prüfbereich Heizkostenverteilung), er übernimmt die technische Leitung der Gas- und Wasserversorgung der Stadtwerke Bietigheim-Bissingen. Sein Nachfolger im Prüfbetrieb ist **Dipl.-Ing. M. Tritschler**, der sich vorher mit der Entwicklung von zentralen Verteilsystemen beschäftigte (siehe auch Seite 6).

Schließlich mußten wir im Mai 1991 noch den Weggang von **Dipl.-Ing. W. Stephan** verkraften; er betrieb die Systemsimulation äußerst erfolgreich und lieferte in mehreren IEA-Projekten den deutschen Beitrag. Er wird beim Ingenieurbüro Dr. Gruschka & Fritz GmbH in Bensheim sein großes Wissen in die Praxis tragen. Sein bisheriger Kollege **Dipl.-Ing. M. Madjidi** übernimmt sein riesiges Programmsystem und die Betreuung seiner Arbeitsbereiche.

### Neue Mitarbeiter:

Im Jahr 1990 waren dies **Dipl.-Ing. B. Biegert** und **Dipl.-Ing. R. Maiwald**, die sich zunächst mit den Bereichen Arbeitsplatz- bzw. Wohnungslüftung beschäftigen. 1991 kam **Dipl.-Ing. G. Frech** dazu. Er arbeitet bei der Berechnung von Luftströmungen bei Schadstoffereinsparungsmaßnahmen mit.

# Building Energy Management Systems BEMS

Deutscher Beitrag zu den IEA-Forschungsvorhaben  
Annex 16 und 17

Wolfram Stephan

Digitale regelungstechnische Anlagen, im folgenden BEMS genannt, sind in der Lage, den Betrieb von heiz- und raumluftechnischen Anlagen energetisch und kostengünstig zu gestalten. Neben der Energie- und Kosteneinsparung sind u.a. verbesserte Komfortbedingungen im Gebäude und eine einfachere Bedienung und Wartung der Anlagen zu erzielen. Ziel dieses Projektes ist es daher Hemmnisse, die dem effektiven Einsatz dieser Geräte entgegenstehen, abzubauen. Es richtet sich in erster Linie an Betreiber und Planer von BEMS und soll diese bei der Auswahl, Beurteilung und Planung unterstützen.

Das Projekt Building Energy Management Systems (BEMS) ist der deutsche Beitrag zu den IEA-Vorhaben Annex 16 und 17. Durch internationale Zusammenarbeit wird zum einen Doppelarbeit vermieden und zum anderen ein Überblick über den Stand der Technik in den einzelnen Teilnehmerländern gewonnen.

Das Projekt gliedert sich in zwei Arbeitskreise, den IEA Annex 16 und den IEA Annex 17.

## IEA-Annex 16, Hilfen für die Planung und den Betrieb

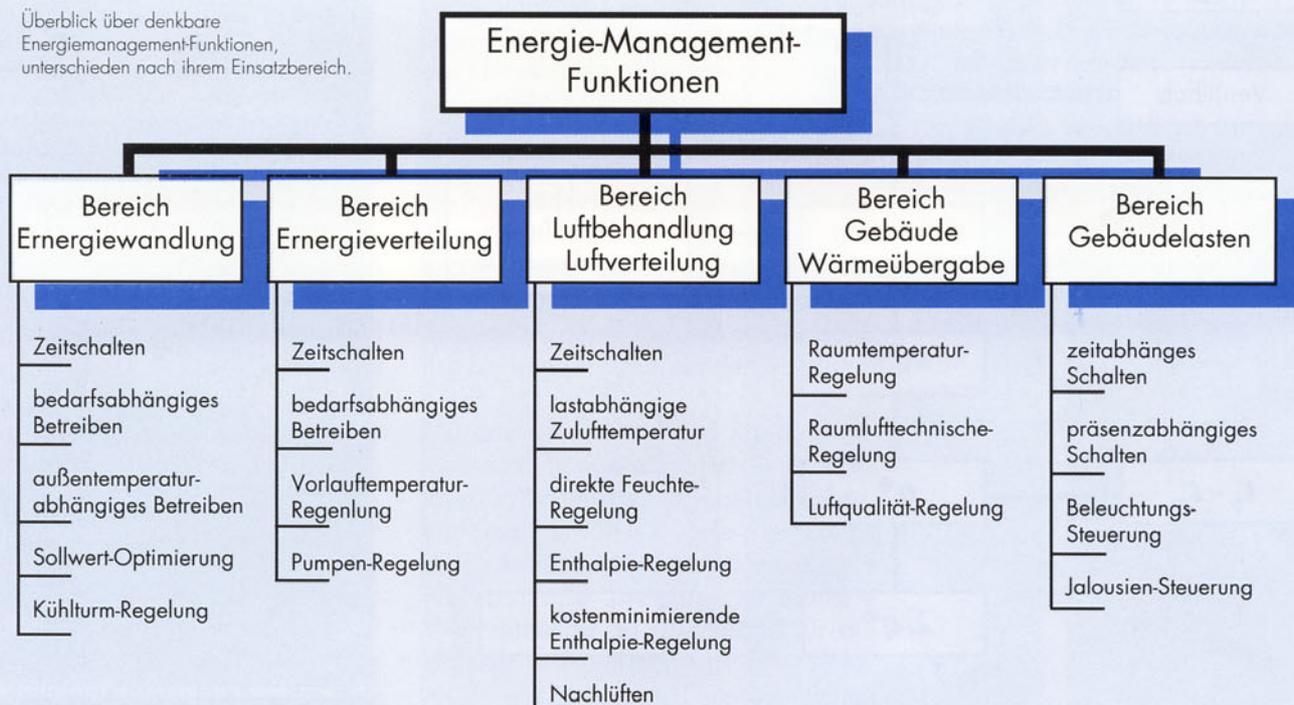
Der IEA Annex 16 ( Hilfen für die Planung und den Betrieb) ist mehr praxisorientiert. Er erfaßt den Stand der Technik in den Teilnehmerl ändern. Durch den internationalen Informations- und Erfahrungsaustausch wird eine Vereinheitlichung bei der Beurteilung und Planung von BEMS erreicht.

Es werden folgende Bereiche bearbeitet:

- Ausschreibung, Richtlinien und Normen für BEMS /1/
- Wirtschaftlichkeitsberechnung /2/
- Sensoren /3/
- Fallstudien über BEMS /4/
- Befragung von Betreibern, Nutzern und Herstellern /5/

Zu allen Arbeitspunkten liegen die Berichte vor.

Bild 1: Überblick über denkbare Energiemanagement-Funktionen, unterschieden nach ihrem Einsatzbereich.



## IEA-Annex 17, Beurteilungs- und Testmethoden für BEMS

Mehr auf Forschungsaspekte ausgerichtet ist Annex 17 (Beurteilungs- und Testmethoden für BEMS). Durch die Weiterentwicklung und die Anwendung von Computersimulationsprogrammen sollen Test- und Beurteilungsmethoden geschaffen werden. Die Simulationsprogramme werden einerseits zur Bestimmung von Einsparpotentialen und andererseits als Testumgebung für BEMS eingesetzt.

## Weiterentwicklung der Simulationsprogramme

Zur Bestimmung der Einsparpotentiale von Energie-Management-Funktionen werden die Simulationsprogramme TRNSYS /6/, HVACSIM+ /7/ und GERALT /8/ verwendet. Alle drei sind streng modular aufgebaut, so daß 3 beliebige Anlagen- und Gebäudemodelle eingesetzt werden können.

Aufbauend auf den Arbeiten des Forschungsvorhabens 'System Simulation IEA-Annex 10' /9,10/ wurden folgende Modelle neu entwickelt bzw. modifiziert:

- Erzeuger: Heizkessel und Kälteanlagen
- Transport: Ventilatoren und Pumpen
- Verteilung: Luftkanäle
- Regler: Leitzentrale, PID-Regler, Optimum-Start/Stop-Regler
- Gebäude: Feuchteübertragung, Dynamik

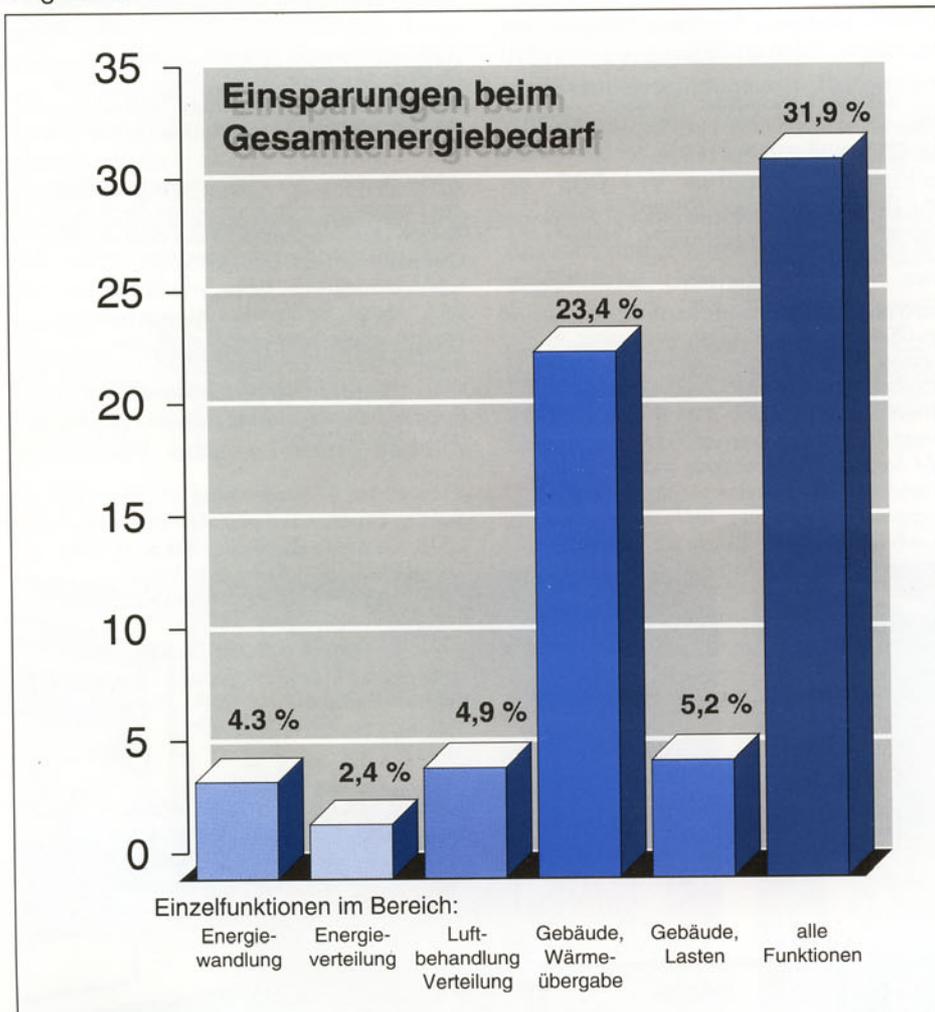


Bild 2:

Das Einsparpotential von Energiemanagement-Funktionen, zusammengefaßt nach ihrem Einsatzbereich.

Ein Vergleich der Programme zeigt eine gute Übereinstimmung /11/. Für die Programme TRNSYS und HVACSIM+ werden die Komponentenmodelle und einige Beispieldatensätze dokumentiert und allen Interessierten zur Verfügung gestellt.

## Einsparpotentiale durch BEMS

Für drei Beispiele werden die Einsparpotentiale durch den Einsatz von Energie-Management-Funktionen gezeigt.

- Konventionelle Heizanlage für ein Bürogebäude:  
Für ein Bürogebäude mit einer konventionellen Heizanlage wird das Einsparpotential und die Güte von Optimum-Start/Stop-Funktionen ermittelt /12,13/.
- VVS-Anlage (Umluft, Heizen, Kühlen, Wäscherbefeuchtung) für ein Bürogebäude (Collins-Building): Für das sogenannte "Collins-Building" werden die Einsparpotentiale der Energie-Management-Funktionen: Null-Energieband, Zulufttemperaturanhebung, freies Kühlen und bedarfsabhängiges Betreiben von Pumpen, Wärme- und Kälteezeugungsanlagen ermittelt. /11/

- VVS-Anlage (FWRG, Heizen, Kühlen, Dampfbefeuchtung) für ein Bürogebäude in kompakter Bauweise:  
Für dieses Beispiel wird ein konventioneller Anlagenbetrieb (d.h. nur einfachste Regelfunktionen) mit einem Betrieb mit Energie-Funktionen verglichen /14/. Bild 1 zeigt die denkbaren Energie-Management-Funktionen, Bild 2 die erzielbaren Energieeinsparungen. In fast allen Bereichen sind Einsparwerte von 5 % möglich. Die größten Einsparwerte ergeben sich für die Funktionen, die die Nutzungsanforderungen an die Raumtemperatur, Feuchte und Raumluftqualität beeinflussen. Die Grenzen des Komfortbereichs sollten daher immer vollständig ausgenutzt werden.

## Testmethoden durch Emulation

BEMS-Komponenten (lokale Regler, Unterstationen und Leitreechner) sollen durch Emulation getestet werden. Hierbei wird die BEMS-Komponente über eine Schnittstelle mit einem Computer gekoppelt (siehe Bild 3), auf dem ein Simulationsprogramm in Echtzeit abläuft. Die Schnittstelle stellen die Sensoren und Aktoren dar. Vier Teilnehmer dieses Arbeitskreises haben die Entwicklung eines Prototyps (Hardware-Software-Konfiguration) zum Testen einfachster Regelfunktionen abgeschlossen /15,16,17,18/. Ebenfalls liegen Konzepte über Testprozeduren für BEMS vor.

## Literatur

- /1/ Teekaram, A.; Grey, R.: *Standards and Specifications for BEMS*. Final Report IEA-Annex 16, BSRIA, Bracknell, UK (Mai 1991).
- /2/ Hyvärinen, J.: *Cost Benefit Assessment Methods for BEMS*. Final Report IEA-Annex 16, VTT, Espoo, Finnland (Mai 1991).
- /3/ Nakahara, N.: *A Guide to Sensors in BEMS*. Final Report IEA-Annex 16, Japan BEMS Committee (Mai 1991).
- /4/ Nicolaas, H.; Peitsman, H.: *Case Studies of BEMS Installations*. Final Report IEA-Annex 16, TNO, Delft, NL (Mai 1991).
- /5/ Brendel, T.; Schneider, A.: *User Experiences with BEMS*. Final Report IEA-Annex 16, IDB, Frankfurt, (Mai 1991).
- /6/ TRNSYS: *A Transient System Simulation Program*. Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin, Madison, USA (1983).
- /7/ Park, C.; Clark, R.; Kelly, G.: *On Overview of HVACSIM+, A dynamic building / HVAC/ control system simulation program*. Proc 1st Annual Building Energy Simulation Conf., Seattle, WA (1985).
- /8/ Stephan, W.: *Gebäude und Anlagenbetriebssimulationsprogramm GERALT. Programmdokumentation, Teil 1: Übersicht und Handhabung*, interner Bericht IKE, Abt. HLK, Universität Stuttgart (März 1991)
- /9/ Ast, H.; Bach, H.; Stephan, W.: *Bestimmung und Bewertung des Energieverbrauchs von Heiz- und RTL-Anlagen; deutscher Beitrag zum IEA-ANNEX 10*. Abschlußbericht zum BMFT-Forschungsvorhaben 03-E-8163 (1988).
- /10/ Lebrun, J.: *IEA-ANNEX 10: System Simulation, Synthesis Report*. Universität Liege, LBP (1988).
- /11/ Stephan, W.; Madjidi, M.; Theiss, A.: *Case Study on the Control Strategy of an Office Building*. Internes Dokument des IEA-ANNEX 17, IKE, Abt. HLK, Universität Stuttgart (März 1991).
- /12/ Madjidi, M.; Stephan, W.: *Computer simulation as a tool for the evaluation of an adaptive start/stop strategy for heating systems*. Third International Conference on System Simulation in Buildings, Liege (Dezember 1990).
- /13/ Kohonen, R.; Laitinen, A.; Aho, I.; Madjidi, M.; Stephan, W.: *Study on optimal start/stop operation of hydronic heating systems*. IBPSA BS'91 Conference, Nizza (August 1991).
- /14/ Stephan, W.: *Energetische Beurteilung der Betriebsweise heiz- und raumluftechnischer Anlagen durch rechnerische Betriebssimulation*. Universität Stuttgart, Dissertation, (1991).
- /15/ Haves, P.; Dexter, A.: *Use a building emulator to evaluate control strategies implemented in commercial BEMS*. University of Oxford, Dep. of Engineering Science, (1991). Dokument des IEA-ANNEX 17 (AN 17-910410-01).
- /16/ Hutter, E.; Vaezi-Nejad, H.: *The CSTB Building Emulator and emulation exercises*. CSTB, Centre de Recherche, Marne la Valle, Frankreich, (1991). Dokument des IEA-ANNEX 17 (AN 17-910410-03).
- /17/ Kohonen, R.; Marjamäki, P.: *Current status of the VTT emulator project*. Technical Research Center of Finland, VTT, Espoo (1991). Dokument des IEA-ANNEX 17 (AN 17-910410-02).
- /18/ Lebrun, J.; Nussgens, P.; Wang, S.: *The second ULG Emulator and the emulation exercises*. University of Liege, Laboratoire de Thermodynamique, (1991) Dokument des IEA-ANNEX 17 (AN 17-910410-04).



Bild 3: Prinzipielle Darstellung eines Emulators.

# Neues Prüffeld für Kessel, Brenner, Regler und Speicher

Gunther Claus

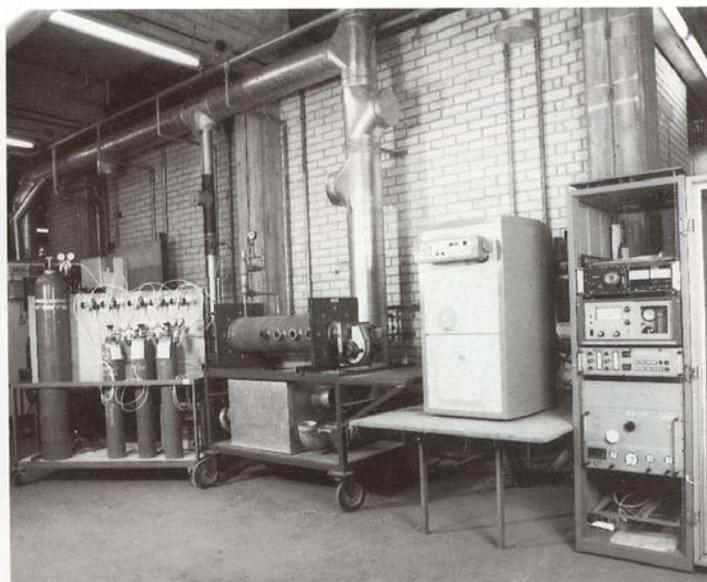
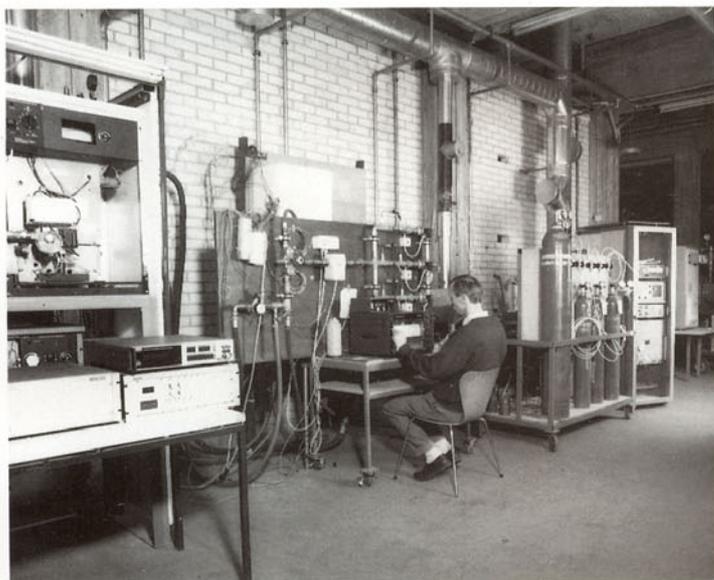
Dreimal umgezogen ist wie einmal abgebrannt - nach jedem Neuaufbau wird ein Prüfstand noch besser ! Wir hofften natürlich auf letzteres, als wir die Chance hatten, unsere auf die ganze Maschinenlabor-Halle verteilten Versuchsfelder endlich zusammenlegen zu können.

Nun ist es soweit, daß die ersten umgezogenen - besser neu aufgebauten - Versuchseinrichtungen in Betrieb genommen werden: es ist ein Versuchsfeld entstanden, auf dem nahezu alle denkbaren Experimente und Untersuchungen an Wärmeerzeugern, Wärmeverbrauchern und zentralen Regelsystemen durchgeführt werden können. Im einzelnen entstand ein Versuchsfeld für Kessel- und Brenneruntersuchungen, das mit allen notwendigen Einrichtungen für energetische und Emissions-Messungen ausgerüstet ist. Zur Zeit sind Untersuchungen zum Einfluß der Brennraum-Form und -Belastung in Vorbereitung - neben allfälligen Prüfungen nach DIN oder anderen Regeln.

Desweiteren entstand ein Prüfstand für Brauchwasserspeicher mit dem sämtliche relevanten Untersuchungen wie Aufheiz- und Abkühlversuche, Auslauf- und Zapfprogramme sowie detaillierte Wärmeübergangsuntersuchungen zur Heizflächenoptimierung dargestellt werden können. Zur Beladung der Speicher ist eine Gesamtleistung bis ca. 200 kW verfügbar. Schließlich erlaubt die Kombination von Wärmeerzeugern und Wärmeverbrauchern die ausführliche Untersuchung von zentralen Heizungs-Regelsystemen, wobei zur Zeit eine Vernetzung mit PC bzw. Workstation erarbeitet wird, um die umfangreiche am Institut vorhandene Simulationssoftware zur Echtzeit-

Simulation des Gesamtsystems Anlage-Gebäude-Nutzer einsetzen zu können.

Das gesamte Prüffeld ist so gestaltet, daß der Platz nach dem jeweiligen Bedarf optimal genutzt werden kann und Ergänzungen oder Erweiterungen mit möglichst geringem Aufwand realisiert werden können. Die Verwendung unterschiedlicher Brennstoffe (Heizöl EL, Erdgas H, Prüfgase) sowie der Anschluß an das Kühlwassersystem des Heizkraftwerkes erlauben Versuche mit Heiz- bzw. Kühlleistungen bis etwa 200 kW.



# APLÜ vor Abschluß

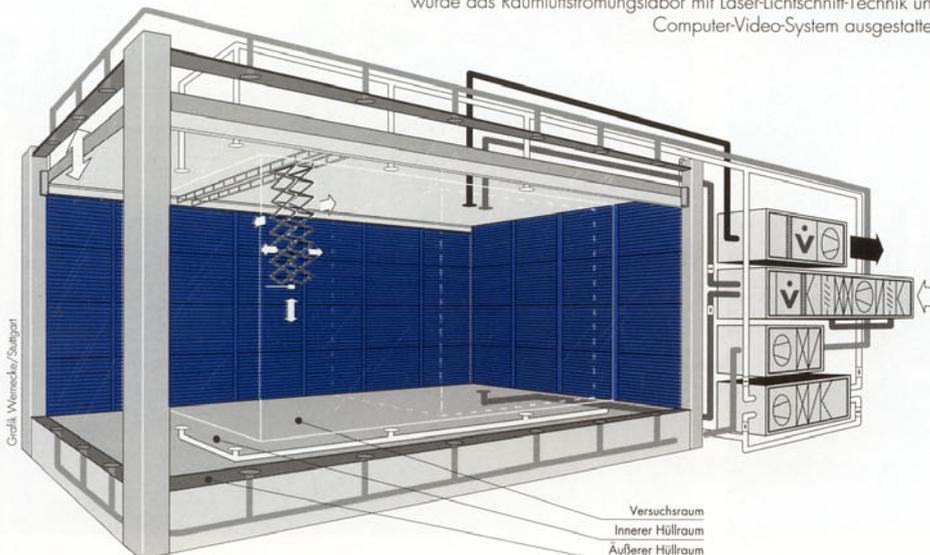
Walter Dittes:

Das Verbundvorhaben „Gezielte Belüftung der Arbeitsbereiche in Produktionshallen zum Abbau der Schadstoffbelastung“ \*) steht kurz vor dem Abschluß. In dem von den Forschungspartnern Uni Stuttgart IKE/HLK, Kessler + Luch, Gießen, Forschungsges. HLK Stuttgart, TU München, Institut für Ergonomie, Mercedes Benz und Volkswagen bearbeiteten Vorhaben wurden neue Luftführungskonzepte entwickelt und erprobt, Verfahren zur Berechnung der Wärme- und Stoffbelastung und zur Auslegung der Luftführungen erstellt, physiologische Grundlagen erarbeitet, eine Musteranlage geplant sowie Wirtschaftlichkeitsrechnungen durchgeführt.

Es hat sich gezeigt, daß die Stoffbelastung im Arbeitsbereich durch die geeignete Luftzufuhr auf weniger als ein Fünftel der Werte reduziert werden kann, die man bei der derzeit häufig eingesetzten Tangentiallüftung vorfindet. Untersucht und verglichen wurden Luftführungsvarianten mit Tangentialluftzufuhr, Luftzufuhr aus Fußbodenluftdurchlässen, Luftzufuhr aus Quellluftdurchlässen unterschiedlicher Bauart und Anordnung und arbeitsplatznaher Luftzufuhr aus neuentwickelten Luftdurchlässen mit Induktion. Bei allen Luftführungsvarianten mit

Luftzufuhr im Arbeitsbereich nutzt man die Konvektionsströmung an Produktionseinrichtungen zum Wärme- und Stoffabtransport zu den Abluftdurchlässen unter dem Hallendach. Die experimentellen Untersuchungen im HLK-Raumluft-Strömungs-Labor haben ergeben, daß Wärme- und Stoffbelastung im Arbeitsbereich vor allem vom Verhältnis Zuluftstrom zu Konvektionsluftstrom und von der Störung der Konvektionsströmung durch die Zuluftströmung abhängen.

Im HLK-Raumluft-Strömungslabor wurden die experimentellen Untersuchungen von IKE/HLK und FgHLK durchgeführt. Zur verbesserten Visualisierung und Dokumentation der Raumluftströmung wurde das Raumluftströmungslabor mit Laser-Lichtschnitt-Technik und Computer-Video-System ausgestattet.



Grafik: Wernecke/Stuttgart

Versuchsraum  
Innerer Hüllraum  
Äußerer Hüllraum

Mit den Rechenmodellen können die Luftführungsvarianten beurteilt und die erforderlichen Luftströme ermittelt werden. Dadurch kann eine gezielte Auswahl des für den Anwendungsfall günstigsten Konzepts getroffen werden.

Die Erkenntnisse aus dem Verbundvorhaben werden zum Jahresende in einem Buch, Titel: „Arbeitsplatzluftreinhaltung - Luftführungen für Industriehallen“ veröffentlicht.

\*Jgefördert mit Mitteln des BMFT unter dem Förderkennzeichen 01HK216

#### Autoren:

Dr.-Ing. Fritz Schmidt  
Dipl. Ing. Klaus Baer  
IKE  
Dipl. Ing. Wolfgang Scholer  
Dipl. Ing. Günther Frech  
Dipl. Ing. Markus Tritschler  
Dipl. Ing. Wolfram Stephan  
Dipl. Ing. Walter Dittes  
IKE/HLK  
Dipl. Ing. Gunther Claus  
FGHLK

#### Herausgeber:

Verein der Förderer der  
Forschung im Bereich  
Heizung-Lüftung-Klima-  
technik Stuttgart e.V.  
Pfaffenwaldring 6a  
7000 Stuttgart 80  
Tel. 0711 / 685 - 2085/90  
Fax 0711 / 687 - 6056

Redaktion: G. Claus

Fotografie: S. Crane

Grafik u. Herst. R. Wernecke

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